

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

RELATÓRIO 07/2020:

7º ATUALIZAÇÃO DO MONITORAMENTO PSP-IFSAR
Setembro 2018 - Setembro 2020

CPRM

TELESPAZIO BRASIL S.A.

Status do documento

VERSÃO	DATA	AUTOR	VERIFICADO	MOTIVO DE ALTERAÇÃO
1.0	19/10/2020	C. Frascella	S.Falco	Primeira versão (Inglês)
1.0	21/10/2020	Fabio Moreira	Helton Thomaz	Primeira versão (Português)

Objeto:

*Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da
Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR*

Rev
00

Data
19/10/2020

Anexos
00

Pág.
2 de 18

Sumário

1.	Introdução.....	5
1.1	ANÁLISE INICIAL.....	5
1.2	ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	6
1.3	ACRÔNIMOS.....	6
1.4	DOCUMENTOS APLICÁVEIS.....	6
1.5	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.....	15

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 19/10/2020	Anexos 00	Pág. 3 de 18
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

Lista de Figuras

Figura 1: <i>Quicklook</i> do mapa de velocidades médias dos PS da análise PSP-IFSAR dos dados COSMO-SkyMed em geometria 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 setembro de 2018 a setembro de 2020, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O <i>stack</i> ascendente é constituído por 56 imagens do COSMO-SkyMed HIMAGE SAR sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medições de PS foram sobrepostas a uma imagem óptica.	16
Figura 5: Uma visão em detalhe do mapa de velocidade média em geometria ascendente, relevante para o período de setembro de 2018 a setembro de 2020, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O <i>stack</i> ascendente é composto por 56 imagens COSMO-SkyMed HIMAGE SAR, sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medidas obtidas são sobrepostas a uma imagem óptica, e a evolução temporal do PS MAA460A4 é plotada no gráfico no canto superior direito.	17
Figura 6: Uma visão em detalhe do mapa de velocidade média em geometria ascendente, relevante para o período de setembro de 2018 a setembro de 2020, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O <i>stack</i> ascendente é composto por 56 imagens COSMO-SkyMed HIMAGE SAR, sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medidas obtidas são sobrepostas a uma imagem óptica, e a evolução temporal do PS MAA870EA é plotada no gráfico no canto superior direito.	18

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 19/10/2020	Anexos 00	Pág. 4 de 18
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

1. Introdução

1.1 Análise Inicial

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 setembro de 2018 a setembro de 2020. O conjunto de dados compreende 56 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 PS relevantes à análise realizada é apresentado na Figura 1.

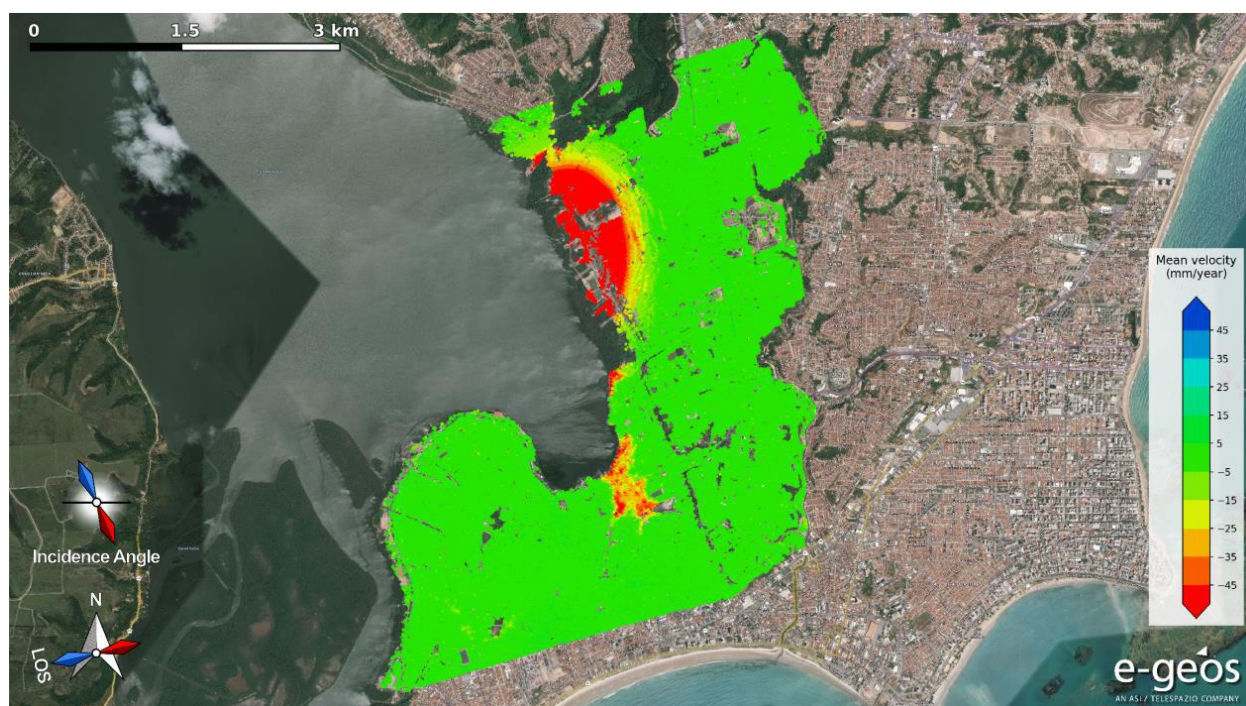


Figura 1: *Quicklook* do mapa de velocidades médias dos PS da análise PSP-IFSAR dos dados COSMO-SkyMed em geometria ascendente.

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 19/10/2020	Anexos 00	Pág. 5 de 18
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

1.2 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.

1.3 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

1.4 Documentos Aplicáveis

Ref.	Título	Versão	Data
[AD.1]	e-GEOS-RPT-PSP_TEC-001.pdf	1.0	01/01/2019
[AD.2]	e-GEOS-RPT-Maceio_CPRM-001	1.0	15/01/2020
[AD.3]	e-GEOS-RPT-Maceio_CPRM-002	1.0	05/03/2020
[AD.4]	e-GEOS-RPT-Maceio_CPRM-003	1.0	24/04/2020
[AD.5]	e-GEOS-RPT-Maceio_CPRM-004	1.0	10/06/2020
[AD.6]	e-GEOS-RPT-Maceio_CPRM-005	1.0	16/07/2020
[AD.7]	e-GEOS-RPT-Maceio_CPRM-006	1.0	21/08/2020

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 19/10/2020	Anexos 00	Pág. 6 de 18
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

1.5 Referências

[RD1] M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati, 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 06/2008.

[RD2] M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati and F. Trillo, 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, 07/2009.

[RD3] M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati, F. Trillo, F. Vecchioli, Persistent Scatterer Pairs (PSP) Approach in Very High Resolution SAR Interferometry, in EUSAR 2010 – 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 7-10 06/2010.

[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, 09/2011.

[RD5] M. Costantini, F. Malvarosa, F. Minati, 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.

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 19/10/2020	Anexos 00	Pág. 7 de 18
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

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 PS. Em particular, onde as características radiométricas do alvo não mudaram muito no período analisado, muitos PS foram identificados e as correspondentes medidas de deformação no solo foram estimadas.



Figura 2 - Área de Interesse (AOI)

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 19/10/2020	Anexos 00	Pág. 8 de 18
---	------------------	---------------------------	---------------------	------------------------

3. Produtos PSP-IFSAR

Os produtos PSP-IFSAR são entregues em dois formatos: Formato ESRI shape file, e Formato KMZ. Segue abaixo a lista completa dos entregáveis:

- PSP_CSK_HI_OB_HH_RA_20180918_20200927_MACEIO.shp;
- KMZ_PSP_CSK_HI_OB_HH_RA_20180918_20200927_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 PS 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 PS, 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].

Objeto: Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 19/10/2020	Anexos 00	Pág. 9 de 18
--	-----------	--------------------	--------------	-----------------

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 PS 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 PS 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 PS.



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 da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	Rev 00	Data 19/10/2020	Anexos 00	Pág. 10 de 18
--	-----------	--------------------	--------------	------------------

A atual atualização da análise de monitoramento ascendente foi baseada em 56 imagens SAR COSMO-SkyMed adquiridas de setembro de 2018 a setembro de 2020. As medidas de deformação se referem à primeira data do *stack* de imagens e um ponto de referência escolhido entre os PS 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 atual análise de monitoramento 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	Data	Satélite	Beam	BN (meters)	BT (days)
1	18/09/2018	CSKS4	HIMAGE	-5.779999	-468
2	04/10/2018	CSKS4	HIMAGE	-377.611126	-484
3	20/10/2018	CSKS4	HIMAGE	730.304804	-500
4	05/11/2018	CSKS4	HIMAGE	995.128054	-516
5	21/11/2018	CSKS4	HIMAGE	965.325704	-532
6	07/12/2018	CSKS4	HIMAGE	259.705246	-548
7	08/01/2019	CSKS4	HIMAGE	29.758696	-580
8	20/01/2019	CSKS2	HIMAGE	-96.981334	-592
9	24/01/2019	CSKS4	HIMAGE	849.724818	-596
10	09/02/2019	CSKS4	HIMAGE	519.013153	-612
11	25/02/2019	CSKS4	HIMAGE	-1140.434334	-628
12	13/03/2019	CSKS4	HIMAGE	100.235288	-644
13	29/03/2019	CSKS4	HIMAGE	1042.617311	-660
14	14/04/2019	CSKS4	HIMAGE	1091.282852	-676
15	30/04/2019	CSKS4	HIMAGE	143.105446	-692
16	12/06/2019	CSKS4	HIMAGE	-505.293626	-735
17	28/06/2019	CSKS4	HIMAGE	-351.648231	-751
18	14/07/2019	CSKS4	HIMAGE	-822.547425	-767
19	30/07/2019	CSKS4	HIMAGE	-957.943811	-783
20	16/08/2019	CSKS2	HIMAGE	-205.748184	-800
21	31/08/2019	CSKS4	HIMAGE	257.918384	-815

22	25/09/2019	CSKS1	HIMAGE	212.107918	-840
23	02/10/2019	CSKS4	HIMAGE	-789.565149	-847
24	11/10/2019	CSKS1	HIMAGE	803.853625	-856
25	18/10/2019	CSKS4	HIMAGE	423.417994	-863
26	27/10/2019	CSKS1	HIMAGE	523.596309	-872
27	04/11/2019	CSKS2	HIMAGE	1250.332098	-880
28	19/11/2019	CSKS4	HIMAGE	1069.350551	-895
29	28/11/2019	CSKS1	HIMAGE	-946.810854	-904
30	05/12/2019	CSKS4	HIMAGE	1195.922367	-911
31	14/12/2019	CSKS1	HIMAGE	-94.31277	-920
32	30/12/2019	CSKS1	HIMAGE	735.974113	-936
33	22/01/2020	CSKS4	HIMAGE	-53.230743	-959
34	31/01/2020	CSKS1	HIMAGE	182.821498	-968
35	08/02/2020	CSKS2	HIMAGE	176.856482	-976
36	16/02/2020	CSKS1	HIMAGE	-1197.936743	-984
37	23/02/2020	CSKS4	HIMAGE	781.751633	-991
38	03/03/2020	CSKS1	HIMAGE	352.159162	-1000
39	19/03/2020	CSKS1	HIMAGE	846.011394	-1016
40	26/03/2020	CSKS4	HIMAGE	-1025.362738	-1023
41	04/04/2020	CSKS1	HIMAGE	404.598519	-1032
42	20/04/2020	CSKS1	HIMAGE	-216.544763	-1048
43	24/04/2020	CSKS3	HIMAGE	445.565632	-1052
44	06/05/2020	CSKS1	HIMAGE	169.017918	-1064
45	22/05/2020	CSKS1	HIMAGE	-122.844042	-1080
46	11/06/2020	CSKS3	HIMAGE	-1160.909032	-1100
47	23/06/2020	CSKS1	HIMAGE	-598.797299	-1112
48	27/06/2020	CSKS3	HIMAGE	189.740651	-1116
49	09/07/2020	CSKS1	HIMAGE	-583.808758	-1128
50	17/07/2020	CSKS2	HIMAGE	-1024.055595	-1136
51	29/07/2020	CSKS3	HIMAGE	-195.083774	-1148
52	10/08/2020	CSKS1	HIMAGE	899.212689	-1160
53	18/08/2020	CSKS2	HIMAGE	-545.175947	-1168
54	15/09/2020	CSKS3	HIMAGE	-101.476996	-1196
55	19/09/2020	CSKS2	HIMAGE	-1049.077458	-1200
56	27/09/2020	CSKS1	HIMAGE	97.299855	-1208

Objeto:

Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da
Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR

Rev
00

Data
19/10/2020

Anexos
00

Pág.
12 de 18

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	19/10/2020
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	56
Período Analisado	Setembro 2018 – Setembro 2020
Horário UTC de Aquisição da Imagem-Master [h]	08:22:25

As medidas de deslocamentos PS são relevantes às datas de referência e ao ponto de referência. A primeira data de aquisição disponível (18/09/2018) foi selecionada como data de referência. O ponto de referência foi selecionado entre os PS mais confiáveis sob a hipótese de que a maioria dos PS 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 PS.

Sistema de Referência	Geográfica/WGS84
Código do Ponto de Referência	MAA5158F
Hipótese do Ponto de Referência	Sem movimentação/Estável
Número de PS	654057
Densidade Média de PS (PS/km²)	39784,49
Referência para localização absoluta do PS	Ortoimagens disponíveis no Google Earth sobre a AOI

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 19/10/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 13 de 18
---	------------------	---------------------------	---------------------	-------------------------

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 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	-0.08663985160437968
East	-0.39803667066122045
Height	0.9132690430113692

Objeto:

Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da
Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR

Rev
00

Data
19/10/2020

Anexos
00

Pág.
14 de 18

5. Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelo processamento dos dados ascendentes COSMO-SkyMed HIMAGE SAR (56 imagens), referentes ao período de setembro de 2018 a setembro de 2020. 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. As Figuras 5 e 6 apresentam uma visão em destaque do mesmo mapa de velocidades médias, em conjunto com a evolução temporal das deformações de um PS em destaque plotadas em um gráfico.

<i>Objeto:</i> Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	<i>Rev</i> 00	<i>Data</i> 19/10/2020	<i>Anexos</i> 00	<i>Pág.</i> 15 de 18
---	------------------	---------------------------	---------------------	-------------------------

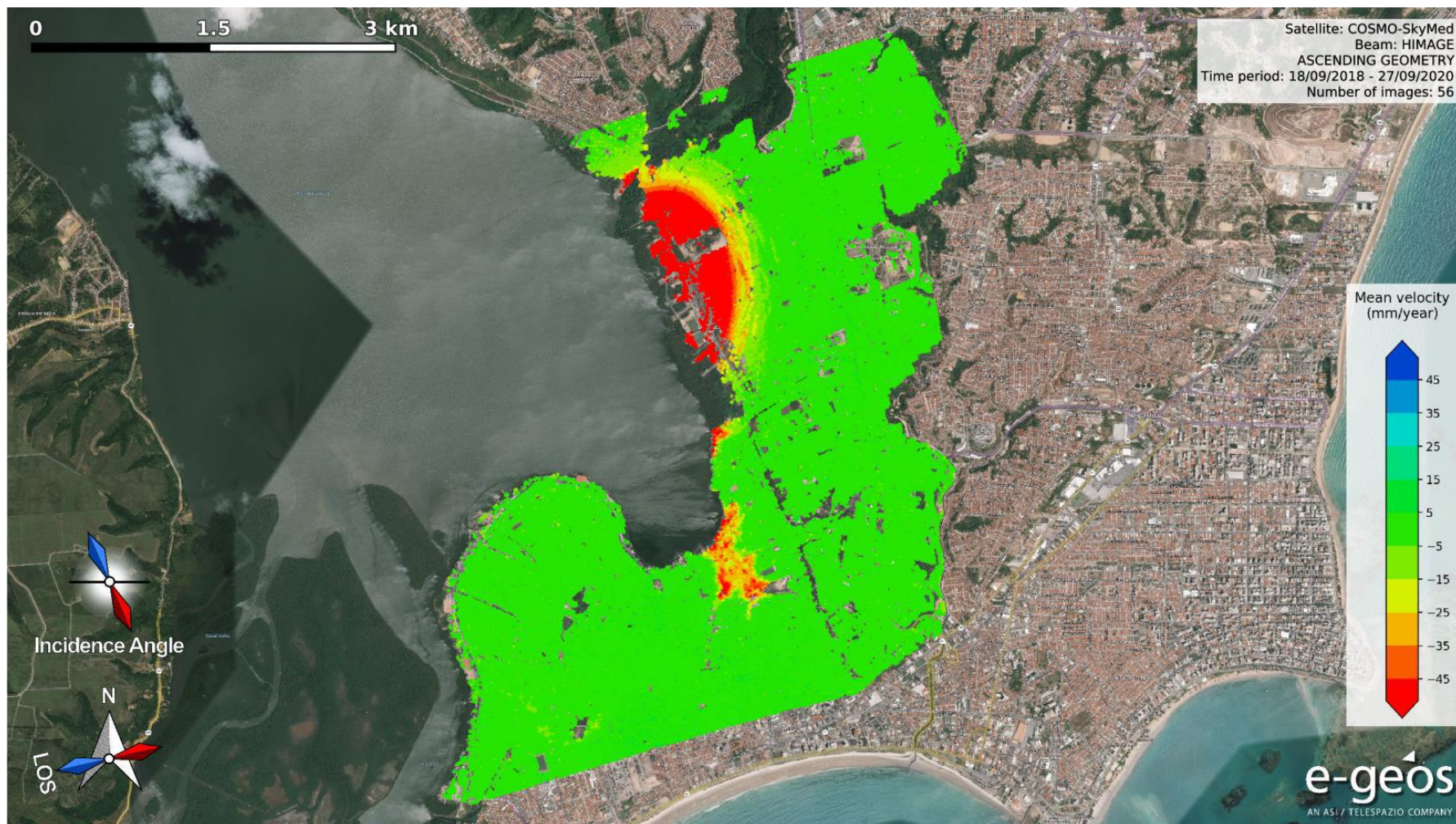


Figura 4: O mapa de velocidade média do PS em geometria ascendente referente ao período setembro de 2018 a setembro de 2020, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O *stack* ascendente é constituído por 56 imagens do COSMO-SkyMed HIMAGE SAR sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medições de PS foram sobrepostas a uma imagem óptica.

<i>Objeto:</i>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	<i>Anexos</i>	<i>Pág.</i>
Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	00	19/10/2020	00	16 de 18

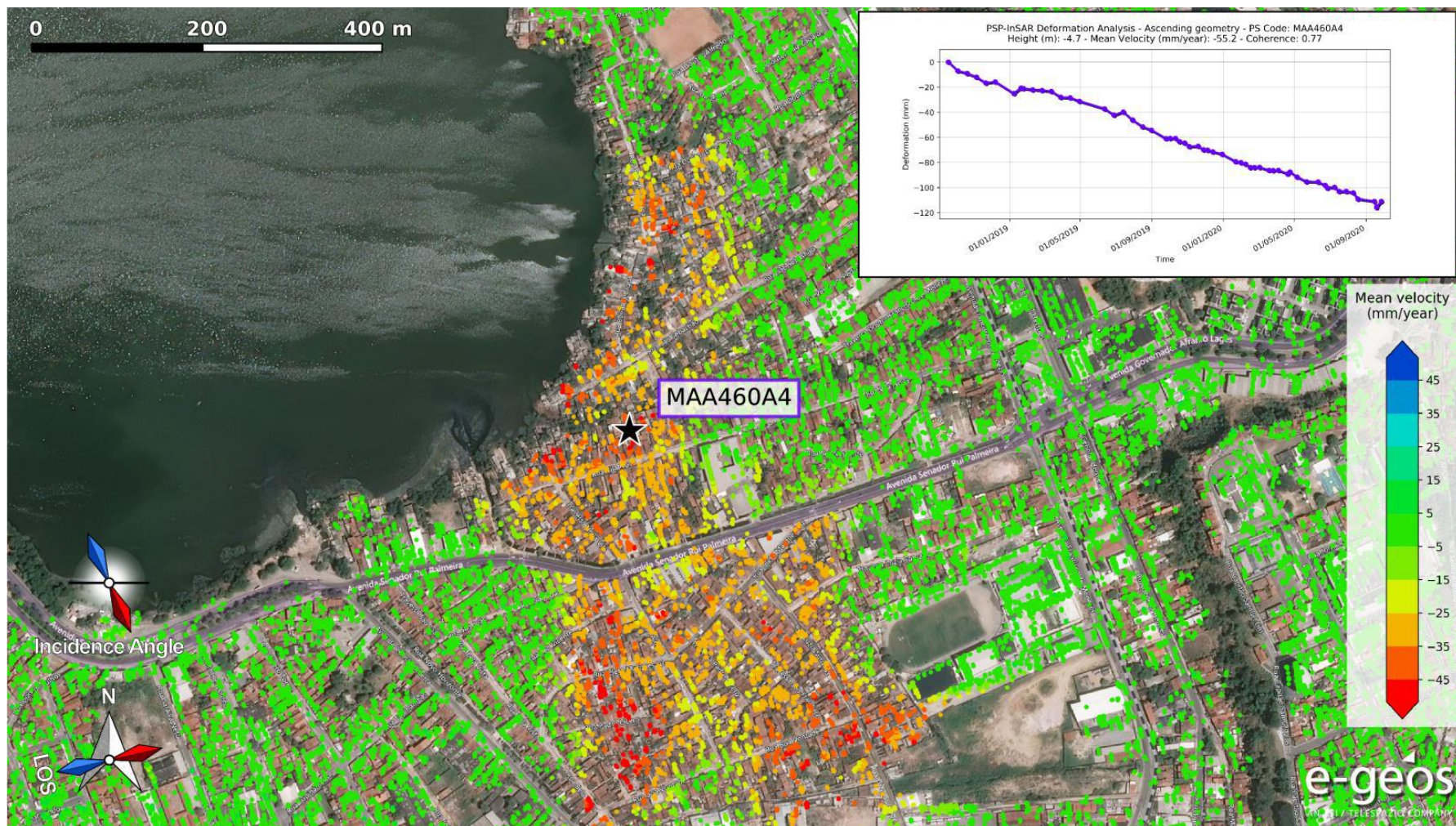


Figura 5: Uma visão em detalhe do mapa de velocidade média em geometria ascendente, relevante para o período de setembro de 2018 a setembro de 2020, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O stack ascendente é composto por 56 imagens COSMO-SkyMed HIMAGE SAR, sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medidas obtidas são sobrepostas a uma imagem óptica, e a evolução temporal do PS **MAA460A4** é plotada no gráfico no canto superior direito.

Objeto:	Rev	Data	Anexos	Pág.
Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	00	19/10/2020	00	17 de 18

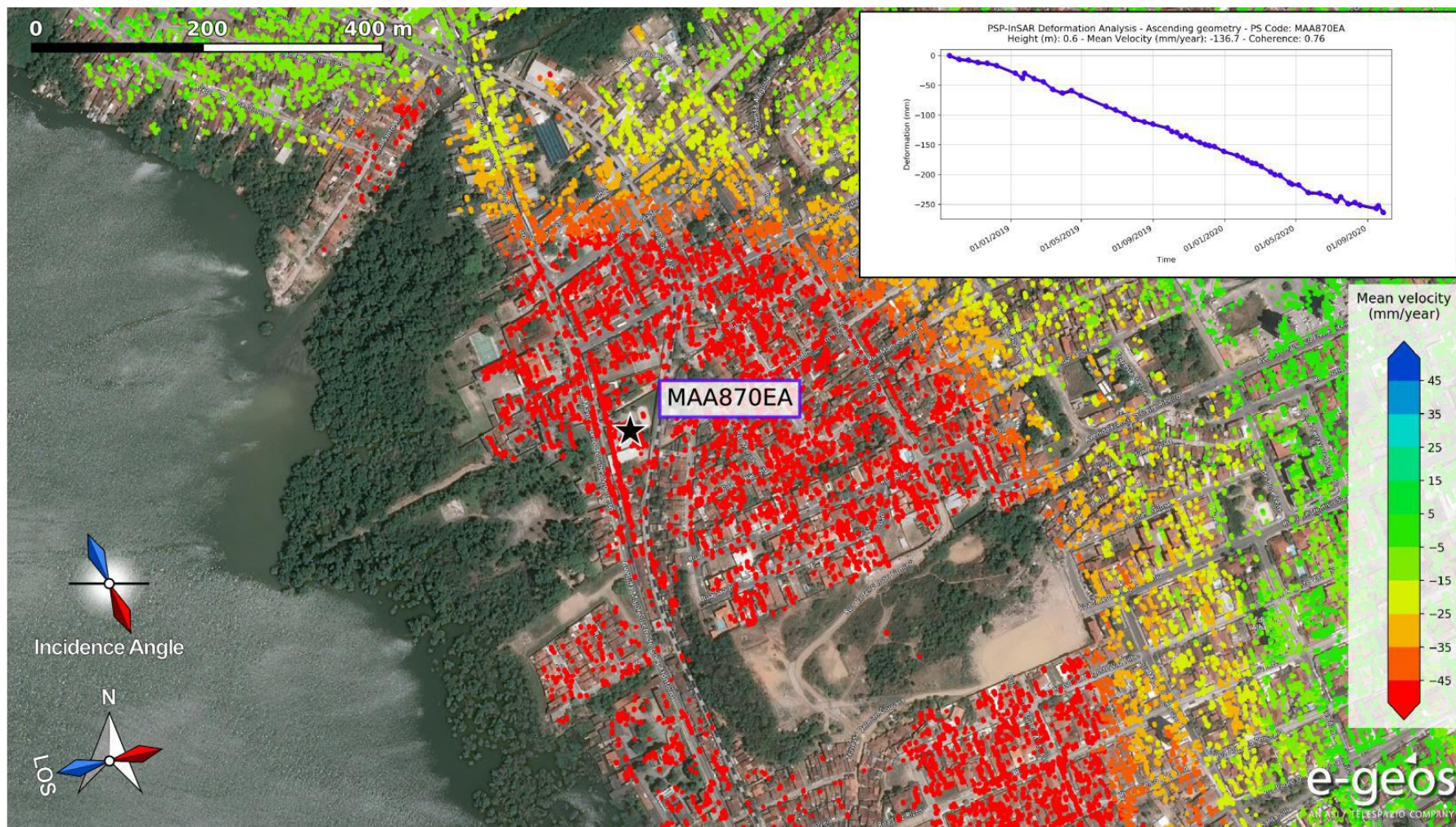


Figura 6: Uma visão em detalhe do mapa de velocidade média em geometria ascendente, relevante para o período de setembro de 2018 a setembro de 2020, obtido pela técnica PSP-IFSAR. O stack ascendente é composto por 56 imagens COSMO-SkyMed HIMAGE SAR, sobre a cidade de Maceió, Brasil. As medidas obtidas são sobrepostas a uma imagem óptica, e a evolução temporal do PS **MAA870EA** é plotada no gráfico no canto superior direito.

Objeto:	Rev	Data	Anexos	Pág.
Análise de Deformação de Terreno – Relatório de Análise da Sétima Atualização do Monitoramento PSP-IFSAR	00	19/10/2020	00	18 de 18