



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA**

MELISSA FONTENELLE RODRIGUES

**COMPARAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO SOBRE O OCEANO
ATLÂNTICO TROPICAL ESTIMADA PELO SATÉLITE
METOP-A/ASCAT E MEDIDA PELAS BOIAS PIRATA**

FORTALEZA

2017

MELISSA FONTENELLE RODRIGUES

COMPARAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO SOBRE O OCEANO ATLÂNTICO
TROPICAL ESTIMADA PELO SATÉLITE METOP-A/ASCAT E MEDIDA PELAS
BOIAS PIRATA

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R614c Rodrigues, Melissa.

COMPARAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO SOBRE O OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL
ESTIMADA PELO SATÉLITE METOP-A/ASCAT E MEDIDA PELAS BOIAS PIRATA / Melissa
Rodrigues. – 2017.
68 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do
Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira.

1. MetOp-A. 2. Satélite. 3. Sensoriamento Remoto. I. Título.

CDD 551.46

MELISSA FONTENELLE RODRIGUES

COMPARAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO SOBRE O OCEANO ATLÂNTICO
TROPICAL ESTIMADA PELO SATÉLITE METOP-A/ASCAT E MEDIDA PELAS
BOIAS PIRATA

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: -- / -- / 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof Dr. Marcus Vinícius Chagas da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc Thaysa Portela de Carvalho
Coordenadora do Projeto Orla (Prefeitura de Caucaia)

Dedico este trabalho a todas as pessoas que me deram estímulo e força para seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter sido minha base de força e esperança de que tudo daria certo no final.

Ao Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira, pela excelente orientação e pela amizade no decorrer do curso.

A todos os professor do Labomar, que contribuíram para a minha formação de alguma forma direta ou indiretamente.

A minha família, por entenderem a hora que eu precisava dar um tempo de tudo e colocar a cabeça no lugar, por estarem ao meu lado nos momentos que eu mais preciso.

Aos meus melhores amigos, que sempre estiveram presentes no meu caminho, dedico ao Grupo Certo, cada conquista que eu consegui nesses anos de graduação, sem a força e a amizade deles eu não teria conseguido ir tão longe. A Nalu Maia, pelas noites em claro estudando para provas e aproveitando pra conversar sobre a vida; Débora Moraes, por estar sempre ali ouvindo os meus problemas e me mostrando que tudo tem solução; Bia Leite, por sempre me transmitir calma e confiança; Karina Gurgel, pelas brincadeiras e os abraços raríssimos que ela dá; Thomas Ravelly, por sempre saber o que falar e dar aquele abraço que faz qualquer dia ficar melhor; Davi Martins, meu companheiro de caronas, que em meia hora, conseguíamos conversar sobre mil assuntos ao mesmo tempo e quando chegava em casa o assunto continuava; Oscar Sousa, que eu agradeço demais pela nossa aproximação, pois sua presença sempre fez diferença pra mim no Labomar; Lucas Arruda, pelos resumos compartilhados e aquela última revisada antes da prova que fazia toda diferença, obrigada por me ajudar tanto.

A minha melhor amiga Thainá Carvalho, que sempre esteve presente em todos os meus dias, que sabe como me fazer esquecer dos problemas e dizer as coisas certas no momento certo.

Ao Rafael Duarte, que nesses últimos meses foi um grande amigo, estando diariamente comigo na luta por um computador para a gente conseguir fazer nossos trabalhos. Muito obrigada pela paciência e a amizade.

Ao meu companheiro de vida, estudos, saídas, conversas de travesseiro Raphael Braga, que foi o fator principal para que eu conseguisse forças para terminar o curso e conseguir alcançar meu sonho em se tornar oceanógrafa. Meu muito obrigada pela paciência (as vezes), pela compreensão, pelas noites de estudos em claro, pelos códigos e gráficos feitos e refeitos até que tudo saísse perfeito. Sem o seu apoio eu não teria conseguido chegar onde eu cheguei.

”Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”
Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

Para estudos oceanográficos e meteorológicos, entender o comportamento do vento na superfície do oceano é de grande relevância. É por meio da transferência do *momentum*, ocasionada principalmente pelo vento, que ocorre a troca de calor entre o oceano e a atmosfera, interferindo significativamente no tempo e no clima. Neste trabalho, foi feita uma comparação dos campos diários da velocidade do vento estimadas a partir do Satélite MetOp-A (sensor ASCAT), e das boias do projeto PIRATA fundeadas no Oceano Atlântico Tropical. Essas comparações foram feitas no período compreendido entre janeiro de 2014 e maio de 2017, sendo o objetivo do trabalho determinar o potencial de dados ASCAT para estimar o campo de vento sobre a superfície do Oceano. Os parâmetros estatísticos obtidos indicaram que as velocidades do vento estimadas pelo ASCAT possuem uma alta correlação, com os dados *in situ* das boias PIRATA, apresentando um R^2 variando entre 0,75 e 0,96. As comparações indicam que as velocidades do vento com sensoriamento remoto tem uma forte concordância com dos dados das boias.

Palavras-chave: MetOp-A. Satélite. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

For oceanographic and meteorological studies, understanding the wind behavior on the surface of the ocean is of great relevance. It is through the transfer of momentum, caused mainly by the wind, that the exchange of heat occurs between the ocean and the atmosphere, interfering significantly in time and climate. In this work, a comparison was made between the daily wind speed fields estimated from the MetOp-A Satellite (ASCAT sensor) and the PIRATA project buoys located in the Tropical Atlantic Ocean. These comparisons were made between January 2014 and May 2017. These comparisons were made in the period between January 2014 and May 2017, and the objective of the study was to determine the potential of ASCAT data to estimate the wind field on the surface of the Ocean. The statistical parameters obtained indicated that the wind speeds estimated by ASCAT have a high correlation with the in situ data of the PIRATA buoys, with an R^2 ranging from 0.75 to 0.96. The comparisons indicate that the wind velocities with remote sensing have a strong agreement with the data of the buoys..

Keywords: MetOp-A. Satellite. Remote Sensing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	MetOp-A	10
1.2	Projeto PIRATA	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Geral	13
2.2	Específico	13
3	METODOLOGIA	14
3.1	Seleção de imagens	15
3.2	Dados do MetOp-A	15
3.3	Dados boias	15
3.4	Índices de erro	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5	CONCLUSÃO	38
6	TRABALHO FUTURO	38
	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICE A – GRÁFICOS DE COMPARAÇÃO E DIS- PERSÃO SEM CORREÇÃO	41
	APÊNDICE B – DADOS ESTATÍSTICOS BÁSICOS	55

1 INTRODUÇÃO

Para estudos oceanográficos e meteorológicos, entender o comportamento do vento na superfície do oceano é de grande relevância. É por meio da transferência de *momentum*, ocasionada principalmente pelo vento, que ocorre a troca de calor entre o oceano e a atmosfera, interferindo significativamente no tempo e no clima.

Dessa forma, o vento é um parâmetro chave nos modelos de circulação oceânica e de previsão de ondas, nos estudos de interação oceano-atmosfera e na climatologia (Monaldo e Beal, 2004).

Através de sensores *in situ*, é possível analisar o comportamento do vento através da análise de medidas de sua direção e velocidade. Dados *in situ* são obtidos principalmente por navios de pesquisa e boias fundeadas. Como exemplo deste pode-se citar o projeto PIRATA (*Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic*).

As medições realizadas através dessa abordagem são limitadas, pois essas são inviáveis em locais remotos ou de difícil acesso. Sendo este problema minimizado com o desenvolvimento do sensoriamento remoto.

Sensoriamento remoto é uma tecnologia de obtenção de dados e imagens sobre a superfície da Terra sem que haja contato direto com ela. Através da utilização de sensores é possível obter dados através das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem o alvo imageado (NOVO, 2010).

Os processos que envolvem o sensoriamento remoto pode ser descrito em sete passos, que segundo o *Canada Centre for Remote Sensing* (CCRS) são:

1. Fonte de energia ou iluminação;
2. Radiação e atmosfera;
3. Interação com o alvo;
4. Registro da energia pelo sensor;
5. Transmissão, recepção e processamento;
6. Interpretação e análise;
7. Aplicação.

Para se obter os resultados desejados sobre a vasta área oceânica, é necessário escolher a ferramenta adequada para poder monitorá-la. Além de ser o mais preciso possível, é fundamental que o instrumento também seja capaz de obter dados de forma contínua, pois existe a necessidade de que se tenha medidas frequentes e seguras da distribuição espacial e temporal de parâmetros físicos e biológicos dos oceanos tais como: vento, temperatura de superfície do mar e concentração de clorofila (FERREIRA, 2005). Essas observações só são possíveis utilizando sensores a bordo de satélites artificiais.

O primeiro satélite foi lançado no espaço há mais de 40 anos, desde então eles se tornaram uma ferramenta indispensável para os estudos entre a atmosfera e o oceano. Através das tecnologias atualmente disponíveis, é possível estudar o planeta

Terra como um sistema global em suas várias escalas espaciais e temporais. Os estudos científicos assim conduzidos procuram integrar as diversas disciplinas de pesquisa que focam no entendimento do planeta como um todo, suas partes e como elas interagem entre si (Kampel, 2004).

No sensoriamento remoto, para se determinar os campos de velocidade do vento são utilizados radares escaterômetros, como por exemplo do satélite MetOp. Segundo CLARO (2007), a extração desses parâmetros a partir de dados de radar é possível porque o retroespalhamento do sinal emitido pelo radar pode ser relacionado com a magnitude do vento e a orientação do vento em relação à direção de imageamento.

Neste trabalho é realizada a comparação de dados de campo de velocidade de vento *in situ*, que foram obtidos através de boias fundeadas do projeto PIRATA, com dados de radar obtidos a partir de sensoriamento remoto realizado pelo satélite MetOp-A. O objetivo dessa comparação é verificar a acuraciade dos dados do satélite MetOp-A para a extração do campo de vento.

1.1 MetOp-A

Lançado em 19 de outubro de 2006, o MetOp-A é o primeiro satélite na órbita polar Europeu que é dedicado a meteorologia. Desenvolvido em conjunto pela ESA (*European space agency*) e pela EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*), o MetOp-A compõe o sistema de satélites da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Sua órbita polar é sincronizada com o sol para que sua trajetória ao longo da Terra tenha sempre a mesma hora local.

Sua órbita polar é baixa, fornecendo assim observações mais detalhadas da Terra de inúmeras variáveis físicas, como a direção e velocidade do vento na superfície do oceano, concentrações de ozônio, temperatura e umidade. Sendo um grande avanço na previsão meteorológica global.

O escaterômetro ASCAT (*The Advanced Scatterometer*) do satélite que voa a bordo da EUMETSAT MetOp-A, tem como objetivo principal a extração da direção e velocidade do vento sobre os oceanos. Sua configuração apresenta cobertura diária com uma resolução espacial de 25 km, sendo excelente para aplicações em grande escala, porém isso não o torna adequado para sua aplicação sobre a plataforma continental, pois o sinal de retorno pode ser "contaminado" pelos sinais que são refletidos pelo continente.

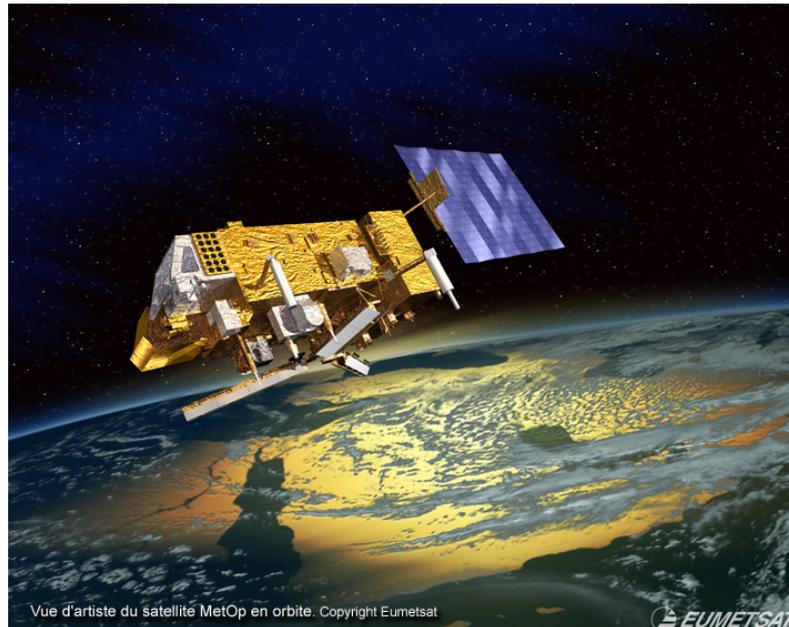
O escaterômetro possui dois conjuntos de três antenas de radar polarizadas verticalmente, operando a uma frequência de 5.255 GHz (banda C), fornecem medidas de retroespalhamento de superfície em uma configuração de feixe duplo (YANG, 2011).

Esses radares transmitem pulsos de micro-ondas até a superfície da Terra sendo possível medir a potência desse pulso a partir do sinal que retorna para o instrumento, como mostrado na Figura 2. Esse retorno está relacionado à rugosidade da superfície do

oceano que está correlacionado com a velocidade e direção do vento perto da superfície. Logo, quanto mais forte estiver o vento, maior será a rugosidade na superfície do oceano.

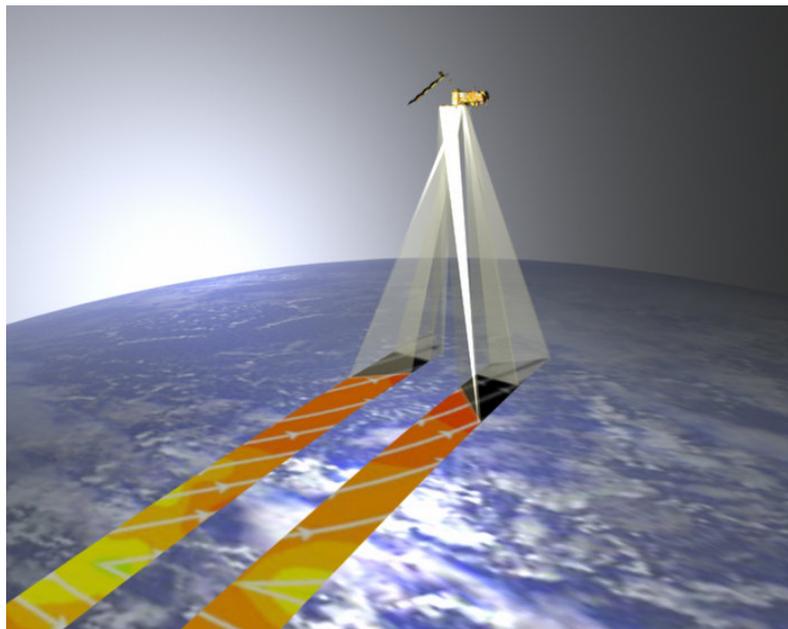
Seus produtos globais de vento de superfície oceânica são processados pelo KNMI (*Ocean and Sea Ice Application Facility do Royal Netherlands Meteorological Institute*).

Figura 1 – Ilustração do satélite Metop-a



Fonte: EUMETSAT

Figura 2 – Ilustração dos pulsos enviados pelo ASCAT para a superfície da Terra.



Fonte: ESA

1.2 Projeto PIRATA

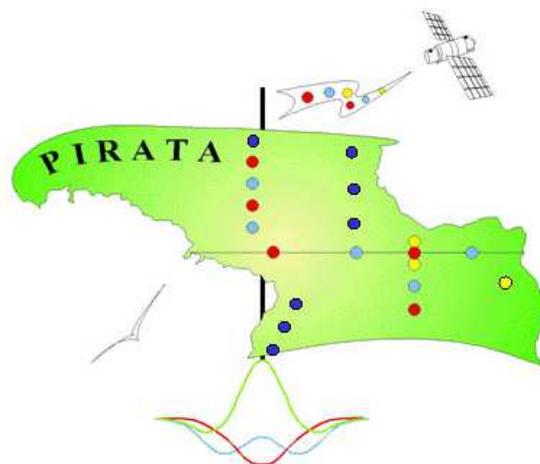
O projeto PIRATA (Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic) é um programa de oceanografia operacional que teve início na década de 90 e passou por aprimoramentos desde 2005 para melhorar as pesquisas e previsões do tempo e do clima. É uma rede internacional de observações in situ com 21 boias fundeadas com o objetivo de estudar as interações oceano-atmosfera no Oceano Atlântico Tropical. Lançado pelo CLIVAR (*Climate Variability and Predictability Program*), o programa é de cooperação internacional entre o Brasil, França e os Estados Unidos.

Figura 3 – Ilustração de uma boia do projeto PIRATA.



Fonte: NOAA

Figura 4 – Logomarca do projeto PIRATA



Fonte: INPE

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo geral deste trabalho é a validação dos dados de vento estimados pelo satélite MetOp-A/ASCAT sob o Oceano Atlântico Tropical, utilizando para comparação dados *in situ* (observações diretas realizadas pelas boias do projeto PIRATA).

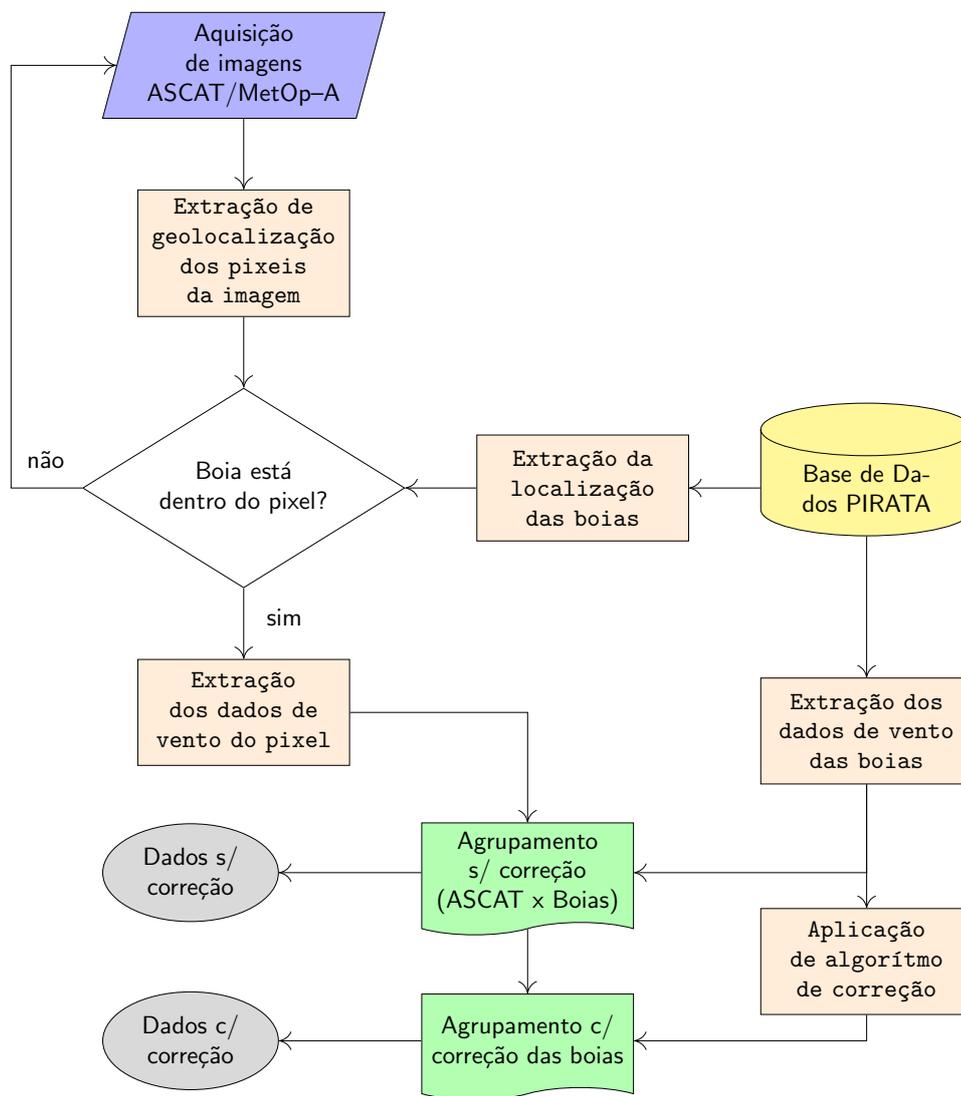
2.2 Específico

- Comparar os dados de velocidade de vento estimado pelo satélite MetOp-A/ASCAT com os dados das boias do projeto PIRATA;
- Avaliar os dados obtidos do satélite;
- Compreender e aplicar as técnicas de processamento digital.

3 METODOLOGIA

Para a execução desse trabalho foi utilizada a metodologia apresentada na Figura 5. A primeira etapa é a aquisição de dados para a extração de geolocalização dos pixels das imagens para poder verificar se a boia está dentro do pixel, e assim fazer a extração dos dados de vento do pixel. Nos dados das boias foi necessário fazer a utilização de um algoritmo de correção, que foi ajustado para uma altura de referência de 10 m. Logo em seguida foi feita a avaliação dos resultados.

Figura 5 – Representação da metodologia



Fonte: O autor, 2017

3.1 Seleção de imagens

Na etapa de seleção de imagens, foi definida uma área de interesse, representada pela Figura 6, com o intuito de facilitar a obtenção das mesmas. A região selecionada foi de coordenadas geográficas entre 20° N a 20° S e 40° W à 10° E, enquadrando, assim, todas as 21 boias pertencentes ao projeto PIRATA.

Figura 6 – Área de estudo



Fonte: O autor, 2017

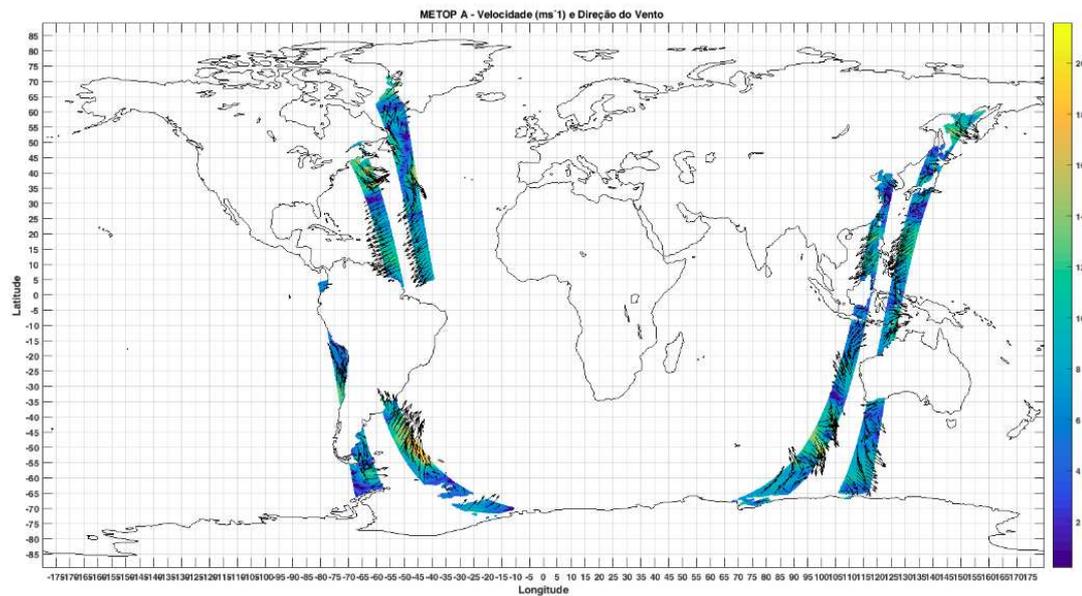
3.2 Dados do MetOp-A

A aquisição dos dados diários/horários do Metop-A/ASCAT, foi realizado via ftp (*file transfer protocol*) pelo site: ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/allData/ascats/preview/L2/metop_a/coastal_opt/ e foram adquiridas aproximadamente 18.450 imagens com o formato netcdf (.nc). Foi utilizado um algoritmo para identificar as imagens que passavam mais próximas ou sobre as boias, totalizando 15.338 imagens estudadas. A partir desses dados, se obteve informações do campo de velocidade e direção do vento. Um exemplo de como são as órbitas do MetOp-A que cobre o globo terrestre com aproximadamente 12,1 orbitas, pode ser observado na Figura 7, que dependendo da hora determinada área do globo é varrida diferentemente.

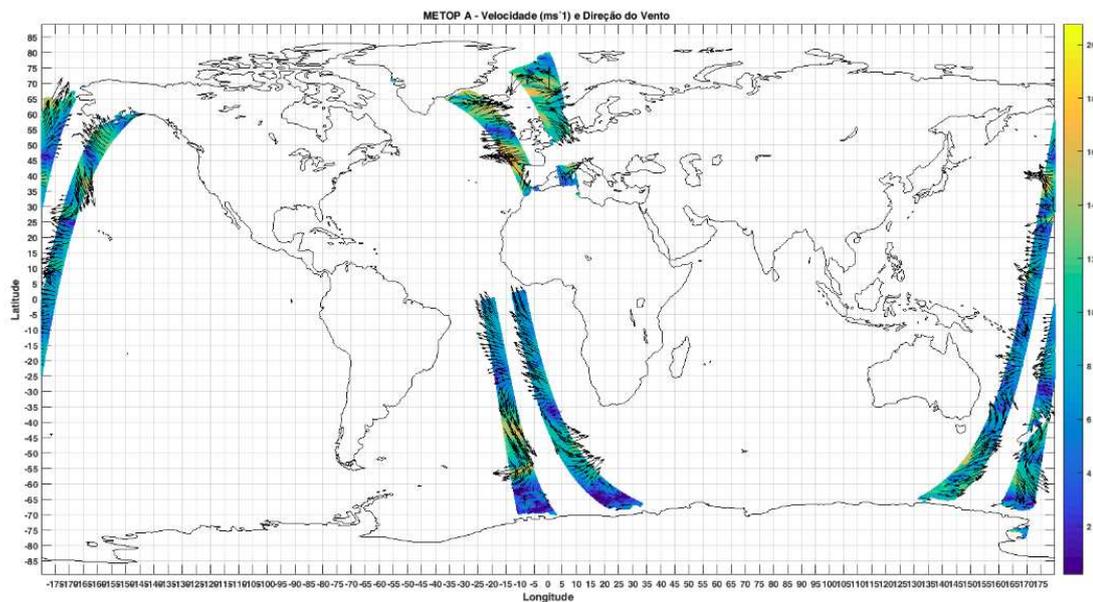
3.3 Dados boias

Os dados das boias provêm do Projeto PIRATA, que ficam localizadas no Oceano Atlântico Tropical, com 21 boias disponíveis. Embora tenham sido processadas os dados de todas as boias, neste trabalho estão sendo utilizadas duas boias ao norte, três boias no Equador e duas boias ao sul, com as seguinte coordenadas geográficas: 21°N 23°W e 4°N 23°W; 0°N 23°W, 0°N 10°W, 0°N 0°E; 5°S 10°W, 19°S 34°W, respectivamente, ilustrada na Figura 8. Os dados baixados são diários, dos anos de 2014 à 2017 até maio.

Figura 7 – Ilustração da varredura do Satélite MetOp-A em diferentes horários do mesmo dia.



(a) Data: 02/01/2017, Hora: 00:36



(b) Data: 02/01/2017, Hora: 20:54

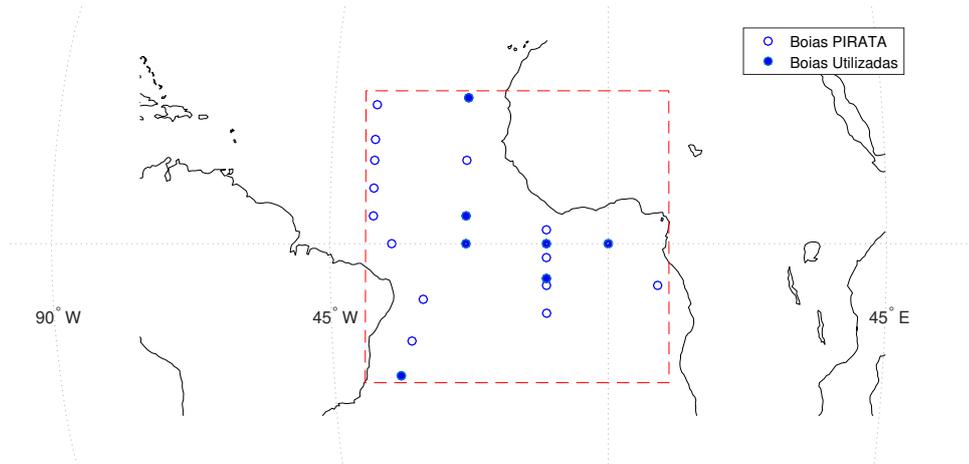
Todos os dados foram submetidos a um ajuste de 10 m da superfície do mar, uma vez que o satélite estima o vento a 10 m de altura e a boia mede o vento a 3.5 m de altura.

Os dados foram ajustados utilizando a equação 1.

$$U_{10} = 8.87403 \times \frac{U_z}{\ln(z/0.0016)} \quad (1)$$

onde z é a altura de observação em metros, U_z é a velocidade do vento e U_{10} é a velocidade do vento de 10 m. (YANG, 2011).

Figura 8 – Ilustração das 21 boias do projeto PIRATA no Oceano Atlântico.



Fonte: O autor, 2017

3.4 Índices de erro

Com finalidade de comparação entre as medidas realizadas pelas boias PIRATA e os dados de satélites MetOp-A/ASCAT, foram utilizados os índices de erros habituais: o erro médio absoluto (MAE), o erro médio (ME) e o erro médio quadrático (RMSE). O EM pode ser expresso através da equação 2:

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N (\phi_i - \phi_{iObs})}{N} \quad (2)$$

O MAE e o RMSE, foram calculados de acordo com as equações 3 e 4:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |\phi_i - \phi_{iObs}|}{N} \quad (3)$$

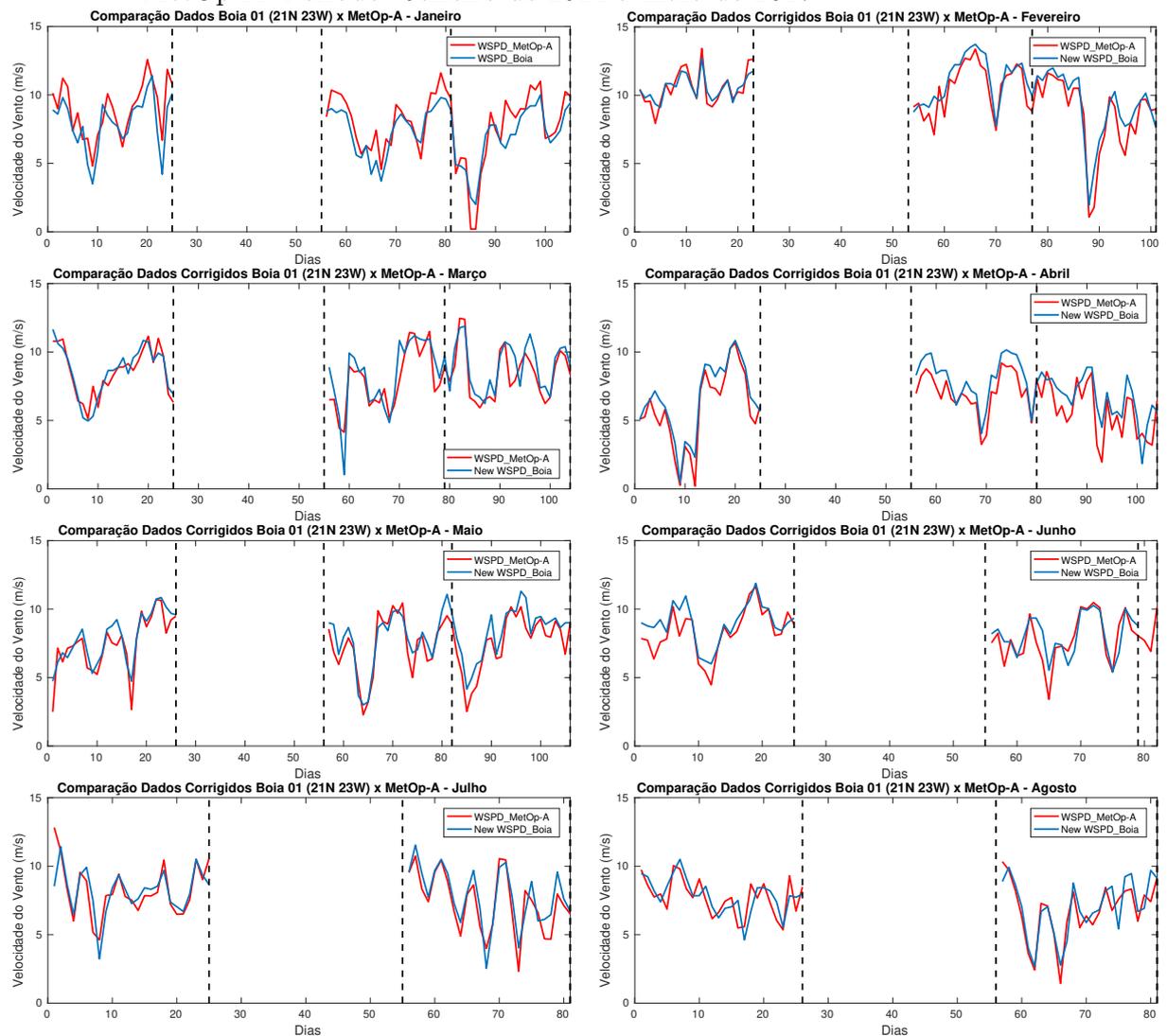
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\phi_i - \phi_{iObs})^2}{N}} \quad (4)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos a seguir mostram a comparação e a dispersão entre os dados disponíveis de velocidade do vento estimados pelo MetOp-A/ASCAT e medidas *in situ* realizadas pelas boias PIRATA, corrigidas para 10 m da superfície do mar, dos anos estudados (janeiro de 2014 a maio de 2017). Algumas análises não puderam ser realizadas integralmente devido à falta de dados em determinados períodos.

Para a comparação de velocidade do vento da boia 1, pode-se ver através da Figura 9, que os valores dos dados são bem semelhantes, o que é reforçado pela Figura 10, que mostra uma alta correlação positiva entre os dados (R^2 variando entre 0,63 e 0,86 - ver Tabela 7). Pode-se ainda perceber uma ausência de dados da boia PIRATA para o ano de 2015, o que impossibilitou a análise para tal período.

Figura 9 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 1 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.



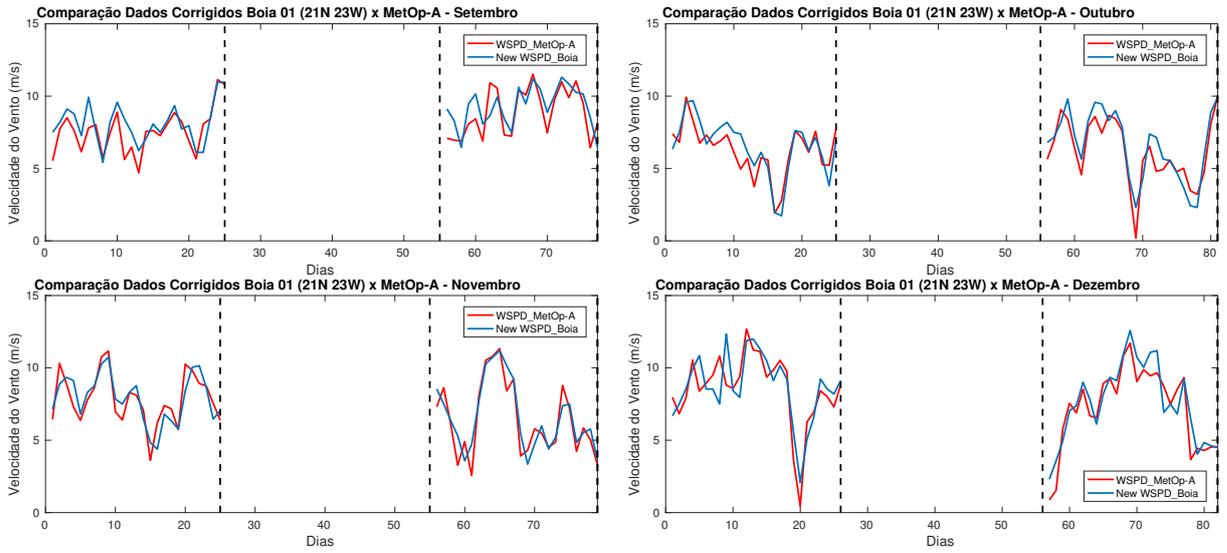
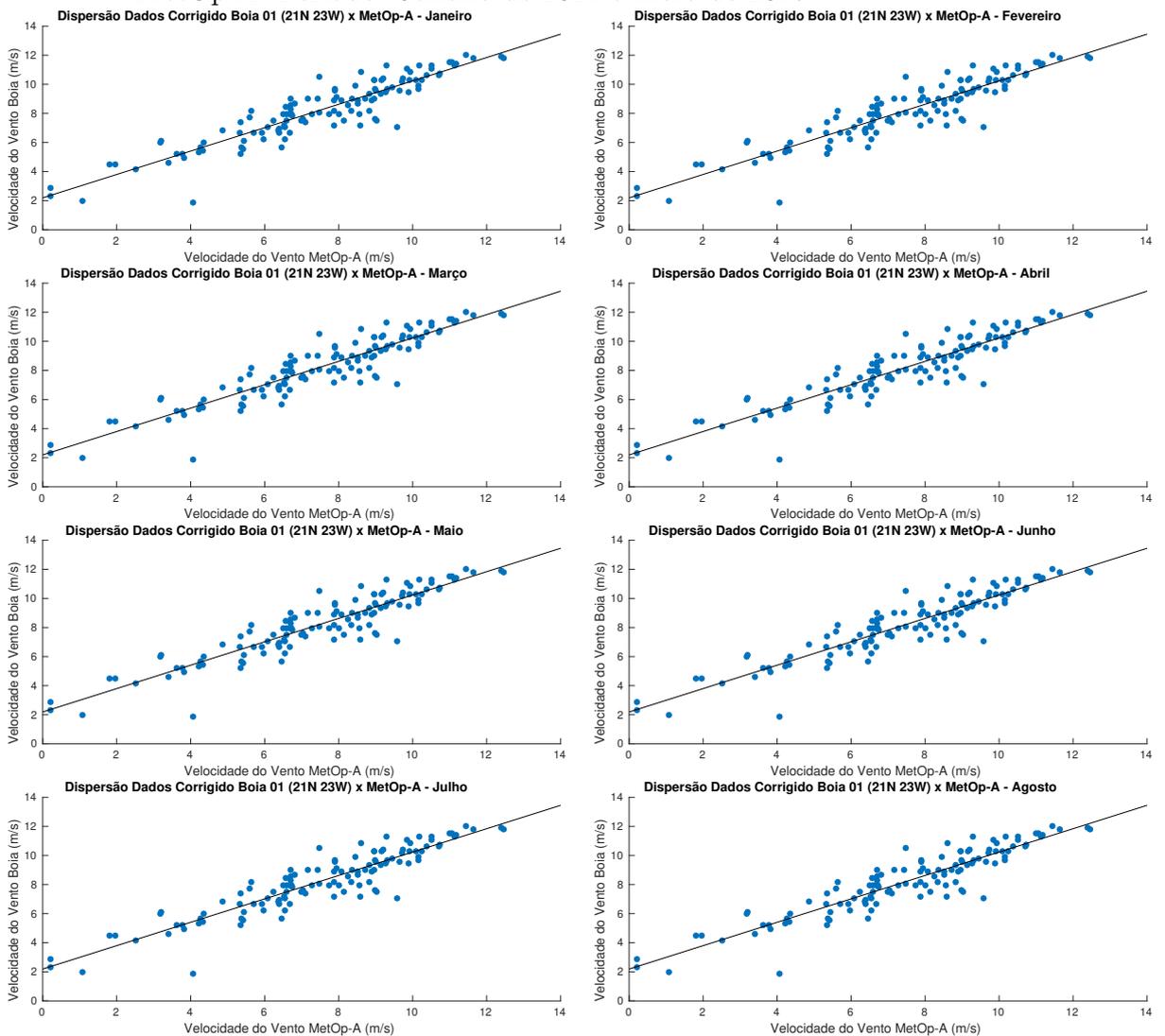
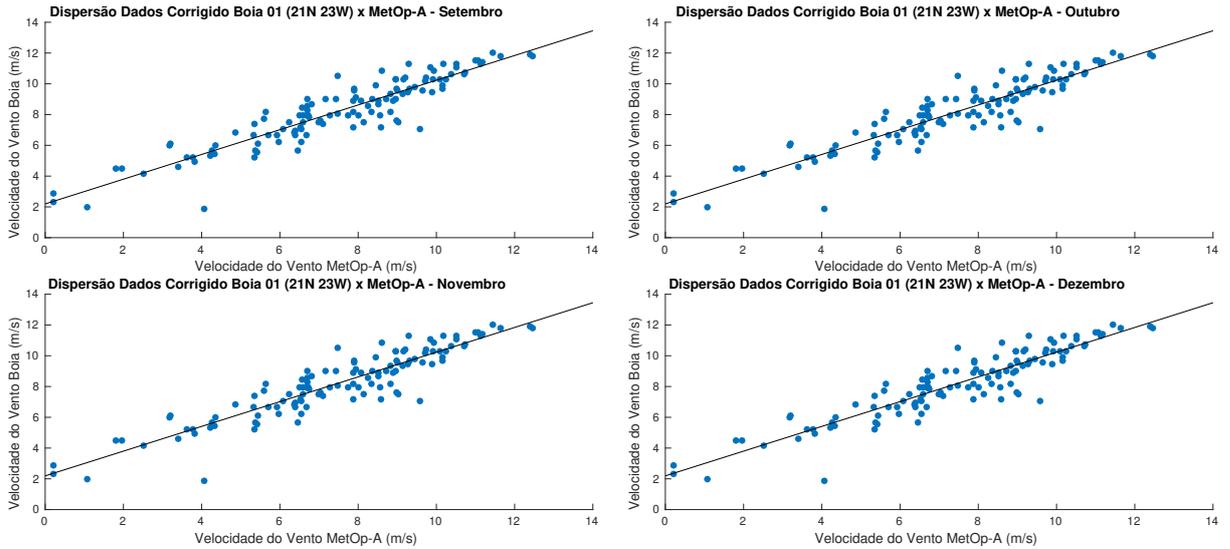


Figura 10 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 1 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.





Os resultados estatísticos da boia 1 são apresentados na Tabela 1, onde N indica o número de dados utilizados. Os mesmos indicam baixos índices de erro e forte correlação entre os dados de vento estimados pelo escaterômetro ASCAT e as medidas diretas realizaddas *in situ* pelas boias PIRATA. Os valores mínimos (min), máximos (max), médios (mean) e desvio padrão (std) tanto do ASCAT quanto da boia 1, podem ser encontrados no Apêndice B. Os demais índices de erro das demais boias analisadas nesse trabalho também encontram-se no Apêndice B.

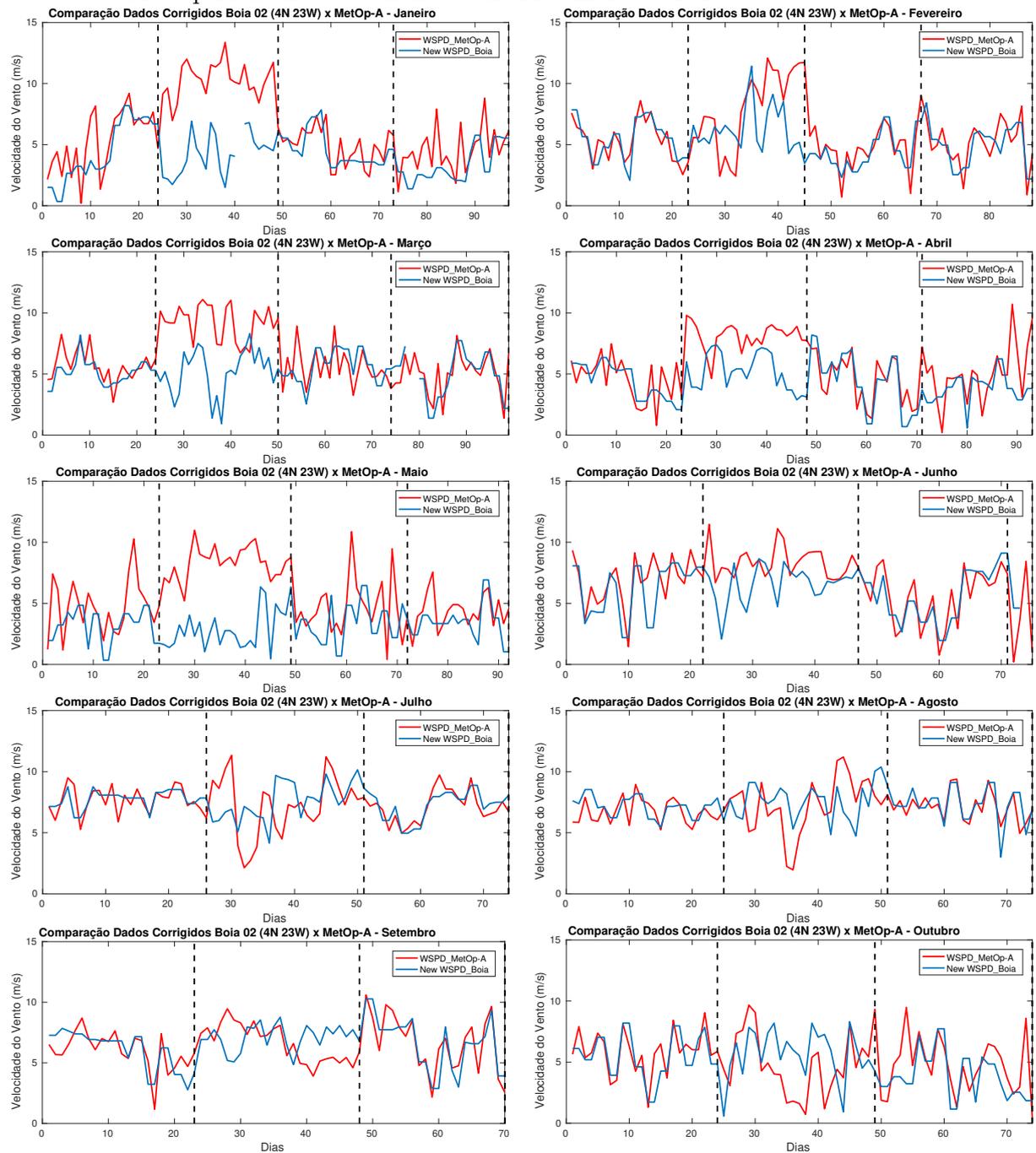
Tabela 1 – Índices de erro para a boia 1

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BOIA 1 (21°N 23°W)												
N	75	71	74	74	76	49	51	51	47	51	49	52
ME	0,45	0,42	0,34	0,88	0,55	0,47	0,23	0,17	0,48	0,35	0,11	0,25
MAE	0,91	0,73	0,81	1,03	0,77	0,75	0,80	0,83	0,93	0,85	0,78	0,97
RMSE	1,16	0,95	1,07	1,24	0,99	1,00	1,10	1,01	1,15	1,03	0,98	1,26
R²	0,80	0,86	0,75	0,84	0,83	0,73	0,73	0,71	0,63	0,80	0,81	0,79

Na Figura 11, analisando a boia 2, verifica-se que em geral os dados MetOp-A/ASCAT superestimam a velocidade do vento quando comparados aos dados da boia. Esta superestimação da velocidade do vento fica bem evidenciado no ano de 2015.

A exceção é o mês de outubro que 2015 onde o MetOp-A subestimou a intensidade dos ventos. Esta sub ou superestimação da velocidade dos ventos fica também caracterizada observando-se os diagramas de dispersão MetOp-A/ASCAT *vs* Boia 2

Figura 11 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 2 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.



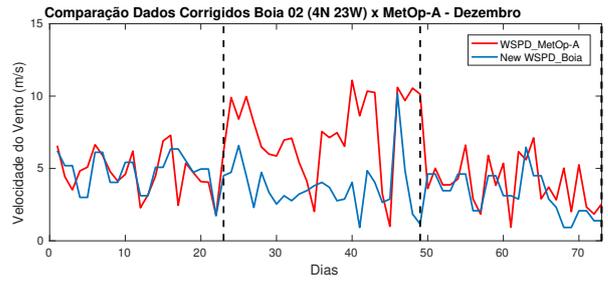
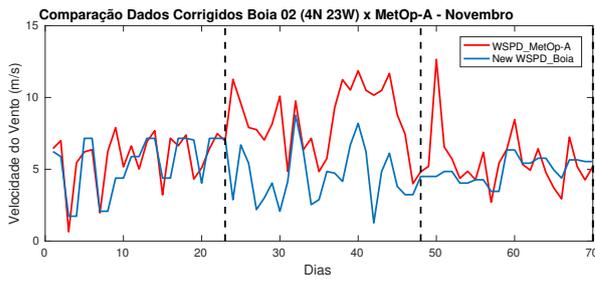
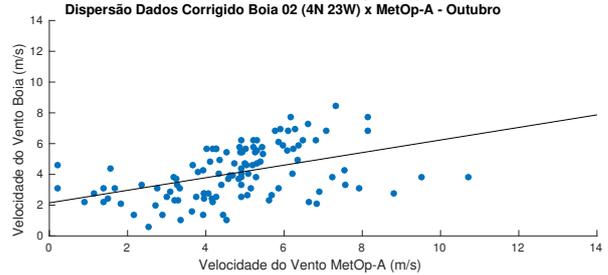
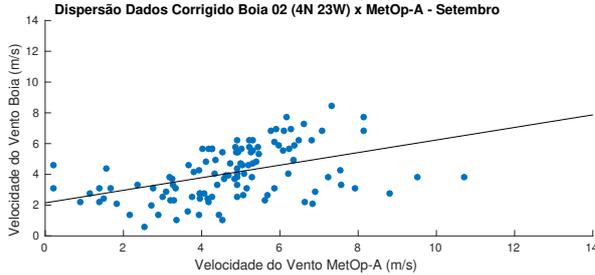
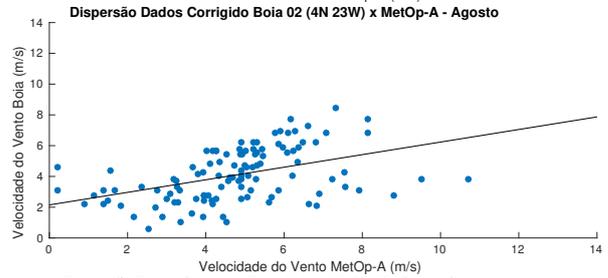
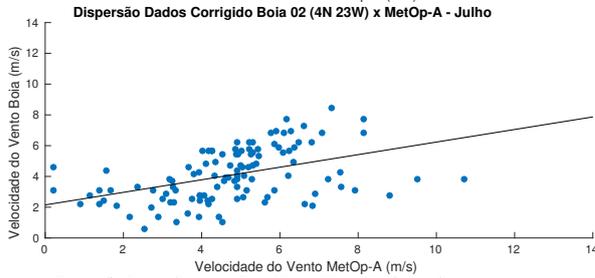
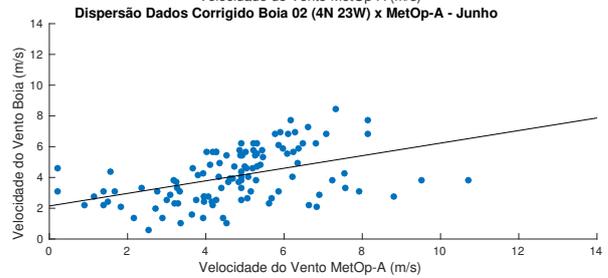
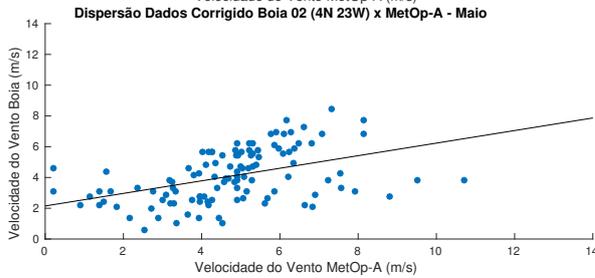
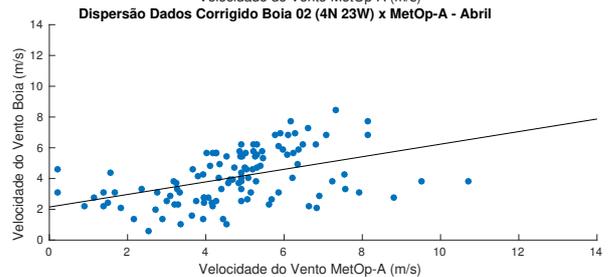
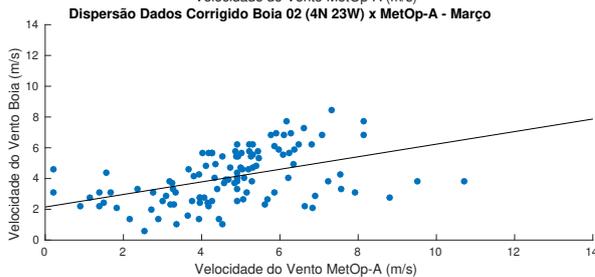
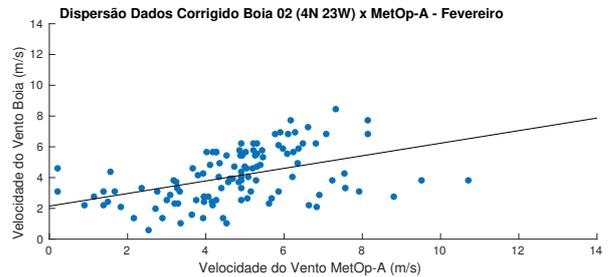
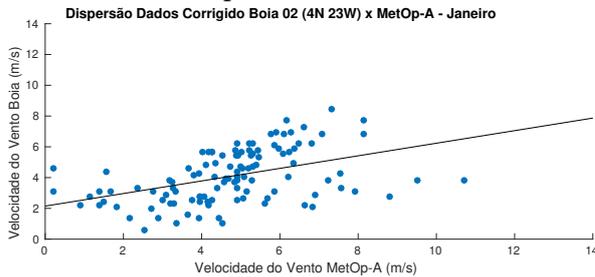
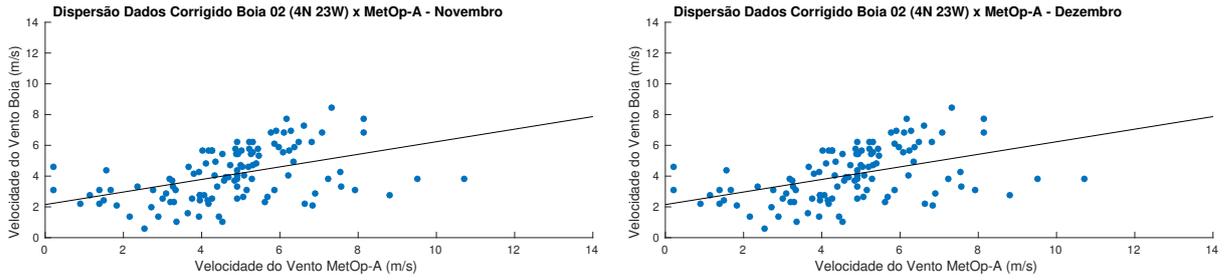


Figura 12 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 2 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.





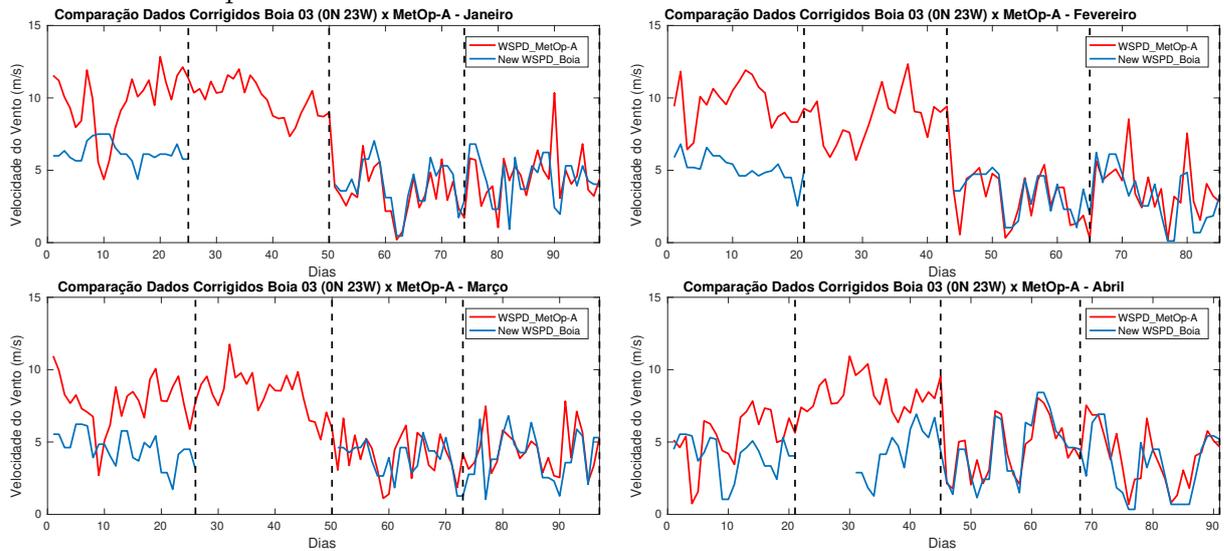
Na Tabela 2 estão indicando os índices de erro da boia 2. Os meses de janeiro, maio e novembro são os que apresentam os maiores erros.

Tabela 2 – Índices de erro para a boia 2

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BOIA 2 (4°N 23°W)												
N	96	88	97	93	92	73	74	74	70	74	70	73
ME	-2,10	-0,56	-1,21	-1,14	-2,45	-0,75	0,20	0,29	0,15	-0,11	-1,75	-1,60
MAE	2,55	1,52	1,90	1,83	2,97	1,56	1,26	1,27	1,30	1,75	2,22	2,19
RMSE	3,59	2,18	2,69	2,47	3,80	2,15	1,76	1,75	1,63	2,33	3,17	3,07

Na boia 3, nos meses de janeiro até aproximadamente metade de abril de 2015 e de setembro a dezembro de 2014, não houve dados das boias PIRATA para comparação com os dados do ASCAT, como pode ser observado na Figura 13. Devido a essa ausência de dados, a comparação é melhor analisada nos anos de 2016 e 2017, onde, até o mês de junho, pode-se observar uma considerável semelhança entre as velocidades do vento MetOp-A/ASCAT *vs* Boia 3. Em geral os dados MetOp-A/ASCAT superestima a velocidade do vento. Os gráficos de dispersão para esta boia são apresentados na Figura 14.

Figura 13 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 3 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.



Os índices de erro podem ser encontrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Índices de erro para a boia 3

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BOIA 3 (0°N 23°W)												
N	73	63	73	82	90	76	71	65	44	46	48	46
ME	-1,09	-1,59	-1,35	-1,28	-1,11	-0,72	-0,22	0,03	1,39	0,43	-0,41	-1,11
MAE	2,12	2,24	1,95	1,81	1,89	1,47	1,70	2,03	1,74	1,18	1,54	1,88
RMSE	2,86	3,01	2,63	2,58	2,54	1,99	2,15	2,58	2,38	1,48	1,79	2,47

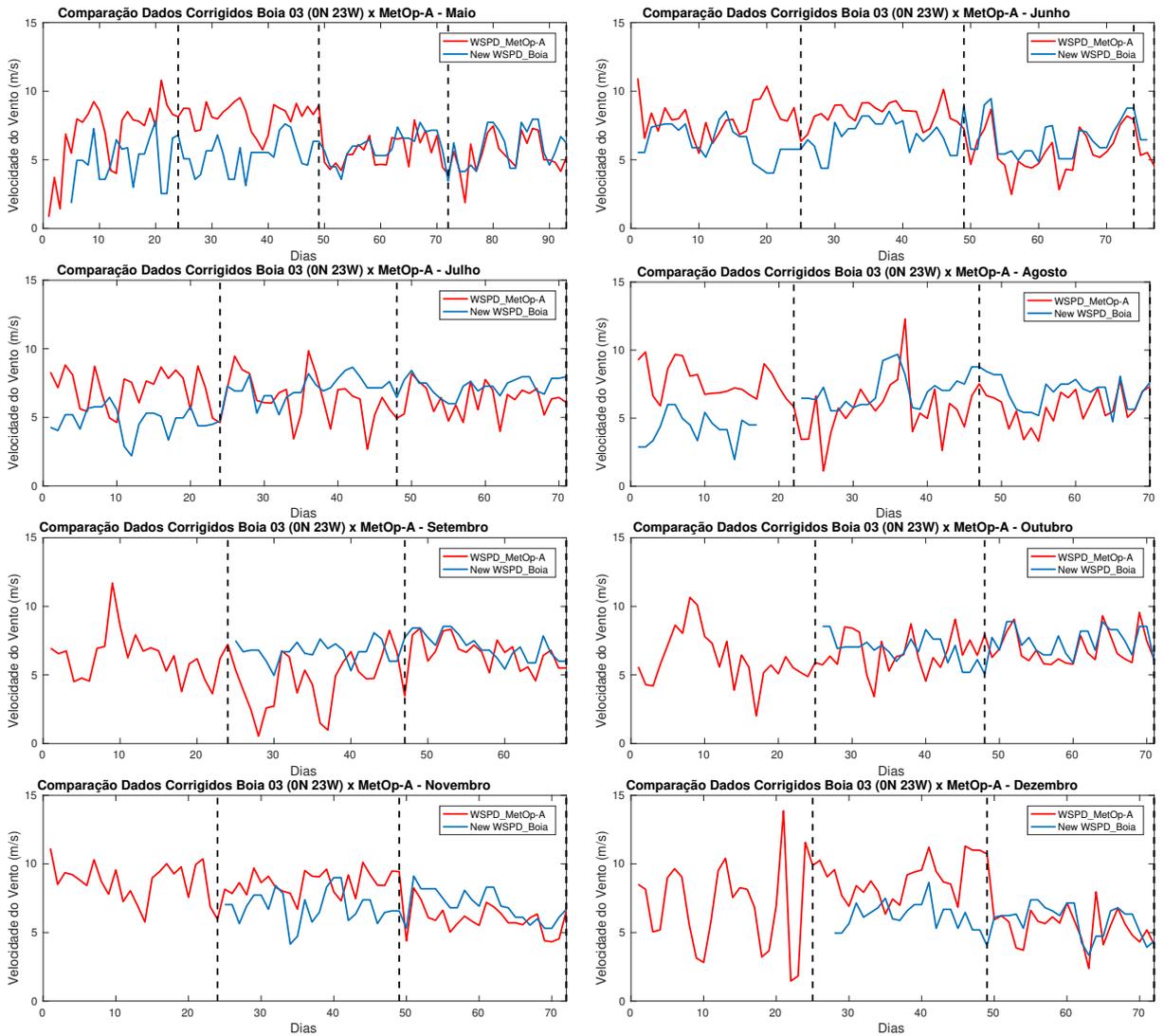
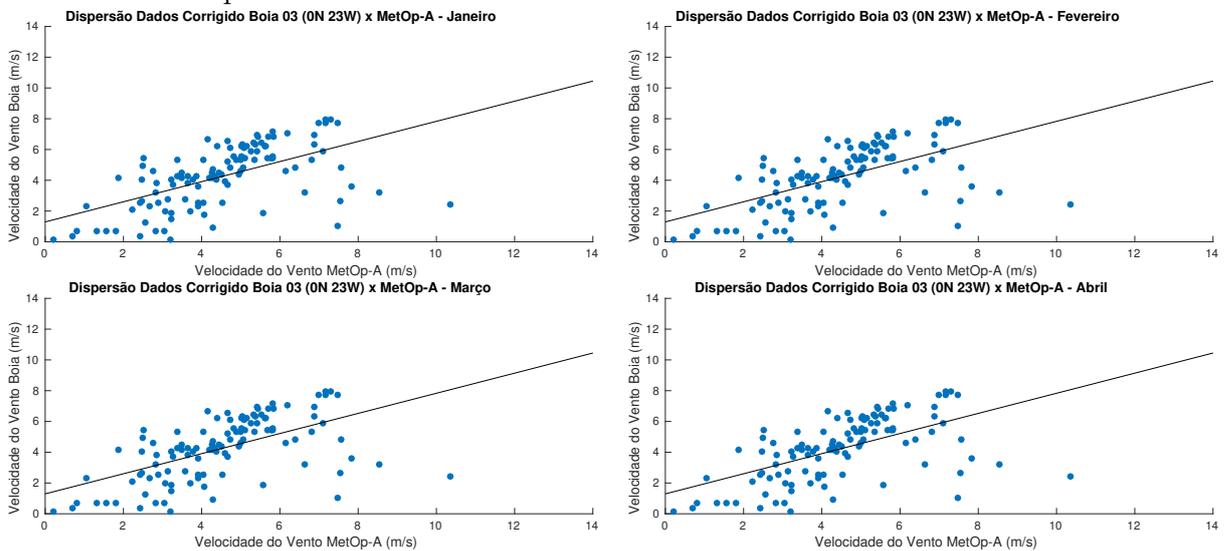
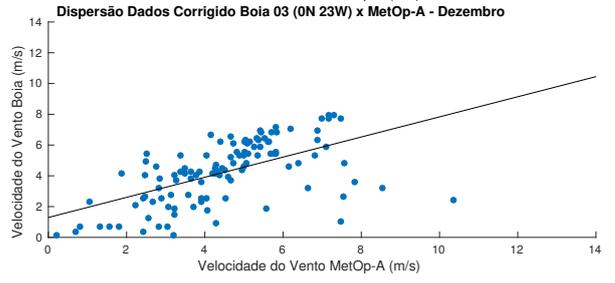
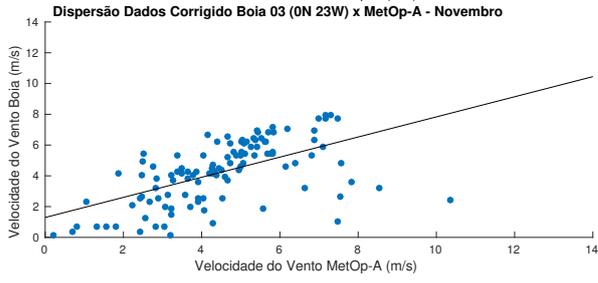
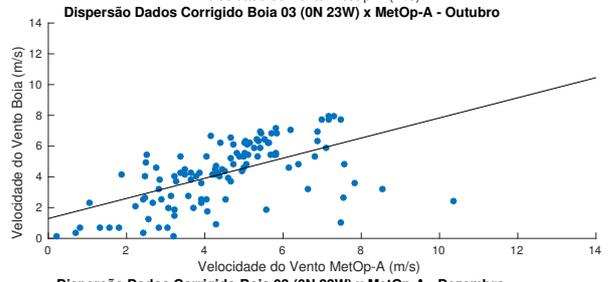
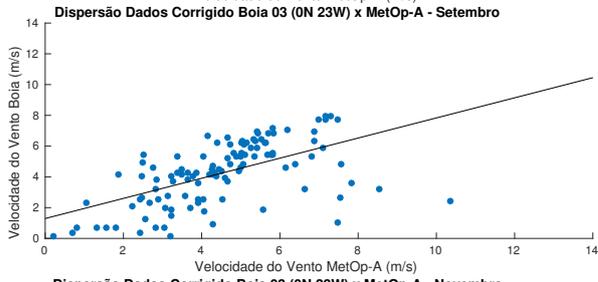
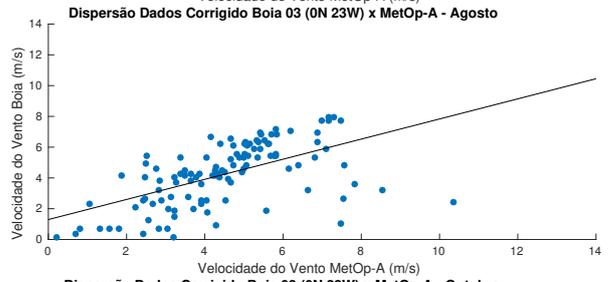
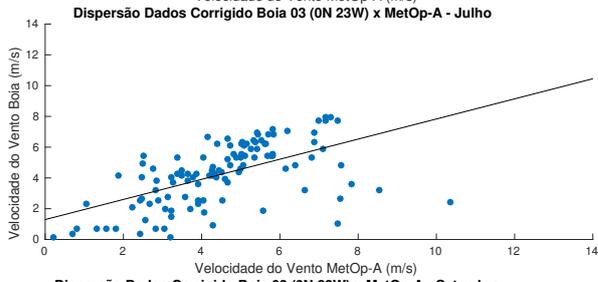
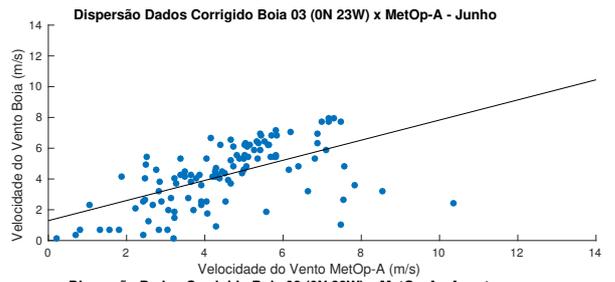
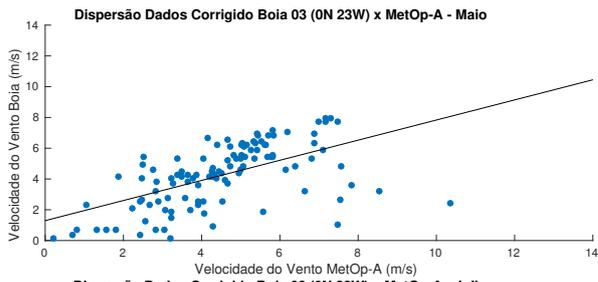


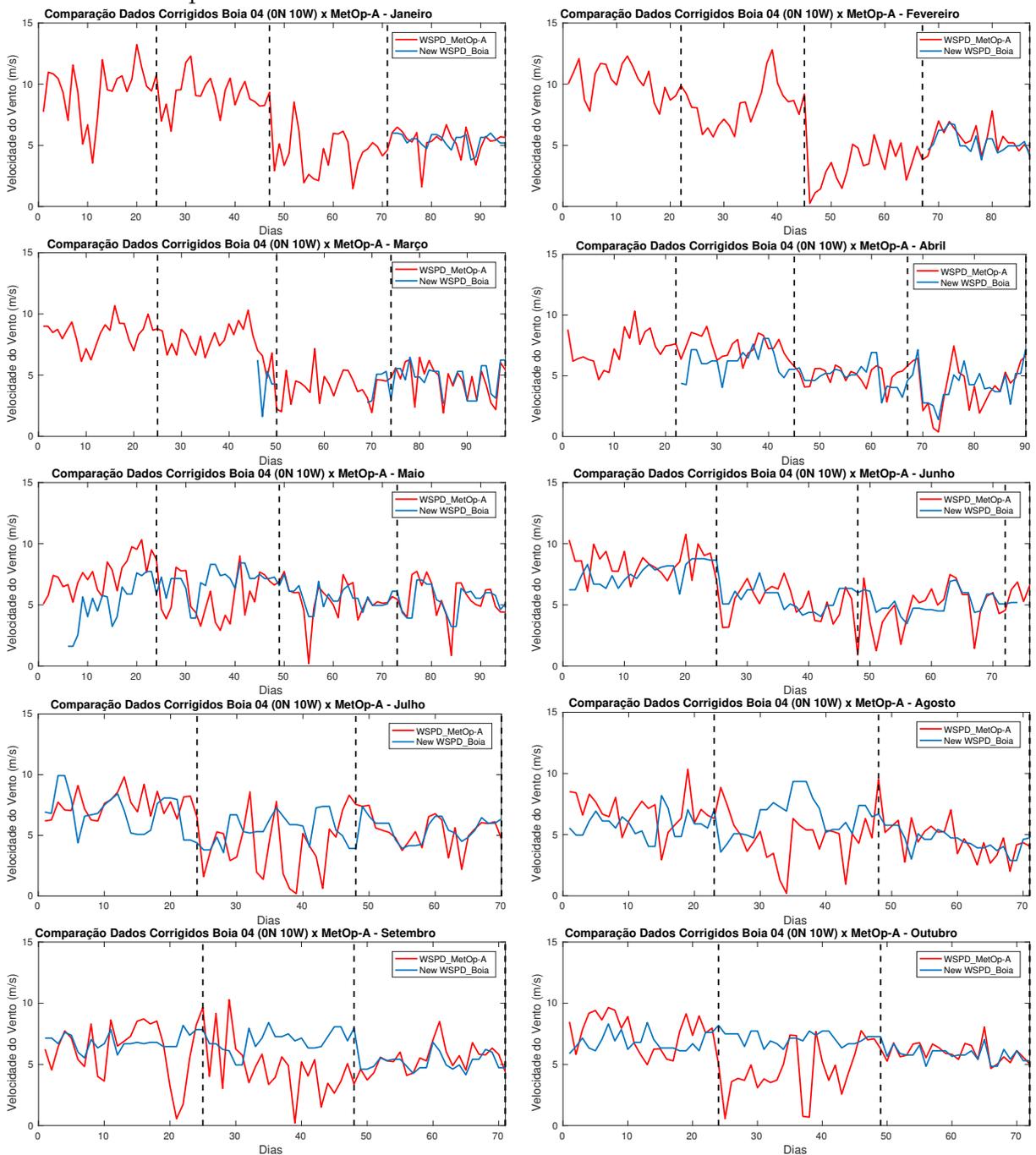
Figura 14 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 3 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.





Para a boia 4 (Figura 15), devido a ausência de dados PIRATA nos meses de janeiro a março de 2014, 2015 e 2016, uma comparação só pôde ser feita para o ano de 2017, onde pode se observar boa concordância entre os dados MetOp-A/ASCAT e a boia 4. Apesar de ter havido uma aproximação dos valores para alguns anos, como o de 2016 e 2017, o ano de 2015 foi o que teve menos similaridade, e qual, em geral, o MetOp-A/ASCAT subestimou a velocidade do vento. Porém analisando o gráfico de dispersão ilustrado na Figura 16, nota-se uma branda dispersão dos pontos, indicando que há uma considerável correlação positiva entre os dados analisados.

Figura 15 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 4 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.



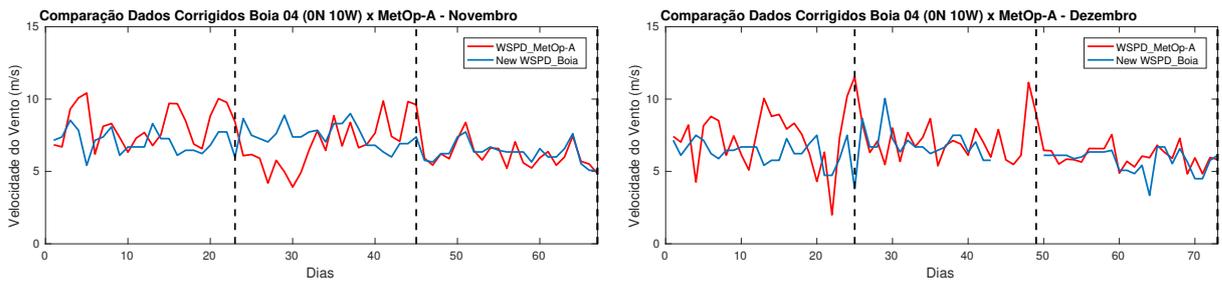
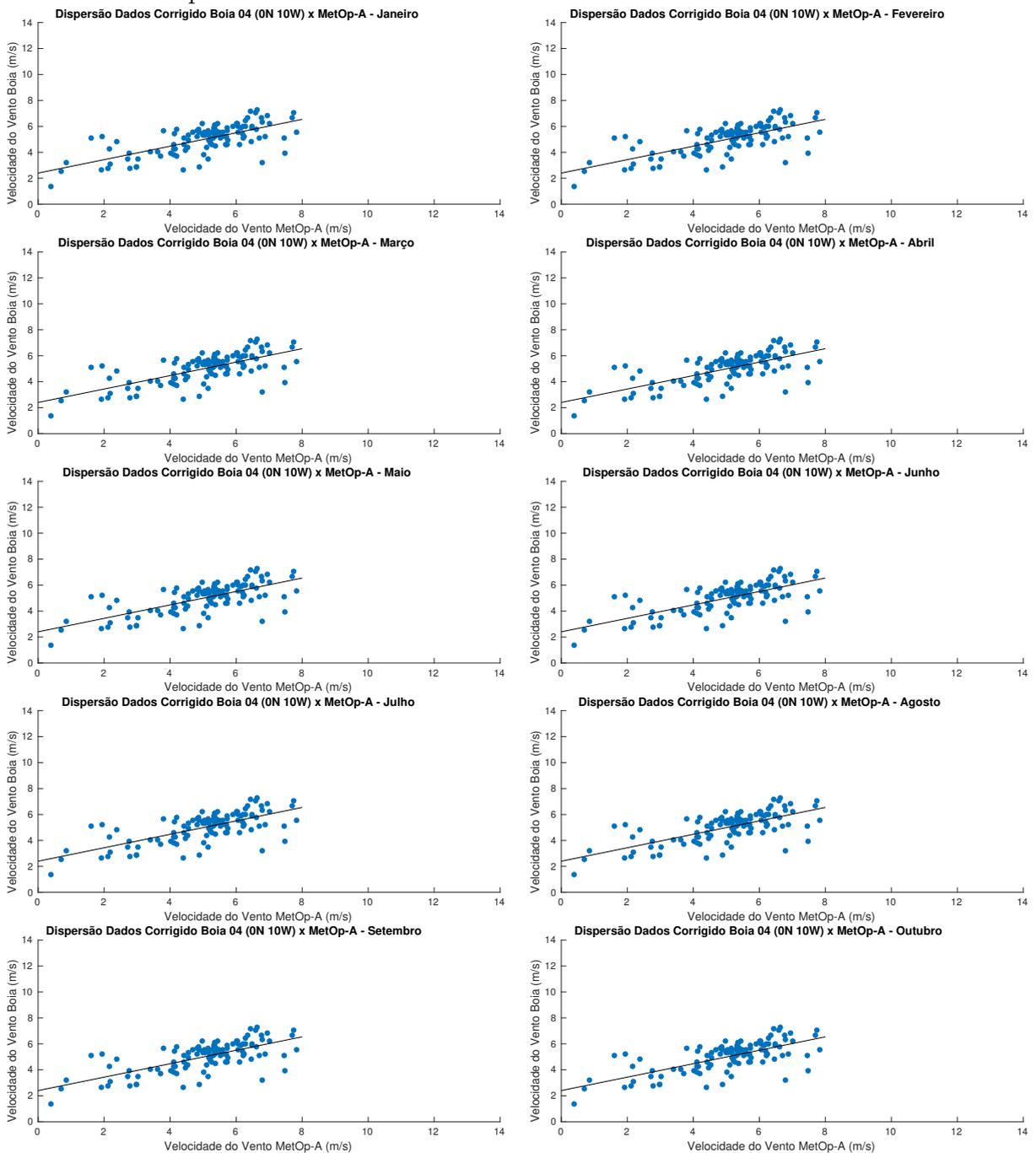
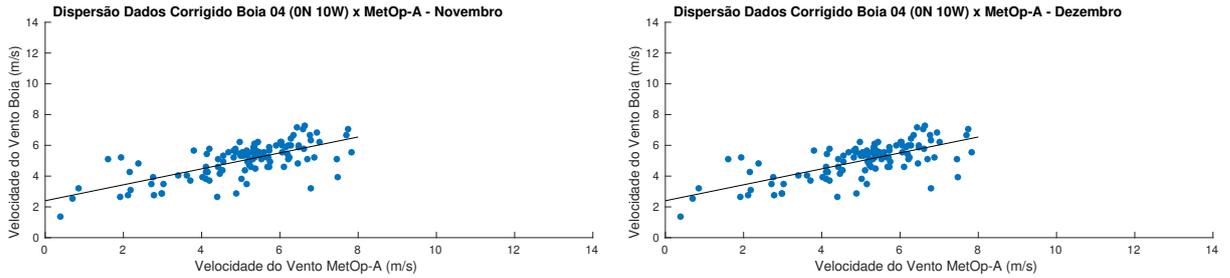


Figura 16 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 4 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.





Através dos dados apresentados na Tabela 4, pode-se inferir que os índices de erro são baixos, indicando boa concordância entre os dados ASCAT e PIRATA.

Tabela 4 – Índices de erro para a boia 4

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BOIA 4 (0°N 10°W)												
N	24	20	34	68	90	74	70	71	71	72	67	67
ME	0,07	-0,35	-0,05	-0,37	-0,14	-0,11	0,28	0,23	0,87	0,63	-0,14	-0,49
MAE	0,71	0,52	0,97	1,11	1,42	1,23	1,68	1,80	1,78	1,56	1,18	1,19
RMSE	1,02	0,72	1,38	1,39	1,99	1,62	2,35	2,40	2,46	2,28	1,62	1,80

Analisando os resultados da boia 5 ilustrado na Figura 17, pode-se observar que o vento estimado pelo ASCAT é superestimado de janeiro a junho. Para o período de julho a outubro o satélite subestima a velocidade do vento, voltando a superestimá-la em novembro e dezembro.

Verifica-se também que para os anos de 2016 e 2017, em geral, os dados da boia 5 e o ASCAT apresentam melhor concordância, se comparado aos anos de 2014 e 2015. Isso acaba por tornar a correlação geral entre os dados baixa, representada por uma alta dispersão de pontos e ilustrada na Figura 18.

Figura 17 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 5 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

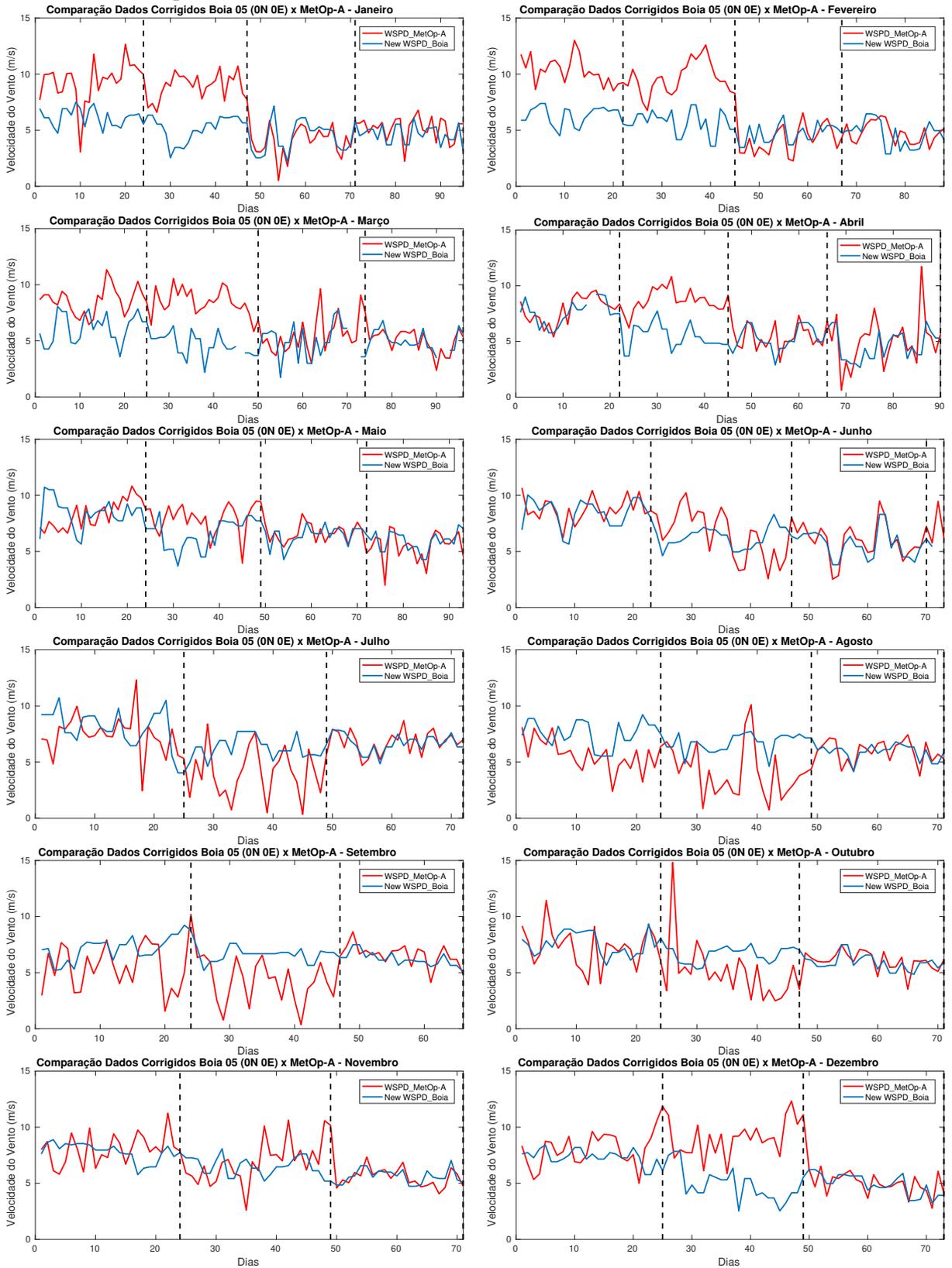
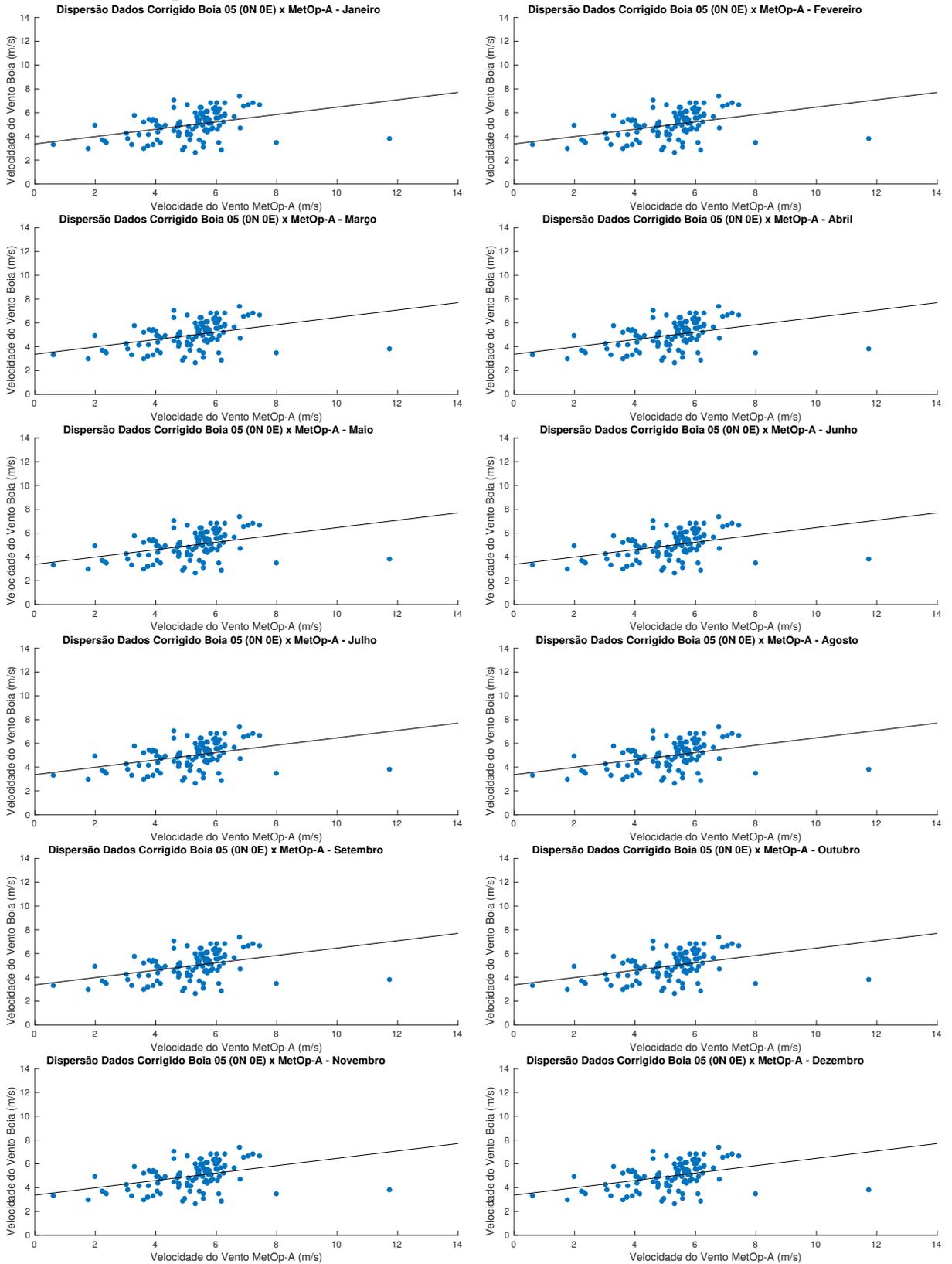


Figura 18 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 5 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.



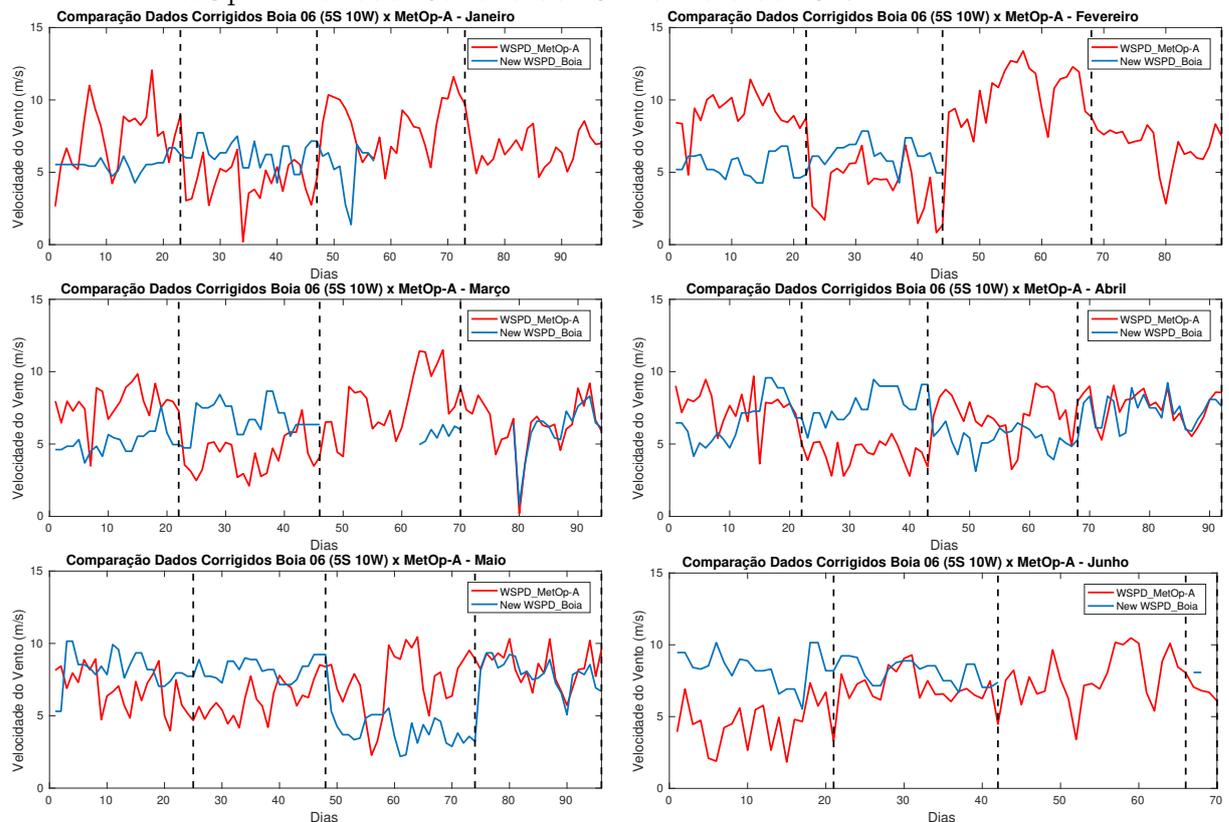
Os índices de erro podem ser encontrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Índices de erro para a boia 5

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BOIA 5 (0°N 0°E)												
N	95	88	91	89	92	71	72	71	66	71	71	73
ME	-1,77	-1,92	-1,85	-1,03	-0,26	-0,29	0,94	1,55	1,28	0,59	-0,21	-1,64
MAE	2,25	2,49	2,24	1,61	1,29	1,27	1,79	1,98	1,91	1,50	1,27	2,14
RMSE	2,92	3,21	2,84	2,22	1,70	1,62	2,44	2,58	2,55	2,12	1,78	2,98

Analisando a série temporal da boia 6, Figura 20, verifica-se ausência de dados em vários meses do ano. Em geral, para esta boia os dados estimados a partir do sensor ASCAT subestimam a velocidade do vento. Nesta série temporal ressaltam-se os meses de setembro e outubro de 2015, abril de 2016, cujos dados satélite x boia apresentam excelente concordância. Os gráficos de dispersão são apresentados na Figura ??, corroborando o comentário anterior.

Figura 19 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 6 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.



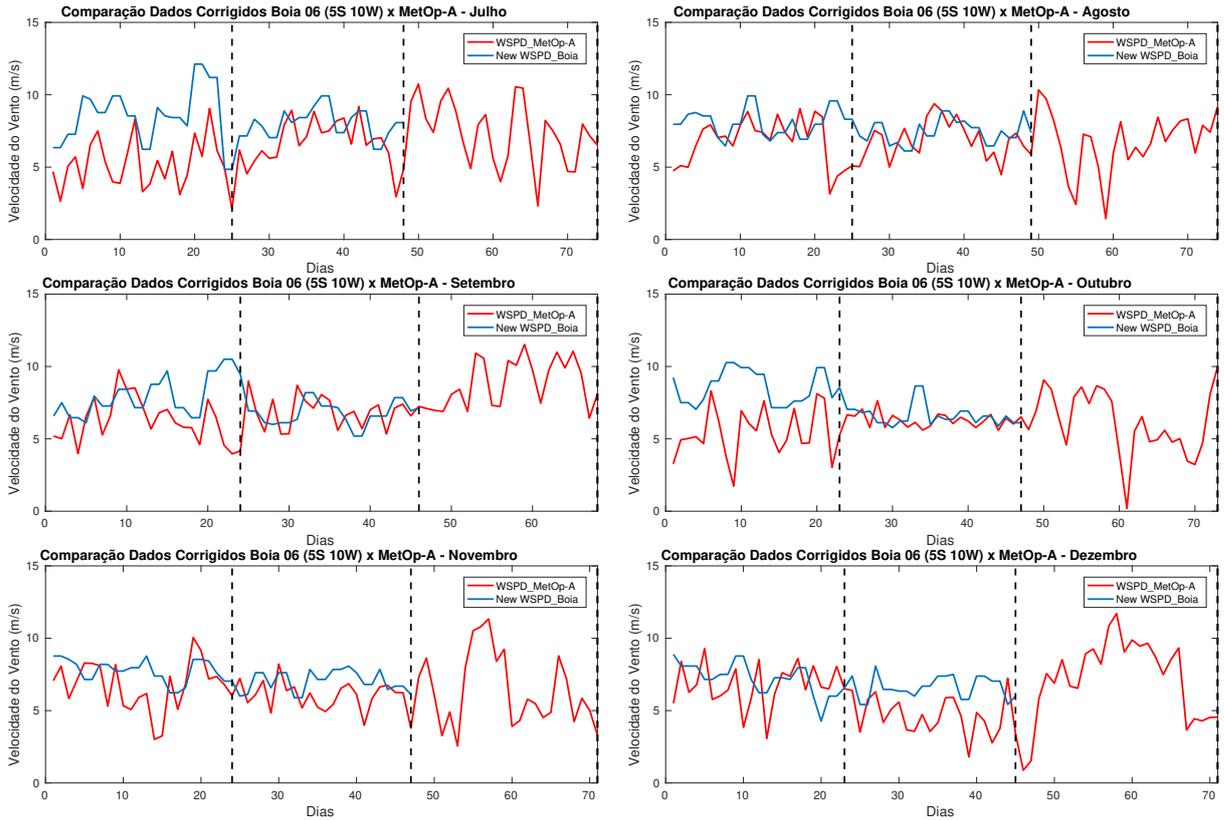
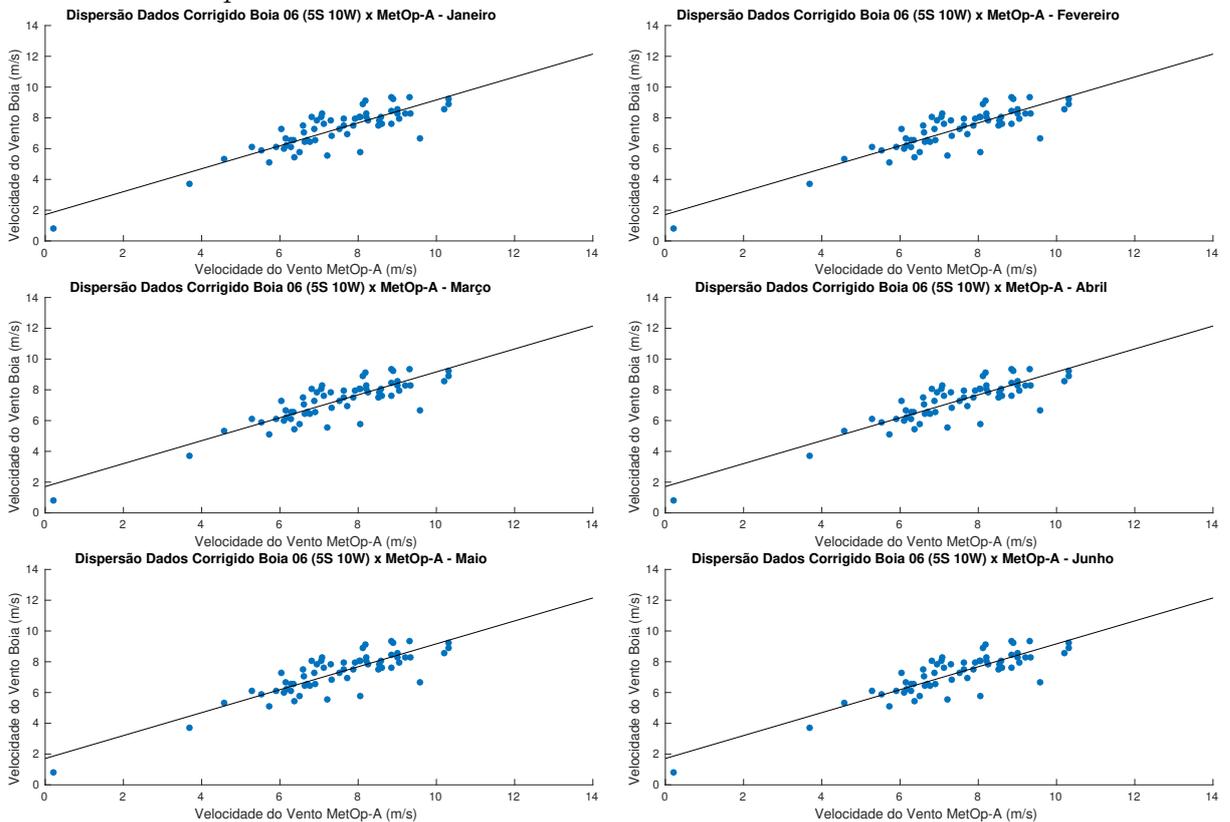
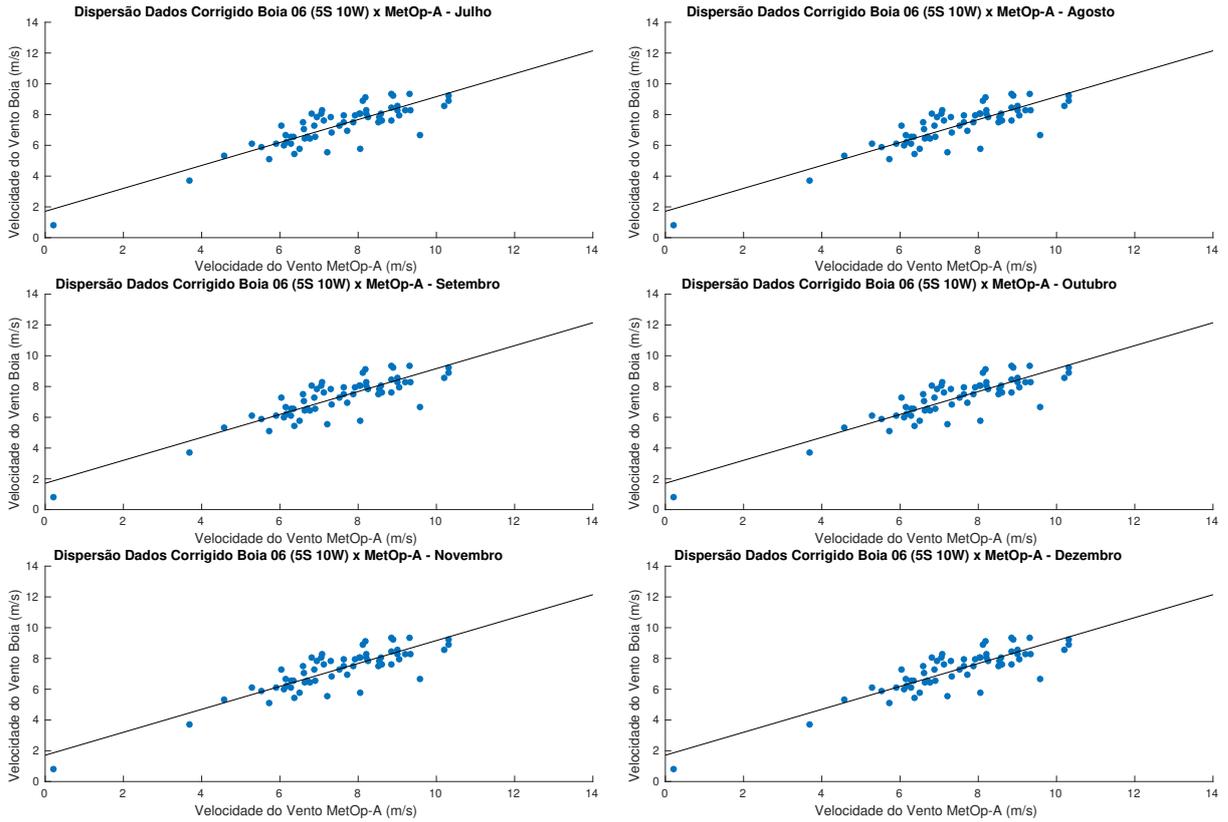


Figura 20 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 6 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.





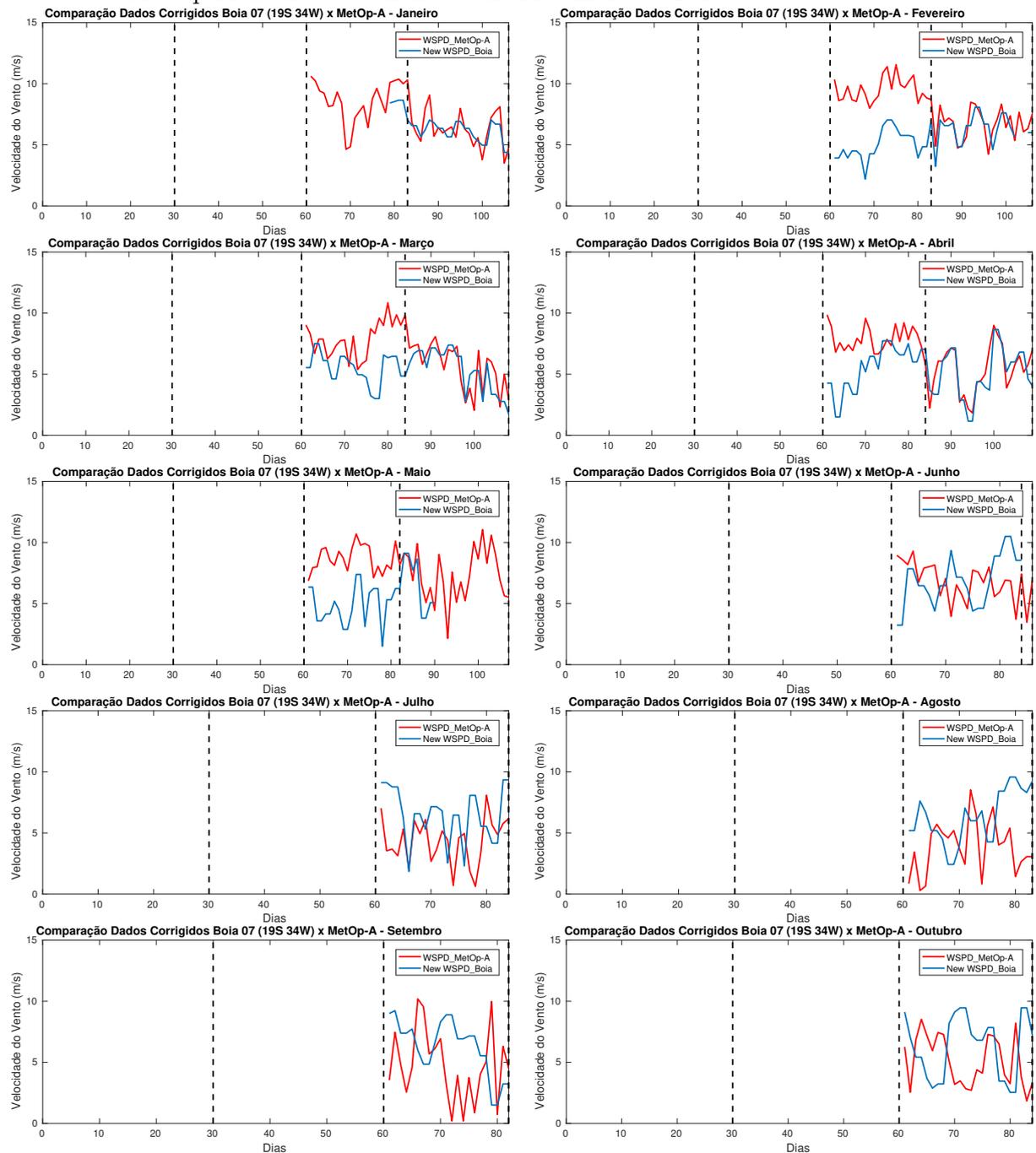
Os índices de erro podem ser encontrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Índices de erro para a boia 6

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BOIA 6 (5°S 10°W)												
N	57	44	70	92	96	44	47	49	46	47	47	45
ME	-0,43	0,72	-0,40	0,06	-0,17	2,42	2,35	0,94	0,84	1,71	1,05	1,22
MAE	2,39	3,06	2,38	1,99	2,27	2,48	2,54	1,44	1,47	1,86	1,43	1,89
RMSE	2,96	3,43	2,90	2,47	2,86	3,15	3,07	1,98	2,06	2,64	1,73	2,19

Pode-se observar na Figura 21 que para os meses de fevereiro, março e abril de 2017 a concordância entre o vento estimado pelo satélite e o medido pela boia apresentam excelente concordância. Para os outros meses do ano a velocidade do vento é super estimada pelo MetOp-A/ASCAT, com excessão dos meses de julho, parte de agosto, setembro e outubro de 2017. Os diagramas de dispersão MetOp-A/ASCAT *vs* boia são apresentados na Figura 22

Figura 21 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 7 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.



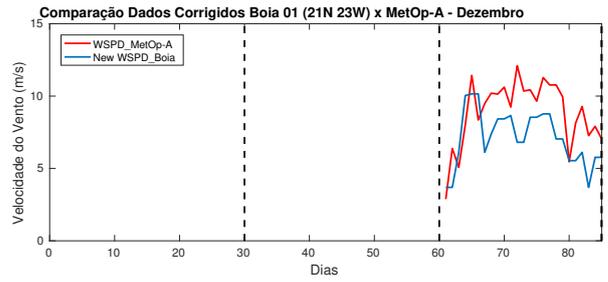
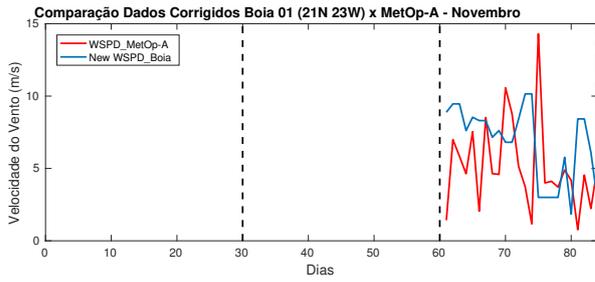
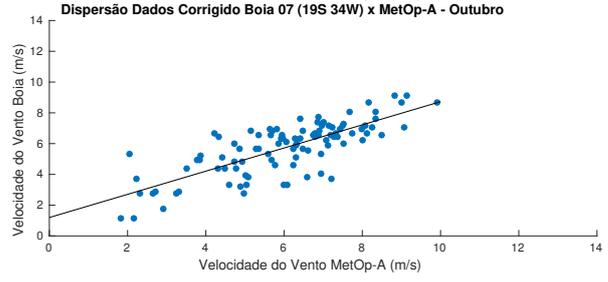
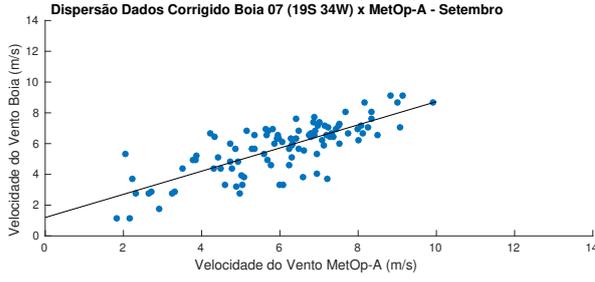
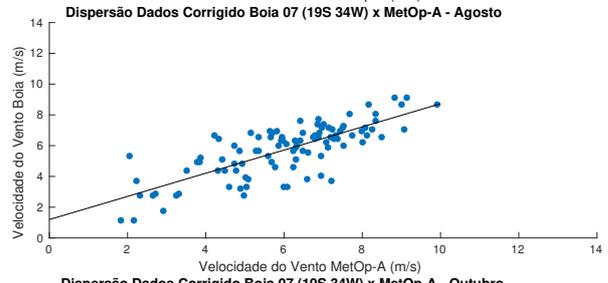
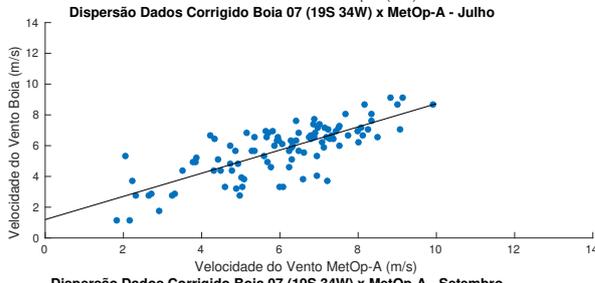
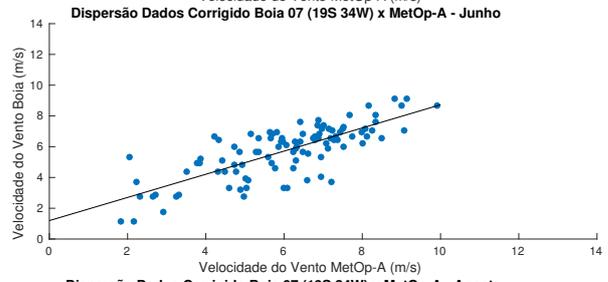
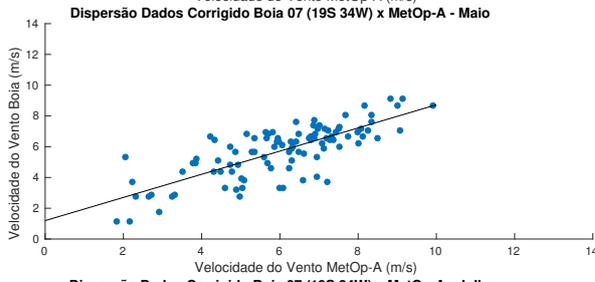
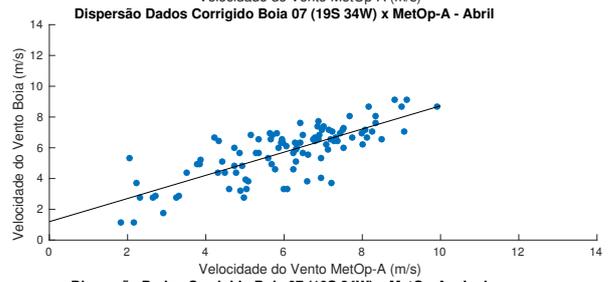
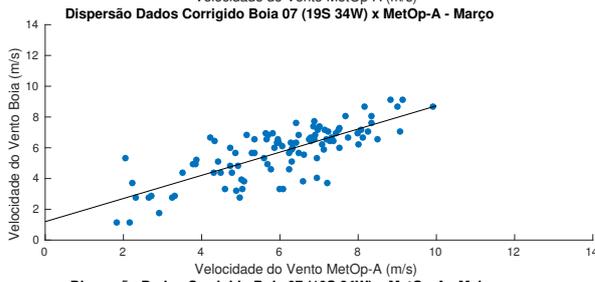
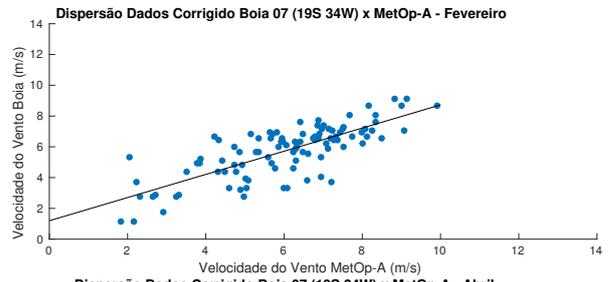
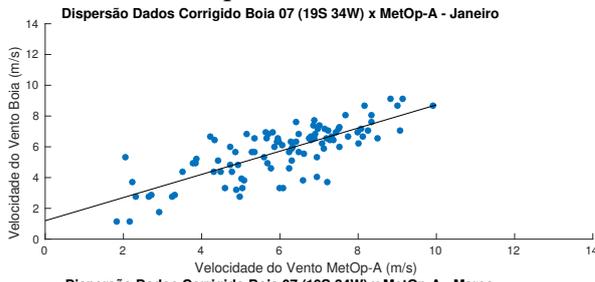
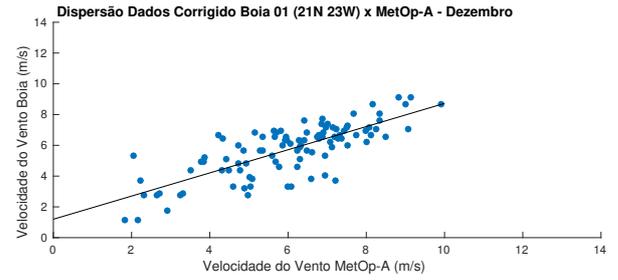
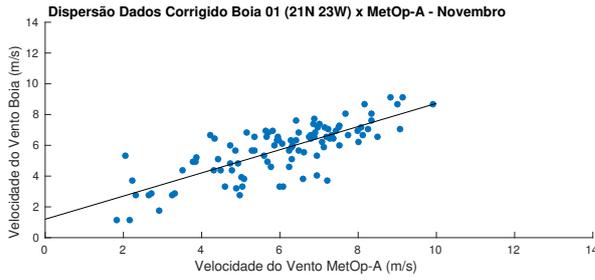


Figura 22 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 7 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.





Os índices de erro da boia 7 encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Índices de erro para a boia 7

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BOIA 7 (19°S 34°W)												
N	28	44	48	49	30	24	24	23	22	24	24	25
ME	-0,47	-2,48	-1,35	-1,29	-2,88	-0,08	2,12	2,42	1,53	1,16	1,65	-1,78
MAE	0,98	2,73	1,83	1,68	3,00	2,52	2,98	3,56	3,58	3,60	3,71	2,25
RMSE	1,21	3,40	2,41	2,34	3,57	3,01	3,60	4,28	4,34	4,09	4,66	2,52

5 CONCLUSÃO

1. Devido a facilidade de se ter acesso aos dados, foi possível analisar com precisão os campos de vento, tanto a partir de satélite como por boias oceanográficas fundeadas no Oceano Atlântico Tropical, do projeto PIRATA;
2. O MetOp-A/ASCAT estimam o vento em superfície oceânica com bom grau de acuracidade;
3. Devido às correlações significativas obtidas entre o valor estimado pelo ASCAT *vs* boia, os dados de satélite podem ser utilizados para cobrir falhas da série temporal da boia PIRATA.

6 TRABALHO FUTURO

Comparar os dados de direção e velocidade do vento estimadas pelo satélite MetOp-B lançado ao espaço em 17 de setembro de 2012, com os dados medidos *in situ* das boias PIRATA.

REFERÊNCIAS

- CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING. **Fundamentals of Remote Sensing**. Canadá, [data desconhecida]. 258 p.
- CLARO, M. dos S. **Extração do Campo de Vento na Bacia de Campos, RJ, a Partir de Imagens ENVISAT/ASAR**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 2007.
- FERREIRA, A. G. **Técnicas de sensoriamento remoto para monitoramento ambiental com aplicações em recursos pesqueiros no Atlântico Tropical**. 2005. 169 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza-CE, 2005.
- HOLT, B. **SAR imaging of the ocean surface**. In: Jackson, C. R.; Apel, J. R. Synthetic aperture radar marine user's manual. Washington: NOAA, 2004. v. 1, Cap. 2, p. 25- 79.
- KAMPEL, M. **Características gerais dos satélites NOAA: Histórico, instrumentos e comunicação de dados**. In: Ferreira, N. J. (Ed .) Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N , São Paulo-SP: Oficina de Textos, 2004. p.15-40. 271 p.
- MONALDO, F. M.; BEAL, R. **Wind speed and direction**. In: Jackson, C. R.; Apel, J. R. Synthetic Aperture Radar marine user's manual. Washington, DC: 2004. v. 1, Cap. 13, p. 305-320.
- MOREIRA, A. et al. **A Tutorial on Synthetic Aperture Radar**. IEEE Geoscience And Remote Sensing Magazine, Alemanha, p. 6-43, mar/abr. 2013. Disponível em: <<http://elib.dlr.de/82313/1/SAR-Tutorial-March-2013.pdf>>. Acesso em: 21 maio. 2017.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. rev. São Paulo, SP: Blucher, 2010. 387 p.
- OLIVEIRA, S. T. M.. **Estimativa de vento utilizando imagens SAR do satélite Sentinel-1 da ESA**. 2016. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Instituto de Ciências do Mar - Labomar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- TORRES, R. et al. **Sentinel-1 mission. Remote Sensing of Environment**, v. 120, p. 9-24, fev. 2012. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0034425712000600/1-s2.0-S0034425712000600-main.pdf?_tid=692a44ee-d0db-11e5-a370-00000aacb35e&acdnat=1455207828_c07fc3399401cebbb76030205a2d719d>. Acesso em: 01 junho 2017.
- YANG, X.; LI, X; PICHEL, W. G.; LI, Z. **Comparison of Ocean Surface Winds From ENVISAT ASAR, MetOp ASCAT Scatterometer, Buoy Measurements, and NOGAPS Model**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 49, no. 12, pp. 4743-4750, dez 2011.

BENTAMY, A.; CROIZE-FILLON, D.; PERIGAUD, C. **Characterization of ASCAT measurements based on buoy and QuikSCAT wind vector observations**, Ocean Science, vol. 4, pp. 265-274, 2008.

APÊNDICE A – GRÁFICOS DE COMPARAÇÃO E DISPERSÃO SEM CORREÇÃO

Figura 23 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 1 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

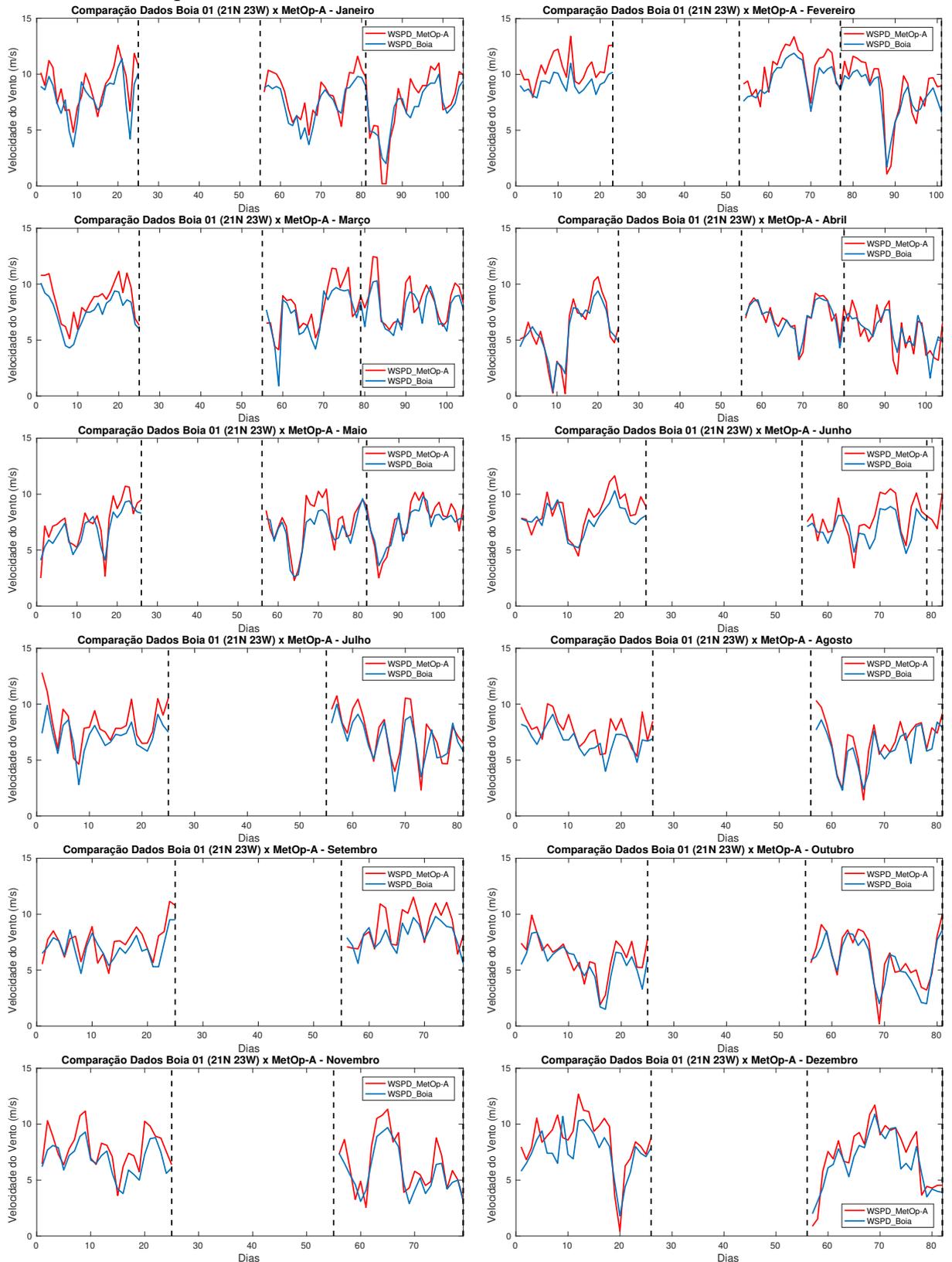


Figura 24 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 1 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

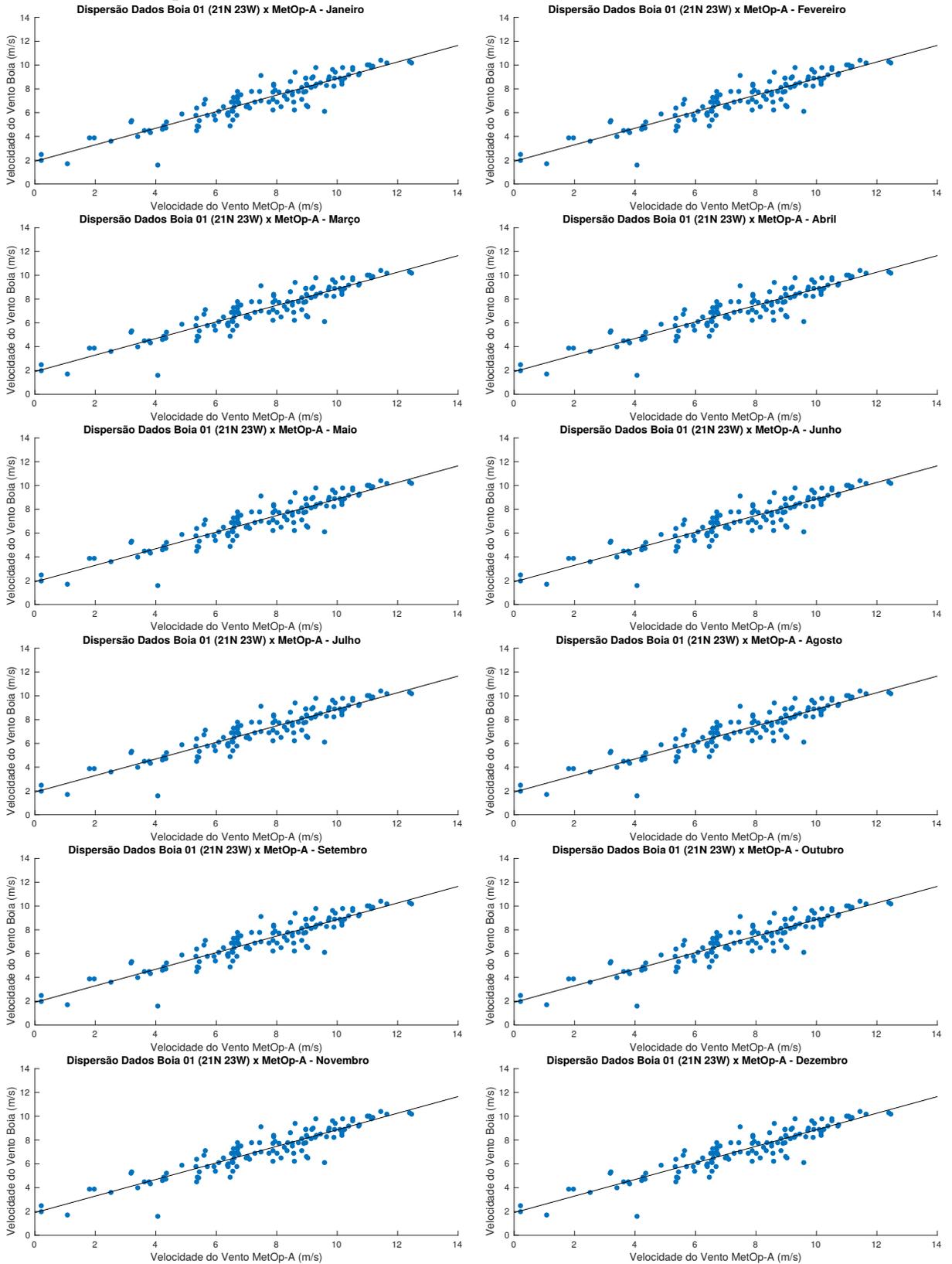


Figura 25 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 2 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

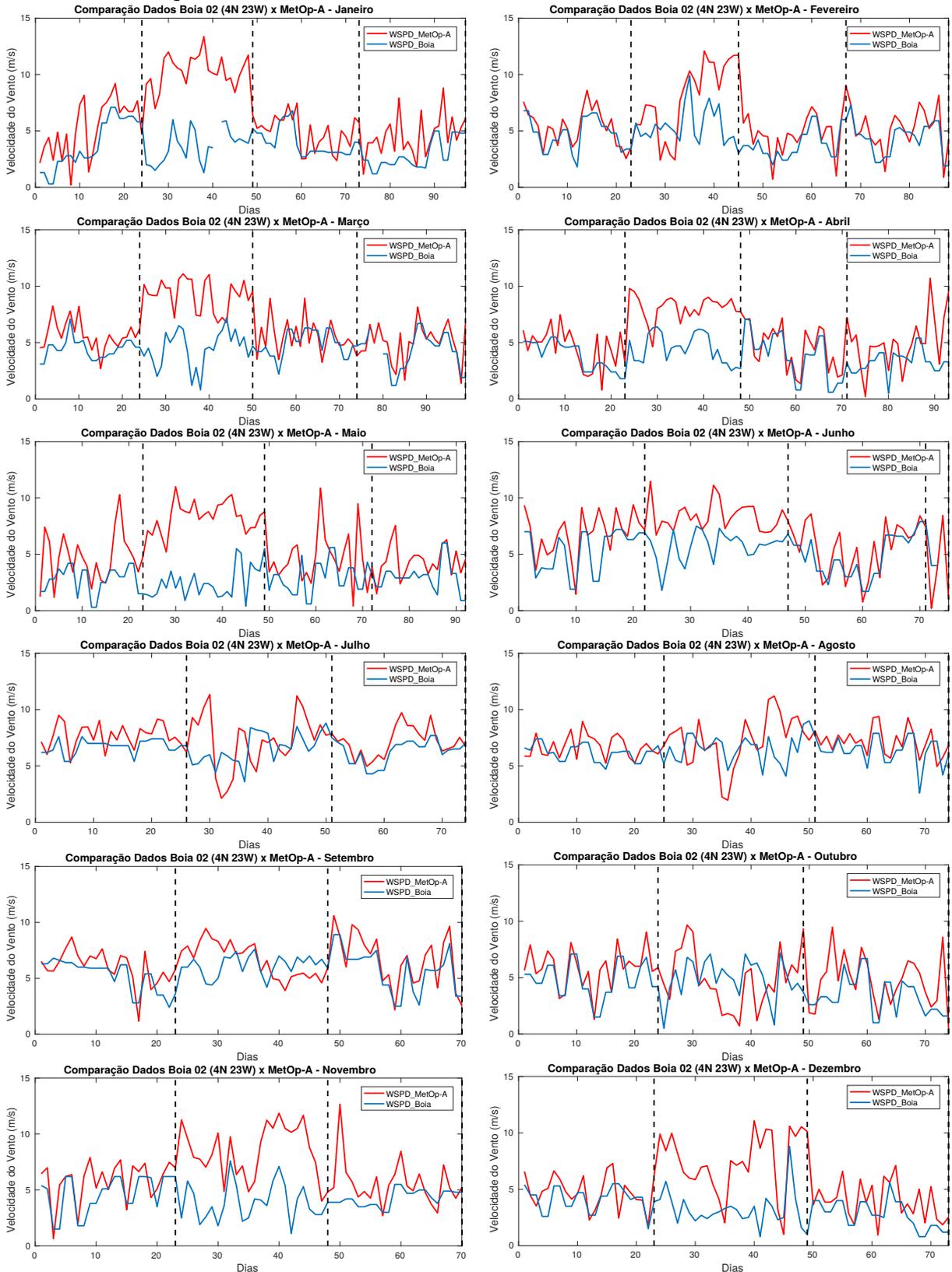


Figura 26 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 2 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

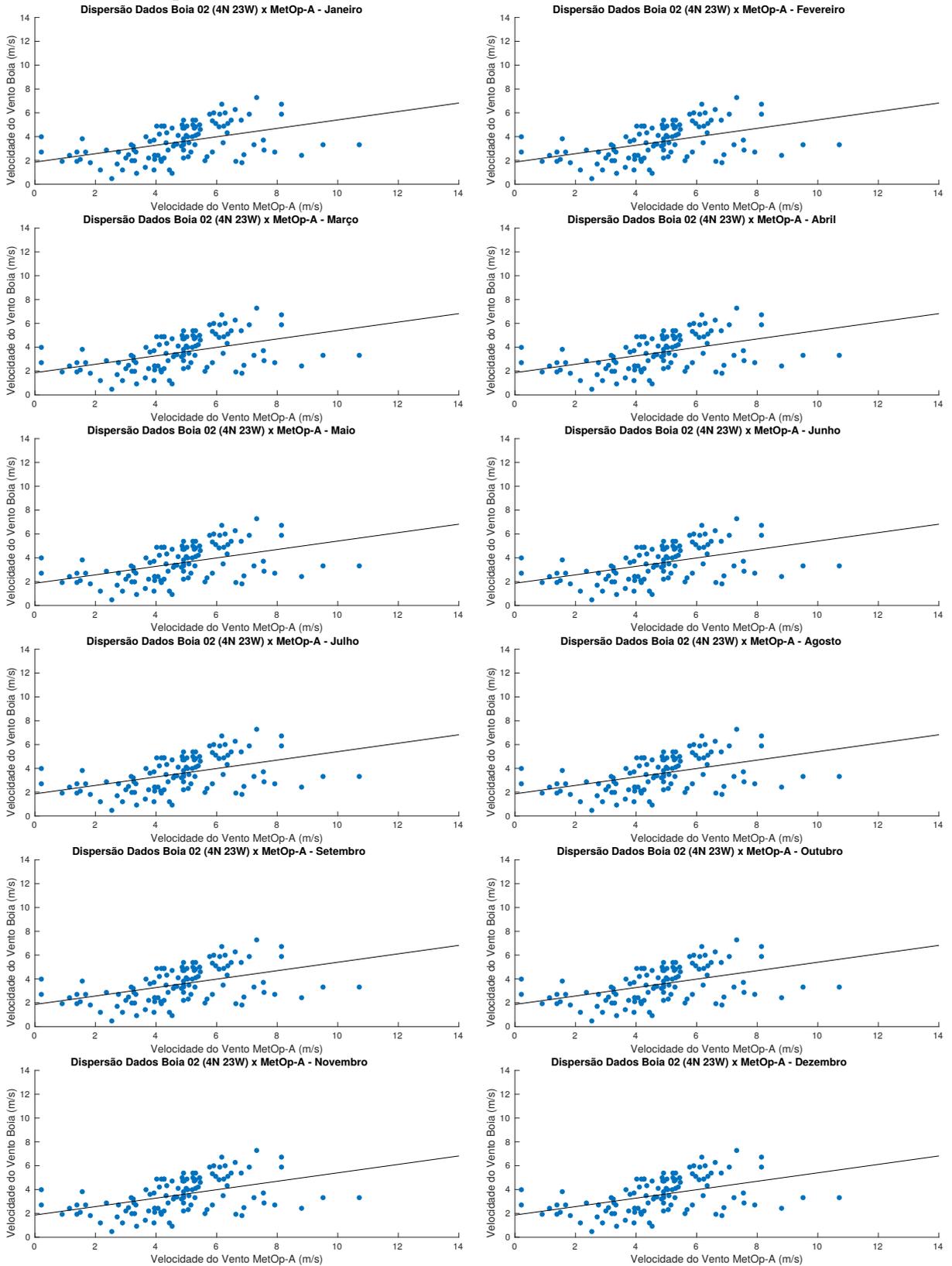


Figura 27 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 3 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

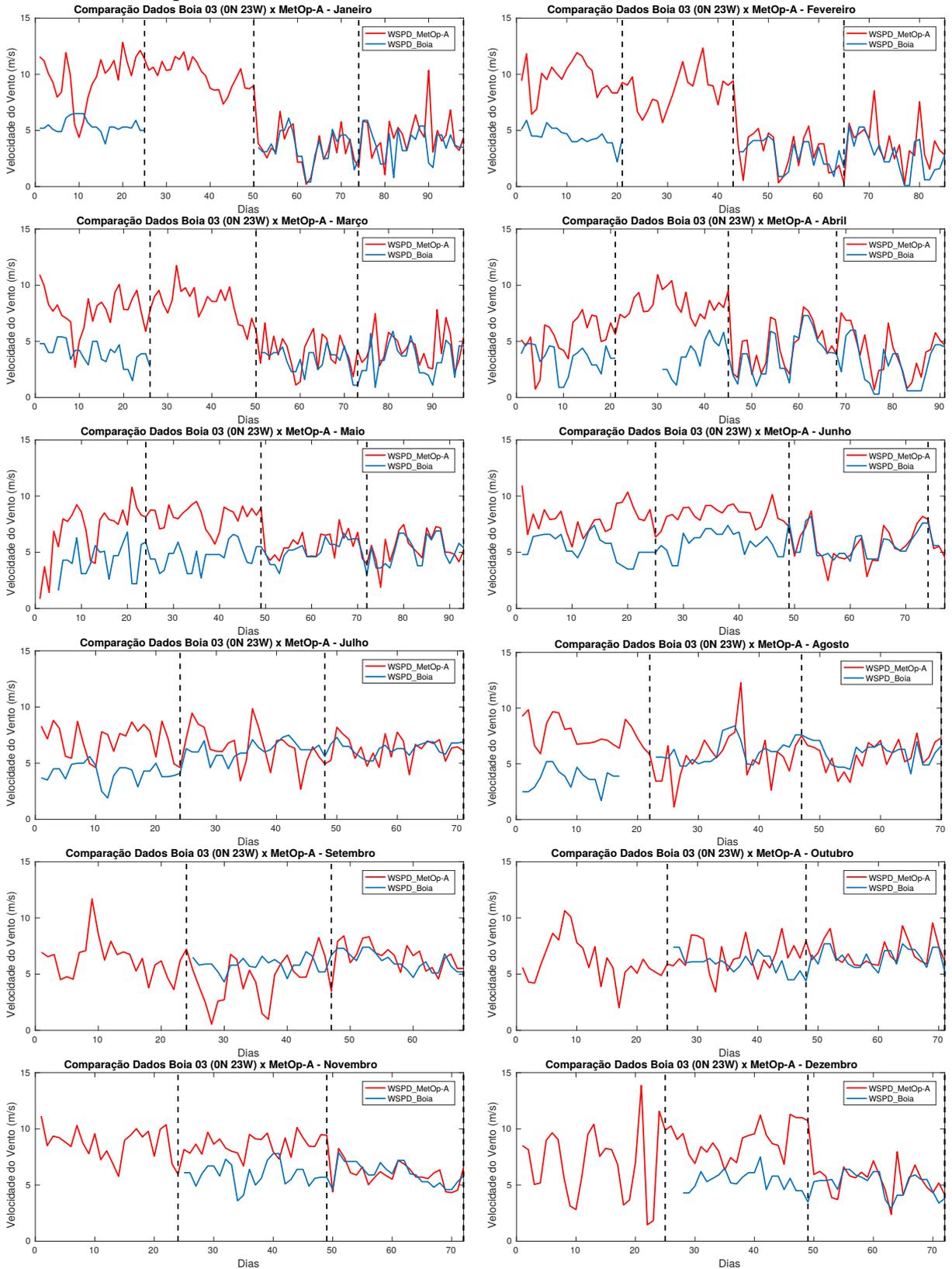


Figura 28 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 3 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

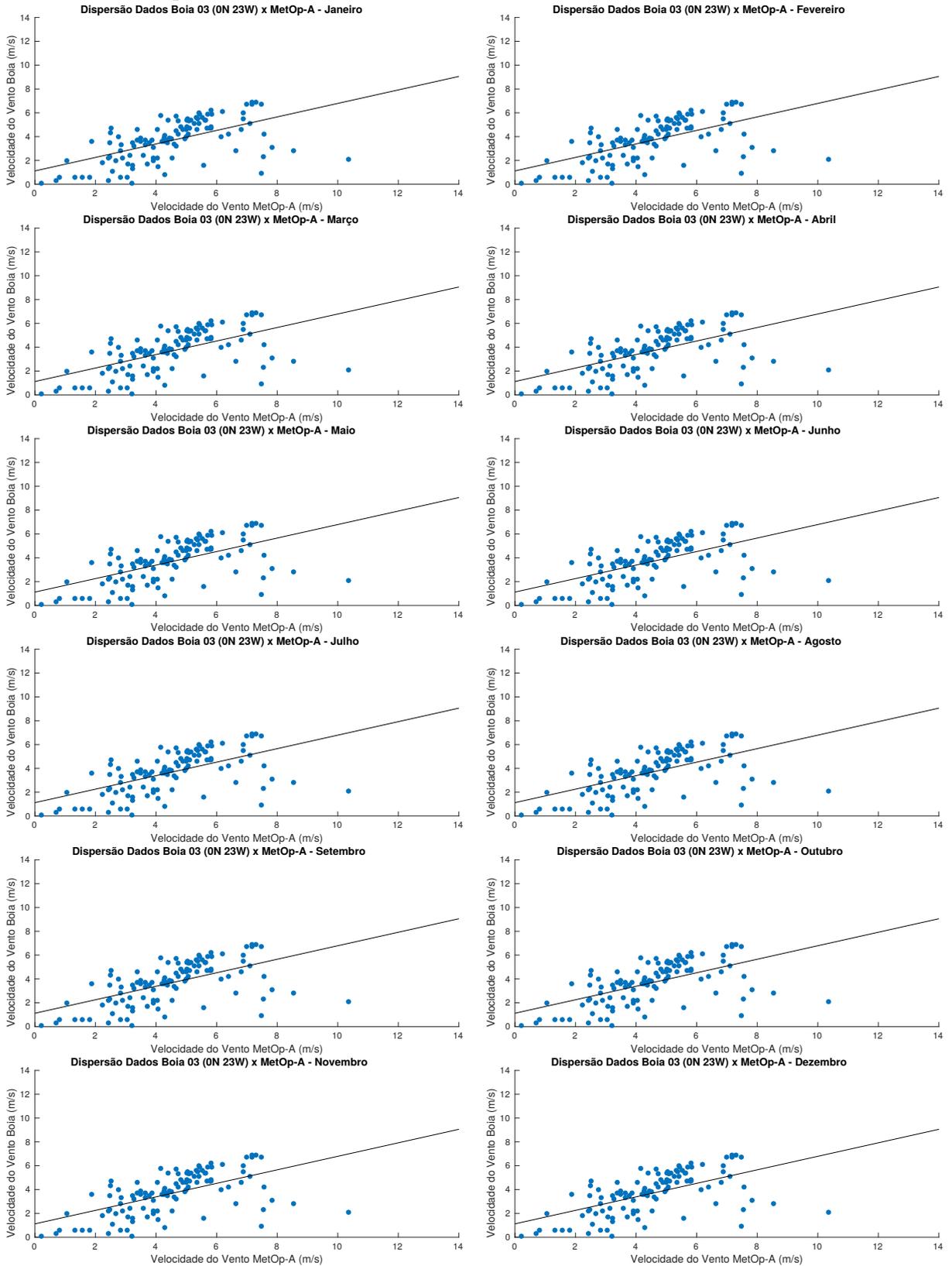


Figura 29 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 4 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

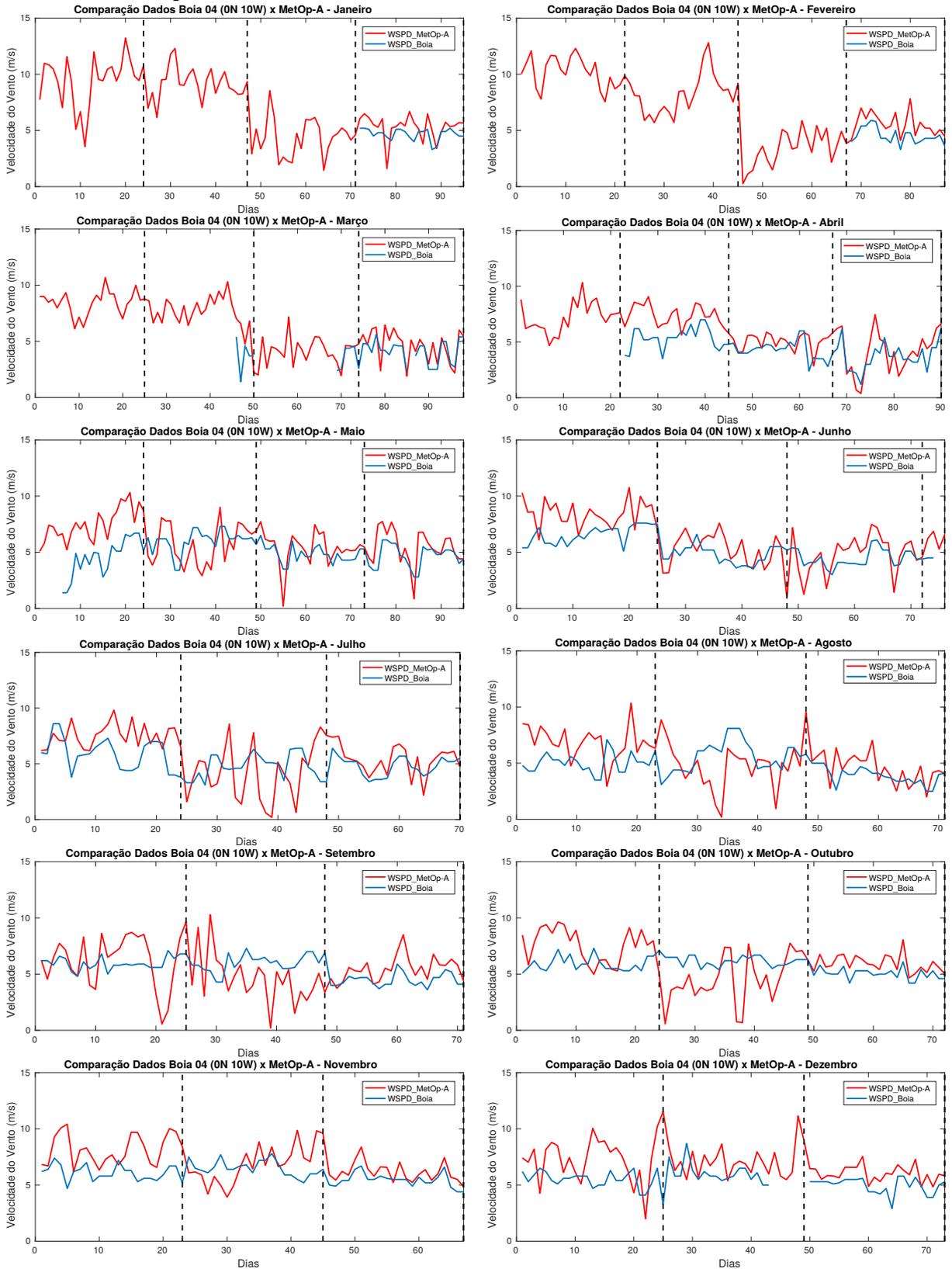


Figura 30 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 4 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

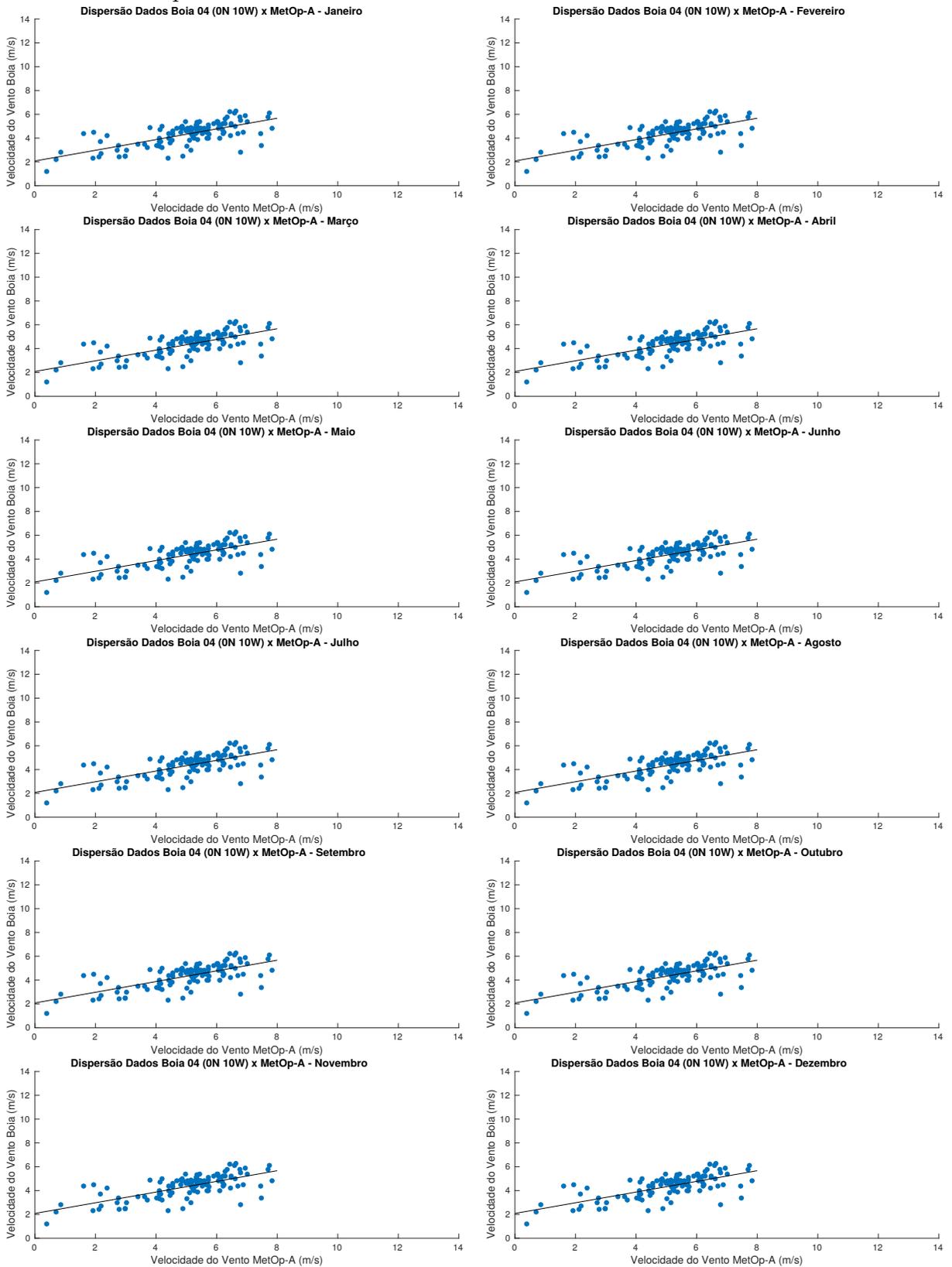


Figura 31 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 5 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

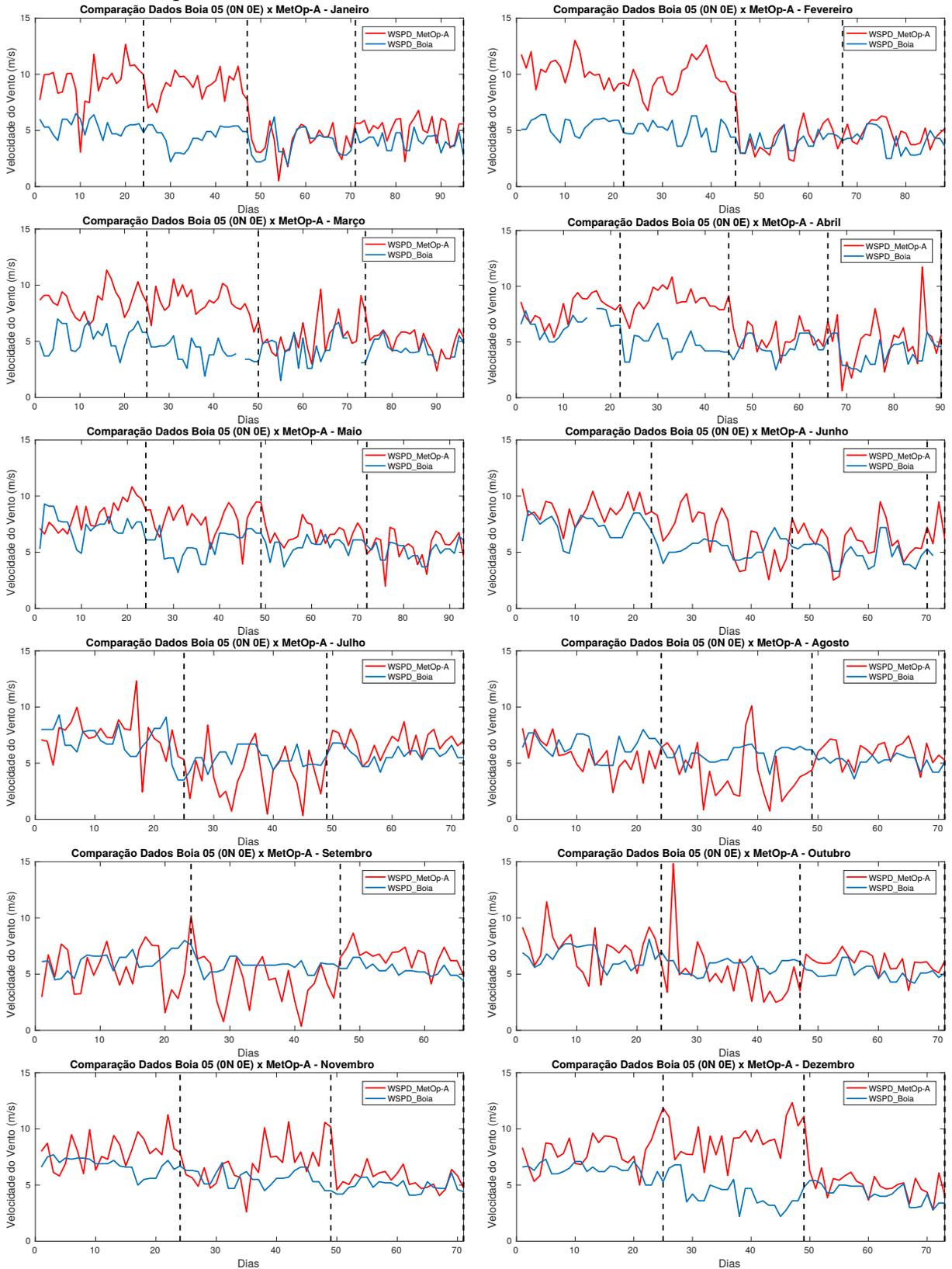


Figura 32 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 5 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

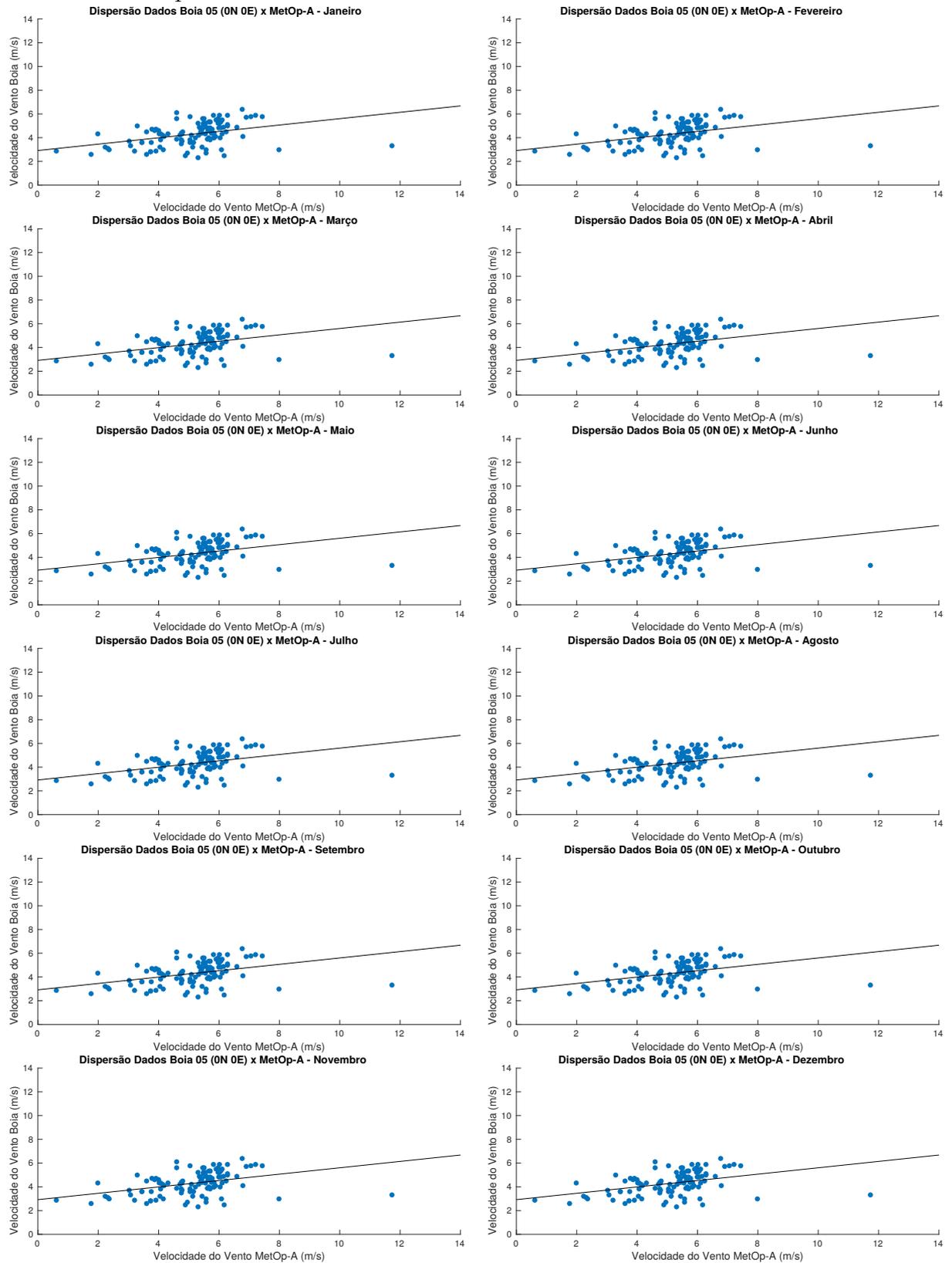


Figura 33 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 6 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

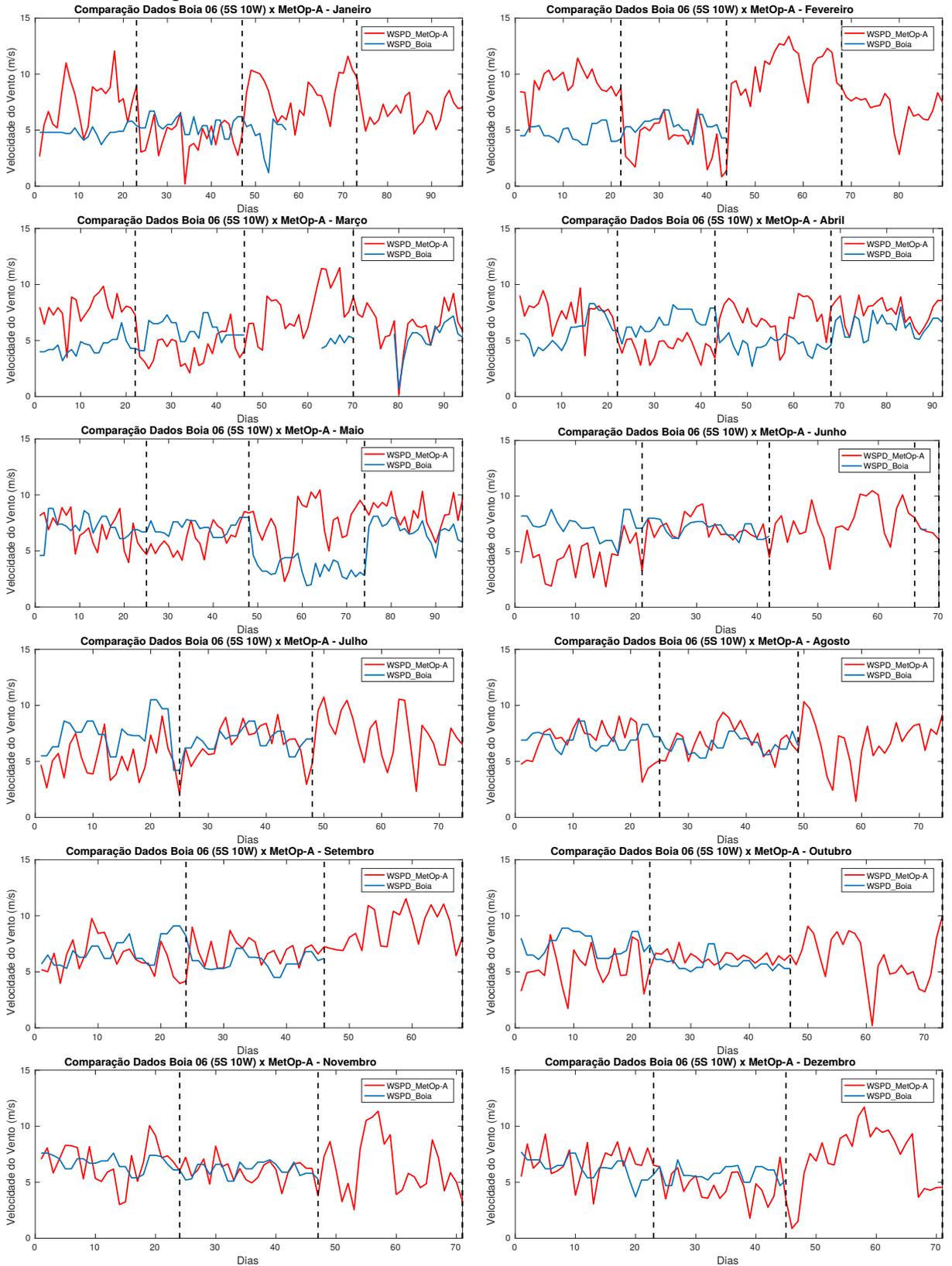


Figura 34 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 6 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

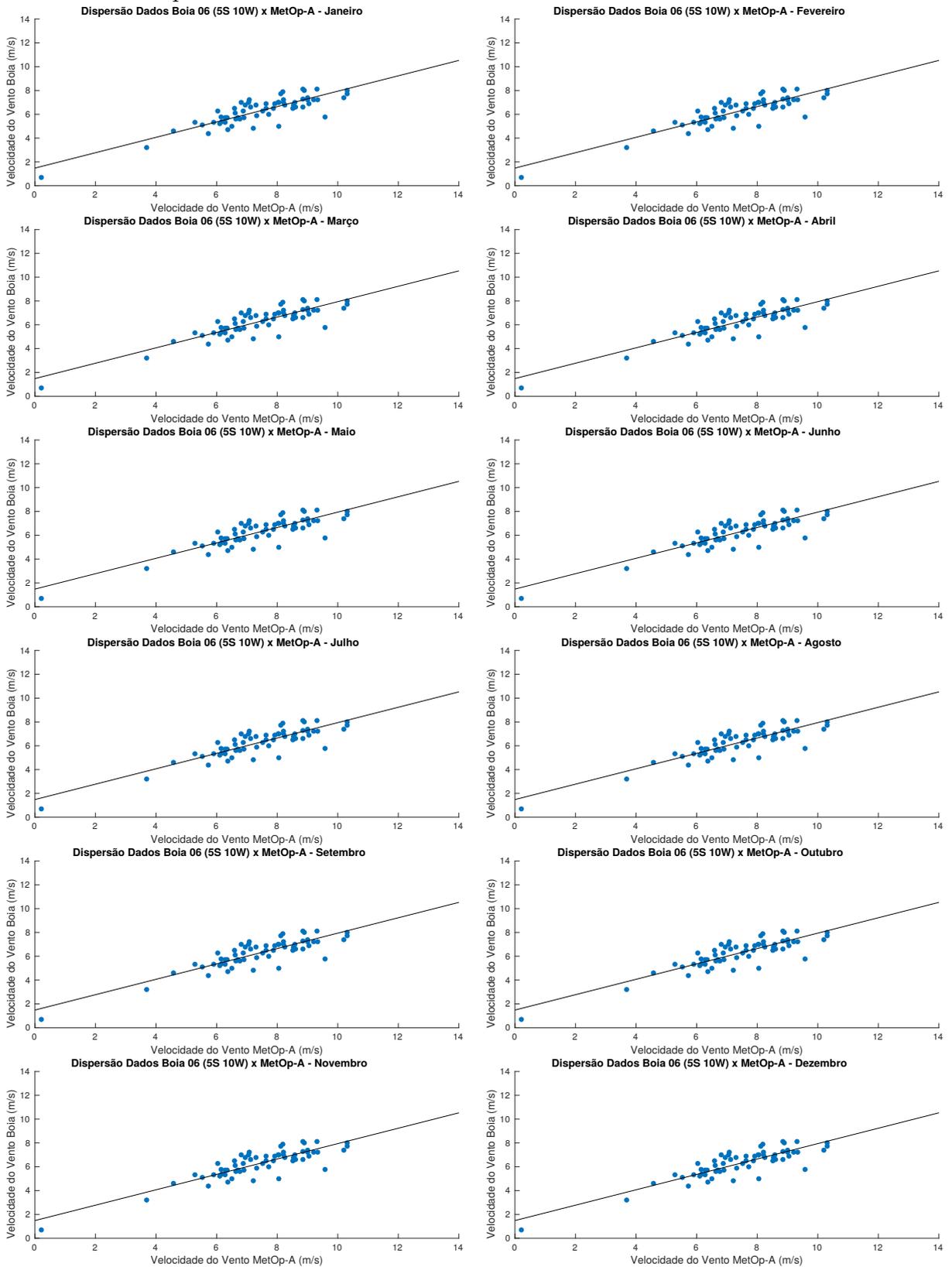


Figura 35 – Gráficos de comparação da velocidade do vento boia 7 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.

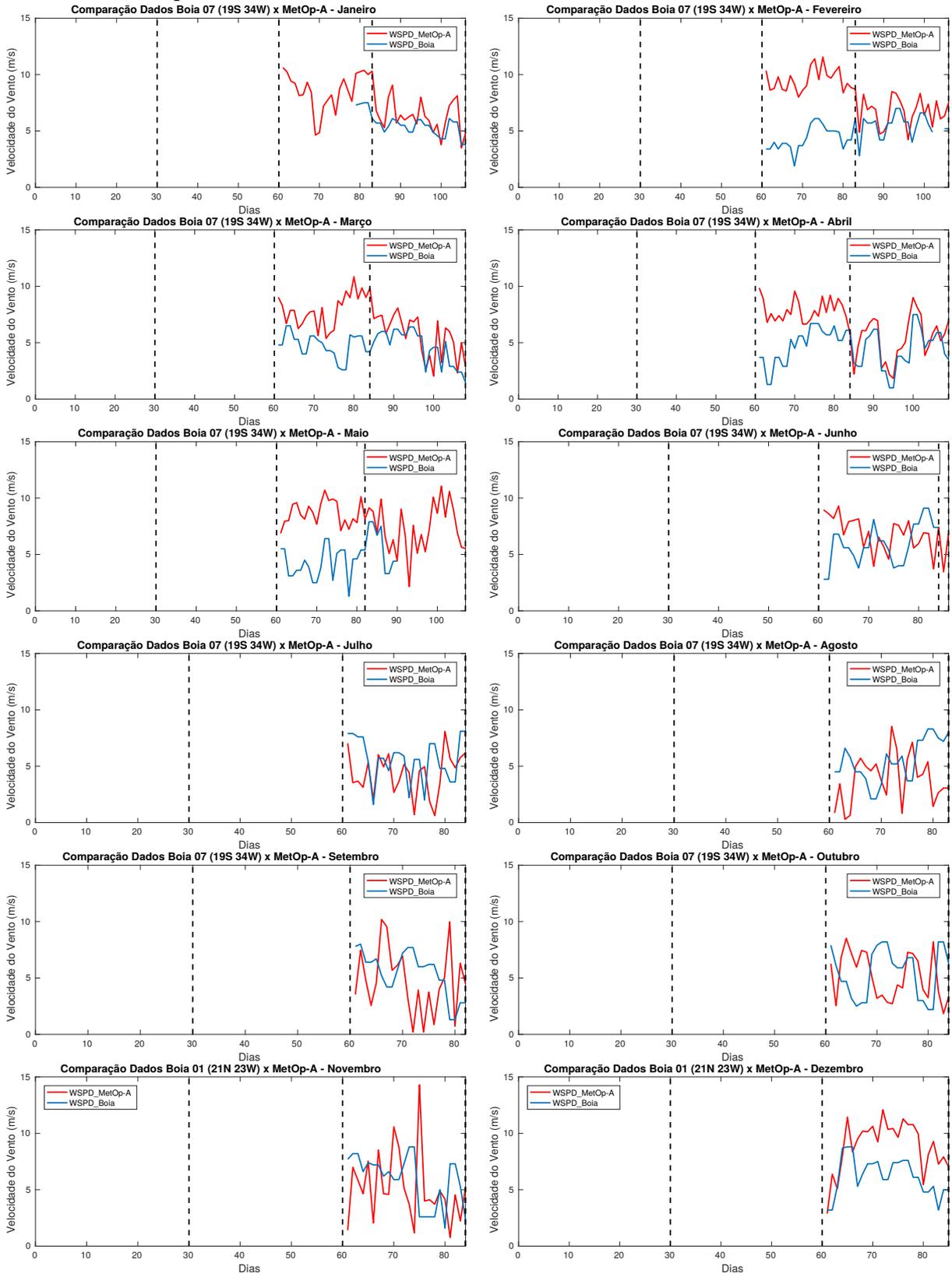
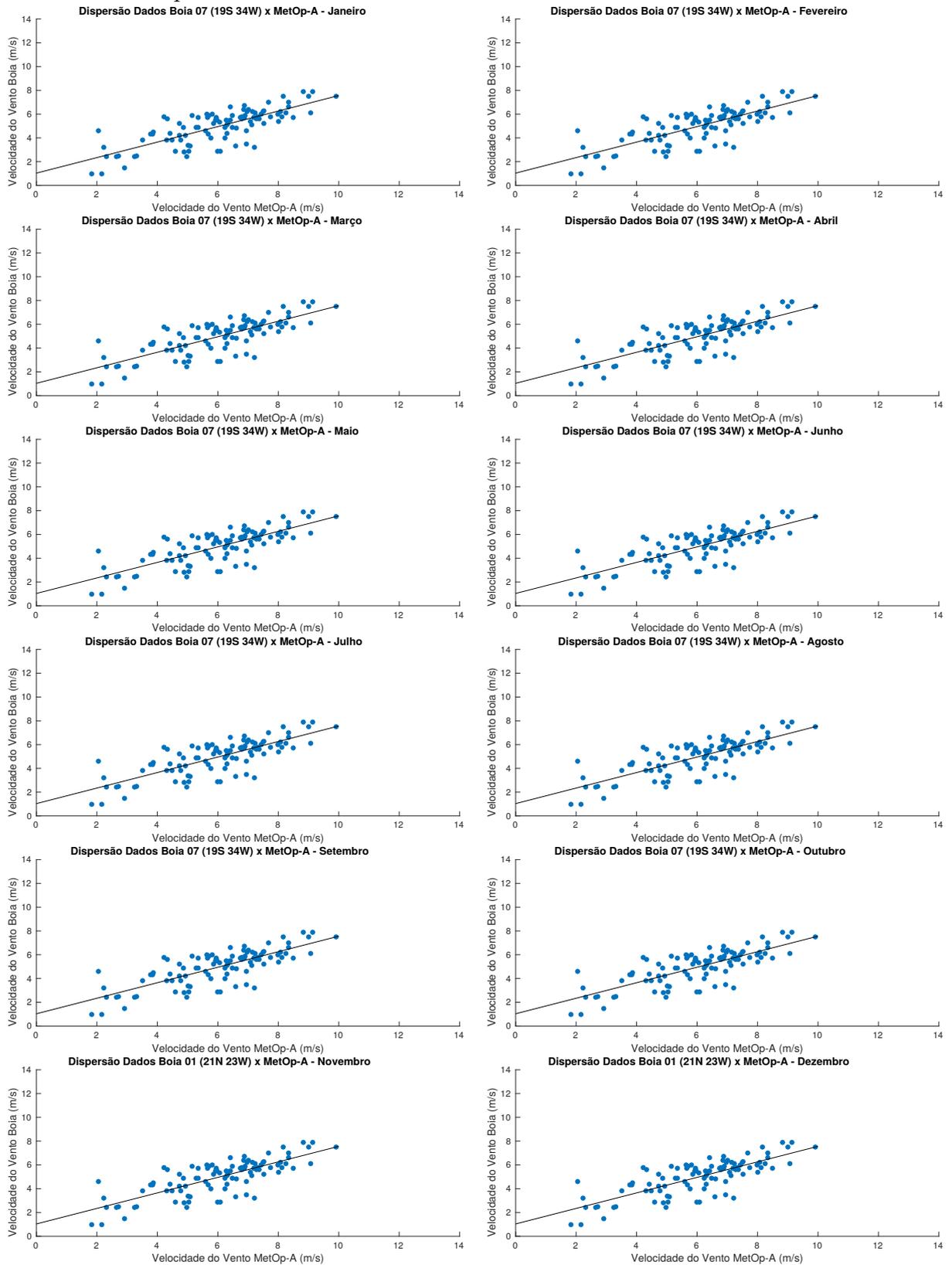


Figura 36 – Gráficos de dispersão da velocidade do vento boia 7 x MetOp-A. Período: Janeiro de 2014 a maio de 2017.



APÊNDICE B – DADOS ESTATÍSTICOS BÁSICOS

Figura 37 – Dados Estatísticos Boia 1 vs MetOp-A: 2014

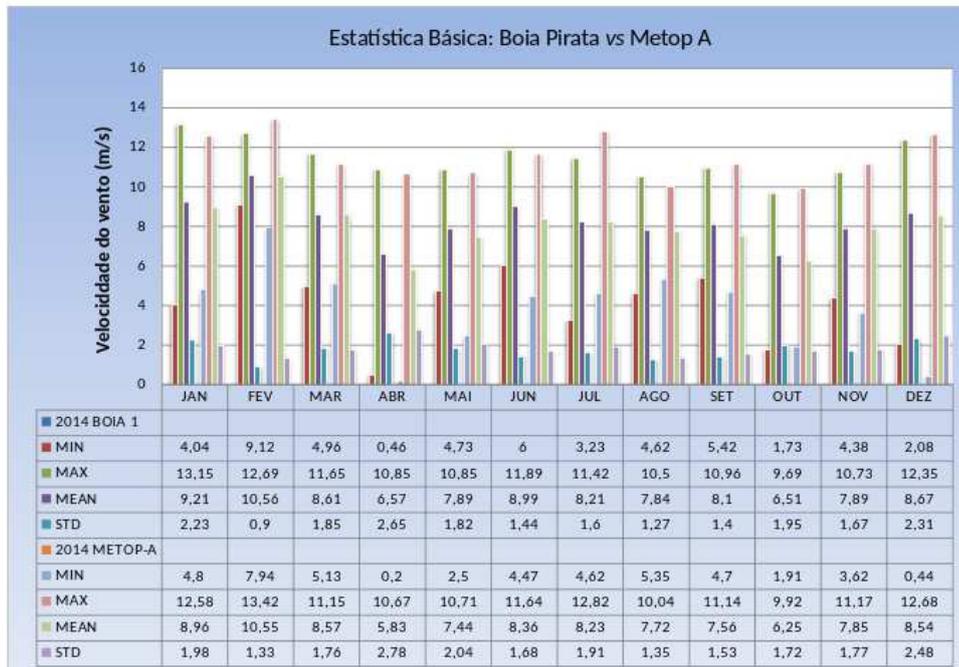


Figura 38 – Dados Estatísticos Boia 1 vs MetOp-A: 2016



Figura 39 – Dados Estatísticos Boia 1 vs MetOp-A: 2017



Figura 40 – Dados Estatísticos Boia 2 vs MetOp-A: 2014

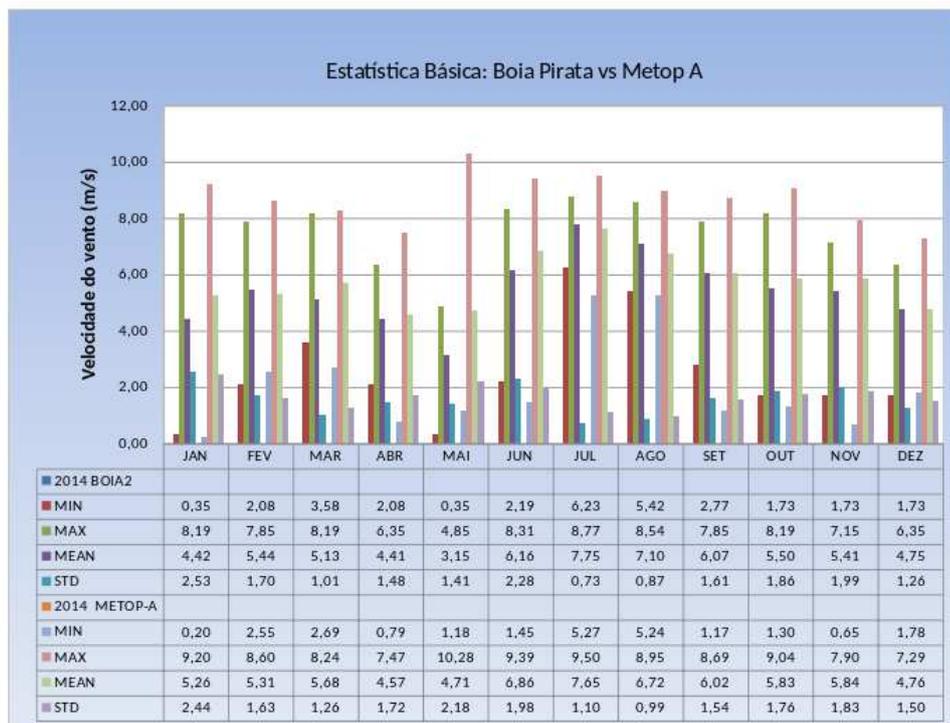


Figura 41 – Dados Estatísticos Boia 2 vs MetOp-A: 2015



Figura 42 – Dados Estatísticos Boia 2 vs MetOp-A: 2016



Figura 43 – Dados Estatísticos Boia 2 vs MetOp-A: 2017

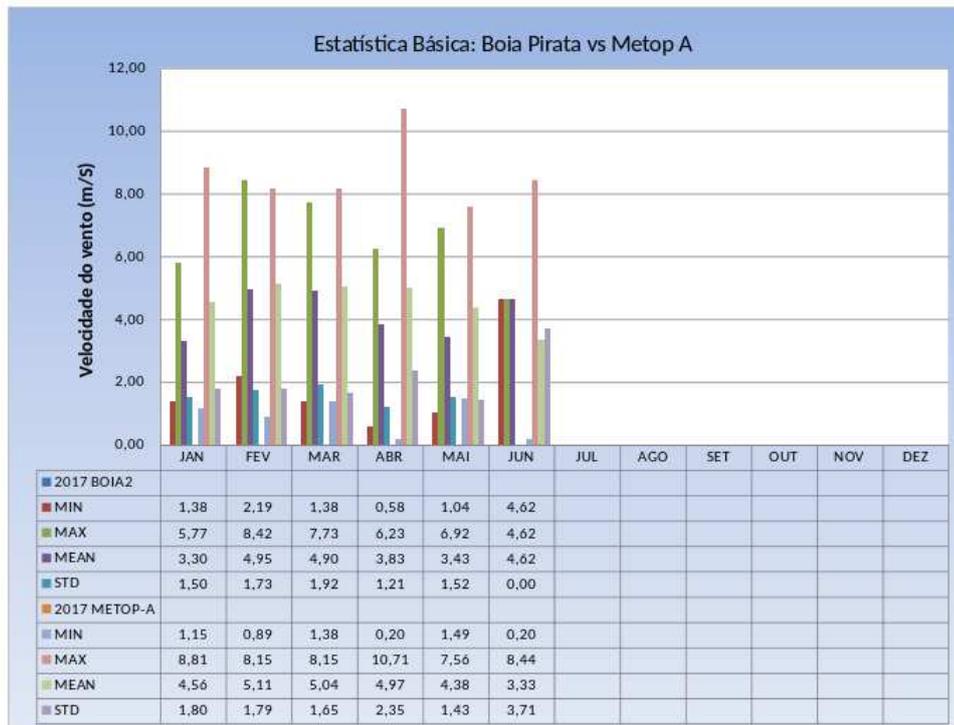


Figura 44 – Dados Estatísticos Boia 3 vs MetOp-A: 2014

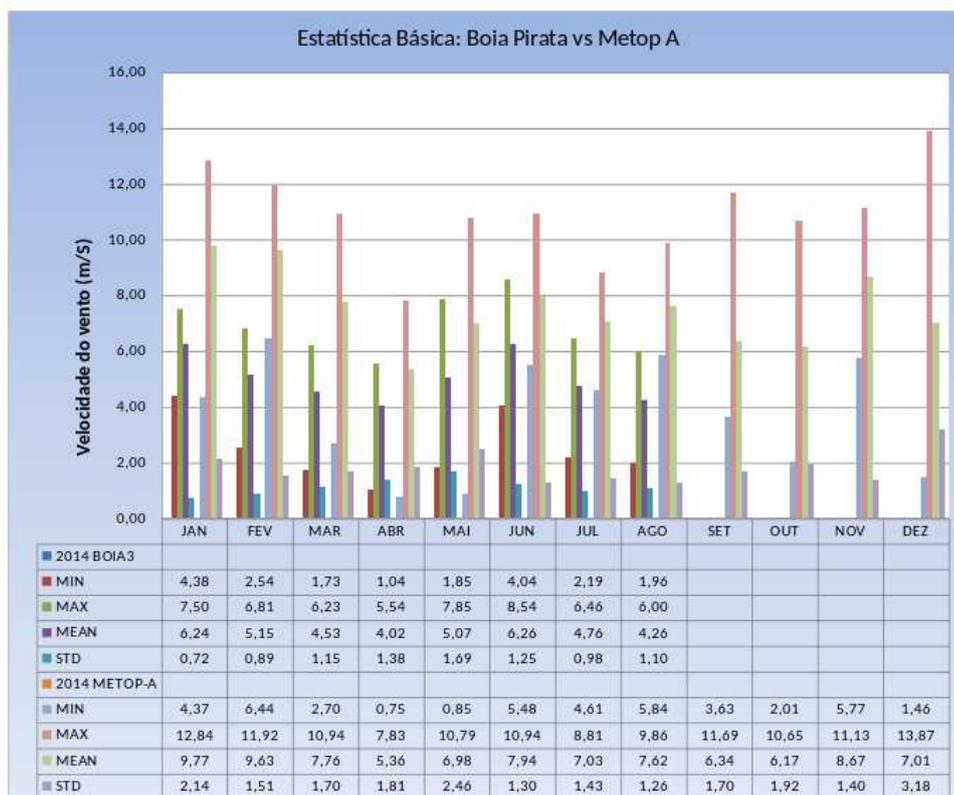


Figura 45 – Dados Estatísticos Boia 3 vs MetOp-A: 2015

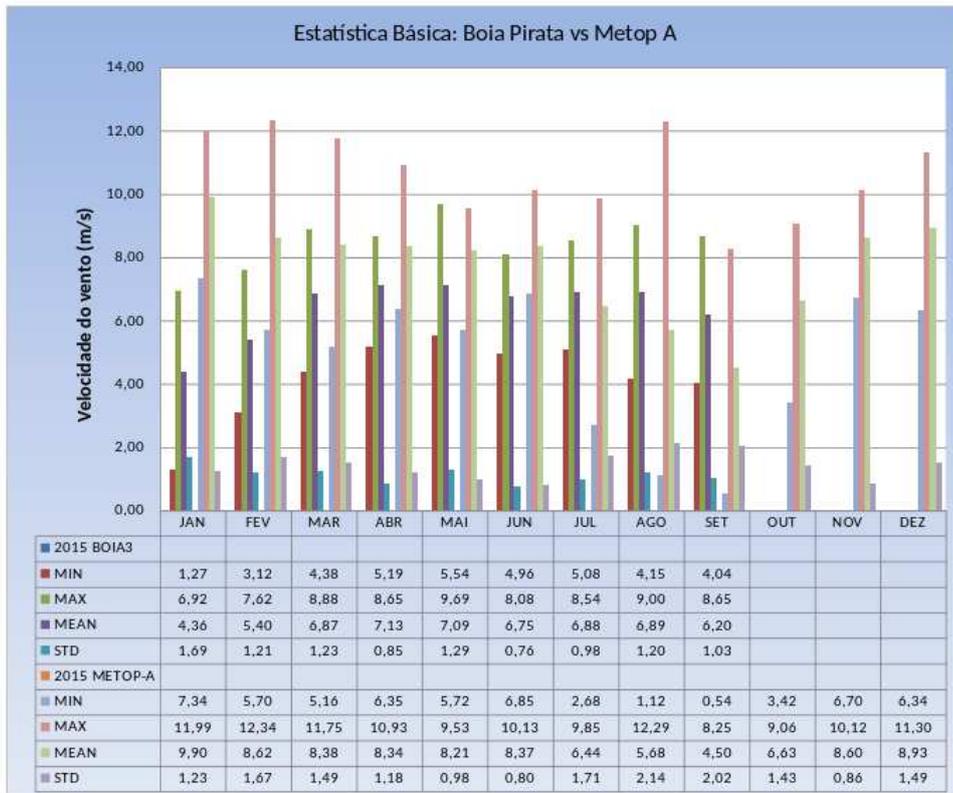


Figura 46 – Dados Estatísticos Boia 3 vs MetOp-A: 2016

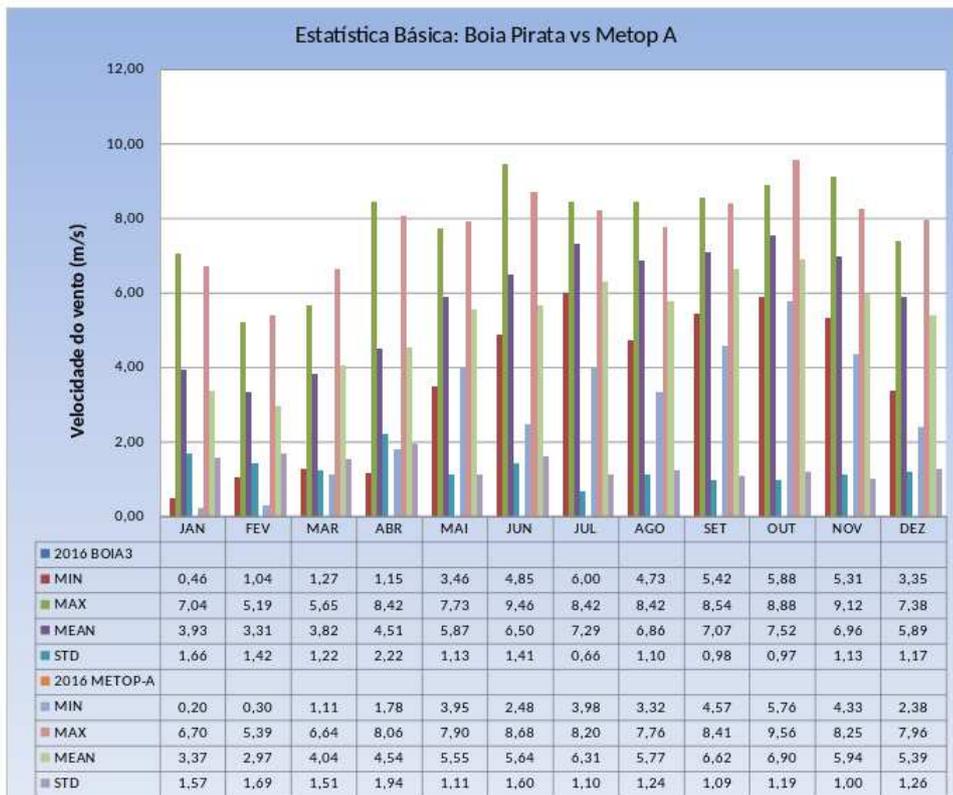


Figura 47 – Dados Estatísticos Boia 3 vs MetOp-A: 2017

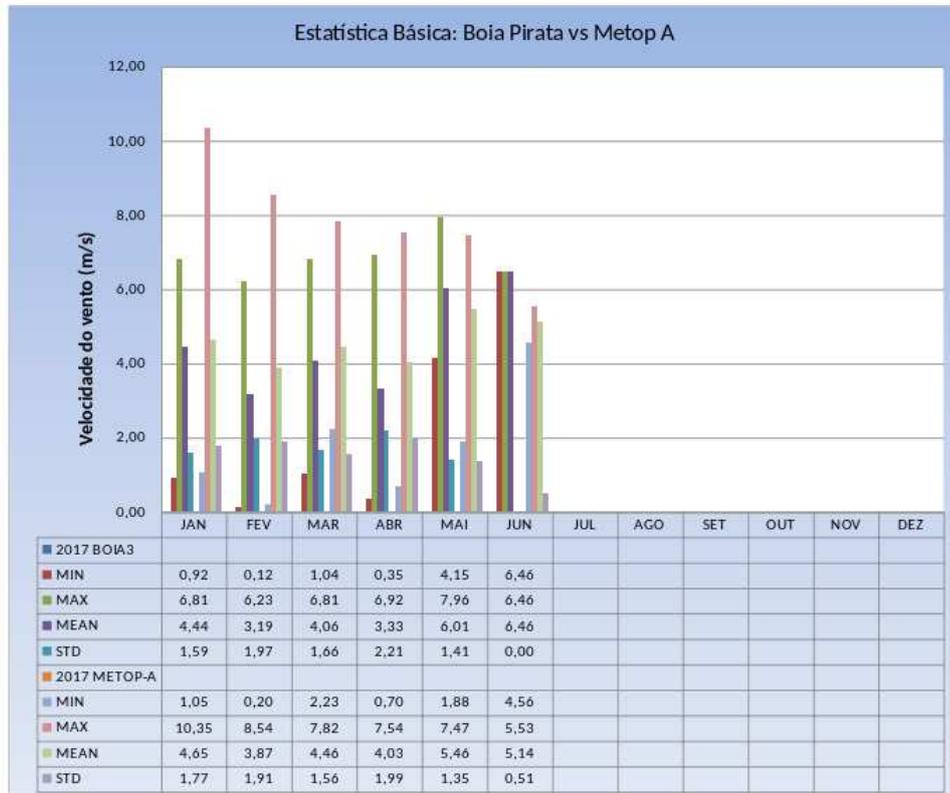


Figura 48 – Dados Estatísticos Boia 4 vs MetOp-A: 2014

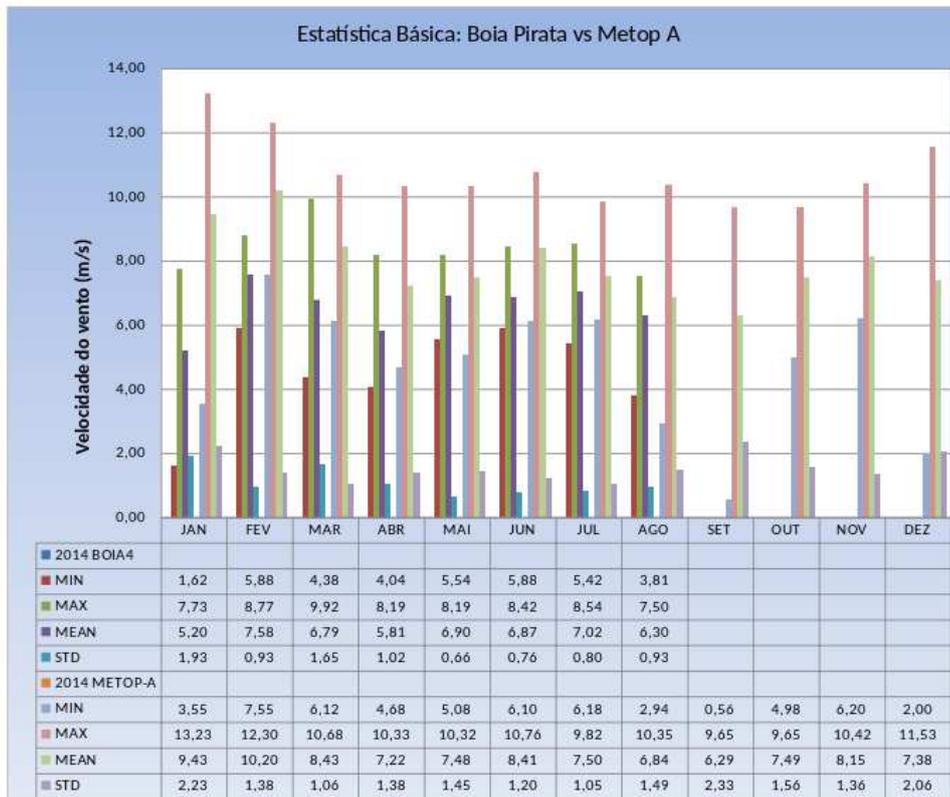


Figura 49 – Dados Estatísticos Boia 4 vs MetOp-A: 2015

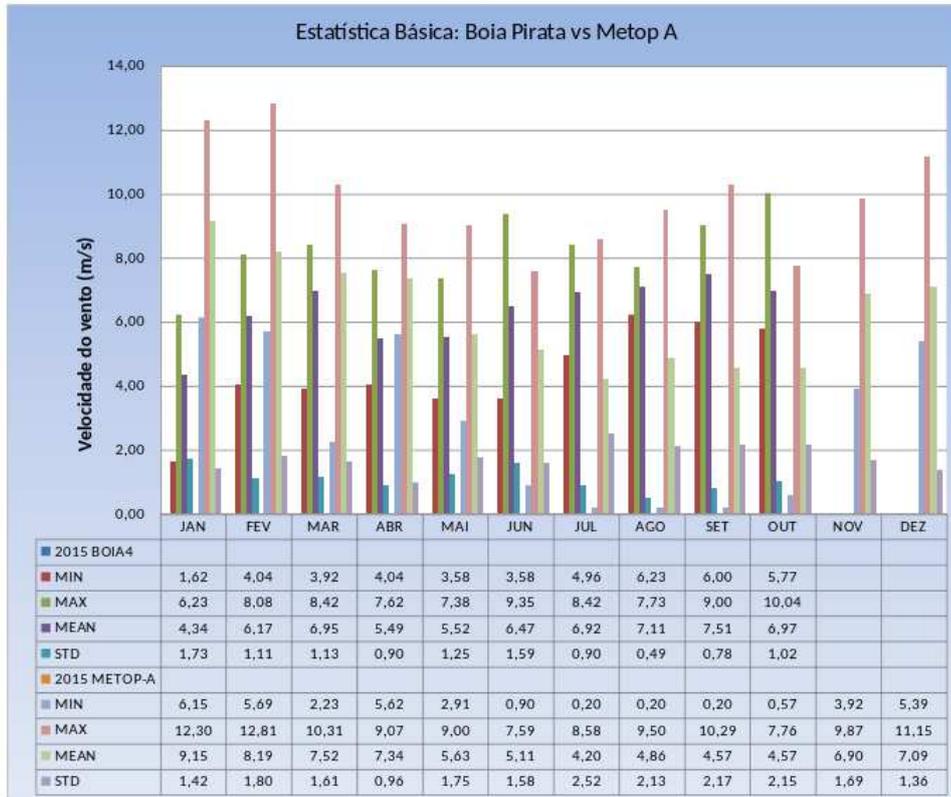


Figura 50 – Dados Estatísticos Boia 4 vs MetOp-A: 2016

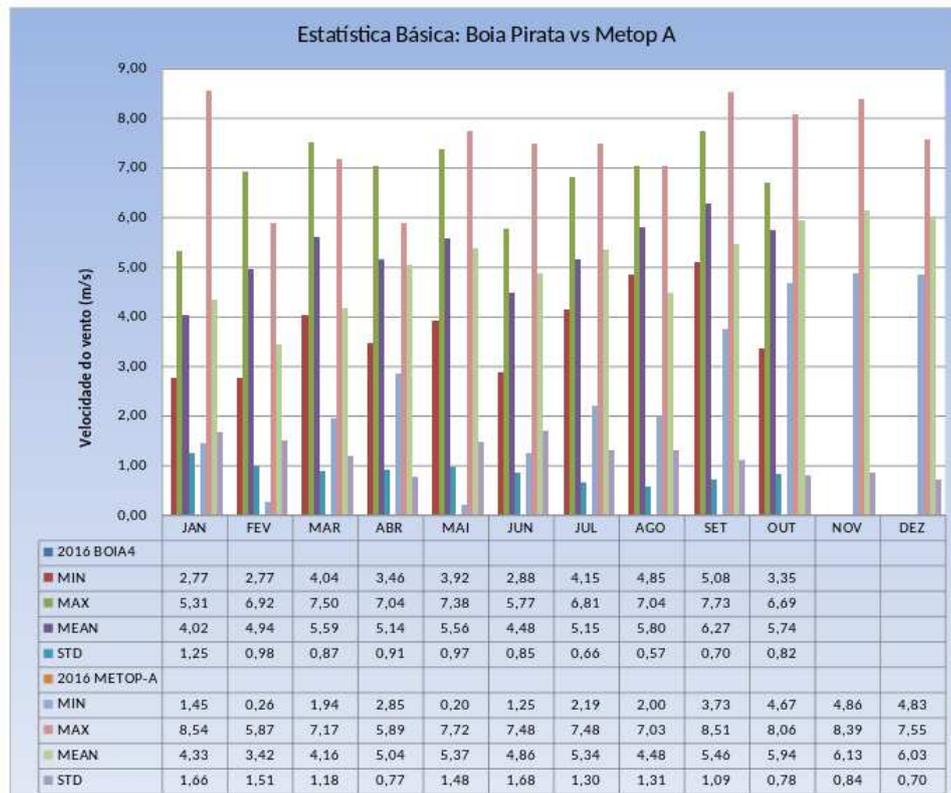


Figura 51 – Dados Estatísticos Boia 4 vs MetOp-A: 2017

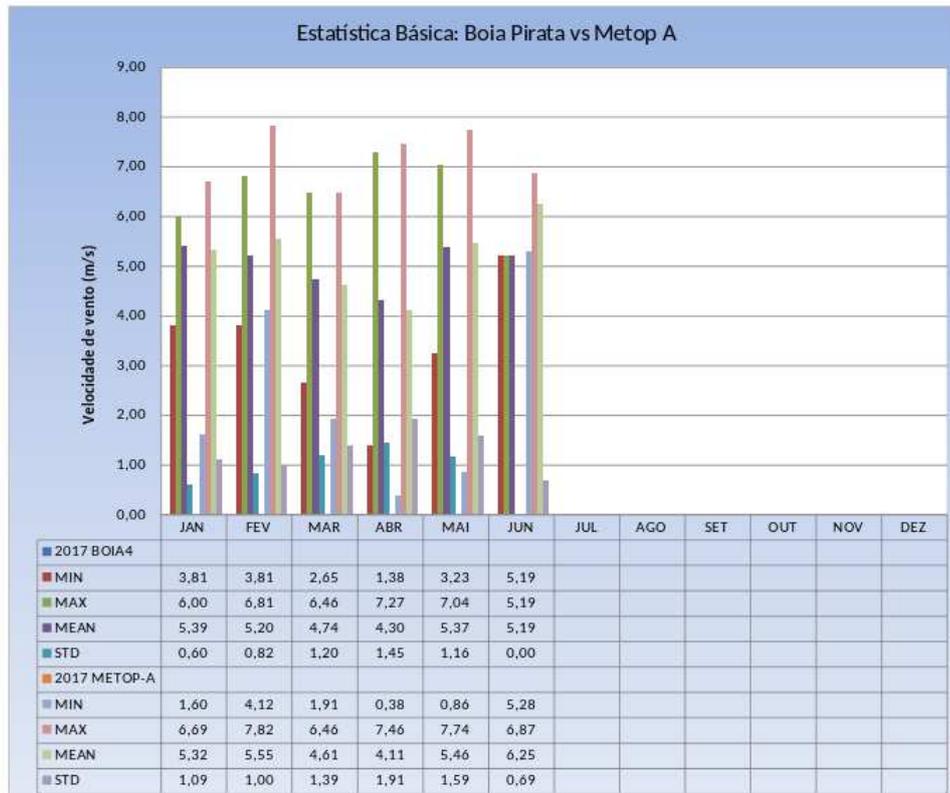


Figura 52 – Dados Estatísticos Boia 5 vs MetOp-A: 2014

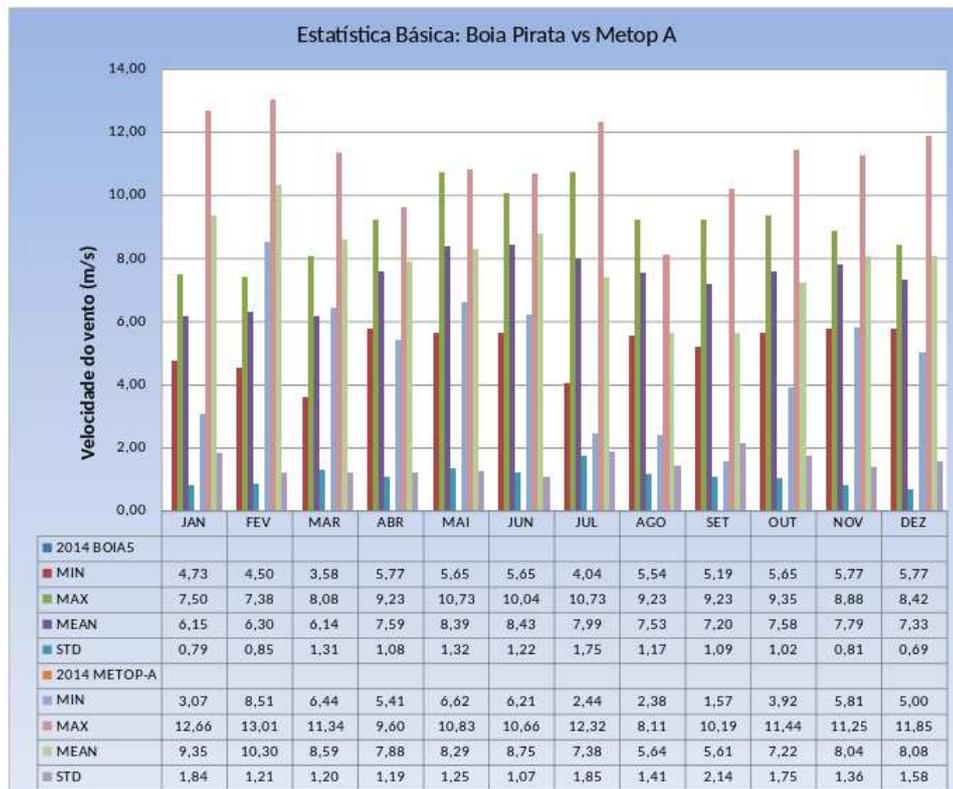


Figura 53 – Dados Estatísticos Boia 5 vs MetOp-A: 2015

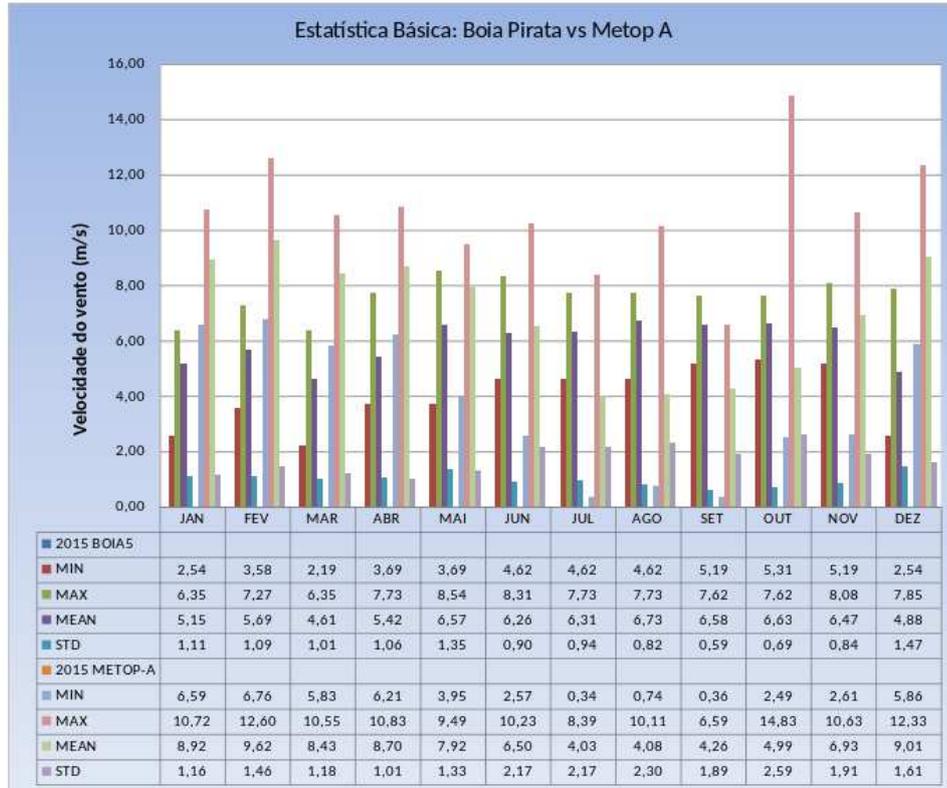


Figura 54 – Dados Estatísticos Boia 5 vs MetOp-A: 2016

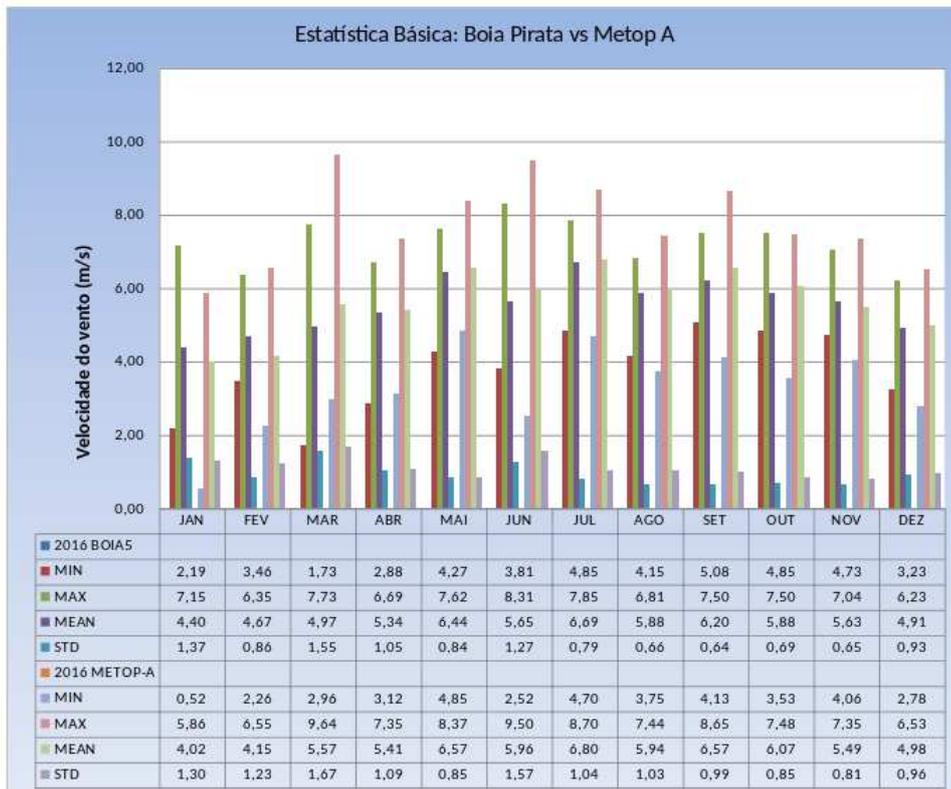


Figura 55 – Dados Estatísticos Boia 5 vs MetOp-A: 2017

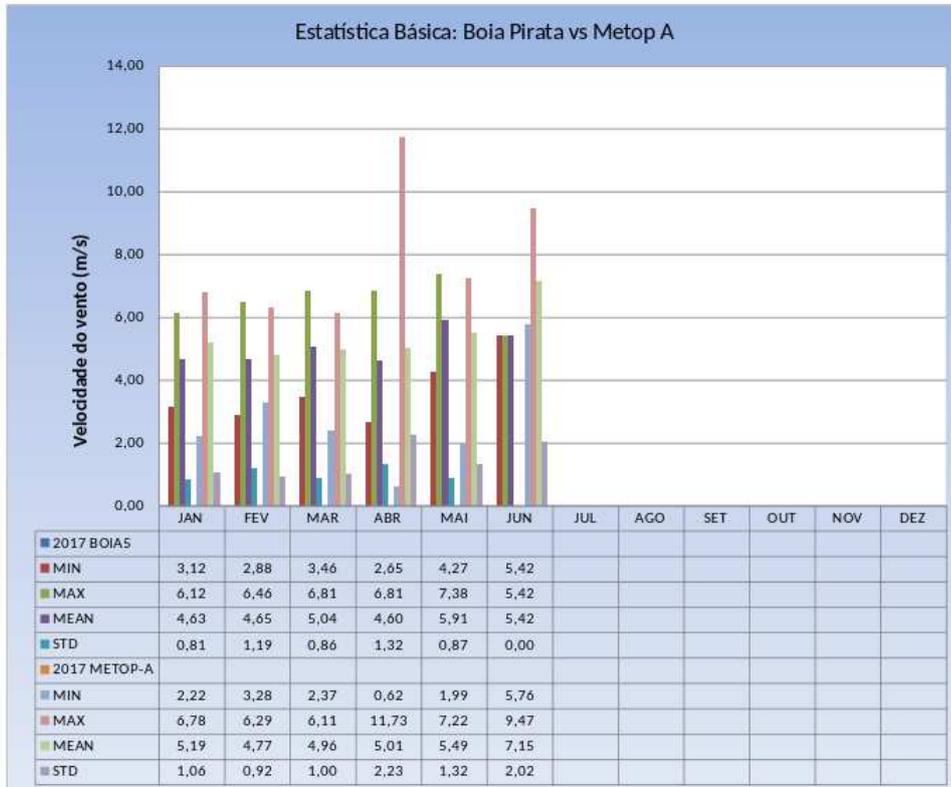


Figura 56 – Dados Estatísticos Boia 6 vs MetOp-A: 2014

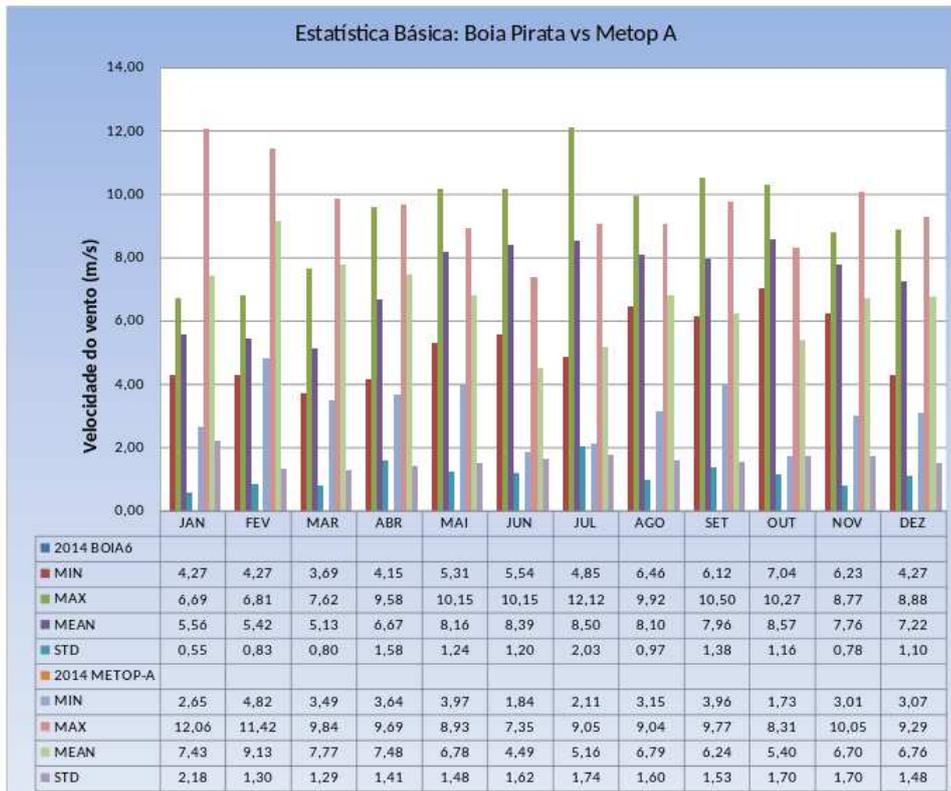


Figura 57 – Dados Estatísticos Boia 6 vs MetOp-A: 2015

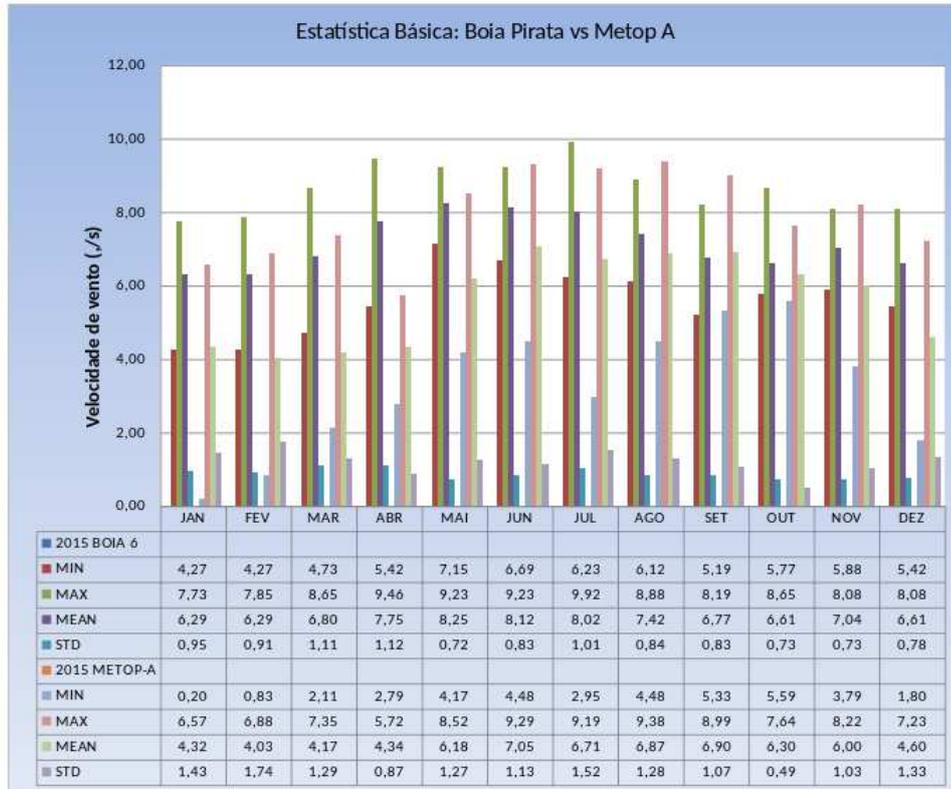


Figura 58 – Dados Estatísticos Boia 6 vs MetOp-A: 2016

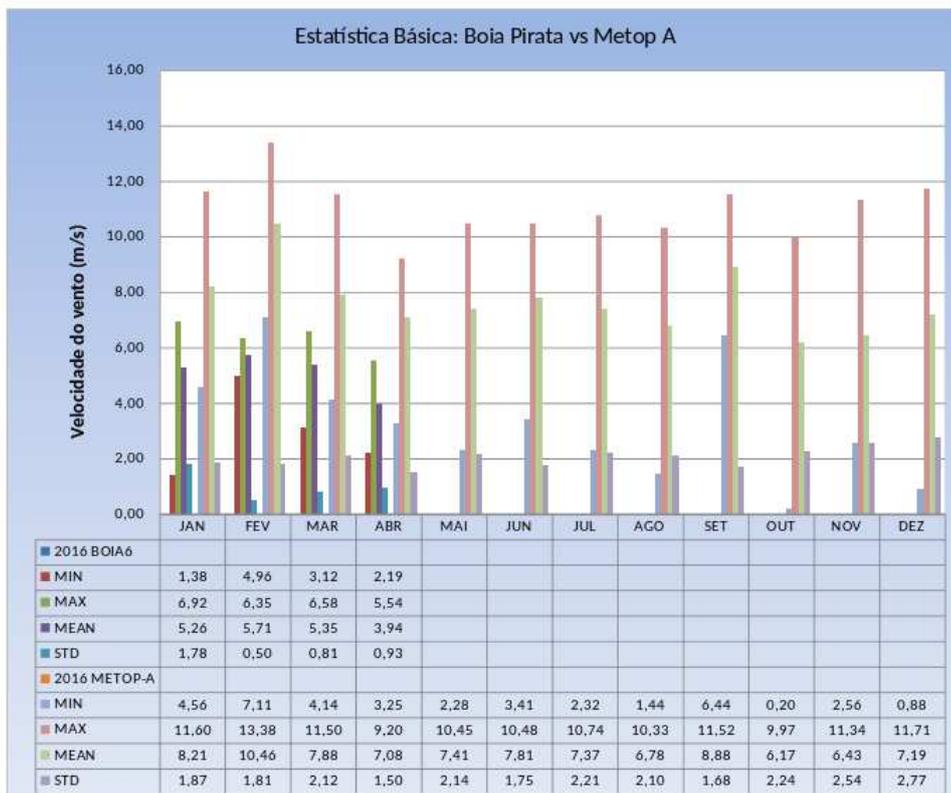


Figura 59 – Dados Estatísticos Boia 6 vs MetOp-A: 2017



Figura 60 – Dados Estatísticos Boia 7 vs MetOp-A: 2016

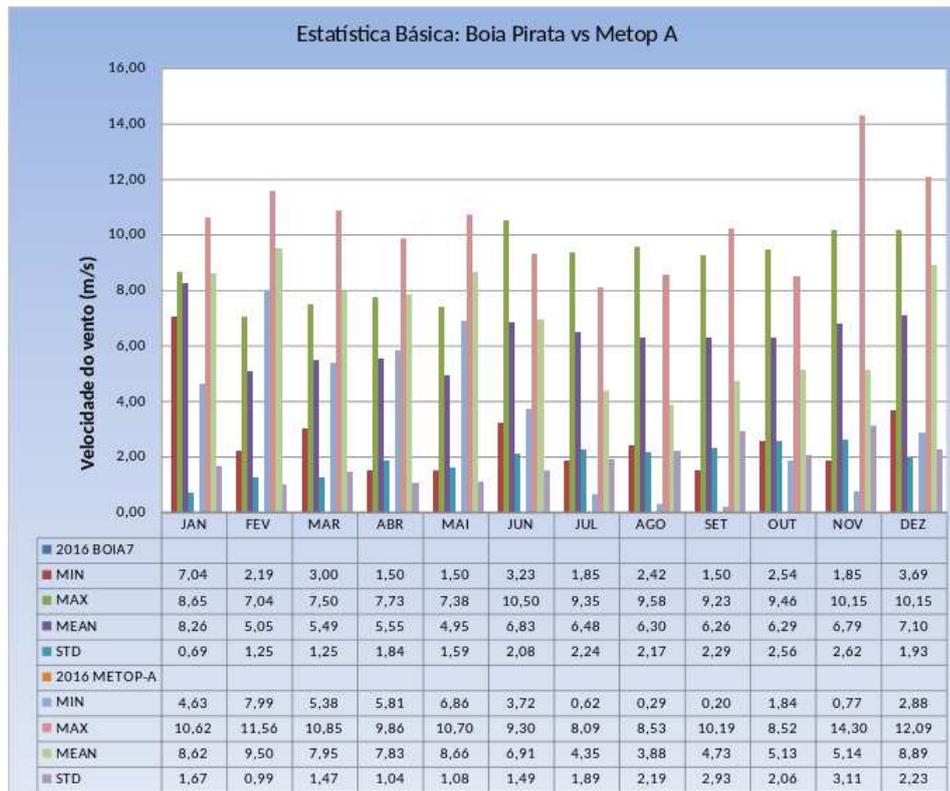


Figura 61 – Dados Estatísticos Boia 7 vs MetOp-A: 2017

