

ANÁLISE DE DEFORMAÇÃO DO TERRENO SOBRE A CIDADE DE MACEIÓ - BRASIL

RELATÓRIO 01/2020:

ANÁLISE DE REFERÊNCIA PSP-IFSAR
Janeiro 2018 - Dezembro 2019

CPRM

Janeiro/2020

TELESPAZIO BRASIL S.A.

Status do documento

VERSÃO	DATA	AUTOR	VERIFICADO	APROVADO	MOTIVO DE ALTERAÇÃO
1.0	15/10/2020	S.Falco and C. Frascella	F.Minati	F.Minati	Primeira versão (Inglês)
1.0	29/01/2020	Telespazio Brasil	Fabio Moreira	Helton Thomaz	Primeira versão (Português)

Objeto:

Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR

Rev
00

Data
15/01/2020

Anexos
00

Pág.
2 de 16

Sumário

1.	Introdução.....	5
1.1	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	6
1.2	ACRÔNIMOS	6
1.3	DOCUMENTOS APLICÁVEIS.....	6
1.4	REFERÊNCIAS	7
2.	Contexto da Área Interesse - Maceió	8
3.	Produtos PSP-IFSAR	9
4.	Processamento.....	10
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	10
4.2	MEDIDAS PSP-IFSAR: GEOMETRIA ASCENDENTE	11
4.2.1	<i>Dados de Entrada</i>	11
4.2.2	<i>Informações de Processamento</i>	13
5.	Resultados.....	14

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 15/01/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 3 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	------------------------

Lista de Figuras

Figura 1: <i>Quicklook</i> do mapa de velocidades médias dos PSs da análise PSP-IFSAR dos dados COSMO-SkyMed em geometria simples ascendente.....	5
Figura 2 - Área de Interesse (AOI).....	8
Figura 3 - A estrela amarela identifica a zona onde o ponto de referência foi selecionado para as medidas PSP-IFSAR em geometria ascendente.....	10
Figura 4: O mapa de velocidade média do PS em geometria ascendente referente ao período 01/01/2018 a 30/12/2019, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O <i>stack</i> ascendente é constituída por 55 imagens do COSMO-SkyMed HIMAGE SAR sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medições de PS foram sobrepostas a uma imagem óptica.....	15
Figura 5. Uma visão em detalhe do mapa de velocidade média do PS em geometria ascendente referente ao período de 01/01/2018 a 30/12/2019 com foco no bairro de Pinheiro. As séries temporais de dois pontos selecionados também são apresentadas.	16

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 15/01/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 4 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	------------------------

1. Introdução

Este relatório apresenta os resultados obtidos pela análise de referência PSP-IFSAR dos dados SAR do COSMO-SkyMed adquiridos em geometria ascendente sobre uma grande área na cidade de Maceió, Alagoas, Brasil, no período de Janeiro de 2018 a Dezembro de 2019. O conjunto de dados usado no processamento PSP-IFSAR compreende 55 imagens SAR com resolução espacial de 3 m x 3 m.

A análise mede o movimento em alvos selecionados (chamados *Persistent Scatterers* ou PS) na área investigada e, desta forma, destaca alguns movimentos críticos no terreno no intervalo de tempo coberto pelos dados. O *quicklook* das velocidades médias dos PSs relevantes à análise realizada é apresentado na Figura 1.

A análise consiste na estimativa das velocidades médias e evoluções temporais das deformações do terreno no período investigado (Janeiro/2018 – Dezembro/2019), em correspondência ao conjunto de pontos PSs identificados pelo processamento PSP-IFSAR.

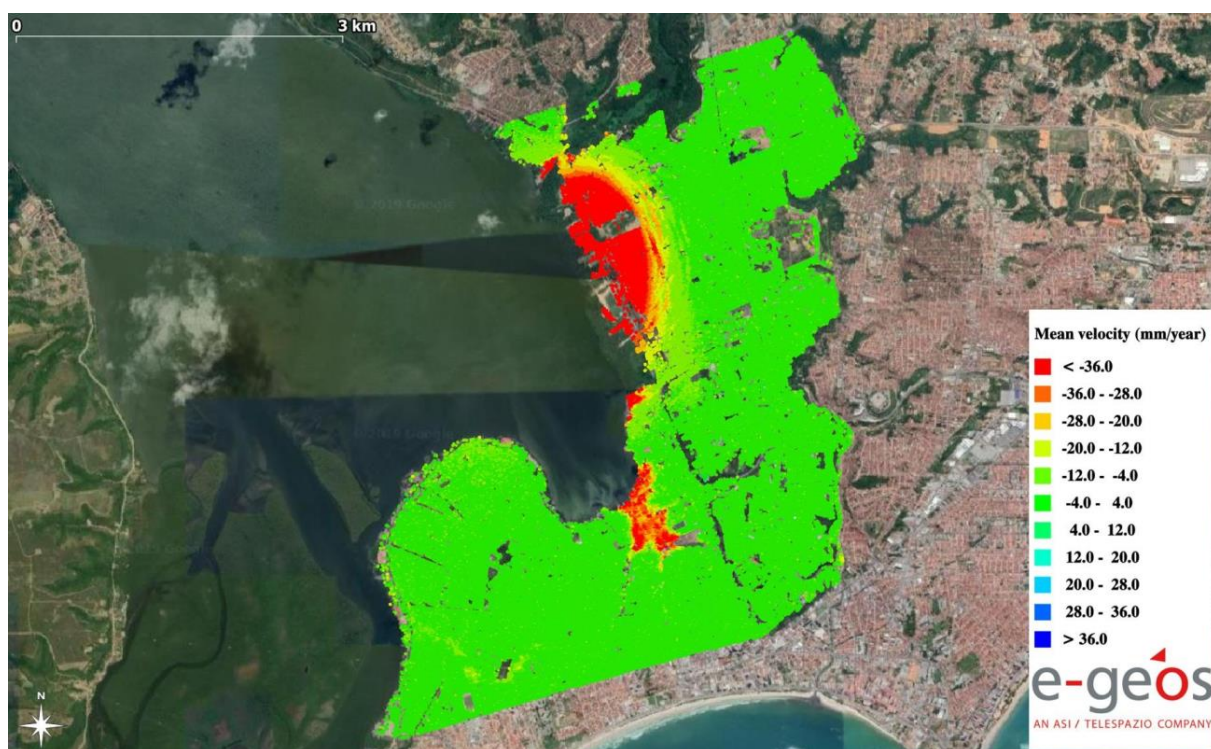


Figura 1: *Quicklook* do mapa de velocidades médias dos PSs da análise PSP-IFSAR dos dados COSMO-SkyMed em geometria simples ascendente.

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	Rev 00	Data 15/01/2020	Anexos 00	Pág. 5 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

1.1 Estrutura do Documento

Nas seções seguintes encontram-se reportados:

- Descrição dos produtos PSP-IFSAR;
- Descrição do conjunto de dados que foi usado para a análise;
- Descrição da abordagem de processamento, critério de seleção de dados, características e parâmetros utilizados;
- Breve análise dos resultados obtidos com a análise de referência PSP-IFSAR do conjunto de dados ascendente.

1.2 Acrônimos

Acrônimo	Descrição
AOI	Área of Interest - Área de interesse
Bn	Normal Baseline - Linha de Base Normal
Bt	Temporal Baseline – Linha de Base Temporal
CSK	COSMO-SkyMed
GIS	Geographic Information System – Sistemas de Informação Geográfica
LOS	Line of Sight – Linha de Visada
PRF	Pulse Repetition Frequency – Frequência de Repetição de Pulso
PS	Persistent Scatterers – Espalhadores Permanentes
PSP-IFSAR	Persistent Scatterers Pair- SAR Interferometry
SAR	Synthetic Aperture Radar – Radar de Abertura Sintética

1.3 Documentos Aplicáveis

Ref.	Title	Issue	Date
[AD.1]	e-GEOS-RPT-PSP_TEC-001.pdf	1.0	01/01/2019

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	Rev 00	Data 15/01/2020	Anexos 00	Pág. 6 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

1.4 Referências

[RD1] M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati (2008), A new method for identification and analysis of persistent scatterers in series of SAR images, in Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '08), Boston, Ma, USA, 6-11 July 2008.

[RD2] M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati and F. Trillo (2009), Method of persistent scatterer pairs (PSP) and high resolution SAR interferometry, in Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '09), Cape Town, South Africa, July 2009.

[RD3] M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati, F. Trillo, F. Vecchioli (2010), Persistent Scatterer Pairs (PSP) Approach in Very High Resolution SAR Interferometry, in EUSAR 2010 – 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 7-10 June 2010.

[RD4] M. Costantini, T. Chen, Y. Xu, F. Trillo, F. Vecchioli, L. Kong, D. Jiang, Q. Hu (2011), High resolution ground deformations monitoring by COSMO-SkyMed PSP SAR interferometry: accuracy analysis and validation, in Proceedings of the ESA International Fringe 2011 Workshop, Frascati, Italy, Sept. 2011.

[RD5] M. Costantini, F. Malvarosa, F. Minati (2012), A General Formulation for Redundant Integration of Finite Differences and Phase Unwrapping on a Sparse Multidimensional Domain, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 50, no. 3, pp. 758-768, doi 10.1109/TGRS.2011.2162630, 2012.

[RD6] M. Costantini, F. Malvarosa, F. Minati, and F. Vecchioli, "Multiscale and Block Decomposition Methods for Finite Difference Integration and Phase Unwrapping of Very Large Datasets in High Resolution SAR Interferometry," in Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '12), Munich, Germany, 07/2012, pp. 5574-5577.

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 15/01/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 7 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	------------------------

2. Contexto da Área Interesse - Maceió

A área de interesse compreende uma porção da cidade de Maceió, como demonstra a Figura 2. Conforme explicado anteriormente, obviamente nenhum ponto de medição foi selecionado nas áreas de vegetação e água. Entretanto, a análise PSP dos produtos COSMO-SkyMed ascendentes permitiu extrair um grande número de PSs. Em particular, onde as características radiométricas do alvo não mudaram muito no período analisado, muitos PSs foram identificados e as correspondentes medidas de deformação no solo foram estimadas.



Figura 2 - Área de Interesse (AOI)

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 15/01/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 8 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	------------------------

3. Produtos PSP-IFSAR

Os produtos PSP-IFSAR são entregues em dois formatos:

- Formato ESRI shape file
- Formato KMZ

Segue abaixo a lista completa dos entregáveis:

- **PSP_CSK_HI_0B_HH_RA_20180101_20191230_MACEIO.shp;**
- **KMZ_PSP_CSK_HI_0B_HH_RA_20180101_20191230_MACEIO_ML.kmz.**

Para cada PS foram geradas as seguintes informações:

Posição do PS: a posição do PS, em coordenadas geográficas e elipsoide de referência WGS84. As medidas da posição dos PSs são relativas. Para melhor entender a correspondência do PS com o alvo no terreno, é obtida a posição absoluta ajustando-se a posição do PS detectado com cartografia disponível, ortofotos, etc. Na ausência dessas informações, são utilizadas as ortoimagens do Google Earth como referência absoluta;

Velocidade Média do PS no período analisado: a velocidade média do PS, expressa em mm/ano é calculada no intervalo temporal entre a primeira e a última aquisição SAR. A velocidade média do PS é medida ao longo da linha de visada do sensor (LOS) e refere-se a um PS de referência, considerado estável;

Evolução Temporal do Deslocamento do PS: os deslocamentos dos PSs, expressos em mm, relativos à aquisição SAR de referência, fornecido para cada data de aquisição no período analisado. Os deslocamentos de PS são medidos ao longo da LOS e refere-se a um PS de referência, considerado estável, e à data de referência (entre as datas de aquisição).

Para uma descrição detalhada dos formatos do produto, consulte o relatório técnico [AD.1].

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 15/01/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 9 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	------------------------

4. Processamento

4.1 Considerações Gerais

A técnica de interferometria por *persistent scatterer* é baseada na identificação de pontos nas imagens, os quais mantêm a assinatura de radar estável ao longo do período analisado e na extração de informação de deslocamento a partir da fase interferométrica do PS identificado. Esta técnica é capaz de medir deslocamentos relativos entre pontos e a viabilidade das medidas depende da distribuição, da densidade e do ruído de fase dos pontos PS.

A fim de obter medidas confiáveis, somente pontos com uma relação sinal/ruído boa são considerados. A avaliação de qualidade dos PSs é baseada na análise de suas informações de fase e amplitude ao longo do tempo e suas propriedades relativas. A capacidade de distinguir entre PS e não PS aumenta com o número de imagens disponíveis e com o período de tempo analisado. Na verdade, o aumento do número de imagens permite usar limiares menores no critério de seleção dos PSs e assim obter uma melhor capacidade de detecção mantendo-se estável a taxa de alarmes falsos. Por outro lado, reduzir o número de imagens requer o uso de limiares maiores, com uma piora na densidade e distribuição dos PSs.



Figura 3 - A estrela amarela identifica a zona onde o ponto de referência foi selecionado para as medidas PSP-IFSAR em geometria ascendente.

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	Rev 00	Data 15/01/2020	Anexos 00	Pág. 10 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	------------------

A análise de referência ascendente realizada foi baseada em 55 imagens SAR COSMO-SkyMed adquiridas de Janeiro de 2018 a Dezembro de 2019. As medidas de deformação se referem à primeira data do *stack* de imagens e um ponto de referência (Figura 16) escolhido entre os PSs selecionados conforme Figura 3.

4.2 Medidas PSP-IFSAR: geometria ascendente

4.2.1 Dados de Entrada

A tabela a seguir apresenta a lista das Imagens COSMO-SkyMed adquiridas em geometria ascendente e usadas na análise de referência PSP-IFSAR e os parâmetros associados: componente de linha de base interferométrica ortogonal à linha de visada do sensor (Bn) e linha de base temporal (Bt).

Todas as imagens SAR estão reportadas no mesmo grid da imagem-master (07/06/2017).

ID	Date	Satellite	Beam	BN (meters)	BT (days)
1	01/01/2018	CSKS2	HIMAGE	754.89	-260
2	05/01/2018	CSKS4	HIMAGE	-1221.82	-256
3	09/01/2018	CSKS1	HIMAGE	224.63	-252
4	17/01/2018	CSKS2	HIMAGE	603.70	-244
5	21/01/2018	CSKS4	HIMAGE	214.22	-240
6	25/01/2018	CSKS1	HIMAGE	-269.79	-236
7	02/02/2018	CSKS2	HIMAGE	-568.80	-228
8	06/02/2018	CSKS4	HIMAGE	597.23	-224
9	10/02/2018	CSKS1	HIMAGE	-573.90	-220
10	10/03/2018	CSKS4	HIMAGE	-1334.84	-192
11	14/03/2018	CSKS1	HIMAGE	104.32	-188
12	22/03/2018	CSKS2	HIMAGE	861.59	-180
13	26/03/2018	CSKS4	HIMAGE	158.27	-176
14	07/04/2018	CSKS2	HIMAGE	193.92	-164
15	11/04/2018	CSKS4	HIMAGE	537.52	-160
16	27/04/2018	CSKS4	HIMAGE	-146.51	-144
17	01/05/2018	CSKS1	HIMAGE	220.42	-140
18	13/05/2018	CSKS4	HIMAGE	-981.51	-128
19	14/06/2018	CSKS4	HIMAGE	493.39	-96
20	16/07/2018	CSKS4	HIMAGE	-1233.84	-64
21	01/08/2018	CSKS4	HIMAGE	-14.04	-48

22	17/08/2018	CSKS4	HIMAGE	60.33	-32
23	06/09/2018	CSKS1	HIMAGE	-243.30	-12
24	18/09/2018	CSKS4	HIMAGE	0.00	0
25	04/10/2018	CSKS4	HIMAGE	-371.83	16
26	20/10/2018	CSKS4	HIMAGE	736.08	32
27	05/11/2018	CSKS4	HIMAGE	1000.91	48
28	21/11/2018	CSKS4	HIMAGE	971.11	64
29	07/12/2018	CSKS4	HIMAGE	265.49	80
30	08/01/2019	CSKS4	HIMAGE	35.54	112
31	20/01/2019	CSKS2	HIMAGE	-91.20	124
32	24/01/2019	CSKS4	HIMAGE	855.50	128
33	09/02/2019	CSKS4	HIMAGE	524.79	144
34	25/02/2019	CSKS4	HIMAGE	-1134.65	160
35	13/03/2019	CSKS4	HIMAGE	106.02	176
36	29/03/2019	CSKS4	HIMAGE	1048.40	192
37	14/04/2019	CSKS4	HIMAGE	1097.06	208
38	30/04/2019	CSKS4	HIMAGE	148.89	224
39	12/06/2019	CSKS4	HIMAGE	-499.51	267
40	28/06/2019	CSKS4	HIMAGE	-345.87	283
41	14/07/2019	CSKS4	HIMAGE	-816.77	299
42	30/07/2019	CSKS4	HIMAGE	-952.16	315
43	16/08/2019	CSKS2	HIMAGE	-199.97	332
44	31/08/2019	CSKS4	HIMAGE	263.70	347
45	25/09/2019	CSKS1	HIMAGE	217.89	372
46	02/10/2019	CSKS4	HIMAGE	-783.79	379
47	11/10/2019	CSKS1	HIMAGE	809.63	388
48	18/10/2019	CSKS4	HIMAGE	429.20	395
49	27/10/2019	CSKS1	HIMAGE	529.38	404
50	04/11/2019	CSKS2	HIMAGE	1256.11	412
51	19/11/2019	CSKS4	HIMAGE	1075.13	427
52	28/11/2019	CSKS1	HIMAGE	-941.03	436
53	05/12/2019	CSKS4	HIMAGE	1201.70	443
54	14/12/2019	CSKS1	HIMAGE	-88.53	452
55	30/12/2019	CSKS1	HIMAGE	741.75	468

4.2.2 Informações de Processamento

Nesta seção a informação principal diz respeito ao processamento dos dados COSMO-SkyMed em órbita ascendente.

Nome da Área	Maceió, Brasil
Tamanho da Área (km²)	16,44
Data da Entrega	15/01/2020
Versão do Software	3.8
Análise	PSP-IFSAR
Satélites	COSMO-SkyMed-1, COSMO-SkyMed-2, COSMO-SkyMed-4
Geometria de Aquisição	ASCENDENTE
Número de Imagens	55
Período Analisado	01/01/2018 - 30/12/2019
Horário UTC de Aquisição da Imagem-Master [h]	08:22:18

As medidas de deslocamentos PS são relevantes às datas de referência e ao ponto de referência. A primeira data de aquisição disponível (01/01/2018) foi selecionada como data de referência. O ponto de referência foi selecionado entre os PSs mais confiáveis sob a hipótese de que a maioria dos PSs foi estável.

Os dados foram projetados para o sistema de referência Geográfico (Lat./Long.) e Datum WGS84.

A tabela a seguir apresenta algumas informações relevantes sobre o sistema de referência, o ponto de referência e algumas estatísticas sobre a densidade dos PSs.

Sistema de Referência	Geográfica/WGS84
Código do Ponto de Referência	MCE0BFB2
Hipótese do Ponto de Referência	Sem movimentação/Estável
Número de PSs	642462
Densidade Média de PS (PS/km²)	39079,2
Referência para localização absoluta do PS	Ortoimagens disponíveis no Google Earth sobre a AOI

A medida de deslocamento do PS refere-se à projeção do deslocamento atual ao longo da linha de visada do sensor SAR (LOS). Na tabela abaixo são apresentadas as informações sobre o vetor

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 15/01/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 13 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	-------------------------

cosseno na direção LOS relativo à geometria ascendente. Como se pode observar nos valores apresentados, o SAR é praticamente insensível aos movimentos na direção Norte-Sul (N), enquanto é sensível aos movimentos na direção Leste-Oeste (E) e particularmente sensível aos movimentos verticais (direção H).

Cosseno na direção LOS – Line Of Sight	
North	-0,0885406814290011
East	-0,3958406622001347
Height	0,9140408732004532

5. Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelo processamento dos dados SAR COSMO-SkyMed HImage ascendente (55 imagens), referentes ao período de Janeiro de 2018 a Dezembro de 2019. A Figura 4 apresenta uma visão global das velocidades médias relevantes referentes à geometria ascendente. Os valores da velocidade estão representados numa escala de cores que varia do azul para o vermelho, de acordo com a legenda no canto inferior direito da imagem.

A área apresentada nas figuras a seguir é parcialmente coberta por vegetação ou água, onde como esperado, nenhum PS foi identificado, mas nas áreas edificadas e com pouca vegetação, foi obtido um grande número de medições de deformação no solo.

Após uma visão global, é apresentada uma visão em detalhe das áreas mais afetadas pelos fenômenos de deformação.

A série temporal de dois pontos selecionados também é apresentada:

- Na parte norte da área, o PS **MCE3EBEF**, com coerência igual a 0,67 e velocidade média igual a -124,2 mm/ano (gráfico vermelho);
- Na parte sul da área, o PS **MCE0FE52**, com coerência igual a 0,81 e velocidade média igual a -37,5 mm / ano (gráfico azul).

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	Rev 00	Data 15/01/2020	Anexos 00	Pág. 14 de 16
--	-----------	--------------------	--------------	------------------

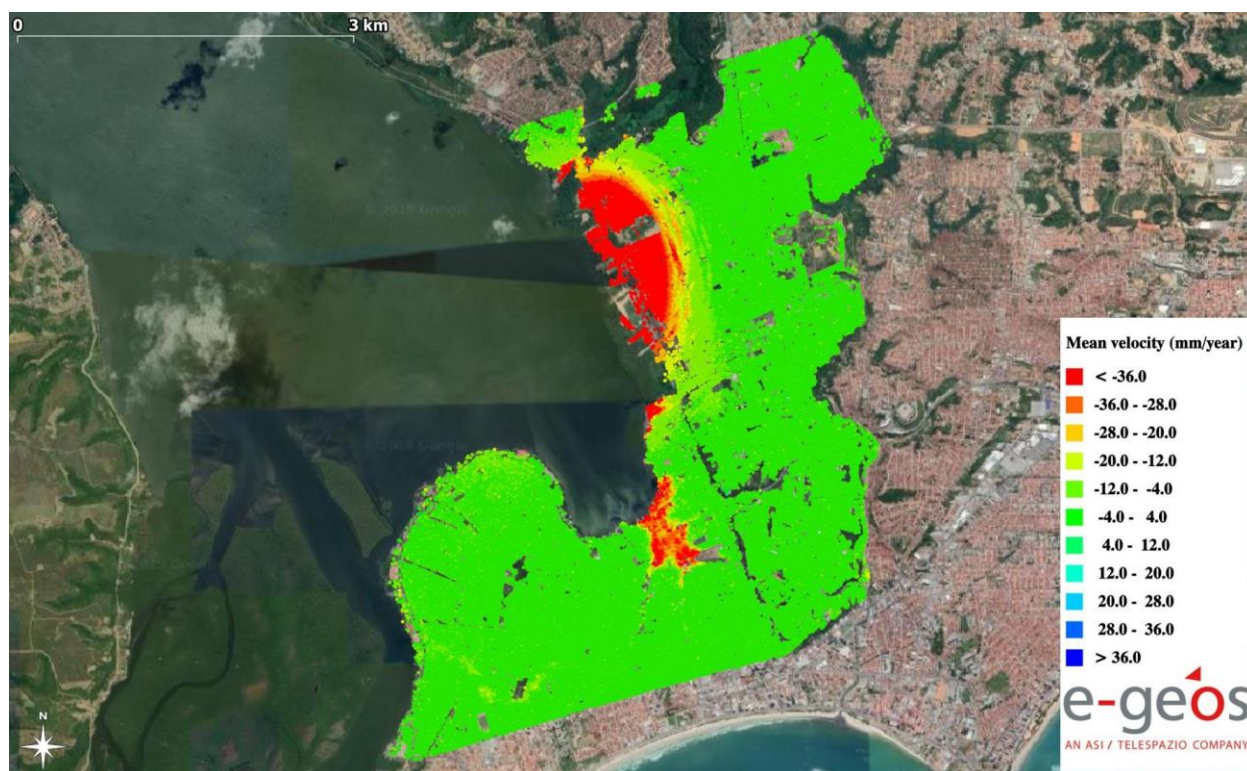


Figura 4: O mapa de velocidade média do PS em geometria ascendente referente ao período 01/01/2018 a 30/12/2019, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O *stack* ascendente é constituída por 55 imagens do COSMO-SkyMed HIMAGE SAR sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medições de PS foram sobrepostas a uma imagem óptica.

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 15/01/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 15 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	-------------------------

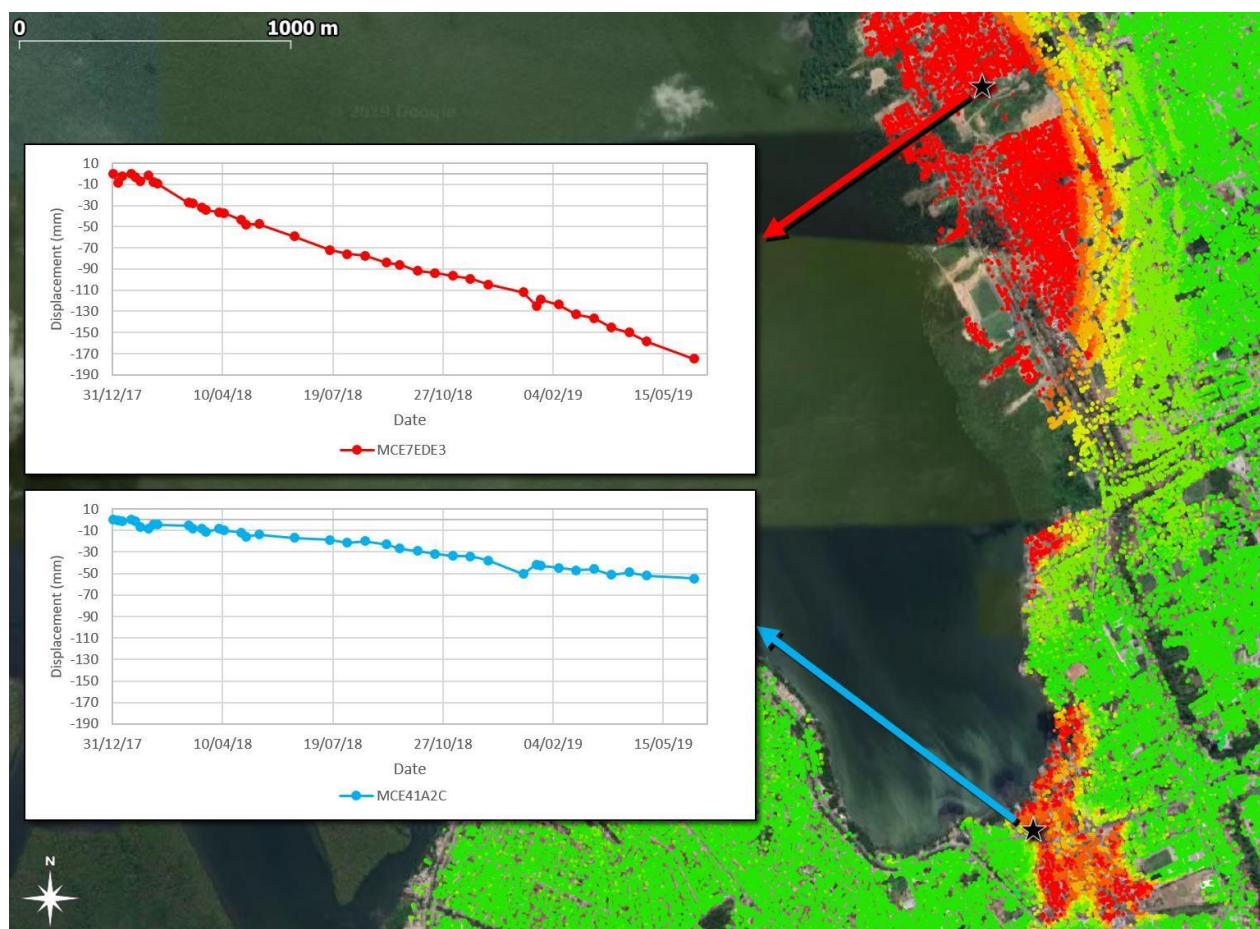


Figura 5. Uma visão em detalhe do mapa de velocidade média do PS em geometria ascendente referente ao período de 01/01/2018 a 30/12/2019 com foco no bairro de Pinheiro. As séries temporais de dois pontos selecionados também são apresentadas.

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise de Referência PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 15/01/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 16 de 16
---	------------------	---------------------------	---------------------	-------------------------