

**COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL
(COMPDEC/MACEIÓ)**

SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (SEDEC)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)

MAPA DE LINHAS DE AÇÕES PRIORITÁRIAS - VERSÃO 05

Maceió – AL, 13 de outubro de 2023.

PREFEITURA DE MACEIÓ

Prefeito de Maceió

João Henrique Holanda Caldas

Secretário Municipal de Governo

José Junior de Melo

COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DE MACEIÓ

Coordenador Municipal de Proteção e Defesa Civil

Abelardo Pedro Nobre Júnior

Coordenador(a) do Centro Integrado de Monitoramento e Alerta de Defesa Civil (CIMADEC)

Valdeny Caroline de Vasconcelos Lima

Equipe Técnica CIMADEC

Eduardo Barcelos Bontempo Filho - Geólogo

Guilherme Henrique da Silva Santos – Engenheiro Civil

Hugo Carvalho de Almeida - Meteorologista

Valdeny Caroline de Vasconcelos Lima – Engenheira Agrimensora

Secretaria Nacional de Proteção E Defesa Civil

Paulo Roberto Farias Falcão

Universidade Federal de Pernambuco

Roberto Quental Coutinho

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. REVISÃO CONCEITUAL	3
4. METODOLOGIA	7
5. DADOS E PARÂMETROS UTILIZADOS	10
6. RESULTADOS	11
6.1. ÁREAS COM MUDANÇA DE CRITICIDADE DE MONITORAMENTO (01) PARA REALOCAÇÃO (00)	11
6.2. ANÁLISE COMPARATIVA DA ÁREA 1 – DADOS DE INTERFEROMETRIA	14
6.3. ANÁLISE COMPARATIVA DA ÁREA 2 – DADOS DE INTERFEROMETRIA	16
6.4. ANÁLISE COMPLEMENTAR DAS ÁREAS 1 E 2 – DADOS DE DGNSS	17
6.5. ÁREAS QUE APRESENTAM VALORES DE VELOCIDADE MÉDIA DE DESLOCAMENTO VERTICAL DE - 5 MM/ANO A -10MM/ANO	19
6.6. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA A	22
6.7. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA B	24
6.8. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA C	26
6.9. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA D	28
6.10. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA E (AT 6A)	29
6.11. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA F (AT 6B)	31
7. MAPA DE LINHAS DE AÇÕES PRIORITÁRIAS, VERSÃO 5 - Outubro, 2023.	34
8. CONCLUSÕES	36
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Áreas 1 e 2 que mudaram de criticidade 01 para 00.	11
Figura 2 – Análise da interferometria nas Áreas 1 e 2.	12
Figura 3 – Área 1 (Bom Parto) permanentemente alagada.....	13
Figura 4 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área 1, medidos entre junho/2019 a agosto/2023: (a) Gráfico dos três pontos representativos analisados; (b) Gráfico com os dois pontos de comportamento similar	15
Figura 5 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área 2, medidos entre junho/2019 e agosto/2023.....	17
Figura 6 - Direção e Sentido da movimentação Horizontal - DGNS - setembro de 2023.....	19
Figura 7 – Áreas 1, 2, A, B, C, D, E e F.....	20
Figura 8 - Áreas de atuação do Comitê de Acompanhamento Técnico.	21
Figura 9 – Velocidade média de movimentação vertical na Área A.	22
Figura 10 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área A, medidos entre junho/2019 e agosto/2023.....	23
Figura 11 – Velocidade média de movimentação vertical na Área B	24
Figura 12 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área B, medidos entre junho/2019 e agosto/2023.	25
Figura 13 – Velocidade média de movimentação vertical na Área C	26
Figura 14 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área C, medidos entre junho/2019 a agosto/2023.	27
Figura 15 – Velocidade média de movimentação vertical na Área D	28
Figura 16 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área D, medidos entre junho/2019 e agosto/2023.....	29
Figura 17 – Velocidade média de movimentação vertical na Área E.....	30
Figura 18 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área E, medidos entre junho/2019 a agosto/2023.	31
Figura 19 – Velocidade média de movimentação vertical na Área F.....	32

Figura 20 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área F, medidos entre junho/2019 a agosto/2023.....	33
Figura 21 – Alterações no Mapa versão 4.....	34
Figura 22 – Mapa De Linhas de Ações Prioritárias (versão 5).....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANM – Agência Nacional de Mineração

CD – Câmara dos Deputados

CENAD – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres

CIMADEC – Centro Integrado de Monitoramento e Alerta da Defesa Civil de Maceió

COMPDEC/MACEIÓ – Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil – (Defesa Civil Municipal de Maceió)

CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia

CPRM/SGB – Serviço Geológico do Brasil

CREA/AL – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Alagoas

FADE/UFPE – Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco

MME – Ministério de Minas e Energia

MPF – Ministério Público Federal

SEDEC – Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

SF – Senado Federal

SINPDEC – Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (Defesa Civil Nacional)

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

1. INTRODUÇÃO

A atuação das entidades integrantes do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) sobre o fenômeno de instabilidade do terreno nos bairros do Pinheiro e adjacências em Maceió – Alagoas, teve seu início em março de 2018, quando um sismo de 2,4 magnitude regional (mR) (CPRM, 2019 B), foi sentido e registrado na cidade de Maceió.

Diante da complexidade da situação, a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Maceió (COMPDEC/MACEIÓ), após verificar todo o cenário, solicitou o apoio do Governo Federal por meio do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), e apoio do Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) para melhor o entendimento do contexto que estava se formando.

A partir desse momento a CPRM/SGB mobilizou uma equipe de pesquisadores para atuar no local. Em maio de 2018, uma comitiva da Prefeitura de Maceió se reuniu em Brasília com representantes da CPRM/SGB e da Agência Nacional de Mineração (ANM). Através de uma audiência ocorrida em 23 de maio de 2018, constituiu-se um grupo de trabalho multidisciplinar, envolvendo a CPRM/SGB, a ANM, o CENAD e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Após o ocorrido, e conseqüente agravamento do cenário, em dezembro de 2018 a Prefeitura de Maceió solicitou o decreto de calamidade pública. Como resultado, em janeiro de 2019, após determinação presidencial, através da Portaria nº 20, de 11 de janeiro de 2019, do Ministério de Minas e Energia (MME) fixou orientações e diretrizes referentes aos trabalhos a serem realizados pela CPRM/SGB na identificação das causas da anomalia geológica na região do Bairro Pinheiro, Maceió – AL.

Diante da situação, uma audiência pública no Senado Federal (SF) veio a ocorrer em março de 2019 para discussão do andamento da pesquisa. Em meados de maio de 2019 a CPRM/SGB apresentou o resultado conclusivo dos estudos, apontando as ações de mineração do sal-gema como agente causal do fenômeno através da dissolução dos evaporitos da sub-bacia de Alagoas.

Da posse do resultado da pesquisa e posterior análise dos dados finais, em junho de 2019 a COMPDEC/MACEIÓ divulgou a **primeira versão**¹ do *Mapa de Setorização de Danos e de Linhas e*

¹ As versões 1-4 dos Mapas de Linhas e Ações Prioritárias estão disponíveis nestes links: <http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-pinheiro/mapas-1> / <https://maceio.al.gov.br/tags/mapa-de-setorizacao-de-danos-e-de-linhas-de-acoes-prioritarias>

Ações Prioritárias, no qual classificava a área de acordo com tipologias de processo e nível de criticidade das áreas afetadas e das áreas de possíveis monitoramento. Cerca de 5 meses após a divulgação do produto, em novembro de 2019, uma audiência pública na Câmara dos Deputados (CD) trouxe novamente o debate sobre o tema.

O Ministério Público Federal (MPF) que acompanhou estreitamente todo o caso, em janeiro de 2020, fechou um acordo extrajudicial, fixando termos para tomada de ações preventivas e salvaguarda da vida da população, além de acertos financeiros; a serem arcados pela arrolada, Braskem S. A., a qual aceitou responsabilizar-se pelas ações de prevenção antes dos trâmites jurídicos.

A partir de julho de 2020, foi implantado o Projeto Maceió: FADE – UFPE/DC Maceió/BRASKEM. No decorrer do processo, no mesmo período deu-se por parte da COMPDEC/MACEIÓ a primeira atualização do Mapa de Linhas e Ações Prioritárias (**versão 02**), após um grande volume de realocações das habitações na área afetada, reclassificando algumas áreas em relação aos níveis de criticidade. Ainda em setembro de 2020, houve uma segunda atualização do mapa (**versão 03**), seguindo os mesmos critérios de avaliação de criticidade.

Durante a linha temporal dos fatos, houveram sistematicamente discussões técnicas ativas sobre as perspectivas de avanço do fenômeno físico e constatado grande nível de incerteza. Ao longo dos anos de 2019 e 2020 houveram diversas reuniões no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Alagoas (CREA/AL) e no Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA). Em Brasília; os conselhos receberam participantes da CPRM/SGB, da COMPDEC/MACEIÓ, da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) e da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A ANM também recebeu representantes da CPRM/SGB para discussões técnicas.

Houve ainda, uma terceira atualização do mapa (**versão 04**), por parte da COMPDEC/MACEIÓ, em dezembro de 2020, seguindo os mesmos critérios de avaliação de criticidade, e tendo como base uma série de relatórios da própria consultoria da Braskem que reportaram um novo limite da área já sob efeito do processo e também a perspectiva de aumento da área atingida; além disso, os relatórios sugeriam momentos críticos para a deformação do terreno em 2020 para algumas áreas e até 2030 em outras regiões.

Salienta-se que no período entre a versão 04 e a confecção deste documento, ações de intervenção no processo foram realizadas, como o preenchimento das cavidades, demolição das edificações críticas e estabilização de taludes. Tais ações são relevantes para o controle e gestão dos riscos na região em análise.

A partir do contínuo monitoramento, e da constatação de dados que demonstram que há movimentação persistente para além dos limites do mapa versão 04, assim como a identificação de campo de que existem áreas consideradas como de criticidade 01 que tiveram aumento de patologias associadas ao fenômeno da subsidência, este documento apresenta a versão 05 do mapa de linhas e ações prioritárias.

Finalmente, este documento tem como finalidade delimitar áreas que devem conter linhas de ações prioritárias realizadas pelo sistema de Defesa Civil, para o seu dever de salvaguardar a população. Não obstante, as regiões aqui identificadas, já se encontram em monitoramento contínuo no âmbito do Comitê de Acompanhamento Técnico, criado segundo o termo aditivo² ao termo de acordo para apoio de desocupação das áreas de risco de dezembro de 2020.

2. OBJETIVO

Avaliação sumarizada da evolução do processo de subsidência nas áreas internas e adjacentes ao mapa de linhas e ações prioritárias versão 04, e apresentação de uma nova versão do referido mapa versão 05.

Adverte-se que, este relatório não visa prover uma avaliação final devido ao caráter contínuo e mutável que está na gênese do fenômeno subsidência.

3. REVISÃO CONCEITUAL

Em mais de 60 países no mundo aconteceram desastres associados com processos de subsidências que afetaram severamente infraestrutura urbana e o desenvolvimento econômico (Zhou et al., 2015). A subsidência é um processo geológico que refere-se ao movimento de um ponto da superfície que se desloca para um nível mais baixo (Whittaker & Reddish, 1990). Subsidências ou colapsos (*Sinkhole*) são feições típicas de terrenos cársticos (Sallum, 2009), que normalmente são constituídos por calcários, dolomitos, mármore e evaporitos (minerais salinos).

² Aditivo celebrado entre Ministério Público Estadual, Defensoria Pública do Estado de Alagoas, Ministério Público Federal, Defensoria Pública da União e Braskem S.A; disponível em: https://www.mpf.mp.br/al/arquivos/2021/segundo_aditivo.pdf

Segundo Prokopovich (1978) em Silva et al. (2016, p. 97), a subsidência pode vir a ser classificado em dois macros grupos o qual denominou-se: Subsidência Endógena e Subsidência Exógena. A subsidência endógena tem origem em: (1) Falha geológica, (2) vulcanismo, (3) Tração continental, (4) outros processos originados na proximidade da superfície da Terra (ex: presença de terreno cáustico). Enquanto a subsidência exógena está associada aos processos tais como: (1) Remoção do Suporte, (2) enfraquecimento do suporte, e (3) aumento do carregamento. Este fenômeno está vinculado a uma exploração intensa dos recursos do subsolo (Sallum, 2009; de Castro, 2008, p. 155).

Nos Estados Unidos 80% dos agentes causadores de subsidência são associados com a exploração de águas subterrâneas. O USGS (2008) identifica sete tipos de ameaças por subsidência e seus agentes causadores: (1) Extração de água subterrânea, (2) drenagem de organossolos, (3) colapsos (*sinkholes*) natural ou antropogênicos, (4) mineração subterrânea, (5) hidrocompactação, (6) descongelamento do *permafrost* (camada permanente de solo congelado), e (7) consolidação natural.

No caso enfrentado pela área mencionada neste relatório, há de enquadrar-se no sentido macro em uma subsidência exógena cujo nexos causal é uma atividade de mineração associada a dissolução de rochas e sais, como aponta o relatório da CPRM (2019 A), em um ambiente propício a hidrocompactação com presença de falhas naturais e induzidas, ou seja, um ambiente extremamente vulnerável ao fenômeno.

Existem dois processos primários atuantes na região e com origem na atividade de mineração. O primeiro é a subsidência e o segundo o colapso das cavidades. Ambos os processos são causados pela extração de sal-gema por lavra subterrânea que é utilizado pela empresa de mineração. O colapso do terreno (*sinkhole*) acontece quando a superfície é rebaixada catastróficamente pela dissolução e deformação da rocha solúvel, resultando na formação de enormes crateras, danificando infraestruturas e edificações do entorno do *sinkhole* (Waltham et al., 2005). O sal ou cloreto de sódio (NaCl) é um material que possui alto potencial de deformação mecânica e altamente solúvel em meio aquoso (Ostadhassan e Tamimi, 2014), características responsáveis por subsidências naturais e antrópicas (Cooper, 2020).

O primeiro processo primário, a subsidência, causa o surgimento de fissuras, rachaduras, fraturas, pequenos sumidouros e abatimentos nas ruas ou nas habitações da área afetada. O segundo processo primário, colapso das cavidades, está associado com as cavidades que foram abertas originalmente em profundidades a cerca de 900 a 1100m. Ao longo dos anos ocorreu em algumas das

cavidades o colapso do teto e/ou dos pilares, resultando na ascensão de cavidades, sendo atualmente a cavidade com o teto mais próximo a superfície localizada a cerca de 550 m de profundidade.³

Em síntese, se o teto e/ou os pilares das cavidades entrarem em colapso, ou seja, as rochas acima dela não forem suficientemente rígidas, ocasiona efeitos de superfície que podem variar de subsidência lenta a colapso súbito e formação de dolinas. Isso implica no risco de formação de crateras de colapso (ou “sinkholes”) nas áreas localizadas acima das cavidades; podendo atingir uma área importante, mas significativamente menor que aquela atingida pela subsidência, ou seja, nem toda área de subsidência apresenta risco de “sinkhole” por colapso progressivo.

Além desses efeitos primários, uma série de processos secundários, decorrentes daqueles primários, ocorrem na região: danos nas estruturas de edificações e na infraestrutura, processos erosivos interligados com danos nas redes de drenagem, a fragilização do terreno em áreas de encosta de alta vulnerabilidade; o avanço da linha de costa da Laguna Mundaú por conta de rebaixamento do terreno; o aumento das inundações por alteração do padrão de drenagens devido ao rebaixamento do terreno, entre outros efeitos secundários.

O colapso progressivo das cavidades configura risco de formação de crateras, ou “sinkholes” em superfície. Mediante a tal risco, a CPRM sugeriu em maio de 2019 um perímetro de segurança de 3 a 5 vezes o raio das minas, enquanto uma consultoria do IfG (*Institut für Gebirgsmechanik GmbH*), (BRASKEM 2019, 2020) propôs no segundo semestre de 2019 uma área de resguardo de 1,5 vezes a raiz cúbica do raio. É de conhecimento das autoridades que existe também a possibilidade de desvio dos colapsos na diagonal, o que acarretaria grandes dificuldades para uma previsão acurada.

O eventual colapso das cavidades seria um fenômeno de alto poder destrutivo, a exemplo de queda (colapso) de edificações de pequeno e grande porte, gerando também restrições de trânsito de pessoas por vias importantes, da linha férrea da CBTU e navegação na lagoa, sendo que a possibilidade de sua ocorrência já cria grave impacto psicológico sobre a comunidade. No entanto, até o momento de produção dessa nota, o processo primário que produziu o maior volume de danos foi inicialmente o sismo registrado em março de 2018 e a deformação gradual contínua do terreno, acarretando o maior volume de danos e o surgimento de trincas e fissuras nas edificações, danificando vias públicas e tubulações associadas a rede de drenagem e abastecimento.

³ Relatório Mensal Consolidado relativo às atividades de fechamento das frentes de lavra no período de janeiro/2023.

A deformação de terreno é considerada mais grave em áreas de edificações tipo bloco de 3 pavimentos e/ou em edifício altos, e em áreas de maior vulnerabilidade física, social e econômica, uma vez que habitações normalmente possuem padrões construtivos subnormais, algumas situadas em áreas de declive elevado (encostas) onde já há certa instabilidade, com presença de cortes e de aterros metodologicamente inconsistentes. Existem áreas onde há a presença de organossolos e gleissolos, ambos com características de elevadas taxas de materiais orgânicos, com pouca ou nenhuma resistência, ou em solos arenosos e argilosos, que possuem expansividade e colapsividade. Somada a ausência de saneamento, sobretudo nas encostas que gera maior força do escoamento superficial induzido, produzindo voçorocas influenciando o fenômeno da erosão, criando um cenário de vulnerabilidade que é agravado pelo processo de subsidência e potencializa as manifestações patológicas nas habitações.

Além disso, é preciso enfatizar que as áreas adjacentes à Laguna Mundaú, um ambiente que já possuía um risco de inundação, naturalmente por ser uma planície flúvio-lagunar, e que nos últimos anos apresenta intensificação da inundação em eventos de chuva nas áreas de proximidade, com o processo de subsidência, paulatinamente está tornando-se inferior ao nível da Laguna, causando a submersão de áreas antes não submergidas, o que em eventos hidrometeorológicos acentuam a problemática da inundação pré-existente na área, tornando-se zonas de alagamentos permanentes, sendo assim, também um processo secundário causador de grandes transtornos e risco à saúde da população.

4. METODOLOGIA

Desde dezembro de 2019 ocorre o trabalho de monitoramento dos bairros afetados. O principal objetivo é ter um acompanhamento ao processo de subsidência da COMPDEC/MACEIÓ para a segurança dos bairros. Para isso, criou-se um centro de monitoramento, que acompanha uma rede tecnológica instalada nos bairros e em torno dos poços de sal-gema. Todos os dados coletados são enviados em tempo real para o Centro Integrado de Monitoramento e Alerta da Defesa Civil de Maceió (CIMADEC).

Atualmente, o CIMADEC, com o suporte do Projeto UFPE/DCM, conta com tecnologias que realizam a obtenção e a disponibilização, a qual permite a análise de dados acerca dos fenômenos geológicos que ocorrem em regiões do bairro do Pinheiro e adjacências. Os dados acerca dos deslocamentos em superfície, subsuperfície e possível inclinação e rotação, assim como os dados de sismicidade e de chuva, têm por objetivo acompanhar a evolução espacial e temporal do fenômeno de subsidência. Os métodos utilizados são:

- Rede sismológica com 14 sensores superficiais e 12 em profundidade;
- Interferometria de radar por abertura sintética (InSAR) que recobre a área de interesse;
- 76 Receptores com Sistema diferencial de navegação Global por satélite (DGNSS);
- 4 Inclinômetros;
- 13 Tiltímetros;
- 3 Pluviômetros instalados próximos a área afetada.

O monitoramento conta também com sensores nas minas, sondagens à percussão (SPT), monitoramento hidrogeológico, como também campanhas de levantamento de campo equipadas com fissurômetros, gps e bússolas, com o objetivo de identificação e registro de possíveis novas feições ocasionadas pela subsidência.

A instrumentação instalada na região dos bairros do Pinheiro e adjacências levanta uma vasta gama de informações, com sensores nas minas, perfuração de furos investigativos, aplicação de diversos métodos geofísicos, diversos meios de levantamento da deformação em superfície, monitoramento da água sub superficial entre outros.

As campanhas de campo realizadas e divididas em diversas etapas ao longo do trabalho de revisão e acompanhamento, das quais destacam-se a atuação constante do CIMADEC, da Defesa Civil Municipal, no acompanhamento dos padrões de danos e feições, bem como suas evoluções para um melhor entendimento se essa danificação progride ao longo do tempo, desde o surgimento de feições

ainda incipientes, até o desenvolvimento de graves danos estruturais, que levam à ameaça iminente à vida dos residentes.

Para esta atualização do Mapa de Linhas de Ações Prioritárias foram usados os dados obtidos pelo InSAR e DGNSS, além de dados referentes a danos e feições, coletados em visitas *in loco*, que juntos somam dados importantes para a delimitação do processo. Os demais métodos e instrumentos são primordiais para o monitoramento porque fornecem mais informações sobre a tendência da subsidência (e.g. torção/tiltímetros e direção do deslocamento/inclinômetros) e processos súbitos que podem acontecer (e.g. sinkholes/rede sísmológica). Vale ressaltar que foram utilizados dados InSAR referente ao mês de agosto de 2023, que foi disponibilizado na plataforma TREmaps® em setembro de 2023.

O Mapa de Linhas de Ações Prioritárias é construído considerando as metodologias implantadas pela CPRM/SGB e SINPDEC para o mapeamento de riscos geológicos (MCID, 2007)⁴ adaptada pelas equipes envolvidas para o fenômeno de subsidência e os dados coletados pela rede de monitoramento. Considerando os elementos expostos na área e suas vulnerabilidades, foram estabelecidas ações prioritárias para prevenir e mitigar os danos e perdas. O Mapa de Linhas de Ações Prioritárias tem dois tipos de setores de criticidade:

Criticidade 00: Caracterizada por ser uma zona de intensos deslocamentos verticais e horizontais, danos e fraturamento no terreno, em edificações e vias, e processos erosivos intensos. Esta zona apresenta suscetibilidade a movimentação de massa, alagamento e/ou risco de “sinkhole”. Os danos mais comuns identificados nesta zona são: manifestações patológicas em edificações que causem risco de colapso, áreas frequentemente inundadas. Esta zona entra na classificação R3 e R4 da classificação dos graus de riscos geológicos (MCID, 2007). Pelos níveis de risco e danos que esta zona apresenta é necessária a ação prioritária de relocação dos habitantes e o monitoramento contínuo dos processos associados ao fenômeno de subsidência.

Criticidade 01: A delimitação desta área tem como objetivo acompanhar com maior regularidade o comportamento da região com base em dados geodésicos e geotécnicos, como por

⁴ Risco Alto (R3): Indícios claros de instabilidade no terreno; baixo a moderado nível de resistência das construções. Mantidas as condições médias de chuvas para o local, é alta a possibilidade de destruição das construções por movimento gravitacional de massa (MCID, 2007).

Risco Muito Alto (R4): Presença marcante de indícios de instabilidade no terreno; baixo nível de resistência das construções. Mantidas as condições médias de chuvas para o local, é muito alta a possibilidade de destruição das construções por movimento gravitacional de massa (idem).

exemplo: interferometria, DGNSS, levantamento topográfico planialtimétrico, entre outros. A ação prioritária é de monitoramento contínuo, não sendo necessária a realocação dos habitantes.

A definição desses setores de criticidade e as ações no mapa está baseada no método Técnica de Grupo Nominal (TGN) que consiste em obter as opiniões de especialistas em um determinado tópico, e trazer consenso do grupo (Boddy, 2012; Harvey & Holmes, 2012). Neste contexto, os grupos de especialistas envolvidos são os colaboradores na confecção desta nota técnica: COMPDEC/MACEIÓ por meio do CIMADEC, SEDEC, e da consultoria prestada pela UFPE.

O CIMADEC lidera as vistorias e demandas dos registros de ocorrências e informa os casos que têm relevância neste processo de tomada de decisões. As discussões sobre a tendência da subsidência, os possíveis danos e a definições dos setores de criticidade são executadas de forma sistemática com visitas técnicas periódicas, e são utilizados três critérios que auxiliam na definição dos setores de criticidade:

- (a) os dados de movimentação vertical e horizontal obtidos pelos DGNSS, e InSAR,
- (b) a localização e estado atual das cavidades de exploração de sal-gema, cujos dados são obtidos pelos sonares, e
- (c) as avaliações das edificações através de instrumentação, vistorias técnicas, registros de ocorrências (RO), colapsos e danos na infraestrutura local.

5. DADOS E PARÂMETROS UTILIZADOS

As informações de deformação superficial e visitas a campo, foram identificadas como os elementos mais adequados para essa etapa. Foram utilizadas, portanto, as informações da InSAR, interpretadas conforme a compreensão do processo e validadas também por todos demais dados oriundos de todos os métodos científicos-investigativos citados anteriormente.

Em termos de medição da InSAR, procurou-se verificar a delimitação da área atingida pelo processo com associação a subsidência causada pela extração de sal. As medições consideradas foram os dados de velocidade média de subsidência mais acentuadas ou iguais a 5mm/ano que serviu de base inicial para a delimitação de novas áreas.

Para além da constatação das áreas com valores de velocidade média de subsidência acima da referência supramencionada, buscou-se avaliar a presença de danos às residências e infraestruturas na área avaliada. Assim, foi realizado o mapeamento das feições características, tais como alinhamento de trincas e de fissuras em direção tangencial ao elipsoide formado pela subsidência.

Considerando que dados interferométricos que serve como base inicial para definição dos limites do mapa não acompanham os arruamentos. Nesse sentido, os aspectos urbanísticos, de mobilidade e isolamento social, assim como nas versões anteriores, foram utilizados para definição final dos limites da presente versão do mapa (V05).

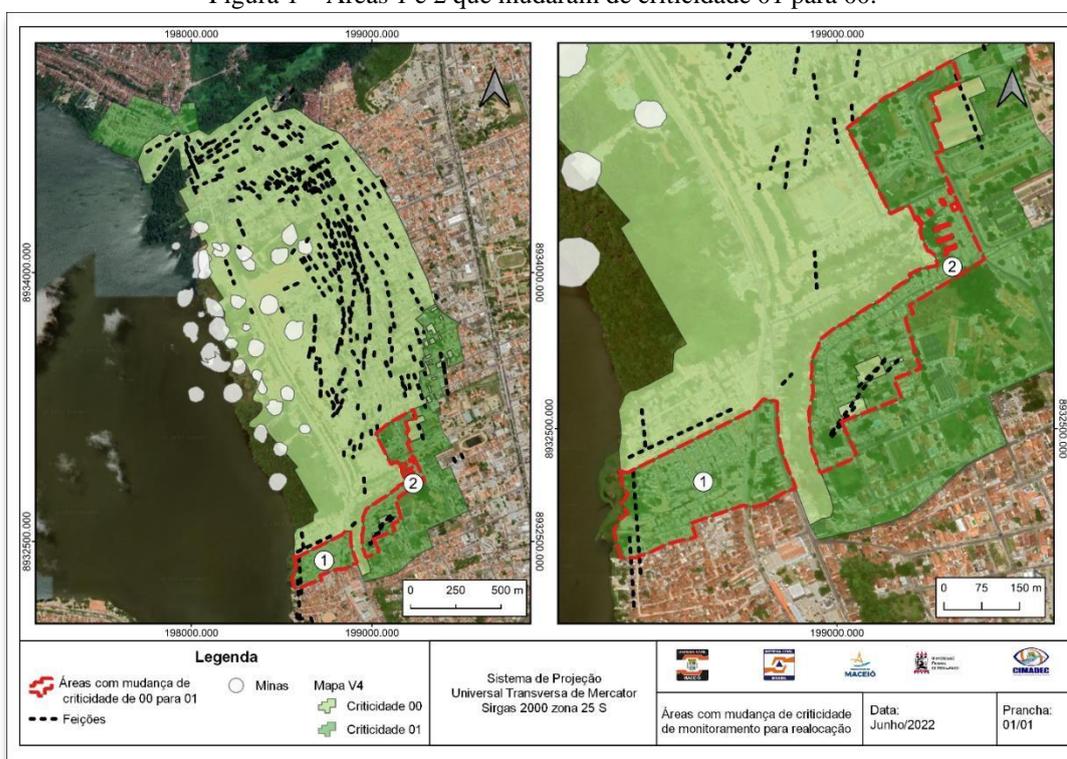
Nesta versão 5 do mapa, foram alteradas áreas tanto para realocação (criticidade 00), tal como foram adicionadas áreas classificadas para ações de monitoramento (criticidade 01), que serão abordadas ao longo desta nota técnica.

6. RESULTADOS

6.1. ÁREAS COM MUDANÇA DE CRITICIDADE DE MONITORAMENTO (01) PARA REALOCAÇÃO (00)

As áreas que tiveram mudança de criticidade de monitoramento para realocação foram divididas em áreas 1 e 2. A área 1 envolve parte do bairro Farol e a área 2 envolve parte do bairro do Bom Parto. (Figura 1)

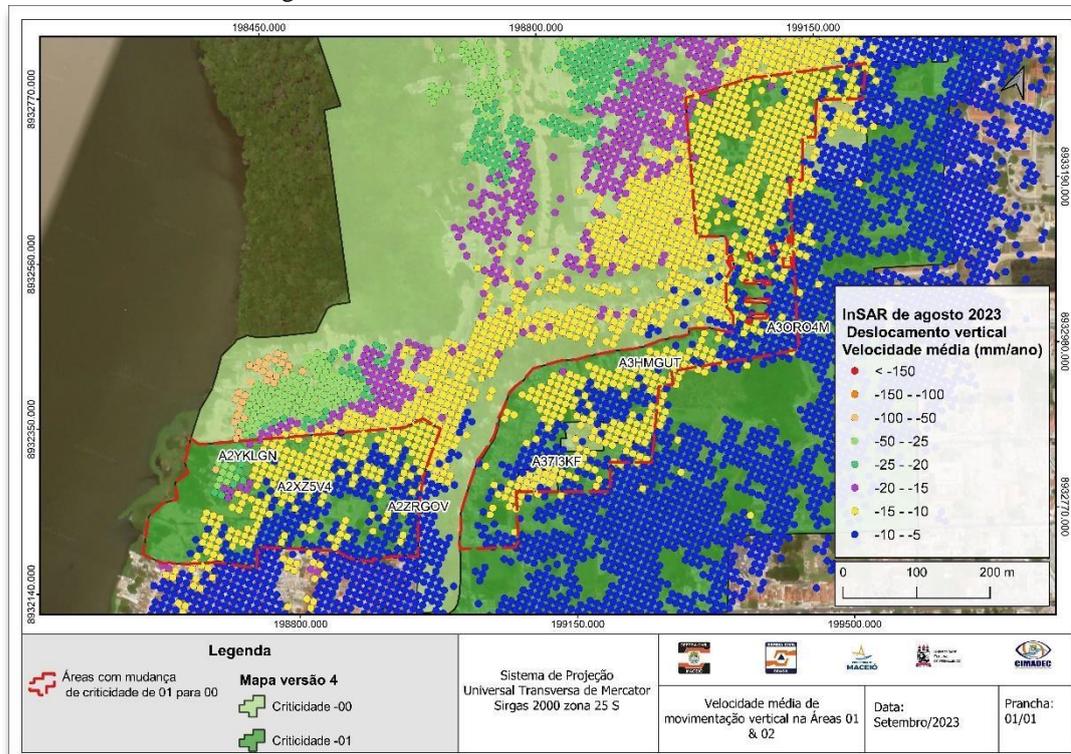
Figura 1 – Áreas 1 e 2 que mudaram de criticidade 01 para 00.



Elaboração: CIMADEC (2023).

Na Figura 2, tem-se os valores de interferometria de subsidência associado as áreas que passarão a ser de criticidade 00. Em ambas as áreas a velocidade média predominante de subsidência varia entre 5 mm/ano e 15 mm/ano, e na área 2 há registro de alguns pontos com valores de subsidência de até 50 mm/ano. Em comparação com os dados utilizados para construção da versão 4 do mapa, nota-se um acréscimo nos valores de InSAR que estavam, em média, na ordem de 5mm/ano (dados da interferometria de setembro de 2020).

Figura 2 – Análise da interferometria nas Áreas 1 e 2.



Elaboração: CIMADEC (2023).

Para área 1, região do Bom Parto, que está situada na parte da orla lagunar, entre a Av. Francisco de Menezes e Av. General Hermes, tiveram sua criticidade alterada, devido a mudança nos valores de velocidade média vertical apontados pela InSAR, por causa da presença de feições registradas que tem direção paralela a laguna e por áreas alagadas frequentemente. (Figura 3)

Figura 3 – Área 1 (Bom Parto) permanentemente alagada.



Fonte: CIMADEC (2023).

Destaca-se que, apesar de ser uma área de criticidade 01 (monitoramento), grande quantidade de residências foram evacuadas por meio do segundo termo aditivo⁵ ao termo de acordo para apoio na desocupação das áreas de risco de dezembro de 2020. A desocupação somada a descaracterização dos imóveis, estabeleceu um risco adicional em decorrência da ação de intempéries ao longo do tempo: o colapso das edificações, que representa um fator de risco importante a ser levado em consideração, uma vez que podem vir a afetar residências vizinhas, ainda ocupadas, ou transeuntes presente na área.

A quantidade estimada de lotes com linha de ação prioritária de monitoramento (criticidade 01) que passarão a ser linha de ação prioritária de realocação (criticidade 00) é de 1736, sendo 1185 na área 1 (Bom Parto) e 551 na área 2 (Farol). Ressalta-se que do total de imóveis que passarão a integrar a área de criticidade 00, estima-se que 9 lotes no Bom Parto e 17 lotes no Farol, ainda estão ocupados.

As próximas seções apresentam gráficos e tabelas com análises comparativas dos dados de deslocamento vertical acumulado e da velocidade média vertical para os períodos correspondentes a versão 4 e esta nova versão, sendo denominada “Versão 5”, para a compreensão do comportamento e da evolução espacial e temporal em relação ao fenômeno de subsidência.

⁵ Aditivo celebrado entre Ministério Público Estadual, Defensoria Pública do Estado de Alagoas, Ministério Público Federal, Defensoria Pública da União e Braskem S.A; disponível em: https://www.mpf.mp.br/al/arquivos/2021/segundo_aditivo.pdf

Nas tabelas estão apresentados a análise da amostra dos pontos interferométricos de cada área de observação, identificando os valores mínimo, máximo e média. Também são apresentadas figuras que mostram o comportamento dos deslocamentos verticais para pontos representativos de cada área. O critério de escolha dos pontos foi baseado na distribuição espacial e das faixas de classificação dos dados.

6.2. ANÁLISE COMPARATIVA DA ÁREA 1 – DADOS DE INTERFEROMETRIA

A Tabela 1 apresenta a análise comparativa dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos pontos Interferométricos da Área 1 utilizados nas Versões 4 e 5 do Mapa. Em relação a velocidade média vertical, ocorreu uma diminuição de 22,9 mm/ano, passando de - 67 mm para - 44,1 mm.

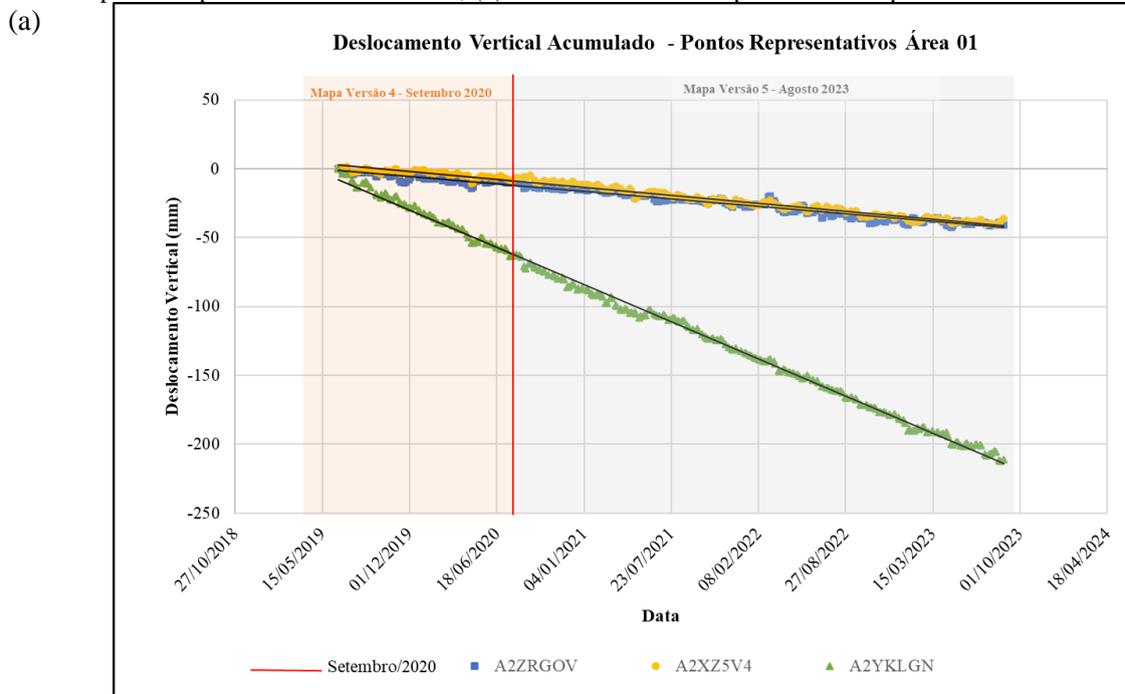
Tabela 1 - Análise comparativa dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área 1 utilizados nas Versões 4 e 5 do Mapa.

Dados dos Pontos da Área 1		Versão 4 do Mapa Período de Junho/2019 a setembro/2020 ≈ 1,27 anos	Período de Setembro/2020 a agosto/2023 ≈ 2,91 anos	Versão 5 do Mapa Período de Junho/2019 a agosto/2023 ≈ 4,17 anos
Velocidade Média Vertical	Mínimo	- 67 mm	22,9 mm	- 44,1 mm
	Máximo	-1 mm	- 3,5 mm	- 4,5 mm
	Média	- 9,58 mm	- 1,22 mm	- 10,8 mm

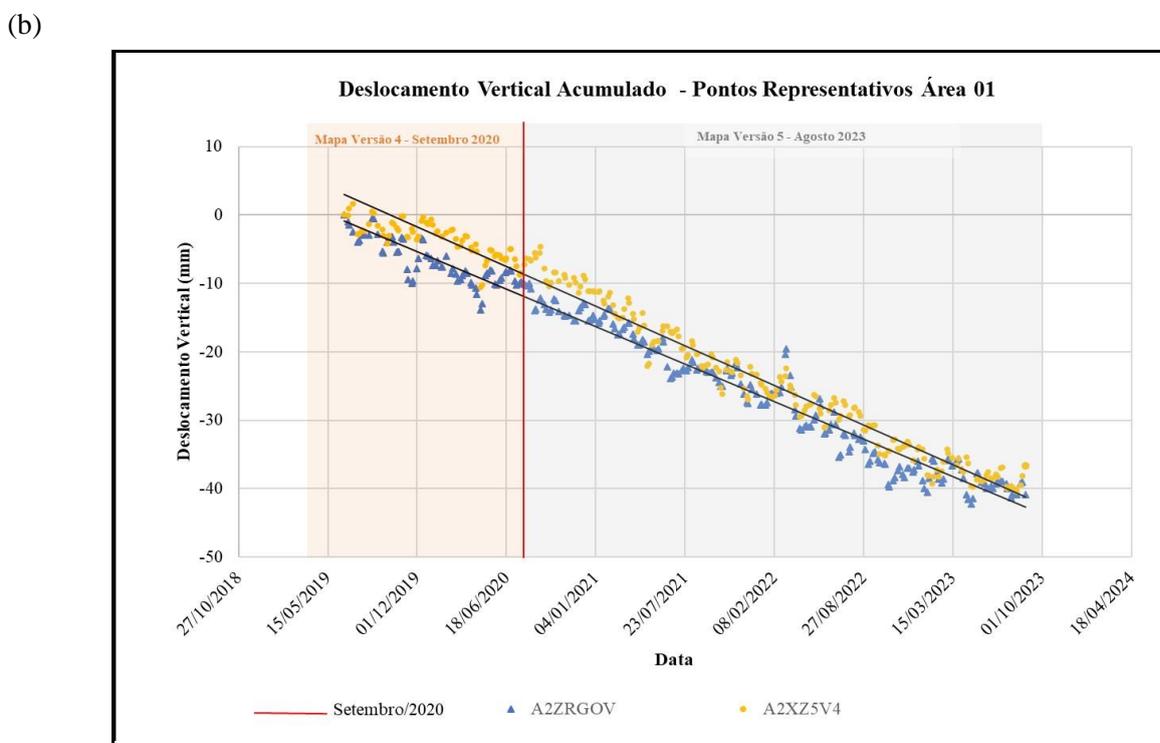
Elaboração: UFPE (2023).

A Figura 4 apresenta a evolução do deslocamento vertical acumulado dos 3 pontos representativos da área 1. Os pontos A2ZRGV e A2XZ5V4, identificados na Figura 2, apresentam comportamento similar em todo período, com magnitude de deslocamento próxima à média dos pontos, de - 24,44 mm correspondente ao período da Versão 5 do mapa. Já o ponto A2YKLG, identificado na Figura 2, apresenta um deslocamento máximo aproximado de - 200 mm. Comparando as linhas de tendências referente aos períodos das versões 4 e 5, nota-se uma mudança na inclinação, sendo mais acentuada na versão 5.

Figura 4 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área 1, medidos entre junho/2019 a agosto/2023: (a) Gráfico dos três pontos representativos analisados; (b) Gráfico com os dois pontos de comportamento similar.



Elaboração: UFPE (2023).



Elaboração: UFPE (2023).

6.3. ANÁLISE COMPARATIVA DA ÁREA 2 – DADOS DE INTERFEROMETRIA

A área 2, região do Farol, é uma área de topo de encosta já mapeada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) como de alto risco e caracterizado como “Setor de risco de deslizamentos em área urbana”. Durante o período chuvoso de 2022 foram registradas ocorrências de deslizamento de massa e colapso de edificações que já estavam desocupadas e descaracterizadas, corroborando com o fato da fragilidade da área quando associada ao processo de subsidência que envolve toda região.

O fenômeno de deslizamento na encosta é um tipo de risco que pode vir a ser fatal, e tem se tornado mais frequente na área mencionada, que se encontra já fragilizada pelo processo de subsidência, apresentado valores de movimentação maiores que os valores de limiares de 5mm/ano, e assim com a área do Bom Parto, apresenta a maioria das casas já evacuadas, e descaracterizadas, o que cria o risco de desabamentos, e deslizamentos, uma vez que se encontram em áreas declivosas.

Portanto, reafirma-se que a mudança de criticidade neste setor contempla a precaução, objetivando a realocação dos habitantes existentes nesta área, como forma de proteção e salvaguarda, a fim de evitar o risco.

A Tabela 2 apresenta a análise comparativa dos dados de velocidade média vertical da Área 2. Em relação a velocidade média vertical, comparando os dados dos períodos, ocorreu um acréscimo máximo de - 54,30 mm, passando de - 16,30 mm para - 70,60 mm.

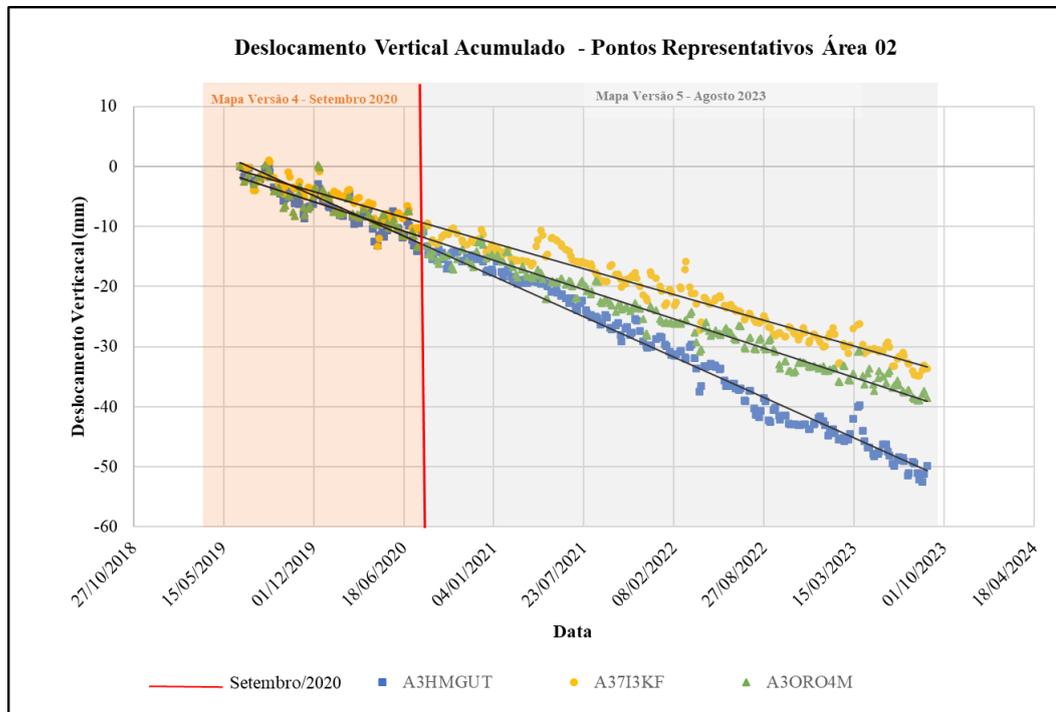
Tabela 2 - Análise comparativa dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área 2 utilizados nas Versões 4 e 5 do Mapa.

Dados dos Pontos da Área 2		Versão 4 do Mapa	Período de	Versão 5 do Mapa
		Período de Junho/2019 a setembro/2020 ≈ 1,27 anos	Setembro/2020 a abril/2023 ≈ 2,91 anos	Período de Junho/2019 a agosto/2023 ≈ 4,17 anos
Velocidade Média Vertical	Mínimo	-16,30 mm	-54,30 mm	-70,60 mm
	Máximo	-17,50 mm	-9,6 mm	7,90 mm
	Média	-10,21 mm	-13,06 mm	-23,27 mm

Elaboração: UFPE (2023).

A Figura 5 apresenta a evolução do deslocamento vertical acumulado de 3 pontos representativos da área 2. Os 3 pontos apresentam um comportamento de deslocamento similar durante o período da versão 4, seguindo o padrão dos valores apresentados na tabela. Durante o período de análise da versão 5, há uma mudança na inclinação das linhas de tendência e pode-se verificar o acréscimo dos valores de deslocamento vertical acumulado.

Figura 5 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área 2, medidos entre junho/2019 e agosto/2023.



Elaboração: UFPE (2023).

6.4. ANÁLISE COMPLEMENTAR DAS ÁREAS 1 E 2 – DADOS DE DGNSS

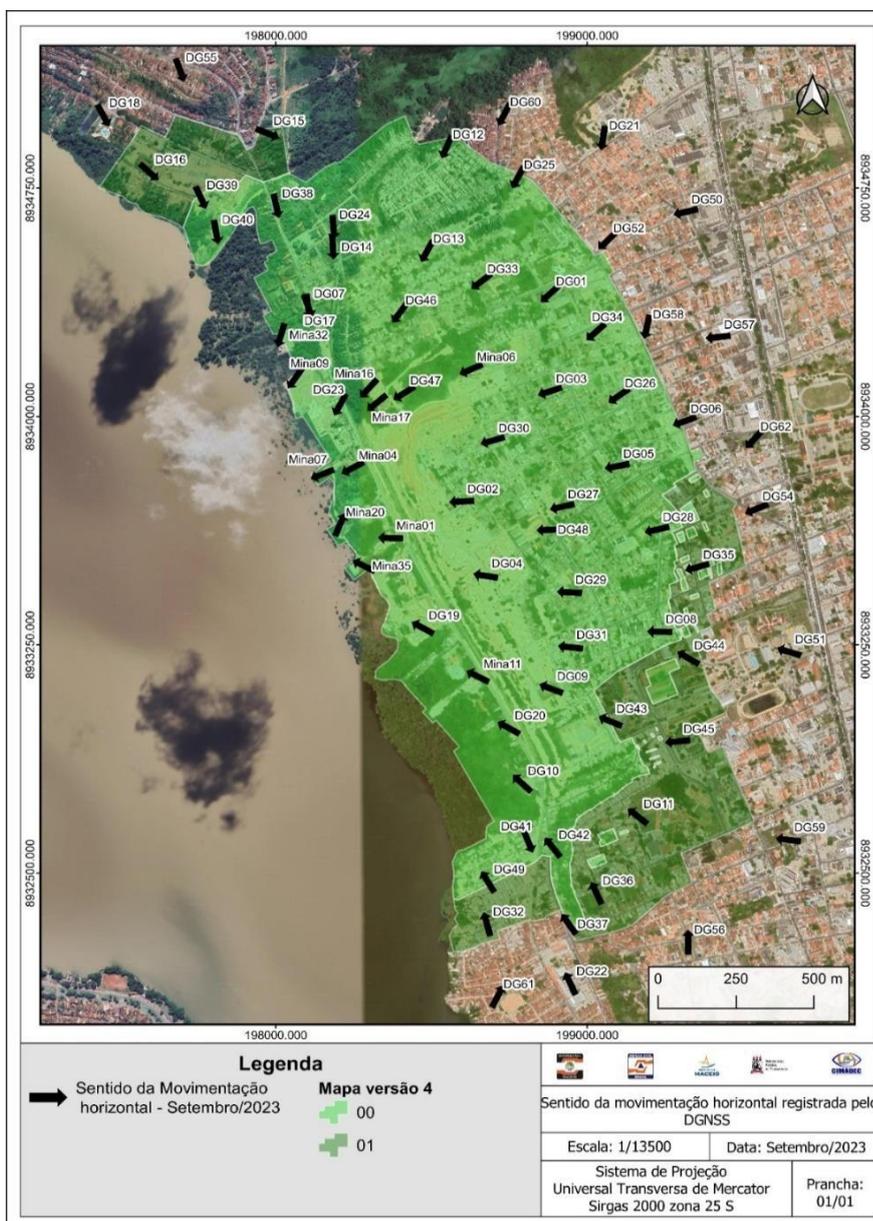
Ao concatenar os dados da InSAR com dados medidos por sensores DGNSS, aqueles instalados próximos as áreas que tiveram mudança de criticidade e, até a data das análises realizadas, haviam instalados e operantes os sensores DGNSS denominados DG08, DG09, DG11, DG22, DG31, DG32, DG36, DG37, DG41, DG42, DG43, DG44, DG45, DG49, DG51, DG56, DG59 e DG61. Os vetores direcionais (Figura **Figura 66**) mostram o deslocamento horizontal majoritariamente em direção ao centro da subsidência, o que reforça que há uma movimentação horizontal na região. Os dados de movimentação e a data de início de operação de cada antena DGNSS podem ser observados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Registro de movimentação de cada DGNSS próximos as áreas a serem atualizadas.

ID	Último Registro de agosto de 2023 (mm)			Azimute (°)	Início de Operação (mês/ano)
	dN	dE	dH		
DG06	-6	-17	-9	250	07/2021
DG08	1	-35	-28	271	07/2021
DG09	18	-46	-66	291	11/2020
DG11	16	-20	-28	309	11/2020
DG12	-28	-12	-22	204	11/2020
DG15	-9	24	-47	112	11/2020
DG16	-21	24	-50	132	11/2020
DG18	-13	7	5	152	06/2021
DG21	-10	-1	107	189	06/2021
DG22	9	-4	-131	335	06/2021
DG25	-13	-7	1	208	12/2021
DG31	5	-23	-20	282	05/2022
DG32	17	-4	-13	345	12/2021
DG35	-3	-12	-11	254	12/2021
DG36	14	-6	-3	336	12/2021
DG37	7	-5	-2	334	05/2022
DG41	-14	5	-15	158	05/2022
DG42	9	-7	-12	322	05/2022
DG43	4	-11	-15	293	05/2022
DG44	10	-17	-7	301	06/2022
DG45	-1	-9	-8	264	06/2022
DG49	20	-11	-27	329	06/2022
DG50	-1	-7	1	257	07/2022
DG51	3	-12	-5	287	07/2022
DG52	-8	-8	-2	225	07/2022
DG53	-13	4	13	163	07/2022
DG54	-4	-10	-1	247	07/2022
DG55	-8	3	-9	160	08/2022
DG56	12	-1	-11	359	08/2022
DG57	-1	-5	-2	264	08/2022
DG58	-17	-3	1	192	01/2023
DG59	1	-6	-6	277	01/2023
DG60	-11	-6	-3	207	01/2023
DG61	3	1	-16	27	01/2023
DG62	-5	-4	1	222	01/2023

Elaboração: CIMADEC (2023).

Figura 6 - Direção e Sentido da movimentação Horizontal - DGNSS - setembro de 2023.



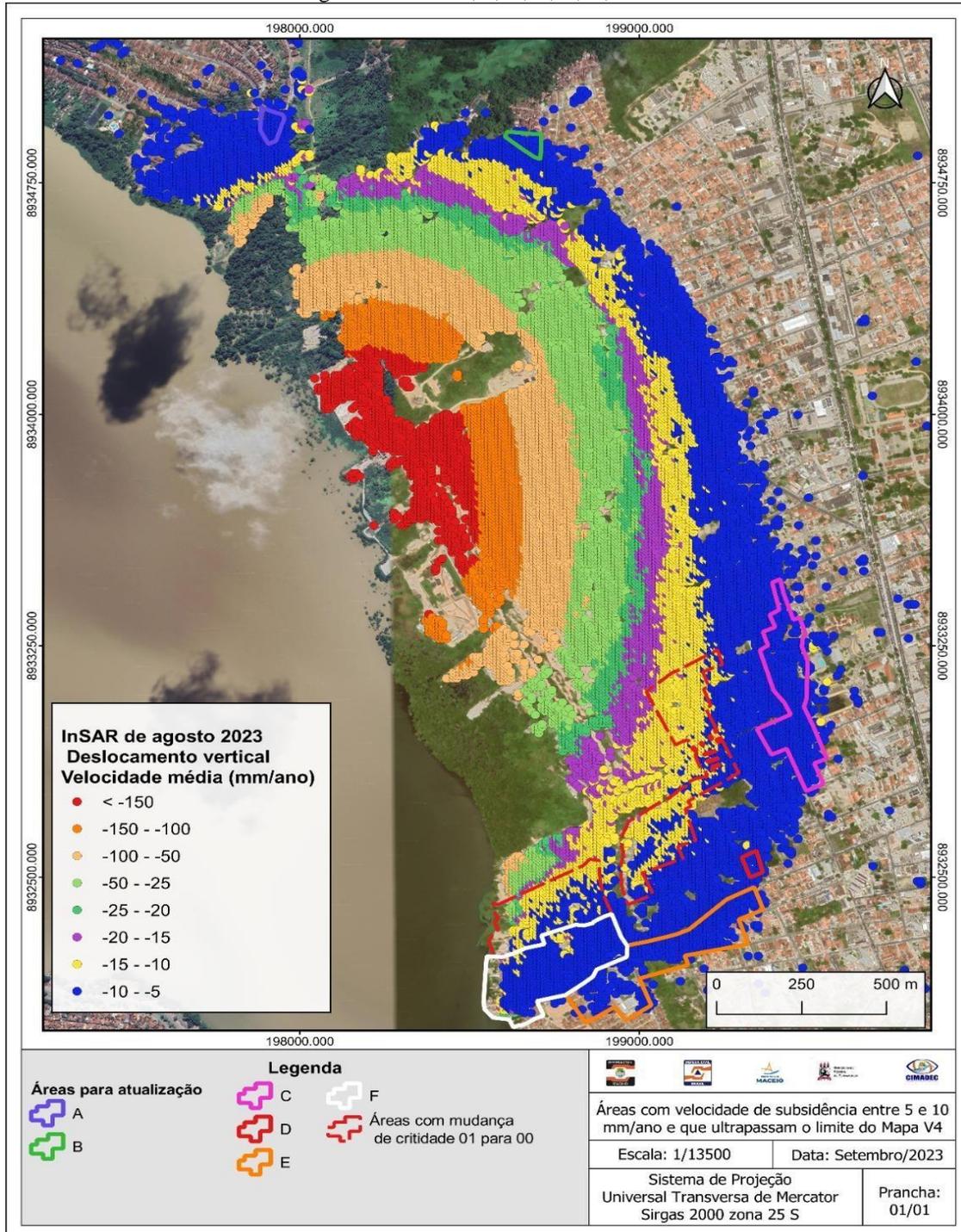
Elaboração: CIMADEC (2023).

6.5. ÁREAS QUE APRESENTAM VALORES DE VELOCIDADE MÉDIA DE DESLOCAMENTO VERTICAL DE - 5 MM/ANO A -10MM/ANO

Ao analisar os dados InSAR, é possível observar regiões que apresentam velocidade média de subsidência entre 5 mm/ano e 10 mm/ano, e que extrapolam o limite do Mapa de Linhas de Ações Prioritárias (Versão 4). Assim, foram delimitadas cinco áreas com esse comportamento, uma área referente ao início da Av. Marquês de Abrantes – Chã de Bebedouro, uma na região conhecida como

Vila Saem, duas em parte do Farol, e uma referente ao bairro do Bom Parto e, para uma melhor compreensão, as seis áreas delimitadas foram nomeadas de A, B, C, D, E e F. (Figura 7)

Figura 7 – Áreas 1, 2, A, B, C, D, E e F.



Elaboração: CIMADEC (2023).

Com o objetivo de avaliar a evolução do fenômeno na área afetada pela subsidência e adjacências, a partir do monitoramento e mapeamento de possíveis manifestações geológicas, foi criado o Comitê de Acompanhamento Técnico (CT). O CT realiza visitas periódicas as áreas adjacentes ao limite do Mapa de Linhas de Ações Prioritárias (Versão 4) da Defesa Civil de Maceió, denominadas como áreas de “Acompanhamento Técnico – AT” (Figura 8).

Figura 8 - Áreas de atuação do Comitê de Acompanhamento Técnico.



Elaboração: CIMADEC (2023).

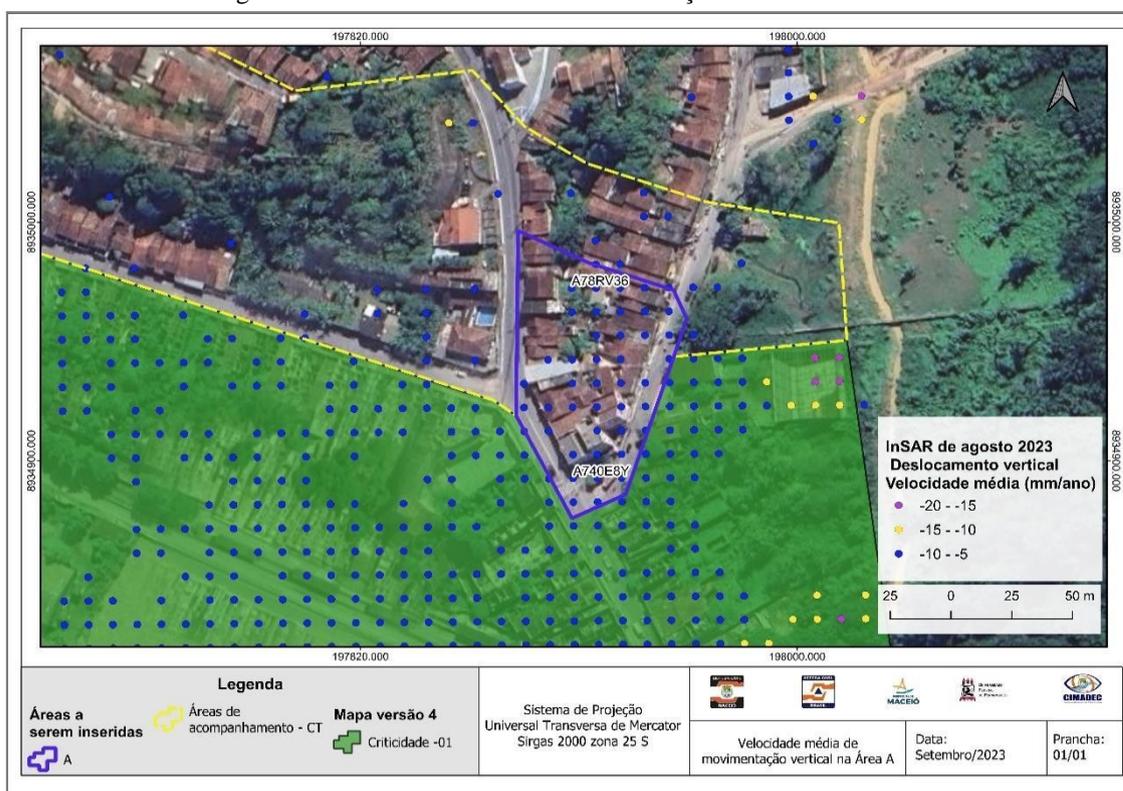
Ao conferir as áreas de atuação do CT, denominadas “AT”, é possível averiguar que as áreas A, B, C, D, E e F, estão quase que totalmente contidas nas áreas de AT. Desta forma, as seis áreas já são monitoradas pela equipe da Defesa Civil de Maceió (DCM), do Centro integrado de Monitoramento e alerta da Defesa Civil (CIMADEC), que se integra à equipe de mapeamento de manifestações geológicas do CT e, por meio de relatórios protocolados semestralmente para as autoridades que acompanham o caso, com as conclusões do que foi vistoriado.

A seguir serão apresentadas algumas considerações a respeito dos dados interferométricos e dados coletados em campo de cada área.

6.6. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA A

A área A, localizada na base da ladeira situada na Av. Marquês de Abrantes, no Bairro de Bebedouro, apresenta pontos de InSAR de velocidade de subsidência entre 5 mm/ano e 10 mm/ano adensados e persistentes durante todo o ano de 2022 até agosto de 2023. A Figura 9 mostra como a área está afetada por um deslocamento cobrindo a parte sul da região.

Figura 9 – Velocidade média de movimentação vertical na Área A.



Elaboração: CIMADEC (2023).

A Tabela 4 apresenta a análise dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área A. Em relação a velocidade média vertical, percebe-se valores variando entre - 5 mm/ano e - 7,10 mm/ano, sendo a média igual - 5,4 mm/ano.

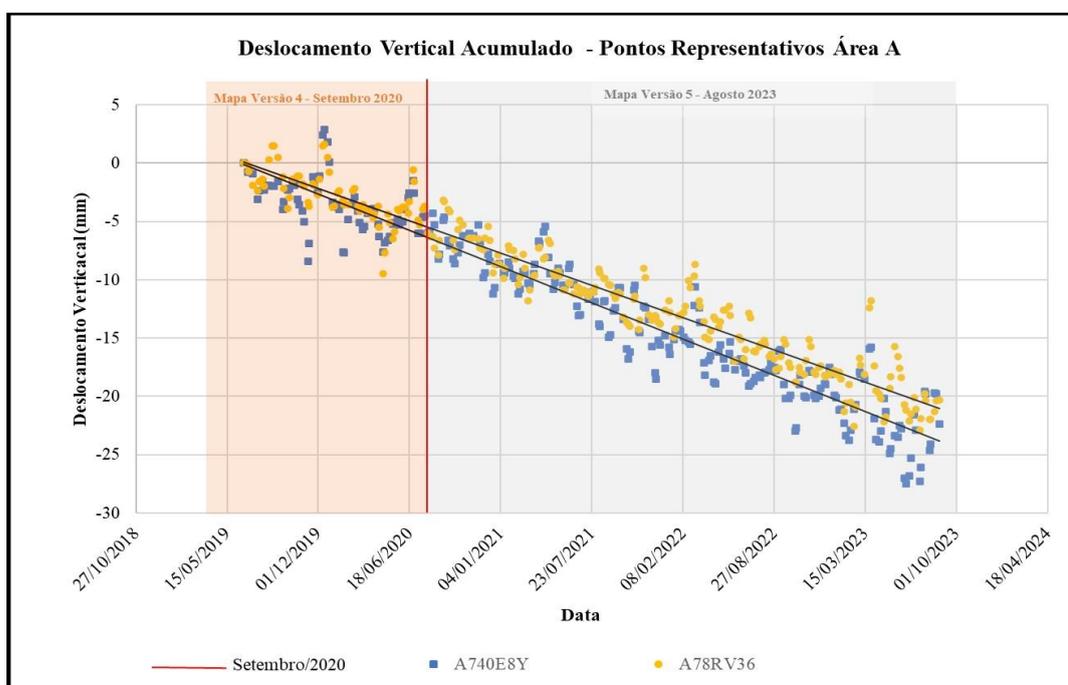
Tabela 4 - Análise comparativa dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área A utilizados na Versão 5 do Mapa.

Dados dos Pontos da Área A		Versão 5 do Mapa Período de Junho/2019 a agosto/2023 ≈ 4,17 anos
Velocidade Média Vertical	Mínimo	-7,10 mm
	Máximo	-5 mm
	Média	-5,4 mm

Elaboração: UFPE (2023).

A Figura 10 apresenta a evolução do deslocamento vertical acumulado dos 2 pontos representativos da Área A. Os pontos A740E8Y e A78RV36, identificados na Figura 9, apresentam comportamento similar em todo período, com magnitude máxima de deslocamento próxima à média dos pontos, - 5,4mm/ano. Comparando as linhas de tendências referente aos períodos das versões 4 e 5, nota-se uma mudança na inclinação, sendo mais acentuada no período referente ao da versão 5.

Figura 10 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área A, medidos entre junho/2019 e agosto/2023.



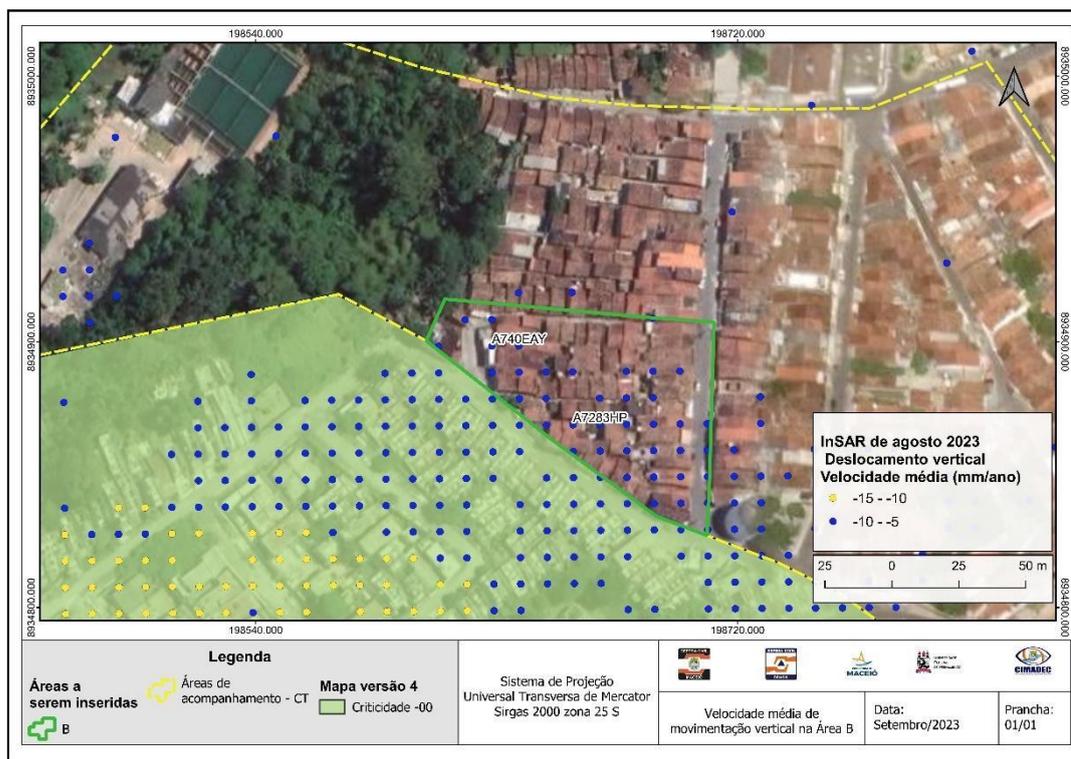
Elaboração: UFPE (2023).

Por fim, conforme já relatado no âmbito dos últimos relatórios conclusivos do Comitê, as feições de fraturamento observados na região estão associados intrinsecamente a áreas de encosta. Os danos até o momento possuem causas diversas e que não permitem concluir que estão relacionados com o problema da subsidência. Ressalta-se que os imóveis que passarão a integrar a área A, são de aproximadamente 30 lotes.

6.7. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA B

A área B, localizada na porção Sudoeste da Vila Saem situada entre a Rua Santa Luzia e Rua José Barreto, situada em área de tabuleiro limitando-se com rebordo erosivo, em uma área de declividade acentuada, e de certa forma mais vulnerável, apresenta pontos de InSAR de velocidade de subsidência entre 5 mm/ano e 10 mm/ano adensados e persistentes durante todo o ano de 2022 até agosto de 2023. A Figura 11 mostra como a área está afetada por um deslocamento vertical cobrindo a parte oeste da região.

Figura 11 – Velocidade média de movimentação vertical na Área B.



Elaboração: CIMADEC (2023).

A Tabela 5 apresenta a análise dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área B. Em relação a velocidade média vertical, percebe-se valores variando entre - 3,8 mm e - 9 mm, sendo a média igual - 5,5 mm.

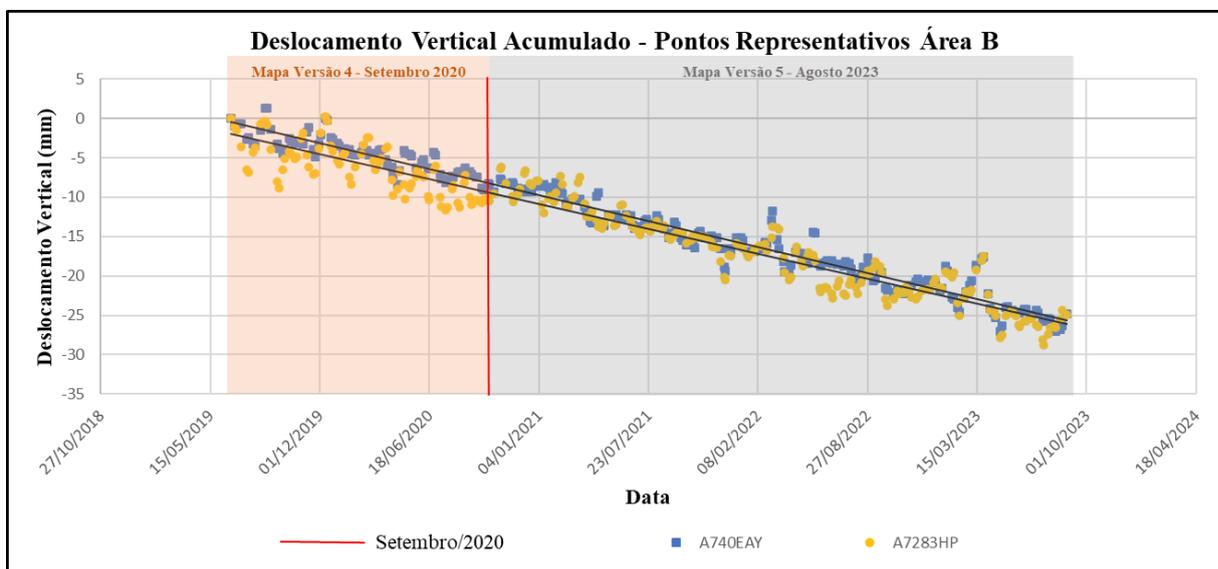
Tabela 5 - Análise comparativa dos dados de velocidade média vertical e velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área B utilizados na Versão 5 do Mapa.

Dados dos Pontos da Área B		Versão 5 do Mapa Período de Junho/2019 a agosto/2023 ≈ 4,17 anos
Velocidade Média Vertical	Mínimo	-9 mm
	Máximo	-3,8 mm
	Média	-5,5 mm

Elaboração: UFPE (2023).

A Figura 12 apresenta a evolução do deslocamento vertical acumulado dos dois pontos representativos da Área A. Os pontos A740EAX e A7283HP, identificados na Figura 11, apresentam comportamento similar em todo período, com magnitude máxima de deslocamento próxima à média dos pontos, - 5,5mm. Comparando as linhas de tendências referente aos períodos das versões 4 e 5, nota-se uma mudança na inclinação, sendo mais acentuada no período referente ao da versão 5.

Figura 12 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área B, medidos entre junho/2019 e agosto/2023.



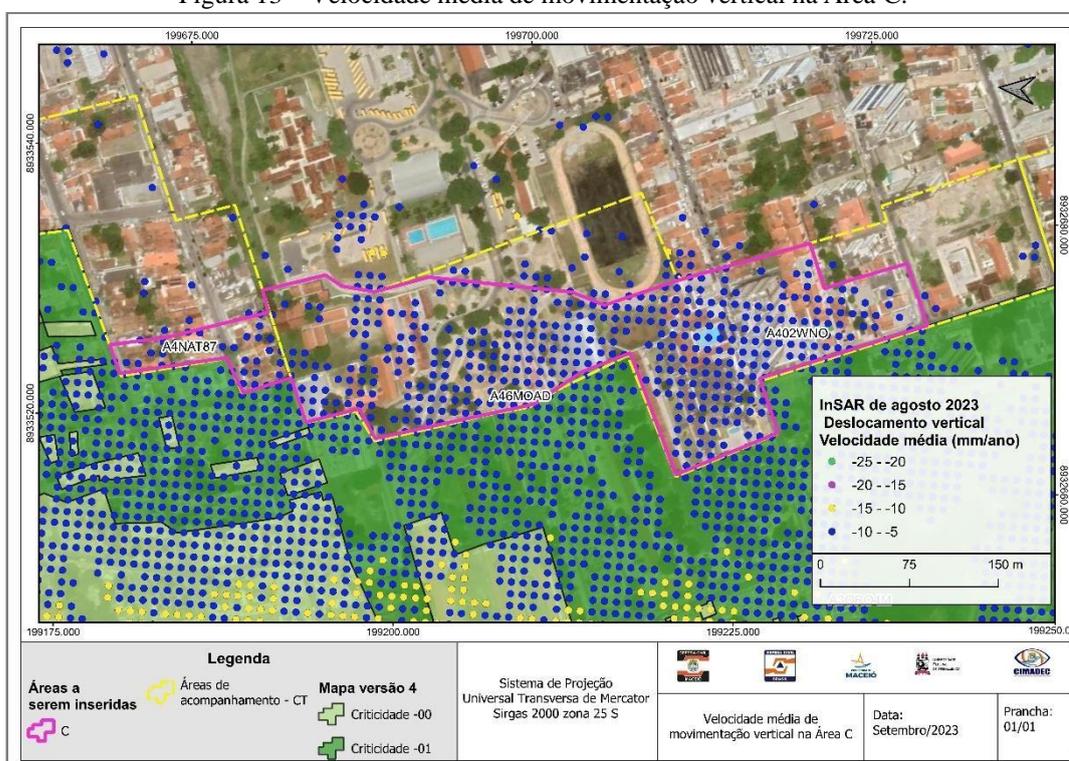
Elaboração: UFPE (2023).

Os danos presentes nas edificações dessa região até o momento possuem causas diversas e que não permitem concluir que estão correlacionados com o problema de subsidência. Ressalta-se que os imóveis que passarão a integrar a área B, são de aproximadamente 59 lotes.

6.8. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA C

A área C, localizada no bairro do Farol, área situada entre a Rua Cel. Lima Rocha, e Rua prof. Virgínio. Situada no Platô da formação Barreiras, grande parte da região encontra-se com solo exposto, presença de vias e pavimentos livres, ou com grandes equipamentos que ocupam grandes áreas. Uma pequena parte desta área encontra-se em uma zona de bacia endorreica. A área C apresenta pontos de InSAR de velocidade de subsidência entre 5 mm/ano e 10 mm/ano adensados e persistentes durante todo o ano de 2022 até agosto de 2023. (Figura 13)

Figura 13 – Velocidade média de movimentação vertical na Área C.



Elaboração: CIMADEC (2023).

A Tabela 6 apresenta a análise dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área C. Em relação a velocidade média vertical, percebe-se valores variando entre - 2,8 mm e - 9,10 mm, sendo a média igual - 5,70 mm.

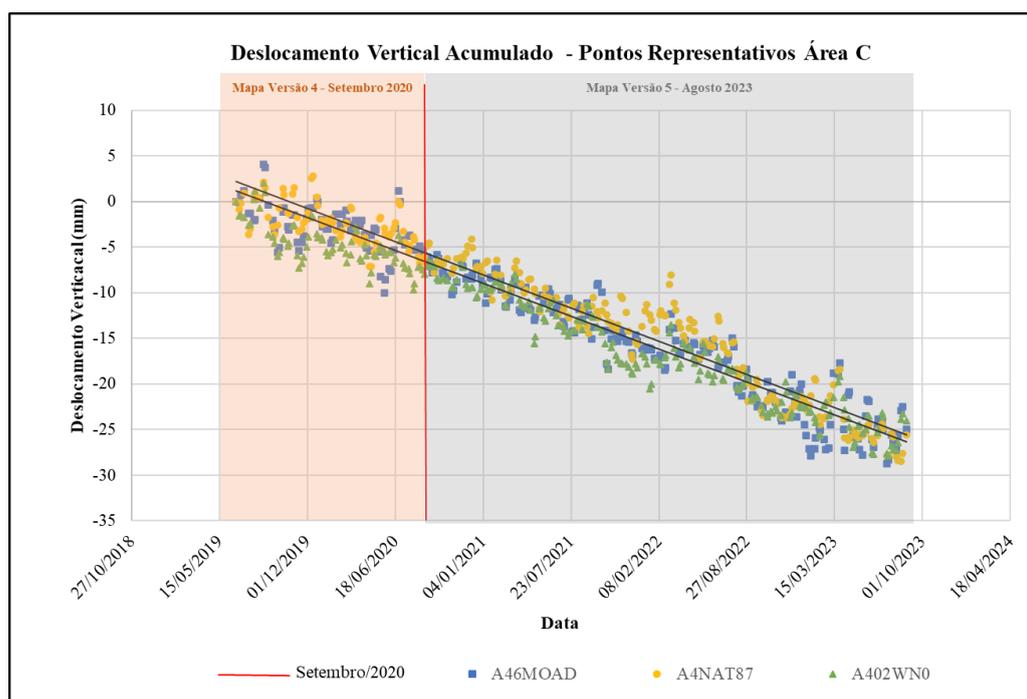
Tabela 6 - Análise comparativa dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área C utilizados na Versão 5 do Mapa.

Dados dos Pontos da Área C		Versão 5 do Mapa Período de Junho/2019 a agosto/2023 ≈ 4,17 anos
Velocidade Média Vertical	Mínimo	-9,10 mm
	Máximo	-2,80 mm
	Média	-5,70 mm

Elaboração: UFPE (2023).

A Figura 14 apresenta a evolução do deslocamento vertical acumulado dos 3 pontos representativos da Área A. Os pontos A46MOAC, A4NAT87 e A402WN0, identificados na Figura 13, apresentam comportamento similar em todo período, com magnitudes máximas de deslocamento em torno de - 30 mm. Comparando as linhas de tendências referente aos períodos das versões 4 e 5, nota-se uma mudança na inclinação, sendo mais acentuada no período referente ao da versão 5.

Figura 14 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área C, medidos entre junho/2019 a agosto/2023.



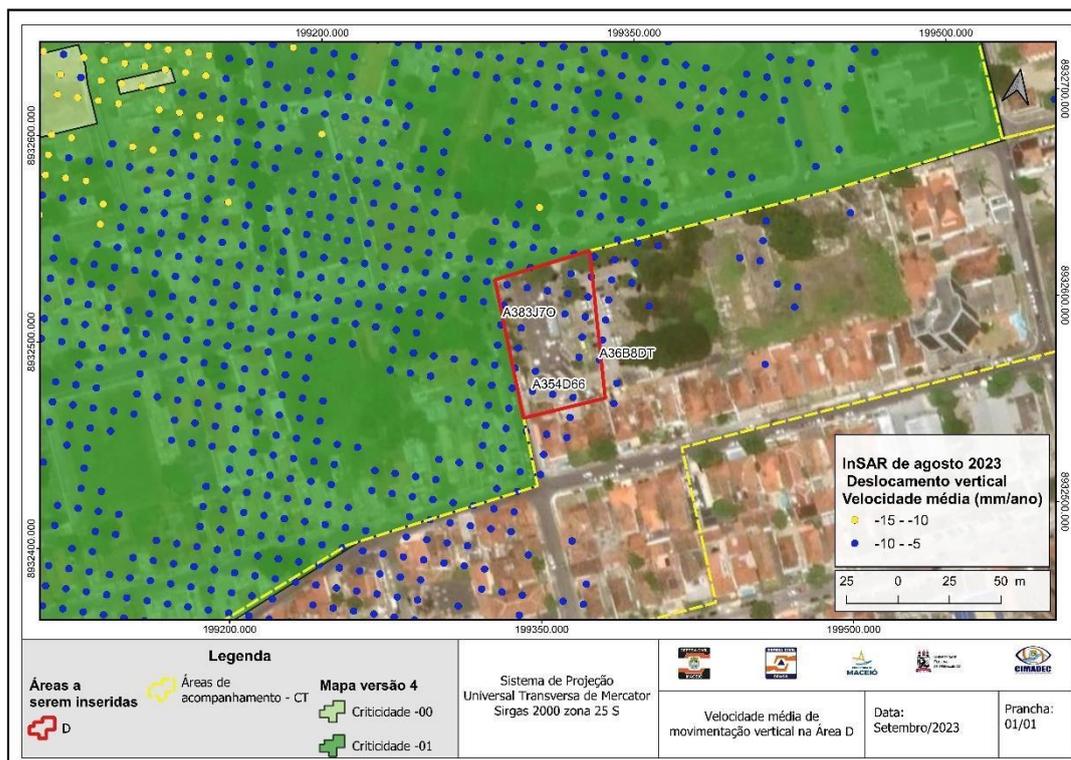
Elaboração: UFPE (2023).

Os danos presentes nas edificações dessa região até o momento possuem causas diversas e que não permitem concluir que estão correlacionados com o problema de subsidência. Ressalta-se que os imóveis que passarão a integrar a área C, são de aproximadamente 24 lotes.

6.9. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA D

A área D, assim como as demais regiões, apresenta pontos de InSAR de velocidade de subsidência entre 5 mm/ano e 10 mm/ano adensados e persistentes durante todo o ano de 2022 agosto de 2023. (Figura 15)

Figura 15 – Velocidade média de movimentação vertical na Área D.



Elaboração: CIMADEC (2023).

A Tabela 7 apresenta a análise dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área D. Em relação a velocidade média vertical, percebe-se valores variando entre - 4,60 mm e - 7,70 mm, sendo a média igual - 5,60 mm.

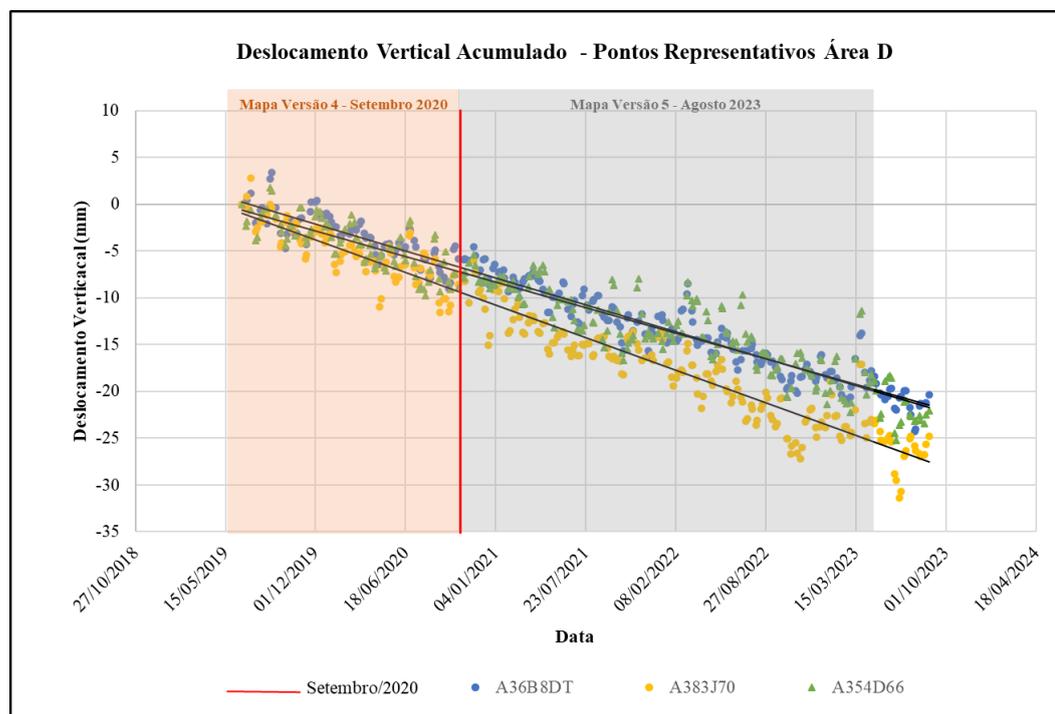
Tabela 7 - Análise comparativa dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área D utilizados na Versão 5 do Mapa.

Dados dos Pontos da Área D		Versão 5 do Mapa Período de Junho/2019 a agosto/2023 ≈ 4,17 anos
Velocidade Média Vertical	Mínimo	-7,70 mm
	Máximo	-4,60 mm
	Média	-5,60 mm

Elaboração: UFPE (2023).

A Figura 16 apresenta a evolução do deslocamento vertical acumulado dos pontos representativos da Área D. Os pontos analisados A36B8DT, A383J70 e A354D66, identificados na Figura 15, apresentam comportamento similar em todo período, com magnitude máxima de deslocamento em torno da média dos pontos, - 5,60mm. Comparando as linhas de tendências referente aos períodos das versões 4 e 5, nota-se uma mudança na inclinação, que se torna mais acentuada no período referente ao da versão 5.

Figura 16 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área D, medidos entre junho/2019 e agosto/2023.



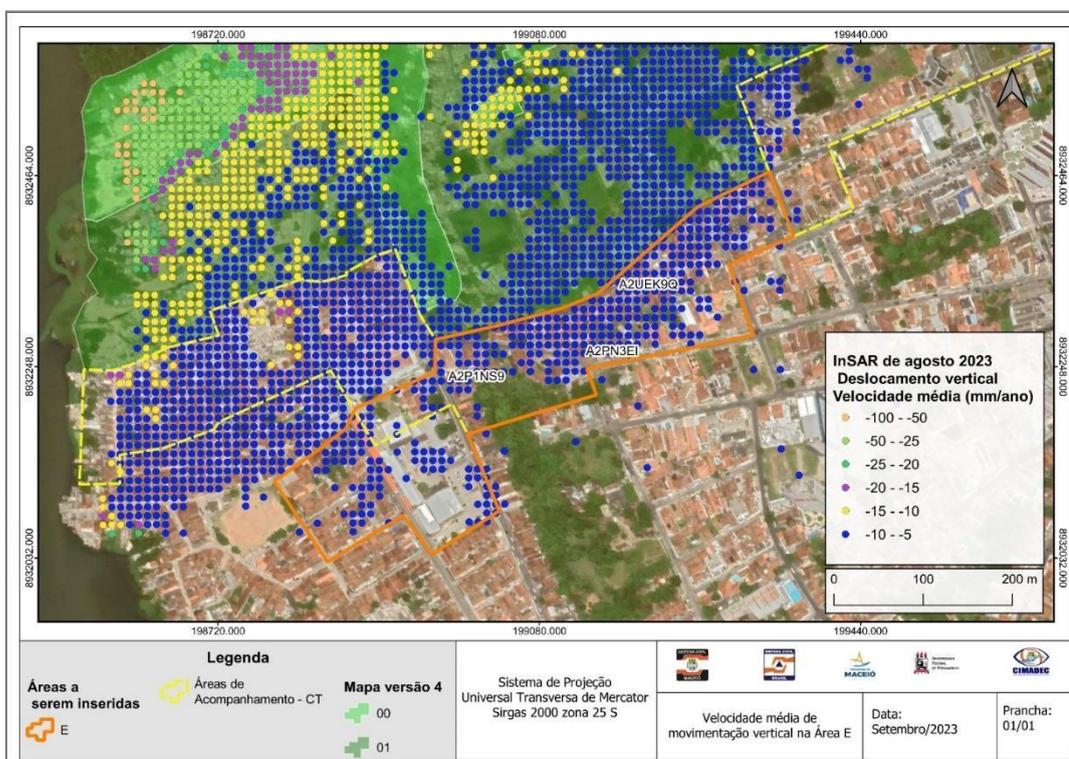
Elaboração: UFPE (2023).

Os danos presentes nas edificações dessa região até o momento possuem causas diversas e que não permitem concluir que estão correlacionados com o problema de subsidência. Ressalta-se que os imóveis que passarão a integrar a área D, é de 1 lote.

6.10. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA E (AT 6A)

A área E, assim como as demais regiões, apresenta pontos de InSAR de velocidade de subsidência entre 5 mm/ano e 10 mm/ano adensados e persistentes durante todo o ano de 2022 até agosto de 2023. (Figura 17)

Figura 17 – Velocidade média de movimentação vertical na Área E.



Elaboração: CIMADEC (2023).

A Tabela 8 apresenta a análise dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos pontos interferométricos da área E. Em relação a velocidade média vertical, percebe-se valores variando entre -2,6 mm e -8,8 mm, sendo a média igual -5 mm.

Tabela 8 - Análise comparativa dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área E utilizados na Versão 5 do Mapa.

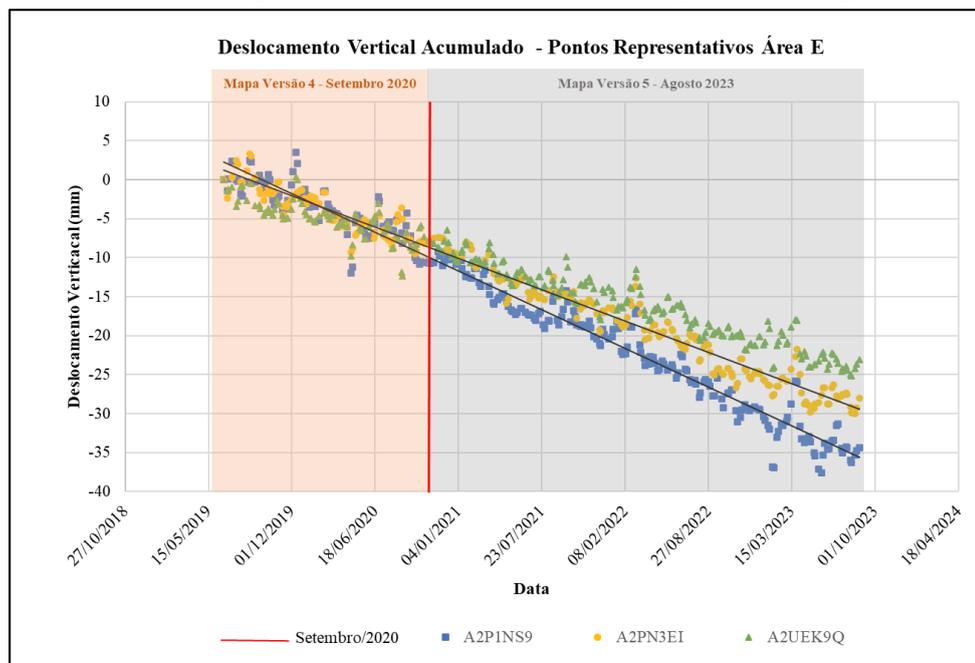
Dados dos Pontos da Área E		Versão 5 do Mapa Período de Junho/2019 a agosto/2023 ≈ 4,17 anos
Velocidade Média Vertical	Mínimo	-8,8 mm
	Máximo	-2,6 mm
	Média	-5 mm

Elaboração: UFPE (2023).

A Figura 18 apresenta a evolução do deslocamento vertical acumulado dos pontos representativos da Área E. Os pontos analisados A2P1NS9, A2PN3EI e A2UEK9Q, identificados na Figura 17, apresentam comportamento similar no período analisado. A magnitude máxima dos deslocamentos se apresenta próximos da média dos pontos, de -5mm. Ao se comparar as linhas de

tendências referente aos períodos das versões 4 e 5, observa-se uma mudança na inclinação, tornando-se mais acentuada no período referente a versão 5.

Figura 18 – Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área E, medidos entre junho/2019 a agosto/2023.



Elaboração: UFPE (2023).

Os danos presentes nas edificações dessa região até o momento possuem causas diversas e que não permitem concluir que estão correlacionados com o problema de subsidência. Ressalta-se que os imóveis que passarão a integrar a área E, são de aproximadamente 295 lotes.

6.11. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA ÁREA F (AT 6B)

A área F situa-se em um ambiente geológico de deposição com alta influência fluvio-lagunar, inicialmente, é importante mencionar o tipo de sedimento depositado ao longo do tempo na região em torno da Laguna Mundaú. Predominantemente, são encontrados sedimentos de granulometria fina, como argila ou silte. Deve-se pontuar também o aspecto composicional, que se caracteriza pelo elevado teor de matéria orgânica. Esses tipos de sedimentos tendem a ter alta compressibilidade, o que os torna mais facilmente deformáveis com o acréscimo de carga (aterros, edificações) ao longo do tempo.

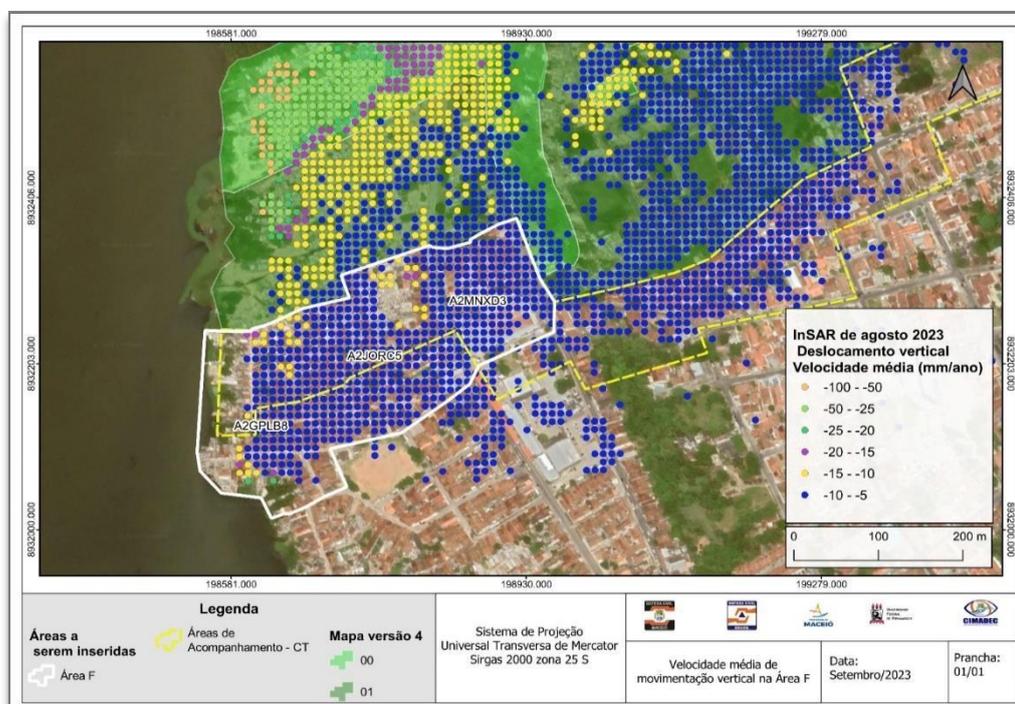
Outro aspecto relevante é o nível do lençol freático na região. Devido à proximidade da laguna, é comum que o solo do Bairro seja mais úmido, pois o lençol freático tende a estar mais próximo da superfície, sofrendo variação ao longo do ano. A presença de umidade significativa pode ter implicações

na construção e na fundação das edificações da região, exigindo cuidados especiais para garantir a estabilidade e a segurança das estruturas.

Por fim, a região está sujeita a inundações devido às variações sazonais do nível da água na Laguna Mundaú. Durante períodos chuvosos há um aumento no nível da água, resultando em inundações temporárias. Essas inundações podem afetar diretamente a estabilidade do solo, o que pode ter consequências significativas para as construções próximas. O afundamento do solo faz com que os habitantes dessa área estejam desproporcionalmente vulneráveis ao aumento do nível da Laguna, uma vez que o solo tende a ficar abaixo do nível lagunar, aumentando o impacto de um evento de inundação.

Vale ressaltar que a identificação de feições geológicas nesta área é extremamente complexa, devido ao do tipo de solo em subsuperfície, como descrito anteriormente. No geral, as edificações situadas na área F, são edificações de padrão construtivo baixo e consequentemente suscetíveis ao surgimento de danos. Nesses casos, soma-se a natureza do tipo construtivo, às características relacionadas ao solo da região e taxas de velocidade média de deslocamento vertical de subsidência entre 5 e 25 mm/ano, que podem intensificar ou induzir as manifestações patológicas e trazer um maior risco para a região. Ressalta-se ainda, que os imóveis que passarão a integrar a área F é de aproximadamente 880 lotes.

Figura 19 - Velocidade média de movimentação vertical na Área F.



Elaboração: CIMADEC (2023).

A Tabela 9 apresenta a análise dos dados de velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área F. Em relação a velocidade média vertical, nota-se que os dados variam entre - 22.5 mm/ano e - 4 mm/ano, porém a maioria dos pontos presentes na área F possuem velocidade média dos pontos está em torno de - 7,4 mm/ano.

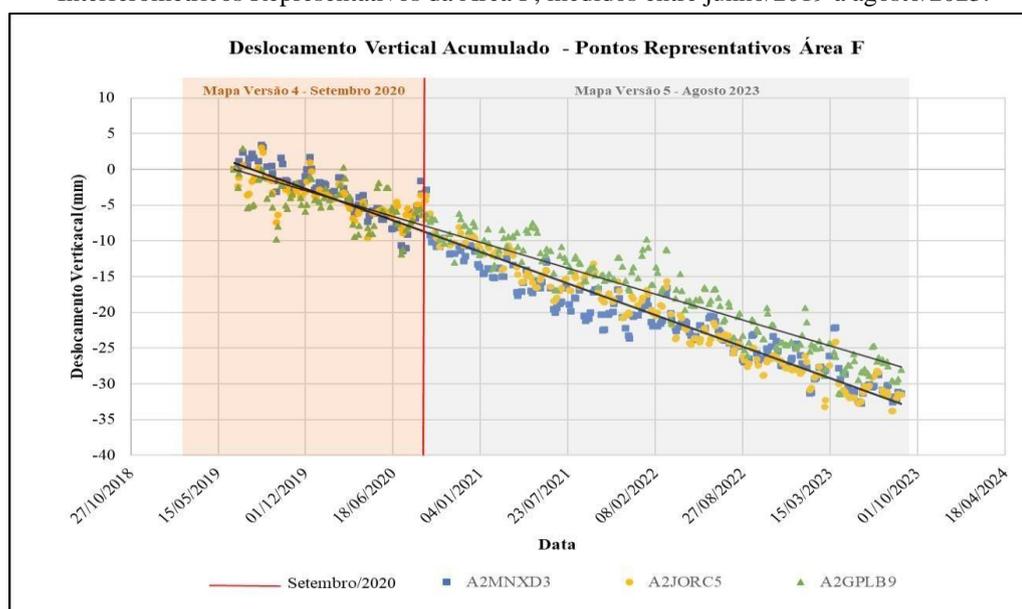
Tabela 9 - Análise comparativa dos dados de velocidade média vertical e velocidade média vertical pela InSAR dos Pontos Interferométricos da Área F utilizados na Versão 5 do Mapa.

Dados dos Pontos da Área F		Versão 5 do Mapa Período de Junho/2019 a abril/2023 ≈ 3,83 anos
Velocidade Média Vertical	Mínimo	- 22,5 mm
	Máximo	- 4 mm
	Média	- 7,4 mm

Elaboração: UFPE (2023).

A Figura 20 apresenta a evolução do deslocamento vertical acumulado dos três pontos representativos da Área F A2MNXD4, A2JORC8 e A2GPLB9, identificados na Figura 19. Comparando as linhas de tendências referente aos períodos das versões 4 e 5, nota-se uma mudança na inclinação, sendo mais acentuada no período referente ao da versão 5, com valores variando em torno do deslocamento mínimo e médio.

Figura 20 - Análise do Comportamento dos Deslocamentos Vertical Acumulado pela InSAR de Pontos Interferométricos Representativos da Área F, medidos entre junho/2019 a agosto/2023.

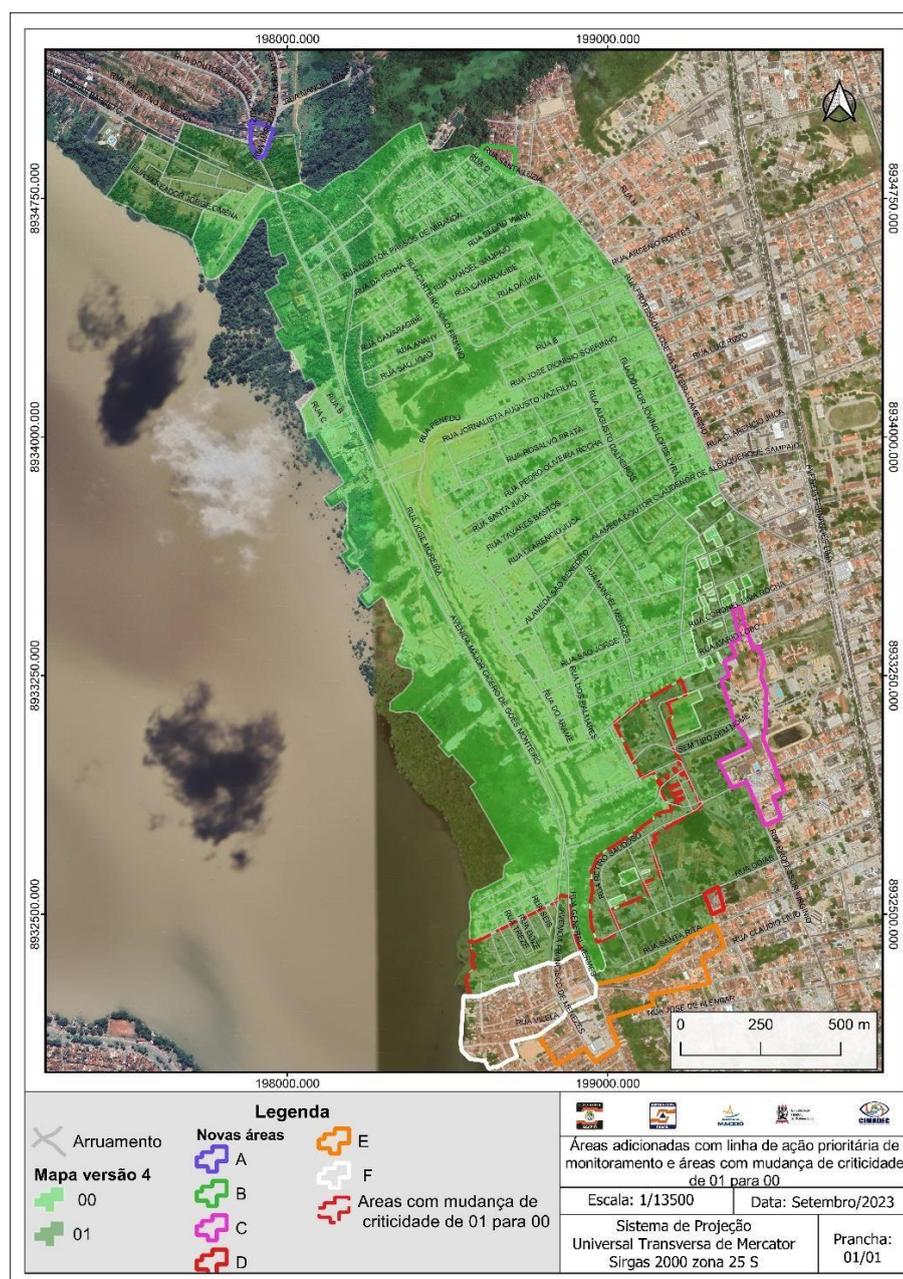


Elaboração: UFPE (2023).

7. MAPA DE LINHAS DE AÇÕES PRIORITÁRIAS, VERSÃO 5 - Outubro, 2023.

Em suma, comparando com a versão anterior, houve duas áreas com mudança de linha de ação de monitoramento (criticidade 01) para realocação (criticidade 00), e seis novas áreas adicionadas com linha de ação de monitoramento (criticidade 01).

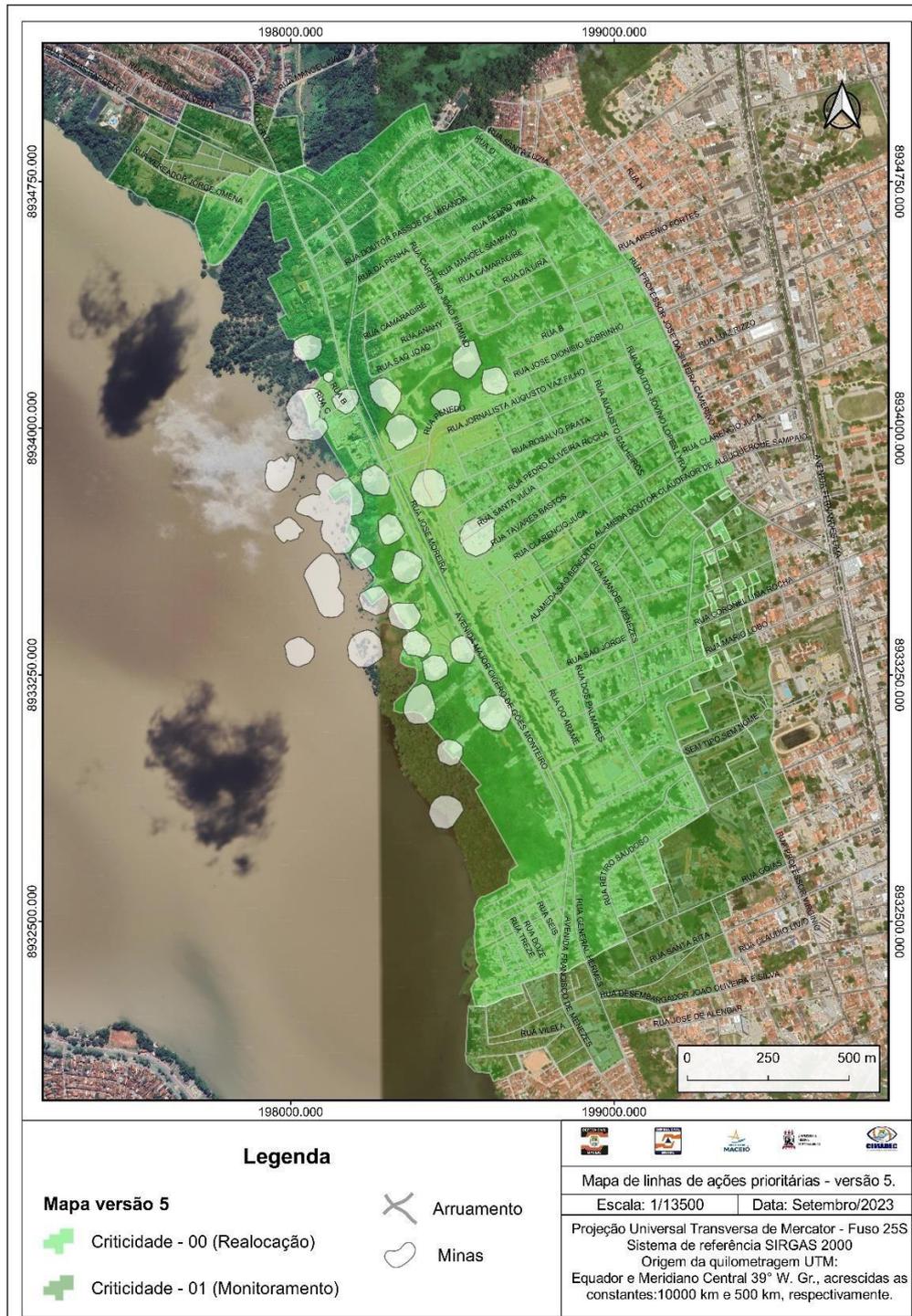
Figura 21 - Alterações no Mapa versão 4.



Elaboração: CIMADEC (2023).

Assim, conforme dados e análises apresentadas neste relatório, a seguir é apresentado o Mapa de Linhas de Ações Prioritárias Versão 05.

Figura 22 - Mapa De Linhas de Ações Prioritárias (versão 5).



Elaboração: CIMADEC (2023).

8. CONCLUSÕES

A atividade periódica de atualização do mapa é apenas mais um passo de um processo de reavaliação do ponto de vista científico e metodológico. As observações dos dados de deslocamento destacam a evolução espaço-temporal gradual do processo de subsidência e, também mostram uma constante movimentação do terreno, no sentido NNW, devido ao fenômeno de instabilidade do terreno ser dinâmico, isto é, ter suas características mutáveis ao longo do tempo, não é possível fazer uma avaliação definitiva.

Por tanto, ainda não é possível prever a duração futura desse processo, há casos no mundo que processos semelhantes perduram por décadas; desta forma não há como se trabalhar com uma única previsão de desenvolvimento, mas diversos cenários, tais como o aumento ou não da área atingida; aceleração brusca ou manutenção da velocidade atual, duração de anos ou décadas, união de múltiplas cavernas e formação de “*sinkholes*” de dimensões desconhecidas.

Não obstante, cabe a continuidade de ações de prevenção e monitoramento e salienta-se também que as recomendações e áreas constatadas nessa nota, são decorrentes da situação atual. E, por fim, recomenda-se a continuidade na realização de procedimentos para solucionar a problemática da região.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCMS (2020) Análise da área de influência da subsidência. Consultoria especializada contratada da Braskem S.A.
- BRASIL, Ministério da Integração Nacional (2016). Instrução Normativa Nº 2, de 20 de dezembro de 2016. Diário Oficial da União, publicado em: 22/12/2016, Edição: 245, Seção: 1, Página: 60.
- BRASKEM S. A. (2019, 2020). Documentação do Processo Minerário nº27225.006648/1965-86 junto à ANM – Agência Nacional de Mineração Disponíveis em: https://sei.anm.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_processo_pesquisar.php?acao_externa=protocolo_pesquisar&acao_origem_externa=protocolo_pesquisar&id_orgao_acesso_externo=0
- CPRM (2019 A). Estudos sobre a Instabilidade do Terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL). Relatórios Técnicos. Volume I. L. Geofísica- Sismologia. Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia. <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/21134>
- CPRM (2019 B). Estudos sobre a Instabilidade do Terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL). Relatórios Técnicos. Volume II. L. Geofísica- Sismologia. Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/21134>
- Geoapp s.r.l (2020). Análise de velocidade inversa das deformações do solo na área de Maceió, por meio de dados de satélite Insar, tradução nº 10904, 2020, Consultores especializados contratados da Braskem S.A.
- Institut Für Gebirgsmechanik GmbH – IFG (2019). Opinião especializada, Campo de caverna de Maceió, recomendações. Braskem S.A.
- Norwegian Geotechnical Institute - NGI (2020). Maceió subsidence study – Analysis of areas of potential building damage in the neighbourhood of the salt cavern field. Doc No 0/2020-09-14. Consultoria especializada contratada da Braskem S.A.
- MICD (2007). Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Carvalho, S.C.; de Macedo, S.E.; Ogura, T.A. (coord.). ISBN 978-85-60133-81-9. 176 p.p. Brasília. Disponível em: <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/mapeamento.pdf>
- Sallum F., W. (2009). Subsidência e Colapso em Terrenos Cársticos. Capítulo 7. Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir. Tominaga, L. K.; Santoro, J; Amaral, R. do (Ed.). ISBN 978-85-87235-09-1. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2010/03/lancado-livro-sobre-desastres-naturais-no-site-do-ig/>
- De Castro, A. L. C. (1998). Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres. Ministério da integração nacional, Secretaria nacional de defesa civil. 2da Edição. 173 p. Disponível em: <http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/GLOSSARIO-Dicionario-Defesa-Civil.pdf>
- Ostadhassan, M., & Tamimi, N. (2014). Mechanical behavior of salt rock at elevated temperature. In 48th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. OnePetro.
- Cooper, A. H. (2020). Geological hazards from salt mining, brine extraction and natural salt dissolution in the UK. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 29(1), 369-387.
- Waltham, T., Bell, F. G., Culshaw, M. G., Knez, M., & Slabe, T. (2005). Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction (Vol. 382). Berlin: Springer.
- BRASKEM S. A. (2019, 2020). Documentação do Processo Minerário nº 27225.006648/1965-86 junto à ANM – Agência Nacional de Mineração Disponíveis em: https://sei.anm.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_processo_pesquisar.php?acao_externa=protocolo_pesquisar&acao_origem_externa=protocolo_pesquisar&id_orgao_acesso_externo=0
- Institut Für Gebirgsmechanik GmbH – IFG (2019). Opinião especializada, Campo de caverna de Maceió, recomendações. Braskem S.A.

- Norwegian Geotechnical Institute - NGI (2020). Maceió subsidence study – Analysis of areas of potential building damage in the neighbourhood of the salt cavern field. Doc No 0/2020-09-14. Consultoria especializada contratada da Braskem S.A.
- ACCMS (2020) Análise da área de influência da subsidência. Consultoria especializada contratada da Braskem S.A.
- BRASIL, Ministério da Integração Nacional (2016). Instrução Normativa Nº 2, de 20 de dezembro de 2016. Diário Oficial da União, publicado em: 22/12/2016, Edição: 245, Seção: 1, Página: 60.
- Silva, L. R., Lourenço, E. S., Vieira, L. M., & Souza, E. E. S. (2016). SUBSIDÊNCIA DO SOLO: O REFLEXO DA EXTRAÇÃO DE PETRÓLEO NA SUPERFÍCIE. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, 3(3), 95-95.
- Boddy, C. (2012). The Nominal Group Technique: An aid to Brainstorming ideas in research. *Qualitative Market Research: An International Journal*, 15(1). <https://doi.org/10.1108/13522751211191964>
- Harvey, N., & Holmes, C. A. (2012). Nominal group technique: An effective method for obtaining group consensus. *International Journal of Nursing Practice*, 18(2). <https://doi.org/10.1111/j.1440-172X.2012.02017.x>
- Spellman, F. R. (2017). Land subsidence mitigation aquifer recharge using treated wastewater injection. In *Land Subsidence Mitigation: Aquifer Recharge Using Treated Wastewater Injection*. <https://doi.org/10.1201/9781315110943>
- USGS, Baum, R. L., Galloway, D. L., & Harp, E. L. (2008). Landslide and Land Subsidence Hazards to Pipelines. *Open-File Report 2008-1164*, 1164.
- Whittaker, B. N., & Reddish, D. J. (1990). Subsidence: occurrence, prediction and control (Developments in Geotechnical Engineering, 56). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 27(2). [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(90\)95372-8](https://doi.org/10.1016/0148-9062(90)95372-8)
- Zhou, A., Li, Z., Yin, C., & Yuan, Y. (2015). *State-of-the-art in the Study of Urban Land Subsidence*. <https://doi.org/10.2991/msetasse-15.2015.184>