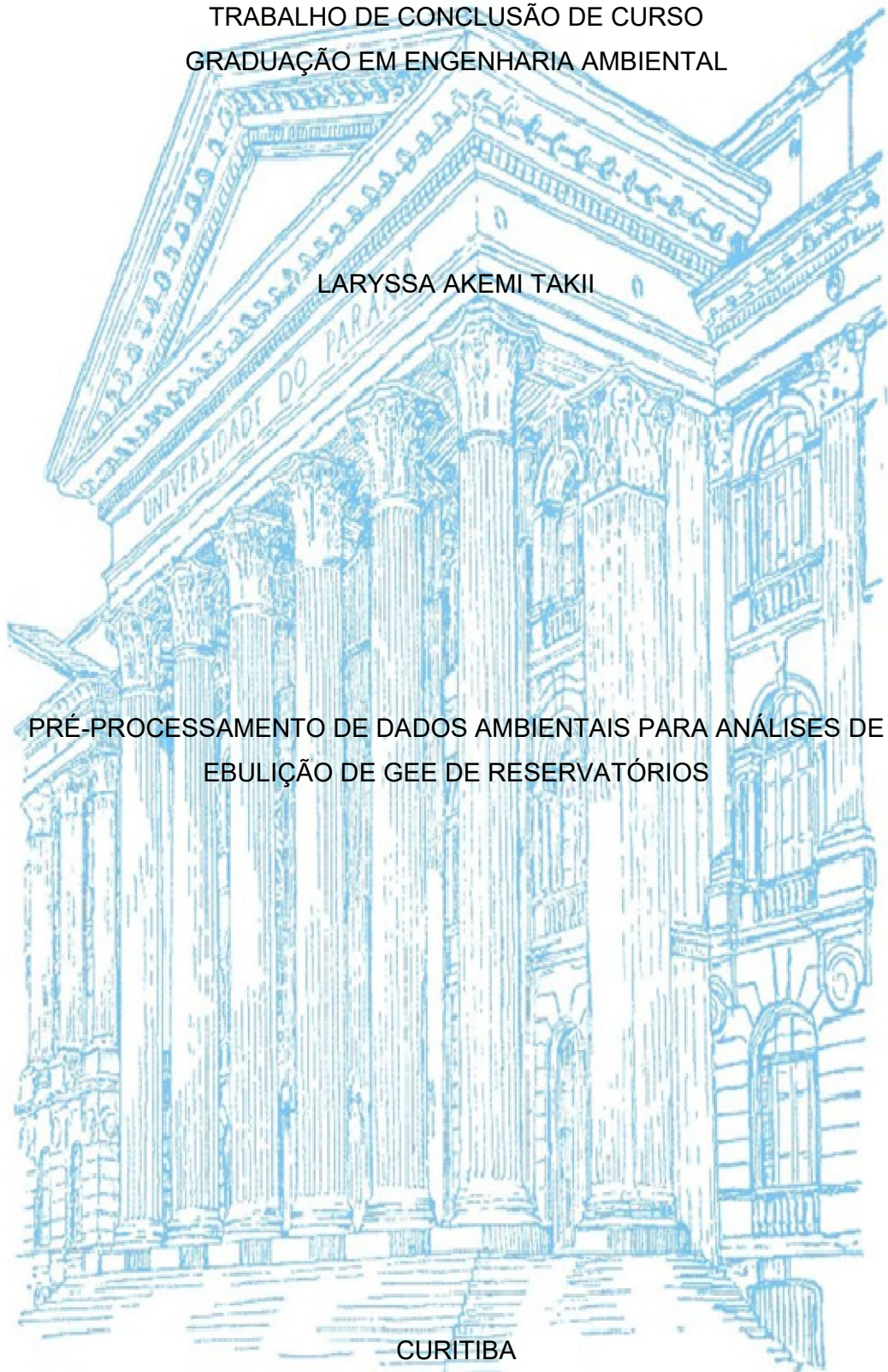


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

LARYSSA AKEMI TAKII

PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS AMBIENTAIS PARA ANÁLISES DE  
EBULIÇÃO DE GEE DE RESERVATÓRIOS

CURITIBA  
2017



LARYSSA AKEMI TAKII

PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS AMBIENTAIS PARA ANÁLISES DE  
EBULIÇÃO DE GEE DE RESERVATÓRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental, do Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná como requisito à obtenção do título de grau de Graduação.

Orientador: Dr. Tobias Bleninger

CURITIBA

2017

## RESUMO

Observar dados meteorológicos é fundamental para fazer análises climáticas em tempo real, para prevenções, para o estudo do clima de uma determinada região, para hidrologia, para a agricultura e para pesquisas em meteorologia e climatologia. O foco deste projeto é analisar dados meteorológicos de diferentes fontes e comparar estas variáveis ambientais com a Ebulição de gás do reservatório Passaúna, localizado na região metropolitana de Curitiba, no estado do Paraná. Para isso foi obtido dados ambientais brutos de diversas estações próximas ao reservatório, em que foi realizada uma análise de consistência e uma análise estatística. Observou-se então, que das 6 estações estudadas, apenas 3 trouxeram resultados satisfatórios. Além disso, foi adquirido e instalado próxima à barragem do reservatório Passaúna, em Agosto de 2017, uma estação de baixo custo, onde as medições analisadas até o momento já mostram resultados acurados. Depois da correção dos dados, fez-se possível obter a característica climática da região para comparação com os dados de Ebulição do Metano, mostrando que a temperatura do ar e a velocidade do vento são proporcionais ao fluxo de gás emitido, e a pressão atmosférica é inversamente proporcional. Já a precipitação acumulada não mostrou com clareza se influenciou na emissão do metano. Assim, conclui-se que as variáveis ambientais são parâmetros que influenciam na emissão do gás Metano, através da ebulição das bolhas.

Palavras-chave: Gases de Efeito estufa. Dados meteorológicos. Reservatório. Passaúna. Paraná. Ebulição.

## **ABSTRACT**

Observing meteorological data is essential for making climate analyzes in real time, for preventions, for the study of the climate of a given region, for hydrology, for agriculture and for meteorological and climatological research. The focus of this project is to analyze meteorological data from different sources and to compare these environmental variables with the gas boiling of the Passaúna reservoir, located in the metropolitan region of Curitiba, in the state of Paraná. For this, raw environmental data were obtained from several stations near the reservoir, in which a consistency analysis and a statistical analysis were performed. It was observed that of the 6 stations studied, only 3 had satisfactory results. In addition, a low-cost station was purchased and installed close to the Passaúna reservoir dam in August 2017, where the measurements analyzed so far already show accurate results. After correction of the data, it was possible to obtain the climatic characteristic of the region for comparison with the Methane Boiling data, showing that the air temperature and the wind speed are proportional to the emitted gas flow, and the atmospheric pressure is inversely proportional. Already the accumulated precipitation did not show clearly if it influenced in the emission of the methane. Thus, it is concluded that the environmental variables are parameters that influence the methane gas emission, through the bubbling of the bubbles.

**Key-words:** Greenhouse gases. Meteorological data. Reservoir. Passauna. Boiling.

## SUMÁRIO

|          |                                                   |           |
|----------|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>OBJETIVOS .....</b>                            | <b>24</b> |
| 1.1      | OBJETIVO GERAL.....                               | 24        |
| 1.2      | OBJETIVO ESPECÍFICO .....                         | 24        |
| <b>2</b> | <b>REVISAO BIBLIOGRAFICA .....</b>                | <b>25</b> |
| 2.1      | DADOS METEOROLÓGICOS.....                         | 25        |
| 2.1.1    | Temperatura do ar .....                           | 28        |
| 2.1.2    | Precipitação .....                                | 29        |
| 2.1.3    | Vento .....                                       | 30        |
| 2.1.4    | Pressão Atmosférica.....                          | 32        |
| 2.1.5    | Consistência das medições .....                   | 33        |
| 2.2      | RESERVATÓRIO .....                                | 34        |
| 2.3      | GASES DE EFEITO ESTUFA .....                      | 35        |
| 2.4      | GASES DE EFEITO ESTUFA DE RESERVATÓRIOS.....      | 37        |
| 2.5      | EBULIÇÃO DO METANO .....                          | 39        |
| 2.6      | TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE GEE EM RESERVATÓRIOS ..... | 42        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                   | <b>44</b> |
| 3.1      | ÁREA DE ESTUDO .....                              | 44        |
| 3.2      | ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.....                      | 45        |
| 3.3      | FUNIL AUTOMÁTICO.....                             | 49        |
| 3.4      | METODOLOGIA .....                                 | 51        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS .....</b>                           | <b>55</b> |
| 4.1      | ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA.....                      | 56        |
| 4.2      | COMPARAÇÕES .....                                 | 65        |
| 4.2.1    | Precipitação .....                                | 65        |
| 4.2.2    | Temperatura .....                                 | 71        |

|                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.3 Velocidade do Vento.....                                       | 74         |
| 4.2.4 Pressão.....                                                   | 77         |
| 4.3 COMPARAÇÃO COM OS DADOS DE EBULIÇÃO DO METANO .....              | 80         |
| 4.3.1 Precipitação .....                                             | 81         |
| 4.3.2 Temperatura .....                                              | 83         |
| 4.3.3 Pressão.....                                                   | 85         |
| 4.3.4 Velocidade do Vento.....                                       | 86         |
| 4.4 discussões .....                                                 | 88         |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>                                             | <b>92</b>  |
| <b>REFERENCIAS.....</b>                                              | <b>94</b>  |
| <b>ANEXO I RESULTADOS: ESTAÇÃO ASSIS.....</b>                        | <b>100</b> |
| <b>ANEXO II RESULTADOS: ESTAÇÃO VERDE .....</b>                      | <b>102</b> |
| <b>ANEXO III RESULTADOS: ESTAÇÃO INMET .....</b>                     | <b>106</b> |
| <b>ANEXO IV RESULTADOS: ESTAÇÃO TECPAR .....</b>                     | <b>108</b> |
| <b>ANEXO V RESULTADOS: ESTAÇÃO BARRAGEM SANEPAR .....</b>            | <b>110</b> |
| <b>ANEXO VI RESULTADOS: ESTAÇÃO COLÔNIA DOM PEDRO .....</b>          | <b>112</b> |
| <b>ANEXO VII SÉRIES TEMPORAIS DE EBULIÇÃO X TEMPERATURA .....</b>    | <b>114</b> |
| <b>ANEXO VIII SÉRIES TEMPORAIS DE EBULIÇÃO X PRESSÃO .....</b>       | <b>117</b> |
| <b>ANEXO IX SÉRIES TEMPORAIS DE EBULIÇÃO X VELOCIDADE DO VENTO..</b> | <b>120</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1- DIFERENTES FORMATOS DE MEDIDORES DE PRECIPITAÇÃO. FONTE: (WMO, 2008).....                                                 | 30 |
| FIGURA 2 - EMISSÃO NATURAL DE DIÓXIDO DE CARBONO E METANO. FONTE: (CONRAD 1989 AND COLE ET AL 2007).....                            | 34 |
| FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DO TRANSPORTE DE GASES. FONTE: (MANNICH, 2013). ....                                                       | 38 |
| FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO PASSAÚNA. FONTE: (MARCON ET AL., 2017).....                                                  | 44 |
| FIGURA 5 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES E O RESERVATÓRIO PASSAÚNA. ....                                                      | 46 |
| FIGURA 6 - ESTAÇÃO AUTOMÁTICA INSTALADA PRÓXIMA À BARRAGEM DO RESERVATÓRIO PASSAÚNA. ....                                           | 47 |
| FIGURA 7 - SENSOR DE MEDIÇÃO.....                                                                                                   | 47 |
| FIGURA 8 - DISPLAY DE VISUALIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO.....                                                                              | 48 |
| FIGURA 9 - REPRESENTAÇÃO DO FUNIL AUTOMÁTICO. FONTE: SENECT 2017.....                                                               | 50 |
| FIGURA 10 - PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS DE EBULIÇÃO.....                                                                        | 50 |
| FIGURA 11 - LOCALIZAÇÃO DOS FUNIS NO RESERVATÓRIO.....                                                                              | 51 |
| FIGURA 12 - GRÁFICO DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO DE BAIXO CUSTO COM A ESTAÇÃO INMET. REGRESSÃO LINEAR COM $R^2 = 0,8820$ . ....        | 63 |
| FIGURA 13 - GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO DE BAIXO CUSTO E DA ESTAÇÃO INMET. REGRESSÃO LINEAR COM $R^2 = 0,8941$ . ....        | 63 |
| FIGURA 14 - GRÁFICO DE PRESSÃO DA ESTAÇÃO DE BAIXO CUSTO COM A ESTAÇÃO INMET. REGRESSÃO LINEAR COM $R^2 = 0,9679$ . ....            | 64 |
| FIGURA 15 - GRÁFICO DE VELOCIDADE DO VENTO DA ESTAÇÃO DE BAIXO CUSTO E DA ESTAÇÃO INMET. REGRESSÃO LINEAR COM $R^2 = 0,7262$ . .... | 64 |
| FIGURA 16 - PRECIPITAÇÃO DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET, ASSIS, SANEPAR E COLÔNIA DOM PEDRO NO ANO DE 2015. ....                         | 66 |
| FIGURA 17 - PRECIPITAÇÃO DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET, SANEPAR E COLÔNIA DOM PEDRO NO ANO DE 2016. ....                                | 68 |
| FIGURA 18 -PRECIPITAÇÃO DAS ESTAÇÕES INMET , SANEPAR E COLÔNIA DOM PEDRO NO ANO DE 2017.....                                        | 70 |
| FIGURA 19 - TEMPERATURA DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET, ASSIS E TECPAR NO ANO DE 2015. ....                                              | 71 |
| FIGURA 20- TEMPERATURA DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET E TECPAR NO ANO DE 2016.....                                                       | 72 |
| FIGURA 21 - TEMPERATURA DAS ESTAÇÕES INMET E TECPAR NO ANO DE 2017. ....                                                            | 73 |
| FIGURA 22 - VELOCIDADE DO VENTO COM MÉDIAS MENSAS DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET, ASSIS E TECPAR NO ANO DE 2015. ....                    | 74 |
| FIGURA 23 - VELOCIDADE DO VENTO COM MÉDIAS MENSAS DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET E TECPAR NO ANO DE 2016.....                            | 75 |
| FIGURA 24 - VELOCIDADE DO VENTO COM MÉDIAS MENSAS DAS ESTAÇÕES INMET E TECPAR NO ANO DE 2017.....                                   | 76 |
| FIGURA 25 - PRESSÃO MÉDIA MENSAL DAS ESTAÇÕES ASSIS E TECPAR NO ANO DE 2015.....                                                    | 78 |

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| FIGURA 26 - PRESSÃO MÉDIA MENSAL DA ESTAÇÃO TECPAR NO ANO DE 2016.....                                                                  | 78  |
| FIGURA 27 - PRESSÃO MÉDIA MENSAL DAS ESTAÇÕES INMET E TECPAR NO ANO DE 2017.....                                                        | 79  |
| FIGURA 28 - SÉRIE DE FLUXO VOLUMÉTRICO DE GÁS DE FEVEREIRO À MAIO. ....                                                                 | 81  |
| FIGURA 29 - PRECIPITAÇÃO E TAXA DE EBULIÇÃO (DE FEVEREIRO À MARÇO). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                                 | 82  |
| FIGURA 30- PRECIPITAÇÃO E TAXA DE EBULIÇÃO (MARÇO À ABRIL). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                                         | 82  |
| FIGURA 31 - PRECIPITAÇÃO E TAXA DE EBULIÇÃO (DE ABRIL À MAIO). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                                      | 82  |
| FIGURA 32 - PRECIPITAÇÃO E TAXA DE EBULIÇÃO (MAIO). MÉDIAS DIÁRIA.....                                                                  | 83  |
| FIGURA 33 - TEMPERATURA E TAXA DE EBULIÇÃO (DE FEVEREIRO À MARÇO). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                                  | 83  |
| FIGURA 34 - TEMPERATURA E TAXA DE EBULIÇÃO (DE MARÇO À ABRIL). MÉDIAS DIÁRIA.....                                                       | 84  |
| FIGURA 35 - TEMPERATURA E TAXA DE EBULIÇÃO (ABRIL). MÉDIAS DIÁRIA.....                                                                  | 84  |
| FIGURA 36 - TEMPERATURA E TAXA DE EBULIÇÃO (MAIO). MÉDIAS DIÁRIA.....                                                                   | 84  |
| FIGURA 37 - PRESSÃO E TAXA DE EBULIÇÃO (DE FEVEREIRO À MARÇO). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                                      | 85  |
| FIGURA 38 - PRESSÃO E TAXA DE EBULIÇÃO (DE MARÇO À ABRIL). MÉDIAS DIÁRIA.....                                                           | 85  |
| FIGURA 39 - PRESSÃO E TAXA DE EBULIÇÃO (ABRIL). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                                                     | 86  |
| FIGURA 40 - PRESSÃO E TAXA DE EBULIÇÃO (MAIO). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                                                      | 86  |
| FIGURA 41 - VELOCIDADE DO VENTO E TAXA DE EBULIÇÃO (DE FEVEREIRO À MARÇO). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                          | 87  |
| FIGURA 42 - VELOCIDADE DO VENTO E TAXA DE EBULIÇÃO (DE MARÇO À ABRIL). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                              | 87  |
| FIGURA 43 - VELOCIDADE DO VENTO E TAXA DE EBULIÇÃO (ABRIL). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                                         | 87  |
| FIGURA 44 - VELOCIDADE DO VENTO E TAXA DE EBULIÇÃO (MAIO). MÉDIAS DIÁRIA. ....                                                          | 88  |
| FIGURA 45 - TEMPERATURA X EBULIÇÃO. REGRESSÃO LINEAR COM $R^2 = 0,6348$ .....                                                           | 90  |
| FIGURA 46- PRESSÃO X EBULIÇÃO. REGRESSÃO LINEAR COM $R^2=0,2318$ . ....                                                                 | 90  |
| FIGURA 47 - TEMPERATURA MÉDIA DA ESTAÇÃO TECPAR E DE SATÉLITE. DADOS DE FEVEREIRO À MARÇO DE 2017. ....                                 | 91  |
| FIGURA 48 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE TEMPERATURA OBTIDA DE UMA ESTAÇÃO CLIMÁTICA E UM SATÉLITE. REGRESSÃO LINEAR COM $R^2= 0,9108$ . .... | 91  |
| FIGURA 49- GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO ASSIS NO ANO DE 2015.....                                                                 | 101 |
| FIGURA 50 - GRÁFICO DA TEMPERATURA NO ANO DE 2015 DA ESTAÇÃO ASSIS.....                                                                 | 101 |
| FIGURA 51 - GRÁFICO DA VELOCIDADE DO VENTO O ANO DE 2015 DA ESTAÇÃO ASSIS. ....                                                         | 101 |
| FIGURA 52- GRÁFICO DA TEMPERATURA SEM E COM CORREÇÃO, ANO DE 2015. ....                                                                 | 102 |
| FIGURA 53-FIGURA 15- GRÁFICO DA VELOCIDADE DO VENTO SEM E COM CORREÇÃO, ANO DE 2015.....                                                | 103 |
| FIGURA 54- GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO SEM E COM CORREÇÃO, ANO DE 2015. ....                                                                | 103 |
| FIGURA 55- GRÁFICO DA TEMPERATURA SEM E COM CORREÇÃO, ANO DE 2016. ....                                                                 | 104 |
| FIGURA 56- GRÁFICO DA VELOCIDADE DO VENTO SEM E COM CORREÇÃO, ANO DE 2016. ....                                                         | 105 |
| FIGURA 57- GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO SEM E COM CORREÇÃO, ANO DE 2016. ....                                                                | 105 |
| FIGURA 58- GRÁFICO DA TEMPERATURA NOS ANOS DE 2015 E 2016.....                                                                          | 106 |
| FIGURA 59- GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MENSALMENTE NOS ANOS DE 2015 E 2016.....                                                   | 106 |
| FIGURA 60- GRÁFICO DA VELOCIDADE DO VENTO NOS ANOS DE 2015 E 2016. ....                                                                 | 107 |

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| FIGURA 61- GRÁFICO DA TEMPERATURA, VELOCIDADE DO VENTO, PRECIPITAÇÃO ACUMULADA E PRESSÃO NO ANO DE 2017..... | 107 |
| FIGURA 62- TEMPERATURA NO ANO DE 2015 E 2016. ....                                                           | 108 |
| FIGURA 63- VELOCIDADE DO VENTO NO ANO DE 2015 E 2016. ....                                                   | 108 |
| FIGURA 64- PRESSÃO NO ANO DE 2015 E 2016. ....                                                               | 109 |
| FIGURA 65- MÉDIAS DE TEMPERATURA, VELOCIDADE DO VENTO E PRESSÃO DA ESTAÇÃO TECPAR NO ANO DE 2017. ....       | 109 |
| FIGURA 66- GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 2015 DA ESTAÇÃO SANEPAR.....                                 | 110 |
| FIGURA 67- GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 2016 DA ESTAÇÃO SANEPAR.....                                 | 110 |
| FIGURA 68- GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 2017 DA ESTAÇÃO SANEPAR.....                                 | 111 |
| FIGURA 69- GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 2015 DA ESTAÇÃO COLÔNIA DOM PEDRO. ....                      | 112 |
| FIGURA 70- GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 2016 DA ESTAÇÃO COLÔNIA DOM PEDRO. ....                      | 112 |
| FIGURA 71- GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 2017 DA ESTAÇÃO COLÔNIA DOM PEDRO. ....                      | 113 |
| FIGURA 72 - GRÁFICO TEMPERATURA X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                          | 114 |
| FIGURA 73 - GRÁFICO TEMPERATURA X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 1 HORA. ....                            | 114 |
| FIGURA 74 - GRÁFICO TEMPERATURA X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                          | 115 |
| FIGURA 75 - GRÁFICO TEMPERATURA X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 1 HORA. ....                            | 115 |
| FIGURA 76 - GRÁFICO TEMPERATURA X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                          | 115 |
| FIGURA 77 - GRÁFICO TEMPERATURA X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 1 HORA. ....                            | 116 |
| FIGURA 78 - GRÁFICO TEMPERATURA X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 1 HORA. ....                            | 116 |
| FIGURA 79 - GRÁFICO PRESSÃO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                              | 117 |
| FIGURA 80 - GRÁFICO PRESSÃO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 1 HORA. ....                                | 117 |
| FIGURA 81 - GRÁFICO PRESSÃO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                              | 118 |
| FIGURA 82 - GRÁFICO PRESSÃO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                              | 118 |
| FIGURA 83 - GRÁFICO PRESSÃO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 1 HORA. ....                                | 118 |
| FIGURA 84 - GRÁFICO PRESSÃO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                              | 119 |
| FIGURA 85 - GRÁFICO PRESSÃO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 1 HORA. ....                                | 119 |
| FIGURA 86 - GRÁFICO VELOCIDADE DO VENTO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                  | 120 |
| FIGURA 87 - GRÁFICO VELOCIDADE DO VENTO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 1 HORA.....                     | 120 |
| FIGURA 88 - GRÁFICO VELOCIDADE DO VENTO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                  | 121 |
| FIGURA 89 - GRÁFICO VELOCIDADE DO VENTO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                  | 121 |
| FIGURA 90 - GRÁFICO VELOCIDADE DO VENTO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 1 HORA.....                     | 121 |
| FIGURA 91 - GRÁFICO VELOCIDADE DO VENTO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 5 MINUTOS.....                  | 122 |
| FIGURA 92 - GRÁFICO VELOCIDADE DO VENTO X EBULIÇÃO COM INTERVALO DE TEMPO DE 1 HORA.....                     | 122 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DO VENTO, DE ACORDO COM A ESCALA BEAUFOR QUE LEVA EM CONTA A VELOCIDADE DE VENTO MEDIDA. FONTE: (WMO, 2008). ..... | 31 |
| TABELA 2- GASES DE EFEITO ESTUFA E SEU POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL. FONTE: IPCC (2007). .....                                           | 36 |
| TABELA 3- QUANTIDADE MÉDIA DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO E METANO DE RESERVATÓRIOS. FONTE: UNESCO/IHA (2010). .....                     | 39 |
| TABELA 4- PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A EMISSÃO DE METANO. FONTE (IHA, 2010). .....                                                          | 41 |
| TABELA 5- LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS. ....                                                                                        | 45 |
| TABELA 6 - PRECISÃO E ALCANCE DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA. FONTE: (OREGON SCIENTIFIC, MANUAL). ....                                            | 48 |
| TABELA 7- LIMITES DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS. ....                                                                                            | 52 |
| TABELA 8- ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS E SUAS CARACTERÍSTICAS. ....                                                                                 | 53 |
| TABELA 9 - VARIÁVEIS AMBIENTAIS DISPONÍVEIS NO ANO DE 2015. ....                                                                            | 55 |
| TABELA 10- VARIÁVEIS AMBIENTAIS NO ANO DE 2016. ....                                                                                        | 55 |
| TABELA 11- VARIÁVEIS AMBIENTAIS NO ANO DE 2017. ....                                                                                        | 56 |
| TABELA 12 - DADOS CLIMÁTICOS COM MÉDIAS DIÁRIAS. FONTE: ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ASSIS. ....                                                   | 57 |
| TABELA 13- ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS DO ANO DE 2015 DA ESTAÇÃO ASSIS. ....                                                          | 57 |
| TABELA 14- ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS DO ANO DE 2015 DA ESTAÇÃO VERDE. ....                                                          | 58 |
| TABELA 15- ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS DO ANO DE 2016 DA ESTAÇÃO VERDE. ....                                                          | 58 |
| TABELA 16- MÉDIA ANUAL E MENSAL DA TEMPERATURA NOS ANOS DE 2015 , 2016 E 2017 DA ESTAÇÃO INMET. ....                                        | 59 |
| TABELA 17- MÉDIA ANUAL E MENSAL DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA NOS ANOS DE 2015 , 2016 E 2017 DA ESTAÇÃO INMET. ....                             | 59 |
| TABELA 18- MÉDIA ANUAL E MENSAL DA VELOCIDADE DO VENTO NOS ANOS DE 2015, 2016 E 2017 DA ESTAÇÃO INMET. ....                                 | 60 |
| TABELA 19- MÉDIAS ANUAIS E MENSAIS DA PRESSÃO NO ANO DE 2017 DA ESTAÇÃO INMET. ....                                                         | 60 |
| TABELA 20- MÉDIA ANUAL E MENSAL DA TEMPERATURA NOS ANOS DE 2015 E 2016 DA ESTAÇÃO TECPAR. ....                                              | 60 |
| TABELA 21- MÉDIA ANUAL E MENSAL DA VELOCIDADE DO VENTO NOS ANOS DE 2015 E 2016 DA ESTAÇÃO TECPAR. ....                                      | 61 |
| TABELA 22- MÉDIA ANUAL E MENSAL DA PRESSÃO NOS ANOS DE 2015 E 2016 DA ESTAÇÃO TECPAR. ....                                                  | 61 |
| TABELA 23- TOTAL ACUMULADO MENSAL E ANUAL E MÉDIA ANUAL DA PRECIPITAÇÃO EM 2015 , 2016 E 2017 DA ESTAÇÃO SANEPAR. ....                      | 62 |
| TABELA 24- ACUMULADO MENSAL E ANUAL E MÉDIA ANUAL DA PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO COLÔNIA DOM PEDRO. ....                                        | 62 |
| TABELA 25- MÉDIA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET, ASSIS, SANEPAR E COLÔNIA DOM PEDRO NO ANO DE 2015. ....                  | 67 |

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABELA 26 -MÉDIA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET, ASSIS, SANEPAR E COLÔNIA DOM PEDRO NO ANO DE 2016. .... | 67  |
| TABELA 27- MÉDIA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO DAS ESTAÇÕES INMET, SANEPAR E COLÔNIA DOM PEDRO NO ANO DE 2017.....                | 69  |
| TABELA 28- MÉDIA MENSAL DA TEMPERATURA DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET, ASSIS E TECPAR NO ANO DE 2015. ....                      | 72  |
| TABELA 29- MÉDIA MENSAL DA TEMPERATURA DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET E TECPAR NO ANO DE 2016....                               | 73  |
| TABELA 30-MÉDIA MENSAL DA TEMPERATURA DAS ESTAÇÕES INMET E TECPAR NO ANO DE 2017. ....                                     | 74  |
| TABELA 31- MÉDIA MENSAL DA VELOCIDADE DO VENTO DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET, ASSIS E TECPAR NO ANO DE 2015.....               | 75  |
| TABELA 32- MÉDIA MENSAL DA VELOCIDADE DO VENTO DAS ESTAÇÕES VERDE, INMET E TECPAR NO ANO DE 2016. ....                     | 76  |
| TABELA 33- MÉDIA MENSAL DA VELOCIDADE DO VENTO DAS ESTAÇÕES INMET E TECPAR NO ANO DE 2017..                                | 76  |
| TABELA 34- MÉDIA MENSAL DA PRESSÃO DAS ESTAÇÕES ASSIS E TECPAR NO ANO DE 2015. ....                                        | 77  |
| TABELA 35- MÉDIA MENSAL DA PRESSÃO DA ESTAÇÃO TECPAR NO ANO DE 2016. ....                                                  | 79  |
| TABELA 36- MÉDIA MENSAL DA PRESSÃO DAS ESTAÇÕES INMET E TECPAR NO ANO DE 2017. ....                                        | 79  |
| TABELA 37- ESTAÇÕES ESCOLHIDAS PARA O ESTUDO. ....                                                                         | 80  |
| TABELA 38 - DADOS CLIMÁTICOS. FONTE: ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ASSIS.....                                                      | 100 |
| TABELA 39- ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO ASSIS NO ANO DE 2015.....                                    | 100 |
| TABELA 40- ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DA TEMPERATURA NO ANO DE 2015. ....                                                     | 103 |
| TABELA 41- ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DA VELOCIDADE DO VENTO NO ANO DE 2015.....                                              | 103 |
| TABELA 42- ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NO ANO DE 2015. ....                                                    | 104 |
| TABELA 43- ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DA TEMPERATURA NO ANO DE 2016. ....                                                     | 104 |
| TABELA 44- ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DA VELOCIDADE DO VENTO NO ANO DE 2016.....                                              | 105 |
| TABELA 45- ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NO ANO DE 2016. ....                                                    | 105 |

## INTRODUÇÃO

Devido ao elevado número de reservatórios que vem sendo criados recentemente para abastecer a população e para gerar energia, surgiram estudos que apontam que a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes de reservatórios, estão contribuindo para o aquecimento global, visto que produz dois dos gases mais prejudiciais ao efeito estufa: o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (ST LOUIS et al., 2000).

O Efeito Estufa é um processo natural responsável por aquecer o Planeta Terra, deixando o clima mais ameno e permitindo que haja vida na Terra. Porém, o aumento de gases na atmosfera tem intensificado esse efeito, causando o chamado Aquecimento Global (BAIRD, 2002).

Um reservatório passa a emitir GEE após a inundação da área, fazendo com que as plantas terrestres que ali estavam parem de capturar dióxido de carbono por fotossíntese, o que gera um acúmulo de  $\text{CO}_2$  na atmosfera e um desequilíbrio na região. Então, inicia-se um processo anaeróbico no fundo do reservatório que vai decompor o carbono orgânico que estava nas plantas e no solo, e que irá emitir dois importantes GEE, o  $\text{CO}_2$  e o  $\text{CH}_4$  (ST LOUIS et al., 2000).

Com a sedimentação no fundo do reservatório, os gases liberados são inicialmente dissolvidos na água e se agregam às bolhas, que sobem e deixam a superfície aquática. Existem 4 maneiras de se transportar gases na água: a ebulição, a difusão, o fluxo de armazenamento e o fluxo através da vegetação aquática, sendo a ebulição a mais significativa por levar cerca de 40 a 60% do total de gases (Bastviken, D. 2004). Além disso, o estudo da ebulição é importante também pela dificuldade de se fazer medições, por ser fenômeno muito variável.

Existem algumas técnicas para capturar os gases liberados, sendo a difusão e a ebulição os transportes mais comuns já estudados. Na difusão há 4 principais métodos: *Surface Floating Chambers* (câmaras flutuantes), *Eddy Covariance Towers*, BLE ou Equação da camada limite e *Thin Boundary Layer* (TBL). Na ebulição o funil invertido é o método mais confiável e simplificado. Este é o método escolhido neste projeto (IHA, 2010).

A emissão do metano pode variar entre cada região, por isso, é importante identificar alguns parâmetros para ter conhecimento do comportamento climático do local do reservatório e verificar se este é vulnerável a uma elevada emissão de GEE. Os parâmetros primários levam em consideração a quantidade biológica do processo, como a decomposição de matéria orgânica, respiração, bactérias e oxidação do  $\text{CH}_4$ . Por sua vez, os parâmetros secundários levam em conta a troca de gás entre a atmosfera e o reservatório, como: Velocidade e direção do vento, forma do reservatório, chuva, profundidade da água, pressão e outros (International Hydropower Association (IHA), 2010).

Os dados meteorológicos são obtidos através de estações automáticas ou convencionais, que fazem medições em tempo real. O estudo destas variáveis é de extrema importância para fazer análises climáticas, para prevenções e para o estudo do clima e de uma bacia hidrográfica. Para iniciar o estudo hidrológico de uma região faz-se uma análise das séries históricas das estações climatológicas, pluviométricas e fluviométricas (Chibana et al., 2005). As análises preliminares feitas nas séries históricas consistem no preenchimento de falhas e na verificação da consistência, ou seja, do grau de homogeneidade dos dados disponíveis em uma estação de coleta com relação às observações registradas em estações vizinhas (Bertoni & Tucci, 2007 e Lemos Filho, 2007).

De acordo com (Chibana et al., 2005) existem vários métodos que podem ser utilizados para preenchimento de falhas de dados meteorológicos, incluindo a utilização de médias de dados observados. Bertoni & Tucci (2007) apresentam várias metodologias empregadas no preenchimento de falhas. Existem dois importantes motivos para se fazer o controle de qualidade dos dados obtidos de uma estação: (i) para garantir uma informação meteorológica segura; (ii) para detectar e resolver problemas de manutenção da estação e de calibração dos sensores (Doraiswamy et al., 2000).

O Reservatório Passaúna está localizado no estado do Paraná, e o projeto visa entender se os fatores ambientais estão contribuindo na emissão dos Gases de Efeito Estufa provenientes de reservatórios, com foco na Ebulição do Gás Metano. As variáveis que serão analisadas neste estudo são velocidade do vento, temperatura do ar, pressão atmosférica e precipitação.

Para isso, foi adquirida uma estação meteorológica automática da marca Oregon, que foi instalada próxima à barragem do reservatório, e que faz medições de temperatura do ar, pressão, precipitação, velocidade do vento e outros. Além destes dados, foi analisado medições de outras estações que se encontram próximas ao reservatório, desde o ano de 2015 até 2017.

O material utilizado para coletar os gases de Ebulição do Metano é o *Automated Bubble Trap (ABT)* ou armadilha automática para bolhas, um funil importado da Alemanha que fica submerso na água coletando as bolhas de gases vindas do sedimento de fundo fazendo a leitura da pressão, da temperatura e do volume de gás. São realizadas visitas de campo pelo menos uma vez ao mês para coletar estes dados e fazer a manutenção do funil, pelo âmbito do projeto SeWaMa, que visa estudar abordagens inovadoras para o futuro manejo de sedimentos e águas no Brasil. Seu principal objetivo é estudar e abranger os problemas de sedimentação em reservatórios, produção de GEE e os aspectos de qualidade da água e mudanças no uso de terras nas bacias de captação de reservatórios brasileiros.

A partir deste estudo, espera-se entender as causas da variabilidade de ebulição sem se aprofundar detalhadamente no processo, onde possa se fazer uma correlação com processos meteorológicos.

## 1 OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar dados meteorológicos de diferentes fontes e comparar estas variáveis ambientais com a emissão de ebulição de gás do reservatório Passaúna.

### 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Coletar dados ambientais do reservatório do Passaúna;
- Analisar os dados meteorológicos e selecionar os mais relevantes;
- Fazer uma análise estatística;
- Correlacionar os dados ambientais com dados de emissão de ebulição;

## 2 REVISAO BIBLIOGRAFICA

Neste capítulo são abordados de forma explicativa sobre dados meteorológicos, como obter e quais variáveis serão estudadas. Depois, é descrito como funciona a criação de um reservatório, os gases de Efeito Estufa liberados e seus meios de transporte, com foco na ebulição.

### 2.1 DADOS METEOROLÓGICOS

Observar dados meteorológicos é fundamental para fazer análises climáticas em tempo real, para prevenções, para o estudo do clima de uma determinada região, para hidrologia, para a agricultura e para pesquisas em meteorologia e climatologia (WMO, 2008).

Uma estação meteorológica automática (EMA) é um instrumento que coleta informações ambientais locais. A coleta de dados é feita através de sensores para medição dos parâmetros meteorológicos a serem observados. O sistema de armazenamento é composto por um processador central de baixo consumo de energia (*datalogger*), que mantém os dados medidos por um período especificado (INMET, 2011).

Uma estação meteorológica convencional (EMC) é composta de vários sensores isolados que registram continuamente as variáveis ambientais, e que são lidas e anotadas por um observador a cada intervalo, que os envia a um centro coletor.

O órgão responsável em prover informações meteorológicas no Brasil é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que faz a coleta de dados e divulga de forma gratuita e em tempo real. Atualmente existem mais de 400 estações sendo administradas, com 10 Distritos Regionais que recebem, processam e enviam estes dados para a Sede, em Brasília-DF. A sede, por sua vez, processa estes dados e os enviam por satélites para todo o mundo. Os principais parâmetros medidos são: precipitação, ventos, umidade relativa do ar, pressão e etc, onde os dados são coletados de minuto em minuto e integrados de hora em hora, disponibilizados no site. O banco de dados no INMET possui informações diárias desde 1961. Em

Curitiba existe apenas uma estação controlada pelo INMET, a uma distância de aproximadamente 20 km do Reservatório Passaúna ([INMET](#)).

Além do Inmet, outras instituições públicas possuem também redes para atender demandas específicas, como é o caso da Força Aérea e da Marinha e do Centro de Pesquisas e de Estudos Climáticos e do Tempo. Igualmente, empresas públicas estaduais e privadas vêm ampliando suas redes de observação, aumentando assim a rede brasileira de estações meteorológicas. Apesar desse grande esforço conjugado, a escassez de observações e a má distribuição espacial ainda são as principais limitações aos estudos do tempo e do clima no Brasil ([INMET](#)).

Os modelos físicos-matemáticos, simulam o comportamento futuro da atmosfera e permitem que os meteorologistas façam previsão de tempo com dias de antecedência com uma alta resolução. Esses modelos desenvolvidos, em geral, a partir de dados históricos disponíveis são avaliados em função da capacidade que apresentam para gerar dados com estatísticas similares às observadas nos dados históricos (Oliveira et al., 2005). Então, considera-se que a aplicação da modelagem no preenchimento de falhas pode ser uma ferramenta útil nos estudos de gestão de recursos hídricos, facilitando o conhecimento do comportamento hidrológico (Barnetche & Kobiyama, 2006).

Além dos modelos, é possível obter dados meteorológicos através da Reanálise, uma abordagem sistemática que produz um conjunto de dados para monitoramento e pesquisa climática. As reanálises são criadas através de um esquema de assimilação de dados "congelados" e modelos que analisam todas as observações disponíveis durante o período analisado. Esta estrutura invariável fornece uma estimativa dinamicamente consistente do clima em cada etapa do tempo (Dee, et al., 2016). Outra alternativa para busca de dados meteorológicos quando não houver estações na região é a busca por dados de satélites.

O uso de estações meteorológicas de baixo custo vem aumentando no mundo, devido a recente produção em massa de estações climáticas acessíveis e fáceis de usar. A diferença entre uma estação meteorológica profissional e uma de baixo custo é que a primeira é regularmente sujeita a freqüentes calibrações, usando equipamentos especializados. Uma estação de baixo custo será confiável e pode ser

utilizada como base de dados se os resultados condizerem com a realidade, ou seja, com um grau de incerteza baixo (Bell, Conford & Bastin, 2013).

Para iniciar o estudo hidrológico de uma região faz-se uma análise das séries históricas das estações climatológicas, pluviométricas e fluviométricas (Chibana et al., 2005). As análises preliminares a serem feitas nas séries históricas consistem no preenchimento de falhas e na verificação da consistência, ou seja, do grau de homogeneidade dos dados disponíveis em uma estação de coleta com relação às observações registradas em estações vizinhas (Bertoni & Tucci, 2007 e Lemos Filho et al., 2007).

Para pesquisas científicas esses dados são gravados em uma larga escala de tempo e requer uma análise de qualidade. Existem dois importantes motivos para se fazer o controle de qualidade dos dados obtidos de uma estação: (i) para garantir uma informação meteorológica segura; (ii) para detectar e resolver problemas de manutenção da estação e de calibração dos sensores (Doraiswamy et al., 2000).

Em geral, dados meteorológicos são importantes para se fazer avaliações climáticas e para fazer decisões relacionadas com o clima (Estévez, Gavilán, & Giraldez, 2011).

Em particular, a estação usada deve ser de interesse próprio, ou seja, é interesse do usuário decidir a escala de tempo e de espaço, a acurácia, a qualidade e a característica do dado. Já o local de instalação deve ser levado em consideração as especificações da Organização Mundial de Meteorologia (*World meteorological organization*) para resultados melhores e com pouca interferência (WMO, 2008).

Todas as estações climáticas devem ser constantemente inspecionadas, pelo menos a cada dois anos. Dados meteorológicos para a agricultura e estações especiais devem assegurar que a manutenção e o correto funcionamento dos instrumentos estão sempre em dia.

Os principais requisitos para utilizar os instrumentos de meteorologia são: incerteza, confiabilidade e estabilidade, durabilidade, custo aceitável do instrumento e simplicidade de design. O local de instalação também é muito relevante pois a conveniência de operação facilita na manutenção, visto que o instrumento se mantém funcionando por anos (WMO, 2008).

As variáveis ambientais medidas por estações meteorológicas automáticas são: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho,

pressão atmosférica, velocidade do vento, direção do vento, intensidade da rajada do vento, radiação solar e precipitação acumulada no período. Para este projeto serão estudados a temperatura do ar, a velocidade do vento, a pressão e a precipitação, pois são parâmetros que influenciam na Ebulição do Metano.

### 2.1.1 Temperatura do ar

A WMO (1992) define temperatura como uma qualidade física que caracteriza o movimento aleatório médio de moléculas em um corpo físico. A temperatura é caracterizada pelo comportamento pelo qual dois corpos em contato térmico tendem a uma temperatura igual. Assim, esta representa o estado termodinâmico de um corpo, e o seu valor é determinado pela direção do fluxo líquido de calor entre dois corpos.

Para propósitos meteorológicos, a variável mais comum medida é a temperatura do ar, WMO (1992). A unidade mais utilizada para propósitos meteorológicos é em graus Celsius, onde um grau Celsius equivale a 273,16 Kelvin (WMO, 2008).

Os sensores devem ser montados a uma altura dentro de 1,25m a 10m. As principais discrepâncias são causadas por superfícies e sombreamento não naturais, como obstáculos ao redor da estação que influenciam o equilíbrio de radiação, as superfícies naturais ou artificiais podem ser fontes de calor ou superfícies refletoras (por exemplo, edifícios, superfícies de cimento, fontes de água como lagoas). Assim, a estação deve estar numa superfície horizontal e num espaço aberto, com vegetação menor que 10cm e com mais de 10m de distância de fontes de calor ou superfícies reflectoras (WMO, 2008).

### 2.1.2 Precipitação

A chuva é um dos elementos meteorológicos de maior variabilidade tanto no período de ocorrência como na intensidade. Em geral, o problema mais representativo é particularmente fazer as medidas de precipitação. O vento é a maior fonte de perturbação em medições de precipitação, devido ao efeito do instrumento no ar. Os obstáculos também são um problema, visto que eles são propensos a gerar turbulência que distorce as medidas. A altura do equipamento não influencia na medição, mas deve estar numa altura suficiente do solo para que não respingue gotas que caem na superfície, além disso, deve estar instalado em uma área aberta e horizontal livre de obstáculos (WMO, 2008).

Precipitação é definido como líquido ou sólido produtos da condensação do vapor d'água caindo de nuvens para o chão. Inclui chuva, granizo, neve, orvalho, geada e precipitação de nevoeiro. A quantidade total de precipitação que chega ao chão em um certo período de tempo é expressada em termos de profundidade vertical da água (ou equivalente de água em casos de formas sólidas) para que cubra uma projeção horizontal da superfície da Terra (WMO, 2008).

Os efeitos do vento no entorno da estação pode originar excessos e déficits na precipitação, dentro desse aspecto, o indicado é que não haja objetos próximos do medidor a uma distância de duas vezes a altura acima do orifício de medição. As melhores medições são feitas em clareira dentro de florestas ou pomares, ou entre objetos que atuem como obstrutor de ventos. De preferência, os efeitos do vento podem ser reduzidos usando um medidor no mesmo nível que a altura da vegetação. Em áreas abertas, pode-se simular este efeito usando uma cerca como estrutura (WMO, 2008).

O instrumento mais comum usado para medir a precipitação consiste em um coletor situado em cima de um funil onde a água acumula e é medida. Diferentes formatos de medidores são usados no mundo, como mostrado na Figura 1, onde as linhas simulam a direção do vento e as linhas pontilhadas a trajetória da precipitação. O primeiro indicador mostra o maior campo de vento de deformação acima do orifício do medidor, e o último indicador o menor. Conseqüentemente, o vento induz um erro maior para o primeiro indicador do que para o último.

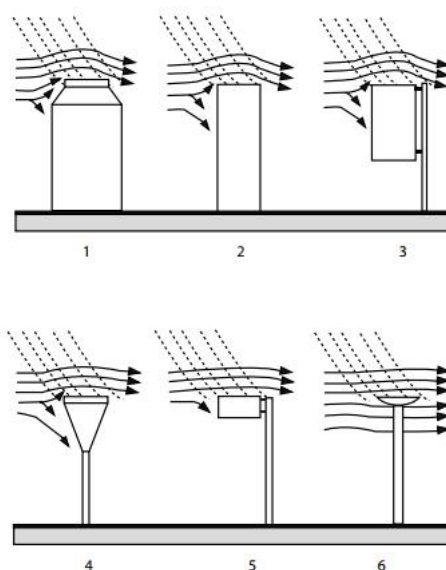


Figura 1- Diferentes formatos de medidores de precipitação. Fonte: (WMO, 2008).

### 2.1.3 Vento

A velocidade do vento é medida como um vetor tridimensional com pequenas flutuações no espaço e no tempo. O vento da superfície será considerado principalmente como um vetor especificado por dois números que representam a direção e a velocidade do vento. Quando o vento é caracterizado por flutuações rápidas, este é chamado de rajada, se durar mais que 1 minuto é chamado de rajada longa. A rajada máxima é a velocidade máxima observada durante um intervalo de tempo especificado. A Tabela 1 mostra as especificações do vento segundo sua velocidade. Estatísticas climáticas normalmente requer médias a cada hora, dia e noite (Mazzarella, 1972).

Tabela 1 - Classificação do vento, de acordo com a escala Beaufor que leva em conta a velocidade de vento medida. Fonte: (WMO, 2008).

| Número da escala de Beaufor | Velocidade do vento equivalente a uma altura padrão de 10m acima do chão plano e aberto (km/h) | Especificações                  |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 0 Calmo                     | <1                                                                                             | Calmo                           |
| 1 Ar leve                   | 1-5                                                                                            | Direção do vento já é detectada |
| 2 Brisa leve                | 6-11                                                                                           | Sensação de vento no rosto      |
| 3 Brisa gentil              | 12-19                                                                                          | Folhas em constante movimento   |
| 4 Brisa moderada            | 20-18                                                                                          | Pequenos ramos em movimento     |
| 5 Brisa fresca              | 29-38                                                                                          | Árvores pequenas se movimentam  |
| 6 Brisa forte               | 39-49                                                                                          | Grandes ramos em movimento      |
| 10 Tempestade               | 89-102                                                                                         | Considerável dano em estruturas |
| 11 Tempestade violenta      | 103-117                                                                                        | Dano generalizado               |
| 12 Furacão                  | 118 para cima                                                                                  | Muito danoso                    |

As regras de elevação convencionais estipulam que os sensores devem ser colocados a 10m acima do nível da superfície do solo e em terreno aberto. Um terreno aberto representa uma superfície onde os obstáculos estão situados a pelo menos 10m a altura deles. Na prática, muitas vezes é difícil encontrar um local aceitável para uma estação de vento, por isso, nem sempre são cumprido as diretrizes universais. Existem dois aspectos importantes a se considerar. Primeiro, os sensores devem estar longe de locais com obstruções. Segundo, o local situado deve ser bem documentado, ou seja, deve haver pelo menos um mapa documentando os obstáculos e a vegetação, assim como a altitude, elevação do terreno e assim por diante. Por último, as medidas do vento são perturbadas não apenas pelos obstáculos circundantes mas como pela rugosidade do terreno. Portanto, a rugosidade em torno do equipamento deve ser documentada e usada para converter o vento de medição para o vento de referência, mas este procedimento só pode ser aplicado quando os obstáculos não estão perto (WMO, 2008).

#### 2.1.4 Pressão Atmosférica

A pressão atmosférica numa superfície é a força por unidade de área exercida em virtude do peso da atmosfera sobre ele. Portanto, a pressão é igual ao peso de uma coluna vertical do ar sobre o projeção horizontal da Terra, estendendo-se ao limite externo da atmosfera (WMO, 2008).

A unidade básica de pressão atmosférica é o pascal (Pa) (ou newton por metro quadrado). A escala de todos dos barômetros usados em meteorologia deveriam estar graduados em hPa. Alguns podem ser encontrados como "milímetros de mercúrio" (mmHg). Sob estas condições, algumas conversões devem ser feitas:

$$1\text{hPa}=0,750062(\text{mmHg})$$

$$1(\text{mmHg})=1,333224\text{hPa}$$

Para fins meteorológicos, a pressão atmosférica é medida com barômetros eletrônicos ou barômetros de mercúrio. O barômetro eletrônico faz medições do espaço em volta do medidor, que em geral, deve ser programado para fazer leituras no nível do instrumento. Normalmente, estes equipamentos eletrônicos fazem leituras acuradas, na escala de hPa, mas são adaptados para outras unidades também (WMO, 2008).

A acurácia do barômetro depende da calibração, da efetividade de compensação de temperatura do equipamento (medição de temperatura e correção, o uso de termostato) e o intervalo de medição.

É importante que o local de instalação do barômetro seja selecionado com muito cuidado. Os principais requisitos do local de exposição são: uma temperatura uniforme, boa luminosidade, montagem sólida e bem posicionada na vertical e a proteção contra possíveis manipulações bruscas. Deve-se notar que os efeitos do vento afetam todos os tipos de barômetros (Liu and Darkow, 1989). Um medidor não irá fazer uma correta leitura se este é influenciado pelo vento, pois esta irá flutuar conforme a velocidade e direção do vento.

### 2.1.5 Consistência das medições

A análise de consistência de dados é relevante para assegurar a acurácia das medições e concluir se os dados utilizados estão corretos.

O controle de qualidade dos dados é o melhor componente para se manter a qualidade do sistema de gerenciamento, que consiste na examinação dos dados nas estações climáticas e centros de dados com o objetivo de detectar erros. Existem diferentes métodos que podem ser aplicados como: manutenção da estação periodicamente, validação dos dados usando análises estatísticas e pelo sensor de calibração (Estévez, Gavilán, & Giraldez, 2011). De acordo com Chibana (2005) existem vários métodos que podem ser utilizados para preenchimento de falhas de dados meteorológicos, incluindo-se a utilização de médias de dados observados. Bertoni & Tucci (2007) apresentam várias metodologias empregadas no preenchimento de falhas.

A característica do instrumento também pode causar incerteza nas medições, visto que se deve analisar a sensibilidade (a mudança na resposta de uma medida quando recebido um estímulo), a discriminação (a habilidade do instrumento de responder a pequenas mudanças), a resolução (capacidade do dispositivo de distinguir de forma significativa entre valores próximos) e a estabilidade (habilidade do instrumento de manter as características climáticas constantes com o tempo) (WMO, 2008).

O INMET, órgão responsável em prover informações meteorológicas no Brasil, faz uma média ponderada da variável para substituir valores inconsistentes, como representada pela fórmula:

$$X_{ij} = \sum_k X_{kij} / N$$

Sendo,  $X_{kij}$  o valor observado da variável  $X$  no dia  $k$ , do mês  $i$ , do ano  $j$  e  $N$  é o número de dias no mês  $i$  do ano  $j$ .

## 2.2 RESERVATÓRIO

Um reservatório é uma área de terra que foi alagada com foco em geração de energia. Há também muitos reservatórios que estão sendo criados para controlar inundações de rios, abastecimento de cidades, irrigação, navegação, recreação e o desenvolvimento da aquicultura (ICOLD, 1998). No Brasil, o grande número de reservatórios se deve à geração de energia elétrica, que em 2011 produziu 81,9 % dos 531,8 TWh de energia em hidrelétrica (EPE, 2008).

Na Figura 2 mostra a representação do ciclo do carbono em ambientes aquáticos e a emissão de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , de forma natural.

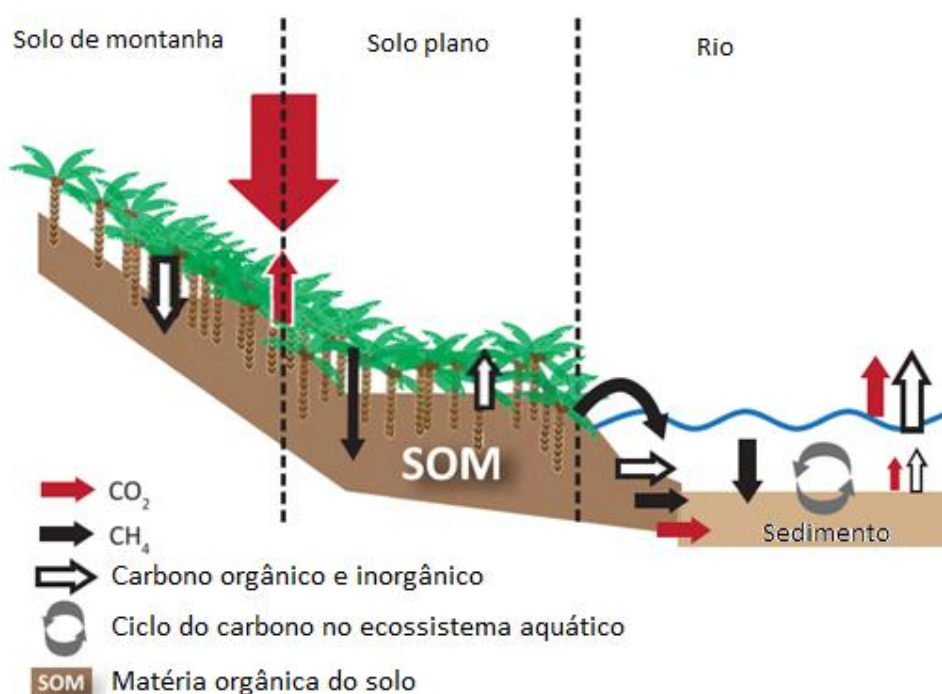


Figura 2 - Emissão natural de dióxido de carbono e metano. Fonte: (Conrad 1989 and Cole et al 2007).

Se por um lado, a construção dessas gigantescas obras para criação de reservatórios gera energia elétrica renovável, não poluente e mais barata, ao mesmo tempo proporciona formas de uso dos recursos hídricos (como o turismo, lazer, esporte, e outros), estas instalações, por menor que sejam, resultarão num stress do ciclo hidrológico que alterará o equilíbrio antes estabelecido (Albuquerque Filho et

al., 2010). Com referência ao meio físico e biótico, algumas situações podem ser citadas: a vazão do rio é alterada no tempo e no espaço, há alteração nas taxas de evaporação regionais, o microclima da área sofrerá com sensíveis mudanças, é estabelecida uma nova estratificação térmica na coluna d'água, as espécies de seres aquáticos sofrem expressivas modificações (como movimentos migratórios), e assim por diante (Canter, 1990). Segundo Mello (1999), a Comissão Mundial de Barragens (*World Commission on Dams*) constatou que existem 800.000 reservatórios ao redor do mundo, sendo que 45.000 podem ser considerados de grande porte. No Brasil, são 2.200 usinas hidrelétricas.

Dentro desse contexto foram surgindo estudos de emissão de Gases de Efeito Estufa de reservatório, apontando que estes podem contribuir de forma significativa para o aquecimento global, visto que produz dois dos gases mais prejudiciais ao efeito estufa, o metano e o dióxido de carbono (St Louis et al., 2000). Foi estimado que essas emissões equivalem cerca de 7% do total de gases de potencial térmico global, comparado com outras emissões antropogênicas.

A primeira discussão sobre Gases de Efeito Estufa produzidos em reservatórios (RUDD et al. 1993) apontou que, reservatórios que precisaram de grandes áreas alagadas para produzir pouca energia, produzem mais GEE por Kwh, do que do contrário.

## 2.3 GASES DE EFEITO ESTUFA

O Efeito Estufa é um processo natural de extrema importância pois é responsável por aquecer o planeta Terra deixando o clima mais ameno, e com isso, é possível que haja vida na Terra. Com o aumento de gases que ficam retidos na atmosfera, este efeito tem se intensificando e causando o chamado aquecimento global. Segundo o *International Panel on Climate Change* (IPCC, 2007) três objetivos fundamentam essa teoria: o aumento da temperatura média global do ar dos últimos 150 anos, as alterações do clima e o aumento na concentração de gás carbônico e outros GEE, atribuído às atividades antrópicas.

O processo de Efeito Estufa consiste em receber radiação solar infravermelha, e absorver parte deste calor pelos Gases de Efeito Estufa na atmosfera, impedindo que toda essa radiação seja perdida. Porém, com o aumento da emissão de Gases de Efeito Estufa, devido ação antropogênica, está havendo um acúmulo destes gases na atmosfera, impedindo que a radiação volte ao espaço e se concentre na Terra, elevando as temperaturas e alterando o clima terrestre (BAIRD, 2002).

Os principais Gases de Efeito Estufa antropogênicos são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e os clorofluorcarbonos (CFCs), gerados principalmente pela queima de combustível fóssil e pelo desmatamento. Cada gás tem um potencial de aquecimento diferente, dependendo do seu peso molecular e do tempo de permanência na atmosfera. Para quantificar estes fatores foi criada uma escala global, conhecida como potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential- GWP*) calculado pelo IPCC (2013), conforme a Tabela 2.

Tabela 2- Gases De Efeito Estufa e seu potencial de aquecimento global. Fonte: IPCC (2007).

| GEE                | Fórmula              | Abundância | Tempo de Residência (anos) | GWP |
|--------------------|----------------------|------------|----------------------------|-----|
| Dióxido de Carbono | $\text{CO}_2$        | 365 ppmv   | *                          | 1   |
| Metano             | $\text{CH}_4$        | 1,72 ppmv  | 12                         | 31  |
| Óxido Nitroso      | $\text{N}_2\text{O}$ | 312 ppbv   | 114                        | 312 |

O  $\text{CO}_2$  é considerado o GEE mais importante devido a abundância e também por estar aumentando sua concentração na atmosfera. O metano tem concentrações menores que o dióxido de carbono, porém tem um GWP aproximadamente 31 vezes maior, o que o torna relativamente mais prejudicial. O metano tem origem antrópica e natural, cuja fonte principal são as áreas inundadas (HOUGHTON, 1997).

IPCC (2014) quantificou a contribuição dos principais setores econômicos na emissão global dos gases do efeito estufa. O setor de eletricidade e aquecimento gera 1/4 do total de Gases de Efeito Estufa no planeta, por isso o estudo e pesquisa neste setor para controlar e diminuir as emissões de GEE são tão importantes.

## 2.4 GASES DE EFEITO ESTUFA DE RESERVATÓRIOS

Para quantificar a emissão de GEE de um reservatório criado a partir de um rio é necessário considerar mudanças antes, durante e depois da construção. A diferença entre as emissões pré e pós-reservatório da porção da bacia hidrográfica influenciada pelo reservatório indicará as emissões líquidas de GEE deste.

Logo após o enchimento da área, as plantas que viviam na região morrem e param de capturar dióxido de carbono por fotossíntese, resultando num acúmulo maior de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Além disso, começa um processo anaeróbico no fundo do reservatório que vai decompor o carbono orgânico que estava nas plantas e no solo, e que será convertido em  $\text{CO}_2$  e metano ( $\text{CH}_4$ ), e conseqüentemente irá para a atmosfera terrestre (St. Louis et al., 2000).

O  $\text{CO}_2$  pode ser produzido em regiões com oxigênio e em condições anóxicas na coluna d'água, e é consumido por produtores primários. Já o  $\text{CH}_4$  é produzido sob condições anaeróbicas, primeiramente nos sedimentos; a outra porção será oxidada junto com o  $\text{CO}_2$  por bactérias metanotróficas na água. Esta degradação produz metano, dióxido de carbono e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), que podem ser emitidos para a atmosfera por 4 maneiras: ebulição, difusão, fluxo de armazenamento e o fluxo através da vegetação aquática. A emissão de  $\text{CO}_2$  é a maior, seguida de  $\text{CH}_4$  e então  $\text{N}_2\text{O}$ . Reservatórios que contém muito sedimento no fundo tendem a ter uma alta produção de metano e, com isso, contribuem como uma fonte de Gases de Efeito Estufa (Bastviken et al., 2004). A Figura 3 faz uma representação esquemática do funcionamento do transporte de gases num reservatório.

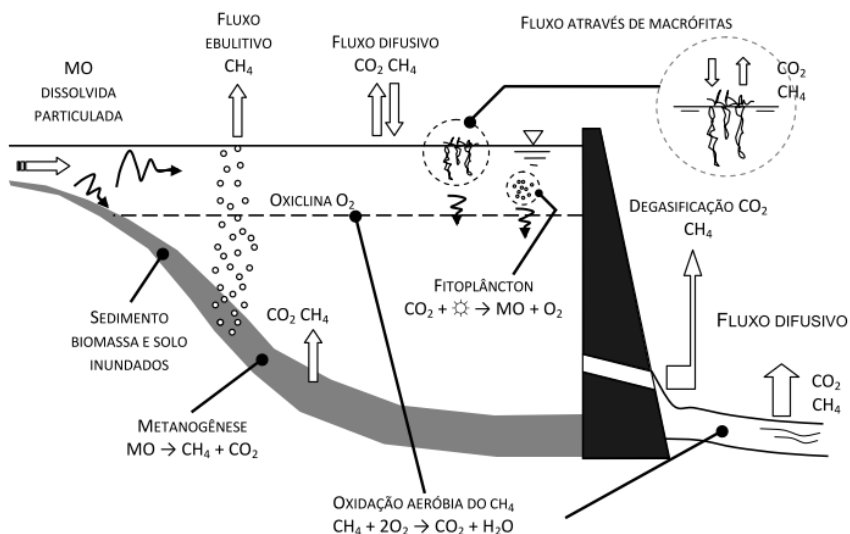


Figura 3 - Representação do transporte de gases. Fonte: (Mannich, 2013).

Para reservatórios em regiões boreais e temperadas, as emissões são relativamente pequenas comparadas com fontes de combustíveis fósseis. Reservatórios em regiões tropicais, que combinam um ciclo rápido do carbono, elevadas concentrações de matéria orgânica e projetos que combinam grandes áreas superficiais e profundidades relativamente baixas, propiciam elevados níveis de emissão. Em alguns casos até comparáveis ou equivalentes às emissões de produção de energia elétrica a partir de combustíveis fósseis (FEARNSIDE, 2002). A Tabela 3 mostra os fluxos de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> medidos em alguns reservatórios de regiões boreais/ temperadas (Canadá, Finlândia, Islândia, Noruega, Suíça e EUA) e tropicais (América do sul). Os números que estão em parênteses são os números de reservatórios estudados para cada transporte de gás (International Hydropower Association IHA, 2010).

Tabela 3- Quantidade média de emissões de dióxido de carbono e metano de reservatórios. Fonte: UNESCO/IHA (2010).

| EMISSIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO E METANO |                                                            |                                                            |                                                            |                                                            |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| TIPO DE TRANSPORTE                        | BOREAL E TEMPERADO                                         |                                                            | TROPICAL                                                   |                                                            |
|                                           | CO <sub>2</sub><br>(mmol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | CH <sub>4</sub><br>(mmol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | CO <sub>2</sub><br>(mmol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | CH <sub>4</sub><br>(mmol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) |
| DIFUSÃO                                   | -23 a 145<br>(107)                                         | -0,3 a 8 (56)                                              | -19 a 432 (15)                                             | 0,3 a 51 (14)                                              |
| EBULIÇÃO                                  | 0                                                          | 0 a 18 (4)                                                 | 0                                                          | 0 a 88 (12)                                                |

## 2.5 EBULIÇÃO DO METANO

Os gases gerados durante a decomposição da sedimentação no reservatório são inicialmente dissolvidos na água. O gás menos solúvel, como o CH<sub>4</sub>, se agrega às bolhas até estas crescerem e subirem para a superfície da água. Em profundidades elevadas as bolhas se dissolvem na água até serem liberadas para a atmosfera. Por isso, os fluxos das bolhas ocorrem em partes mais rasas onde a pressão hidrostática não é suficiente para dissolver o CH<sub>4</sub> (International Hydropower Association (IHA), 2010). O metano é mais comumente encontrado na parte terrestre dos ambientes aquáticos, onde a concentração de sulfato são geralmente baixas (Deshmukh et al., 2014).

A ebulição é um resultado direto do fluxo de metano do sedimento à atmosfera, com impacto limitado de oxidação de metano na coluna d'água. O fluxo de metano está relacionado principalmente com a taxa de produção de sedimentos (ou seja, taxa bruta de produção menos o potencial de oxidação de metano), e a pressão hidrostática deve ser menor do que a pressão dos gases dissolvidos para que as bolhas deixem o sedimento (Fendinger et al., 1992; Mattson & Likens, 1990).

Como resultado da difusão, o metano vem da região anóxica e entra na coluna d'água. Assim que isso ocorre, uma grande proporção é oxidada por

bactérias metano-oxidantes (Bastviken et al., 2004). Grande parte do metano que não é oxidado e atinge a camada superior da água é emitido por difusão. Para que isso ocorra, esse fluxo depende principalmente da diferença de concentração entre a água e a atmosfera, e a taxa física de troca entre o ar e a água, geralmente expressa como velocidade do pistão. Essa velocidade é resultado da turbulência da água, portanto, depende da velocidade do vento (Stumm & Morgan, 1996).

A ebulição é quantitativamente a mais significativa, pois emite cerca de 40 a 60% do total de gases em reservatórios. Porém, para as medições são muito difícil, devido a ebulição ser muito variável (Bastviken et al., 2004). Considerando estas dificuldades e a importância do CH<sub>4</sub> como um gás causador de efeito estufa, estão sendo estudados muitos modelos de tempo-médio (isto é, integrando dias e estações) de fluxo de metano de acordo com o clima, geofísica e fatores biogeoquímicos (Frisch, 1995).

A emissão do metano pode variar entre cada reservatório, por isso, é importante identificar alguns parâmetros para ter conhecimento do comportamento do reservatório e verificar se este é vulnerável a uma elevada emissão de GEE. (International Hydropower Association (IHA), 2010). Nos parâmetros primários leva-se em consideração, a quantidade biológica do processo como a produção de matéria orgânica, respiração, metanobactérias e oxidação do CH<sub>4</sub>. Nos parâmetros secundários são considerados fatores influentes para as trocas de gás entre a atmosfera e o reservatório. Na Tabela 4 tem-se estes parâmetros.

Tabela 4- Parâmetros que influenciam a emissão de metano. Fonte (IHA, 2010).

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parâmetros Primários   | Concentração de oxigênio dissolvido<br>Temperatura da água<br>Armazenamento de matéria orgânica e concentrações de C/N, C/P e N/P na água e no sedimento<br>Concentração de nutrientes<br>Luz (turbidez)<br>Biomassa de plantas, algas, bactérias e animais<br>Região de sedimentação<br>Estratificação |
| Parâmetros Secundários | Velocidade da água<br>Forma do reservatório<br>Chuva<br>Velocidade do vento<br>Temperatura da água<br>Profundidade da água<br>Pressão<br>Turbulência em regiões mais profundas                                                                                                                          |

Estudos recentes indicam que a temperatura do ar também pode influenciar na emissão de ebulição (Maeck, et al., 2013).

## 2.6 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE GEE EM RESERVATÓRIOS

Para fazer a medição de gases nos reservatórios deve-se considerar o potencial de variação espacial e temporal. Na análise é preciso levar em conta as mudanças climáticas sazonais, operação do reservatório, a carga de carbono, vegetação, uso da terra, qualidade da água e outras atividades antropológicas. Para obter melhores resultados deve-se fazer várias campanhas por muitos dias e incluir algumas séries de amostras por dia; o principal objetivo é obter resultados confiáveis que cubram variações sazonais ao longo do ano (International Hydropower Association (IHA), 2010). O monitoramento dos reservatórios deve ser dividido para refletir os contrastes e os principais processos em cada região. Diferentes tipos de estações de amostragem devem ser escolhidas para monitoramento a longo prazo, em lugares como: na montante, ao longo do eixo longitudinal do reservatório, em zonas vegetais e não vegetais do reservatório, próximo à saída do reservatório (normalmente perto da barragem) e no rio a jusante do reservatório.

Existem 4 mecanismos de transporte de gases aquáticos, entre eles os mais estudados são a difusão e a ebulição, e em cada tipo de transporte há métodos diferentes para coleta destes gases. Na difusão há 4 métodos mais utilizados: *Surface Floating Chambers*, *Eddy Covariance Towers*, (*BLE*) ou Equação da camada limite e *Thin Boundary Layer (TBL)*. Na ebulição o funil invertido é o método mais confiável e simplificado.

O funil invertido é usado na medição de ebulição, sendo o metano o principal gás analisado. Quando o gás na superfície é agregado às bolhas, esta irá crescer e subir até a superfície aquática. É neste momento que o funil invertido, que está submerso na água, captura toda bolha que sobe. Existe o funil convencional (*convencional funnels*) e o funil automático (*Automated Bubble Traps - ABT*), e a principal diferença entre os dois é que no primeiro, o volume de gás acumulado é medido manualmente, enquanto no segundo o volume de gás é determinado por um equipamento que permite mais detalhes e informações das medições. Os dados de Ebulição de Metano estudados neste trabalho foram coletados pelo ABT. Este método é mais prático pois pode permanecer funcionando por semanas, ou até estações inteiras. Para escolher o local de amostragem e o arranjo do funil, são

analisados parâmetros como: densidade da vegetação inundada, o número de anos de funcionamento do reservatório, a profundidade, a presença de vegetação semi-submersa e a região geográfica (International Hydropower Association (IHA), 2010).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O reservatório de Passaúna foi formado em 1990 com a construção da barragem no rio Passaúna. Está localizado no estado do Paraná aos municípios de Curitiba, Araucária, Campo Largo, Campo Magro e Almirante Tamandaré. O reservatório tem cerca de 150 km<sup>2</sup> de superfície e é utilizado principalmente para abastecimento público, possui volume útil de 48x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> e capacidade de fornecer ao sistema de abastecimento de Curitiba 2 m<sup>3</sup>/s de água (SUDERHSA e RDR, 2007). Está localizado entre os paralelos 25° 15' - 25° 35' Sul e os meridianos 49° 25' - 49° 20' Oeste. A Figura 5 representa o reservatório, junto com o rio Passaúna, seu principal afluente, e o local da barragem.

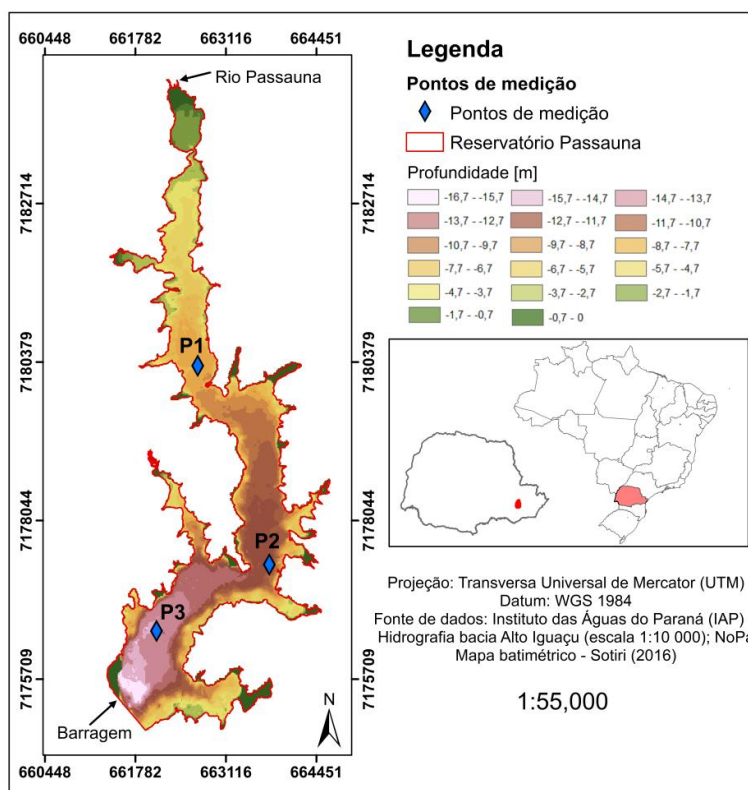


Figura 4 - Localização do reservatório Passaúna. Fonte: (Marcon et al., 2017).

### 3.2 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Foram utilizados dados de 7 estações meteorológicas para se obter as características climáticas da região, com variáveis ambientais de temperatura do ar, pressão atmosférica, precipitação e velocidade do vento.

A Tabela 5 traz a localização de cada estação, sua altitude e a referência. Já a Figura 6 mostra a localização e a proximidade das estações com o reservatório.

Tabela 5- Localização das estações automáticas.

| ESTAÇÃO                  | LATITUDE     | LONGITUDE    | ALTITUDE | REFERÊNCIA                   |
|--------------------------|--------------|--------------|----------|------------------------------|
| <b>PASSAÚNA</b>          | 25°32'05,2"  | 49°23'16,6"  | 904m     | Estação própria              |
| <b>ASSIS</b>             | 25°34'35,28" | 49°24'20,06" | 914m     | <a href="#">LACTEC</a>       |
| <b>VERDE</b>             | 25°31'36,83" | 49°31'39,07" | 899m     | LEMMA/ UFPR                  |
| <b>INMET</b>             | 25°26'55,3"  | 49°13'50,05" | 928m     | <a href="#">INMET</a>        |
| <b>TECPAR</b>            | 25°29'43,6"  | 49°19'52,35" | 940m     | <a href="#">TECPAR</a>       |
| <b>SANEPAR</b>           | 25°32'00"    | 49°23'11"    | 902 m    | <a href="#">Águas Paraná</a> |
| <b>COLONIA DOM PEDRO</b> | 25° 25' 01"  | 49° 23' 05"  | 890 m    | <a href="#">Águas Paraná</a> |

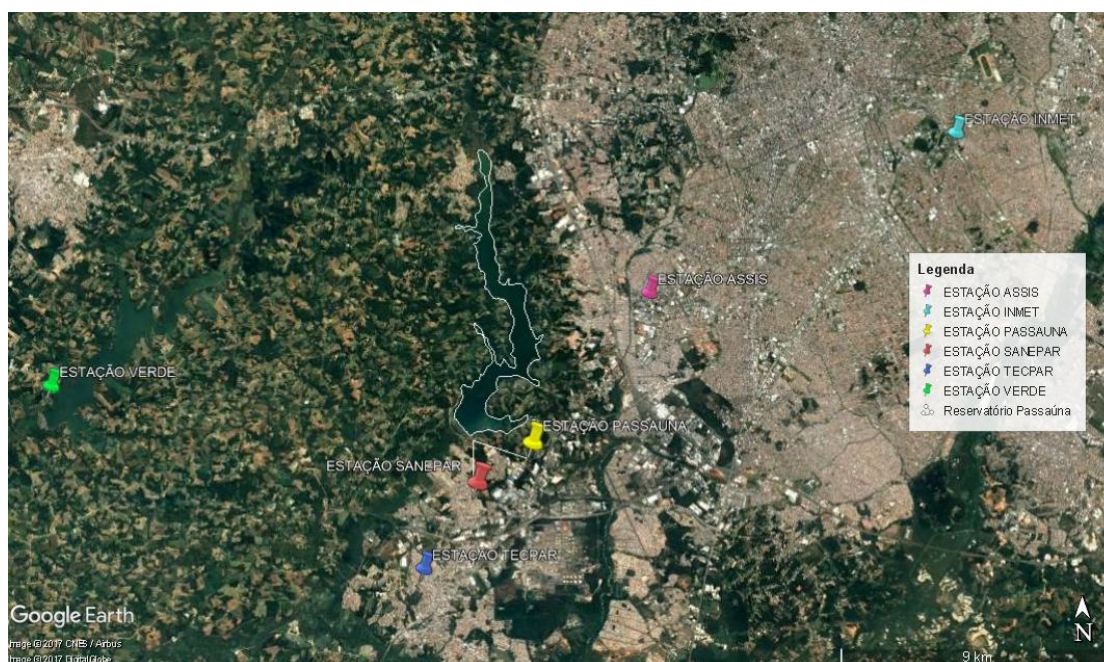


Figura 5 - Mapa com a localização das estações e o reservatório Passaúna.

A estação Passaúna foi obtida com o objetivo de obter dados ambientais próprios e o mais próximo possível do reservatório Passaúna. A estação meteorológica automática é da marca *Oregon Scientific*, modelo WMR200A e é capaz de fazer a leitura da velocidade do vento, umidade, pressão, temperatura, medição de precipitação, radiação UV, além de fazer a previsão do tempo das próximas 24 horas em um raio de até 50km. Todos os dados obtidos são registrados na memória do dispositivo por até 291 dias, ou então podem ser enviados para um computador através de um cabo USB. Após *upload* dos dados, a memória do sensor deve ser restaurada para reiniciar as medições. A Figura 7 mostra a estação já instalada próxima à barragem do reservatório Passaúna, a Figura 8 o equipamento de medição e a Figura 9 o display de visualização. A Tabela 6 traz as especificações dos equipamentos.



Figura 6 - Estação automática instalada próxima à barragem do reservatório Passaúna.



Figura 7 - Sensor de medição.



Figura 8 - Display de visualização do equipamento.

Tabela 6 - Precisão e alcance da estação meteorológica. Fonte: (Oregon scientific, manual).

| ESPECIFICAÇÕES DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA |                     |                                                                                      |                              |
|-----------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| PARÂMETRO                               | UNIDADE             | PRECISÃO                                                                             | ALCANCE                      |
| Pressão                                 | mb/hPa, inHg e mmHg | +/- 10mb/hPa                                                                         | 700 - 1050mb/hPa             |
| Vento                                   | m/s, kph, mph, nós  | 2~10m/s (+/- 3m/s)<br>10~56m/s (+/- 10%)                                             | -                            |
| Umidade                                 | -                   | 25% - 40%: +/- 7% 40% - 80%: +/- 5% 80% - 90%: +/- 7%                                | 2% a 98%                     |
| Temperatura                             | °C/ °F              | -20°C – 0°C: +/- 2°C 0°C - 40°C: +/- 1°C<br>40°C -50°C: +/- 2°C 50°C - 60°C: +/- 3°C | -50°C a 70°C (-58°F a 158°F) |
| Medidor de chuva                        | mm/h e pol/h        | < 15 mm/h: +/-1 mm 15 mm a 9.999 mm: +/- 7%                                          | -                            |

### 3.3 FUNIL AUTOMATICO

*The Automated Bubble Trap* (ABT), ou armadilha automática para bolhas, é um dispositivo desenvolvido pela empresa Alemã SENECT para medir a quantidade de bolhas de gás liberadas no sistema aquático. Para funcionar, o funil deve estar todo submerso na água. Quando as bolhas deixam a região de sedimento e começam a subir em direção a superfície, o funil coleta estes gases que vão direto a um "cano coletor de bolhas" onde a coluna de água vai diminuindo conforme aumenta a quantidade de gás. Quando o cano estiver cheio de bolhas é acionado um mecanismo de liberação e o próximo ciclo de medição recomeça. Todos os dados são salvos internamente num cartão de memória SD que são facilmente transferidos a um computador. A Figura 10 demonstra o funcionamento do funil.

A coleta dos dados é feita uma vez por mês, aproximadamente, onde o funil é retirado da água, colocado no barco e os dados são transferidos para um notebook. A Figura 11 mostra o procedimento e a Figura 12 é mapa com a localização dos 3 funis ao longo do reservatório.

O volume de gás é calculado pela diferença de pressão, da qual compara a pressão dentro do tubo e a pressão ambiente, no mesmo nível. A expressão ER (*Ebullition rate*), ou taxa de ebulição pode ser representada pela equação:

$$ER = \frac{p_i vol_f M_1}{RT}$$

Em que,  $p_i$  é a pressão parcial de metano,  $vol_f$  é o fluxo de gás,  $M_1$  é a massa molar do metano (16g/mol), R é a constante de gás (8,314J/mol.K) e T é a temperatura (Marcon, 2017).

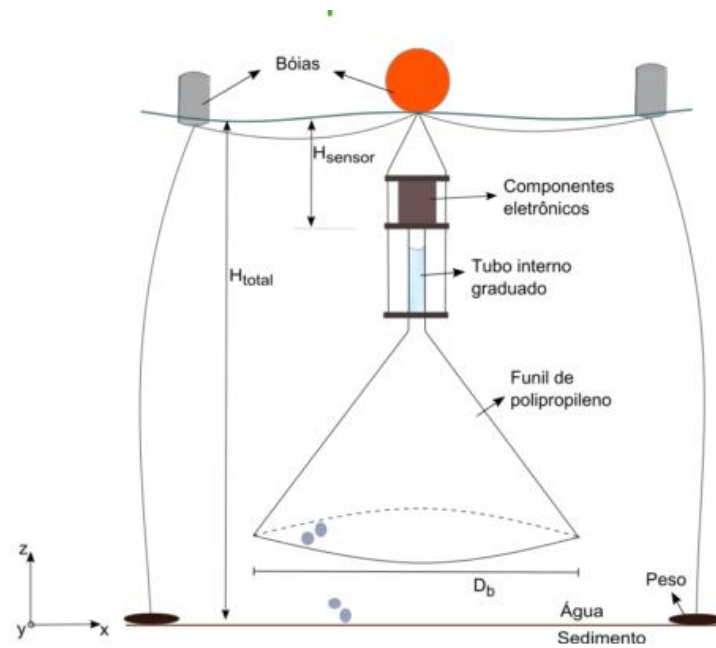


Figura 9 - Representação do funil automático. Fonte: Senect 2017



Figura 10 - Procedimento de coleta de dados de ebulição.

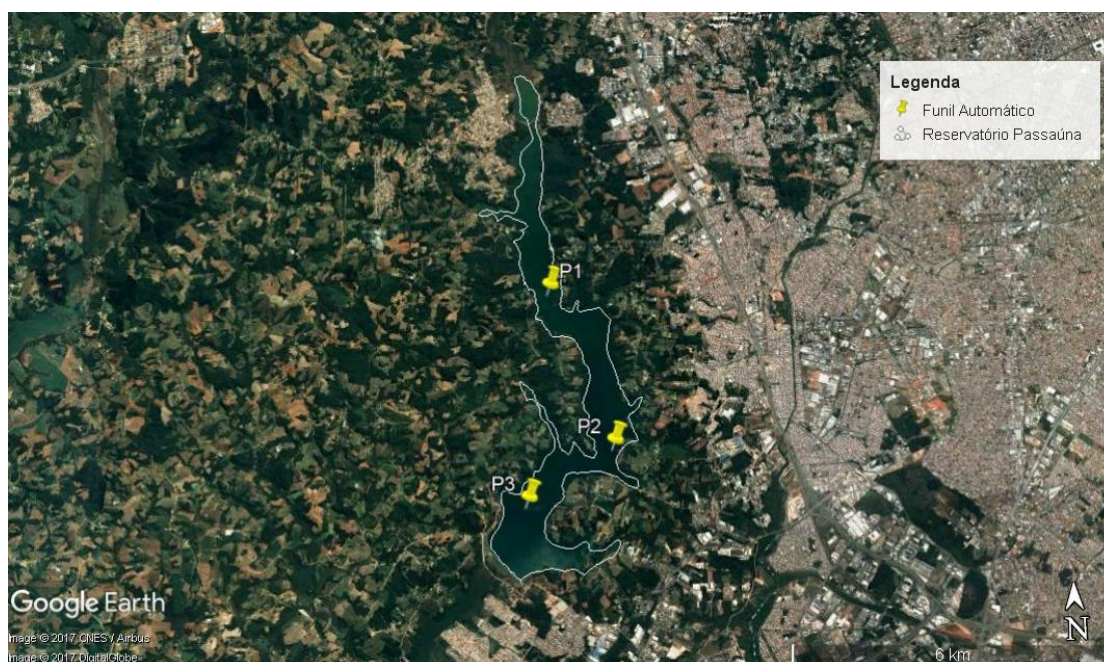


Figura 11 - Localização dos funis no reservatório

### 3.4 METODOLOGIA

A característica e o local de instalação de uma estação deve ser de interesse próprio, ou seja, é interesse do usuário decidir a escala de tempo e de espaço, a acurácia, a qualidade e a característica dos dados a se obter. Por isso, cada coleta de dados de cada estação obtida tem um intervalo de tempo de medição diferente, medidas em períodos de tempo diferentes e com uma precisão distinta.

O intervalo de tempo de medição varia de 1 minuto a até 60 minutos, dependendo da finalidade em que estes dados servirão. Os resultados das medições em cada estação dificilmente serão os mesmos, devido à variabilidade ambiental de uma região à outra. Por exemplo, a quantidade de chuva em uma região pode variar muito para outra, mesmo que próximas. A velocidade do vento pode sofrer interferência quando medida perto de locais com mata fechada ou prédios. Qualquer problema do funcionamento de uma estação pode fazer com que esta pare de fazer medições por minutos, dias e até meses, deixando os dados

inconsistentes. Portanto, fazer comparações com diversas estações torna o processo complexo.

Primeiramente, foi feita uma busca de estações meteorológicas próximas ao reservatório Passaúna que tivessem dados ao menos da temperatura, pressão, velocidade do vento e precipitação. Então, com os dados brutos, foi feito uma análise de consistência para verificar se estes poderiam ser utilizados para estudo. Estações ou variáveis ambientais que tivessem longos períodos de tempo sem medição não foram utilizados. Já as medições que apresentassem poucas falhas, que não pudesse influenciar nos resultados, foram substituídas pela média diária, de acordo com estudos realizados por Chibana (2005) e Bertoni & Tucci (2007). Medições com erros foram aquelas consideradas improváveis, com valores que fogem do padrão da região, conforme mostra a Tabela 7. Esses valores foram estabelecidos com base na classificação climática de Koppen e Geiger, onde Curitiba é classificada com um clima Cfa.

Tabela 7- Limites das variáveis ambientais.

| Limites | Temperatura    | Velocidade vento | Pressão            | Precipitação  |
|---------|----------------|------------------|--------------------|---------------|
| Diário  | <-10°C e >40°C | <0 e >19 (m/s)   | <905 e >930 (mBar) | <0 e >40 mm   |
| Mensal  | <0°C e >40°C   | <0 e >19 (m/s)   | <905 e >930 (mBar) | <0 e >1000 mm |

Com os dados aprimorados tornou-se possível comparar diversas estações e estudar as diferenças entre elas, mas principalmente, observar as características de cada variável na região. Embora os resultados das médias sejam diferentes, os perfis de cada variável ambiental se assemelha, tornando possível concluir a veracidade dos dados e a escolha de quais comparações seriam feitas e quais estações seriam utilizadas.

A Tabela 8 mostra as estações analisadas e o intervalo de tempo de medição de cada uma, assim como as variáveis medidas.

Tabela 8- Estações automáticas e suas características.

| <b>ESTAÇÃO</b>           | <b>PERÍODO DE MEDIÇÃO</b>             | <b>VARIÁVEIS DISPONÍVEIS</b>                                        | <b><math>\Delta T</math></b> |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| <b>PASSAÚNA</b>          | Em funcionamento desde Agosto de 2017 | Velocidade e direção do vento, Temperatura, Precipitação e Pressão. | 15 min                       |
| <b>ASSIS</b>             | 2011-2015                             | Velocidade e direção do vento, Temperatura, Precipitação e Pressão. | 60min                        |
| <b>VERDE</b>             | 2015-2016                             | Velocidade e direção do vento, Temperatura e Precipitação.          | 15 min                       |
| <b>INMET</b>             | 2015-2017                             | Velocidade e direção do vento e Temperatura.                        | 60 min                       |
| <b>TECPAR</b>            | 2015-2017                             | Velocidade e direção do vento, Temperatura, Precipitação e Pressão. | 5 min                        |
| <b>SANEPAR</b>           | 2015-2017                             | Precipitação.                                                       | 1 dia                        |
| <b>COLONIA DOM PEDRO</b> | 2015-2017                             | Precipitação.                                                       | 1 dia                        |

Já os funis automáticos foram distribuídos em 3 diferentes pontos ao longo do reservatório, tendo em conta a batimetria e a espessura do sedimento de fundo apresentados em estudo prévio feito por Sotiri, 2016. A medição do volume de gás é feita em intervalos de 5 a 60 segundos, registrando também a temperatura da água e a pressão absoluta. O ponto 1, está nas proximidades do parque Passaúna; o ponto 2 está próximo a Captação de água e ponto 3 na região mais profunda próximo a barragem. As profundidades da coluna d'água em cada ponto são de

8,8m, 12,3m e 14,6m respectivamente. O nível do reservatório exerce poucas variações, assim mantendo estas profundidades praticamente constantes ao longo do tempo (Marcon et al., 2017). Os dados de Ebulição do Metano, já compilados, foram obtidos do trabalho de mestrado de Marcon (2017) onde foram utilizados para uma comparação com os dados ambientais no final do estudo.

## 4 RESULTADOS

Foi observado os dados de cada estação meteorológica para então chegar à conclusão de quais seriam utilizadas para o estudo. Como cada estação faz medições com intervalos de tempo e períodos diferentes, foi padronizado um  $\Delta T$  igual para todas. Como o foco não é estudar os resultados do ano de 2015 e 2016, e sim usá-los como base, o  $\Delta T$  destas é maior, de 30 dias. Ou seja, foi feito médias mensais das variáveis temperatura, pressão, velocidade do vento e precipitação. Já para o ano de 2017 é necessário uma percepção mais detalhada, por isso o  $\Delta T$  é menor, de 1 dia e de 1 hora. As Tabelas 9, 10 e 11 representam quais variáveis e estações podem ser usadas para comparações.

Tabela 9 - Variáveis ambientais disponíveis no ano de 2015.

| 2015 ( $\Delta T$ = Mensal)       |                 |                                               |                                   |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|
| TEMPERATURA                       | PRESSÃO         | PRECIPITAÇÃO                                  | VENTO                             |
| ASSIS<br>VERDE<br>INMET<br>TECPAR | ASSIS<br>TECPAR | VERDE<br>INMET<br>SANEPAR<br>COLONIA D. PEDRO | ASSIS<br>VERDE<br>INMET<br>TECPAT |

Tabela 10- Variáveis ambientais no ano de 2016.

| 2016 ( $\Delta T$ = Mensal) |         |                                               |                          |
|-----------------------------|---------|-----------------------------------------------|--------------------------|
| TEMPERATURA                 | PRESSÃO | PRECIPITAÇÃO                                  | VENTO                    |
| VERDE<br>INMET<br>TECPAR    | TECPAR  | VERDE<br>INMET<br>SANEPAR<br>COLONIA D. PEDRO | VERDE<br>INMET<br>TECPAT |

Tabela 11- Variáveis ambientais no ano de 2017.

| 2017 ( $\Delta T = 1$ dia, 1 hora e 15 min) |         |                                      |                 |
|---------------------------------------------|---------|--------------------------------------|-----------------|
| TEMPERATURA                                 | PRESSÃO | PRECIPITAÇÃO                         | VENTO           |
| INMET<br>TECPAR                             | TECPAR  | INMET<br>SANEPAR<br>COLONIA D. PEDRO | INMET<br>TECPAT |

Primeiramente, são realizadas análises de consistência e análises estatísticas de cada estação, de cada variável ambiental e em cada ano. Depois disso estes resultados são comparados para se concluir quais estações deverão ser utilizadas para o estudo.

#### 4.1 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA

Com os dados brutos das 7 estações próximas ao reservatório, foi feito uma pré análise, e as estações Assis, Verde, Tecpar e Colônia Dom Pedro apresentaram períodos sem medição e/ou algumas falhas. As demais estações não apresentaram períodos com falhas ou já foram corrigidas e disponibilizadas sem erros.

Da estação Assis tem-se a velocidade do vento, precipitação, temperatura e a pressão no período de 2011 à 2015. Como a pesquisa dos dados inicia-se em 2015, as análises estatísticas anteriores à esse ano foram gerados apenas para observação. Com a média, máxima e mínima é possível caracterizar as condições climáticas da região próxima ao Passaúna, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Dados climáticos com médias diárias. Fonte: Estação meteorológica Assis.

| Ano  | Vel. Vento (m/s) |     |     | Precipitação(mm) |       |        | Temperatura (°C) |      |      | Pressão (mBar) |       |       |
|------|------------------|-----|-----|------------------|-------|--------|------------------|------|------|----------------|-------|-------|
|      | Méd              | Máx | Mín | Méd              | Máx   | Acum   | Méd              | Máx  | Mín  | Méd            | Máx   | Mín   |
| 2011 | 1,96             | 7,5 | 0,1 | 115              | 204,2 | 1548,7 | 18,1             | 36,3 | -1,9 | 912,9          | 923,6 | 902,8 |
| 2012 | 1,89             | 7,5 | 0,1 | 81,6             | 207,3 | 938,8  | 19,2             | 36,6 | 3,3  | 913,5          | 923,7 | 902,7 |
| 2013 | 2,06             | 7,6 | 0,1 | 113,3            | 292,6 | 1347,3 | 18,2             | 35,5 | -1,2 | 913,5          | 923,1 | 904,6 |
| 2014 | 1,98             | 7,4 | 0,1 | 91,9             | 171,6 | 1142,4 | 17,8             | 35,8 | 0    | 914            | 924,2 | 906,1 |
| 2015 | 1,9              | 7,6 | 0,1 | 67               | 222,4 | 903,8  | 17,4             | 35,6 | 0    | 913,8          | 923,7 | 902,7 |

Observando os 5 anos de medições é possível constatar que os valores das médias seguem com pouca variação, constatando apenas uma falha no ano de 2012 e 2015 no equipamento que faz a medição de chuva. Nota-se que o valor acumulado de precipitação nestes anos foi muito abaixo dos outros. Os dados da velocidade do vento, temperatura e da pressão não apresentaram falhas tão representativas ou valores fora dos limites estabelecidos, como os de precipitação. Os gráficos destas variáveis podem ser vistas com mais detalhes no anexo I. A Tabela 13 representa o total de dados compilados, o número de vezes em que não houve medição, o número de falhas e o erro que representam.

Tabela 13- Análise de consistência dos dados do ano de 2015 da estação Assis.

| ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA- ESTAÇÃO ASSIS |                     |              |             |         |             |
|----------------------------------------|---------------------|--------------|-------------|---------|-------------|
| Ano 2015                               | Velocidade do vento | Precipitação | Temperatura | Pressão | Total Dados |
| Sem medição                            | 41                  | 1078         | 4           | 41      | 8760        |
| Falhas                                 | 0                   | 3            | 0           | 1       |             |
| Total dados inconsistentes             | 41                  | 1081         | 4           | 42      |             |
| Fração dados inconsistentes %          | 0,46                | 12,5         | 0,04        | 0,48    |             |

Da estação Verde foram obtidas informações de temperatura, velocidade do vento e precipitação adquiridas da estação próxima à barragem do reservatório do Verde, dos anos de 2015 e 2016.

O ano de 2015 teve uma fração de dados inconsistentes consideravelmente alto, visto que teve um período de quase 4 meses sem medição e elevado número de falhas na temperatura. Por isso, já não é aconselhável utilizar os dados desta estação deste ano. Já em 2016 a fração de dados inconsistentes diminui. As Tabelas 14 e 15 representam o resultado da análise de consistência. Os gráficos com as correções podem ser visualizados no anexo II.

Tabela 14- Análise de consistência dos dados do ano de 2015 da estação Verde.

| <b>ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA- ESTAÇÃO VERDE</b> |                            |                     |                    |              |
|-----------------------------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------|
| <b>Ano 2015</b>                               | <b>Velocidade do vento</b> | <b>Precipitação</b> | <b>Temperatura</b> | <b>Total</b> |
| <b>Sem medição</b>                            | 7166                       | 7262                | 7166               | <b>35040</b> |
| <b>Falhas</b>                                 | 55                         | 0                   | 534                |              |
| <b>Total dados inconsistentes</b>             | 7221                       | 7262                | 7700               |              |
| <b>Fração dados inconsistentes %</b>          | 20,6                       | 20,7                | 21,9               |              |

Tabela 15- Análise de consistência dos dados do ano de 2016 da estação Verde.

| <b>ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA- ESTAÇÃO VERDE</b> |                            |                     |                    |              |
|-----------------------------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------|
| <b>Ano 2016</b>                               | <b>Velocidade do vento</b> | <b>Precipitação</b> | <b>Temperatura</b> | <b>Total</b> |
| <b>Sem medição</b>                            | 185                        | 185                 | 185                | <b>25820</b> |
| <b>Falhas</b>                                 | 41                         | 0                   | 0                  |              |
| <b>Total dados inconsistentes</b>             | 226                        | 185                 | 185                |              |
| <b>Fração dados inconsistentes %</b>          | 0,09                       | 0,07                | 0,07               |              |

Os dados brutos da estação Inmet não possuíam falhas ou inconsistência, ou seja, já foram analisados. Então, já foi realizada a análise estatística das variáveis de temperatura, precipitação, velocidade do vento e pressão, representadas nas Tabelas 16, 17, 18 e 18 respectivamente. Os gráficos desta estação podem ser visualizados com mais detalhes no anexo III.

Tabela 16- Média anual e mensal da temperatura nos anos de 2015 , 2016 e 2017 da estação INMET.

| MÉDIAS- TEMPERATURA (°C) |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ano                      | Media | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| 2015                     | 19,8  | 24,0 | 22,7 | 21,5 | 19,5 | 17,0 | 15,9 | 15,7 | 18,4 | 19,6 | 19,6 | 20,4 | 22,9 |
| 2016                     | 18,9  | 22,4 | 23,6 | 21,8 | 22,4 | 16,0 | 12,9 | 15,5 | 15,9 | 16,9 | 18,3 | 19,8 | 22,0 |
| 2017                     | 18,02 | 21,8 | 22,6 | 19,9 | 17,7 | 16,7 | 15,3 | 14,5 | 15,5 | 19,2 | 17,0 | -    | -    |

Tabela 17- Média anual e mensal da precipitação acumulada nos anos de 2015 , 2016 e 2017 da estação INMET.

| MÉDIAS- PRECIPITAÇÃO (mm) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ANO                       | Média | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   |
| 2015                      | 163,3 | 180,5 | 243,1 | 193,7 | 53,2  | 115,1 | 82,2  | 189,5 | 26    | 129,7 | 246,7 | 241,2 | 259,5 |
| 2016                      | 164,3 | 295,8 | 92,8  | 92,8  | 142,7 | 142,3 | 130,9 | 117,1 | 172,3 | 95,0  | 172,1 | 102,7 | 76,0  |
| 2017                      | 210,5 | 88,2  | 34,8  | 39,8  | 98,2  | 249,4 | 8,1   | 95,3  | 60,2  | 30,1  | -     | -     | -     |

Tabela 18- Média anual e mensal da velocidade do vento nos anos de 2015, 2016 e 2017 da estação INMET.

| MÉDIAS- VELOCIDADE DO VENTO (m/s) |       |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ANO                               | Média | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai  | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| 2015                              | 4,1   | 4,9 | 3,3 | 2,9 | 3,4 | 3,25 | 4,6 | 3,8 | 4,6 | 4,8 | 4,5 | 4,0 | 4,7 |
| 2016                              | 4,2   | 3,7 | 4,5 | 4,5 | 3,6 | 4,0  | 4,4 | 4,5 | 4,3 | 4,9 | 4,6 | 4,1 | 3,9 |
| 2017                              | 2,0   | 2,0 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 1,7  | 1,9 | 1,5 | 2,1 | 2,1 | 3,1 | -   | -   |

Tabela 19- Médias anuais e mensais da pressão no ano de 2017 da estação INMET.

| MÉDIAS MENSAIS PRESSÃO- 2017 (mBar) |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |     |
|-------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|
| Ano                                 | Média  | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov | Dez |
| 2017                                | 913,82 | 911,1 | 911,3 | 912,8 | 913,8 | 913,9 | 915,6 | 919,9 | 914,9 | 915,7 | 909,2 | -   | -   |

Da estação Tecpar foi obtido dados de 2015 até 2017 de temperatura, velocidade do vento e pressão, com um intervalo de tempo de medição de 5 minuto. Houve um pequeno período sem medição, no início do ano de 2015, mas todos os outros resultados já apresentaram consistência. No anexo IV tem-se o gráfico da temperatura, da velocidade do vento e da pressão. E nas Tabelas 20, 21 e 22 as médias anuais e mensais destas variáveis.

Tabela 20- Média anual e mensal da temperatura nos anos de 2015 e 2016 da estação Tecpar.

| MÉDIAS- TEMPERATURA (°C) |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ano                      | Média | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| 2015                     | 18,6  | -    | 22,7 | 20,6 | 18,9 | 16,3 | 14,7 | 15,0 | 17,2 | 18,6 | 18,8 | 19,5 | 21,8 |
| 2016                     | 18    | 21,6 | 22,5 | 21,1 | 21   | 15,3 | 11,9 | 14,0 | 14,7 | 15,8 | 17,4 | 19   | 21,1 |
| 2017                     | 18,4  | 22,9 | 23,8 | 20,4 | 18,2 | 17,1 | 14,2 | 14,4 | 15,8 | 18,9 | -    | -    | -    |

Tabela 21- Média anual e mensal da velocidade do vento nos anos de 2015 e 2016 da estação Tecpar.

| MÉDIAS- VELOCIDADE DO VENTO (m/s) |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ano                               | Média | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| 2015                              | 1,96  | -    | 2,1  | 1,83 | 1,83 | 1,82 | 1,80 | 1,9  | 1,73 | 2,04 | 2,26 | 2,17 | 2,14 |
| 2016                              | 2,01  | 2,36 | 2,39 | 2,05 | 1,79 | 1,82 | 1,41 | 1,78 | 1,77 | 2,12 | 2,45 | 2,42 | 2,0  |
| 2017                              | 1,9   | 2,2  | 1,9  | 2,1  | 2,1  | 1,8  | 1,6  | 1,5  | 2,1  | 1,8  | -    | -    | -    |

Tabela 22- Média anual e mensal da pressão nos anos de 2015 e 2016 da estação Tecpar.

| MÉDIAS- PRESSÃO (mBar) |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ano                    | Média  | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   |
| 2015                   | 916,13 | -     | 915,7 | 915,1 | 916,3 | 917,7 | 919,6 | 917,9 | 918,2 | 914,5 | 915,5 | 913,1 | 913,8 |
| 2016                   | 916,03 | 913,5 | 914,6 | 915,8 | 915,6 | 917,9 | 919,5 | 918,1 | 917,3 | 917,3 | 915,2 | 914,1 | 913,3 |
| 2017                   | 916,6  | 913,2 | 915,3 | 915,7 | 916,7 | 916,7 | 920,0 | 923,5 | 918,1 | 919,5 | -     | -     | -     |

A estação da Sanepar que se encontra próxima ao reservatório só faz medição de precipitação. Os dados obtidos de 2015 até 2017 contém medições diárias, o acumulado mensal e o anual. Na Tabela 23 tem-se o acumulado mensal nestes 3 anos, a média e o acumulado anual. No anexo V estão os gráficos.

Tabela 23- Total acumulado mensal e anual e média anual da precipitação em 2015 , 2016 e 2017 da estação Sanepar.

| ACUMULADO- PRECIPITAÇÃO (mm) |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |
|------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Ano                          | Jan   | Fev   | Mar  | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   | Med   | Acum   |
| 2015                         | 161,4 | 235,4 | 106  | 40,4  | 179,4 | 109   | 247,4 | 33,2  | 136,8 | 147,8 | 223   | 281,6 | 154,6 | 1901,4 |
| 2016                         | 122,4 | 257,8 | 87,2 | 80,2  | 152   | 155,4 | 67,4  | 172,4 | 62,8  | 220,2 | 170,2 | 168,2 | 153,7 | 1716,2 |
| 2017                         | 180,3 | 81,6  | 70,6 | 103,7 | 144,6 | 9,2   | 13,6  |       |       |       |       |       |       |        |

A estação Colônia Dom Pedro também só faz medição de precipitação. Os dados obtidos de 2015 até 2017 contém medições diárias, o acumulado mensal e anual. Na Tabela 24 tem-se o acumulado mensal nestes 3 anos, a média e o acumulado anual. No anexo VI estão os gráficos.

Tabela 24- Acumulado mensal e anual e média anual da precipitação da estação Colônia Dom Pedro.

| ACUMULADO- PRECIPITAÇÃO (mm) |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |
|------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Ano                          | Jan   | Fev   | Mar   | Abr  | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   | Med   | Acum   |
| 2015                         | 162,5 | 253,3 | 220,8 | 71,3 | 142,7 | 86,6  | 224   | 37,7  | 143,2 | 290,6 | 267,3 | 331,4 | 191,6 | 2231,4 |
| 2016                         | 207,7 | 223,6 | 139   | 71,7 | 187   | 107,9 | 119,3 | 214,1 | 97,6  | 251,4 | 156,1 | 197,8 | 171,5 | 1972,9 |
| 2017                         | 319,8 | 223,9 | 89,3  | 88   | -     | -     | -     | 101,2 | 49    | -     | -     | -     |       |        |

A estação de baixo custo que foi instalada próxima à barragem do Passaúna possui poucos dados, por isso será utilizada apenas para comparações com resultados de outras estações no mesmo período para verificar sua acurácia. Nas Figuras 13, 14, 15 e 16 tem-se os gráficos das medições da estação de baixo custo

no período de 24/09/2017 à 16/11/2017 com os dados da estação INMET, no mesmo intervalo de tempo. Considerando que as estações estão aproximadamente 20km de distância, que as características ambientais podem ser muito variáveis de uma região à outra, e que a estação INMET é uma estação profissional, os resultados se mostram satisfatórios. Além disso, para

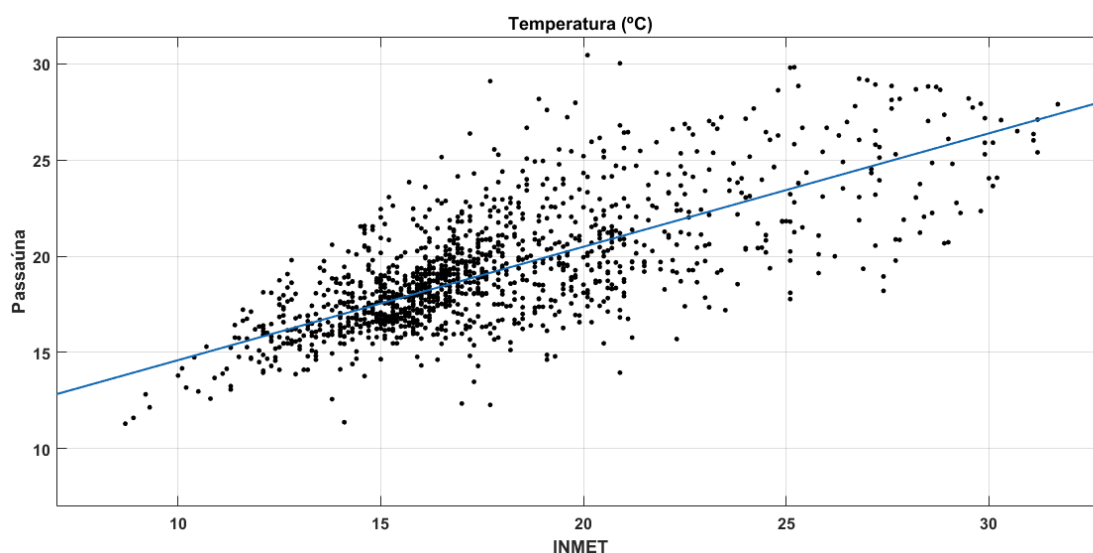


Figura 12 - Gráfico de temperatura da estação de baixo custo com a estação INMET. Regressão linear com  $R^2 = 0,8820$ .

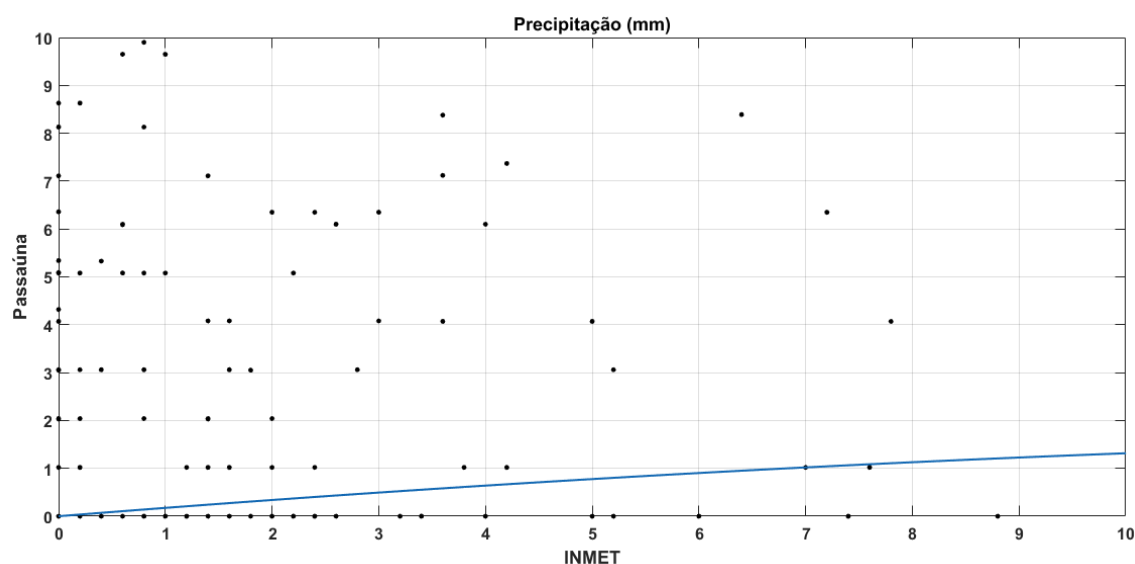


Figura 13 - Gráfico de precipitação da estação de baixo custo e da estação INMET. Regressão linear com  $R^2 = 0,8941$ .

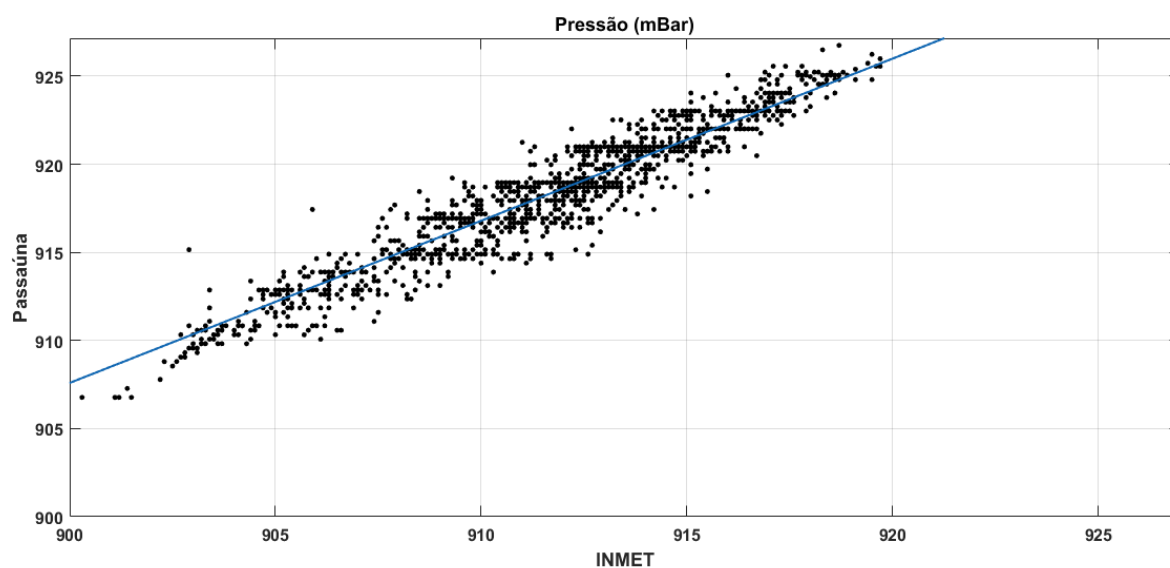


Figura 14 - Gráfico de pressão da estação de baixo custo com a estação INMET. Regressão linear com  $R^2 = 0,9679$ .

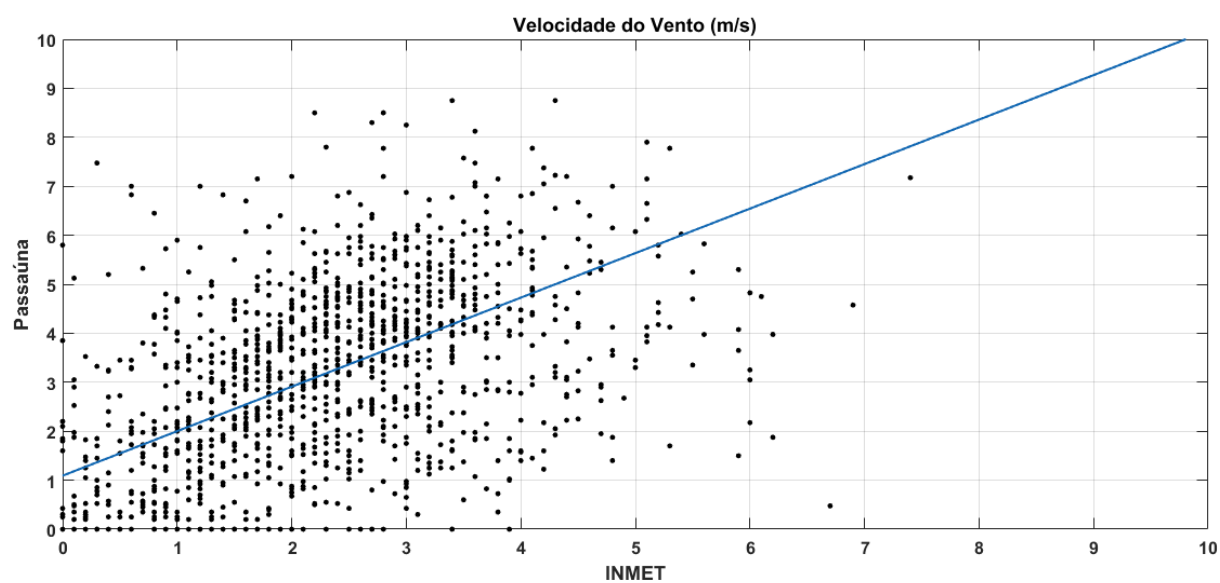


Figura 15 - Gráfico de velocidade do vento da estação de baixo custo e da estação INMET. Regressão linear com  $R^2 = 0,7262$ .

## 4.2 COMPARAÇÕES

Como visto nos resultados, cada estação faz medições em intervalos de tempo diferentes, por isso é preciso padronizar os dados para poder fazer as devidas comparações. Então, foi feito a média mensal, e cada variável ambiental foi analisada anualmente, e por último, foi possível observar e analisar os resultados.

### 4.2.1 Precipitação

No ano de 2015 foram comparadas 5 estações, porém 2 apresentavam dados com falhas e as outras 3 tiveram o mesmo perfil. A precipitação pode ser muito variável de uma região à outra, por isso torna-se mais difícil a observação, mas na Figura 17 pode-se verificar que mesmo as estações com dados faltantes apresentaram um perfil semelhante às outras, como por exemplo o aumento de precipitação no mês de junho. Na Figura tem-se os gráficos da precipitação acumulada em cada mês de 2015, e na Tabela 25 a média mensal de cada uma.

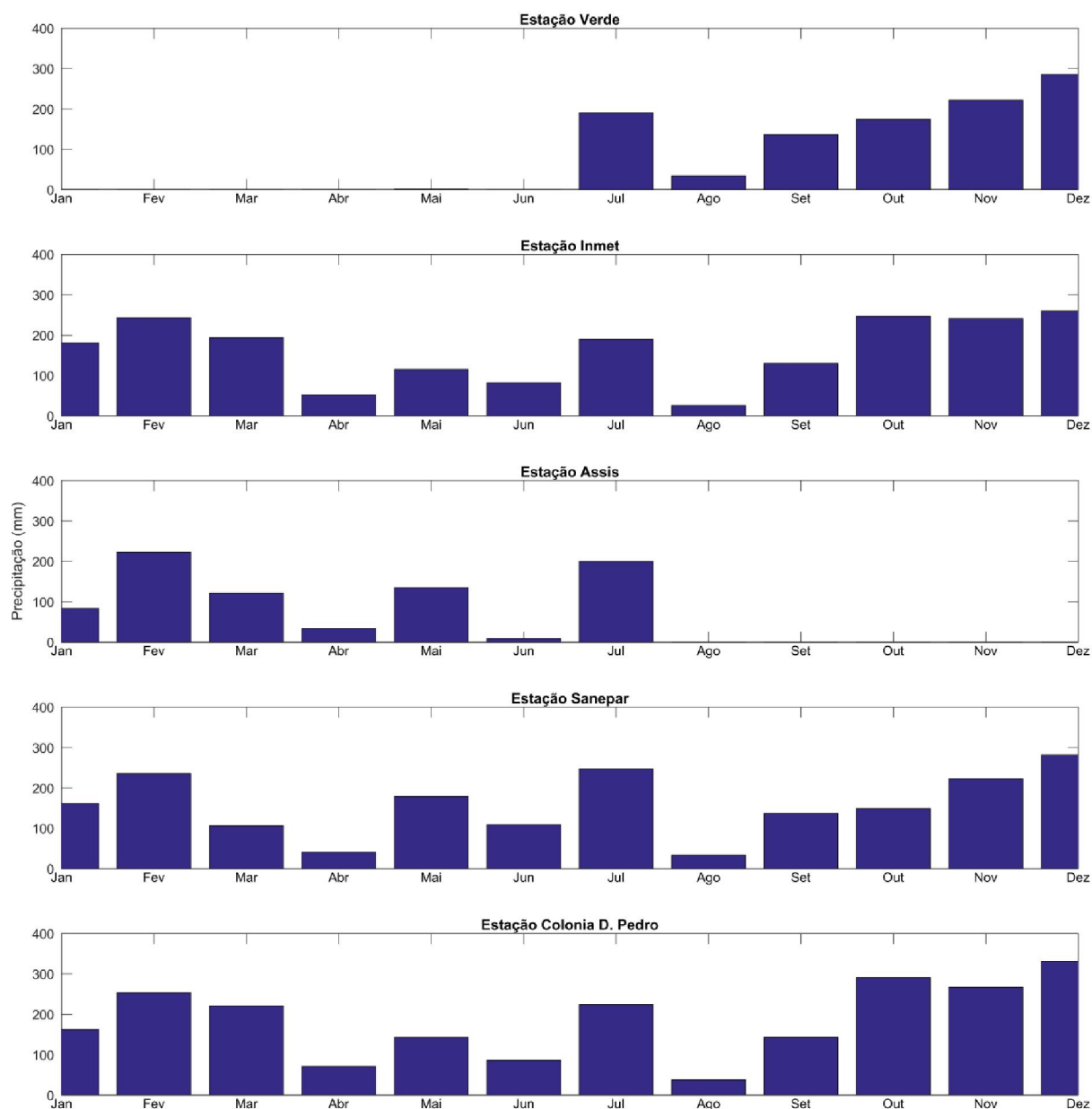


Figura 16 - Precipitação das estações Verde, Inmet, Assis, Sanepar e Colônia Dom Pedro no ano de 2015.

Tabela 25- Média mensal da precipitação das estações Verde, Inmet, Assis, Sanepar e Colônia Dom Pedro no ano de 2015.

| ACUMULADO MENSAL PRECIPITAÇÃO 2015 (mm) |       |       |       |      |       |      |       |      |       |       |       |       |
|-----------------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Estação                                 | Jan   | Fev   | Mar   | Abr  | Mai   | Jun  | Jul   | Ago  | Set   | Out   | Nov   | Dez   |
| <b>Verde</b>                            |       | -     | -     | -    | 1.27  | -    | 190.4 | 34.6 | 136.4 | 174   | 222   | 285.4 |
| <b>Inmet</b>                            | 180.5 | 243.1 | 193.7 | 52.2 | 115.1 | 82.2 | 189.5 | 26   | 129.7 | 246.7 | 241.2 | 259.5 |
| <b>Assis</b>                            | 83.4  | 222.4 | 121.3 | 33.5 | 135.2 | 8.6  | 199.7 | -    | -     | -     | -     | -     |
| <b>Sanepar</b>                          | 161.4 | 235.4 | 106   | 40.4 | 179.4 | 109  | 247.4 | 33.2 | 136.8 | 147.8 | 223   | 281.6 |
| <b>D. Pedro</b>                         | 162.5 | 253.3 | 220.8 | 71.3 | 142.7 | 86.6 | 224   | 37.7 | 143.2 | 290.6 | 267.3 | 331.4 |

No ano de 2016 não havia dados da estação Assis, então foi analisado a precipitação das outras 4 estações. Como já foi visto há uma falha nos meses de outubro à dezembro na estação Verde, mas na Figura 18 é possível notar que todos os gráficos possuem perfil semelhante. Na Tabela 26 tem-se as médias mensais de cada estação.

Tabela 26 -Média mensal da precipitação das estações Verde, Inmet, Assis, Sanepar e Colônia Dom Pedro no ano de 2016.

| ACUMULADO MENSAL PRECIPITAÇÃO 2016 (mm) |       |       |      |       |       |       |       |       |      |       |       |       |
|-----------------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Estação                                 | Jan   | Fev   | Mar  | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set  | Out   | Nov   | Dez   |
| <b>Verde</b>                            | 129.6 | 225.6 | 84   | 57.4  | 158.4 | 133   | 56    | 155.6 | 55.9 | -     | -     | -     |
| <b>Inmet</b>                            | 164.3 | 295.8 | 92.8 | 142.7 | 142.3 | 130.9 | 117.1 | 172.3 | 95   | 172.1 | 102.7 | 76    |
| <b>Sanepar</b>                          | 122.4 | 257.8 | 87.2 | 80.2  | 152   | 155.4 | 67.4  | 172.4 | 62.8 | 220.2 | 170.2 | 168.2 |
| <b>D. Pedro</b>                         | 207.7 | 223.6 | 139  | 71.7  | 187   | 107.9 | 119.3 | 214.1 | 97.6 | 251.4 | 156.1 | 197.8 |

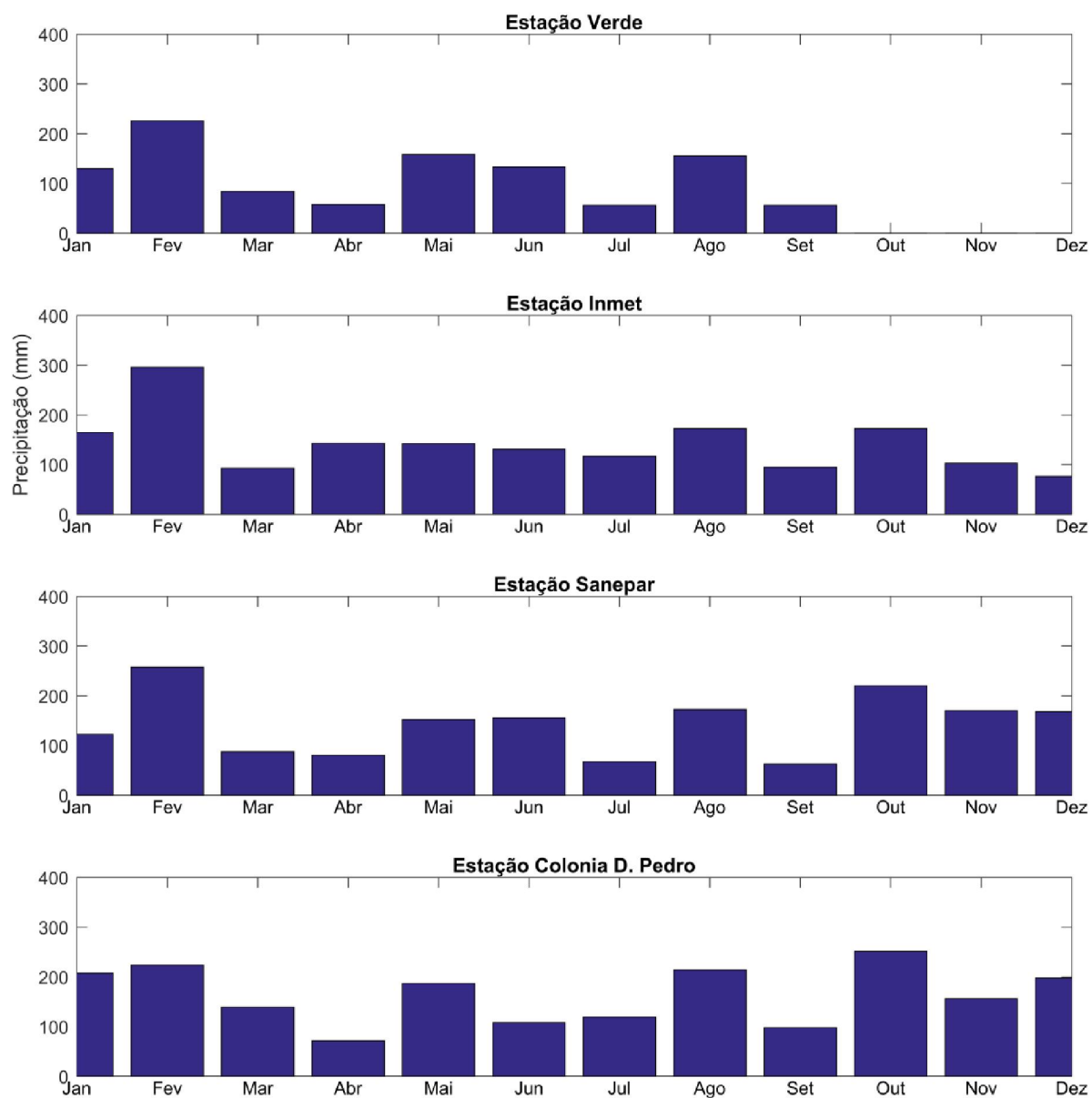


Figura 17 - Precipitação das estações Verde, Inmet, Sanepar e Colônia Dom Pedro no ano de 2016.

Assim, devido ao elevado número de falhas das estações Assis e Verde, os dados de precipitação destas não serão utilizados para comparações com a Ebulição de Metano. Já os dados das estações Inmet, Sanepar e Colônia Dom Pedro apresentaram consistência nos resultados tanto nos anos 2015 como em 2016, por isso, mostram que podem servir de base para o estudo. Desta forma, a Figura 19 representa a precipitação acumulada para o ano de 2017 e a Tabela 27 as médias mensais até a data de coleta.

Tabela 27- Média mensal da precipitação das estações Inmet, Sanepar e Colônia Dom Pedro no ano de 2017.

| <b>ACUMULADO MENSAL PRECIPITAÇÃO 2017 (mm)</b> |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Estação</b>                                 | <b>Jan</b> | <b>Fev</b> | <b>Mar</b> | <b>Abr</b> | <b>Mai</b> | <b>Jun</b> | <b>Jul</b> | <b>Ago</b> | <b>Set</b> | <b>Out</b> | <b>Nov</b> | <b>Dez</b> |
| <b>Inmet</b>                                   | 204,6      | 89,8       | 49,6       | 73,6       | 104,4      | 182,4      | 5,6        | 96,8       | 43,4       | -          | -          | -          |
| <b>Sanepar</b>                                 | 228,3      | 180,3      | 81,6       | 70,6       | 103,7      | 144,6      | 9,2        | 13,6       | -          | -          | -          | -          |
| <b>D. Pedro</b>                                | 319,8      | 223,9      | 89,3       | 88         | -          | -          | -          | 101,2      | 49         | -          | -          | -          |

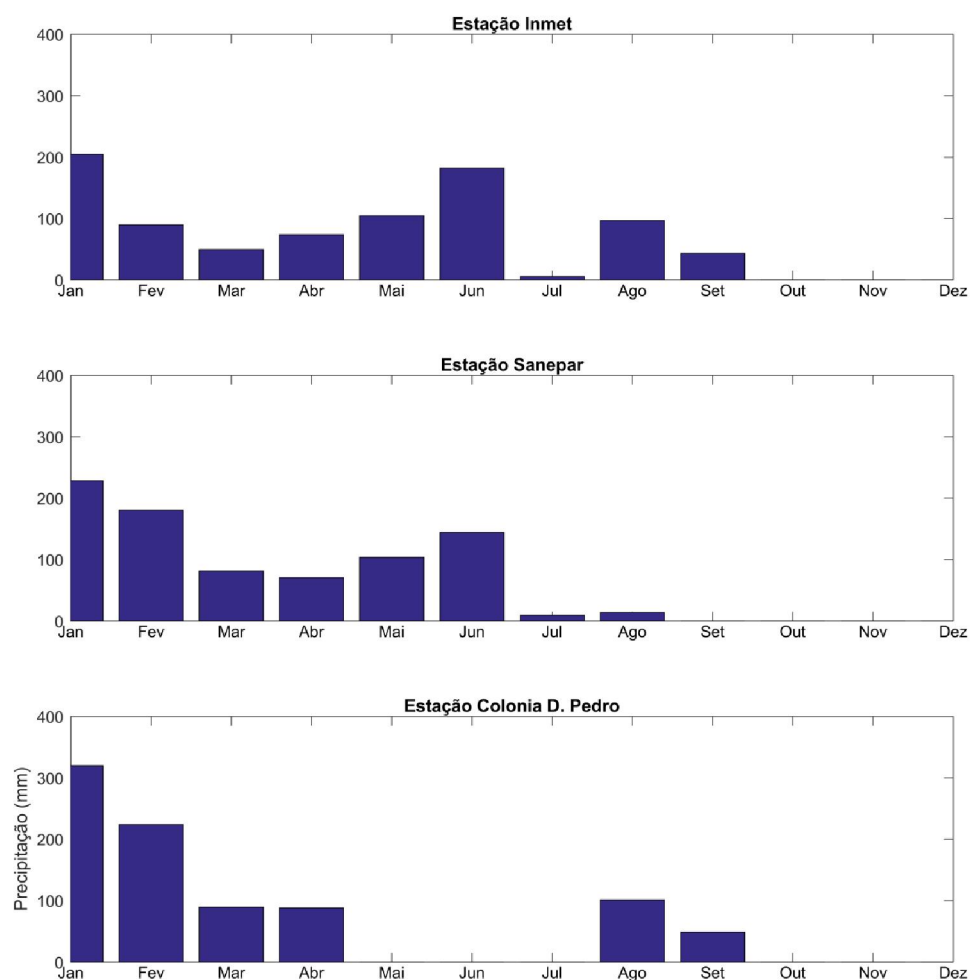


Figura 18 -Precipitação das estações Inmet , Sanepar e Colônia Dom Pedro no ano de 2017.

Como visto na Figura 19, a estação Colônia Dom Pedro teve uma falha de 3 meses sem medições, por isso foi descartada para o estudo. Assim, somente os dados de precipitação das estações Inmet e Sanepar servirão de base para comparação com a Ebulição do Metano.

#### 4.2.2 Temperatura

Foram obtidos medições de temperatura de 4 estações no ano de 2015 e somente as estações Verde e Tecpar tiveram um período com falha. A Figura 20 representa os gráficos e a Tabela 28 suas respectivas médias mensais.

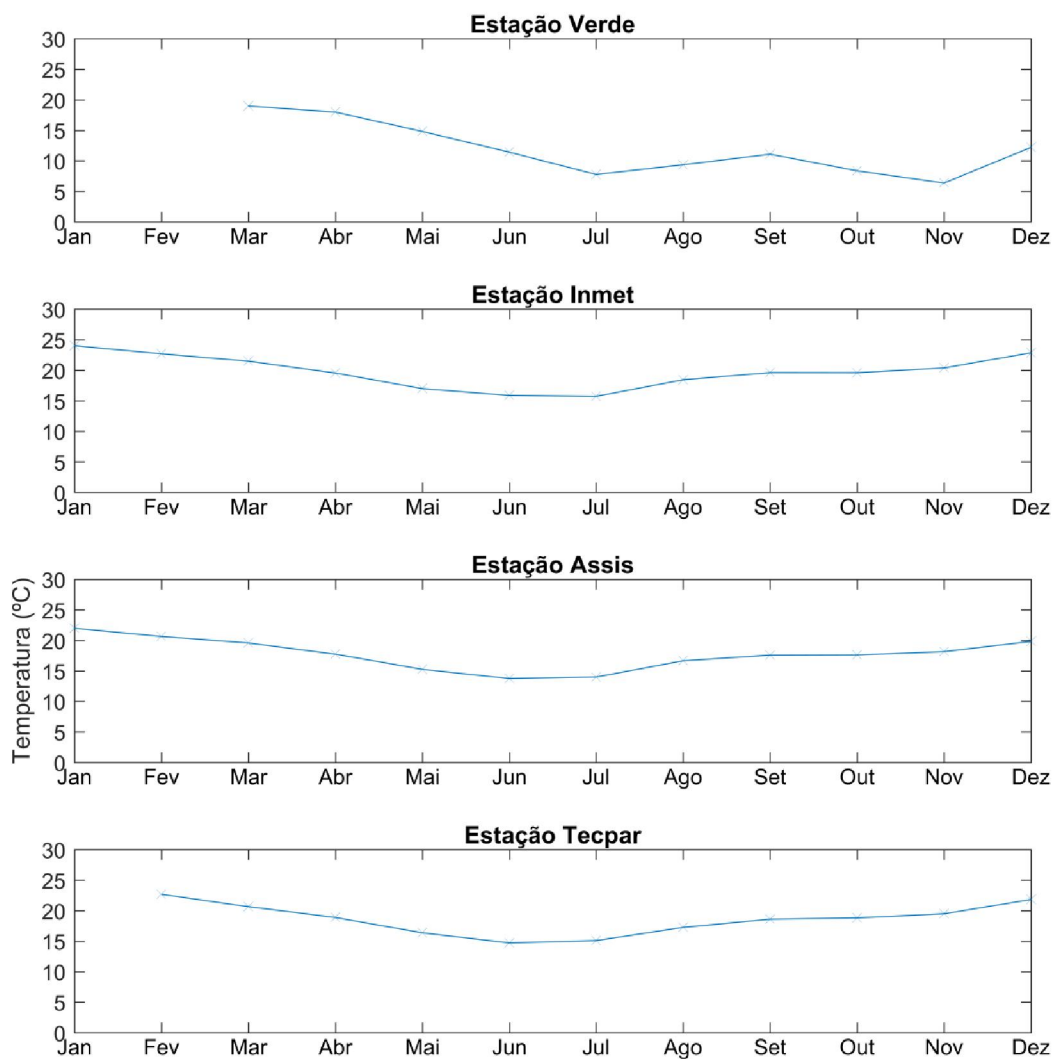


Figura 19 - Temperatura das estações Verde, Inmet, Assis e Tecpar no ano de 2015.

Tabela 28- Média mensal da temperatura das estações Verde, Inmet, Assis e Tecpar no ano de 2015.

| MÉDIAS MENSAIS TEMPERATURA 2015 (°C) |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estação                              | Jan | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Verde                                | -   | -    | 19   | 18   | 14,8 | 11,4 | 7,8  | 9,3  | 11,1 | 8,4  | 6,4  | 12,2 |
| Inmet                                | 24  | 22,7 | 21,5 | 19,5 | 17   | 15,9 | 15,7 | 18,4 | 19,6 | 19,6 | 20,4 | 22,9 |
| Assis                                | 22  | 20,6 | 19,6 | 17,7 | 15,2 | 13,7 | 14   | 16,6 | 17,6 | 17,6 | 18,1 | 19,8 |
| Tecpar                               | -   | 22,7 | 20,6 | 18,9 | 16,4 | 14,7 | 15,1 | 17,2 | 18,6 | 18,8 | 19,5 | 21,8 |

Já para o ano de 2016 não foi obtido dados da estação de Assis, ficando então com 3 estações para análise. Como visto na Figura 21 e na Tabela 29, o gráfico da estação Verde teve um período de janeiro à abril com resultados constantes, o que não pode ser verdadeiro, por isso, conclui-se que há alguma falha nestes dados.

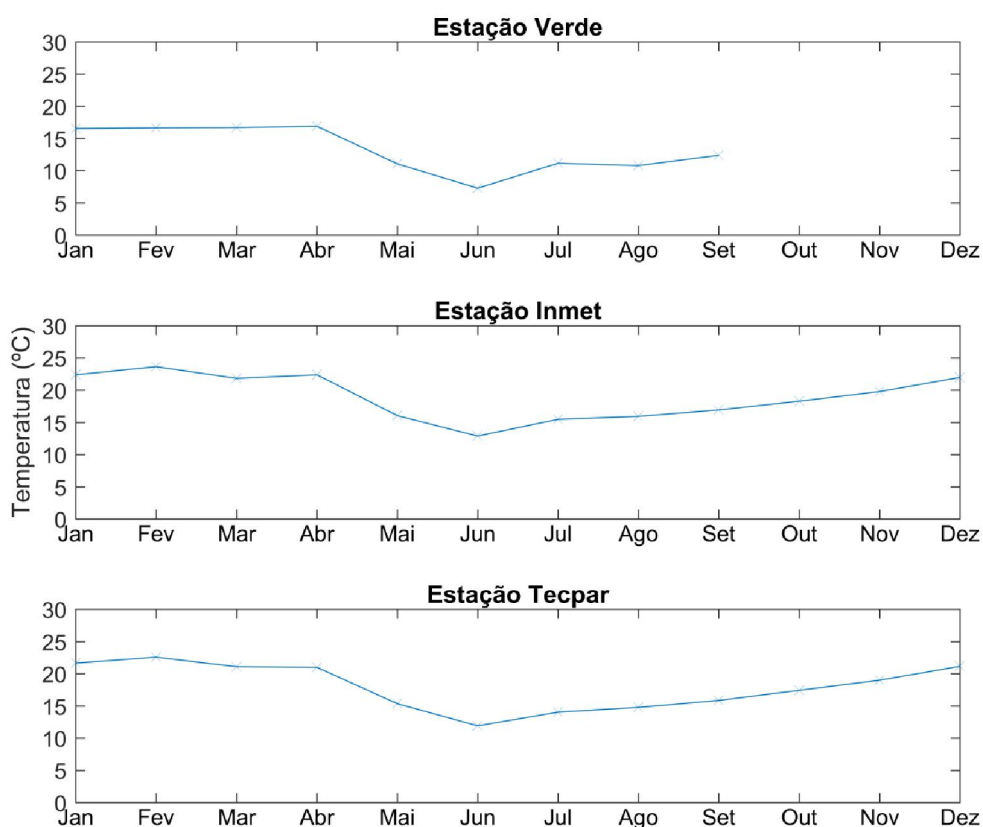


Figura 20- Temperatura das estações Verde, Inmet e Tecpar no ano de 2016.

Tabela 29- Média mensal da temperatura das estações Verde, Inmet e Tecpar no ano de 2016.

| MÉDIAS MENSAIS TEMPERATURA 2016 (°C) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estação                              | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
| Verde                                | 16,5 | 16,6 | 16,7 | 16,9 | 11,0 | 7,2  | 11,1 | 10,8 | 12,4 | -    | -    | -    |
| Inmet                                | 22,4 | 23,6 | 21,8 | 22,4 | 16   | 12,9 | 15,5 | 15,9 | 16,9 | 18,3 | 19,7 | 21,9 |
| Tecpar                               | 21,6 | 22,5 | 21,1 | 21   | 15,3 | 11,9 | 14,0 | 14,7 | 15,8 | 17,4 | 18,9 | 21,1 |

Assim, após comparar os resultados de temperatura nos anos de 2015 e 2016 a estação Inmet e Tecpar foram as únicas que apresentaram dados consistentes. Na Figura 22 e na Tabela 30 tem-se a temperatura no ano de 2017 de janeiro a setembro, onde é possível perceber a semelhança nos resultados das duas, portanto, ambas serão utilizadas para comparar os dados de Ebulição do Metano.

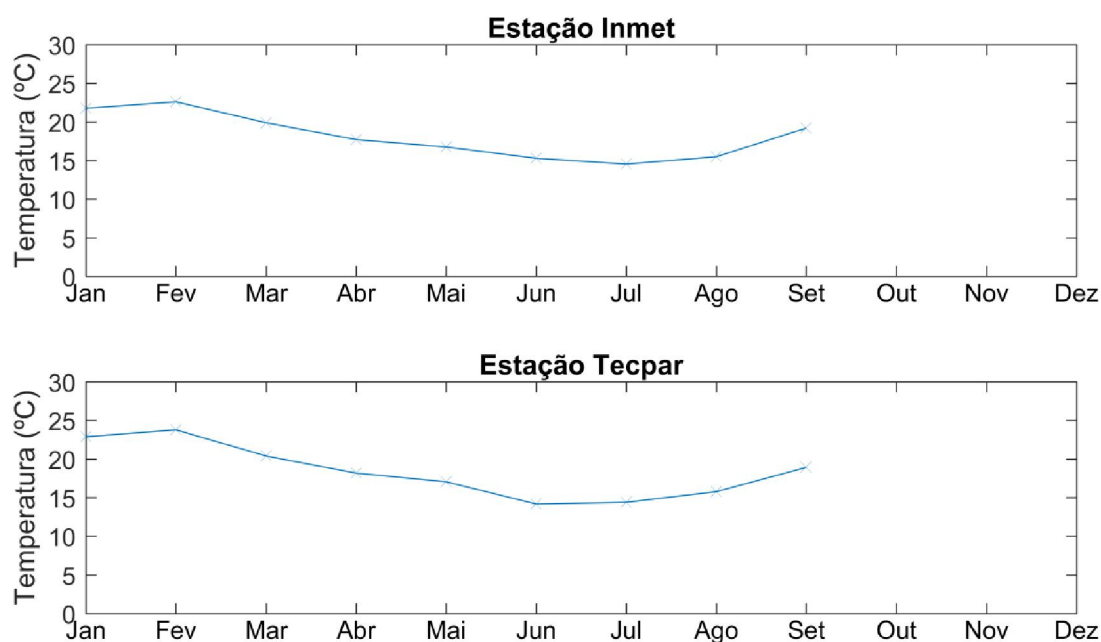


Figura 21 - Temperatura das estações Inmet e Tecpar no ano de 2017.

Tabela 30-Média mensal da temperatura das estações Inmet e Tecpar no ano de 2017.

| MÉDIAS MENSAIS TEMPERATURA 2017 (°C) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| Estação                              | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out | Nov | Dez |
| Inmet                                | 21,7 | 22,6 | 19,9 | 17,7 | 16,7 | 15,3 | 14,5 | 15,5 | 19,2 | -   | -   | -   |
| Tecpar                               | 22,9 | 23,8 | 20,4 | 18,2 | 17,0 | 14,2 | 14,3 | 15,8 | 18,9 | -   | -   | -   |

#### 4.2.3 Velocidade do Vento

Tem-se a velocidade do vento de 4 estações no ano de 2015, 3 em 2016 e 2 em 2017. A Figura 23, 24 e 25 representam os gráficos e as Tabelas 31, 32 e 33 as Tabelas com as médias mensais.

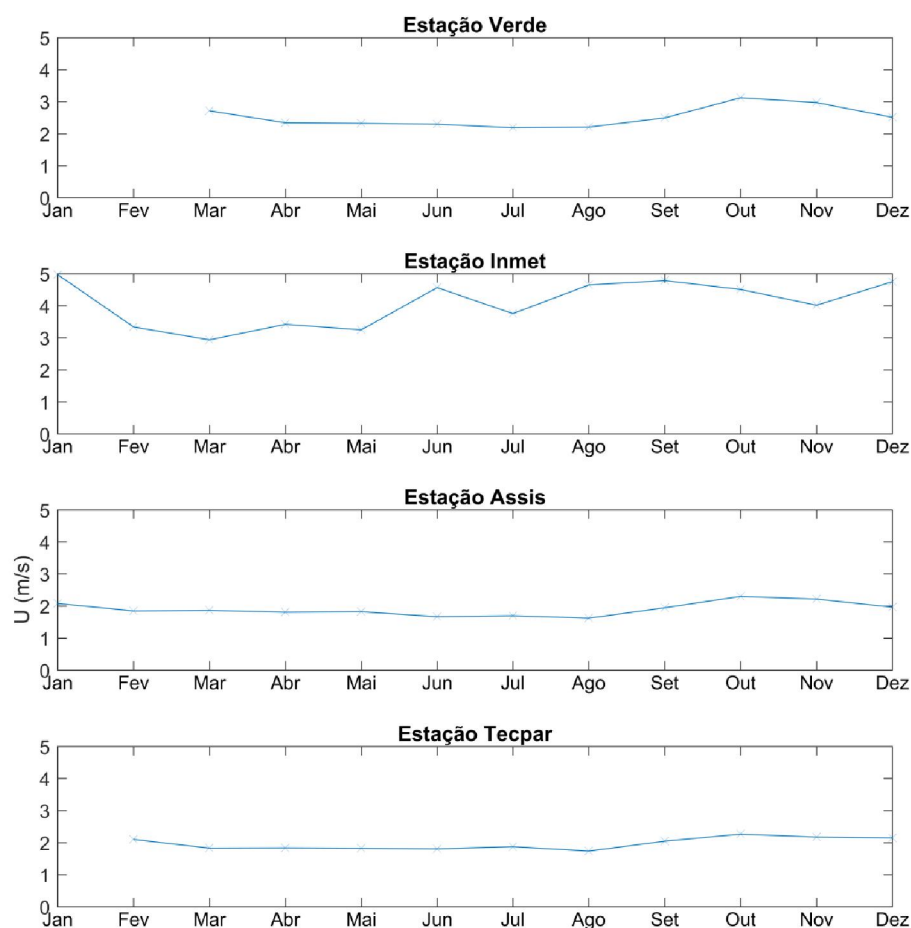


Figura 22 - Velocidade do vento com médias mensais das estações Verde, Inmet, Assis e Tecpar no ano de 2015.

Tabela 31- Média mensal da velocidade do vento das estações Verde, Inmet, Assis e Tecpar no ano de 2015.

| MÉDIAS MENSAIS VELOCIDADE DO VENTO 2015 (m/s) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |
|-----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| Estação                                       | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov  | Dez |
| Verde                                         | -   | -   | 2,7 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,5 | 3,1 | 2,9  | 2,5 |
| Inmet                                         | 4,9 | 3,3 | 2,9 | 3,4 | 3,2 | 4,6 | 3,7 | 4,6 | 4,8 | 4,5 | 4,00 | 4,7 |
| Assis                                         | 2,1 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,9 | 2,3 | 2,2  | 1,9 |
| Tecpar                                        | -   | 2,1 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,7 | 2,0 | 2,3 | 2,2  | 2,1 |

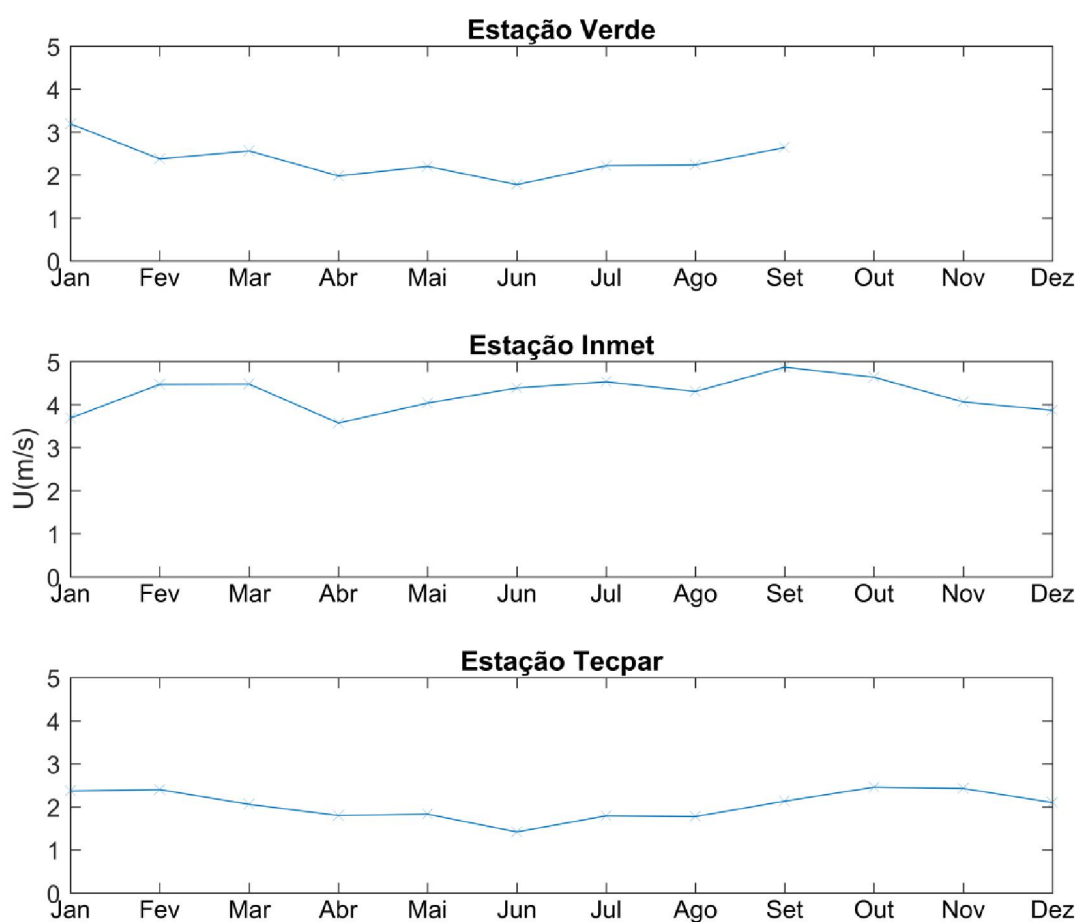


Figura 23 - Velocidade do vento com médias mensais das estações Verde, Inmet e Tecpar no ano de 2016.

Tabela 32- Média mensal da velocidade do vento das estações Verde, Inmet e Tecpar no ano de 2016.

| MÉDIAS MENSAIS VELOCIDADE DO VENTO 2016 (m/s) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Estação                                       | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| Verde                                         | 3,2 | 2,4 | 2,5 | 1,9 | 2,2 | 1,8 | 2,2 | 2,2 | 2,6 | -   | -   | -   |
| Inmet                                         | 3,7 | 4,5 | 4,5 | 3,6 | 4,0 | 4,4 | 4,5 | 4,3 | 4,9 | 4,6 | 4,1 | 3,9 |
| Tecpar                                        | 2,0 | 2,4 | 2,4 | 2,1 | 1,8 | 1,8 | 1,4 | 1,8 | 1,8 | 2,1 | 2,6 | 2,4 |

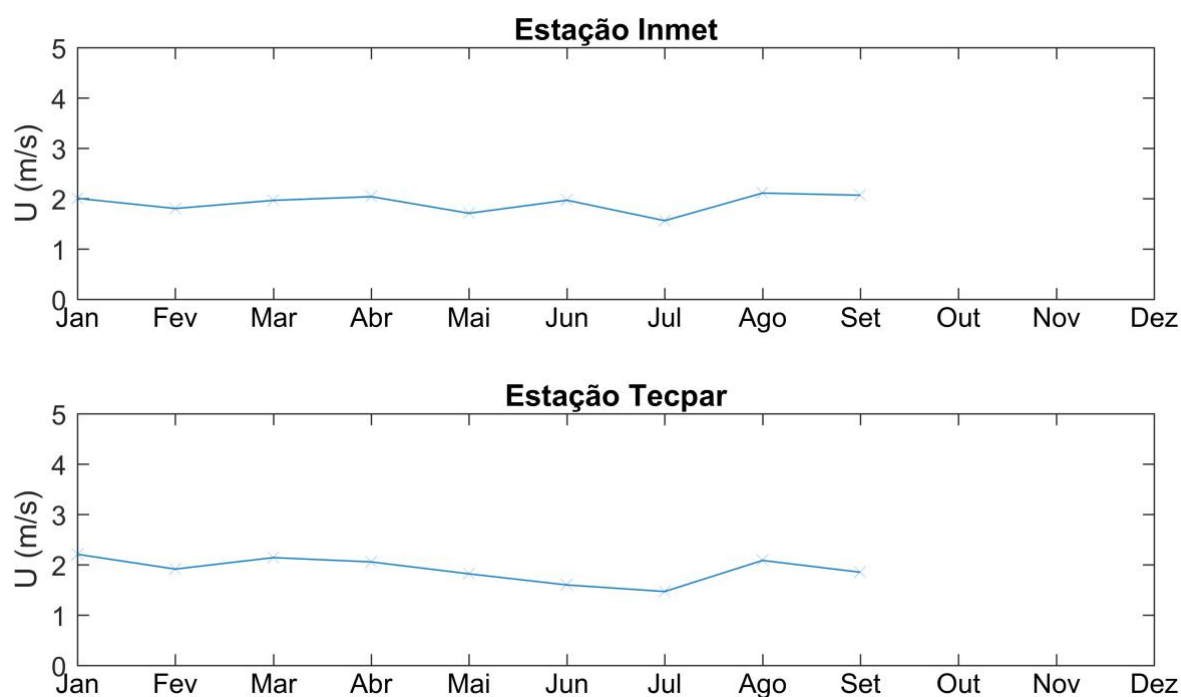


Figura 24 - Velocidade do vento com médias mensais das estações Inmet e Tecpar no ano de 2017

Tabela 33- Média mensal da velocidade do vento das estações Inmet e Tecpar no ano de 2017.

| MÉDIAS MENSAIS VELOCIDADE DO VENTO 2017 (m/s) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Estação                                       | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| Inmet                                         | 2,0 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 1,7 | 1,9 | 1,5 | 2,1 | 2,1 | -   | -   | -   |
| Tecpar                                        | 2,3 | 1,9 | 2,1 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 2,1 | 1,8 | -   | -   | -   |

Como visto nos gráficos, a estação Inmet e Tecpar tiveram os melhores resultados, porém, como já foi dito, a velocidade do vento pode ser muito variável de uma região à outra, por isso, devido à proximidade da estação Tecpar com o reservatório esta será utilizada para comparação com a Ebulição do Metano.

#### 4.2.4 Pressão

A variável ambiental pressão foi medida por apenas 3 estações, porém nenhuma delas tiveram dados inconsistentes, apenas períodos sem medições. A Figura 26 representa os gráficos das estações Assis e Tecpar no ano de 2015 e a Tabela 34 as médias mensais destas. Na Figura 27 tem-se apenas um gráfico pois só foi obtido os dados da estação Tecpar e a Tabela 35 mostra suas médias. Por último, na Figura 28 tem-se os gráficos das estações Tecpar e INMET, e a Tabela 36 tem suas médias mensais.

Tabela 34- Média mensal da pressão das estações Assis e Tecpar no ano de 2015.

| MÉDIAS MENSAIS PRESSÃO 2015 (mBar) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Estação                            | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   |
| Assis                              | 913,4 | 911,0 | 913,2 | 914,2 | 915,3 | 916,9 | 915,4 | 915,7 | 912,6 | 913,6 | 911,5 | 912,3 |
| Tecpar                             | -     | 915,7 | 915,1 | 916,3 | 917,7 | 919,6 | 917,9 | 918,2 | 914,5 | 915,5 | 913,1 | 913,8 |

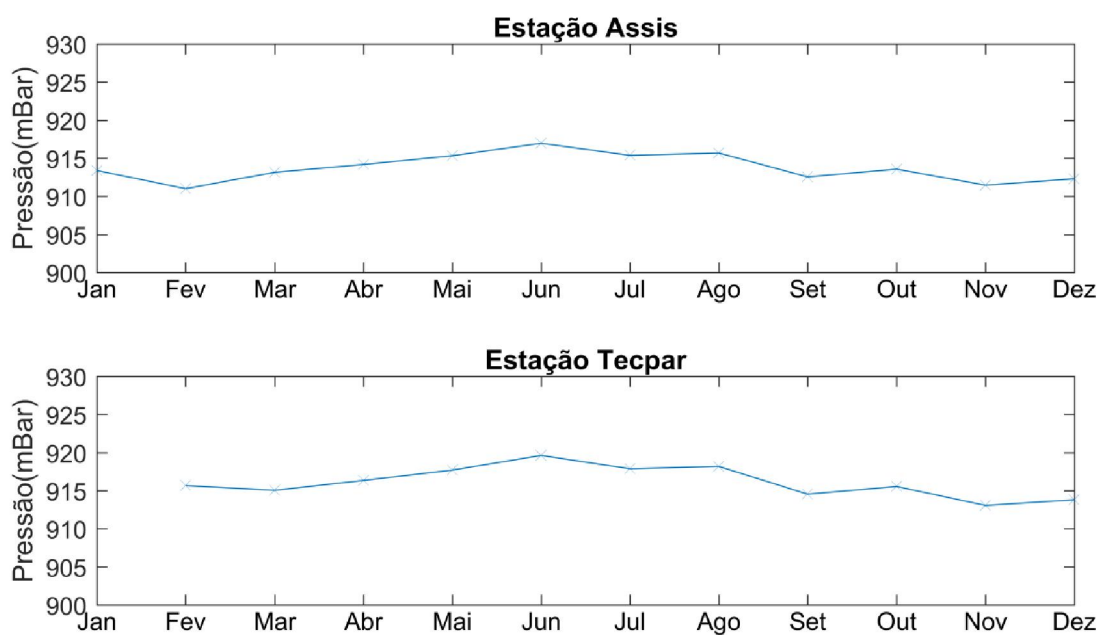


Figura 25 - Pressão média mensal das estações Assis e Tecpar no ano de 2015.

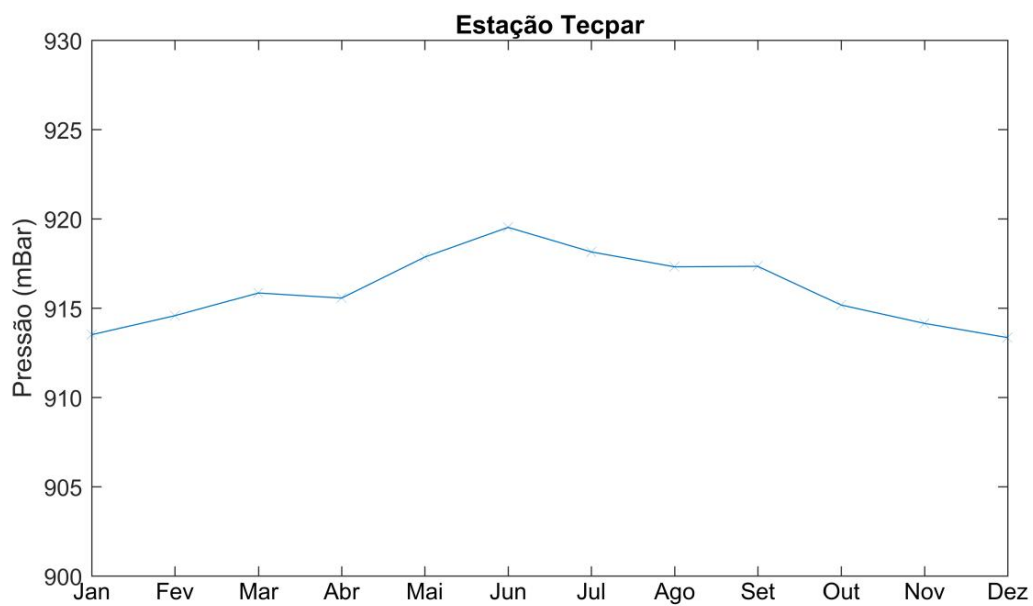


Figura 26 - Pressão média mensal da estação Tecpar no ano de 2016.

Tabela 35- Média mensal da pressão da estação Tecpar no ano de 2016.

| MÉDIAS MENSAIS PRESSÃO 2016 (mBar) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Estação                            | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   |
| Tecpar                             | 913,5 | 914,6 | 915,8 | 915,6 | 917,9 | 919,5 | 918,1 | 917,3 | 917,3 | 915,2 | 914,1 | 913,3 |

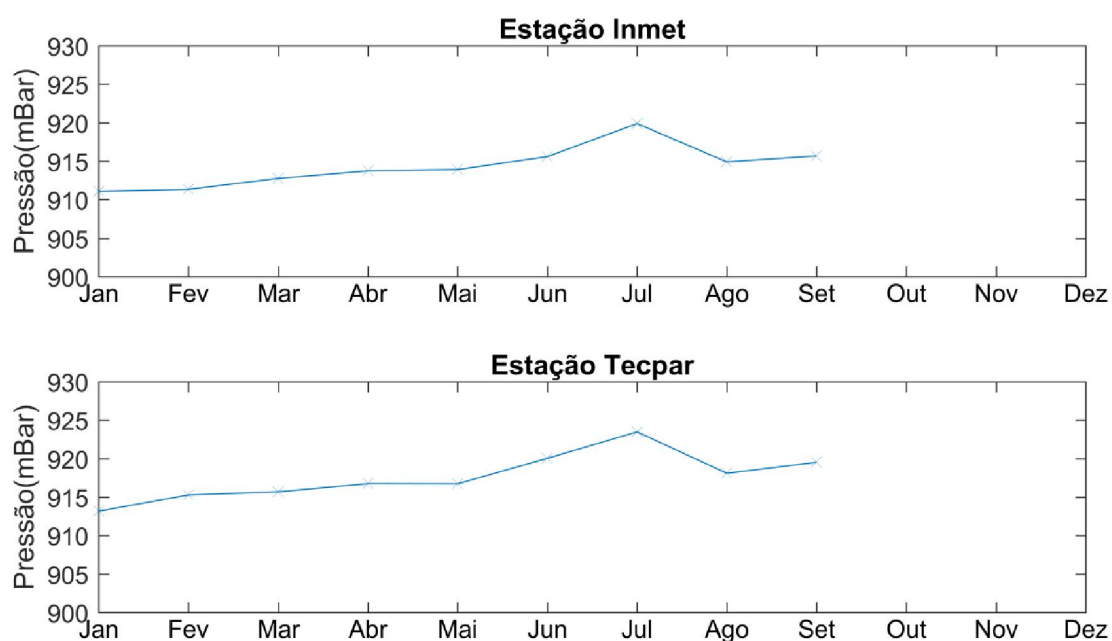


Figura 27 - Pressão média mensal das estações Inmet e Tecpar no ano de 2017.

Tabela 36- Média mensal da pressão das estações Inmet e Tecpar no ano de 2017.

| MÉDIAS MENSAIS PRESSÃO 2017 (mBar) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |     |     |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| Estação                            | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out | Nov | Dez |
| Inmet                              | 911,1 | 911,3 | 912,8 | 913,7 | 913,9 | 915,6 | 919,9 | 914,9 | 915,7 | -   | -   | -   |
| Tecpar                             | 913,2 | 915,3 | 915,7 | 916,7 | 916,7 | 920,0 | 923,5 | 918,1 | 919,5 | -   | -   | -   |

### 4.3 COMPARAÇÃO COM OS DADOS DE EBULIÇÃO DO METANO

Depois de obter os dados brutos das variáveis ambientais de diversas estações meteorológicas, de fazer uma análise de consistência e estatística e de comparar os resultados, foi possível definir quais medições seriam usados para o estudo de correlação com a emissão de ebulição. Como os resultados de 2017 da estação Tecpar e INMET apresentaram semelhança, será utilizado a estação Tecpar para comparação com dados das séries de Ebulição do Metano, devido a proximidade desta com o reservatório. Já para a precipitação foi escolhida a estação Sanepar para comparação, pois a estação Colônia Dom Pedro teve um período sem medição no intervalo de tempo que seria usado para o estudo, e a estação INMET está distante o suficiente para influenciar na quantidade de precipitação de um local ao outro. A Tabela 37 representa quais estações serão utilizadas e o intervalo de tempo com que os dados serão analisados.

Tabela 37- Estações escolhidas para o estudo.

| 2017 ( $\Delta T = 1$ dia, 1 hora e 5 min) |         |              |        |
|--------------------------------------------|---------|--------------|--------|
| TEMPERATURA                                | PRESSÃO | PRECIPITAÇÃO | VENTO  |
| TECPAR                                     | TECPAR  | SANEPAR      | TECPAR |

Os dados de Ebulição do Metano obtidos dos 3 pontos de medição no reservatório foram analisados e então foi escolhido o melhor período para se fazer as devidas comparações. Ou seja, o intervalo de tempo com melhores resultados, sem falhas e com longas medições. Por fim, o funil que se encontra no ponto 2 obteve os melhores resultados, a Figura 29 representa o fluxo volumétrico de gás ( $\text{ml/m}^2$ ) acumulado em 5 minutos, 1 hora e 1 dia no período de 10 de Fevereiro até 27 de Maio de 2017.

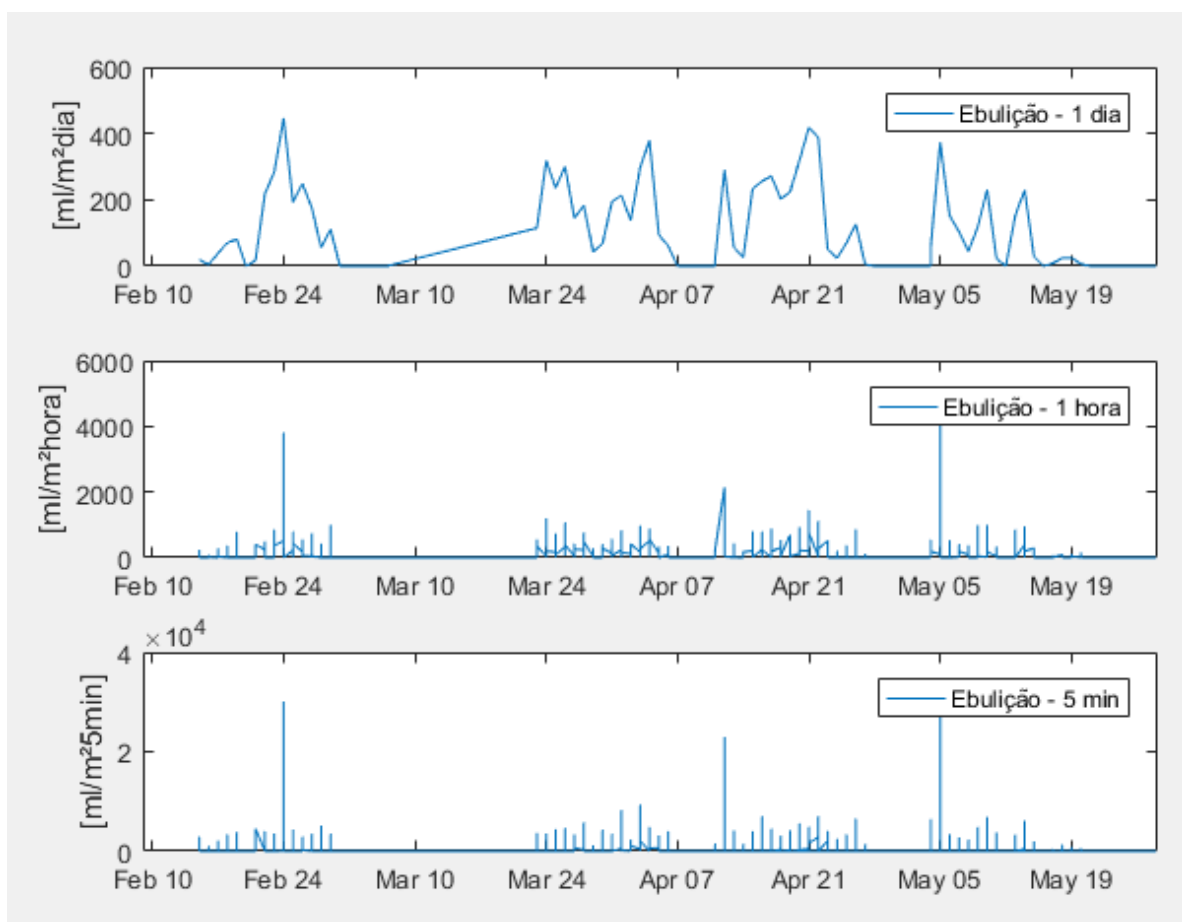


Figura 28 - Série de fluxo volumétrico de gás de Fevereiro à Maio.

Para melhor visualização e comparação dos resultados, esse período de 10 de fevereiro até 27 de maio foi dividido em 4 partes e correlacionado com cada variável ambiental.

#### 4.3.1 Precipitação

Foi analisada a precipitação total acumulada diária (em mm) e o fluxo de gás também acumulado em um dia ( $ml/m^2.dia$ ). Nas Figuras 30, 31, 32 e 33 tem-se os gráficos da correlação destas.

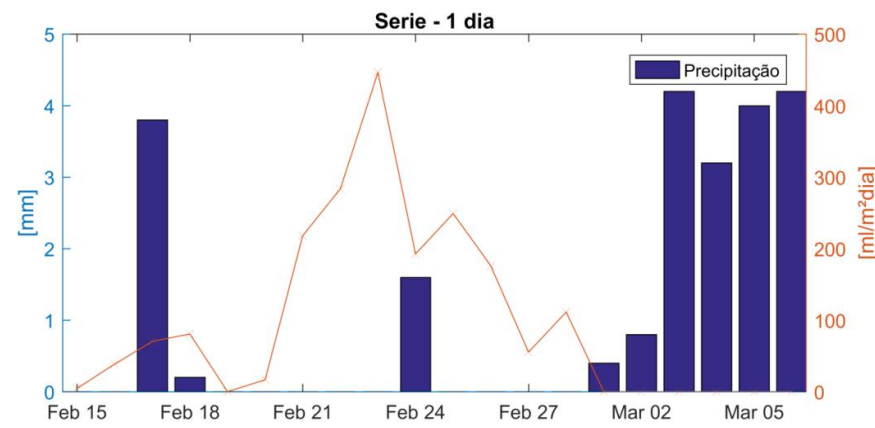


Figura 29 - Precipitação e Taxa de Ebulição (de Fevereiro à Março). Médias diária.

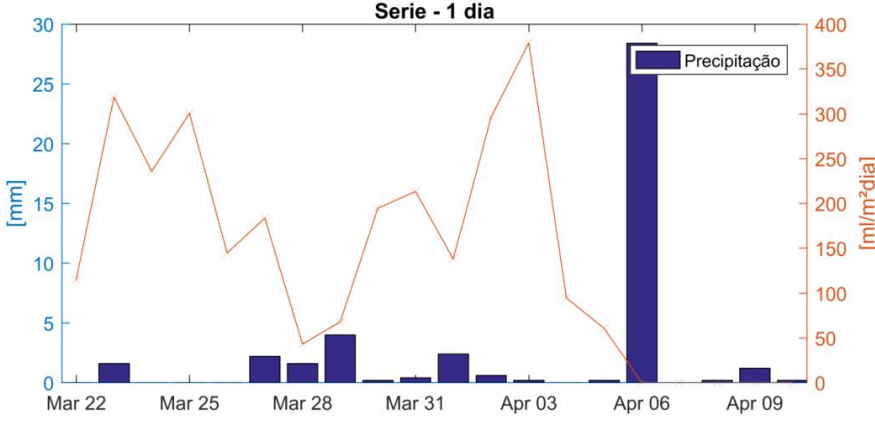


Figura 30- Precipitação e Taxa de Ebulição (Março à Abril). Médias diária.

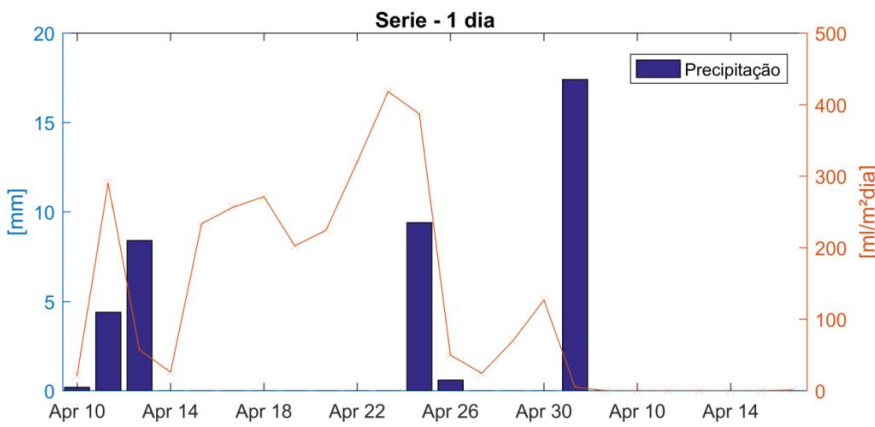


Figura 31 - Precipitação e Taxa de Ebulição (de Abril à Maio). Médias diária.

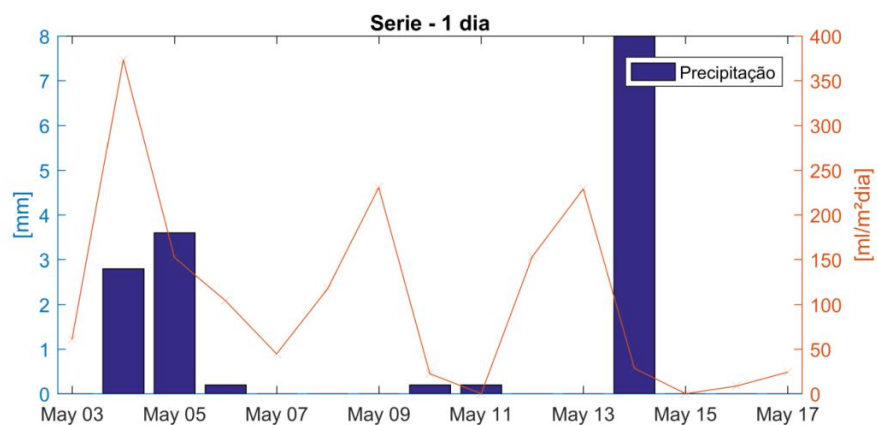


Figura 32 - Precipitação e Taxa de Ebulição (Maio). Médias diárias.

#### 4.3.2 Temperatura

Foi analisado a temperatura média diária (em °C) e o fluxo de gás também acumulado em um dia (ml/m².dia). Nas Figuras 34, 35, 36 e 37 tem-se os gráficos. No anexo VII é possível visualizar os gráficos com intervalos de tempo menores, como de 1 hora e 5 minutos.

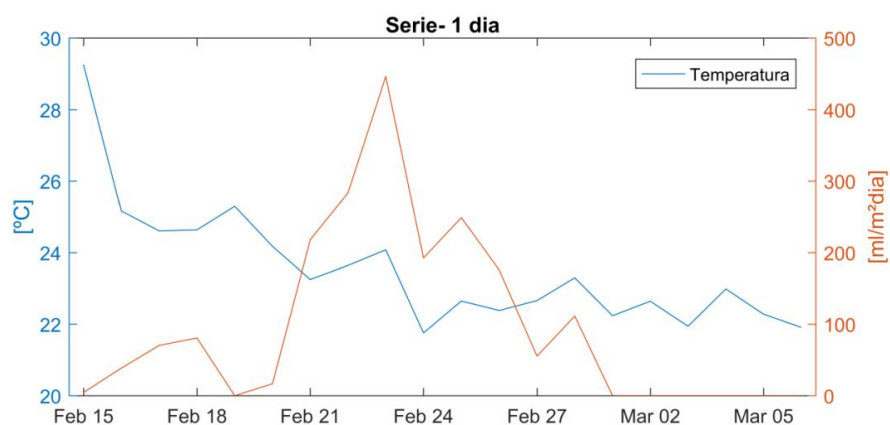


Figura 33 - Temperatura e Taxa de Ebulição (de Fevereiro à Março). Médias diárias.

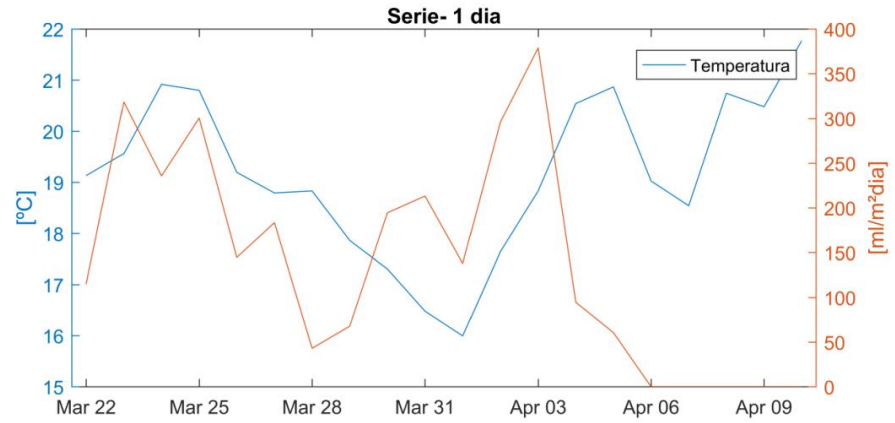


Figura 34 - Temperatura e Taxa de Ebulição (de Março à Abril). Médias diárias.

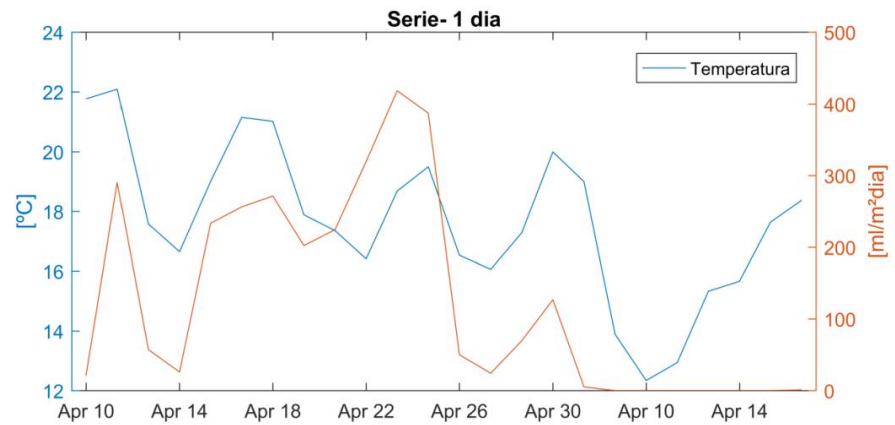


Figura 35 - Temperatura e Taxa de Ebulição (Abril). Médias diárias.

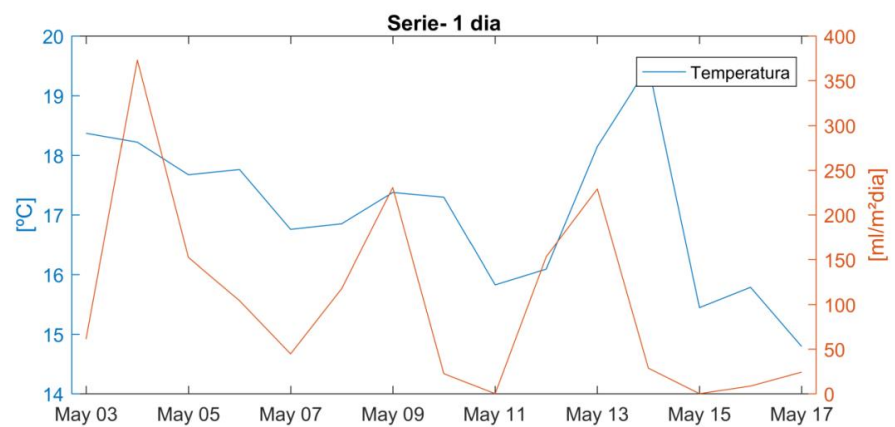


Figura 36 - Temperatura e Taxa de Ebulição (Maio). Médias diárias.

### 4.3.3 Pressão

Foi analisado a pressão média diária (em mBar) e o fluxo de gás também acumulado em um dia ( $\text{ml/m}^2\cdot\text{dia}$ ). Nas Figuras 38, 39, 40 e 41 tem-se os gráficos. No anexo VIII é possível visualizar os gráficos com intervalos de tempo menores, como de 1 hora e 5 minutos.

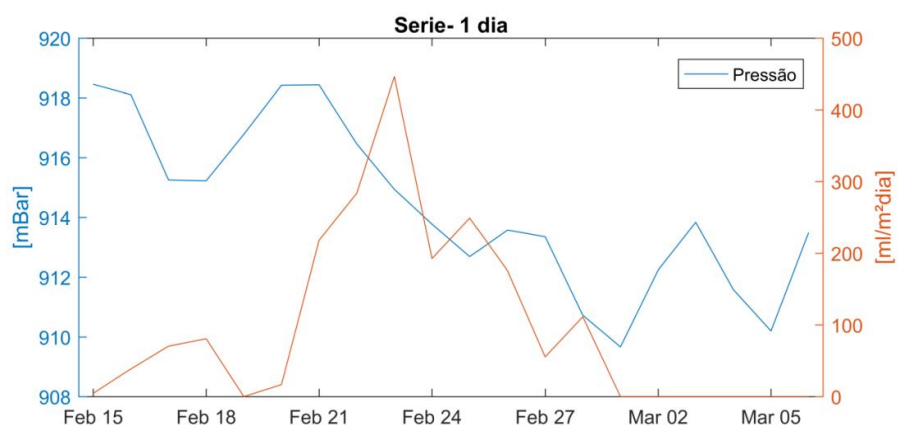


Figura 37 - Pressão e Taxa de Ebulição (de Fevereiro à Março). Médias diárias.

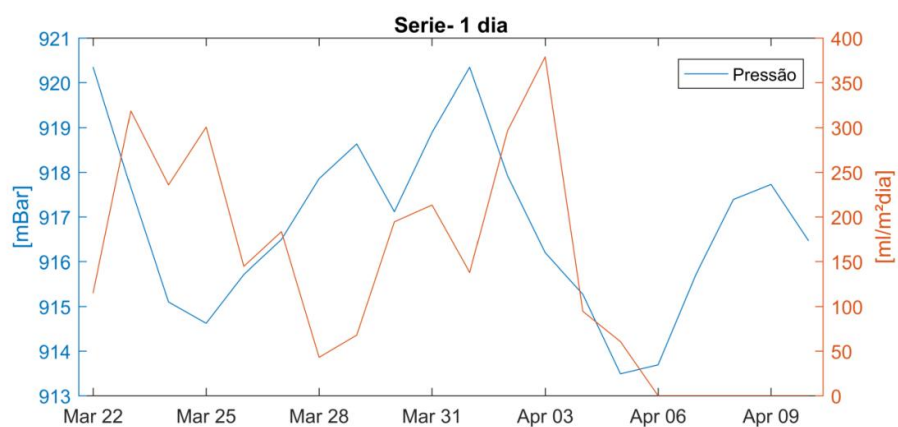


Figura 38 - Pressão e Taxa de Ebulição (de Março à Abril). Médias diárias.

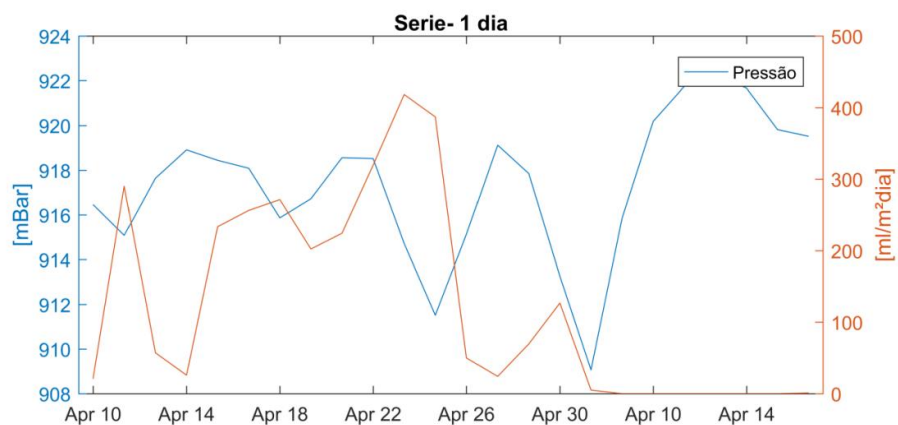


Figura 39 - Pressão e Taxa de Ebulição (Abril). Médias diárias.

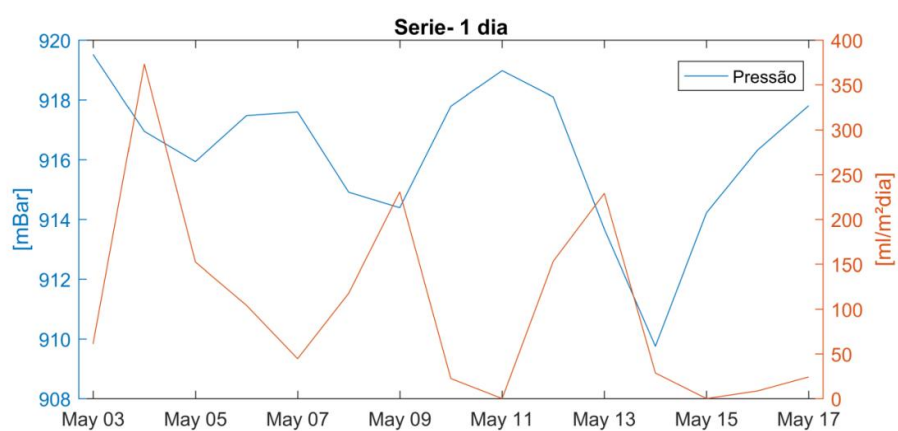


Figura 40 - Pressão e Taxa de Ebulição (Maio). Médias diárias.

#### 4.3.4 Velocidade do Vento

Foi comparado a velocidade média diária (em m/s) e o fluxo de gás também acumulado em um dia ( $\text{ml/m}^2.\text{dia}$ ). Nas Figuras 42, 43, 44 e 45 tem-se os gráficos. No anexo IX é possível visualizar os gráficos com intervalos de tempo menores, como de 1 hora e 5 minutos.

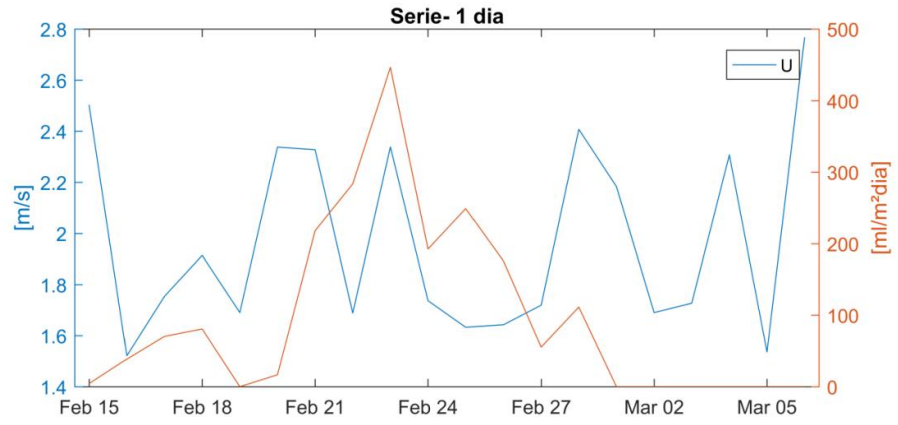


Figura 41 - Velocidade do Vento e Taxa de Ebulição (de Fevereiro à Março). Médias diárias.

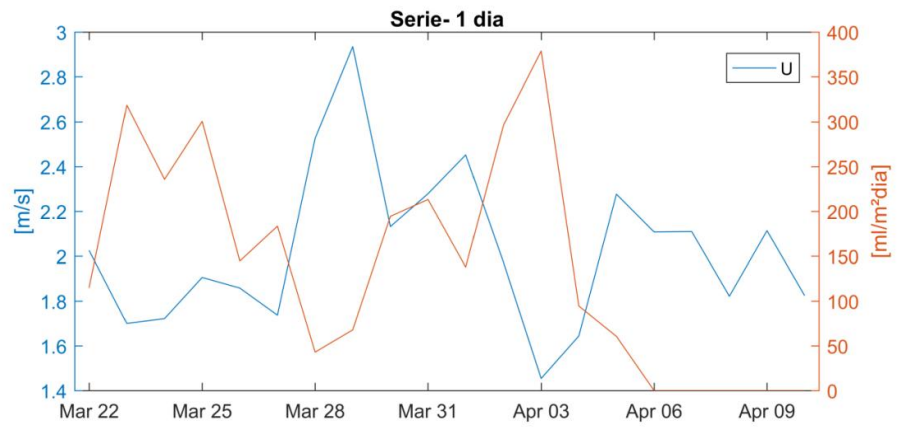


Figura 42 - Velocidade do Vento e Taxa de Ebulição (de Março à Abril). Médias diárias.

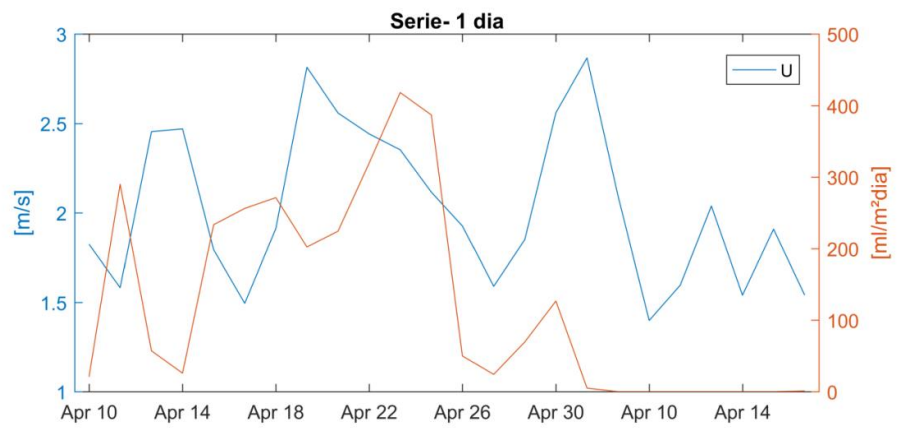


Figura 43 - Velocidade do Vento e Taxa de Ebulição (Abril). Médias diárias.

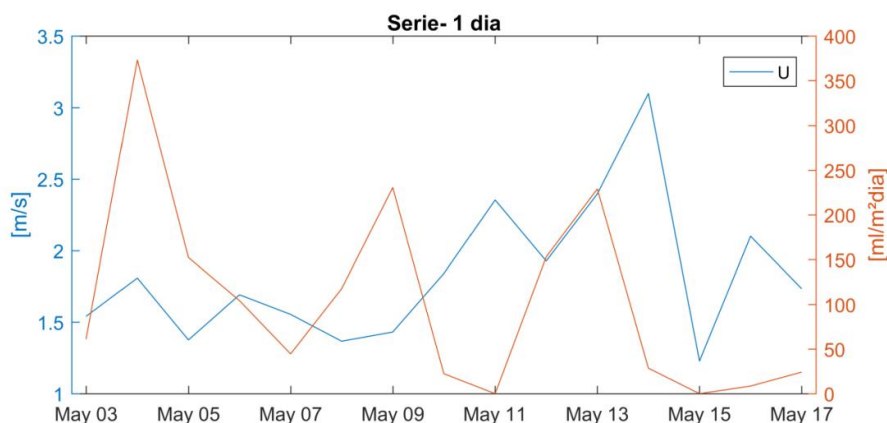


Figura 44 - Velocidade do Vento e Taxa de Ebulição (Maio). Médias diárias.

#### 4.4 DISCUSSÕES

Xavier (2005) analisou a precipitação dos dados da Colônia Dom Pedro de 1993 até 2003 e observou que Janeiro e Fevereiro eram os meses mais chuvosos, enquanto Abril era o mais seco. O que se pode observar nos 3 anos de dados analisado, onde a precipitação tende a ser maior nos meses mais quentes.

De acordo com a classificação climática de Köppen o Estado do Paraná foi identificado como no tipo Cfa, que seria clima tropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. O que é possível visualizar esse comportamento nos gráficos gerados de temperatura e precipitação.

Os gráficos de precipitação foram vagos quanto a influência na emissão de gás, o que pode ser explicado por Varadharajan e Hemond (2012), que descrevem que pode haver uma discrepância entre a medição e o tempo atual e escalas temporais, o que pode gerar resultados ruins. Além disso, o sistema pode ter um tempo de resposta com a força que podem resultar em efeitos que ainda não são conhecidos e podem potencialmente mascarar os resultados.

A temperatura é uma variável importante a ser estudada em regiões tropicais, visto que nestes locais a temperatura média tende a ser elevada, acelerando potencialmente a degradação de matéria orgânica, o que consequentemente aumenta a taxa de emissão de  $\text{CH}_4$  (Maeck et al., 2014). Na correlação realizada neste estudo, viu-se que a temperatura influenciou no fluxo de ebulição, o que pode ser explicado por Maeck (2013), em que durante seus estudos, constatou que as taxas de ebulição durante o dia foram significativamente maiores em comparação com as taxas noturnas. Concluindo que a troca direta de calor entre a água e a região de sedimento influenciou na emissão de gás.

Segundo Varadharajan e Hemond (2012), a ebulição das bolhas podem ser influenciada por pequenas flutuações induzidas por ondas na superfície da água, conduzidas pelo vento. Os gráficos de velocidade do vento mostraram uma leve correlação, visto que quando aumentava a magnitude do mesmo, a taxa de ebulição também aumentou.

A emissão de ebulição pode ser desencadeada por mudanças na pressão atmosférica (Fechner-Levy & Hemond, et al., 1996), bem como a perturbação física do sedimento e pelo vento (Keller & Stallard, et al., 1994). A ebulição, mesmo para elevadas profundidades, pode ser desencadeada por flutuações pequenas e aperiódicas na pressão hidrostática, causadas pelas mudanças na pressão atmosférica ou no nível da água do lago (Varadharajan e Hemond et al., 2012). Entretanto, nem todas as reduções de pressões mostraram taxa de resposta de ebulição, devido ao histórico de lançamento de bolhas. Ou seja, se muitas bolhas já foram previamente liberadas, o armazenamento de gás na região de sedimento será menor, portanto, mesmo com a redução de pressão, não haverá aumento no fluxo de ebulição (Maeck et al., 2013).

Além dos gráficos foi feito também o método de regressão linear, que consiste numa linearização de uma equação para se estimar o valor esperado de uma variável y dados valores de outra variável x. O declive, ou coeficiente angular, da reta com valores próximos à 1 mostram a semelhança das duas variáveis utilizadas. Foi feito o método de regressão linear apenas para a temperatura e para a pressão pois estas foram as variáveis ambientais que tiveram mais coerência com as curvas de fluxo de Ebulição de Metano. Como pode-se observar nos gráficos das Figuras 46 e 47, as retas não mostraram tanta semelhança, o que pode ser explicado por

Varadharajan e Hemond (2012), que descrevem que a correlação da ebulição com a variável pode não ter bons resultados. Além disso, um baixo valor de  $R^2$  pode ser explicado pelo fato deste método se tratar de uma relação linear, e as correlações realizadas representam um fluxo não linear.

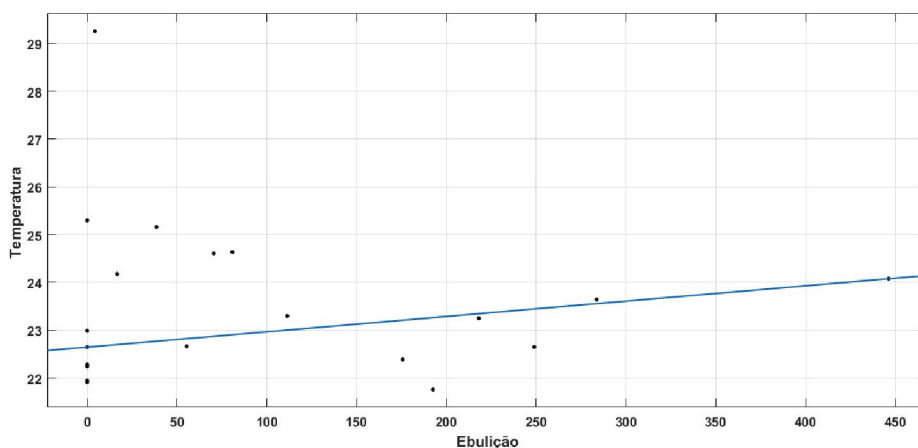


Figura 45 - Temperatura X Ebulição. Regressão linear com  $R^2 = 0,6348$ .

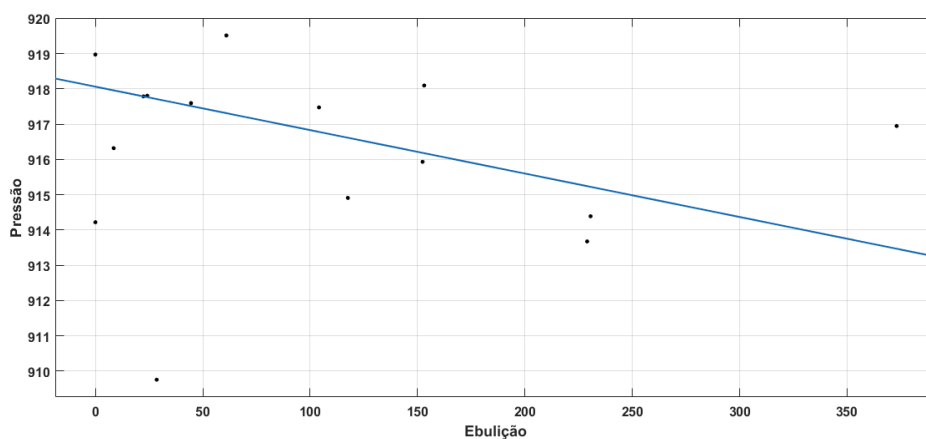


Figura 46- Pressão X Ebulição. Regressão linear com  $R^2=0,2318$ .

A análise de regressão linear e correlação são comumente usadas para examinar as relações entre os fluxos de metano e forçantes ambientais, no entanto estes métodos não fornecem informações definitivas sobre o processo (Treat et al., 2007).

Uma outra maneira de se estudar variáveis climáticas em locais onde não há estações, ou medições precisas, é utilizar dados de modelos, de satélites e da reanálise. A vantagem em se utilizar estes dados é a facilidade de encontrá-los, porém podem não ser tão precisos. Na Figura 48 tem-se o gráfico da temperatura média diária da estação Tecpar e dados de temperatura adquiridos por satélites, disponibilizados no site da NASA. A diferença entre os dados podem ser observados na Figura 49, onde o  $R^2$  das curvas foi 0,9108.

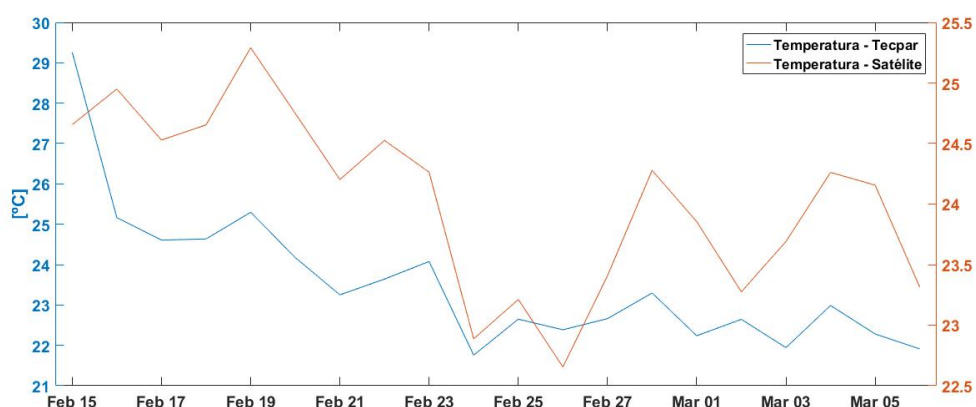


Figura 47 - Temperatura média da estação Tecpar e de satélite. Dados de Fevereiro à Março de 2017.

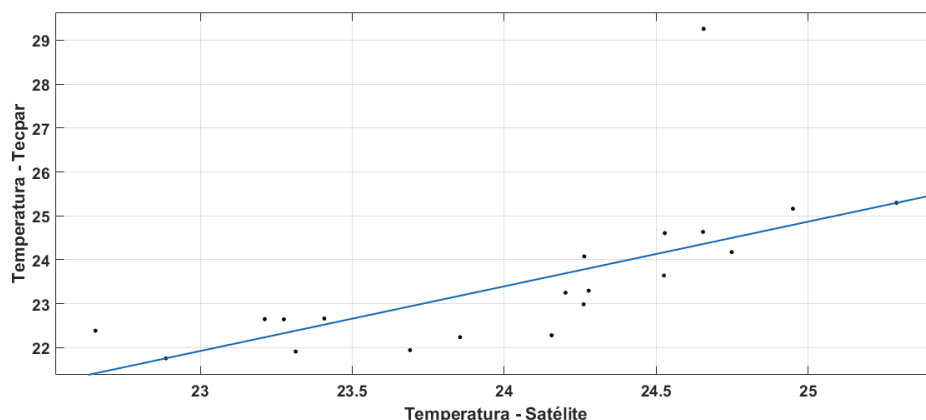


Figura 48 - Regressão linear entre temperatura obtida de uma estação climática e um satélite. Regressão linear com  $R^2= 0,9108$ .

## 5 CONCLUSÃO

O metano tem origem antrópica e natural, cuja fonte principal são as áreas inundadas, e devido ao seu elevado potencial de aquecimento e influência no Efeito Estufa é um gás que tem alto grau de importância em estudos sobre o Aquecimento Global. A ebulição é o principal meio de transporte deste gás em reservatórios e os fatores estudados neste projeto que influenciam na emissão para as trocas de gás entre a atmosfera e o reservatório são: velocidade do vento, chuva, temperatura do ar e pressão atmosférica.

Foi levantado dados meteorológicos de 6 estações próximas ao reservatório do Passaúna e outra estação de baixo custo foi instalada próxima à barragem do reservatório, onde os dados não puderam ser utilizados nos resultados devido ao curto período de tempo de funcionamento, mas pode-se fazer uma breve análise e comparação com os dados meteorológicos do INMET. Através desta correlação notou-se que o equipamento está fazendo medições acuradas e esses dados servirão de base para futuros estudos. Já os dados brutos obtidos das outras estações foram analisados de acordo com sua consistência, ou seja, ao número de falhas e de períodos sem medição. Com isso, foi feita uma análise estatística destes dados dos anos 2015, 2016 e 2017, fazendo médias mensais da velocidade do vento, temperatura e pressão, e o acumulado mensal da precipitação. Por último foi possível observar e selecionar quais estações seriam utilizadas para o estudo e para comparação com a Ebulição do Metano. Das 6 estações analisadas, apenas 3 (INMET, Tecpar e Sanepar) tiveram resultados satisfatórios e foram utilizadas nos resultados finais para as correlações. Todos os gráficos e análises dos dados foram programados no Software Matlab.

Dos 3 pontos de medição de fluxo de Ebulição no reservatório foi escolhido o ponto em que tivesse um período de tempo com os melhores resultados, o ponto 2. Deste ponto foi selecionado o intervalo de 14/02/2017 até 27/05/2017, onde foi dividido em 4 partes para facilitar a visualização.

À partir dos gráficos de precipitação não foi possível identificar com clareza se há correlação com a emissão do gás metano. Já nos gráficos da temperatura obteve-se resultados mais satisfatórios, visto que quando há um aumento do mesmo, há um aumento no fluxo de gás. Os gráficos de pressão tiveram resultados

inversos ao da temperatura, dado que quando aumentava a taxa de ebulição, diminuía a pressão atmosférica medida naquele dia. Por último, a curva de velocidade do vento teve uma leve semelhança com o comportamento da curva de Ebulição, mostrando que uma é proporcional à outra.

Além da visualização de gráficos também foi feito o método de regressão linear, onde se evidenciam os comportamentos já observados, porém não mostrou resultados considerados bons, ou seja, com valor de R próximo de 1.

Assim, à partir do estudo realizado entre as variáveis ambientais e a Ebulição do gás Metano no reservatório do Passáuna mostrou-se que esses são parâmetros que influenciam na emissão do gás.

## REFERENCIAS

### ÁGUAS PARANÁ

<<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=264> > Acessado em: 30/10/2017.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SAAD, A. R.; ALVARENGA, M. C. Considerações acerca dos impactos ambientais decorrentes da implantação de reservatórios hidrelétricos com ênfase nos efeitos concorrentes dos aquíferos livres e suas consequências. *Geociência*, v.29, n.3, pp. 355-367. 2010.

BAIRD, C. Química Ambiental. Bookman, Porto Alegre, 2 ed., 2002, 622 pp.

BELL, S., CONFORD D., BASTIN L. (2006), The State of Automated Amateur Weather Observations.

BARTLETT, K. B., P. M. CRILL, D. I. SEBACHER, R. C. HARRISS, J. O. WILSON, AND J. M. MELACK (1988), Methane flux from the central Amazon floodplain, *J. Geophys. Res.*, 93, 1571 – 1582.

BASTVIKEN, D., J. COLE, M. PACE, AND L. TRANVIK (2004), Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate, *Global Biogeochem.*

BARMETCHE, D.; KOBIYAMA, M. Aplicação do hycymodel no preenchimento de falhas de monitoramento de vazões. *Geosul*, v.21,n.42, p.185, 2006.

BERTONI J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: Tucci, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS, 2007. p.177-241.

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES/COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE, 1990: The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) (H. Preston-Thomas). *Metrologia*, 1990, 27, pp. 3–10.

CANTER, L.W. Environmental impact assessments for water resources projects. In: *ADVANCED COURSE ON WATER* São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 29, n. 3, p. 355-367, 2010 367 *RESOURCES MANAGEMENT*, 7, 1990, Perugia, Italy.

CANUEL E. A., Reactivity of recent deposited organic matter: Degradation of lipid compounds near the sediment water interface.

CARNEIRO, C., KELDERMAN, P., & IRVINE, K. (2016). Assessment of phosphorus sediment water exchange through water and mass budget in Passauna Reservoir (Parana State, Brazil). *Environmental Earth Sciences*, 75(7). <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5349-3>.

CHIBANA, E. Y.; FLUMINGNAM, D.; MOTA, R. G.; VIEIRA, A. S.; FARUA, R.T.

- Estimativa de falhas em dados meteorológicos. In: Congresso Brasileiro de Agroinformática, 9, 2005, Londrina.
- DEE, DICK, FASULLO, JOHN, SHEA, DENNIS, WALSH, JOHN & NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF (EDS). Last modified 12 Dec 2016. "The Climate Data Guide: Atmospheric Reanalysis: Overview & Comparison Tables."
- DESHMUKH, C., SERÇA, D., DELON, C., TARDIF, R., DEMARTY, M., JARNOT, C., ... GUÉRIN, F. (2014). Physical controls on CH<sub>4</sub> emissions from a newly flooded subtropical freshwater hydroelectric reservoir: Nam Theun 2. *Biogeosciences*.
- DORAISWAMY, P. C., PASTERIS, P.A., JONES, K.C., MOTHA, R.P., NEJEDLIK, P., 2000. Techniques for methods os collection, database management and distribution of agrometeorological data. *Agricultural and Forest Meteorology* 103, 83-97.
- DUCHEMIN, E., LUCOTTE, M. AND CANUEL, R., 1996. Source of Organic Matter Responsible for Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Complexes of the Boreal Region. 4th International Symposium on the Geochemistry
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço energético nacional 2008: ano base 2007. Sumário Executivo. Rio de Janeiro: EPE, 52 p., 180 il., 2008.
- FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution*, v.133, pp.69-96. 2002.
- FECHNER-LEVY, E. J., AND H. F. HEMOND (1996), Trapped methane volume and potential effects on methane ebullition in a northern peatland.
- FENDINGER, N. J., D. D. ADAMS, AND D. E. GLOTFELTY (1992), The role of gas ebullition in the transport of organic contaminants from sediments, *Sci. Total Environ.*, 112, 189 – 201.
- FRISCH, U. (1995), *TURBULENCE: THE LEGACY OF A. N. KOLMOGOROV*, 296 pp., Cambridge Univ. Press, New York.
- HOUGHTON, J. T. *Global Warming: The Complete Briefing*. 2 ed. Cambridge University Press, 1997. 251 pp. Cambridge.
- ICOLD- International Commission on Large dams. 1998. *World Register of Dams 1998*. Paris International Committee on Large Dams.
- INMET, Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET 2011.
- INMET < [http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTgwNw>](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTgwNw>)  
Acessado em: 30/10/2017.

- INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION (IHA). (2010). GHG measurement guidelines for freshwater reservoirs: derived from: The UNESCO/IHA Greenhouse Gas Emissions from Freshwater Reservoirs Research Project / general ed.: Joel A. Goldenfum.
- IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)].
- IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- KAN, A., LIPSKI, B., POLLI, B. A., FERNANDES, C. V. S., KRUEGER, C., VI-, E., FUCHS, S. Discussões e reflexões sobre estimativas de emissões de GEE em reservatórios.
- KELLER, M., AND R. F. STALLARD (1994), Methane emission by bubbling from Gatun Lake, Panama, J. Geophys. Res.
- LIU, H. AND G. DARKOW, 1989: Wind effect on measured atmospheric pressure. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Volume 6, Issue 1, pp. 5–12.
- LEIVAS, J. F.; BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Risco de deficiência hídrica decendial na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.10, n.2, p.397-407, 2006.
- LEMON FILHO, L. C. DE A; CARVALHO, L. G. DE; EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. M. T. DE; DANTAS, A. A. A. Análise espaço-temporal de evapotranspiração de referência para Minas Gerais. Ciência e Agrotecnologia, v.31, n.5, p.1462-1469, 2007.
- MAECK, A. et al. Sediment trapping by dams creates methane emission hot spots. Environmental Science and Technology, v. 47, n. 15, 2013. ISSN 0013936X.
- MANNICH, MICHAEL (2013), Estimativa de emissão de gases de efeito estufa em reservatórios e lagos- contribuições para o monitoramento e modelagem 1D vertical.
- MARCON, L. (2017). Continuous measurement of ebullition in a subtropical reservoir and investigation of its temporal variability.
- MARCON, L., BLENINGER, T. B., & MANNICH, M. (2017). Florianópolis- sc monitoramento contínuo de ebulição de gases em um reservatório subtropical continuous monitoring of gas bubbling in a subtropical xxii simposio brasileiro de recursos hídricos 26 de novembro a 01 d.
- MATTSON, M. D., AND G. E. LIKENS (1990), Air pressure and methane fluxes,

Nature, 347, 718 – 719.

MAZZARELLA, D.A., 1972: An inventory of specifications for wind-measuring instruments. Bulletin of the American Meteorological Society, 53, pp. 860–871.

MELLO, C.R. DE; SILVA, A.M. DA. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de Gumbel e sua influência em estudos hidrológicos de projeto. Irriga, v.10, n.4, p.318-334, 2005.

MELLO, S. Hidrelétricas: o sofisma da energia limpa. Saneamento Ambiental, ano 10, n. 59, 1999.

MILLER, P. A., BARTH, M. H., 2003. Ingest, integration, quality control and distribution of observations from State Transportation Departments using MADIS. In 19th International Conference on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology, Oceanography, and Hidrology (IIPS) February 9-13, 2003, Long Beach, California.

NASA. Acessado em 20/11/2017 < <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>>

OLIVEIRA, V. P. S.; ZANETTI, S. S.; PRUSKI, F. F. Climabr parte I: Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.3, p.348-355, 2005

OREGON SCIENTIFIC, user manual. Professional Weather Center.

RUDD JWM, HARRIS R, KELLY CA, HECKY RE.1993. Are hydroelectric reservoirs significant sources of greenhouses gases

RUDD, J. W. M., AND R. D. HAMILTON (1978), Methane cycling in a eutrophic shield lake and its effects on whole lake metabolism, Limnol. Oceanogr., 23, 337 – 348.

SANTOS, E. O. DOS, ROSA, L. P., & SANTOS, M. A. DOS. (2002). Tecnicas De Medida E Análise De Gases De Efeito Estufa Em Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, (November 2014).

SANTOS, G. G.; FIGUEIREDO, C. C. DE; OLIVEIRA, L. F. C. DE; GRIEBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.899-905, 2009.

SELLERS, P., HESSLEIN, R.H., KELLY, C.A. 1995. Continuous Measurement of CO<sub>2</sub> for Estimation of Air-Water Fluxes in Lakes: An In Situ Technique. Limnology and Oceanography, n. 40, v. 3, pp. 577-581.

SENECT. (2017). The Automated Bubble Trap (ABT) - Continuous measurement of the gas bubble rate. Disponível em: <<http://www.senect.de/abt/>>. Acesso em: 3/4/2017.

- SOTIRI, K. (2016). Investigation of urban mass fluxes to river systems through the use of reservoirs as validation points. (Dissertação de mestrado). Karlsruhe Institute of Technology. Karlsruhe.
- STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; GABRIEL, L. F.; PAULA, G. M. DE. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a oscilação decadal do Pacífico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.12, p.1553-1561, 2009
- ST. LOUIS V.L., KELLY C.A., DUCHMENIN E., RUDD J. W. M., ROSENBERG D.M. Reservoir surfaces as sources of greenhouses gases to the atmosphere: a global estimate. *BioScience* 50, (9), 766, 2000.
- STUMM, W., AND J. J. MORGAN (1996), *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, 1022 pp., John Wiley, New York.
- SUDERHSA; RDR. (2007). Plano de Bacia do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira: Relatório de Diagnóstico. Curitiba.
- TECPAR, INSTITUTO DE TECNOLOGIA DO PARANÁ, SMART ENERGY PARANÁ. <<http://portal.tecpar.br/tecnologia-e-inovacao/smart-energy-parana/>> Acessado em:30/10/2017.
- TREAT, C. C., J. L. BUBIER, R. K. VARNER, and P. M. Crill (2007), Time-scale dependence of environmental and plant-mediated controls on CH<sub>4</sub> flux in a temperate fen, *J. Geophys. Res.*
- TREMBLAY, A., AND BASTIEN, J. (2009), Greenhouse Gas Emissions from Boreal Reservoirs in Manitoba and Québec, Canada Measured with Automated Systems.
- UNESCO. (2009). Measurement specification guidance for evaluating the GHG status of man-made freshwater reservoirs. IHA: International Hydrological Programme - Greenhouse Gas (GHG) Research Project, (June), 55.
- VARADHARAJAN, C.; HERMOSILLO, R.; HEMOND, H. F. A low-cost automated trap to measure bubbling gas fluxes. *Limnology and Oceanography: Methods*, v. 8, p. 363–375, 2010. ISSN 15415856.
- XAVIER, C. d. F. Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da região metropolitana de Curitiba – Paraná. 167 p. Tese (Master) — Universidade Federal do Paraná, 2005.
- XAVIER, C. d. F. Qualidade das águas: reservatórios do estado do Paraná 2005 a 2008. Curitiba, 2009. 124 p.
- YANG, LE; LU, FEI. Progress in the studies on the greenhouse gas emissions from reservoirs. 2013.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1992: The WMO Automatic Digital Barometer Intercomparison (J.P. van der Meulen). Instruments and Observing Methods Report No. 46, WMO/ TD-No. 474, Geneva.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, Geneva, Switzerland.

## ANEXO I

### RESULTADOS: ESTAÇÃO ASSIS

Tabela 38 - Dados climáticos. Fonte: Estação meteorológica Assis.

| Ano         | Vel. Vento (m/s) |     |     | Precipitação(mm) |       |        | Temperatura (°C) |      |      | Pressão (mBar) |       |       |
|-------------|------------------|-----|-----|------------------|-------|--------|------------------|------|------|----------------|-------|-------|
|             | Méd              | Máx | Mín | Méd              | Máx   | Acum   | Méd              | Máx  | Mín  | Méd            | Máx   | Mín   |
| <b>2011</b> | 1,96             | 7,5 | 0,1 | 115              | 204,2 | 1548,7 | 18,1             | 36,3 | -1,9 | 912,9          | 923,6 | 902,8 |
| <b>2012</b> | 1,89             | 7,5 | 0,1 | 81,6             | 207,3 | 938,8  | 19,2             | 36,6 | 3,3  | 913,5          | 923,7 | 902,7 |
| <b>2013</b> | 2,06             | 7,6 | 0,1 | 113,3            | 292,6 | 1347,3 | 18,2             | 35,5 | -1,2 | 913,5          | 923,1 | 904,6 |
| <b>2014</b> | 1,98             | 7,4 | 0,1 | 91,9             | 171,6 | 1142,4 | 17,8             | 35,8 | 0    | 914            | 924,2 | 906,1 |
| <b>2015</b> | 1,9              | 7,6 | 0,1 | 67               | 222,4 | 903,8  | 17,4             | 35,6 | 0    | 913,8          | 923,7 | 902,7 |

Observando os 5 anos de medições é possível constatar que os valores das médias seguem com pouca variação, constatando apenas uma falha no ano de 2012 e 2015 no equipamento que faz a medição de chuva. Nota-se que o valor acumulado de precipitação nestes anos foi muito abaixo dos outros. Assim, é possível ver a falha do equipamento na Figura 50, onde no mês de Agosto teve valores negativos, o que não se aplica. Fazendo a análise de consistência, ou seja, apagando as medições negativas e calculando uma nova média, foi possível obter um resultado melhor, porém o erro relativo foi de 28% (como mostra na Tabela 39). Devido a quantidade de falhas nestas medições, os dados de precipitação desta estação não serão utilizados como parâmetro de comparação.

Tabela 39- Análise de consistência da precipitação na Estação Assis no ano de 2015.

| ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA-PRECIPITAÇÃO |        |        |        |               |               |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|---------------|---------------|
| Correção                             | Mínimo | Máximo | Médio  | Erro Absoluto | Erro Relativo |
| <b>Sem</b>                           | -274,7 | 230,3  | 89,71  | 24,85         | 0,28          |
| <b>Com</b>                           | 8,6    | 230,3  | 114,58 |               |               |

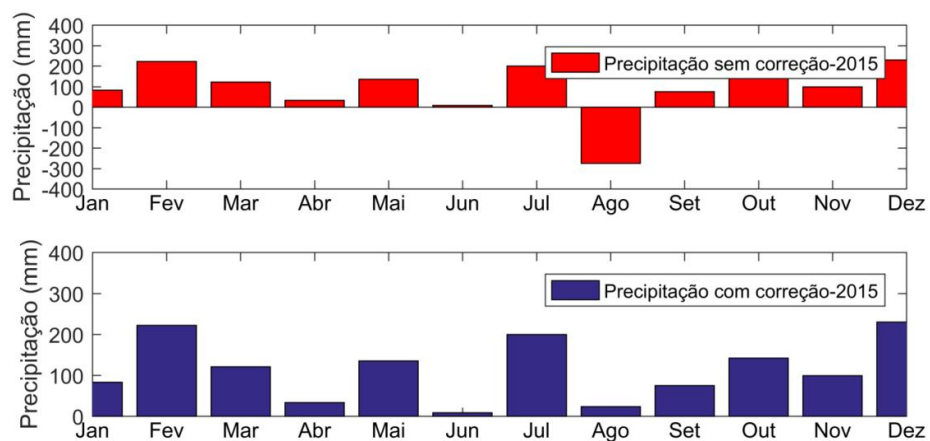


Figura 49- Gráfico da precipitação da Estação Assis no ano de 2015.

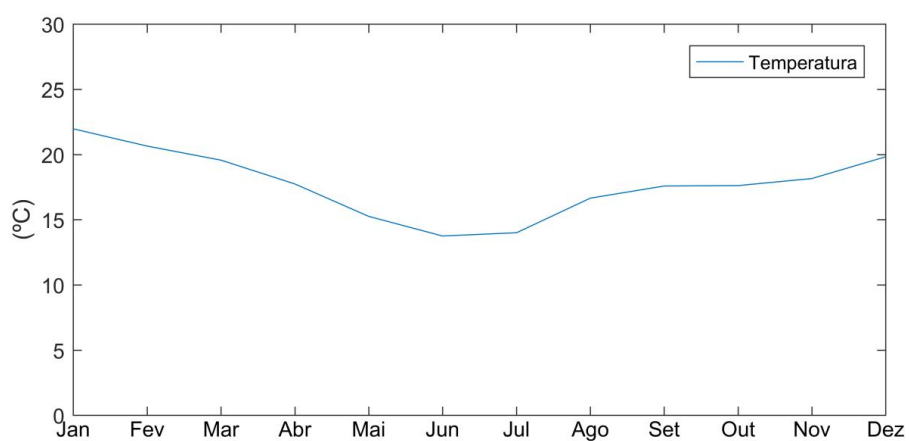


Figura 50 - Gráfico da temperatura no ano de 2015 da estação Assis.

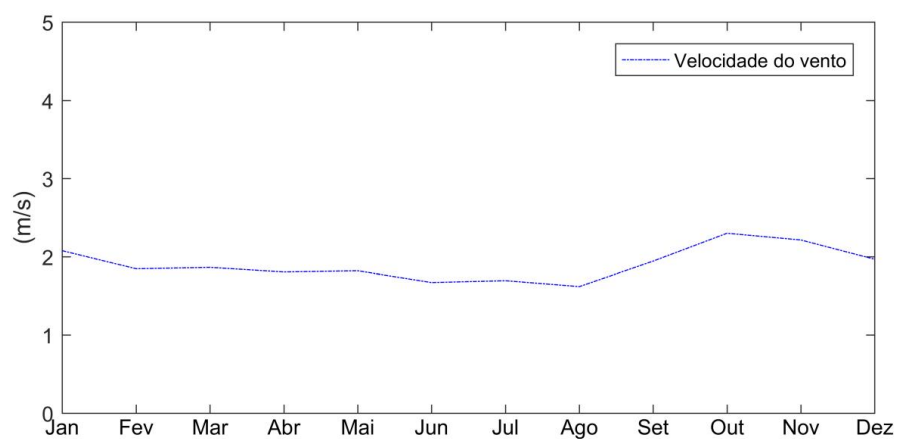


Figura 51 - Gráfico da velocidade do vento o ano de 2015 da estação Assis.

## ANEXO II

### RESULTADOS: ESTAÇÃO VERDE

No ano de 2015 teve um longo período sem medições, 3 meses que representam 7166 falhas, correspondendo a 20,5% do total. Este período foi descartado da análise de consistência, então, foram feitas correções somente do mês de Abril à Dezembro de 2015. Cada variável é verificada de maneira diferente, pois possuem valores de grandeza distintos, ou seja, foi arbitrado uma faixa em que deveriam conter os dados. A temperatura menor que 10° e maior que 40° são consideradas falhas. A mesma coisa foi feito para a precipitação e velocidade do vento, onde valores menores que 0 e maiores de 40, e menor que 0 e maior que 20, respectivamente foram descartados.

Nas Figuras 53, 54 e 55 tem-se os gráficos, onde é possível observar o período no início do ano onde não houve medições e as leves diferenças nas curvas antes e depois da análise de consistência. As Tabelas 40, 41 e 42 trazem uma análise estatística e o erro encontrado.

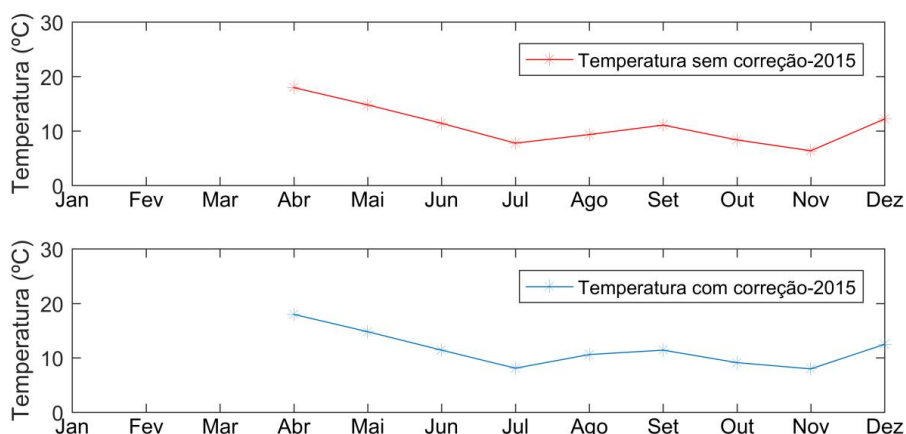


Figura 52- Gráfico da temperatura sem e com correção, ano de 2015.

Tabela 40- Análise de consistência da temperatura no ano de 2015.

| ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA-TEMPERATURA |        |        |       |               |               |
|-------------------------------------|--------|--------|-------|---------------|---------------|
| Correção                            | Mínimo | Máximo | Médio | Erro Absoluto | Erro Relativo |
| Sem                                 | 6,38   | 17,99  | 11,05 | 0,5           | 0,045         |
| Com                                 | 7,98   | 17,99  | 11,55 |               |               |

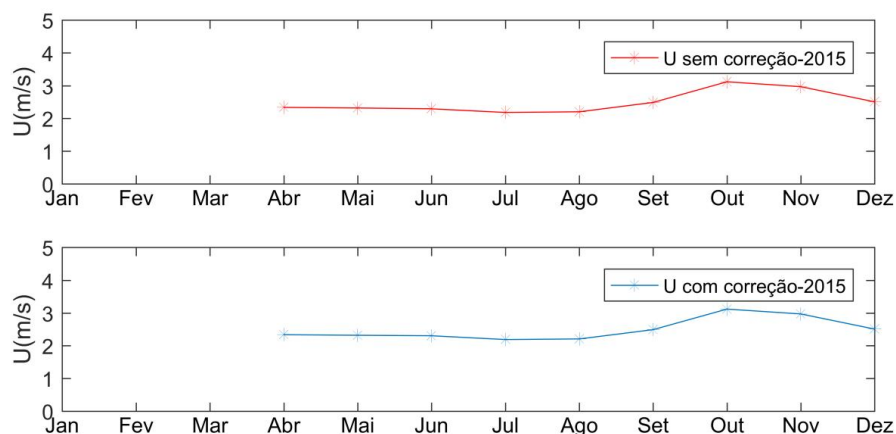


Figura 53-Figura 15- Gráfico da velocidade do vento sem e com correção, ano de 2015.

Tabela 41- Análise de consistência da velocidade do vento no ano de 2015.

| ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA-VELOCIDADE DO VENTO |        |        |        |               |               |
|---------------------------------------------|--------|--------|--------|---------------|---------------|
| Correção                                    | Mínimo | Máximo | Médio  | Erro Absoluto | Erro Relativo |
| Sem                                         | 2,18   | 3,12   | 2,4921 | 0,0033        | 0,0013        |
| Com                                         | 2,19   | 3,12   | 2,4954 |               |               |

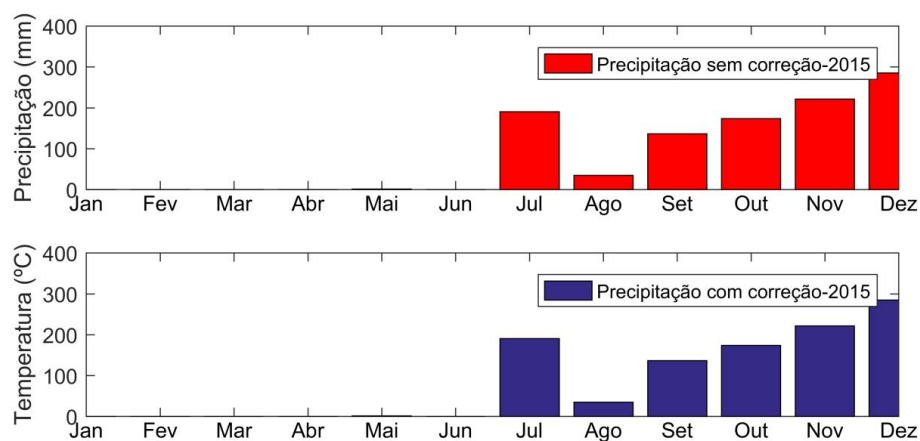


Figura 54- Gráfico da precipitação sem e com correção, ano de 2015.

Tabela 42- Análise de consistência da precipitação no ano de 2015.

| ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA-PRECIPITAÇÃO |        |        |       |               |               |
|--------------------------------------|--------|--------|-------|---------------|---------------|
| Correção                             | Mínimo | Máximo | Médio | Erro Absoluto | Erro Relativo |
| Sem                                  | 0      | 285,4  | 87    | 0             | 0             |
| Com                                  | 0      | 285,4  | 87    |               |               |

Como visto nos gráficos, os erros que os dados brutos apresentavam não ultrapassaram 4,5% de erro, porém não foi analisado o longo período em que não houve medição.

Já o ano de 2016 teve um período sem medição no final do ano, com 185 dados faltantes, representando 0,74% de falha. As Figuras 56, 57 e 58 representam os gráficos da temperatura, velocidade do vento e precipitação, junto com as Tabelas 43, 44 e 45 com os erros, respectivamente.

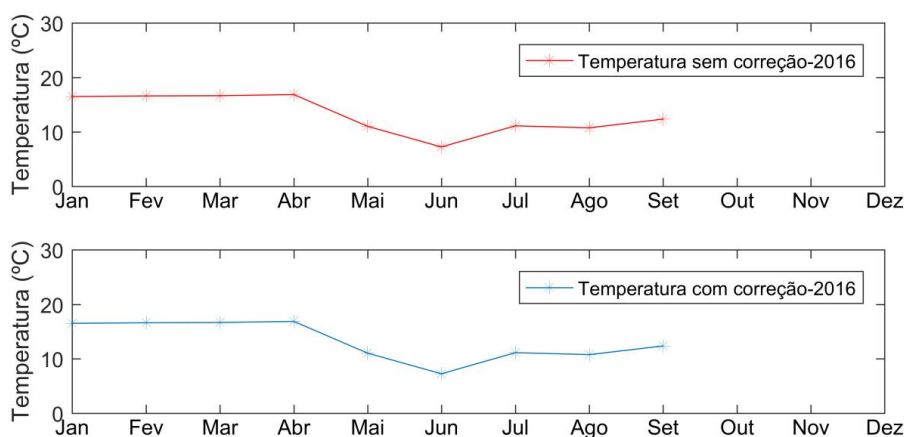


Figura 55- Gráfico da temperatura sem e com correção, ano de 2016.

Tabela 43- Análise de consistência da temperatura no ano de 2016.

| ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA-TEMPERATURA |        |         |         |               |               |
|-------------------------------------|--------|---------|---------|---------------|---------------|
| Correção                            | Mínimo | Máximo  | Médio   | Erro Absoluto | Erro Relativo |
| Sem                                 | 7,2635 | 16,8888 | 13,2627 | 0             | 0             |
| Com                                 | 7,2635 | 16,8888 | 13,2627 |               |               |

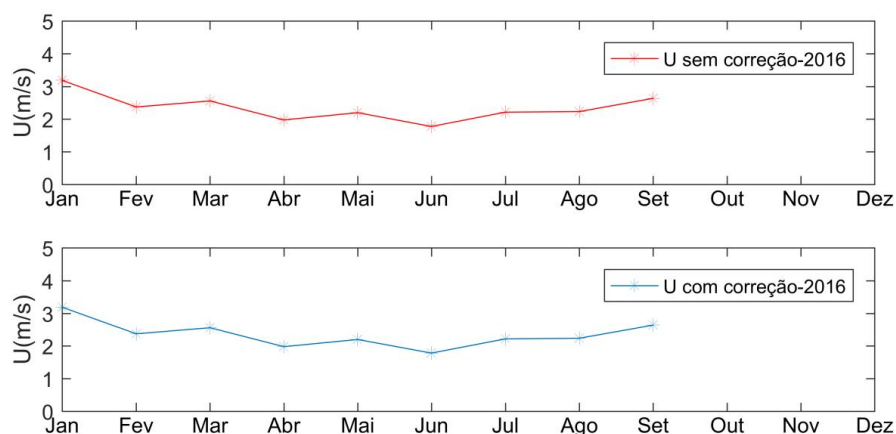


Figura 56- Gráfico da velocidade do vento sem e com correção, ano de 2016.

Tabela 44- Análise de consistência da velocidade do vento no ano de 2016.

| ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA-VELOCIDADE DO VENTO |        |        |        |               |               |
|---------------------------------------------|--------|--------|--------|---------------|---------------|
| Correção                                    | Mínimo | Máximo | Médio  | Erro Absoluto | Erro Relativo |
| Sem                                         | 1,7763 | 3,1892 | 2,3509 | 0,0024        | 0,001         |
| Com                                         | 1,783  | 3,1892 | 2,3533 |               |               |

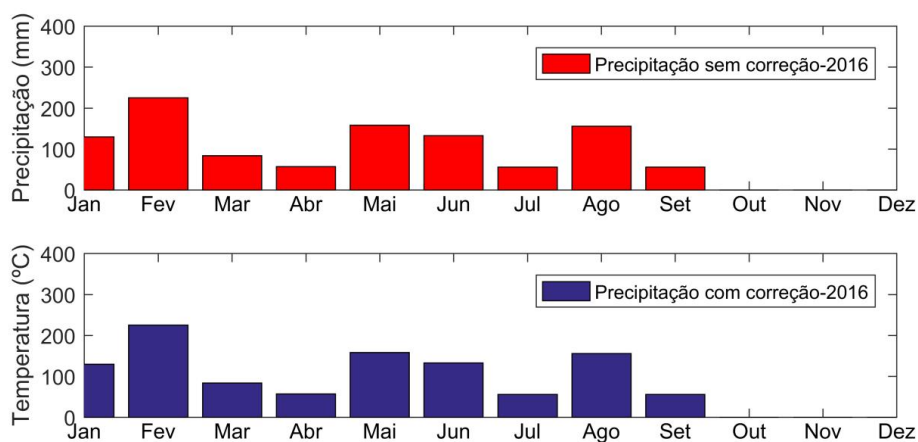


Figura 57- Gráfico da precipitação sem e com correção, ano de 2016.

Tabela 45- Análise de consistência da precipitação no ano de 2016.

| ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA-PRECIPITAÇÃO |        |        |       |               |               |
|--------------------------------------|--------|--------|-------|---------------|---------------|
| Correção                             | Mínimo | Máximo | Médio | Erro Absoluto | Erro Relativo |
| Sem                                  | 0      | 225,6  | 87,93 | 0             | 0             |
| Com                                  | 0      | 225,6  | 87,93 |               |               |

### ANEXO III

#### RESULTADOS: ESTAÇÃO INMET

Na Figura 59 tem-se o perfil da temperatura nos anos de 2015 e 2016 assim como para a precipitação e para a velocidade do vento, representado nas Figuras 60 e 61 respectivamente.

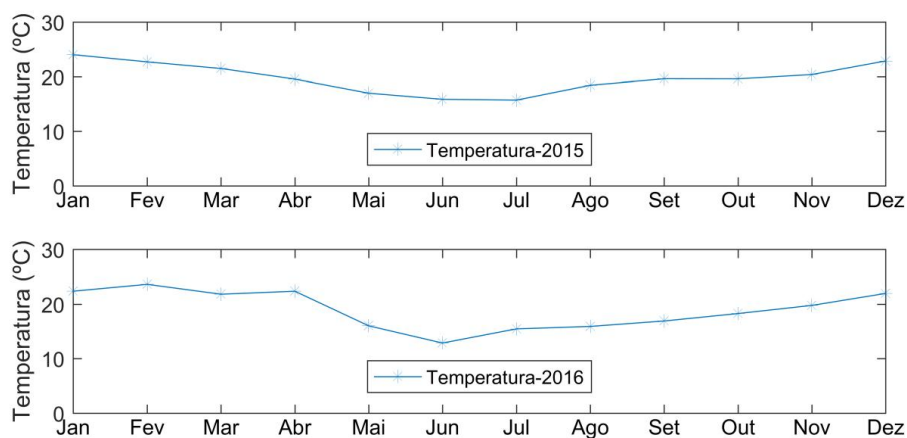


Figura 58- Gráfico da temperatura nos anos de 2015 e 2016.

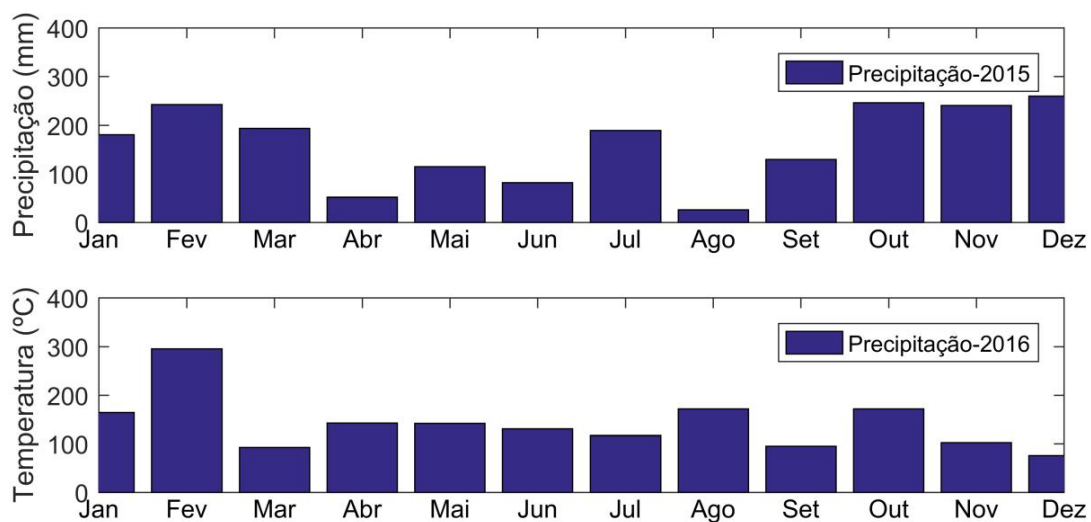


Figura 59- Gráfico da precipitação acumulada mensalmente nos anos de 2015 e 2016.

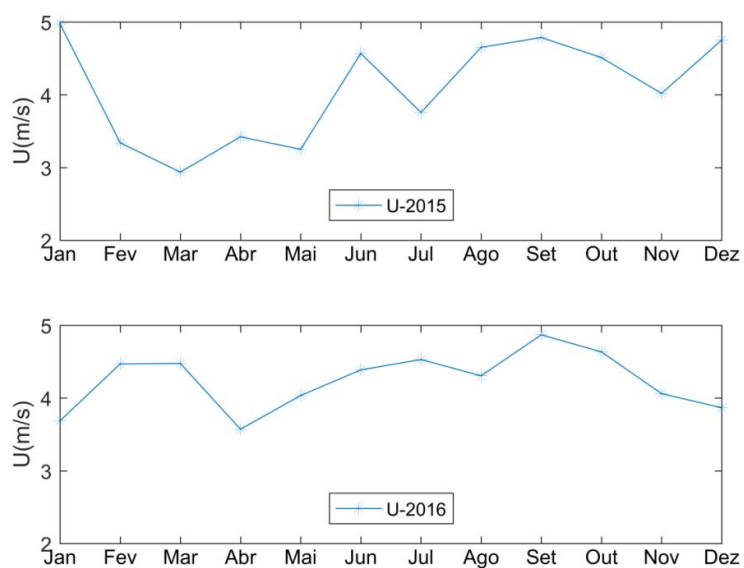


Figura 60- Gráfico da velocidade do vento nos anos de 2015 e 2016.

Na Figura 62 tem-se os dados do ano de 2017 até outubro, com a média mensal de cada variável. Neste ano foi obtido os dados de pressão.

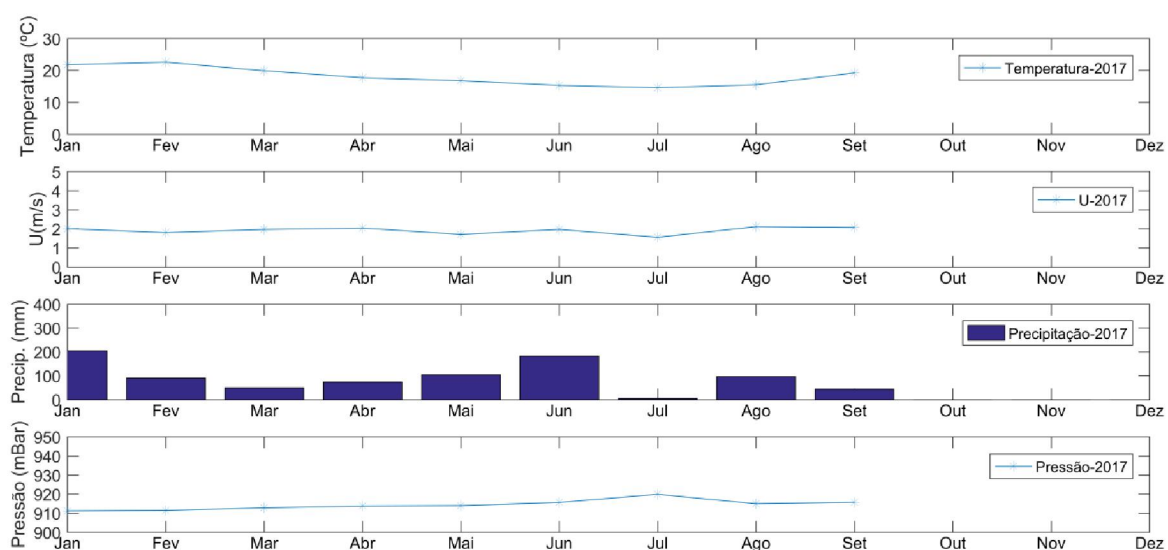


Figura 61- Gráfico da temperatura, velocidade do vento, precipitação acumulada e pressão no ano de 2017.

## ANEXO IV

### RESULTADOS: ESTAÇÃO TECPAR

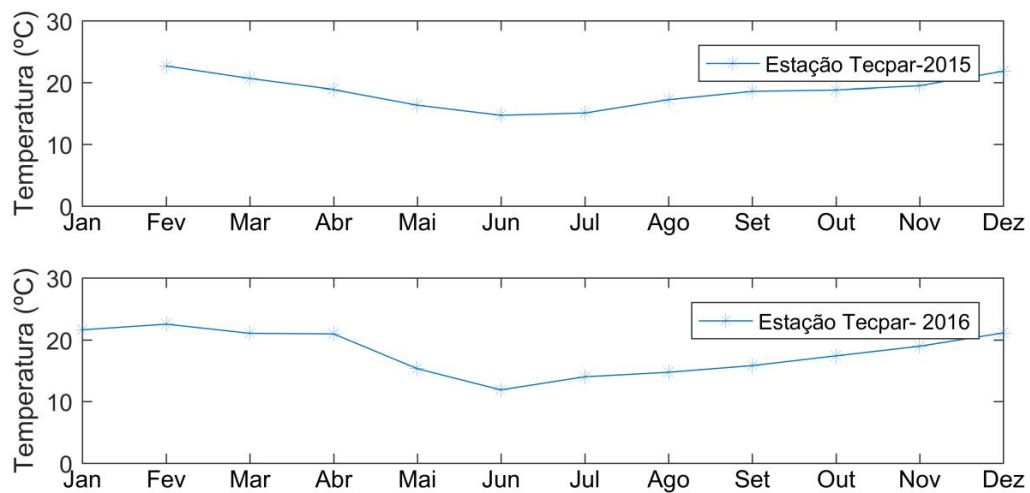


Figura 62- Temperatura no ano de 2015 e 2016.

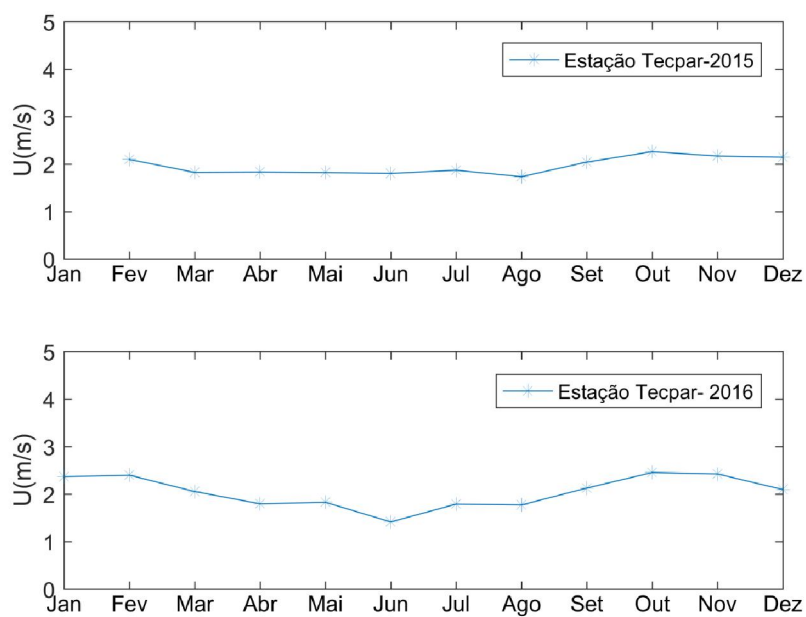


Figura 63- Velocidade do vento no ano de 2015 e 2016.

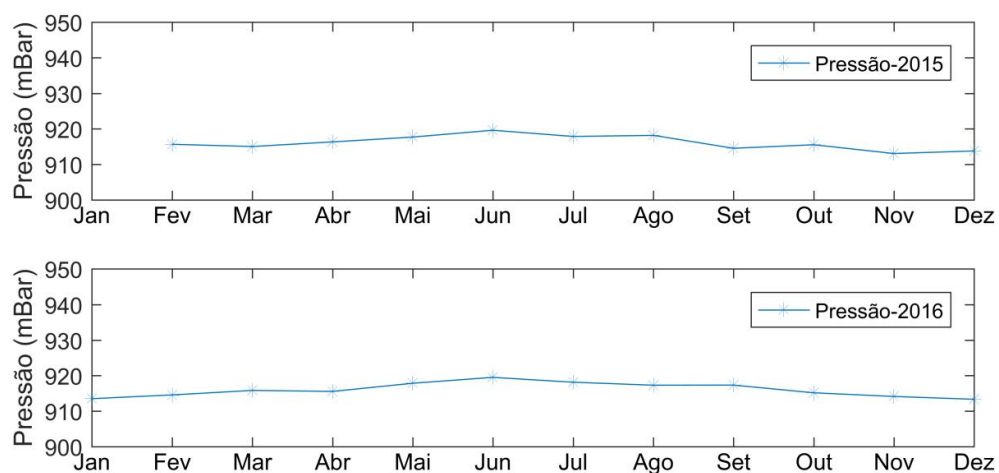


Figura 64- Pressão no ano de 2015 e 2016.

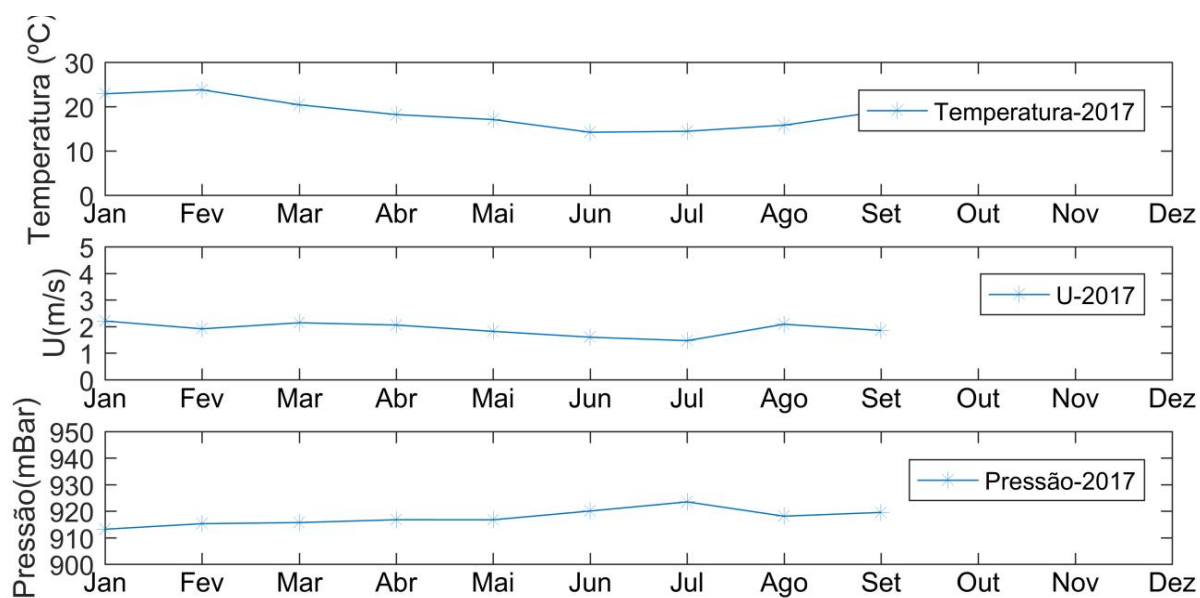


Figura 65- Médias de temperatura, velocidade do vento e pressão da estação Tecpar no ano de 2017.

## ANEXO V

### RESULTADOS: ESTAÇÃO BARRAGEM SANEPAR

As imagens 67, 68 e 69 representam a quantidade de precipitação acumulada durante um mês nos anos de 2015, 2016 e 2017.

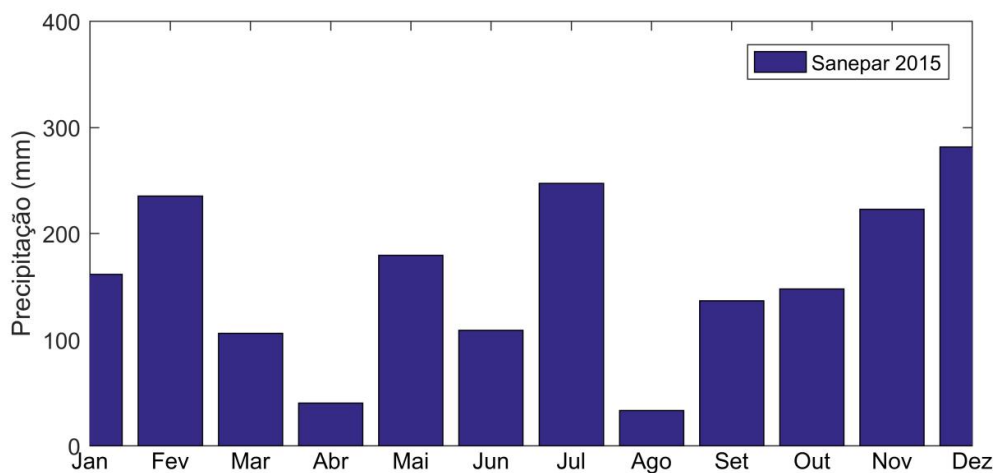


Figura 66- Gráfico da precipitação acumulada em 2015 da estação Sanepar.

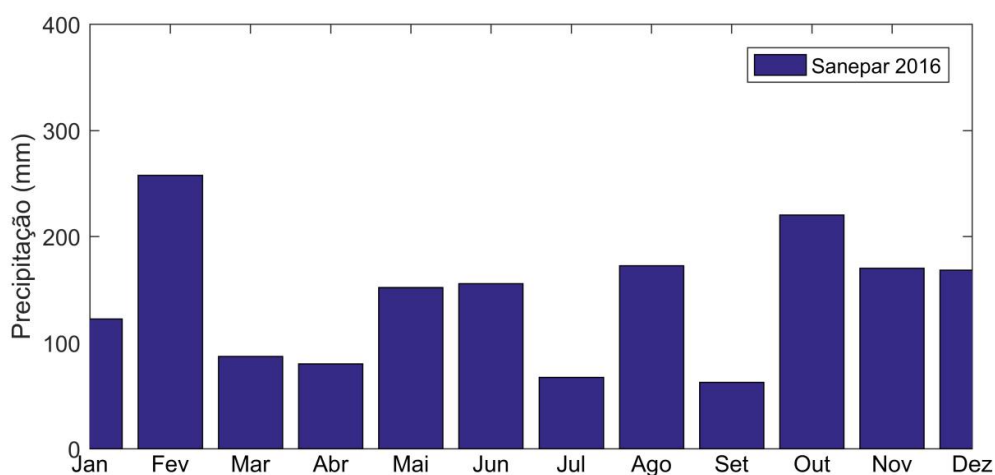


Figura 67- Gráfico da precipitação acumulada em 2016 da estação Sanepar.

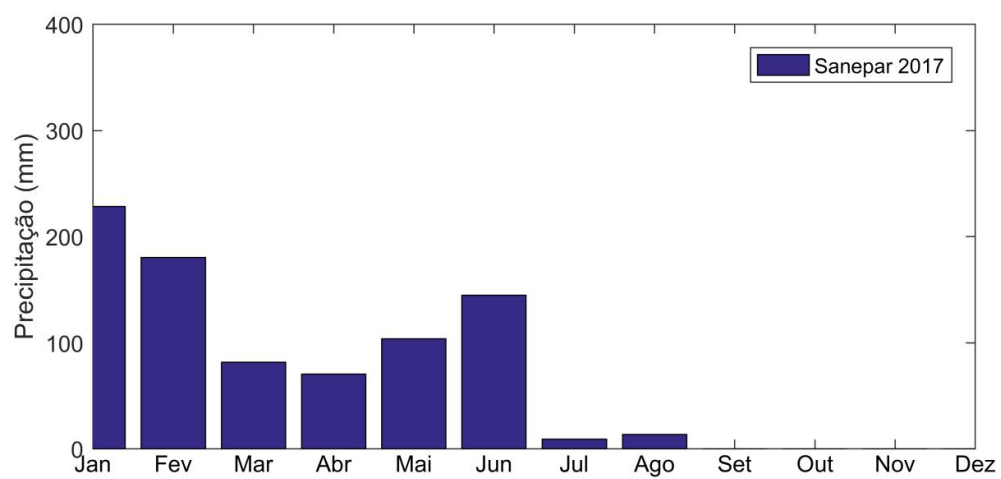


Figura 68- Gráfico da precipitação acumulada em 2017 da estação Sanepar.

## ANEXO VI

### RESULTADOS: ESTAÇÃO COLÔNIA DOM PEDRO

As imagens 70, 71 e 72 representam a quantidade de precipitação acumulada durante um mês nos anos de 2015, 2016 e 2017.

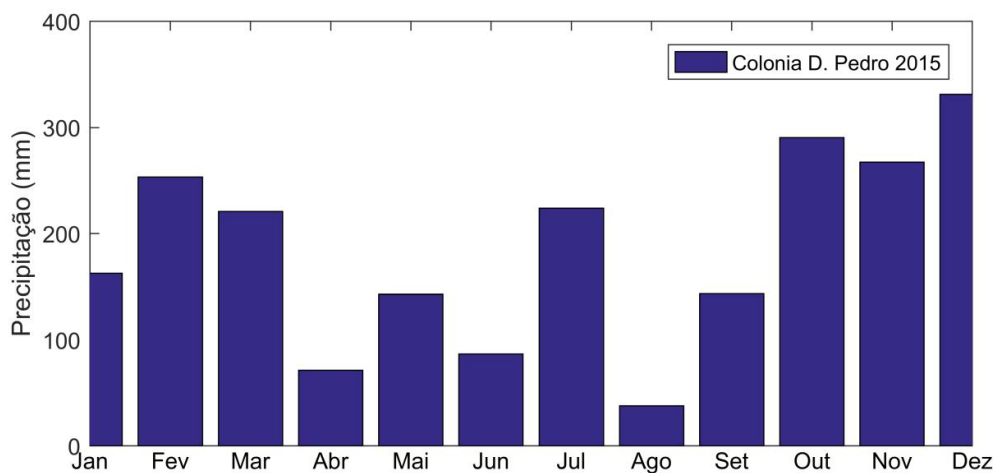


Figura 69- Gráfico da precipitação acumulada em 2015 da estação Colônia Dom Pedro.

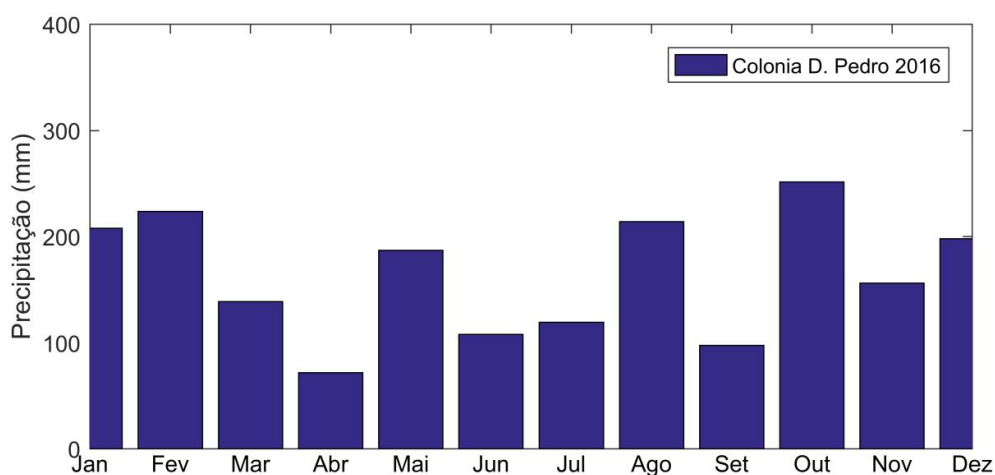


Figura 70- Gráfico da precipitação acumulada em 2016 da estação Colônia Dom Pedro.

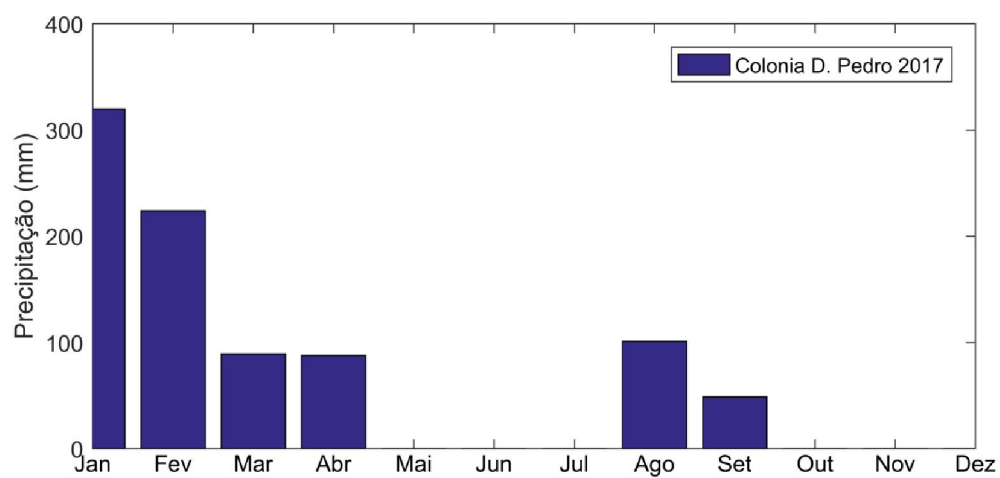


Figura 71- Gráfico da precipitação acumulada em 2017 da estação Colônia Dom Pedro.

## ANEXO VII

### SÉRIES TEMPORAIS DE EBULIÇÃO X TEMPERATURA

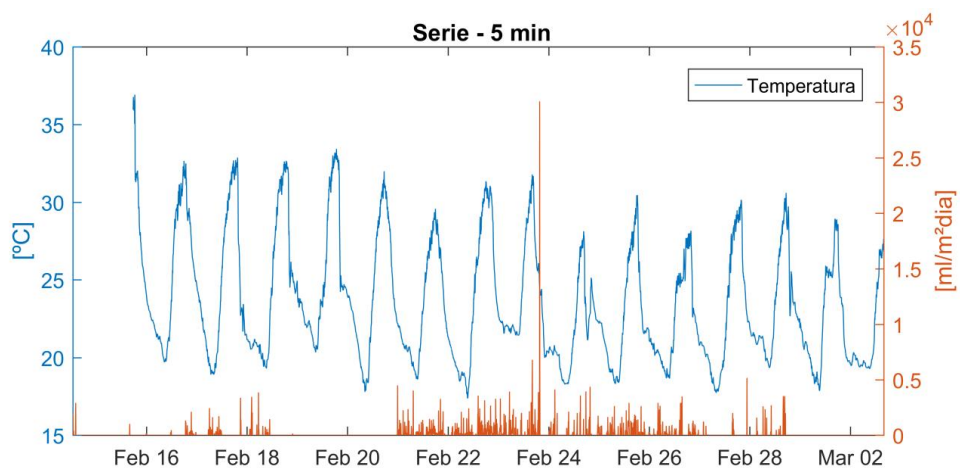


Figura 72 - Gráfico temperatura X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

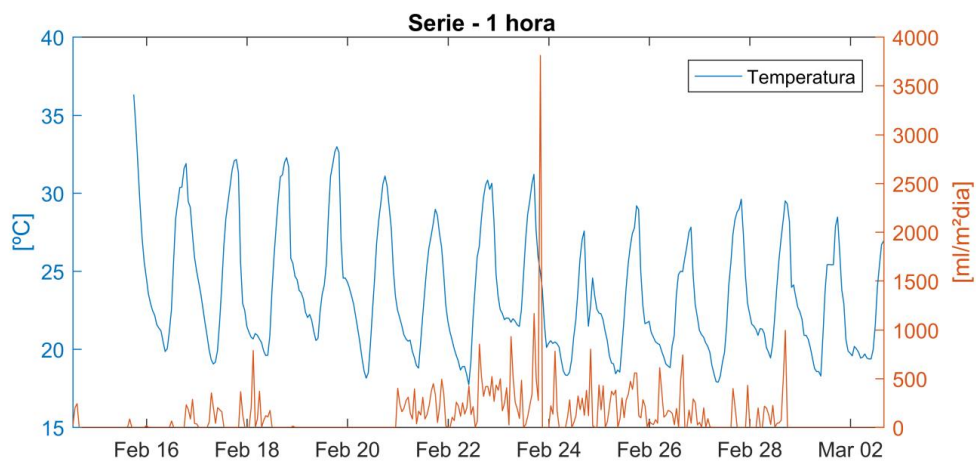


Figura 73 - Gráfico temperatura X ebulição com intervalo de tempo de 1 hora.

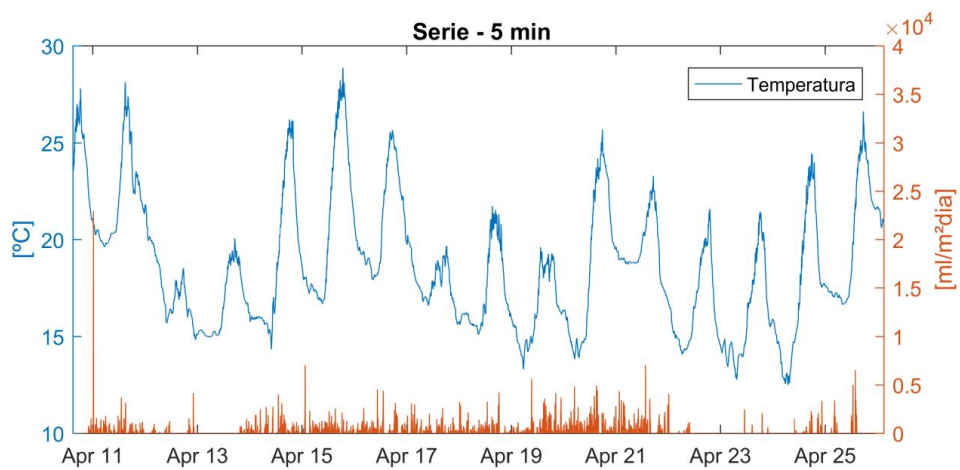


Figura 74 - Gráfico temperatura X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

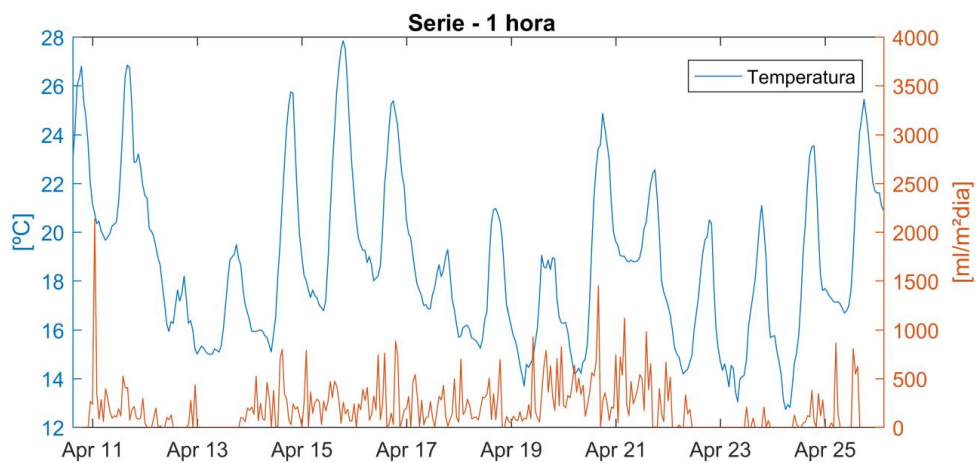


Figura 75 - Gráfico temperatura X ebulição com intervalo de tempo de 1 hora.

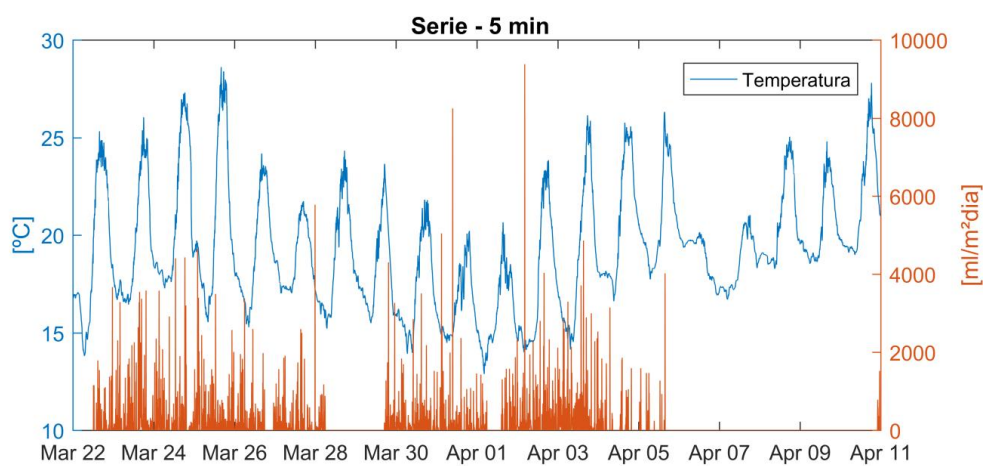


Figura 76 - Gráfico temperatura X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

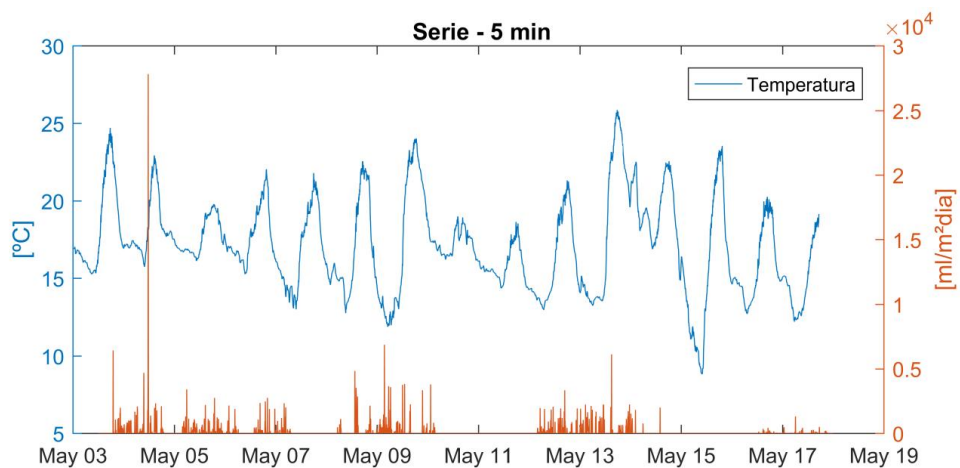


Figura 77 - Gráfico temperatura X ebulição com intervalo de tempo de 1 hora.

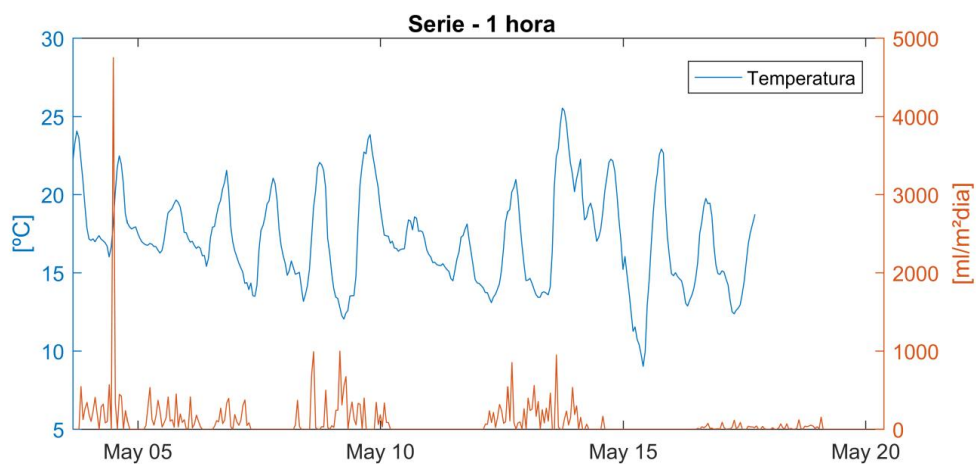


Figura 78 - Gráfico temperatura X ebulição com intervalo de tempo de 1 hora.

## ANEXO VIII

### SÉRIES TEMPORAIS DE EBULIÇÃO X PRESSÃO

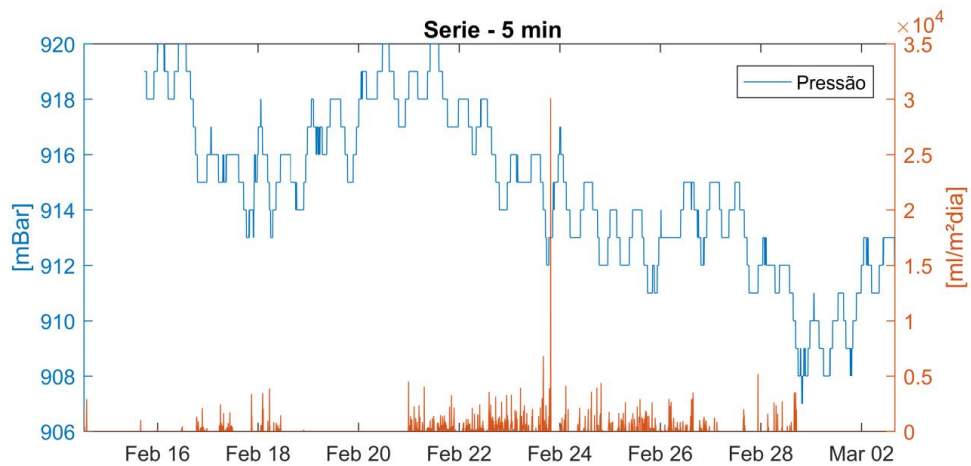


Figura 79 - Gráfico pressão X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

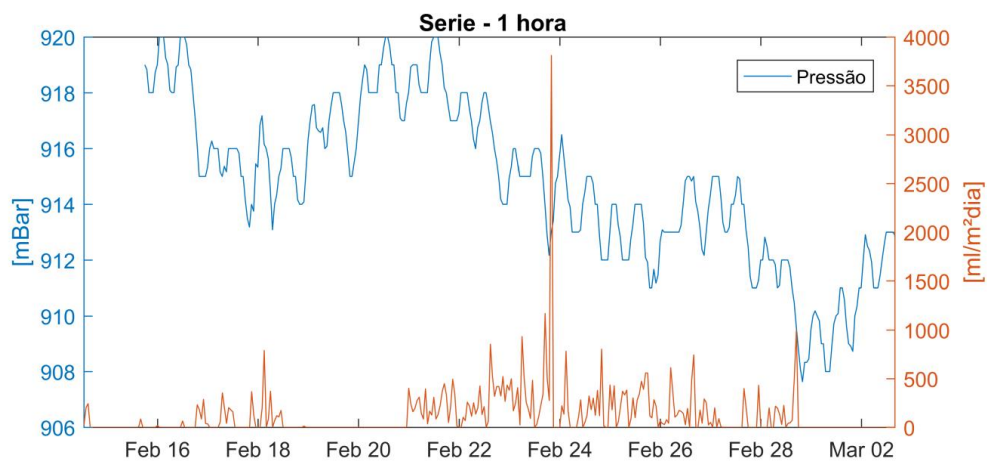


Figura 80 - Gráfico pressão X ebulição com intervalo de tempo de 1 hora.

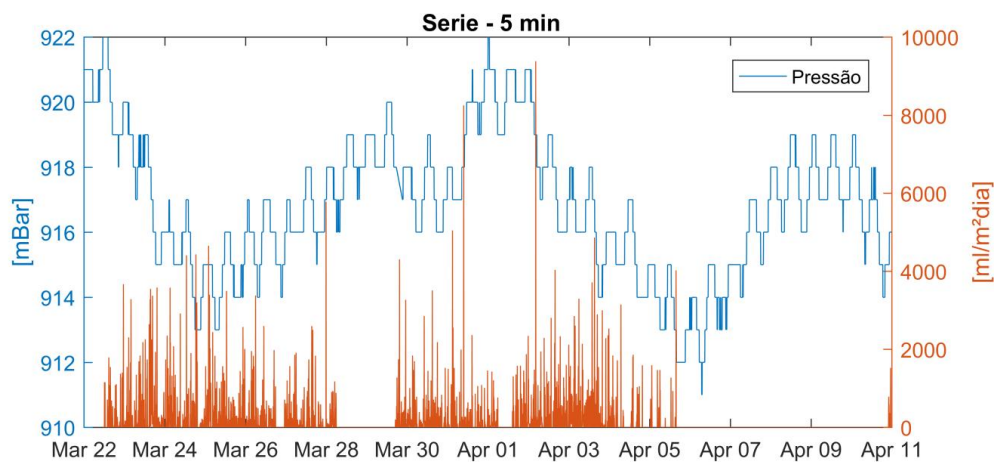


Figura 81 - Gráfico pressão X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

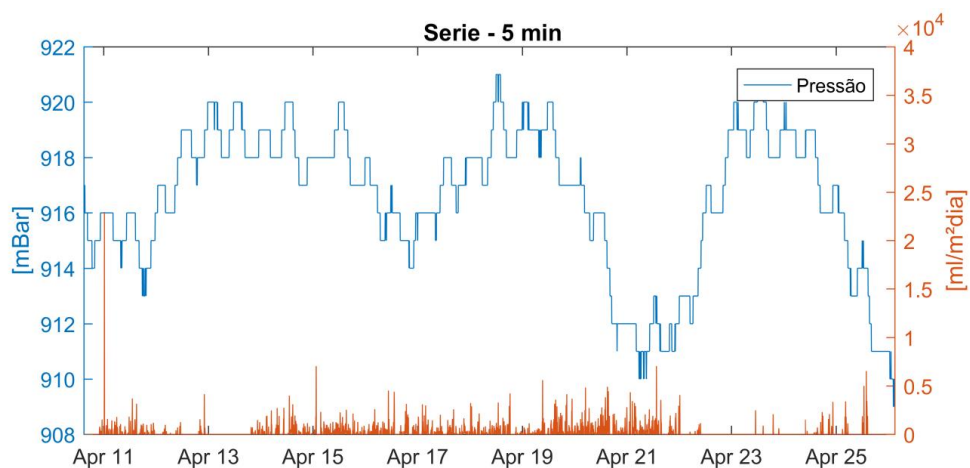


Figura 82 - Gráfico pressão X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

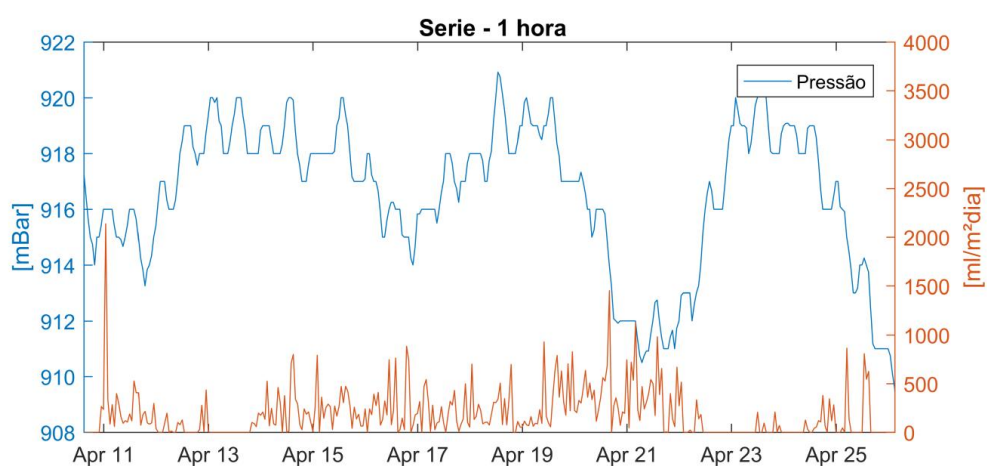


Figura 83 - Gráfico pressão X ebulição com intervalo de tempo de 1 hora.

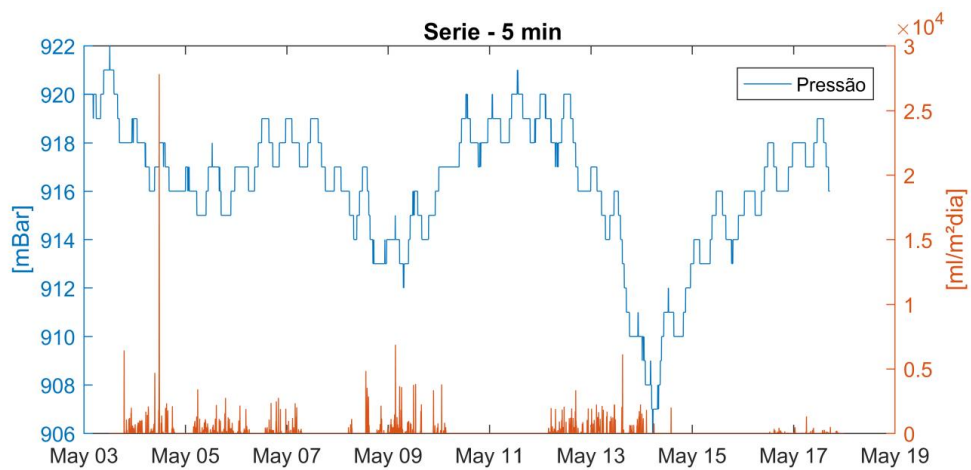


Figura 84 - Gráfico pressão X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

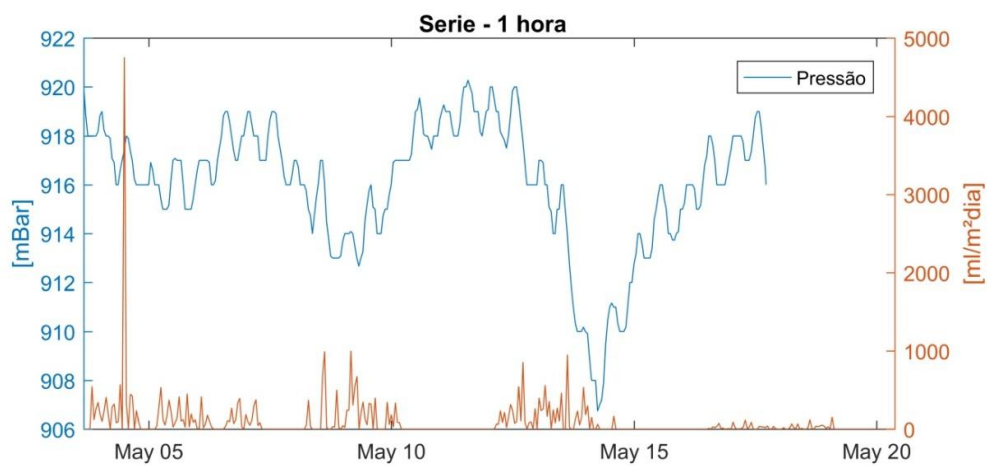


Figura 85 - Gráfico pressão X ebulição com intervalo de tempo de 1 hora.

## ANEXO IX

### SÉRIES TEMPORAIS DE EBULIÇÃO X VELOCIDADE DO VENTO

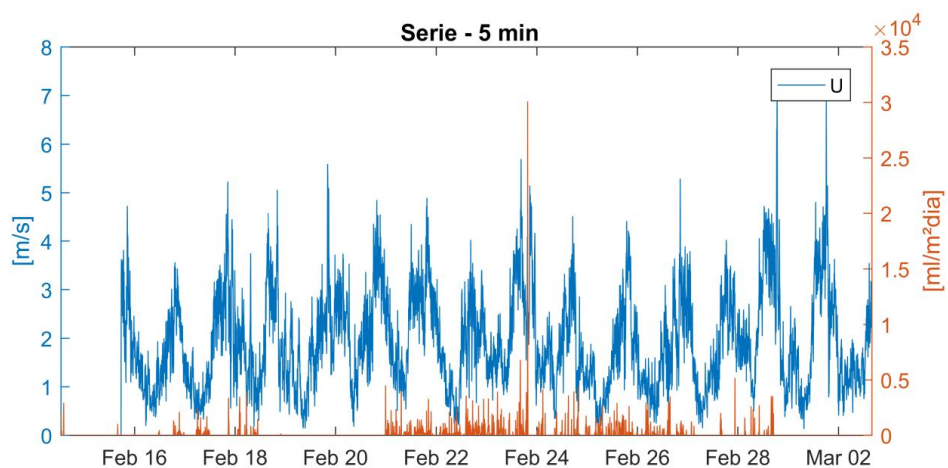


Figura 86 - Gráfico velocidade do vento X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

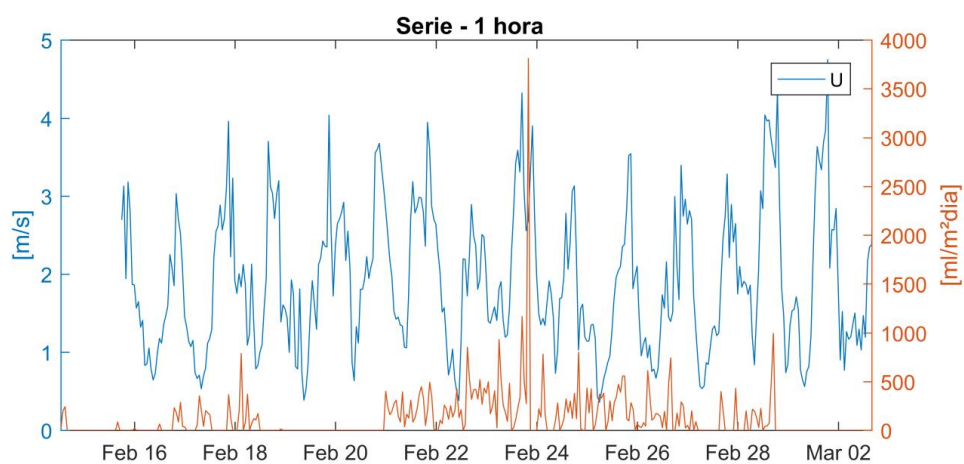


Figura 87 - Gráfico velocidade do vento X ebulição com intervalo de tempo de 1 hora.

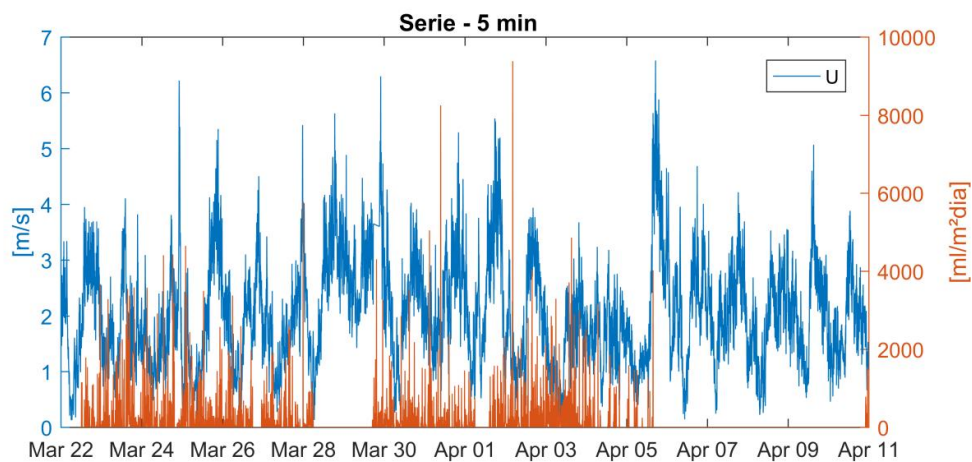


Figura 88 - Gráfico velocidade do vento X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

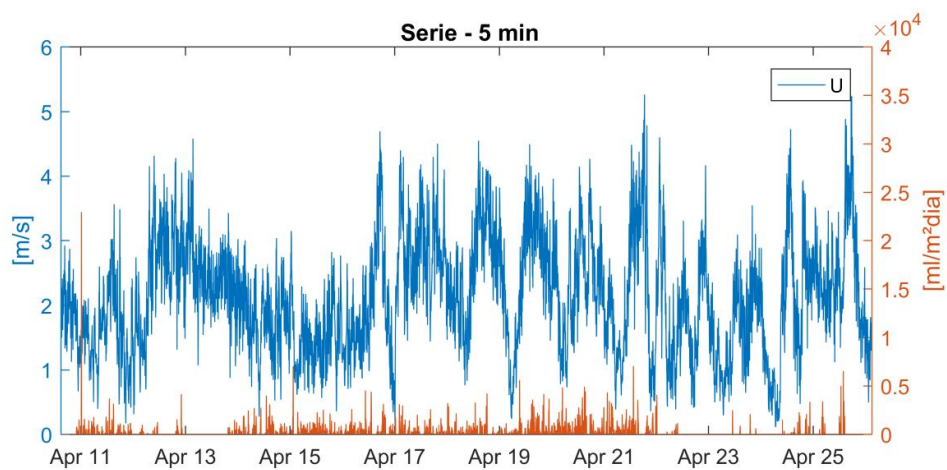


Figura 89 - Gráfico velocidade do vento X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

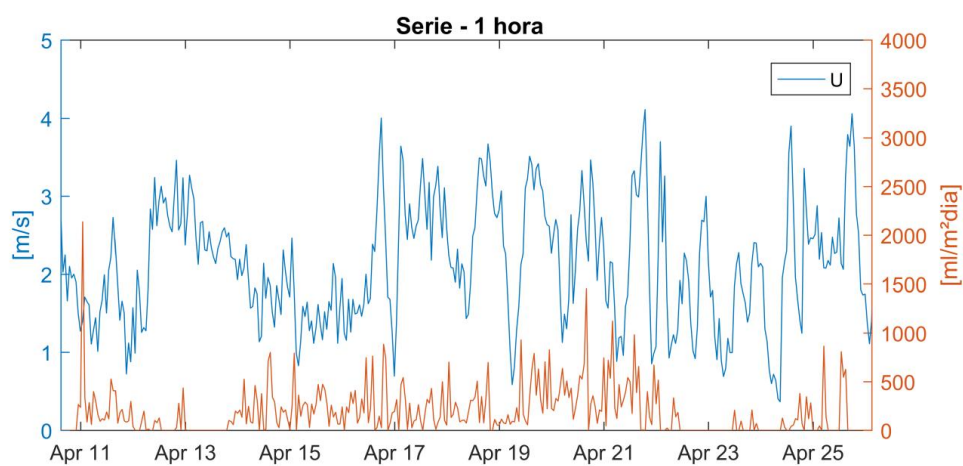


Figura 90 - Gráfico velocidade do vento X ebulição com intervalo de tempo de 1 hora.

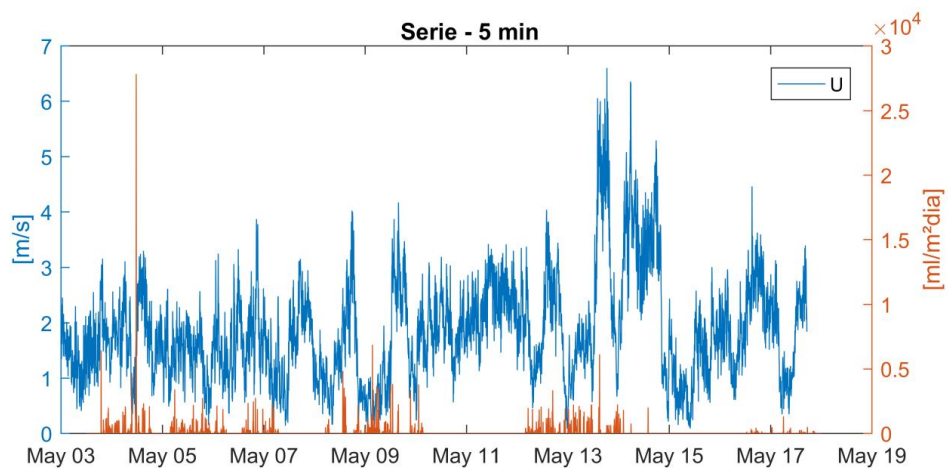


Figura 91 - Gráfico velocidade do vento X ebulição com intervalo de tempo de 5 minutos.

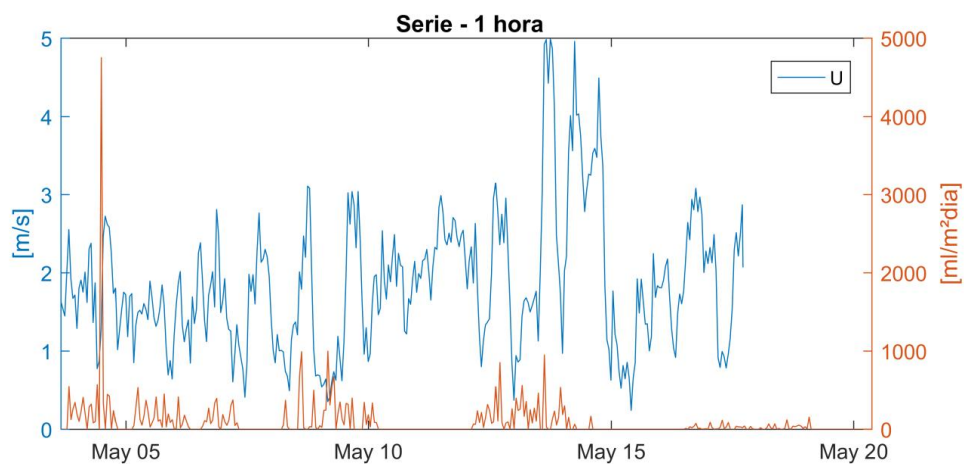


Figura 92 - Gráfico velocidade do vento X ebulição com intervalo de tempo de 1 hora.