



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CARTOGRÁFICAS

ISABELA COUTINHO MARCHIORI

**DETECÇÃO E ANÁLISE DE MOVIMENTAÇÃO
ESTRUTURAL A PARTIR DOS EFEITOS DO
MULTICAMINHO GNSS**

Presidente Prudente – SP

2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CARTOGRÁFICAS

ISABELA COUTINHO MARCHIORI

**DETECÇÃO E ANÁLISE DE MOVIMENTAÇÃO
ESTRUTURAL A PARTIR DOS EFEITOS DO
MULTICAMINHO GNSS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para a obtenção do título de Mestre em Ciências Cartográficas.

Orientadora:
Dra. Daniele Barroca Marra Alves

Coorientadora:
Dra. Eniuce Menezes de Souza

Presidente Prudente – SP

2021

M317d

Marchiori, Isabela Coutinho

Detecção e análise de movimentação estrutural a partir dos efeitos do multicaminho GNSS / Isabela Coutinho Marchiori. -- Presidente Prudente, 2022

124 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientadora: Daniele Barroca Marra Alves

Coorientadora: Eniuce Menezes de Souza

1. Movimentação estrutural. 2. Multicaminho. 3. GNSS. 4. Wavelet. 5. Média Móvel. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

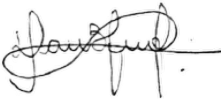
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Detecção e análise de movimentação estrutural a partir dos efeitos do multicaminho GNSS

AUTORA: ISABELA COUTINHO MARCHIORI

ORIENTADORA: DANIELE BARROCA MARRA ALVES

COORIENTADORA: ENIUCE MENEZES DE SOUZA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências Cartográficas, área: Aquisição, Análise e Representação de Informações Espaciais pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. DANIELE BARROCA MARRA ALVES (Participação Virtual)
Departamento de Cartografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

VIDEOCONFERÊNCIA

Prof. Dr. JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO (Participação Virtual)
Departamento de Cartografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

VIDEOCONFERÊNCIA

Prof. Dr. PAULO SÉRGIO DE OLIVEIRA JÚNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Geomática / Universidade Federal do Paraná

Presidente Prudente, 12 de novembro de 2021

DADOS CURRICULARES

Isabela Coutinho Marchiori

Nascimento: 16/12/1996 – Presidente Prudente/ SP

Filiação: Valdecir Marchiori
Silvana Coutinho Marchiori

2015-2018: Graduação
Bacharelado em Engenharia Civil
Faculdade do Oeste Paulista - UNOESTE

2019-2021: Pós-Graduação
Mestrado em Ciências Cartográficas
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus de Presidente Prudente/SP

AGRADECIMENTOS

Desejo demonstrar os meus sinceros agradecimentos a todos que colaboraram com o desenvolvimento desse trabalho, em especial:

A Deus, que sempre me guiou pelos melhores caminhos, pois sem sua ajuda não conseguiria seguir em frente para alcançar meus objetivos.

A minha mãe, Silvana, pelo total apoio e ao meu pai, Valdecir, por todo suporte e pela ajuda na realização do experimento, fazendo a montagem do mesmo. Ao meu noivo, Renato, por toda a ajuda e paciência. Aos meus irmãos, Maisa e Ygor, ao meu cunhado Wesley e as minhas cunhadas Mayara e Viviane por sempre me apoiarem e estarem sempre ao meu lado.

A minha orientadora e coorientadora, Daniele e Eniuce, pela paciência, atenção e por todo conhecimento transmitido a mim.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC), à Universidade Estadual Paulista (UNESP) pela infraestrutura fornecida.

Aos meus amigos, por sempre me apoiarem e estarem comigo em todos os momentos: Isabel, Mayumi, Eliane, Lilliany, Miguel, Guilherme, Géssica, Gui, Fran, Victor, Bruno, Gustavo e Leticia.

Aos meus colegas do PPGCC pelas conversas, confraternizações e troca de conhecimento, contribuindo na execução dos projetos de pesquisa e no convívio agradável.

Ao Ítalo por sempre me socorrer quando eu tentava trabalhar com o simulador e posteriormente com a obtenção dos dados GNSS.

E aos meninos, Victor, Gustavo, Ítalo, Mario e Weverton por me ajudarem a instalar a estrutura do experimento.

A todos os meus professores, desde o ensino fundamental até a pós-graduação, que sempre estiveram dispostos a transmitirem seus conhecimentos e mostrar que a educação transforma o mundo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

EPÍGRAFE

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou o teu Deus: eu te esforço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça.”

Isaías 41:10

RESUMO

Nos últimos anos o número de tragédias devido a colapsos estruturais tem aumentado significativamente. Prédios, barragens, pontes, chegam a um ponto crítico de resistência causando riscos de perdas materiais, humanas e ambientais. Por esse motivo, se vê a necessidade da utilização de métodos que possam verificar a movimentação estrutural, de modo a monitorar e prevenir tais acontecimentos. O GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) tem grande destaque no monitoramento estrutural, porém o mesmo apresenta limitação quanto à instalação de receptores em algumas estruturas, devido ao estado da mesma ou pelo grau de complexidade para a instalação. Neste sentido, pesquisas que investigam a possibilidade de detecção de movimentação estrutural a partir do multicaminho e análise em multiescala *wavelets* têm surgido na literatura. Essa dissertação busca estender as pesquisas anteriormente iniciadas, com o objetivo de averiguar a capacidade de detecção da movimentação estrutural por meio do efeito do multicaminho. Para tal, foi realizado um experimento de campo visando simular três diferentes movimentações (deslocamento, inclinação e rotação) com diferentes magnitudes, as quais são mais comuns em estruturas de grande porte. A metodologia proposta compara as séries temporais do multicaminho por meio de três métodos de análise (Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel), a fim de verificar a repetibilidade do efeito, uma vez que detectada alteração no padrão das séries temporais, pode-se afirmar que houve movimentação na estrutura. Nos resultados comprovou-se que a Análise *Wavelet* foi mais eficiente na detecção de movimentação, já que essa técnica permite uma melhor identificação do efeito do multicaminho proveniente da estrutura, sendo possível detectar até 1 cm de deslocamento e 1° de inclinação e rotação com uma porcentagem de acerto de até 83,33%, 60% e 75%, respectivamente.

Palavras-chave: Movimentação estrutural, Multicaminho, GNSS, *Wavelet*, Média Móvel.

ABSTRACT

In recent years, tragedies resulting from structural collapse have increased significantly. Usually, these collapses occur when the structures (buildings, dams, bridges) reach the critical point of resistance, causing material, environmental and life losses. For this reason, it is essential to develop methods that can verify structural movement, making possible to monitor and prevent such events. The GNSS (Global Navigation Satellite Systems) has a great prominence in structural monitoring. However, it has limitation regarding the installation of receivers in some structures, due to the structural state or even the complexity degree. In this sense, in this research we intend to continue previously developed studies, aiming to verify the capability of detecting structural movements based on the multipath effect. In the experiments, we built an experimental field and simulated three different movements (displacement, inclination and rotation) with different magnitudes, which are common in large structures. The proposed method compares the multipath time series considering three analysis approaches: Raw Residues, Wavelet Analysis and Moving Average. These approaches enable to verify the repeatability of the effect. The occurrence of changes in the time series pattern can indicate that movement has occurred in the structure. The results showed that Wavelet Analysis was more efficient in detecting movement, presenting a better identification of the multipath effect, being possible to detect up to 1 cm of displacement and 1° of inclination and rotation with a hit percentage of up to 83.33%, 60%, and 75%, respectively.

Key-words: Structural movement, Multipath, GNSS, Wavelet, Moving Average.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Possibilidade de reflexão e difração de sinais de satélites GNSS que podem chegar a antena do receptor causando o efeito do multicaminho. | 30 |
| Figura 2 – Posicionamento relativo..... | 35 |
| Figura 3 – Simples Diferença..... | 36 |
| Figura 4 – Dupla Diferença..... | 37 |
| Figura 5 – Wavelet de Haar | 41 |
| Figura 6 – Wavelet de Daubechies ψ com $p = 2, 4, 6$ e 10 | 42 |
| Figura 7 – Wavelet Symmlets ψ com $p = 4, 5, 6$ e 10 | 42 |
| Figura 8 – Transformada Wavelet Não-Decimada (Decomposição) | 44 |
| Figura 9– Fluxograma de execução da pesquisa..... | 50 |
| Figura 10– Esquematização (a) e realização (b) do experimento. | 51 |
| Figura 11 – Movimento de deslocamento..... | 52 |
| Figura 12– Movimento de inclinação. | 53 |
| Figura 13– Movimento de rotação. | 53 |
| Figura 14 – Ambiente onde foi realizado o experimento..... | 55 |
| Figura 15– Skyplot do local do experimento de campo | 56 |
| Figura 16 – Comparativo entre os resíduos da DD 20 e os demais satélites do cenário D1-I(1), para as 6 máscaras de elevação ($5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$), para a pseudodistância..... | 60 |
| Figura 17 – Comparativo entre os resíduos da DD 20 e os demais satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) do cenário D1-I(2), para as 6 máscaras de elevação ($5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$), para a pseudodistância. | 61 |
| Figura 18 – Séries temporais dos RB para cada satélite (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) em cada cenário (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3), utilizando os dois dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul)..... | 62 |
| Figura 19 – Correlação de Spearman do método dos RB para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) em cada um dos cenários (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3). Com a separação pelo valor de corte do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha) | 63 |
| Figura 20 – Escala wavelet das séries temporais dos RB do cenário D1-I (1 e 2) em cada uma das bases wavelets analisadas (Haar, Db4, Db8 e Sm8), para cada um dos satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) | 64 |
| Figura 21 – Análise das escalas wavelet das séries temporais do cenário D1-I (1 e 2), para o satélite 21, em cada uma das bases wavelets analisadas..... | 65 |

Figura 22 – Séries temporais do multicaminho obtidas a partir da AW do satélite 21 considerando diferentes bases *wavelet* (Haar, Db4, Db8 e Sm8), para os cenários D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3, utilizando os dois dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul).66

Figura 23 – Séries temporais da AW para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) em cada base *wavelet* (Haar, Db4, Db8 e Sm8), para os cenários D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3, utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul). 67

Figura 24 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada base *wavelet* (Haar, Db4, Db4 e Sm8) para o satélite 21 em cada um dos cenários (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3). Destaca-se valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha).....68

Figura 25 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada base *wavelet* (Haar, Db4, Db4 e Sm8) para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3). Destaca-se valor de corte do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha). 69

Figura 26 – Séries temporais da MM para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) em cada uma das 5 janelas (5, 10, 15, 30 e 60 segundos) para cada um dos cenários (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul). 70

Figura 27 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada uma das 5 janelas da MM (5, 10, 15, 30 e 60 seg) para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3). Destaca-se valor de corte do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha). 71

Figura 28 – Verificação do deslocamento por meio do IC para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26, e 29) nos métodos dos RB, AW e MM, para os deslocamentos (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm). Destacando os deslocamentos que se sobrepõe ao IC base (círculo vermelho). 75

Figura 29 – Séries temporais para os três métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 16, 21, 26 e 29) em cada cenários (D3-I, D3-10, D3-5, D3-4 e D3-3), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul). 77

Figura 30 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada um dos métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (D3-I, D3-10, D3-5, D3-4 e D3-3). Destaca-se valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha). 78

Figura 31 – Verificação por meio do IC para todos os satélites (sat 16, 21, 26, e 29) no método da AW e MM para os deslocamentos (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm). Destacando os deslocamentos que pertencem ao pertencem ao IC base (círculo vermelho). 80

| | |
|---|----|
| Figura 32 – Séries temporais para os três métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26 e 29,) em cada cenários (I4-I, I4-5, I4-4, I4-3 e I4-2), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul). | 82 |
| Figura 33 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada um dos métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (I4-I, I4-5, I4-4, I4-3 e I4-2). Destaca-se valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha). | 83 |
| Figura 34 – Verificação por meio do IC para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26, e 29) nos métodos de RB, AW e MM para as inclinações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1°. Destacando os deslocamentos que pertencem ao pertencem ao IC base (círculo vermelho). | 85 |
| Figura 35 – Séries temporais para os três métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26 e 29,) em cada cenários (R1-I, R1-5, R1-4 e R1-3), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul). | 87 |
| Figura 36 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada um dos métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (R1-I, R1-5, R1-4 e R1-3). Destaca-se em vermelho valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman. | 88 |
| Figura 37 – Verificação da rotação por meio do IC para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26, e 29) nos métodos de RB, AW e MM para os movimentos de 5°, 4°, 3°, 2° e 1°. Destacando os deslocamentos que pertencem ao pertencem ao IC base (círculo vermelho). | 90 |
| Figura 38 – Séries temporais para os três métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 16, 21, 26 e 29,) em cada cenários (R3-I, R3-5, R3-4 e R3-3), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul). | 91 |
| Figura 39 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada um dos métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (R3-I, R3-5, R3-4 e R3-3). Destaca-se em vermelho valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman. | 92 |
| Figura 40 – Verificação da rotação por meio do IC para todos os satélites (sat 16, 21, 26, e 29) nos métodos de Análise <i>Wavelet</i> e Média Móvel para os movimentos de 5°, 4°, 3°, 2° e 1°. Destacando os deslocamentos que pertencem ao pertencem ao IC base (círculo vermelho). | 93 |

| | |
|---|----|
| Figura 41 – Séries temporais para os três métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10, 16, 21 e 29,) em cada cenários (R4-I, R4-5, R4-4 e R4-3), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul)..... | 94 |
| Figura 42 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada um dos métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10,16, 21 e 29) em cada um dos cenários (R4-I, R4-5, R4-4 e R4-3). Destaca-se em vermelho valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman. | 95 |
| Figura 43 – Verificação da rotação por meio do IC para todos os satélites (sat 10, 16, 21 e 29) nos métodos de RB, AW e MM para os movimentos de 5°, 4°, 3°, 2° e 1°. Destacando os deslocamentos que pertencem ao pertencem ao IC base (círculo vermelho)..... | 97 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GNSS | 29 |
| Tabela 2 – Famílias de <i>wavelet</i> de suporte compacto | 40 |
| Tabela 3 – Satélites que possuem o coeficiente de correlação Spearman superior a 0,4 em cada método, RB em azul, AW em vermelho e MM em verde, verificando cada cenário (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3)..... | 72 |
| Tabela 4 – Deslocamentos analisados (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26, 29) para cada método RB em azul, AW em vermelho e MM em verde..... | 73 |
| Tabela 5 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação, para cada deslocamentos analisados (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm) em cada satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26, 29) para cada método RB em azul, AW em vermelho e MM em verde. Destacados em vermelhos os deslocamentos que não foram detectados..... | 74 |
| Tabela 6 – Deslocamentos analisados (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 16, 21, 26, 29) para os métodos de AW em vermelho e MM em verde..... | 79 |
| Tabela 7 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação para os deslocamentos de 10, 5, 4, 3, 2 e 1cm por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 16, 21, 26, 29) para os métodos de AW em vermelho e MM em verde. Destacando-se em vermelho os valores inferiores a 0,3. | 79 |
| Tabela 8 – Inclinações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21, 26, 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e Média Móvel (verde)..... | 84 |
| Tabela 9 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação, para as inclinações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21, 26, 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e Média Móvel (verde). Destacando-se em vermelho os valores inferiores a 0,3. | 84 |
| Tabela 10 – Rotações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21, 26, 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e MM (verde). | 89 |
| Tabela 11 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação para as rotações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21, 26, 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e MM (verde). Destacando-se em vermelho os valores inferiores a 0,3. | 89 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 12 – Rotações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 16, 21, 26, 29) para os dois métodos (AW (vermelho) e MM (verde)). | 92 |
| Tabela 13 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação para as rotações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 16, 21, 26, 29) para os métodos de AW (vermelho) e MM (verde). Destacando-se em vermelho os valores inferiores a 0,3. | 93 |
| Tabela 14 – Rotações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21 e 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e MM (verde). | 95 |
| Tabela 15 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação para as rotações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21 e 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e MM (verde). Destacando-se em vermelho os valores inferiores a 0,3. | 96 |
| Tabela 16 – Verificação em porcentagem detecção da movimentação para cada um dos três métodos propostos (RB, AW e MM). | 98 |
| Tabela 17 – Verificação da detecção da movimentação para cada uma das amplitudes possíveis (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm) para os deslocamentos (D1 e D3). | 99 |
| Tabela 18 – Verificação da detecção da movimentação para cada uma das amplitudes possíveis (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) para a inclinação (I4). | 99 |
| Tabela 19 – Verificação da detecção da movimentação para cada uma das amplitudes possíveis (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) para as rotações (R1, R3 e R4). | 99 |
| Tabela 20 – Movimentos detectados para cada um dos métodos analisados (RB, AW e MM) | 100 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------|---|
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| AP-CRPA | <i>Advanced Pinwheel Compact Controlled Reception Pattern Antenna</i> |
| AW | <i>Análise Wavelet</i> |
| C | Canário |
| cm | Centímetro |
| D | Deslocamento |
| <i>d</i> | Dia |
| Db4 | Daubechies com 4 momentos nulos |
| Db8 | Daubechies com 4 e 8 momentos nulos |
| DD | Dupla Diferença |
| DGPS | <i>Differential Global Positioning System</i> |
| DLLs | <i>Dynamic Link Library</i> |
| DOD | <i>Department of Defense</i> |
| EWS | <i>Evolutionary Wavelet Spectrum</i> |
| FCT | Faculdade de Ciências e Tecnologia |
| GIPSY | <i>Genomic Island Prediction Software</i> |
| GLONAS | <i>Global Positioning System</i> |
| GNSS | <i>Global Navigation Satellite System</i> |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> |
| I | Inclinação |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IC | Intervalo de confiança |
| INCRA | Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária |
| LSW | <i>Locally Stationary Wavelet</i> |
| M | Movimento |
| m | Metro |
| MBOC | Multiplexed Binary Offset Carrier |
| MM | Média Móvel |
| NBR | Norma Técnica |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| R | Rotação |
| <i>r</i> | Receptor |

| | |
|------|---|
| RB | Resíduos Brutos |
| RBMC | Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo |
| RTK | <i>Real Time Kinematic</i> |
| sat | Satélite |
| SCA | Sistema de Controle Ativo |
| SD | Simple Diferença |
| seg | Segundos |
| SHM | Structural Health Monitoring |
| Sm8 | Symmlets com 8 momentos nulos |
| TF | Transformada de Fourier |
| TW | Transformada <i>Wavelet</i> |
| TWD | Transformada <i>Wavelet</i> decimada |
| TWND | Transformada <i>Wavelet</i> não decimada |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 20 |
| 1.1 | Objetivos | 23 |
| 1.2 | Justificativa | 23 |
| 1.3 | Estrutura de Dissertação | 24 |
| 2 | SISTEMA DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES – GNSS | 26 |
| 2.1 | GPS | 26 |
| 2.2 | Observáveis GNSS | 27 |
| 2.2.1 | Erros envolvidos nas observáveis GNSS | 29 |
| 2.3 | Posicionamento por GNSS | 34 |
| 2.3.1 | Posicionamento Relativo | 35 |
| 3 | WAVELET | 39 |
| 3.1 | Características das <i>Wavelets</i> | 40 |
| 3.1.1 | <i>Wavelet</i> de Haar | 41 |
| 3.1.2 | <i>Wavelet</i> de Daubechies | 41 |
| 3.1.3 | <i>Wavelet</i> Symmlets | 42 |
| 3.2 | Transformada <i>Wavelet</i> | 42 |
| 3.2.1 | Transformada <i>Wavelet</i> não Decimada (TWND) | 43 |
| 3.3 | Análise multiescala de séries temporais | 44 |
| 3.3.1 | Espectro <i>wavelet</i> evolucionário | 44 |
| 3.3.2 | Estimação do EWS a partir do periodograma <i>wavelet</i> | 46 |
| 4 | CORRELAÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS | 47 |
| 4.1 | Correlação de Pearson | 47 |
| 4.2 | Correlação de Spearman | 48 |
| 5 | METODOLOGIA | 49 |
| 5.1 | Experimento e obtenção dos dados | 51 |
| 5.2 | Processamento dos dados | 54 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| 5.3 | Séries de multicaminho | 56 |
| 5.4 | Detecção de movimentação..... | 57 |
| 6 | RESULTADOS..... | 59 |
| 6.1 | Deslocamento (D)..... | 59 |
| 6.1.1 | D1 – Deslocamento Receptor 1 | 59 |
| 6.1.2 | D3 – Deslocamento Receptor 3 | 75 |
| 6.2 | Inclinação (I)..... | 80 |
| 6.2.1 | I4 – Inclinação Receptor 4..... | 81 |
| 6.3 | Rotação (R) | 85 |
| 6.3.1 | R1 – Rotação Receptor 1 | 86 |
| 6.3.2 | R3 – Rotação Receptor 3 | 90 |
| 6.3.3 | R4 – Rotação Receptor 4..... | 94 |
| 6.4 | Análise Geral..... | 97 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 101 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 103 |
| | APÊNDICE A - COMPARATIVO ENTRE AS BASES WAVELETS | 106 |
| | APÊNDICE B – CÁLCULO DA DIFERENCIAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE DIAS CONCECUTIVOS E NÃO CONSECUTIVOS..... | 111 |
| | APÊNDICE C – CÁLCULO DO INTERVALO DE CONFIANÇA | 117 |

1 INTRODUÇÃO

Obras de grande porte, sendo estas pontes, prédios, barragens, portos e ductos, passam pelo processo de deformação, o qual pode ser descrito como a mudança de configuração sofrida pela mesma (estado inicial e final da geometria do corpo) ao serem submetidas a ações de forças externas ou de tensões (VALLIPAN, 1981). Na maioria das vezes essas deformações não indicam qualquer problema na estrutura, porém em situações mais adversas a mesma pode levá-la ao colapso, gerando diversas perdas (humanas, ambientais e materiais).

As movimentações estruturais são diferenciadas entre deformação com movimento lento ou com movimentos cíclicos. O primeiro termo refere-se às deformações ocorrentes ao longo da utilização, sendo geradas pela dilatação ou retração dos materiais utilizados, devido à variação das ações variáveis da natureza (como exemplo a temperatura), podendo ou não gerar patologias, como fissuras, as quais não apresentam riscos a integridade da estrutura. Já as deformações com movimentos cíclicos apresentam maiores variações devido as vibrações causadas por forças externas, como o tráfego de veículos em pontes, ou até mesmo as correntes de ar em torres de TV (VALLIPAN, 1981; ARAÚJO NETO, 2017).

Em geral, essas movimentações são devidamente calculadas nos projetos iniciais, de modo que a estrutura seja dimensionada de forma correta para suportar tais alterações ao longo de sua vida útil. Porém, em casos de erros de cálculos, de execução ou de utilização de materiais de má qualidade, essa resistência pode ser comprometida, ocasionando sinistros na edificação (VALLIPAN, 1981). A grosso modo, o colapso total é oriundo de um colapso progressivo, originado a partir de uma falha da resistência em uma parte específica da estrutura, a qual decresce severamente se espalhando por todo o sistema. Neste momento, a movimentação se acentua sendo primordial a detecção e a verificação para que se possa realizar as devidas correções, a fim de minimizar maiores complicações (IM, HURLEBAUS e KANG, 2013).

Nos dias atuais, levando em consideração o aumento da complexidade das construções, o contínuo monitoramento se torna cada vez mais presente, visando estender a vida útil e eficiência relacionados à utilização da estrutura. Nesse sentido, surge o termo *Structural Health Monitoring- SHM* (Monitoramento da Saúde Estrutural), o qual consiste no monitoramento contínuo de uma estrutura, com o propósito de apresentar relatórios atualizados das patologias, para que os reparos necessários sejam feitos (MASCIOTTA,

RAMOS e LOURENÇO, 2017). Estes dados prévios facilitam o processo de manutenção, minimizando custos e prolongando a vida útil da estrutura em questão. A constante fiscalização de uma estrutura também auxilia em eventos extremos, como incêndios e colisões (no caso de pontes ou viadutos), visto que os dados fornecidos previamente auxiliam a fundamentar juízos sobre as consequências, fazendo com que se possa obter uma resposta mais rápida após uma desventura (SANTOS, 2014; MASCIOTTA, RAMOS e LOURENÇO, 2017).

Nesse cenário, diversos métodos para a detecção de movimentação estrutural foram desenvolvidos ao longo dos anos, com a intenção de suprir essa necessidade. Dentre eles destaca-se a possibilidade de utilização do GNSS (*Global Navigation Satellite System*), em que se instala um ou mais receptores na estrutura ou próximo a ela (LOVSE, 1995; DODSON; MENG; ROBERTS, 2001; MOSCHAS e STIROS, 2014; LAROCCHA, 2015; SOUZA e NEGRI, 2017). Além disso, é possível a adição de uma segunda técnica (acelerômetro, inclinômetro, anemômetro e outros sensores) juntamente com os receptores (SANTOS, 2019).

Lovse (1995), um dos pioneiros no estudo de monitoramento estrutural, apresentou uma abordagem no qual se buscava a detecção da movimentação dinâmica de torres altas, decorrentes principalmente pela força do vento. Para isso ele utilizou um receptor GPS (*Global Positioning System*) instalado no alto de uma torre (*Calgary Tower*, Canadá), sendo utilizado uma antena *choke ring* para a minimização do efeito do multicaminho. Em seus estudos foi possível realizar a detecção de uma variação de até 15 mm na componente norte-sul. Já em 2001, Chaves apresentou uma metodologia a qual submetia os dados GPS ao processamento do programa científico GIPSY. O objetivo da pesquisa era obter a repetibilidade no monitoramento de pontos fixos a estruturas, além de simular o deslocamento dos pontos a fim de verificar essa alteração com o uso de dados GPS. Deste modo o mesmo pôde comprovar a eficiência do uso desse método tanto para edifícios como para pontes, porém o mesmo não é indicado para deslocamentos inferiores a 10mm, além de se fazer necessário a instalação de um ou mais receptores na estrutura a ser analisada.

Em geral os métodos que envolvem o GNSS possuem como principal barreira o efeito do multicaminho, de modo que os autores buscam alternativas e técnicas que visam a exclusão do mesmo para obtenção de uma melhor acurácia no posicionamento (LOVSE, 1995; DODSON, MENG e ROBERTS, 2001; CHAVES, 2001; MOSCHAS e STIROS, 2014). Contudo, o multicaminho é de difícil modelagem, sendo assim o mesmo pode continuar presente mesmo após o processamento e a minimização dos demais erros. Esse

efeito é causado pela reflexão do sinal em superfícies próximas ao receptor, ou no próprio satélite (MONICO, 2008). Deste modo, pode-se dizer que a principal dificuldade na modelagem do efeito é a sua correlação com o ambiente, fazendo com que o mesmo se modifique dependendo do meio em que o receptor está inserido. Por essa razão é necessário um maior cuidado na escolha do local para a coleta dos dados, com o objetivo de minimizar este efeito.

No entanto, novas metodologias trazem a possibilidade de utilizar o multicaminho para estudar a movimentação estrutural, uma vez que nesse método não se faz necessária a instalação de receptores na estrutura, minimizando assim os riscos quando se tem estruturas já comprometidas (DING et al, 1999; SOUZA e NEGRI, 2017).

Além disso, dois pontos se destacam na utilização do multicaminho como fonte de dados. O primeiro é a correlação com o meio, como apresentado anteriormente esse também é a principal dificuldade para a sua mitigação. Embora diversos trabalhos poderiam ser citados para mostrar essa relação, uma pesquisa realizada por Polezel e Monico (2004) demonstra que a amplitude do efeito é inversamente proporcional à distância perpendicular entre o objeto refletor e a antena do receptor, e diretamente proporcional ao coeficiente de reflexão do material do objeto refletor. O segundo ponto é a repetibilidade em dias siderais consecutivos, desta forma, ao se examinar o sinal ou a série temporal do multicaminho, alterações presentes nos mesmos podem ser um indicativo de movimentação, uma vez que o ambiente não tenha sofrido mudança (SOUZA e NEGRI, 2017).

Para a realização dessa metodologia é necessário o conhecimento do efeito do multicaminho, o qual pode ser obtido partindo de processamentos dos sinais GNSS, sendo este “eliminados” junto aos resíduos. Como o efeito do multicaminho possui comportamento não estacionário, Negri (2012) apresenta a viabilidade da análise *wavelet* para esse tipo de aplicação, sendo que a mesma é capaz de realizar uma verificação em tempo e frequência simultaneamente. Nessa pesquisa, o estudo da detecção estrutural se fez pelo meio da análise *wavelet* das séries temporais do efeito do multicaminho, sendo empregada a Transformada *Wavelet* Não Decimada (TWND) a qual apresentou melhor comportamento quando comparada com a Transformada *Wavelet* Decimada (TWD) para esse tipo de aplicação. No entanto, o experimento realizado foi bastante preliminar e não permitiu análise da amplitude nem dos tipos de movimentos que poderiam ser detectados. Neste sentido, esta pesquisa visa estender e investigar a sensibilidade de detecção de movimentos em estruturas a partir de séries temporais de multicaminho e análise *wavelets* e, conseqüentemente, possibilitar a

detecção de movimentações ainda em fase inicial para uma maior facilidade na recuperação da resistência estrutural, minimizando os riscos e perdas inerentes.

1.1 Objetivos

A presente pesquisa teve como objetivo principal a detecção da movimentação estrutural por meio do multicaminho, fazendo uso da Análise *Wavelet*, utilizando a TWND, além de comparar a detecção obtida pelos métodos de Resíduos Brutos e Média Móvel. Com isso buscou-se uma detecção mais precisa além de se verificar movimentos de pequenas magnitudes, de forma que seja viável tanto em termos práticos quanto em termos econômicos.

Para se alcançar tal objetivo foi desenvolvido um experimento que representou diferentes tipos e magnitudes de movimentos de uma estrutura, de modo a obter dados para verificar o menor deslocamento possível com a metodologia empregada. Com esse propósito, compareceram os seguintes objetivos específicos:

- Obter e analisar os dados de campo, visando uma melhor representação dos movimentos ocorrentes em estruturas de grande porte;
- Verificar qual a melhor escala *wavelet* para a análise do multicaminho, comparando com o distanciamento entre receptor e estrutura;
- Detectar o padrão *wavelet* que melhor represente a movimentação, diminuindo os falsos alarmes;
- Verificar a possibilidade de análise no domínio do tempo;
- Verificar a capacidade do método proposto em analisar os diferentes tipos de movimentação que a estrutura sofreu.

1.2 Justificativa

Os diversos casos de colapsos estruturais ocorrentes nos últimos anos fazem com que as atenções se voltem para o cuidado da saúde estrutural, levando em consideração a importância dos reparos preventivos, o qual ocasiona uma maior segurança ao usuário e ao meio em que a mesma está implantada. Em 2018 o jornal Estadão emitiu uma reportagem na qual apresentou algumas das maiores tragédias envolvendo movimentação e colapso estrutural no último século. O mesmo relata milhares de perdas devido as falhas ocorridas em barragem, pontes e edifícios, em diversos países como Estados Unidos (1928, 1987 e 2007), Canadá (1907), Coreia do Sul (1995), Bangladesh (2013) e Itália (2018), os quais fazem parte da uma crescente lista ao passar dos anos.

No ano de 2019, três anos após a tragédia de Mariana, o Brasil sofre com mais um descuido de técnicos e responsáveis. O rompimento da barragem de Brumadinho, assim como

em centenas de barragens pelo mundo, foi proporcionado pela sobrecarga nela imposta fazendo com que a mesma chegue em seu limite máximo de tensão. No caso em questão o descuido acarretou em grande perda material e um vasto desastre ambiental, além das 270 vítimas fatais (ANA, 2020).

Desde 2010 a Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010) traz como alguns dos seus objetivos a promoção do monitoramento e do acompanhamento das ações de seguranças que devem ser empregadas pelos responsáveis de barragens, além de fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos (Art. 3, parágrafo 3 e 7). Deste modo cada órgão fiscalizador é responsável por fornecer informações previstas na Lei para que a Agência disponibilize as informações nos relatórios Anuais de Segurança de Barragem, de modo a verificar as mudanças não calculadas da estrutura, a fim de averiguar e corrigir lapsos que poderão originar danos de grandes magnitudes. Com isso, como mencionado anteriormente, diversos métodos de análise estrutural já foram desenvolvidos com a intenção de suprir essa necessidade, porém os mesmos apresentam alto custo econômico e não praticidade de instalação devido ao alto risco de colapso. Por conseguinte, métodos de detecção da movimentação estrutural que buscam a minimização desses custos se tornam mais atraentes, ocasionando um maior controle e monitoramento estrutural. Por esse motivo a utilização efeito do multicaminho vem sendo estudada para esse tipo de análise. Também vale destacar a simplificação da instalação e o aumento do alcance de estruturas, as quais não apresentavam a disponibilidade do monitoramento por serem classificadas de alto risco, impedindo a instalação de receptores nas mesmas.

1.3 Estrutura de Dissertação

O presente documento é composto por seis capítulos, estruturados conforme descrição a seguir. Nos Capítulos 2, 3 e 4 é apresentada a revisão da literatura necessária para o desenvolvimento do trabalho. O Capítulo 2 contém uma breve descrição sobre o sistema GNSS, sendo apresentados os possíveis erros nas observáveis, dando ênfase no multicaminho, o qual foi utilizado no desenvolvimento do trabalho, além do método de posicionamento que será utilizado para tratamento dos dados. O Capítulo 3 apresenta a teoria das *Wavelets*, sendo descritas as principais características e o motivo da mesma ser de tão grande importância para estudos das séries temporais não estacionárias. Já no Capítulo 4 é apresentada a teoria da correlação de séries temporais.

No Capítulo 5 é descrita a metodologia empregada para o desenvolvimento da pesquisa, sendo este dividido de acordo com as etapas realizadas, as quais foram utilizadas

com o objetivo de verificar a movimentação da estrutura analisada. No Capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos nas análises, sendo o mesmo dividido em três seções de acordo com cada movimento (Deslocamento, Inclinação e Rotação). Finalizando, o Capítulo 7 traz algumas considerações finais e recomendações.

2 SISTEMA DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES – GNSS

Com o passar dos anos tem aumentado o interesse em realizar o posicionamento de feições terrestre com alta acurácia. Para tanto, o desenvolvimento dos sistemas globais de posicionamento por satélite proporciona uma maior cobertura, acarretando em uma melhora na acurácia, uma vez que os mesmos podem ser combinados de forma a oferecer ao usuário uma melhor resposta, devido ao maior número de satélites disponíveis (TEUNISSEN e MONTENBRUCK, 2017).

O termo GNSS é adotado para unificar os sistemas de navegação por satélite, sendo este a infraestrutura espacial de satélites geradores de sinais, permitindo que os usuários determinem sua posição, velocidade e tempo mediante do processamento dos dados provenientes dos satélites (MONICO, 2008). O GNSS é formado por quatro constelações de caráter global, dos quais os primeiros sistemas foram declarados operacionais em 1995, sendo esses o GPS desenvolvido pelos Estados Unidos e o GLONASS (*Global Navigational Satellite System*) de responsabilidade da Rússia e posteriormente os sistemas Galileo (Europeu) e o BeiDou (Chinês), juntamente com os sistemas locais e de aumento (TEUNISSEN e MONTENBRUCK, 2017).

A crescente utilização do sistema GNSS pode ser dividida em diferentes segmentos, cada qual com suas características específicas e utilizados para diferentes meios, com a finalidade de suprir a necessidade dos usuários, podendo destacar as categorias de agricultura, aviação, marítimo, ferroviário e rodoviários, além dos segmentos diretamente ligados à cartografia e topografia (TEUNISSEN e MONTENBRUCK, 2017).

Para essa pesquisa serão utilizados dados provenientes apenas dos satélites GPS devido aos receptores disponíveis para a coleta de dados no experimento realizado em campo e pelo método proposto de processamento dos dados. Assim, mais detalhes de tal sistema serão apresentados.

2.1 GPS

O sistema GPS consiste em um sistema americano global de navegação administrado pelo governo dos Estados Unidos e operado pelo Departamento de Defesa americano (DOD, *Department of Defense*). A princípio a sua utilização era de exclusividade militar, sendo posteriormente disponibilizada para uso civil, o qual nos dias atuais possui grande utilidade, dando a possibilidade de desenvolver diversas atividades, sendo este um dos principais sistemas que integram o GNSS (MONICO, 2008).

O sistema possibilita que o usuário obtenha suas coordenadas em qualquer parte do globo, devido a disponibilidade de rastreamento de no mínimo quatro satélites ao mesmo tempo. Na sua concepção inicial em 1995, estavam disponíveis 24 satélites, sendo que nos dias atuais (junho de 2021) estão em operação 31 satélites¹, distribuídos em seis planos orbitais, em uma altitude de 20200 km e uma inclinação de 55° em relação ao Equador, possuindo um período orbital de aproximadamente 12 horas siderais (11 horas, 58 minutos e 2 segundos) (MONICO, 2008).

O GPS é dividido em três segmentos: o segmento espacial, o segmento de controle e o segmento de usuários. O segmento espacial consiste na constelação de satélites no qual cada um apresenta no mínimo duas ondas portadoras L1 e L2 com frequência de 1575,42 MHz e de 1227,60 MHz, respectivamente, além do código C/A de 1,023 MHz e do código P de 10,23 MHz. A partir de 2010 foi incorporado aos novos satélites a frequência L5 de 1176,45 MHz (MONICO, 2008; TEUNISSEN e MONTENBRUCK, 2017). No ano de 2018 foi lançado o primeiro satélite da nova geração, o GPSIII, com um quarto sinal civil L1C¹.

O segmento de controle é formado por uma rede global de instalações terrestres, possuindo a estação de controle mestre localizada em Colorado Springs, Colorado, Estados Unidos. Estas estações são responsáveis por monitorar e controlar o sistema de satélites, determinar o sistema de tempo GPS, prever as efemérides dos satélites, calcular as correções dos relógios dos satélites e atualizar periodicamente as mensagens de navegação da constelação (MONICO, 2008).

O terceiro segmento (segmento de usuários) inclui todos os usuários do sistema GPS, militares e civis. Para isso o usuário necessita de um receptor GPS de modo a receber os sinais dos satélites, o qual pode ser utilizado para o propósito que se destina. Com a internet, o GPS é um elemento essencial na infraestrutura global de informações, o que levou o desenvolvimento de centenas de aplicativos, estando presentes desde os telefones celulares e relógios de pulso a tratores e containers (MONICO, 2008).

2.2 Observáveis GNSS

De acordo com Teunissen e Montenbruck (2017), por meio das informações dos sinais transmitidos pelos satélites é possível identificar quatro tipos de observáveis GNSS, sendo as principais utilizadas no posicionamento a pseudodistância e a fase da onda portadora.

¹ Informações oficiais do governo dos EUA sobre o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e tópicos relacionados: <https://www.gps.gov>

A pseudodistância é determinada pelo tempo de propagação do sinal, contado a partir da sua geração no satélite até a sua chegada ao receptor multiplicado pela velocidade da luz no vácuo, além de outros fatores que interferem no sinal, como os efeitos atmosféricos e o multicaminho. A pseudodistância pode ser modelada por meio da seguinte equação (MONICO, 2008):

$$PD_r^s = \rho_r^s + d\rho_r^s + c[dt_r - dt^s] + I_r^s + T_r^s + dm_r^s + \varepsilon_{PD_r^s} \quad (1)$$

em que:

- c é a velocidade da luz (m/s);
- ρ_r^s é a distância geométrica entre o satélite s no instante da transmissão do sinal e o receptor r no instante da recepção (m);
- $d\rho_r^s$ é o erro na distância geométrica (normalmente devido ao erro na órbita do satélite) (m);
- dt_r e dt^s são os erros do relógio do receptor e do satélite em relação ao tempo GPS no instante t_r e t^s , respectivamente (s);
- I_r^s e T_r^s são os efeitos ionosféricos e troposféricos (m);
- dm_r^s é o erro do multicaminho (m);
- $\varepsilon_{PD_r^s}$ são os erros dos efeitos não modelados e aleatórios (m).

A fase de batimentos da onda portadora é determinada a partir da diferença entre a fase gerada pelo satélite (φ^s), no instante de transmissão do sinal, e sua réplica gerada pelo receptor (φ_r), no instante de recepção do sinal. Apenas uma medida fracionária é obtida, restando um número inteiro de ciclos no instante inicial do rastreamento, denominado de ambiguidade (N_r^s), sendo sua equação dada por (MONICO, 2008):

$$\varphi_r^s = f \left(\frac{\rho_r^s - I_r^s + T_r^s + dm_{\varphi_r}^s}{c} \right) + f(dt_r(t) - dt^s) + [\varphi^s(t_0) - \varphi_r(t_0)] + N_r^s + \varepsilon_{\varphi_r}^s \quad (2)$$

em que:

- f é a frequência nominal da fase (Hz);
- $\varphi^s(t_0)$ é a fase inicial do satélite na época de referência t_0 (ciclos);
- $\varphi_r(t_0)$ é a fase recebida no receptor na época de referência t_0 (ciclos);
- $dm_{\varphi_r}^s$ é o erro do multicaminho (m);
- $\varepsilon_{\varphi_r}^s$ são os erros dos efeitos não modelados e aleatórios (m).

Para a maioria das atividades geodésicas a observável da fase da onda portadora possui um caráter mais preciso que a pseudodistância, por esse motivo a mesma se torna essencial.

2.2.1 Erros envolvidos nas observáveis GNSS

De modo geral as observáveis envolvidas em processos de medidas podem apresentar erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros. Portanto as observáveis GNSS necessitam de um modelo matemático (funcional ou estocástico) que tenha a capacidade de detectar problemas existentes, para que assim se obtenham resultados confiáveis (MONICO, 2008).

Para tanto é necessário conhecer os erros e suas fontes que estão envolvidos no processo, a Tabela 1 apresenta as principais fontes e efeitos dos erros envolvidos no GNSS.

Tabela 1 – Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GNSS

| Fontes | Erros |
|----------------------------|--|
| Satélites | Erro da órbita |
| | Erro do relógio |
| | Relatividade |
| | Atraso entre as duas portadoras no <i>hardware</i> do satélite |
| Propagação do sinal | Refração troposférica |
| | Refração ionosférica |
| | Perdas de ciclos |
| | Multicaminho ou Sinais Refletidos |
| | Rotação da Terra |
| Receptor/Antena | Fase <i>wind-up</i> |
| | Erro do relógio |
| | Erro entre canais |
| | Centro de fase da antena |
| Estação/Efeitos Geodésicos | Erro nas coordenadas |
| | Multicaminho |
| | Marés terrestres |
| | Movimento do Pólo |
| | Cargas dos oceanos |
| | Pressão da atmosfera |

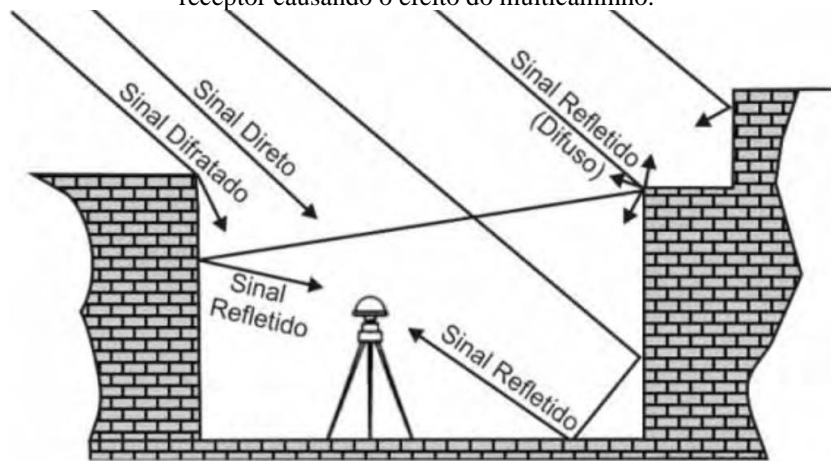
Fonte: Adaptado de Monico (2008).

Para resultados de alta acurácia é necessário que os erros apresentados na Tabela 1 sejam atenuados. Com o posicionamento relativo (Seção 2.3.1) muitos desses são praticamente eliminados. Para essa pesquisa a “eliminação” do multicaminho, tornam-se de grande importância. Por esse motivo o multicaminho será melhor descrito na subseção seguinte.

2.2.1.1 Multicaminho

O efeito do multicaminho pode ser descrito como os sinais secundários provenientes da reflexão do sinal emitido pelo satélite GNSS em objetos próximos ao receptor (Figura 1). Esta reflexão proporciona um atraso do sinal comparado ao sinal direto, originando um maior comprimento do caminho percorrido, o qual provoca uma distorção no sinal emitido. Nas aplicações do posicionamento estático e cinemático, o multicaminho pode ser considerado uma das maiores fontes de erros, uma vez que este possui um maior impacto quando comparado com outros tipos de efeitos (TEUNISSEN e MONTENBRUCK, 2017).

Figura 1 – Possibilidade de reflexão e difração de sinais de satélites GNSS que podem chegar a antena do receptor causando o efeito do multicaminho.



Fonte: Souza (2008).

Esse efeito é dependente de diversos fatores que em conjunto fazem com que ele ocorra. Desta forma destaca-se como um dos principais fatores o meio em que o receptor está inserido, posto que o tipo de superfície, o seu tamanho, formato e coeficiente de reflexão implicam diretamente na amplitude da reflexão do sinal (MONICO, 2008; TEUNISSEN e MONTENBRUCK, 2017). Outro fator é o ângulo de elevação dos satélites, visto que quanto menor o seu ângulo maior será a propensão deste sinal ao fenômeno do multicaminho.

O erro máximo causado por esse efeito é diretamente proporcional ao comprimento de onda e inversamente proporcional a frequência. Posto que as superfícies que se encontram próximas aos receptores são caracterizadas pelas baixas frequências, estas são responsáveis pelas principais fontes do efeito (SOUZA, MONICO e PAGAMISSE, 2009; SOUZA e NEGRI, 2017). Estes erros causam distorções tanto na pseudodistância quanto na fase, sendo que nos casos mais críticos, pode-se chegar a distorções de 100 metros na pseudodistância (TEUNISSEN e MONTENBRUCK, 2017).

Na fase da onda portadora o efeito do multicaminho causa uma diminuição da acurácia do posicionamento relativo, estático e cinemático, devido ao impedimento da fixação das ambiguidades, ou a determinação errônea das mesmas (SOUZA e MONICO, 2004). De forma semelhante ocorre na pseudodistância, porém o mesmo apresenta uma maior magnitude, uma vez que o código C/A apresenta uma frequência 10 vezes menor que o código P.

Devido aos altos erros e grande taxa de ocorrência do efeito do multicaminho, diferentes técnicas podem ser empregadas com o intuito de minimizar tal cenário (POLEZEL, SOUZA e MONICO, 2008):

- Planejamento das observações – os receptores devem ser instalados em locais com o menor número de obstáculos² possível, para que os sinais sofram menos interferências;
- Uso de antenas especiais – antenas que possuem como característica a capacidade de reduzir os sinais provenientes de reflexões, podendo ser citadas como exemplos as *Chocke-ring*, *Pinwheel* e as *Advanced Pinwheel Compact Controlled Reception Pattern Antenna* (AP-CRPA);
- Processamento utilizando múltiplas antenas – essa técnica se baseia na utilização de múltiplas antenas simultaneamente, o que faz com que as geometrias se diferenciem, com isso é possível a detecção e retirada dos sinais corrompidos pelo multicaminho;
- Calibração da estação base – o uso de uma estação que possui movimento controlado (robótico) possibilita a diminuição dos índices de multicaminho contidos no sinal GNSS, com isso ao se realizar a dupla diferença com as estações fixas o multicaminho é eliminado junto aos resíduos.

Além destas técnicas de atenuação apresentadas também é possível a minimização do efeito do multicaminho por meio do processamento, sendo este feito no próprio receptor, ou posteriormente com os dados (POLEZEL, SOUZA e MONICO, 2008):

- Processamento no receptor – quando se tem a necessidade de um processamento em tempo real com uma alta acurácia, métodos como o *Leading Edge Correlator* ou a Função de Correlação podem ser empregados para que o processamento seja realizado no receptor.

²OBSTÁCULOS – superfícies próximas aos receptores que podem gerar a reflexão ou até mesmo o bloqueio total do sinal GNSS.

- Pós-processamento dos dados – a atenuação por meio do processamento de dados se dá pela aproximação de parâmetros e técnicas de filtragem das observações, em que o multicaminho é retirado por meio dos resíduos.

2.2.1.1.1 Nível do Multicaminho

O efeito do multicaminho em uma estação pode ser analisado em função do nível do multicaminho, por meio dos valores de MP1 e MP2, referentes ao multicaminho nas portadoras L1 e L2, respectivamente. As combinações lineares para MP1 e MP2 são representadas por (FORTES, 1997; MONICO, 2008):

$$MP1 = PD_{L1} - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) \varphi_{L1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) \varphi_{L2} = M_{PD1} + B_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) M_{\varphi1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) M_{\varphi2} \quad (3)$$

$$MP2 = PD_{L2} - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) \varphi_{L1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) \varphi_{L2} = M_{PD2} + B_2 - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) M_{\varphi1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) M_{\varphi2} \quad (4)$$

em que:

- PD_{L1} e PD_{L2} são as medidas simultâneas da pseudodistância, em cada portadora (m);
- $\alpha = (f_{L1}^2 / f_{L2}^2)$, sendo f_{L1} e f_{L2} as frequências na L1 na L2 (Hz);
- φ_{L1} e φ_{L2} são as medidas da fase para cada portadora (ciclos);
- M_{PD1} e M_{PD2} são o efeito do multicaminho em PD_{L1} e PD_{L2} (m);
- $M_{\varphi1}$ e $M_{\varphi2}$ são o efeito do multicaminho em φ_{L1} e φ_{L2} (m);

sendo B_1 e B_2 as tendências (*bias terms*) resultantes das ambiguidades da fase, dados por:

- $B_1 = -\left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) n_1 \lambda_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) n_2 \lambda_2$;
- $B_2 = -\left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) n_1 \lambda_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) n_2 \lambda_2$

onde:

- λ_1 e λ_2 são os comprimentos de onda de L1 e L2.

As equações de MP1 e MP2 são escritas em função dos termos sistemáticos resultantes das ambiguidades da fase, independentemente do valor absoluto calculado para MP1 e MP2. As informações fornecidas por eles são obtidas pelas suas variações ao longo do tempo, indicando a qualidade dos dados. Portanto, as mudanças bruscas indicadas por MP1 mostram um efeito acentuado de multicaminho em PD_{L1} ou uma ocorrência de perda de ciclo o qual provocou uma variação acentuada em B_1 . Nestes casos o efeito das modificações em

M_{φ_1} e M_{φ_2} são muito menores que os relativos à pseudodistância, por serem referentes aos valores do efeito do multicaminho na fase (FORTES, 1997).

2.2.1.1.2 Multicaminho no monitoramento estrutural

A construção de uma estrutura, sendo ela de pequeno ou de grande porte, é projetada para que a ela suporte o seu próprio peso e as cargas de uso pré-definidas, além das cargas acidentais ocorrentes devido ao ambiente em que a mesma está inserida. Porém, devido as possíveis mudanças ao longo da utilização, são inseridos dentro dos projetos estruturais os coeficientes de segurança, os quais são responsáveis por aumentar o grau de segurança, levando em consideração a qualidade dos materiais utilizados e erros ao longo da execução (NBR 6120).

Deste modo, a movimentação estrutural já esperada, em sua maioria, apresenta pequena magnitude, fazendo com que passe por despercebido. Porém, em grandes magnitudes essa movimentação começa a trazer riscos, neste caso se faz necessário tomar providências para o devido reparo. Diante disso comparece a importância da implantação do SHM, para se disponibilizar uma maior segurança aos usuários, principalmente em obras de maior complexidade.

O uso do multicaminho em pesquisas envolvendo o monitoramento vem com o intuito de facilitar a obtenção dos dados, devido aos receptores não serem instalados na estrutura. Souza e Negri (2017) apresentam tal metodologia e expõem a viabilidade da mesma uma vez que esta possui uma alta taxa de acerto, mostrando a eficácia da técnica em detectar a movimentação.

Outra justificativa para a incorporação do efeito do multicaminho em análises estruturais é a sua alta correlação com o meio em que está inserido. Em uma pesquisa realizada por Polezel, Souza e Monico (2008) é mostrada a diferença da qualidade dos sinais GNSS obtidos em áreas onde não se tem superfícies refletoras quando comparadas com locais que as possuem. Nessa pesquisa também foi feito um comparativo entre dois tipos de materiais (ferro e madeira), tendo como resposta a maior propensão do ferro em gerar o efeito do multicaminho por possuir um coeficiente de reflexão mais alto.

Também se destaca a repetibilidade em dias siderais consecutivos, o qual apresentará alteração apenas devido ao movimento dos satélites nos casos que não haja mudança no ambiente onde está introduzido (TEUNISSEN e MONTENBRUCK, 2017). Desta forma, ao se examinar o sinal ou a série temporal do multicaminho, alterações presentes nos mesmos

podem ser um indicativo de movimentação, uma vez que não tenha ocorrido mudanças no local (SOUZA e NEGRI, 2017).

Ding et al. (1999) salientam a possibilidade de se utilizar o multicaminho para a detecção das movimentações. Para tal fim os autores realizam um ajustamento por regressão polinomial, em que se obteve uma detecção entre 5 e 2,5 cm de deslocamento. Contudo o comportamento não estacionário das séries temporais do efeito do multicaminho impossibilita a formação de um modelo poligonal geral, o que significa que o mesmo precisa ser adaptado a cada novo estudo, acarretando uma dificuldade de aplicação. Para suprir a necessidade de análises de séries temporais não estacionárias, diferentes pesquisas utilizam a análise multiescala *wavelet*, a qual apresenta melhor adequação visto que esta se localiza no tempo e frequência simultaneamente (SOUZA, MONICO e PAGAMISSE, 2009).

Em 2017, Souza e Negri apresentaram uma pesquisa viabilizando a análise *wavelet* para as séries temporais do multicaminho a fim de se detectar a movimentação estrutural. Nela é utilizada a TWND para a identificação da correlação entres os dias consecutivos, de modo a verificar a ocorrência de movimentos, resultando em uma taxa de acerto de 100% para a pseudodistância e de 89% para a fase, indicando uma considerável porcentagem de falsos negativos, o que pode comprometer o monitoramento estrutural. Porém, neste estudo preliminar foi analisado um único cenário (um tipo de movimento e uma magnitude), com isso não foram testadas as movimentações de inclinação e rotação, as quais são comuns em obras de grande porte.

2.3 Posicionamento por GNSS

O posicionamento por GNSS pode ser realizado por diferentes métodos e procedimentos, podendo ser classificados como estático ou cinemático, dependendo do movimento da antena, e em tempo real ou pós-processado, de acordo com a disponibilidade das coordenadas. Deste modo os principais métodos podem ser definidos (IBGE, 2008; INCRA, 2013):

- Posicionamento Relativo;
- Posicionamento por Ponto;
- RTK (*Real Time Kinematic*);
- DGPS (*Differential GPS*).

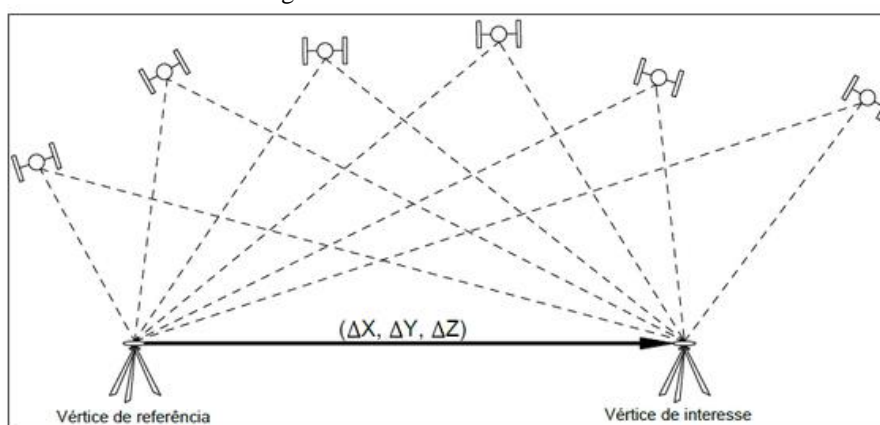
Para o desenvolvimento desta pesquisa, devido a metodologia empregada, foi utilizado o posicionamento relativo, realizado por meio *software* GPSeq (Seção 5.2). Em

vista disso serão apresentados os conceitos básicos do posicionamento relativo, dando destaque ao posicionamento relativo estático.

2.3.1 Posicionamento Relativo

No posicionamento relativo a posição de um ponto é determinada por meio de um ou mais vértices de coordenada conhecidas. Para tanto, são necessários que ao menos dois receptores GNSS colem dados de no mínimo quatro satélites, simultaneamente, onde um dos receptores deve possuir coordenadas conhecidas, sendo denominada estação base ou estação de referência (IBGE, 2008; MONICO, 2008; INCRA, 2013). A Figura 2 ilustra esse princípio.

Figura 2 – Posicionamento relativo.



Fonte: Incra (2013).

Para a realização do posicionamento relativo são necessários ao menos dois receptores, porém com o Sistema de Controle Ativos (SCA), o usuário com apenas um receptor poderá realiza-lo. Para tal, os dados para os demais receptores devem ser obtidos de uma das estações pertencentes ao SCA, como por exemplo, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Nesse caso o sistema de referência do SCA será introduzido por meio das coordenadas das estações, a qual deve ser utilizada como estação de referência (MONICO, 2008). Nesse método de posicionamento é possível utilizar tanto a fase da onda portadora como a pseudodistância ou até mesmo as duas em conjunto.

O posicionamento relativo pode ser diferenciado em quatro grupos (IBGE, 2008; MONICO, 2008; INCRA, 2013):

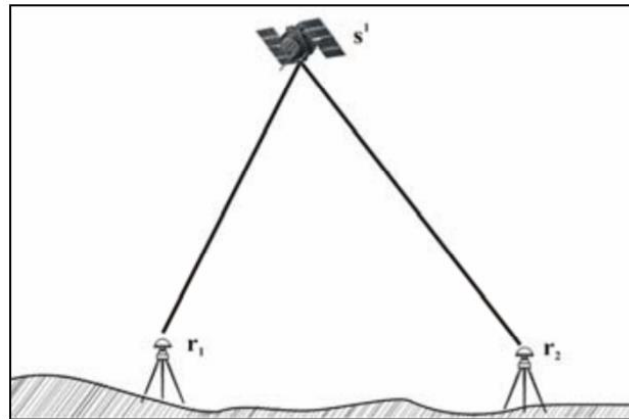
- Estático;
- Estático-rápido;
- Semicinemático;
- Cinemático.

No Posicionamento relativo estático utiliza-se ao menos dois receptores que permanecerão estáticos durante todo o levantamento, o qual pode durar de 20 minutos até várias horas, sendo que o tempo mínimo de coleta é relacionado com o comprimento da linha de base e com o ambiente em que os receptores estão posicionados, uma vez que ambientes com menor número de obstruções e com baixa atividade ionosférica necessitam de um menor tempo para solucionar a ambiguidade (MONICO, 2008).

O princípio básico do posicionamento relativo é a minimização dos erros sistemáticos (erros dos relógios do receptor e satélite, efeitos atmosféricos, órbitas, dentre outros) por meio da diferenciação entre as observações. Deste modo, em condições de baixa atividade ionosférica, é possível dizer que os erros atmosféricos são praticamente eliminados quando utilizado um levantamento de linha de base curta (IBGE, 2008). Para tanto é utilizado técnicas de diferenciação denominadas simples diferenças (SD) e duplas diferenças (DD).

A SD pode ser formada entre um satélite e dois receptores (Figura 3), os quais estão rastreando simultaneamente o mesmo satélite (MONICO, 2008).

Figura 3 – Simples Diferença



Fonte: Monico (2008).

Ao se realizar a combinação linear entre as observáveis da pseudodistância ou da fase da onda portadora é obtido a SD das mesmas. As equações da SD da pseudodistância (equação 5) e fase (equação 6), são obtidas a partir de (MONICO, 2008).

$$\Delta PD_{1,2}^1 = \nabla \rho_{1,2}^1 + c(dt_{r1} - dt_{r2}) + \Delta dm_{PD r1,2}^S + \Delta v_{\Delta PD} \quad (5)$$

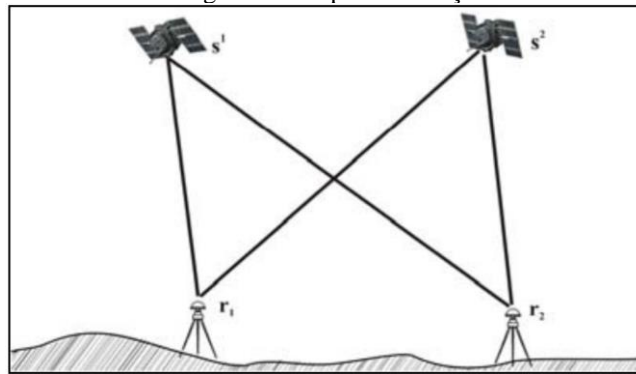
$$\Delta \varphi_{1,2}^1 = \frac{f}{c} (\Delta \varphi_{1,2}^1 + \Delta d\varphi_{1,2}^1 + \Delta dm_{\varphi r1,2}^1) + f(dt_{r1} - dt_{r2}) + \Delta \varphi_{1,2}(t_0) + \Delta N_{1,2}^1 + v_{\Delta \varphi} \quad (6)$$

em que:

- Δ representa a simples diferença entre as observáveis dos receptores;
- $\Delta\rho_{1,2}^1 = \Delta\rho_1^1 - \Delta\rho_2^1$ (m);
- $\Delta dm_{PD1,2}^1 = dm_{PD1}^1 - dm_{PD2}^1$ (s);
- $v_{\Delta PD}$ e $v_{\Delta\varphi}$ são os resíduos da SD da pseudodistância e da fase da onda portadora (m);
- $\Delta N_{1,2}^1 = \Delta N_1^1 - \Delta N_2^1$ (ciclos);
- $\Delta\varphi_{1,2}(t_0) = \varphi_1(t_0) - \varphi_2(t_0)$ (ciclos).

A DD é a combinação linear de duas SD, a qual envolve dois receptores e dois satélites (Figura 4), onde um deste satélites é utilizado como satélite base nas demais combinações (MONICO, 2008).

Figura 4 – Dupla Diferença



Fonte: Monico (2008).

A equações para a pseudodistância (equação 7) e fase da onda portadora (equação 8) são expressas por (MONICO, 2008):

$$\nabla\Delta PD_{1,2}^{1,2} = \nabla\rho_{1,2}^{1,2} + \nabla dm_{PD1,2}^{1,2} + \nabla v_{\Delta\nabla PD} \quad (7)$$

$$\nabla\Delta\varphi_{1,2}^{1,2} = \frac{f}{c}(\nabla\rho_{1,2}^{1,2} + \nabla dm_{\varphi1,2}^{1,2}) + \nabla\Delta N_{1,2}^{1,2} + v_{\Delta\nabla\varphi} \quad (8)$$

em que:

- ∇ é a diferença entre os satélites;
- $\Delta\nabla\rho_{1,2}^{1,2} = \Delta\rho_{1,2}^1 - \Delta\rho_{1,2}^2$ (m);
- $\Delta\nabla dm_{PD1,2}^{1,2} = \Delta dm_{PD1,2}^1 - \Delta dm_{PD1,2}^2$ (m);
- $\nabla\Delta N_{1,2}^{1,2} = \Delta N_{1,2}^1 - \Delta N_{1,2}^2$ (ciclos).

Ao combinar as observações nas DD são eliminados os erros do relógio do satélite e dos receptores, além de, em linha de base curta, se tem a minimização dos efeitos atmosféricos. Porém a mesma não é capaz de eliminar o efeito do multicaminho, por isso o

mesmo fica contido nos resíduos da DD. A equação de DD é normalmente a combinação linear mais utilizada no modelo funcional para o processamento de dados GPS, envolvendo a fase da onda portadora, proporcionando uma melhor relação entre os ruídos e a eliminação de erros sistemáticos envolvidos nas observações originais (MONICO, 2008).

3 WAVELET

A análise *wavelet* tem sido empregada formalmente desde os anos oitenta, porém a mesma vem sendo utilizada por diversas áreas como Engenharia, Matemática e Física muito antes disso. Por ser considerada uma ferramenta relativamente simples, essa análise possui uma alta variedade de utilização em diferentes ramos (DAUBECHIES, 1992).

O fator de destaque que a leva ter uma vasta gama de aplicações é sua localização no tempo/espaço e frequência simultaneamente. Logo a mesma se faz ideal para as análises de séries temporais não estacionárias (SOUZA e MONICO, 2004), as quais possuem seus momentos estatísticos (média e/ou variância) distintos em intervalos de tempo constante. Um exemplo desse tipo de série é o efeito do multicaminho.

Na análise *wavelet* se tem uma expansão (translações e dilatações ou compressões) de uma função $\psi \in L^2(\mathbb{R})$, chamada *wavelet* mãe, de modo a se obter uma família de funções (DAUBECHIES, 1992):

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (5)$$

em que a é o fator de dilatação e b o de deslocamento, os quais variam constantemente, destacando que o fator $|a|^{-1/2}$ é proveniente da normalização de base ($\|\psi\| = 1$).

Ao se trabalhar com sinais discretos, comumente se faz a utilização de valores especiais para os fatores $a = 2^j$ e $b = k2^j$ (DAUBECHIES, 1992):

$$\psi_{j,k}(t) = |2^j|^{-1/2} \psi(2^{-1}t - k) \quad j, k \in \mathbb{Z} \quad (6)$$

As bases formadas pelas funções $\{\psi_{j,k}(t), j, k \in \mathbb{Z}\}$ não são, necessariamente, bases ortogonais. Contudo, a melhor reconstrução do sinal por meio do coeficiente da transformada se dá na utilização destas. Em razão disso, a utilização de funções *wavelets* com bases ortogonais se torna mais vantajosa (DAUBECHIES, 1992). Na Seção 3 são descritas algumas das bases ortogonais mais utilizadas. Deste modo, considerando uma base ortogonal gerada por ψ , em que qualquer $f(t)$ de quadrado integrado sobre \mathfrak{R} :

$$f(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad (7)$$

onde f é uma série de *wavelets*, sendo os coeficientes dados por:

$$c_{j,k} = \langle f, \psi_{j,k} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{j,k}(t) dt \quad (8)$$

Daubechies fez a descoberta de bases ortogonais (equação 6) e de suporte compacto, a qual em 1998, por meio dos trabalhos de Mallat, estendeu o trabalho de Haar sintetizando essa família de *wavelets* ortogonais e possibilitando uma análise mais eficiente do que a obtida com outros sistemas. O uso da função escala (*wavelet* pai) é uma das maneiras de gerar tais *wavelets* (MALLAT, 1998), dadas por:

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_k h_k \phi(2t - k) \quad (9)$$

3.1 Características das *Wavelets*

A escolha da *wavelet* a ser utilizada pode ser realizada de diferentes formas, porém, de forma geral, os fatores que mais influenciam são a simetria, suavidade, ortogonalidade e suporte compacto. Vale ressaltar que as *wavelets* não apresentam um padrão único, o que significa dizer que estas são encontradas com diferentes características podendo ou não ser suave, simétrica, ter suporte compacto, gerar sistemas ortogonais e possuir formulações matemáticas simples. Já que esses traços são definidos dependendo da aplicação da mesma (MALLAT, 1998).

A simetria e suavidade de uma *wavelet* é determinada, principalmente pelo número de momentos nulos p , em que quanto maior esse valor mais suave será a *wavelet* ψ (DAUBECHIES, 1992). Já a característica de ser ou não de suporte compacto está ligada ao intervalo que sua energia ocupa no espaço, onde as de suporte compacto apresentam um intervalo restrito, o que faz com que ela tenha localização espacial.

As *wavelets* de função de suporte compacto são mais ideais para aplicação em séries temporais (SOUZA e MONICO, 2004), por esse motivo esse tipo de *wavelet* é mais interessante para esta pesquisa. A Tabela 2 apresenta as principais características das *wavelets* de suporte compacto mais utilizada.

Tabela 2 – Famílias de *wavelet* de suporte compacto

| Família | Haar | Daubechies | Symmlets | Coiflets | Splines Wavelet | Biortogonais |
|-------------|------|------------|----------|----------|-----------------|--------------|
| Abreviação | Haar | Daub | Sym | Coif | Spline | Bior |
| Ortogonal | Sim | Sim | Sim | Sim | Não | Não |
| Biortogonal | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim |
| Simétrica | Sim | Não | Próximas | Próximas | Sim | Sim |

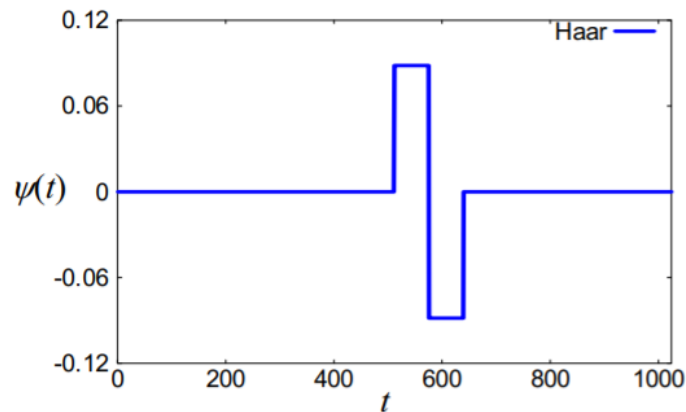
Fonte: Souza (2008).

Nesta pesquisa serão investigadas apenas três bases *wavelets*, a *wavelet* de Haar (Subseção 3.1.1), a *wavelet* de Daubechies (Subseção 3.1.2) e a Symmlets (Subseção 3.1.3). Sendo que a *wavelet* de Haar será utilizada apenas para verificação da melhora dos resultados uma vez que a *wavelet* de Daubechies e a Symmlets apresentarem melhor desempenho nas análises das séries temporais do multicaminho.

3.1.1 Wavelet de Haar

A *wavelet* de Haar, ilustrada na Figura 5, foi a primeira a ser desenvolvida, sendo esta também a mais simples. Seu cálculo é feito por meio do algoritmo piramidal de reconstrução, não se fazendo ideal na aplicação em funções suaves, por possuir apenas um momento nulo ($p = 1$) (MALLAT, 1998).

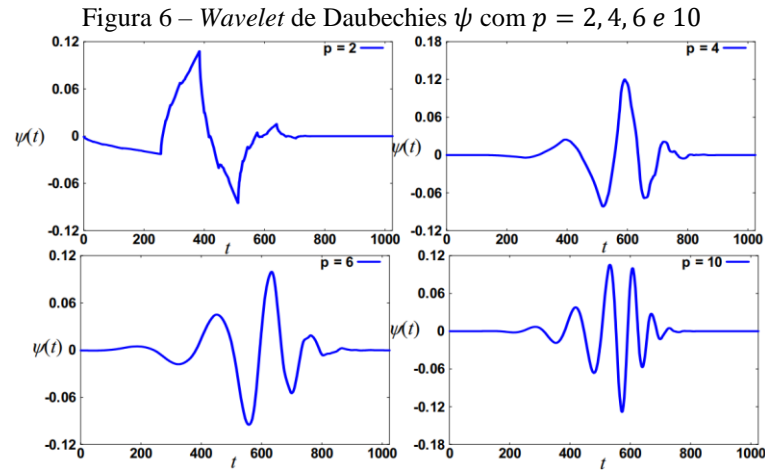
Figura 5 – Wavelet de Haar



Fonte: Souza (2008).

3.1.2 Wavelet de Daubechies

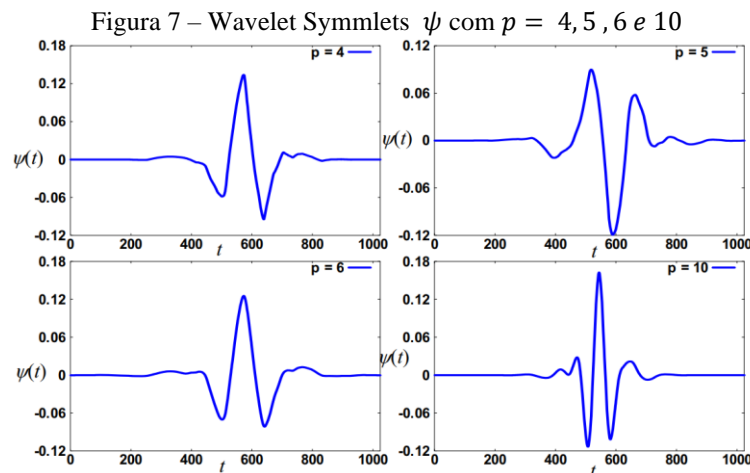
As *wavelets* de Daubechies possuem suporte compacto e geram bases ortonormais. A construção dessa família é dada a partir de um filtro h de tamanho $2p$ e suporte $[-p, p]$, sendo p o número de momentos nulos (MALLAT, 1998), obtêm-se a *wavelet* de Haar quando $p = 1$. A Figura 6 ilustra algumas *wavelets* de Daubechies, calculadas para $p = 2, 4, 6$ e 10 , onde é possível notar que quanto menor o coeficiente ($p = 2$) menor é a sua suavidade.



Fonte: Souza (2008).

3.1.3 Wavelet Symmlets

Da mesma forma que as *wavelets* de Daubechies, as Symmlets são ortonormais e possuem p momentos nulos de suporte $[-p + 1, p]$. Entretanto, Daubechies (1992) buscou uma melhor simetria mantendo a simplicidade, para isso ele realizou modificações nas *wavelets* iniciais. A Figura 7 ilustra algumas das *wavelet* Symmlets, calculadas para $p = 4, 5, 6, e 10$.



Fonte: Souza (2008).

3.2 Transformada Wavelet

O uso de transformadas serve para observar características de um sinal presentes nele que não são possíveis observar em um dado domínio. Um exemplo é a Transformada de Fourier (TF) a qual muda o sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência, por meio de uma série de senos e cossenos (MALLAT, 1998). Porém, como a TF o sinal transformado apresenta uma desorientação quanto ao tempo não sendo sensível a mudanças de frequência. Por esse motivo a mesma se faz mais adequada para sinais estocásticos, os

quais não apresentam mudanças em sua frequência ao longo do tempo. Entretanto, os sinais reais, em geral, apresentam comportamento não-estacionárias, o que significa que suas propriedades estatísticas variam com o tempo, o que faz com que seja necessário a aplicação da TF em parte do sinal, gerando o conceito da TF Janelada, em que o sinal é analisado por meio de janelas de tamanho fixos (BRASSAROTE, 2014).

As Transformadas *Wavelets* (TW) são utilizadas quando se tem a necessidade de analisar janelas de tamanho variável. Desta forma, a TW é uma transformada linear que expande uma função utilizando um conjunto de funções *wavelets*, possuindo localização espaço-frequência, possibilitando a investigação de informações em frequência e tempo de sinais não-estacionários (NASON e SILVERMAN, 1995).

3.2.1 Transformada *Wavelet* não Decimada (TWND)

As transformadas *wavelets* podem ser entendidas como um processo de filtragem, a qual pode ou não passar por uma decimação. Desta forma, a TWD corresponde a transformada com o processo de decimação (diádica) por 2, o qual após uma filtragem são aproveitados apenas elementos pares ou ímpares, se diferenciando pela origem escolhida, implicando na seleção de diferentes bases. Portanto a TWD é inteiramente dependente de sua origem, acarretando em um conjunto de coeficientes *wavelets* diferentes (NASON e SILVERMAN, 1995; BRASSAROTE, 2014).

Já a TWND leva em consideração todos os elementos (pares e ímpares), além de não se fazer sensível a origem. Esse fato a torna mais adequado para diferentes aplicações, como por exemplo aquelas que necessitam de um método invariante em relação a origem. Negri (2012) mostra que a utilização da TWND na aplicação de monitoramento estrutural se faz mais adequada. Por essa razão, nesta pesquisa será utilizada esse meio de análise.

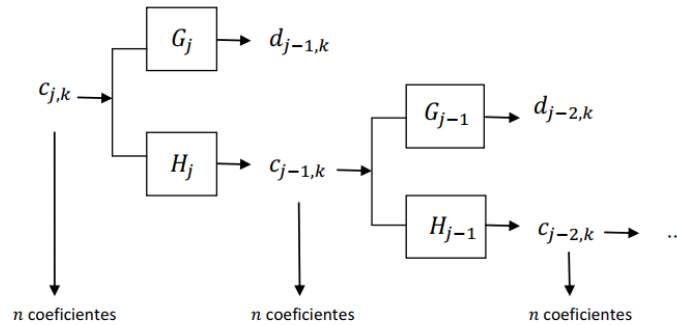
A TWND possui como característica a restrição do fator de dilatação $a_0 = 2$ e do fator de deslocamento $b_0 = 1$, fazendo com que a função *wavelet* ψ possua uma melhor propriedade de localização tempo-frequência (BRASSAROTE, 2014):

$$\psi_{j,k}(x) = 2^{-1/2}\psi(2^j(x - k)) \quad j, k \in \mathbb{Z} \quad (10)$$

Sendo assim a TWND é obtida pela eliminação da decimação ocorrida na TWD, provocando um aumento do esforço computacional, que passa de $O(n)$ para $O(n \log_2 n)$. Isto é causado pelo fato de que em cada escala haverá n coeficientes (BRASSAROTE, 2014).

Os coeficientes de aproximação $c_{j,k}$ e os coeficientes de detalhes $d_{j,k}$ são obtidos de $c_{j+1,k}$ por um processo de convolução e a cada escala se tem a modificação dos filtros. A Figura 8 mostra o cálculo da TWND.

Figura 8 – Transformada *Wavelet* Não-Decimada (Decomposição)



Fonte: Nason e Silverman (1995).

3.3 Análise multiescala de séries temporais

Ao se analisar uma série temporal se busca o desenvolvimento de modelos para a ela, com o objetivo de obter algum detalhamento do modo como os dados foram gerados, a fim de prever dados futuros, ou ainda estudar a relação entre séries de modo a prever uma delas em função dos dados da outra série temporal (NASON e SILVERMAN, 1995; BRASSAROTE, 2014).

Com isso pode-se entender como série temporal um conjunto de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo. A principal diferença entre dados de séries temporais e outros dados é que as observações da série temporal são dependentes, em geral possuem uma relação estocástica entre elas (NASON e SILVERMAN, 1995; SOUZA, 2008). O modelo utilizado para descrever uma série temporal é uma coleção de variáveis aleatórias ordenadas no tempo $\{X(t), t \in T\}$ em que T é um conjunto ordenado de índices, sendo este processo conhecido como estocástico (MORETTIN e TOLOI, 2006). Assim, uma série temporal é uma realização ou trajetória desse processo, em que as observações (ou variáveis) estão ordenadas em intervalos regulares de tempo.

3.3.1 Espectro *wavelet* evolucionário

O espectro $f(\omega)$, também chamado de função de densidade espectral, é a medida da “quantidade” de oscilações em diferentes frequências $\omega \in (-\pi, \pi)$. Deste modo, $f(\omega)d\omega$ é a parcela das frequências em $(\omega, \omega + d\omega)$ para a variância total de X_t (NASON e SILVERMAN, 1995).

Se $\{X_t\}_{t \in \mathbb{Z}}$ for um processo estacionário, então ele é representado da seguinte forma:

$$X_t = \int_{-\pi}^{\pi} \exp(i\omega t) dZ(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} A(\omega) \exp(i\omega t) d\xi(\omega) \quad (11)$$

em que:

- $A(\omega)$ é a amplitude do processo;
- $d\xi(\omega)$ é um processo de incremento ortonormal.

No processo estacionário a amplitude $A(\omega)$, cuja tarefa é ampliar a frequência $\omega \in (-\pi, \pi)$, é independente do tempo, sendo assim, o comportamento da frequência ω é igual para toda a série (NASON e SILVERMAN, 1995).

Entretanto como a maioria das séries temporais na prática não são estacionárias, se utiliza o processo denominado localmente estacionário, o qual consiste em utilizar intervalos menores, os quais podem ser considerados estacionários. Assim é possível forma um processo *wavelet* localmente estacionário (LSW - *Locally Stationary Wavelet*) $\{X_t\}_{t \in \mathbb{Z}}$, $n = 2^j \geq 1$, que é um processo estocástico duplamente indexado com a seguinte representação no sentido de média quadrática (NASON e SILVERMAN, 1995):

$$X_{t,n} = \sum_{j=0}^{J-1} \sum_K \omega_{j,k;n} \psi_{j,k}(t) \xi_{j,k} \quad (12)$$

em que:

- $\xi_{j,k}$ é uma sequência de incrementos ortonormal aleatória;
- $\{\psi_{j,k}(t)\}_{j,k}$ é um conjunto de *wavelets* discretas não decimadas;
- $\{\omega_{j,k;n}\}$ é um conjunto de amplitudes.

Existem três propriedades sobre as quantidades na representação (NASON e SILVERMAN, 1995):

- 1) $E(\xi_{j,k}) = 0$, garante que o processo $X_{t,n}$ tenha sempre média igual a zero;
- 2) $cov(\xi_{j,k}, \xi_{l,m}) = \delta_{j,l} \delta_{k,m}$, em que $\delta_{j,l}$ seja o delta de Kronecker, indicando que a sequência de incremento ortonormal é não-correlacionada;
- 3) $\sup_k |w_{j,k;n} - W_j(k/n)| \leq C_j/n$,

em que:

- $\{C_j\}$ é o conjunto de constante com $\sum_{j=0}^{J-1} C_j < \infty$;
- $z = k/n$, controla a velocidade da evolução de $w_{j,k;n}$ para que ele não se desvie de uma função $W_j(z)$ para $z \in (0,1)$.

A função denominada espectro *wavelet* evolucionário (EWS - *Evolutionary Wavelet Spectrum*) é a função densidade espectral por meio do processo LSW. Por meio dela é possível descobrir informações importantes em um sinal, a qual é definida por (NASON e SILVERMAN, 1995):

$$S_j(z) = |W_j(z)|^2 \quad (13)$$

onde:

- $j = 0, \dots, J(n) - 1$;
- $z \in (0,1)$.

3.3.2 Estimação do EWS a partir do periodograma *wavelet*

O periodograma *wavelet* pode ser definido como um estimador do espectro *wavelet*. Assim como mostrado na equação 13, o espectro é o quadrado de W_j , portanto se faz necessário aplicar a TWND em $\{x_t\}$, para se obter os coeficientes de $\omega_{j,k;n}$ (ou $W_j(z)$). Deste modo a estimativa do espectro é dada pelo quadrado dos coeficientes *wavelets* não decimados de $\{x_t\}$ (NASON e SILVERMAN, 1995):

$$d_{j,k} = \sum_{t=1}^n x_t \psi_{j,k}(t) \quad (14)$$

Com isso, o periodograma *wavelet* pode ser escrito da seguinte forma:

$$I_{j,k}^\psi = |d_{j,k}|^2 \quad (15)$$

Partindo do periodograma *wavelet* é possível realizar uma decomposição de variâncias em multiescala da série temporal, o que significa dividir em diferentes níveis de resolução j . Por meio desse é possível verificar em qual nível ocorre determinado sinal, um exemplo é em qual nível ocorre o multicaminho proveniente da estrutura analisada, uma vez que a frequência desse é menor quando comparada com frequências provenientes de estruturas mais distantes.

4 CORRELAÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS

Uma série temporal é a sequência ordenada de valores de uma variável em intervalos de tempo igualmente espaçados, sendo considerada univariada quando consiste de observações únicas (escalares). Na análise de séries temporais é importante levar em consideração que os pontos de dados tomados no decorrer do tempo podem possuir estruturas inteiras que devem ser consideradas, sendo estas correlações, tendências ou variações sazonais (TAQQU et al., 1995). Por isso as séries são muito utilizadas para entender os dados observados, além de fornecer um meio de ajustar um modelo matemático que permita o monitoramento e a previsão da variável de interesse.

A correlação entre duas variáveis num contexto de séries temporais mede o grau de concordância relativamente ao sentido da evolução dos valores assumidos por cada variável ao longo do tempo. Para tanto, nesse trabalho o estudo das séries temporais será por meio da correlação, buscando verificar mudança significativa entre duas séries, a qual será um indicativo de movimentação estrutural. A correlação é uma das possíveis relações estatísticas entre variáveis aleatórias.

4.1 Correlação de Pearson

A correlação de Pearson é uma das formas mais comuns de medir a correlação, sendo utilizada em várias pesquisas, tanto na área biológica (ADLER e PARMRYD, 2010; SAAD et al., 2009) como nas exatas (CHAKRABORTY et al., 2011). O coeficiente de correlação de Pearson (r) pode ser definido como uma medida de associação linear entre variáveis. Podendo ser calculado com a seguinte fórmula (PEARSON, 1986):

$$r_{(X,Y)} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sqrt{\text{var}(X)}\sqrt{\text{var}(Y)}} \quad (16)$$

em que:

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (17)$$

onde:

- N é igual ao número de elementos contidos na série temporal;
- x_i e y_i são o i -ésimos elementos das séries X e Y , respectivamente;
- \bar{x} e \bar{y} são os valores médios das séries X e Y , respectivamente.

Por meio da equação (16) é verificado que o coeficiente de correlação de Pearson é calculado pelo quociente da covariância das duas variáveis pelo produto dos seus desvios padrão.

A Correlação de Pearson indica o grau de relação entre duas variáveis, tendo seu resultado contido no intervalo entre -1 e 1, sendo que o valor de 1, indica uma correlação perfeita positiva entre os parâmetros, enquanto -1 significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui (PEARSON, 1986).

4.2 Correlação de Spearman

O coeficiente de Correlação de Spearman mede o grau de dependência entre duas variáveis baseando-se no rank dos valores assumidos por elas (SPEARMAN, 1904). Essa métrica valoriza a proximidade entre os valores dos ranks de x_i e y_i para cada par de valores das séries temporais. O coeficiente de Spearman é dado por (SPEARMAN, 1904):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (18)$$

sendo:

- d_i corresponde à distância dos ranks das duas variáveis;
- n é o número de pontos de dados das duas variáveis.

Uma correlação de Spearman perfeita de +1 (idêntica) ou -1 (completamente oposta) ocorre quando cada uma das variáveis é uma função monótona perfeita da outra. A correlação de Spearman entre duas variáveis pode ser calculada por meio da fórmula do coeficiente de correlação de Pearson, uma vez que sejam feitas as devidas substituições nos valores originais das variáveis pelas respectivas ordens atribuídas. Enquanto a correlação de Pearson avalia relações lineares, a correlação de Spearman avalia relações monótonas, sejam elas lineares ou não (GIBBONS e KENDALL, 1990).

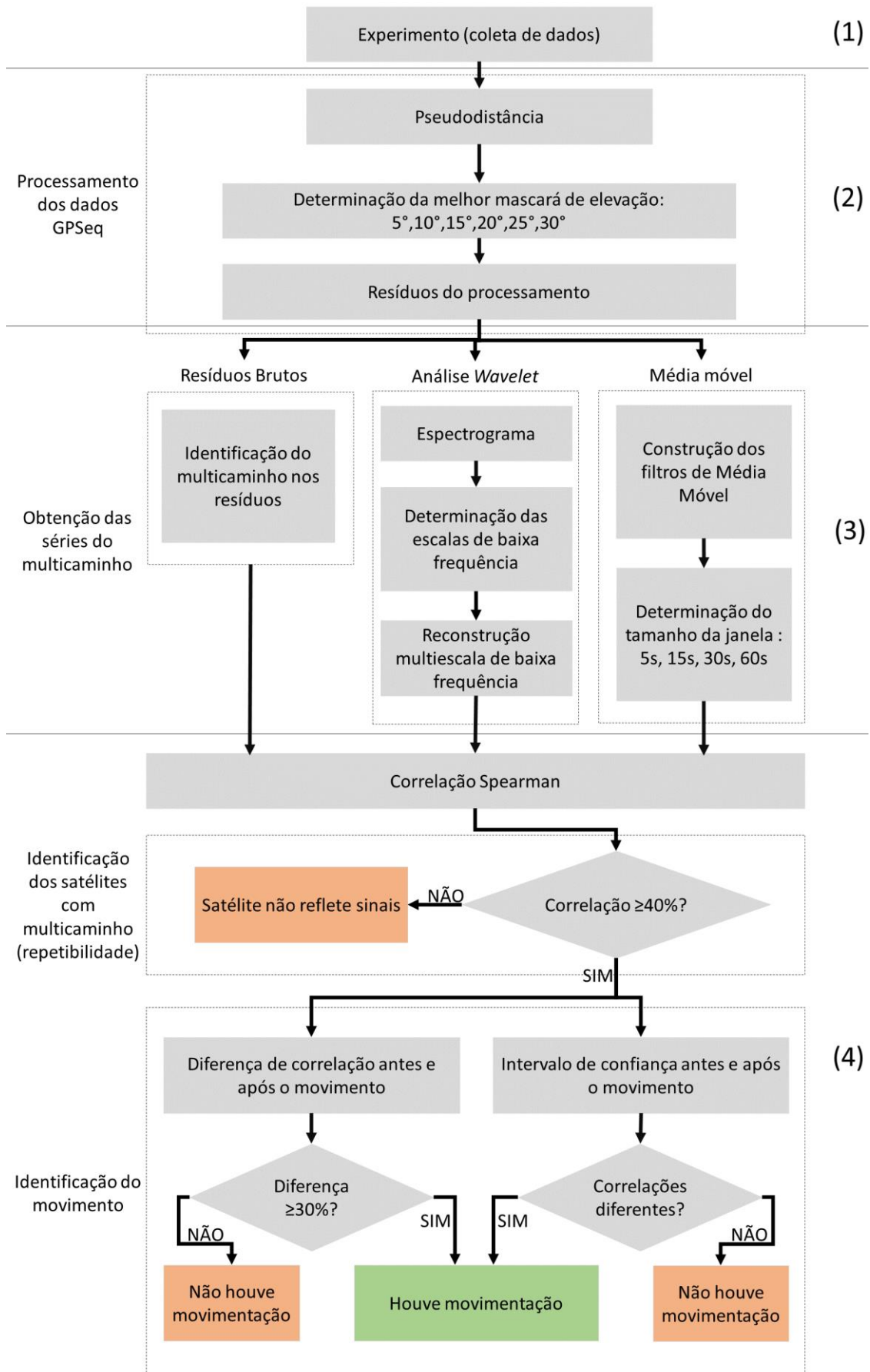
5 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo dessa pesquisa foram realizados experimentos e análises para a validação do uso do multicaminho na detecção da movimentação estrutural, sendo essencial o estudo bibliográfico para investigar o estado da arte, soluções e metodologias encontradas na literatura.

O experimento de campo foi realizado visando simular diferentes movimentos estruturais. A cada tipo de movimentação diferentes magnitudes foram testadas, podendo estas serem entendidas como a continua movimentação de uma estrutura, a qual pode aumentar a sua diferença em relação ao seu estado inicial. Os cenários foram realizados com o propósito de verificar se o método é capaz de detectar pequenas alterações sofridas pela estrutura, pois quanto antes detectado a movimentação menor é a dificuldade de reparo da estrutura.

A Figura 9 apresenta o fluxograma de execução desta pesquisa para o desenvolvimento do método proposto. Para um melhor entendimento a explicação do mesmo será dividida em quatro etapas: realização do experimento e obtenção de dados (Figura 9-1); processamento dos dados no GPSeq para obtenção dos resíduos do posicionamento relativo (Figura 9-2); identificação do multicaminho utilizando os Resíduos Brutos, Análise *Wavelets* ou de Médias Móveis (Figura 9-3); e por fim a identificação do movimento, bem como a verificação e a validação do método proposto (Figura 9-4)

Figura 9– Fluxograma de execução da pesquisa.

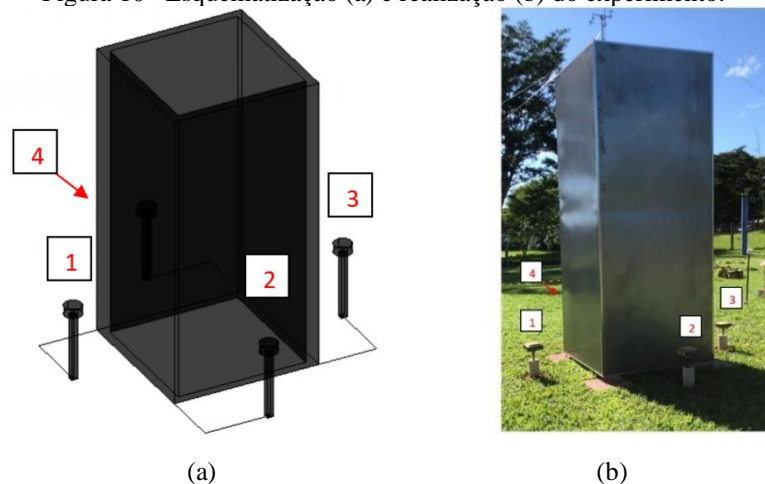


5.1 Experimento e obtenção dos dados

A primeira etapa (Figura 9-1) necessária para o desenvolvimento da metodologia consiste no experimento e coleta de dados que foi realizado na cidade de Presidente Prudente, São Paulo, dentro do campus da FCT/UNESP (Faculdade de Ciências e Tecnologia / Universidade Estadual Paulista). Para realizar a coleta de dados foram utilizados quatro receptores (dois receptores *Topcon Hiper GGD* e dois receptores *Topcon Hiper SR*) e uma estrutura refletora. A coleta dos dados foi iniciada às 10 h da manhã do primeiro dia do experimento (02/03/2020), com um período de 2 horas por dia. Devido ao interesse no estudo da repetibilidade do multicaminho, nesta pesquisa foi levada em consideração a diferença entre o tempo universal e o sideral, de modo que a cada dia eram adiantados 3 minutos e 56 segundos no horário de início da coleta. A taxa de coleta foi de 1s, com uma máscara de elevação de 5°. Vale ressaltar que durante as coletas de dados, os receptores foram configurados de forma a não minimizar os efeitos do multicaminho, uma vez que este é o objeto de estudo.

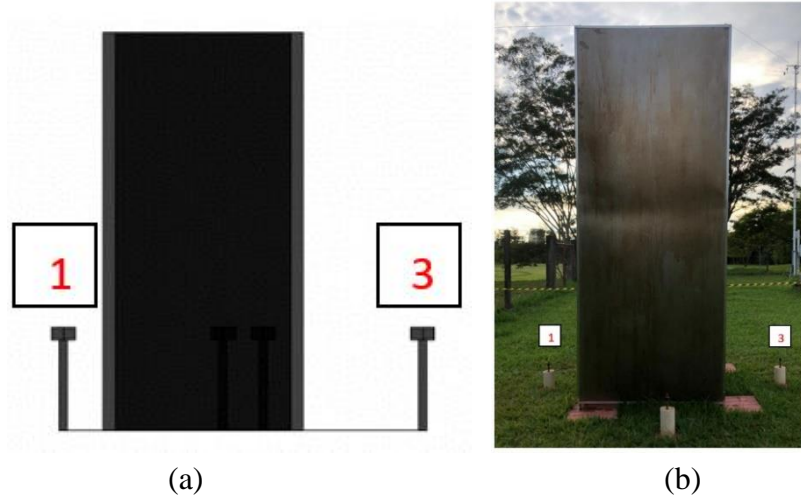
Na Figura 10-a é possível ver a esquematização do experimento, enquanto na Figura 10-b é apresentado o experimento *in-loco*. Com a figura é possível um melhor entendimento da montagem do experimento, em que os receptores foram posicionados um de cada lado da estrutura com uma distância de 50 cm da mesma, esta distância foi utilizada devido ao tamanho da estrutura, uma vez que a distância receptor-estrutura poderá ser proporcional ao tamanho da estrutura analisada. O uso de receptores posicionados em lados diferentes da estrutura possibilitou a otimização do tempo necessário para a realização do experimento, uma vez que permitiu que a movimentação de deslocamento e a movimentação de inclinação fossem realizadas simultaneamente, posto que cada uma delas utilizou apenas 2 receptores (1 e 3, 2 e 4), fazendo assim com que uma não atrapalhasse a realização da outra.

Figura 10– Esquematização (a) e realização (b) do experimento.



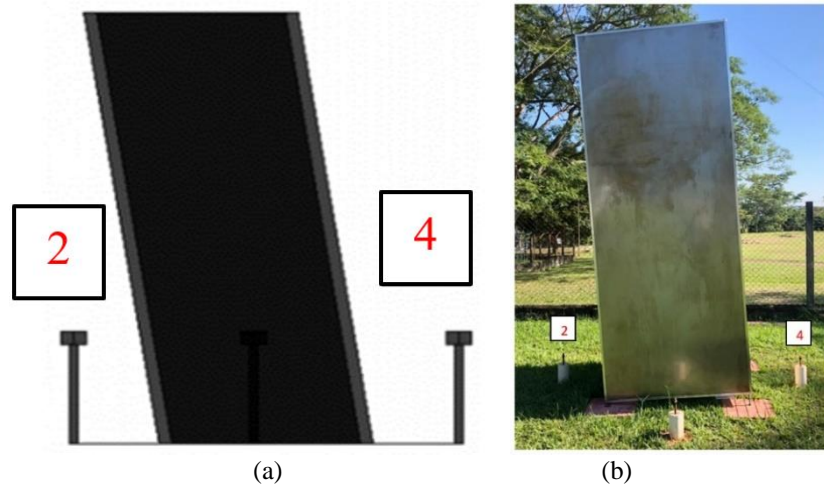
Nesse estudo foram selecionados três tipos de movimentação (deslocamento, inclinação e rotação) por serem os mais suscetíveis em estruturas de grande porte. A Figura 11-a apresenta a esquematização do movimento de deslocamento, enquanto a Figura 11-b mostra a execução do mesmo. O deslocamento pode ser representado com o afastamento da estrutura de um ponto enquanto se aproxima do outro. Na execução do experimento se tem o afastamento da estrutura do receptor 3 enquanto a mesma se aproxima do receptor 1. A movimentação executada apresenta um deslocamento máximo de 10 cm, uma vez que movimentações acima desta são consideradas de alta magnitude, sendo provável o colapso total da estrutura.

Figura 11 – Movimento de deslocamento.

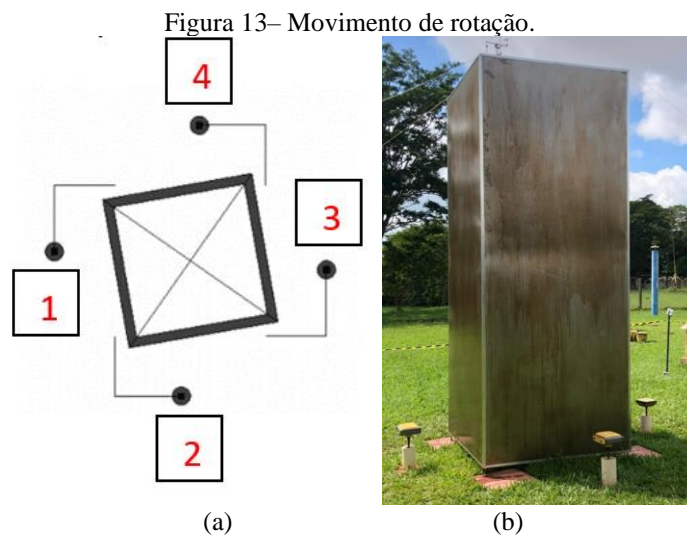


O movimento de inclinação ocorre com a modificação do ângulo que a estrutura possui em relação ao horizonte. Esse movimento teve o ângulo máximo de 5° , pois ângulos superiores a esse são facilmente detectáveis a olho nu, sendo também provável o colapso da estrutura. A Figura 12-a e a Figura 12-b apresentam a esquematização e a realização do experimento de movimento de inclinação, respectivamente.

Figura 12– Movimento de inclinação.



O último movimento realizado foi o de rotação, o qual pode ser entendido como a rotação que um corpo dá em torno do seu próprio eixo. Nesse experimento, assim como no de inclinação, foi utilizado o ângulo máximo de 5° . A Figura 13-a e a Figura 13-b apresentam a esquematização e representação do movimento, respectivamente.



Devido a erros encontrados nos dados do receptor 2, usado tanto no experimento de inclinação como no de rotação, o mesmo foi removido das análises. Estes podem ter sido gerados por erros no próprio receptor e/ou na execução da coleta de dados, com isso, tanto a formulação da metodologia como as análises foram feitas com base nos dados dos receptores 1, 3 e 4.

Após a definição dos movimentos (deslocamento, inclinação e rotação), foram nomeados os cenários que serão utilizados. Em todos os movimentos será utilizado o cenário I (D-I, I-I e R-I) o qual representa a estrutura em seu estado inicial, sem nenhuma movimentação. Para o movimento de deslocamento serão analisados mais 4 cenários (D-10,

D-5, D-4 e D-3) os quais representam as movimentações de 10, 5, 4 e 3cm de deslocamento, respectivamente. Para o movimento de inclinação também serão analisados mais 4 cenários (I-5, I-4, I-3 e I-2), representando respectivamente os movimentos de 5°, 4°, 3° e 2° de inclinação. Já para a rotação, serão analisados mais 3 cenários (R-5, R-4 e R-3), correspondentes aos movimentos de 5°, 4° e 3° de rotação.

5.2 Processamento dos dados

A segunda etapa da metodologia (Figura 9-2) foi o posicionamento relativo estático com uma linha de base curta e dados GPS realizado por meio do *software* GPSeq³ (MONICO et al., 2008). Este software foi desenvolvido na FCT/UNESP por meio da integração de linguagens FORTRAN 77 (Compilador Lahey Fujitsu Fortran 95) e C++, utilizando DLLs (*Dynamic Link Library*). O GPSeq realiza um ajustamento recursivo utilizando como observáveis as DDs da fase de batimento da onda portadora e da pseudodistância a partir do código C/A (MONICO, 2008).

Para a realização da DD foi tomada com estação base a estação PPTE, a qual está nas proximidades do experimento (24 metros de distância). Desta forma é possível a obtenção das séries temporais do efeito do multicaminho, as quais estão contidas nos resíduos, uma vez que devido a curta linha de base é possível afirmar que os efeitos atmosféricos são eliminados.

A Figura 14 apresenta o ambiente onde foi realizado o experimento, o qual possui diversos obstáculos (árvores, cerca e construções) que acarretam na degradação do sinal, principalmente na fase da onda portadora, devido às perdas de ciclo. Por esse motivo nesta pesquisa foi utilizado apenas os dados referentes a pseudodistância, a qual apresenta maiores erros de multicaminho. Além disso, em Negri (2012) foi realizado o estudo da detecção da movimentação estrutural utilizando tanto a fase quanto a pseudodistância, sendo verificado uma superioridade da pseudodistância na detecção da movimentação.

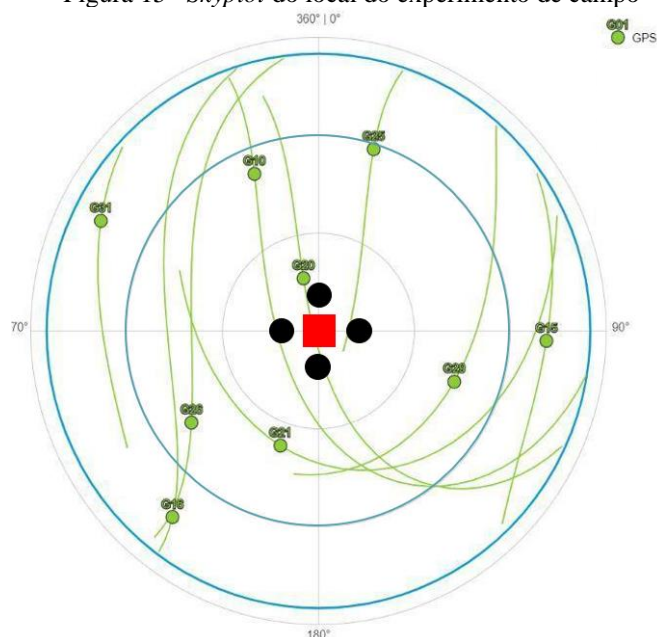
³ Software GPSeq V1.1 – Posicionamento Relativo GPS, linha de base curta. Disponível para download em: <https://www.fct.unesp.br/#!/pesquisa/grupos-de-estudo-e-pesquisa/gege/software/>

Figura 14 – Ambiente onde foi realizado o experimento.



A Figura 15 apresenta o Skyplot do local onde foi inserido o experimento no momento inicial da coleta dos dados (02/03/2020 às 10h), em que o quadrado vermelho representa a estrutura e os círculos pretos os receptores, além das máscaras de elevação de 5° (círculo azul externo) e 30° (círculo azul interno). Como o multicaminho está diretamente ligado ao ângulo de elevação e ao azimute do satélite, foram consideradas diferentes máscaras de elevação nas análises: 5° , 10° , 15° , 20° , 25° e 30° . Neste sentido, foi realizado um comparativo entre os resíduos da DD das 6 máscaras, pois deve-se considerar que em ângulos mais baixos se faz mais provável a presença nos resíduos de ruídos e efeitos provenientes de sinais refletidos em outras fontes. Já em ângulos de elevação muito altos pode-se ter a perda do efeito do multicaminho, o que também é prejudicial para as análises. Os resultados dessa análise são apresentados na Subseção 6.1.1.

Figura 15– Skyplot do local do experimento de campo



Fonte: Adaptado de gnssplanning.com/#/skyplot.

5.3 Séries de multicaminho

As séries do multicaminho utilizadas para as análises foram obtidas por meio da DD, realizada pelo processamento relativo estático, por meio do *software* GPSeq. Devido à proximidade entre a estação base (PPTE) e os receptores, pode-se dizer que há a minimização dos erros oriundos do efeito da atmosfera, que faz com que os resíduos restantes sejam provenientes do efeito do multicaminho gerado pelo ambiente.

Para uma melhor investigação da movimentação estrutural, e para a verificação da metodologia proposta, as séries temporais foram analisadas de três formas diferentes (Figura 9-3): Resíduo Bruto, Análise *Wavelet* e Média Móvel.

O primeiro método de avaliação, os **Resíduos Brutos (RB)**, partiu das séries temporais previamente organizadas, o qual utilizou unicamente as considerações iniciais, sendo essas a atenuação das interferências atmosféricas por meio da DD e a escolha do ângulo de elevação. Esta análise foi empregada com o intuito de realizar uma investigação inicial do ambiente em que a estrutura foi inserida, além de servir como critério de avaliação para os demais métodos, uma vez que este é o mais simples de ser realizado.

A **Análise Wavelet (AW)** possui como objetivo a verificação em multiescala, sendo ela no domínio da frequência ou no domínio do tempo. Para isso foi utilizado a TWND nas séries temporais para que posteriormente fosse reconhecido o padrão do multicaminho gerado pela estrutura. Segundo Negri (2012), a qual realizou um estudo comparativo entre a TWD e a TWND para estudo das séries temporais do efeito do multicaminho, constatou-se uma melhor

detecção quando utilizado a TWND. Com isso, nesta pesquisa, foi utilizado como base da implementação a rotina desenvolvida por Negri (2012), em linguagem R, a qual foi estendida, fazendo-se, assim, possível a verificação dos diferentes tipos de movimentação e suas magnitudes. Nesse experimento foram testadas as bases de Haar, de Daubechies com 4 e 8 momentos nulos e de Symmlets com 8 momentos nulos.

O primeiro passo nesse método foi verificar as escalas do espectrograma *wavelet*, com a finalidade de se obter aquelas que apresentavam repetibilidade quando analisados os dias com ambiente inalterado. Com isso se tem uma filtragem das séries temporais quanto à frequência, priorizando aquelas relacionadas ao multicaminho referente a estrutura refletora. Por meio dos espectrogramas *wavelets* é possível a obtenção do padrão do efeito do multicaminho, uma vez que o mesmo deveria se repetir quando não há modificação no ambiente. Com as escalas definidas (Subseção 6.1.1) foi realizada a verificação no domínio do tempo, por meio da reconstrução *wavelet* aplicando a transformação inversa.

Como observado na Figura 14, nas proximidades do experimento existem árvores e outras superfícies que também podem causar o multicaminho. Entretanto, sabe-se que o efeito do multicaminho depende da distância do objeto refletor (Subseção 2.2.1.1.2). Neste sentido, espera-se que o multicaminho causado pela estrutura analisada neste experimento seja principalmente de baixa frequência e que este seja predominante nos resíduos das DD. Assim, para evitar influências de efeitos de multicaminho causados por outras superfícies nas proximidades, foram priorizados os efeitos de multicaminho de baixa frequência nas análises. Logo, além da análise dos RB e após a AW, foi considerada também a **Média Móvel (MM)** dos resíduos, uma vez que este método naturalmente reduz ruídos e efeitos de alta frequência (MORETIN e TOLOI, 1981). Para tanto foi avaliado qual tamanho de janela melhor representaria o efeito do multicaminho de baixa frequência. Nessa etapa 5 janelas foram testadas, a de 5, 10, 15, 30 e 60 segundos (Subseção 6.1.1).

5.4 Detecção de movimentação

Seguindo o fluxograma (Figura 9-4), após a organização das séries do multicaminho geradas pelos três métodos apresentados na seção anterior, foi realizada a comparação entre os dias por meio do coeficiente de correlação Spearman (Subseção 4.2).

Nesta pesquisa o coeficiente de correlação Spearman foi utilizado inicialmente para a detecção de correlação entre os resíduos dos dias em que não houve a alteração do ambiente e com isso verificar a repetibilidade, sendo analisado quais satélites possuem seus sinais refletidos na estrutura, gerando o efeito do multicaminho. Nessa verificação foi utilizado

como valor de corte a correlação de 0,40⁴ entre os dias, o que representa uma repetibilidade ou correlação pelo menos moderada entre as séries analisadas. Também foi levado em consideração cada cenário, isto é, foi verificado quais satélites estavam causando reflexões e, conseqüentemente, gerando o efeito de multicaminho em cada cenário. Nos casos em que o coeficiente foi inferior a 0,40, o satélite foi desconsiderado das demais análises. Posteriormente, foi verificada a correlação existente entre os dias em que houve a alteração do ambiente (antes e após a movimentação) para que fosse possível uma primeira análise sobre a ocorrência da movimentação.

Para definir se houve ou não a movimentação, ou seja, identificar uma mudança na correlação entre os dias foram utilizadas duas técnicas, a Diferenciação e o Intervalo de Confiança (IC). Para se caracterizar como uma resposta positiva quanto a movimentação, os testes deveriam ser validados em ambas as técnicas.

A primeira técnica, **Diferenciação**, é a verificação da diferença entre as correlações antes e após a movimentação. Para isso foi realizado o cálculo da diferença entre a correlação com o ambiente inalterado e com o ambiente alterado, sendo que diferenças acima de 30% representam a movimentação da estrutura. Isso porque o valor utilizado para corte do coeficiente de correlação Spearman é de 40%, dessa forma ao se realizar a subtração entre os coeficientes, no caso de movimentação, o resultado deverá ser igual ou superior a 30%, pois representa uma correlação inferior a 10% (40% - 30%), o que é considerado como uma correlação baixíssima ou a não correlação entre os dias analisados.

A segunda técnica verifica a sobreposição do **Intervalo de Confiança (IC)** das correlações em ambas as situações, sem e com movimentação. Naturalmente, se ocorrer sobreposição entre os intervalos de confiança, não se pode dizer que há diferença entre as correlações, indicando que não há movimentação. Esta mesma conclusão seria obtida se fosse realizado um teste de hipótese para verificar há diferença entre as correlações, ou seja, a hipótese nula de igualdade de correlações não seria rejeitada.

Portanto, a validação da movimentação deve obedecer a ambas as técnicas (Diferenciação e IC). Deste modo, caso a resposta obtida em alguma das técnicas, ou em ambas, seja contrária ao esperado, ou seja, uma correlação inferior a 30% ou sobreposição dos IC, é tido como resposta a não movimentação da estrutura.

⁴ Coeficiente de correlação Spearman: 0,0 a 0,19 – bem fraca; 0,20 a 0,39 – fraca; 0,40 a 0,69 – moderada, 0,70 a 0,89 – forte e 0,9 a 1,0 – muito forte (SHIMAKURA, 2006).

6 RESULTADOS

Para facilitar o entendimento dos resultados esse capítulo foi dividido por movimento (deslocamento, inclinação e rotação) e receptor (1, 3 e 4), assim cada subseção será definida de acordo com suas características. Deste modo será apresentado primeiro o movimento de deslocamento (D1 e D3 – deslocamentos com os receptores 1 e 3), depois inclinação (I4 – inclinação com o receptor 4) e por fim o de rotação (R1, R3 e R4 – rotações com os receptores 1, 3 e 4). Como explicado na Subseção 3.3.25.a o receptor 2 não será utilizado nas análises, sendo que o mesmo foi utilizado na coleta de dados dos movimentos de inclinação e rotação (I2 e R2).

6.1 Deslocamento (D)

No movimento de deslocamento foram realizados 5 cenários, para ambos os receptores (D1 e D3), sendo eles:

- Cenário D-I – Ambiente inicial (estrutura parada no centro do experimento);
- Cenário D-10 – Ambiente após a movimentação de 10cm;
- Cenário D-5 – Ambiente após a movimentação de 5cm;
- Cenário D-4 – Ambiente após a movimentação de 4cm;
- Cenário D-3 – Ambiente após a movimentação de 3cm.

Com esses cenários foi possível o estudo da movimentação de até 1cm, uma vez que para a verificação das movimentações de 10, 5, 4 e 3cm foi utilizado como base de comparação o cenário D-I, já para as movimentações de 2 e 1cm foi utilizado como base o cenário D-5 em comparação com os cenários D-3 e D-4, respectivamente.

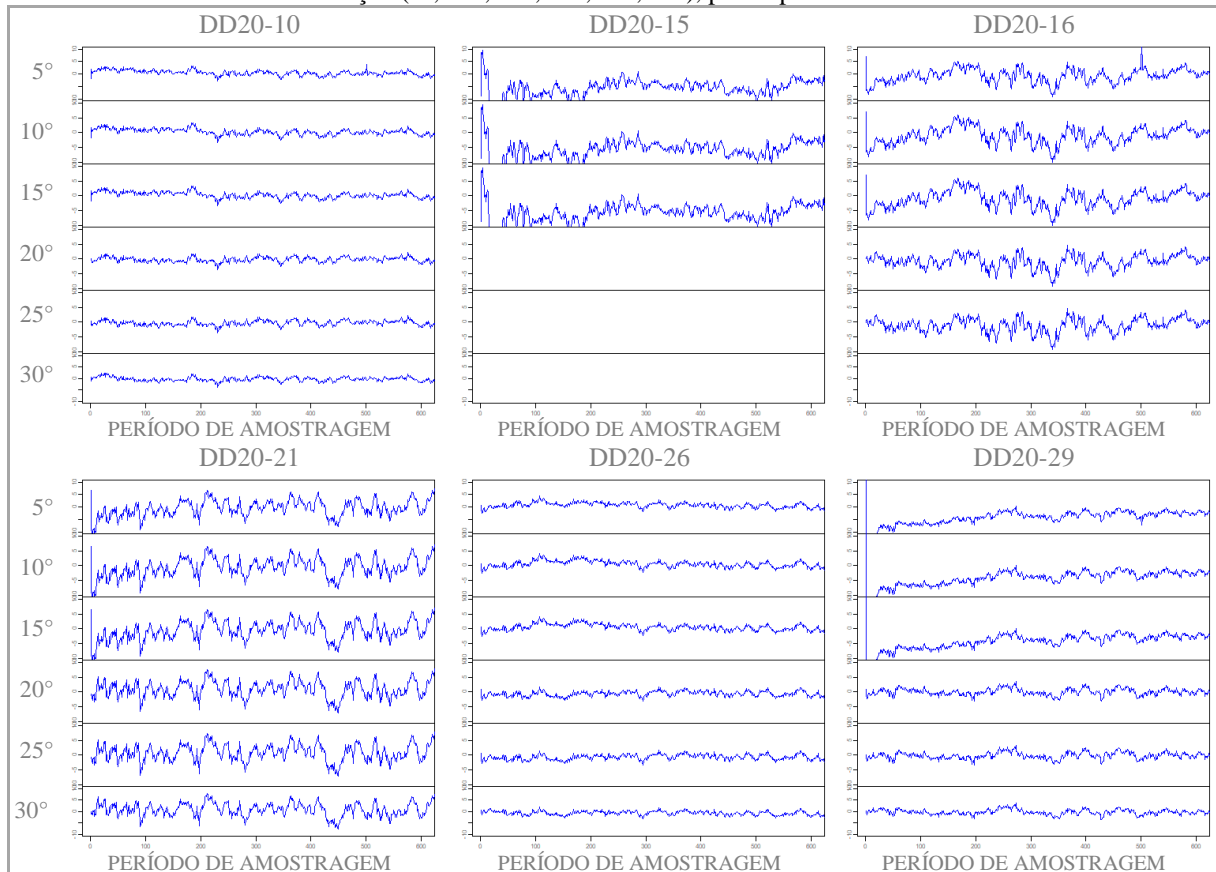
Vale ressaltar também que em cada cenário foram realizados dois dias de coleta (dia1 e dia2), para que fosse possível a verificação da repetibilidade do multicaminho. Com isso a denominação dos cenários será feita de acordo com o movimento e com o dia da coleta, ou seja, $Mr-C(d)$, onde M é o tipo de movimentação, r o receptor utilizado, C o cenário e d o dia da coleta do cenário, por exemplo: cenário D1-I(1) – deslocamento do receptor 1, cenário inicial, dia 1.

6.1.1 D1 – Deslocamento Receptor 1

Para iniciar as análises foi realizado um comparativo entre os resíduos da DD considerando as diferentes máscaras de elevação (05°, 10°, 15°, 20°, 25° e 30°), uma vez que em ângulos mais baixos a presença de multicaminho proveniente de outras fontes é mais

provável. Esta análise foi realizada utilizando as DDs entre o satélite G20 (satélite base) e os satélites G10, G15, G16, G21, G26 e G29. Na Figura 16 é apresentado o comparativo entre os resíduos da DD do satélite 20 e os demais satélites (DD20-10; DD20-15; DD20-16; DD20-21; DD20-26; DD20-29), para a pseudodistância, sendo utilizado como base de dados o cenário D1-I(1).

Figura 16 – Comparativo entre os resíduos da DD 20 e os demais satélites do cenário D1-I(1), para as 6 máscaras de elevação (5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°), para a pseudodistância.

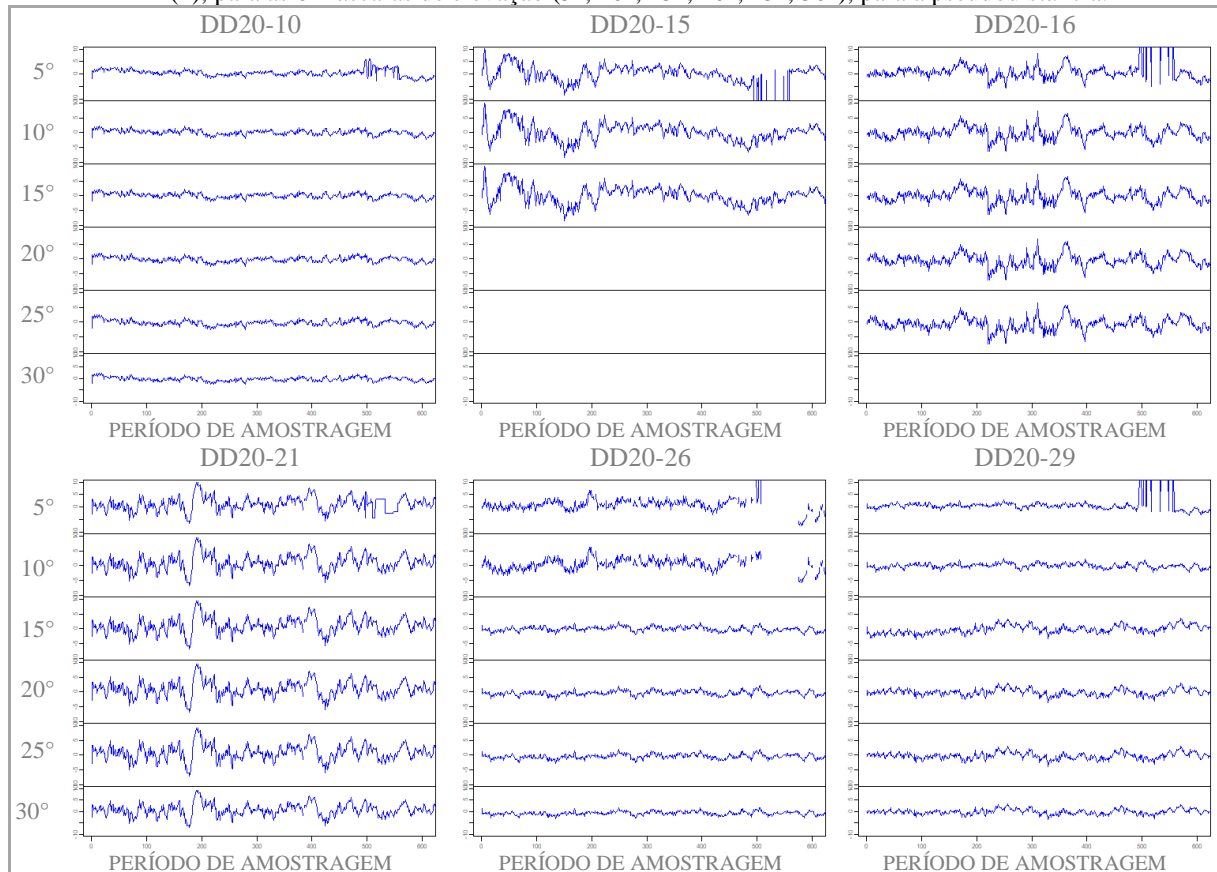


Por meio da Figura 16 é possível verificar que não ocorrem grandes modificações do sinal nas diferentes máscaras de elevações. Entretanto, para os satélites com ângulo de elevação mais baixo, como já esperado, perde-se o sinal, como é o caso do satélite 15 que possui ângulo de elevação máximo de 19,36° durante o período da coleta e do satélite 16 que possui ângulo de elevação máximo de 25,81°.

A mesma análise foi realizada para o Cenário D1-I(2) (Figura 17), sendo este o mesmo ambiente da análise anterior. Como esperado a resposta da análise deste se deu semelhante a anterior. Porém com o segundo dia de coleta é possível verificar a diminuição de ruídos contidos no caso da máscara de elevação de 5°, sendo estes provavelmente resultantes do ambiente e não da estrutura refletora, além da remoção da falha contida na DD20-26, que

deve ter ocorrido pelo bloqueio do sinal por algum obstáculo contido na vizinhança do experimento.

Figura 17 – Comparativo entre os resíduos da DD 20 e os demais satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) do cenário D1-I(2), para as 6 máscaras de elevação (5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30°), para a pseudodistância.

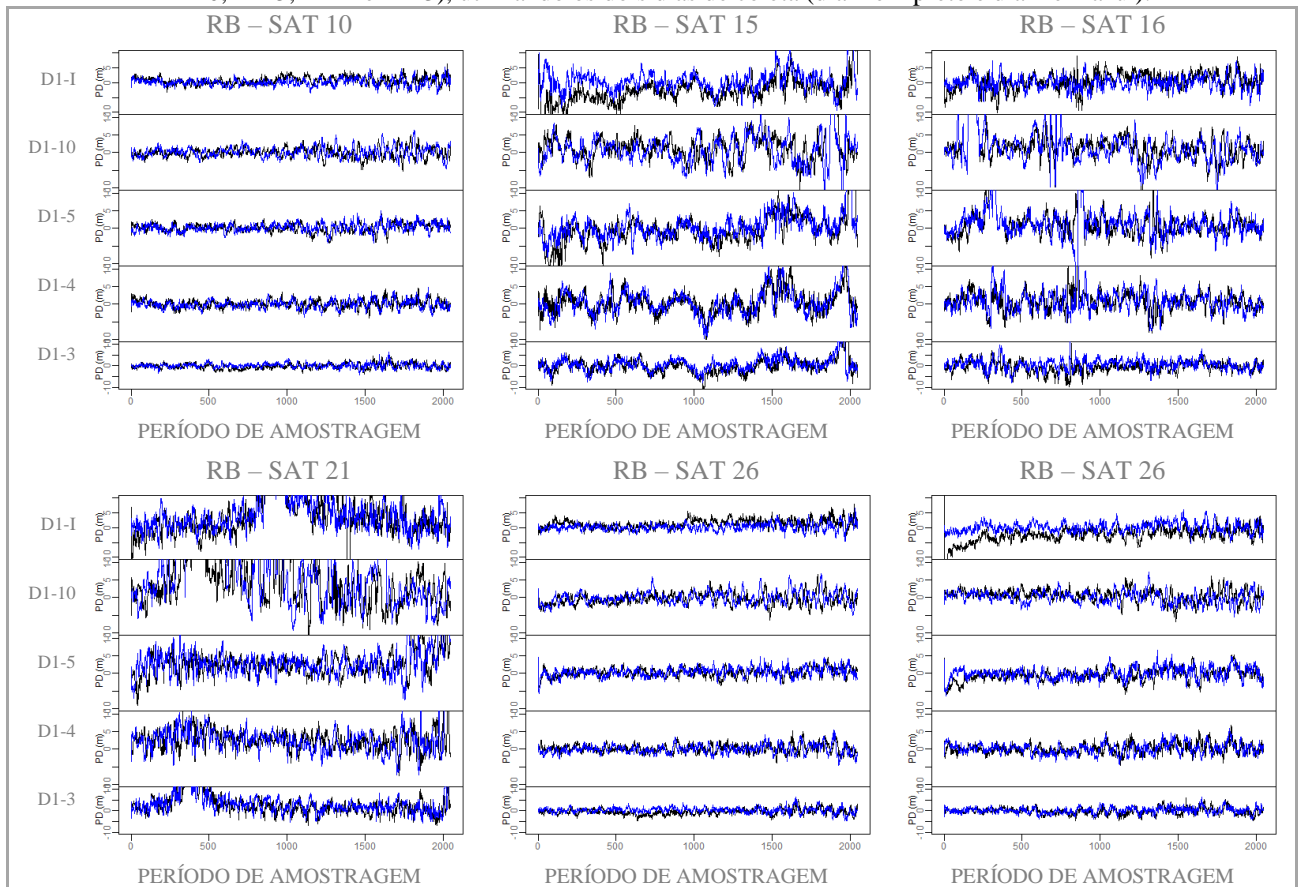


Com isso foi verificado que a utilização de uma máscara de elevação intermediária, como 15° , se faz mais adequada por reduzir as interferências do meio, além de permitir a análise de todos satélites selecionados previamente.

Com a máscara de elevação definida, foi possível a organização das séries temporais de cada cenário a fim de verificar a repetibilidade entre os dias com o ambiente inalterado. Na

Figura 18 são apresentadas as séries temporais dos resíduos da DD do satélite 20 e os demais satélites para a pseudodistância para cada cenário, com máscara de elevação de 15° . Para a verificação da semelhança (repetibilidade) entre os dias que não houve movimentação, foi plotado os dois dias de cada cenário (dia 1 em preto e dia 2 em azul).

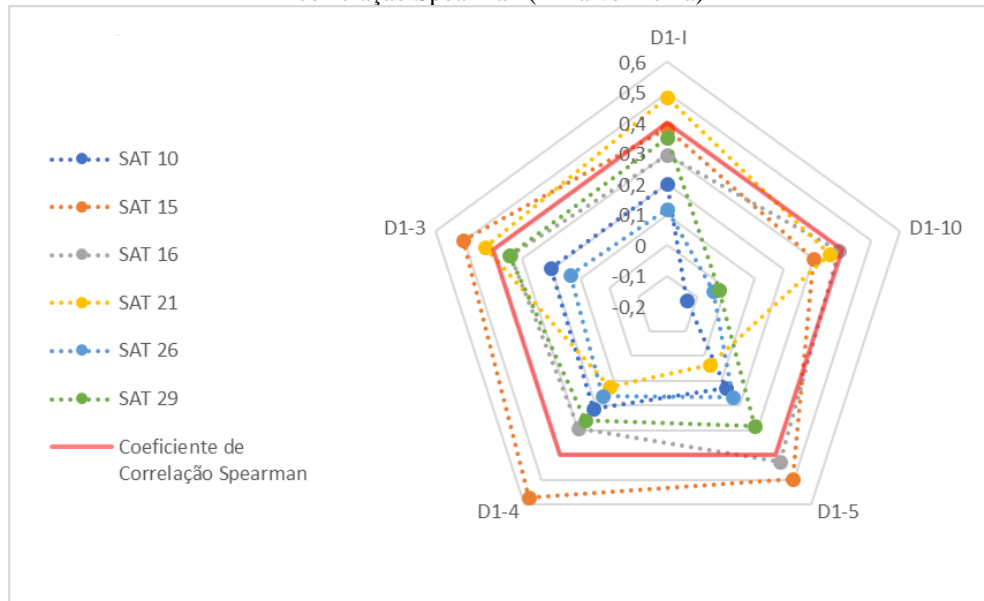
Figura 18 – Séries temporais dos RB para cada satélite (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) em cada cenário (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3), utilizando os dois dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul).



Com a análise dos RB é possível verificar uma repetibilidade entre as séries temporais de cada cenário (dia 1 e dia 2), de modo que ao se realizar comparações entre os cenários é possível notar a não conformidade entre eles, ocorrendo em todos os satélites analisados, com maior ou menor intensidade dependendo de seu ângulo de elevação e azimute.

Para uma melhor investigação dos resíduos das DD foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman a fim de calcular a correlação entre os RB dos dias com o ambiente inalterado. A Figura 19 mostra a correlação de Spearman entre o resíduo da DD para todos os satélites em cada cenário, onde a linha vermelha é valor de corte 0,40, utilizado como indicativo para a verificação da correlação entre os dias analisados, uma vez que valores abaixo da linha serão considerados como não correlacionados.

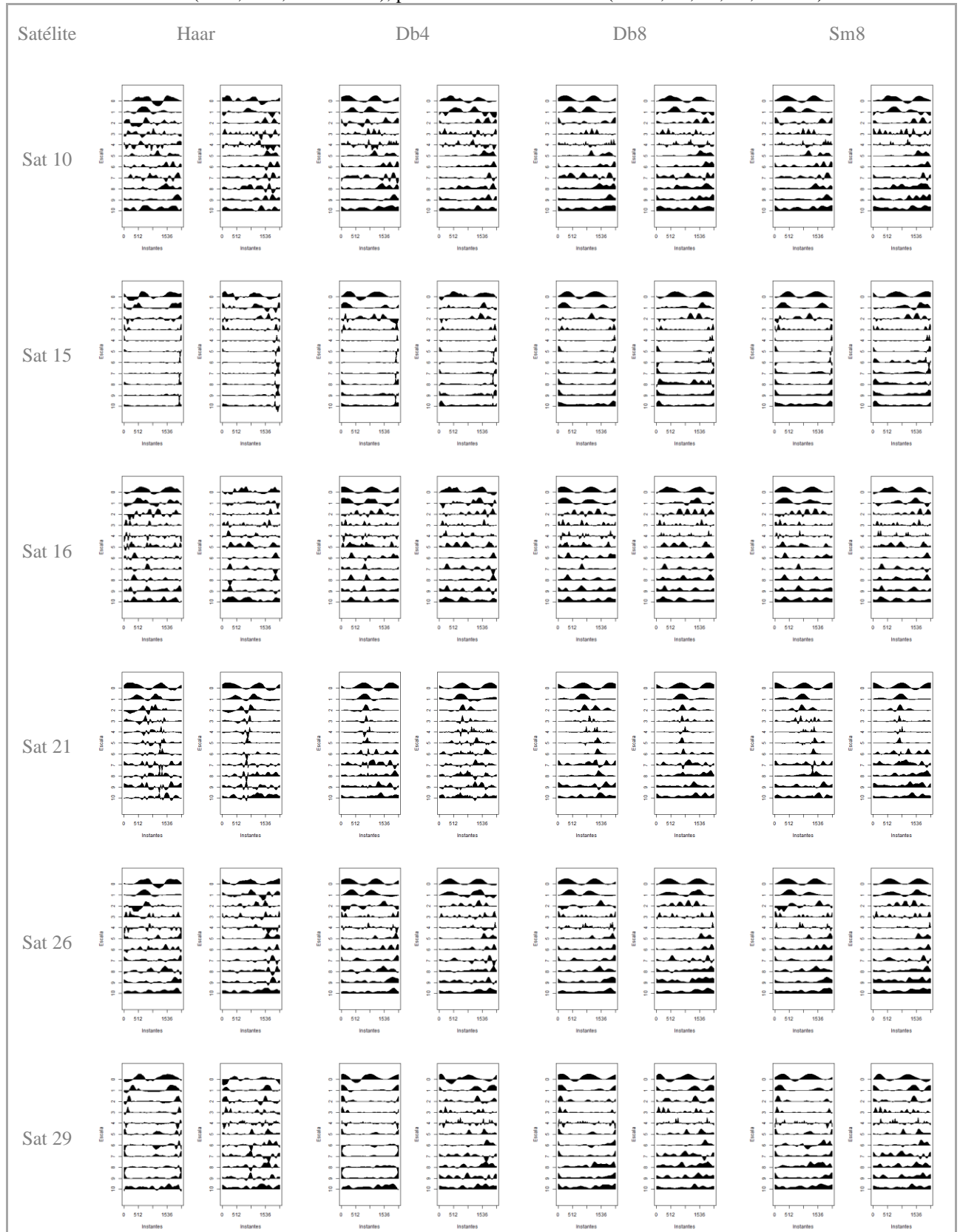
Figura 19 – Correlação de Spearman do método dos RB para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) em cada um dos cenários (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3). Com a separação pelo valor de corte do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha)



Por meio da análise da Figura 19 é possível verificar que mesmo que as séries temporais apresentadas na Figura 18 possuam uma similaridade, quando verificado o coeficiente de correlação Spearman é obtida uma correlação muito baixa entre as séries temporais dos RB, principalmente devido à presença de ruídos.

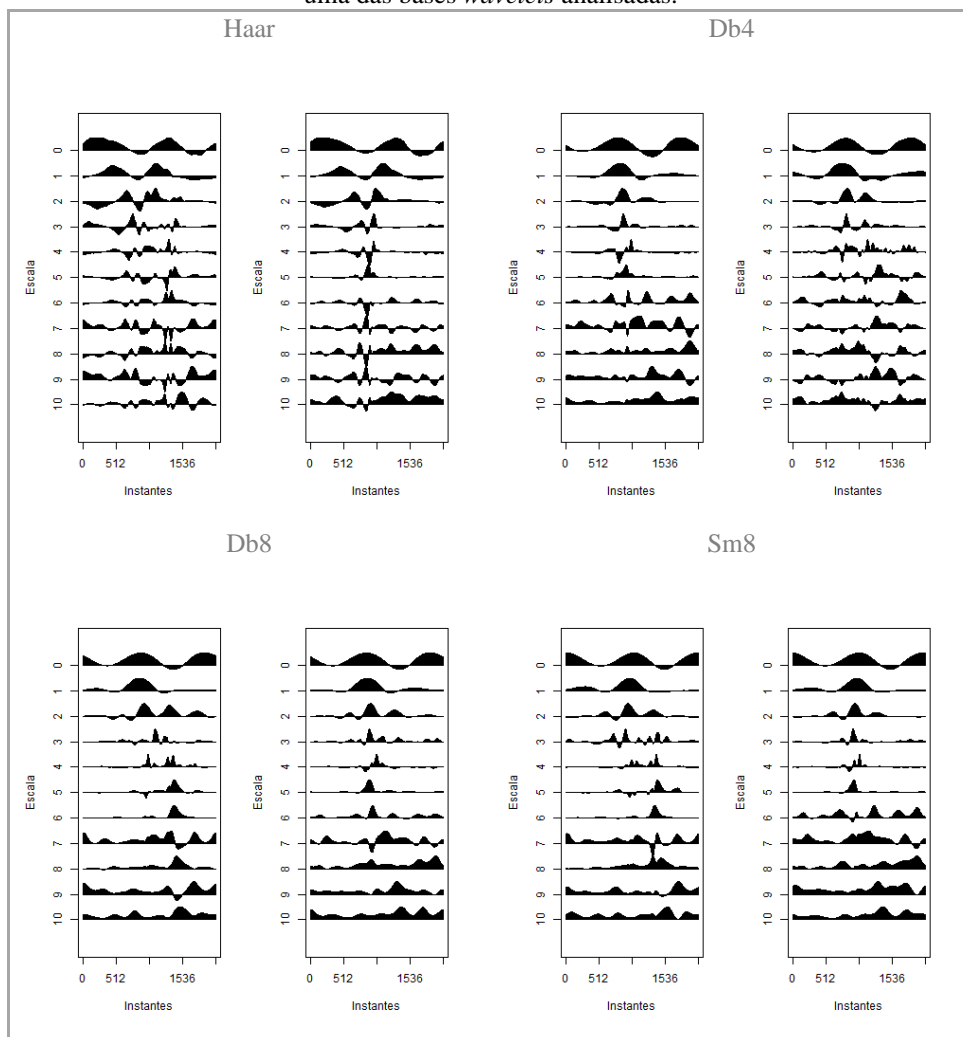
Deste modo, a próxima análise busca a identificação e separação das séries temporais do multicaminho por meio da AW, sendo utilizadas as bases de Haar, de Daubechies com 4 e 8 momentos nulos (Db4 e Db8) e de Symmlets com 8 momentos nulos (Sm8). A Figura 20 compara as bases *wavelets* na análise dos resíduos de todos os satélites para o cenário D1-I com ambos os dias. A comparação dos demais cenários podem ser encontrada no Apêndice A.

Figura 20 – Escala *wavelet* das séries temporais dos RB do cenário D1-I (1 e 2) em cada uma das bases *wavelets* analisadas (Haar, Db4, Db8 e Sm8), para cada um dos satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29)



Por meio da Figura 20 é verificado que apesar da diferença entre as respostas dos espectrogramas de cada base *wavelet*, pode-se notar uma tendência de maior similaridade (repetibilidade) dos coeficientes *wavelet* nas escalas 0, 1, 2, 3 e 4, principalmente nos satélites 21, 26 e 29, representando um maior indicativo do multicaminho de baixa frequência causado pela estrutura. Para melhor visualização dos resultados a Figura 21 apresenta a análise das escalas apenas para o satélite 21.

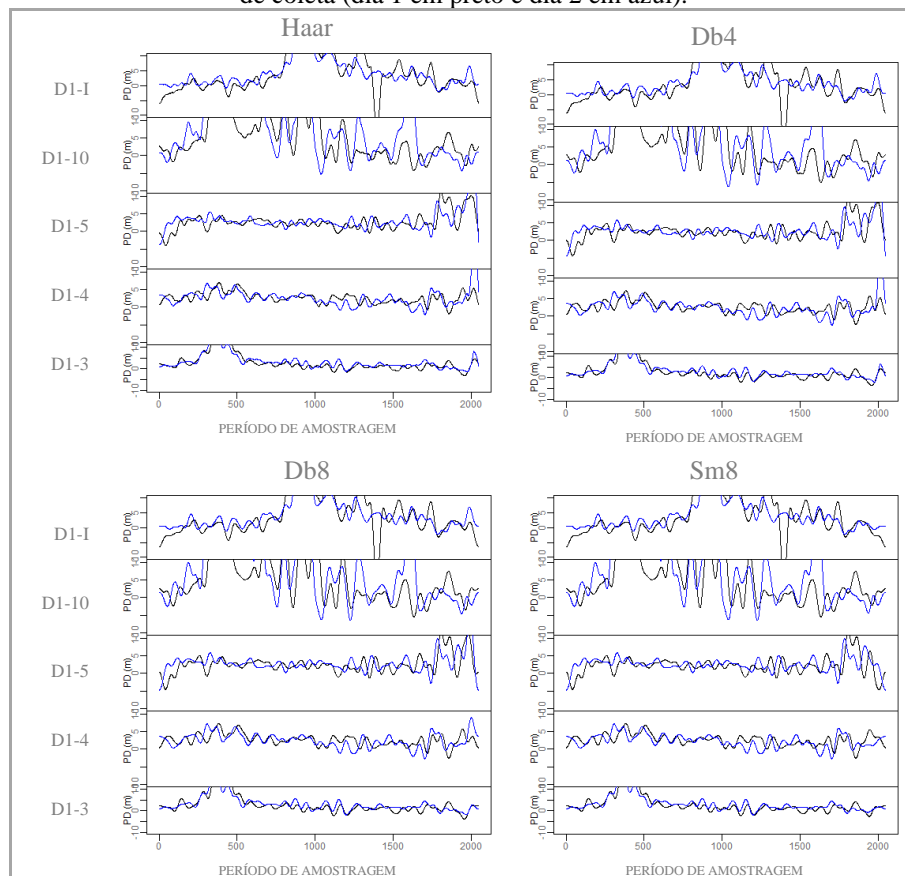
Figura 21 – Análise das escalas *wavelet* das séries temporais do cenário D1-I (1 e 2), para o satélite 21, em cada uma das bases *wavelets* analisadas.



Na Figura 21 é possível verificar que nas primeiras escalas (0, 1, 2, 3 e 4), as quais são correspondentes a baixa frequência, se tem uma maior similaridade entre os dias, além de condizer com a característica do experimento, no qual a antena está localizada muito próxima da superfície refletora, ocasionado multicaminho de baixa frequência. Portanto para as demais análises serão levadas em consideração as escalas 0, 1, 2, 3 e 4, das 10 apresentadas nos espectrogramas.

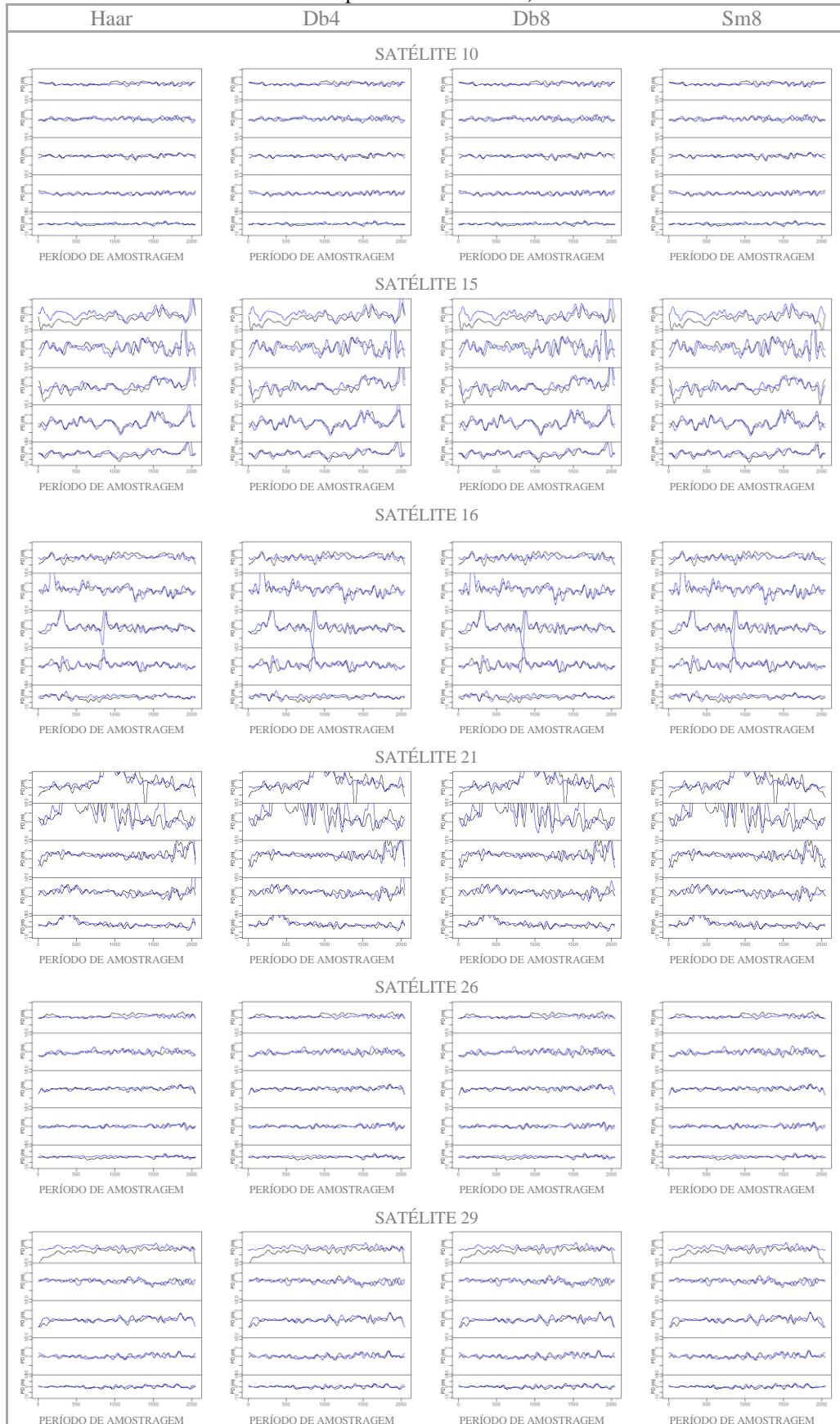
Com as escalas de análise definidas foi realizada a Reconstrução *Wavelet* dos coeficientes destas escalas para obtenção das series temporais do multicaminho, a partir das quais pode-se verificar a repetibilidade entre os dias. A Figura 22 apresenta a reconstrução das séries temporais do satélite 21 para cada cenário e para cada uma das bases *wavelets*, sendo plotados os dias 1 (preto) e 2 (azul) de cada cenário.

Figura 22 – Séries temporais do multicaminho obtidas a partir da AW do satélite 21 considerando diferentes bases *wavelet* (Haar, Db4, Db8 e Sm8), para os cenários D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3, utilizando os dois dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul).



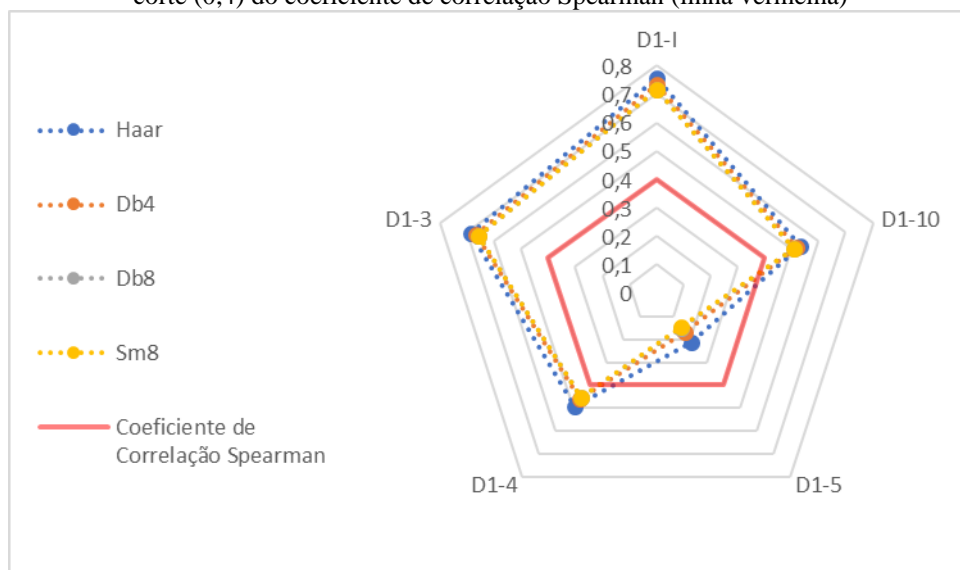
Por meio da Figura 22 é possível verificar grande semelhança entre as séries temporais das bases *wavelets*, o que também ocorre nos demais satélites, sendo estes mostrados na Figura 23, a qual apresenta as reconstruções das séries temporais para cada cenário com os dados da pseudodistância.

Figura 23 – Séries temporais da AW para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) em cada base *wavelet* (Haar, Db4, Db8 e Sm8), para os cenários D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3, utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul).



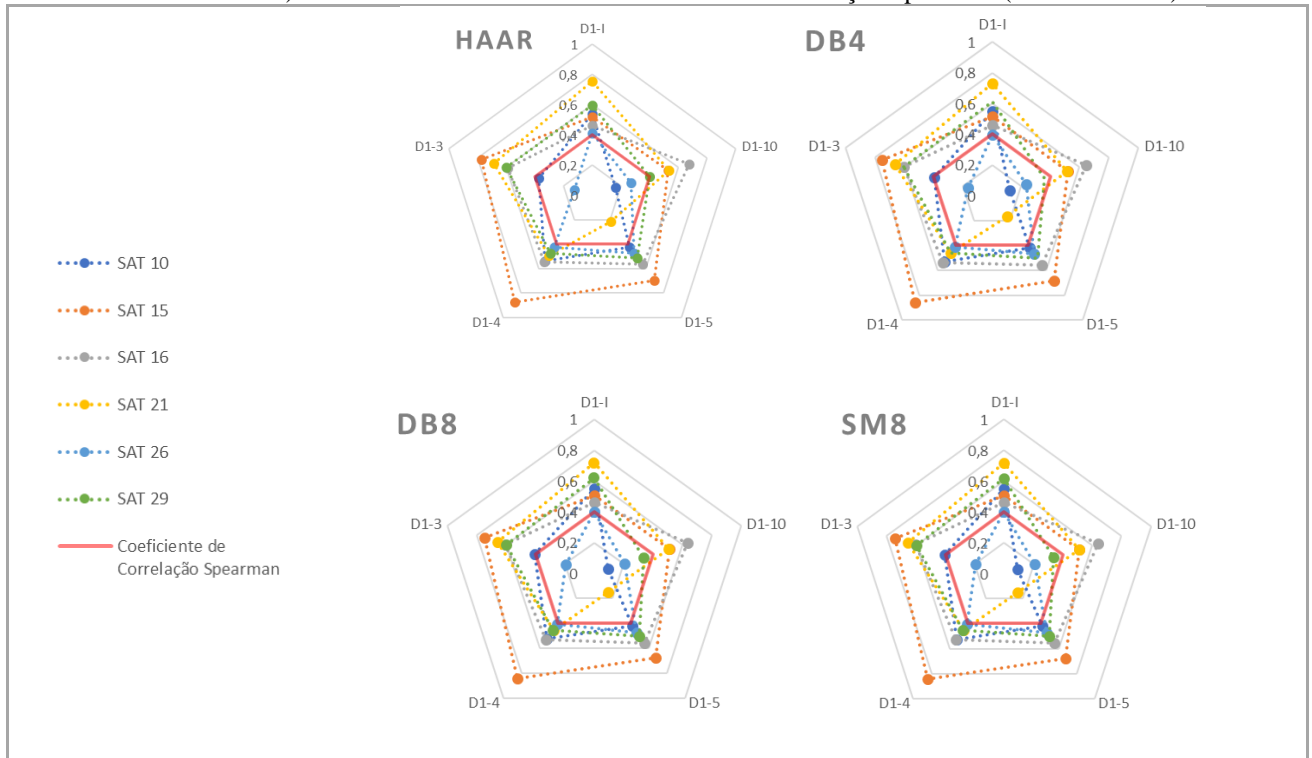
Embora nas Figura 22 e 23 tenha sido observada semelhança entre as decomposições utilizando diferentes *wavelets* mãe, também foi calculada a correlação de Spearman entre os dias que possuem o ambiente inalterado, ou seja, não apresentam movimentação. Assim, foram comparados os resultados para o satélite 21 em cada uma das bases *wavelets*, os quais são mostrados na Figura 24. Nesta figura, são apresentados os coeficientes de correlação de Spearman em cada cenário, sendo a linha vermelha o valor de corte 0,40, utilizado como indicativo para a verificação da correlação entre os dias analisados.

Figura 24 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada base *wavelet* (Haar, Db4, Db4 e Sm8) para o satélite 21 em cada um dos cenários (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3). Destaca-se valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha)



Com a Figura 24 é notado que as bases *wavelets* utilizadas apresentam a mesma resposta quando verificado o coeficiente de correlação. Para a comprovação desta resposta é apresentada na Figura 25 a comparação do coeficiente de correlação de Spearman para todos os satélites em cada base *wavelet*, destacando (linha vermelha) o valor de corte de 0,40, utilizado como indicativo para dizer se há ou não correlação entre os dias analisados.

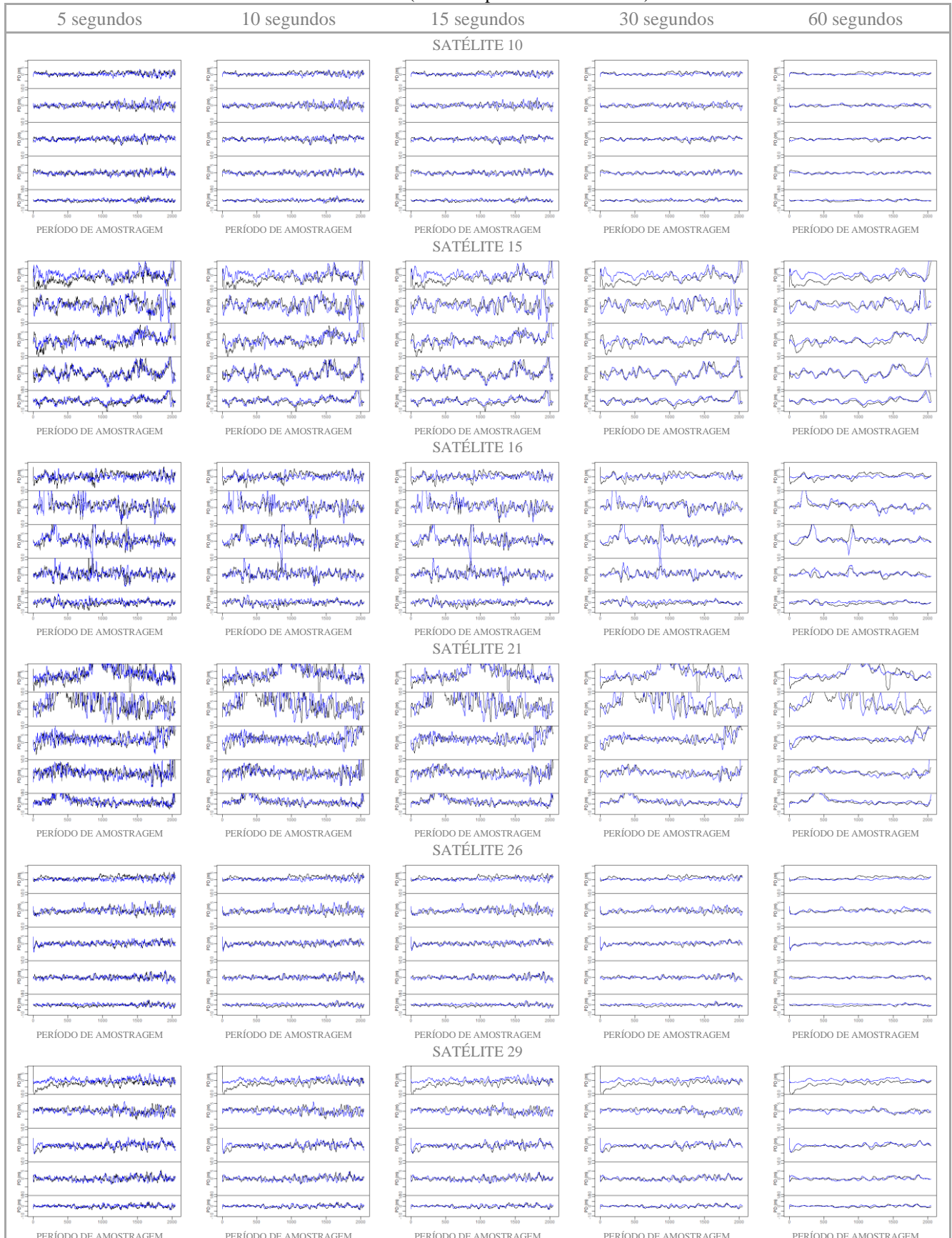
Figura 25 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada base *wavelet* (Haar, Db4, Db4 e Sm8) para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3). Destaca-se valor de corte do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha).



Com a análise da Figura 24, assim como da Figura 25, é possível notar grande similaridade nos resultados entre as bases *wavelets*, por isso nas próximas análises será utilizada apenas a base *wavelet* Symmlets com 8 momentos nulos (Sm8), por ser uma base mais simétrica, com boas características teóricas e também por ter sido utilizado no trabalho de Negri (2012) como a melhor base para a verificação da movimentação estrutural. Ao comparar os resultados da Figura 19 e da Figura 25 nota-se que se tem uma maior correlação quando utilizado o método de AW do que apenas os RB.

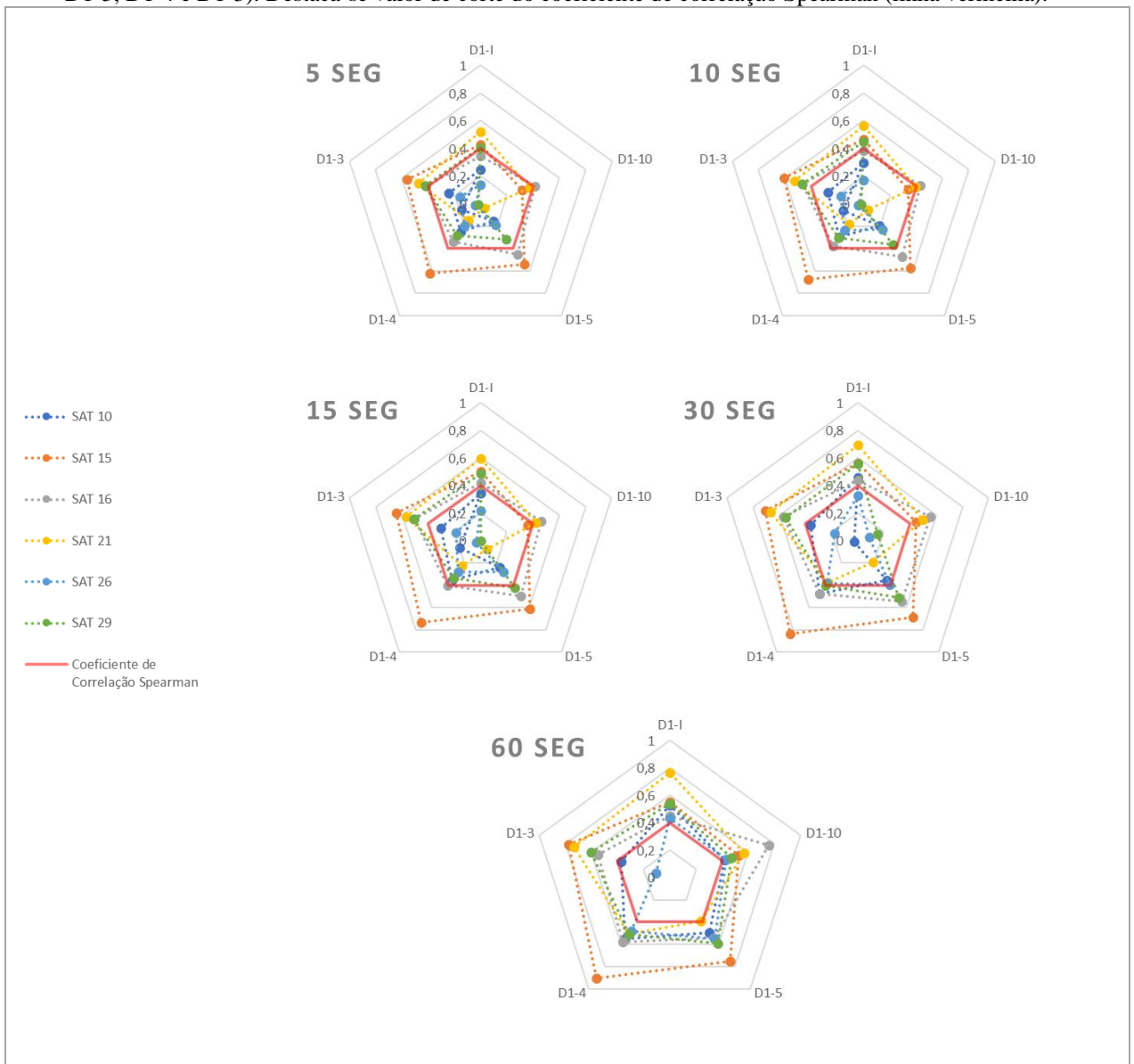
Após a análise por meio dos RB e da AW, foi realizado a verificação por meio da MM dos resíduos, uma vez que foram utilizados apenas a baixas frequências na análise anterior. Para tanto foi avaliado qual tamanho de janela melhor representaria o efeito do multicaminho de baixa frequência, sendo testadas as janelas de 5, 10, 15, 30 e 60 segundos. A Figura 26 apresenta as séries temporais obtidas por meio da MM para cada uma das janelas analisadas em cada um dos cenários, sendo plotado o dia 1 e o dia 2 em preto e azul respectivamente, para cada um dos satélites.

Figura 26 – Séries temporais da MM para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26 e 29) em cada uma das 5 janelas (5, 10, 15, 30 e 60 segundos) para cada um dos cenários (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul).



Assim como o esperado, ao se aumentar o tamanho da janela se tem a suavização da série temporal, o que representa a redução dos ruídos oriundos do ambiente, deixando principalmente o multicaminho causado pela estrutura. Entretanto, para se definir qual a melhor janela se faz necessário a verificação por meio da correlação Spearman, assim como feito nos casos anteriores. Com isso, a Figura 27 mostra a correlação de Spearman entre as séries temporais obtidas pela média móvel para cada cenário e todos os satélites, utilizando a base de corte o valor de corte 0,40 (linha vermelha).

Figura 27 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada uma das 5 janelas da MM (5, 10, 15, 30 e 60 seg) para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3). Destaca-se valor de corte do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha).



Por meio da Figura 27 é notável que a passo que é aumentada a janela analisada tem-se o aumento da correlação entre as séries temporais, isso devido a retirada de ruídos não

provenientes do multicaminho causados pela estrutura. Deste modo para as próximas análises será levado em consideração apenas a janela de 60 segundos.

Após a realização da correlação Spearman para os dias consecutivos feita para os 3 métodos (RB, AW e MM), foi realizada a separação dos satélites em cenários que serão utilizados na detecção da movimentação, sendo estes os que apresentam um coeficiente de correlação superior a 0,4, vale ressaltar que cada método será avaliado separadamente. A Tabela 3 apresenta quais os satélites e quais os cenários serão utilizados para cada método proposto, para isso foram destacados em colorido os que serão analisados, cada método recebeu uma cor para facilitar a visualização.

Tabela 3 – Satélites que possuem o coeficiente de correlação Spearman superior a 0,4 em cada método, RB em azul, AW em vermelho e MM em verde, verificando cada cenário (D1-I, D1-10, D1-5, D1-4 e D1-3).

| Método | Cenário | Sat 10 | Sat 15 | Sat 16 | Sat 21 | Sat 26 | Sat 29 |
|----------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Resíduos Brutos | D1-I | | | | | | |
| | D1-10 | | | | | | |
| | D1-5 | | | | | | |
| | D1-4 | | | | | | |
| | D1-3 | | | | | | |
| Análise Wavelet Sm8 | D1-I | | | | | | |
| | D1-10 | | | | | | |
| | D1-5 | | | | | | |
| | D1-4 | | | | | | |
| | D1-3 | | | | | | |
| Média Móvel 60 seg | D1-I | | | | | | |
| | D1-10 | | | | | | |
| | D1-5 | | | | | | |
| | D1-4 | | | | | | |
| | D1-3 | | | | | | |

Como é possível notar na Tabela 3 para alguns satélites não será realizada a análise de todos os cenários, devido à baixa correlação existente entre os dias que não houve movimentação, representando a não repetibilidade entre as séries temporais. Vale ressaltar que apesar do satélite 16, no método dos Resíduos Brutos, possuir um cenário possível, o mesmo será desconsiderado das próximas análises, pois para a verificação da movimentação é necessário no mínimo dois cenários, sendo que para a análise dos deslocamentos serão utilizadas as seguintes combinações:

- 10 cm: D1-I + D1-10;
- 5 cm: D1-I + D1-5;
- 4 cm: D1-I + D1-4;
- 3 cm: D1-I + D1-3;
- 2 cm: D1-5 + D1-3;
- 1 cm: D1-5 + D1-4.

A Tabela 4 apresenta quais movimentos de deslocamento serão analisados para cada método, levando em consideração cada satélite.

Tabela 4 – Deslocamentos analisados (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26, 29) para cada método RB em azul, AW em vermelho e MM em verde.

| Método | Satélite | 10 cm | 5 cm | 4 cm | 3 cm | 2 cm | 1 cm |
|----------------------------|----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Resíduos Brutos | Sat 15 | | | | | 0,238 | 0,339 |
| | Sat 21 | | | | 0,67 | | |
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 10 | | 0,457 | 0,564 | 0,425 | 0,352 | 0,372 |
| | Sat 15 | 0,699 | -0,064 | 0,351 | 0,432 | 0,297 | 0,447 |
| | Sat 16 | 0,504 | 0,481 | 0,378 | 0,344 | 0,581 | 0,400 |
| | Sat 21 | 0,769 | | 0,870 | 1,036 | | |
| | Sat 26 | | 0,350 | 0,288 | | | 0,488 |
| | Sat 29 | | 0,161 | 0,405 | 0,605 | 0,406 | 0,357 |
| Média Móvel 60 seg | Sat 10 | 0,720 | 0,424 | 0,463 | | | 0,119 |
| | Sat 15 | 0,795 | -0,109 | 0,330 | 0,410 | 0,749 | 0,344 |
| | Sat 16 | 0,534 | 0,476 | 0,214 | 0,294 | 0,542 | 0,305 |
| | Sat 21 | 0,737 | | 0,942 | 1,119 | | |
| | Sat 26 | 0,290 | 0,334 | 0,361 | | | 0,353 |
| | Sat 29 | 1,004 | -0,092 | 0,228 | 0,655 | 0,591 | 0,249 |

Selecionados os satélites que serão analisados é possível realizar a primeira análise de movimentação, denominada Diferenciação (Subseção 5.d). Essa análise verifica a diferença entre os coeficientes de correlação para os dias que houveram e não houveram movimentação. Deste modo, primeiro é calculado o coeficiente de correlação de Spearman entre os dias que apresentaram movimentação, e posteriormente é verificado a diferença dos coeficientes de correlação em relação aos dias que não tiveram movimentação, de modo a verificar a diferença entre os coeficientes, sendo que para a detecção da movimentação essa diferença deve ser superior a 0,3, significando a não correlação entre os dias analisados. A Tabela 5 apresenta o resultado da diferenciação entre os coeficientes de correlação para cada deslocamento mostrado na Tabela 4. Para melhor compreensão dos valores os dados dos coeficientes utilizados para o cálculo da diferenciação podem ser encontrados no Apêndice B.

Tabela 5 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação, para cada deslocamentos analisados (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm) em cada satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26, 29) para cada método RB em azul, AW em vermelho e MM em verde. Destacados em vermelhos os deslocamentos que não foram detectados.

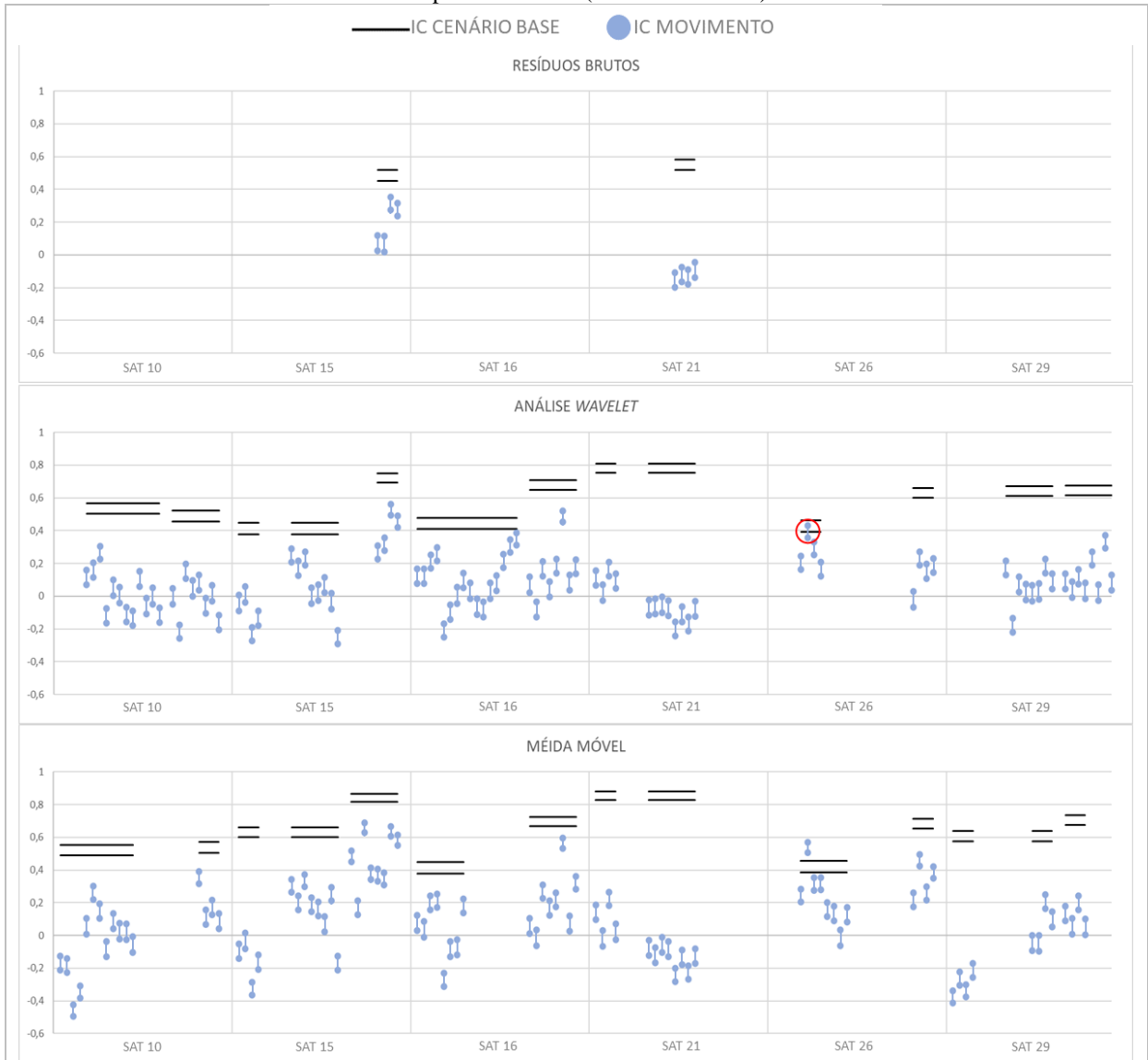
| Método | Satélite | 10 cm | 5 cm | 4 cm | 3 cm | 2 cm | 1 cm |
|----------------------------|----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Resíduos Brutos | Sat 15 | | | | | 0,238 | 0,339 |
| | Sat 21 | | | | 0,67 | | |
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 10 | | 0,457 | 0,564 | 0,425 | 0,352 | 0,372 |
| | Sat 15 | 0,699 | -0,064 | 0,351 | 0,432 | 0,297 | 0,447 |
| | Sat 16 | 0,504 | 0,481 | 0,378 | 0,344 | 0,581 | 0,400 |
| | Sat 21 | 0,769 | | 0,870 | 1,036 | | |
| | Sat 26 | | 0,350 | 0,288 | | | 0,488 |
| | Sat 29 | | 0,161 | 0,405 | 0,605 | 0,406 | 0,357 |
| Média Móvel 60 seg | Sat 10 | 0,720 | 0,424 | 0,463 | | | 0,119 |
| | Sat 15 | 0,795 | -0,109 | 0,330 | 0,410 | 0,749 | 0,344 |
| | Sat 16 | 0,534 | 0,476 | 0,214 | 0,294 | 0,542 | 0,305 |
| | Sat 21 | 0,737 | | 0,942 | 1,119 | | |
| | Sat 26 | 0,290 | 0,334 | 0,361 | | | 0,353 |
| | Sat 29 | 1,004 | -0,092 | 0,228 | 0,655 | 0,591 | 0,249 |

No método proposto o primeiro passo para a detecção da movimentação é a verificação do resultado da Diferenciação, o qual deve ser superior a 0,3, representando uma diferença de 30% entre os coeficientes de correlação. Deste modo, na Tabela 5 foram destacados em vermelho os valores inferiores a este, mostrando a não detecção da movimentação. Sendo assim, estes foram desconsiderados na análise do IC, uma vez que para se determinar a movimentação é necessário que a mesma seja detectada em ambos os testes.

A verificação por meio do IC foi realizada levando em consideração um cenário base, podendo esse ser o D1-I ou o D1-5, dependendo do deslocamento analisado. Essa etapa consiste em verificar se há sobreposição entre os IC dos movimentos e do IC base, para tanto são plotados os limites superiores e inferiores de cada possível movimento. Vale ressaltar que, como é verificado dois dias de cada cenário, é possível 4 combinações para cada movimento. A não detecção da movimentação se dá quando o IC da movimentação se sobrepõe ao IC base.

Na Figura 28 é apresentada a análise dos deslocamentos por meio do IC para os três métodos (RB, AW e MM). Por meio da figura é possível verificar se há a sobreposição entre os IC do movimento (azul) com o IC do cenário base (linha preta), sendo que a sobreposição do IC resulta na permanência do mesmo dentro dos limites bases. Os IC que não passaram no teste, ou seja, que se sobrepõe ao IC base, foram circulos (círculo vermelho). Para mais detalhes sobre os valores do IC de ambos os métodos consultar Apêndice C.

Figura 28 – Verificação do deslocamento por meio do IC para todos os satélites (sat 10, 15, 16, 21, 26, e 29) nos métodos dos RB, AW e MM, para os deslocamentos (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm). Destacando os deslocamentos que se sobrepõem ao IC base (círculo vermelho).



Como verificado na Figura 28, apenas um IC de movimento se sobrepõe ao IC do cenário base, sendo este o movimento de 5 cm para o satélite 26 na AW. Com isso tem-se a não detecção deste movimento, ainda que as outras 3 combinações da mesma situação não se sobrepõem ao IC base.

6.1.2 D3 – Deslocamento Receptor 3

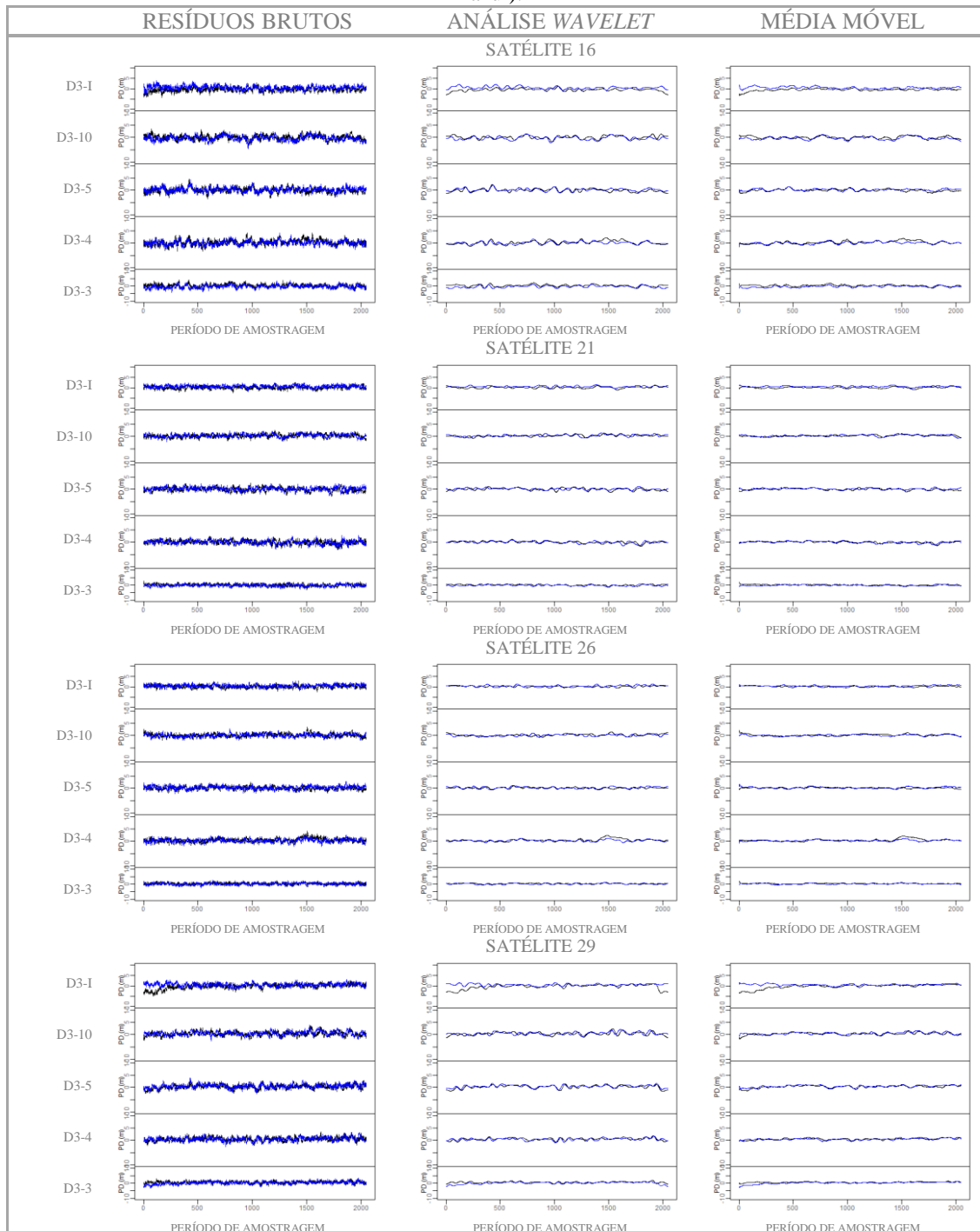
Para simplificar os resultados, os métodos analisados (RB, AW, MM) serão apresentados simultaneamente, sendo apresentados os dias com o ambiente inalterado, os quais não possuem movimentação. Em seguida será calculada a correlação de Spearman dos mesmos e a Diferenciação para realizar a primeira verificação do deslocamento. Por fim será determinado o IC para confirmação da movimentação. Além disso, devido aos resultados

apresentados para o deslocamento do receptor 1 (Subseção 6.1.1), foram fixados os parâmetros que serão utilizados ao longo das análises dos demais receptores, sendo estes a máscara de elevação de 15° , a base *wavelet* Symmlets com 8 momentos nulos, a escala *wavelet* 0, 1, 2, 3 e 4, as quais são correspondentes ao multicaminho proveniente da estrutura e a janela de 60 segundos para a MM.

Para esse receptor serão utilizados os dados dos satélites 16, 20, 21, 26 e 29, os quais apresentam uma coleta de dados mais consistentes ao longo de todos os dias analisados, de forma que não há *gaps* nos arquivos gerados, mostrando que os mesmos estão melhor posicionados em relação a estrutura. O satélite 20 será utilizado com satélite base para a DD, pelo mesmo apresentar o maior ângulo de elevação durante a coleta do experimento.

Após as investigações iniciais, sendo estas a definição do ângulo de elevação, da escolha da base e das escalas *wavelets* e definição da janela da MM, são apresentados na Figura 29 as séries temporais dos três métodos (RB, AW e MM) para cada satélite, sendo plotados os dois dias de cada cenário (dia 1 em preto e dia 2 em azul).

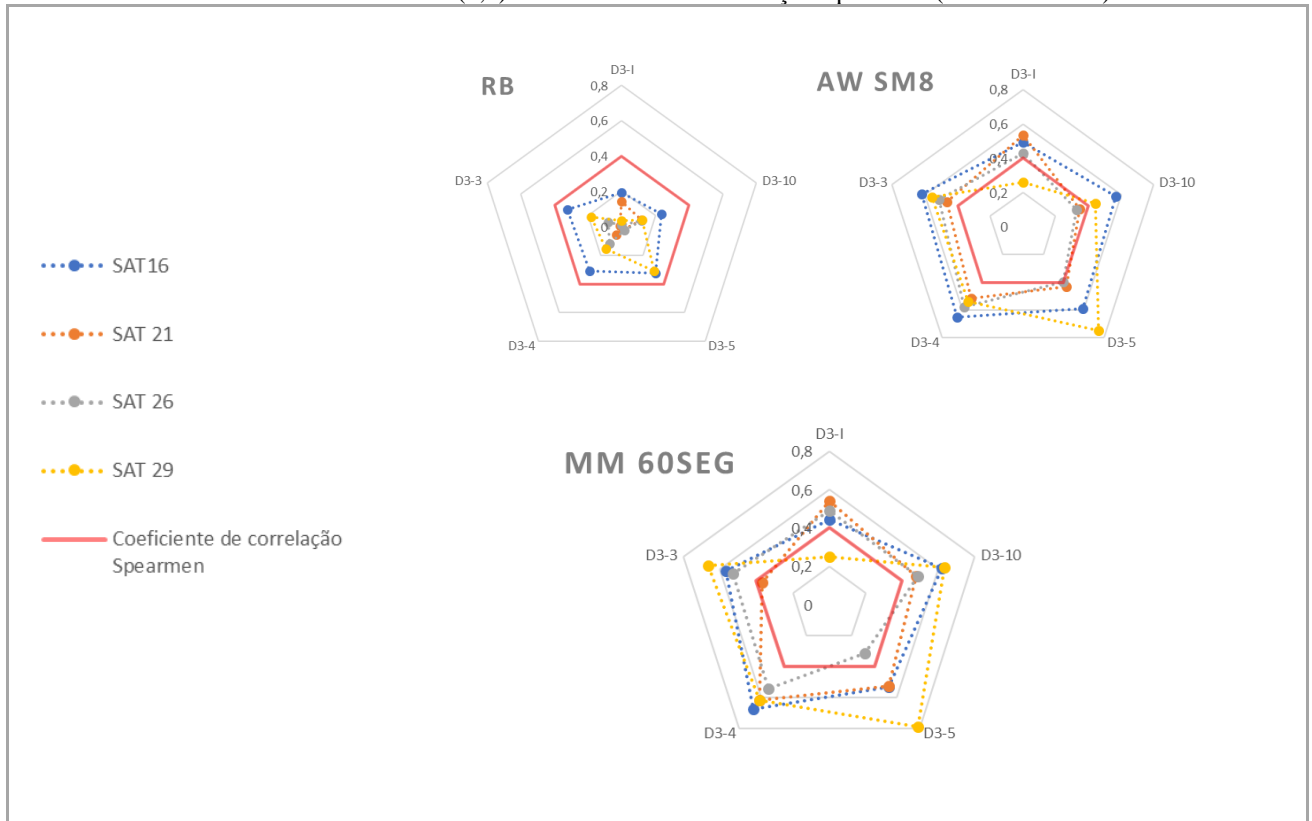
Figura 29 – Séries temporais para os três métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 16, 21, 26 e 29) em cada cenários (D3-I, D3-10, D3-5, D3-4 e D3-3), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul).



Em todas as séries temporais analisadas é possível verificar uma similaridade entre os dias consecutivos, isso ocorrendo em todos os satélites com maior ou menor intensidade dependendo de seu ângulo e elevação e azimute. Também se pode notar a suavização das séries quando utilizado os métodos de AW e MM. Isso ocorre devido a filtragem realizada por ambos. Porém para uma melhor verificação da correlação foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman a fim de verificar a real correlação entre as séries temporais, para

cada um dos métodos. A Figura 30 mostra a correlação de Spearman entre as séries temporais para todos os satélites em cada cenário, destacando-se o valor de corte 0,40 (linha vermelha), utilizado como indicativo para a verificação da correlação entre os dias analisados.

Figura 30 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada um dos métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (D3-I, D3-10, D3-5, D3-4 e D3-3). Destaca-se valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha).



Por meio da Figura 30 é possível verificar que apesar da concordância entre as séries temporais dos RB apresentada na Figura 29, quando verificado o coeficiente de correlação para cada cenário nota-se que não há correlação entre elas, de forma que nenhum dos cenários passam pelo valor de corte, fazendo com que não seja possível as análises de movimentação com os dados dos RB. Já com o método de AW apenas quatro situações não passam no valor de corte (sat 21 – D3-10; sat 26 – D3-10 e D3-5; sat 29 – D3-I) e na MM apenas três situações são cortadas (sat 21 – D3-3; sat 26 – D3-5; sat 29 – D3-I).

Com a verificação das correlações é possível a averiguação da movimentação. Devido à baixa correlação no método dos RB, indicando a não repetibilidade das séries temporais, o mesmo não será testado para movimentação, da mesma forma que alguns movimentos para os demais métodos, uma vez que as movimentações são testadas por meio da combinação dos cenários. As movimentações que serão testadas são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Deslocamentos analisados (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 16, 21, 26, 29) para os métodos de AW em vermelho e MM em verde.

| Método | Satélite | 10 cm | 5 cm | 4 cm | 3 cm | 2 cm | 1 cm |
|----------------------------|----------|-------|------|------|------|------|------|
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 16 | | | | | | |
| | Sat 21 | | | | | | |
| | Sat 26 | | | | | | |
| | Sat 29 | | | | | | |
| Média Móvel 60 seg | Sat 16 | | | | | | |
| | Sat 21 | | | | | | |
| | Sat 26 | | | | | | |
| | Sat 29 | | | | | | |

Com os deslocamentos prováveis definidos, foi realizada o cálculo da Diferenciação, sendo os resultados apresentados na Tabela 7 para cada movimento mostrado na Tabela 6. Os dados dos coeficientes utilizados para o cálculo podem ser encontrados no Apêndice B.

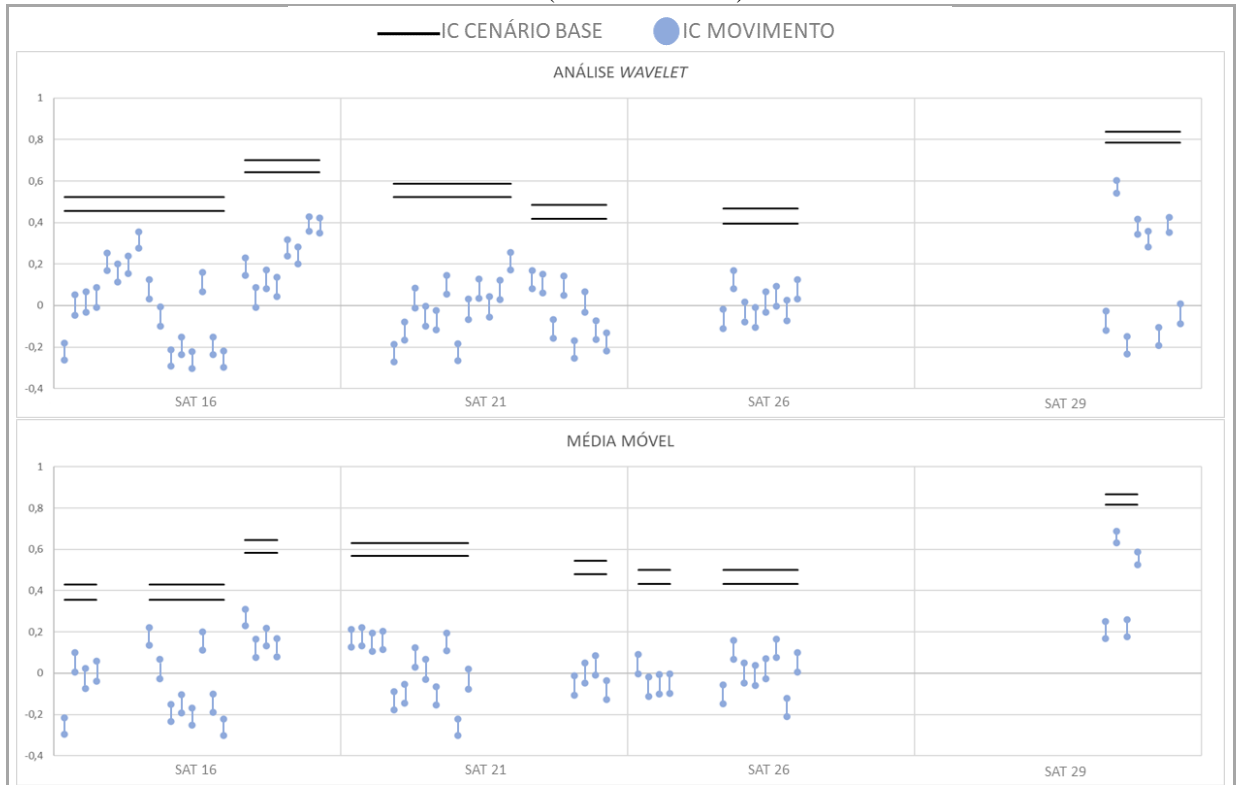
Tabela 7 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação para os deslocamentos de 10, 5, 4, 3, 2 e 1cm por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 16, 21, 26, 29) para os métodos de AW em vermelho e MM em verde. Destacando-se em vermelho os valores inferiores a 0,3.

| Método | Satélite | 10 cm | 5 cm | 4 cm | 3 cm | 2 cm | 1 cm |
|----------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 16 | 0,685 | 0,449 | 0,515 | 0,859 | 0,440 | 0,356 |
| | Sat 21 | | 0,692 | 0,603 | 0,418 | 0,353 | 0,622 |
| | Sat 26 | | | 0,404 | 0,362 | | |
| | Sat 29 | | | | | 0,894 | 0,551 |
| Média Móvel 60 seg | Sat 16 | 0,648 | 0,286 | 0,313 | 0,751 | 0,328 | 0,267 |
| | Sat 21 | 0,344 | 0,671 | 0,685 | | | 0,544 |
| | Sat 26 | 0,484 | | 0,477 | 0,477 | | |
| | Sat 29 | | | | | 0,635 | 0,288 |

O valor de corte para a Diferenciação é de 0,3, com isso ao analisar a Tabela 7 os valores que ficaram abaixo representam a não movimentação da estrutura (valores destacados em vermelho). Portanto os mesmos não serão levados em consideração na análise do IC. Para o método de AW não se tem nenhum corte o que mostra que em todos os deslocamentos detectados tem-se a movimentação da estrutura, já no método de MM foram obtidos três valores abaixo de 0,3, mostrando a não detecção dessas movimentações.

Na Figura 31 é apresentada a análise dos deslocamentos por meio do IC para os dois métodos (AW e MM), em que são apresentados o IC base (linha preta) e os IC dos movimentos (azul). Os IC que não passaram no teste, ou seja, que se sobrepõe ao IC base, foram circulados (círculo vermelho). Para mais detalhes sobre os valores do IC de ambos os métodos consultar Apêndice C.

Figura 31 – Verificação por meio do IC para todos os satélites (sat 16, 21, 26, e 29) no método da AW e MM para os deslocamentos (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm). Destacando os deslocamentos que pertencem ao IC base (círculo vermelho).



Ao término da análise do IC foi verificado que todos os movimentos testados pelo método do IC passam pelo teste, significando a detecção de todos os deslocamentos analisados.

6.2 Inclinação (I)

No movimento de inclinação inicialmente foram utilizados dois receptores (I2 e I4), porém devido a erros durante a coleta de dados, apenas o receptor 4 será analisado (I4), sendo trabalhados 5 cenários,

- Cenário I-I – Ambiente inicial (estrutura parada no centro do experimento);
- Cenário I-5 – Ambiente após a inclinação de 5°;
- Cenário I-4 – Ambiente após a inclinação de 4°;
- Cenário I-3 – Ambiente após a inclinação de 3°;
- Cenário I-2 – Ambiente após a inclinação de 2°.

Com esses cenários foi possível o estudo da inclinação de 5° a 1°, uma vez que para a verificação das movimentações de 5°, 4°, 3° e 2° cm foi utilizado com cenário base o I-I comparando com os demais cenários, já para as movimentações de 1° foi utilizado o cenário I-3 como base em comparação com o cenário I-2.

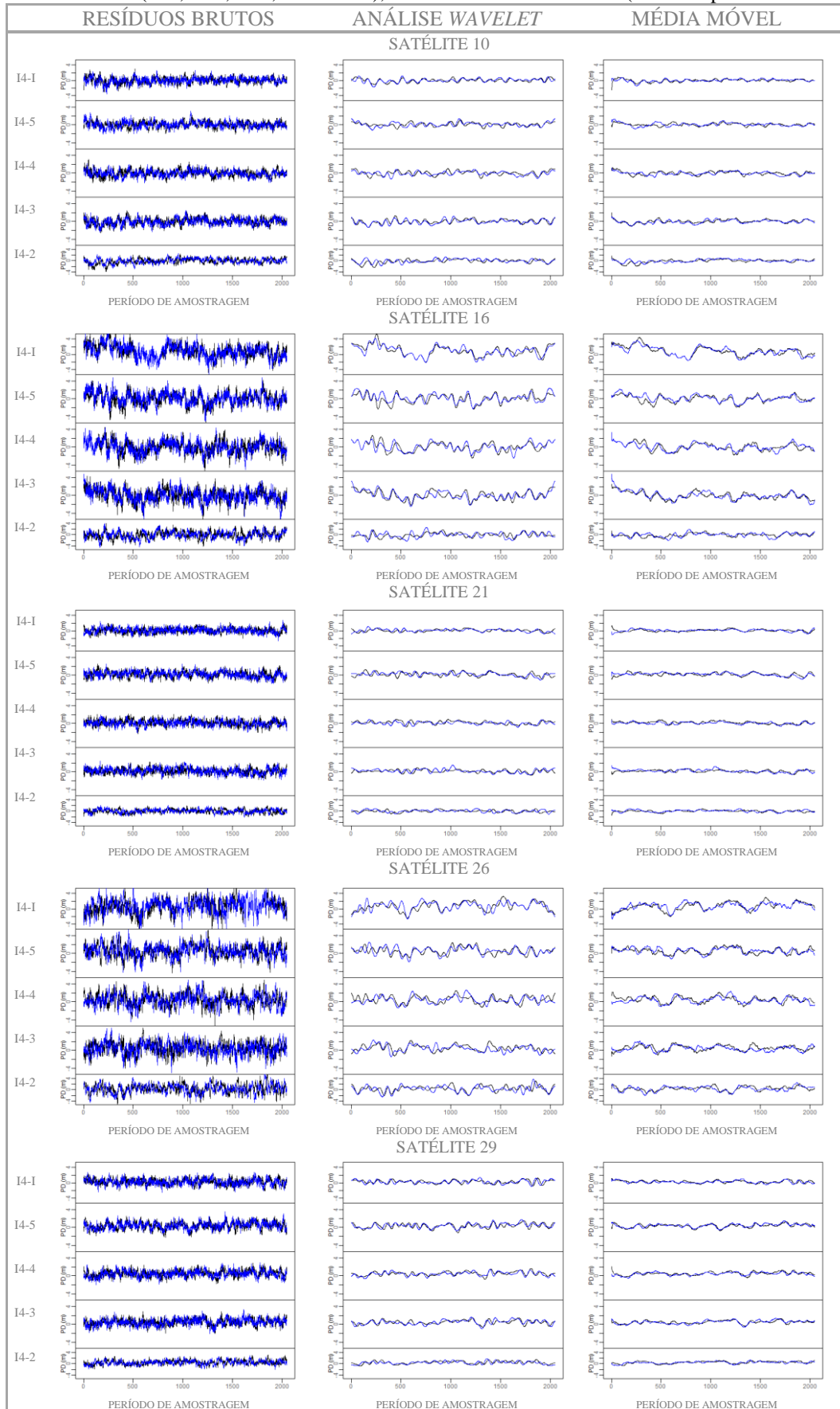
6.2.1 I4 – Inclinação Receptor 4

Assim como para o movimento de deslocamento, em cada cenário foram realizados dois dias de coleta (dia 1 e dia 2), para que fosse possível a verificação da repetibilidade do multicaminho. Deste modo a nomenclatura dos cenários seguem o mesmo padrão antes empregado: $Mr-C(d)$ - movimento (M); receptor (r); cenário (C); dia da coleta (d).

Os parâmetros utilizados para o deslocamento de receptor 1 (Subseção 6.1.1) também serão utilizados ao longo das análises da movimentação de inclinação, com isso se tem já definido a máscara de elevação de 15° , a base *wavelet* Symmlets com 8 momentos nulos, a escala *wavelet* 0, 1, 2, 3 e 4 e a janela de 60 segundos para a MM.

Vale ressaltar que para esse receptor será utilizado os dados dos satélites 10, 16, 21, 20, 26 e 29. A Figura 32 apresenta as séries temporais de cada cenário para cada satélite analisado, para os métodos de RB, AW e MM.

Figura 32 – Séries temporais para os três métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26 e 29,) em cada cenários (I4-I, I4-5, I4-4, I4-3 e I4-2), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul).



Ao analisar a Figura 32 é possível verificar a melhoria na correlação entre os dias 1 e 2 de cada cenário quando utilizado os métodos de AW e MM, uma vez que ambos minimizam os ruídos gerados pelo ambiente, porém para melhor visualização dessa melhora foi plotado na Figura 33 os coeficientes de correlação de Spearman, dos três métodos analisados em cada cenário.

Figura 33 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada um dos métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (I4-I, I4-5, I4-4, I4-3 e I4-2). Destaca-se valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman (linha vermelha).



Ao analisar a Figura 33, nota-se que os métodos de AW e MM possuem uma melhor correlação entre as séries temporais, uma vez que apenas três situações (sat 16 – I4-I; I4-5 e I4-4) do método de RB passam pelo valor de corte de 0,4. Por meio dos coeficientes de correlações tem-se quais inclinações serão possíveis analisar, sendo estas apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Inclinações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21, 26, 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e Média Móvel (verde).

| Método | Satélite | 5° | 4° | 3° | 2° | 1° |
|----------------------------|----------|----|----|----|----|----|
| Resíduos Brutos | Sat 16 | | | | | |
| | Sat 10 | | | | | |
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 16 | | | | | |
| | Sat 21 | | | | | |
| | Sat 26 | | | | | |
| | Sat 29 | | | | | |
| | Sat 10 | | | | | |
| Média Móvel 60 seg | Sat 16 | | | | | |
| | Sat 21 | | | | | |
| | Sat 26 | | | | | |
| | Sat 29 | | | | | |
| | Sat 10 | | | | | |

Por meio da Tabela 8 foi calculada a Diferenciação para as inclinações destacadas, sendo os resultados apresentados na Tabela 9. Para melhor compreensão dos valores, os cálculos da diferenciação podem ser encontrados no Apêndice B.

Tabela 9 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação, para as inclinações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21, 26, 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e Média Móvel (verde). Destacando-se em vermelho os valores inferiores a 0,3.

| Método | Satélite | 5° | 4° | 3° | 2° | 1° |
|----------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Resíduos Brutos | Sat 16 | 0,239 | 0,317 | | | |
| | Sat 10 | 0,326 | 0,871 | 0,732 | 0,658 | 0,686 |
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 16 | 0,482 | 0,382 | 0,464 | 0,942 | 0,845 |
| | Sat 21 | 0,775 | 0,637 | 0,659 | | |
| | Sat 26 | 0,200 | 0,436 | 0,485 | | |
| | Sat 29 | 0,574 | 0,556 | 0,498 | 0,698 | 0,334 |
| | Sat 10 | 0,239 | 0,317 | 0,242 | 0,224 | 0,24 |
| Média Móvel 60 seg | Sat 16 | 0,412 | 0,360 | 0,363 | 0,607 | 0,351 |
| | Sat 21 | 0,284 | 0,143 | | | |
| | Sat 26 | 0,257 | 0,381 | 0,429 | 0,462 | 0,162 |
| | Sat 29 | 0,211 | 0,108 | 0,140 | 0,207 | 0,091 |
| | Sat 10 | | | | | |

Após a verificação do movimento por meio da Diferenciação, foi realizada a análise por meio do IC, sendo que foram desconsideradas as inclinações que não passaram pela análise da Tabela 9 (destacados em vermelho), em que apenas uma situação do método de AW não foi detectada, enquanto que para o método de MM há um grande número de falha na detecção da movimentação. A Figura 34 apresenta a análise do IC para os três métodos. Para mais detalhes sobre os valores do IC consultar Apêndice C.

Figura 34 – Verificação por meio do IC para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26, e 29) nos métodos de RB, AW e MM para as inclinações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1°. Destacando os deslocamentos que pertencem ao IC base (círculo vermelho).



Todos os movimentos testados por meio do IC (Figura 34) apresentaram resposta positiva a movimentação, por não haver sobreposição entre os IC do movimento base.

6.3 Rotação (R)

O último movimento investigado é o movimento de rotação, no qual foram utilizados três receptores (R1, R3 e R4), sendo trabalhados 4 cenários,

- Cenário R-1 – Ambiente inicial (estrutura parada no centro do experimento);
- Cenário R-5 – Ambiente após a rotação de 5°;
- Cenário R-4 – Ambiente após a rotação de 4°;
- Cenário R-3 – Ambiente após a rotação de 3°;

Por meio desses cenários foi possível o estudo da rotação de 5° a 1° , em que na verificação das movimentações de 5° , 4° e 3° cm foi utilizado como cenário base o R-I, já para as movimentações de 2° e 1° foi utilizado como cenário base o R-5 em comparação com o cenário R-3 e R-4, consecutivamente.

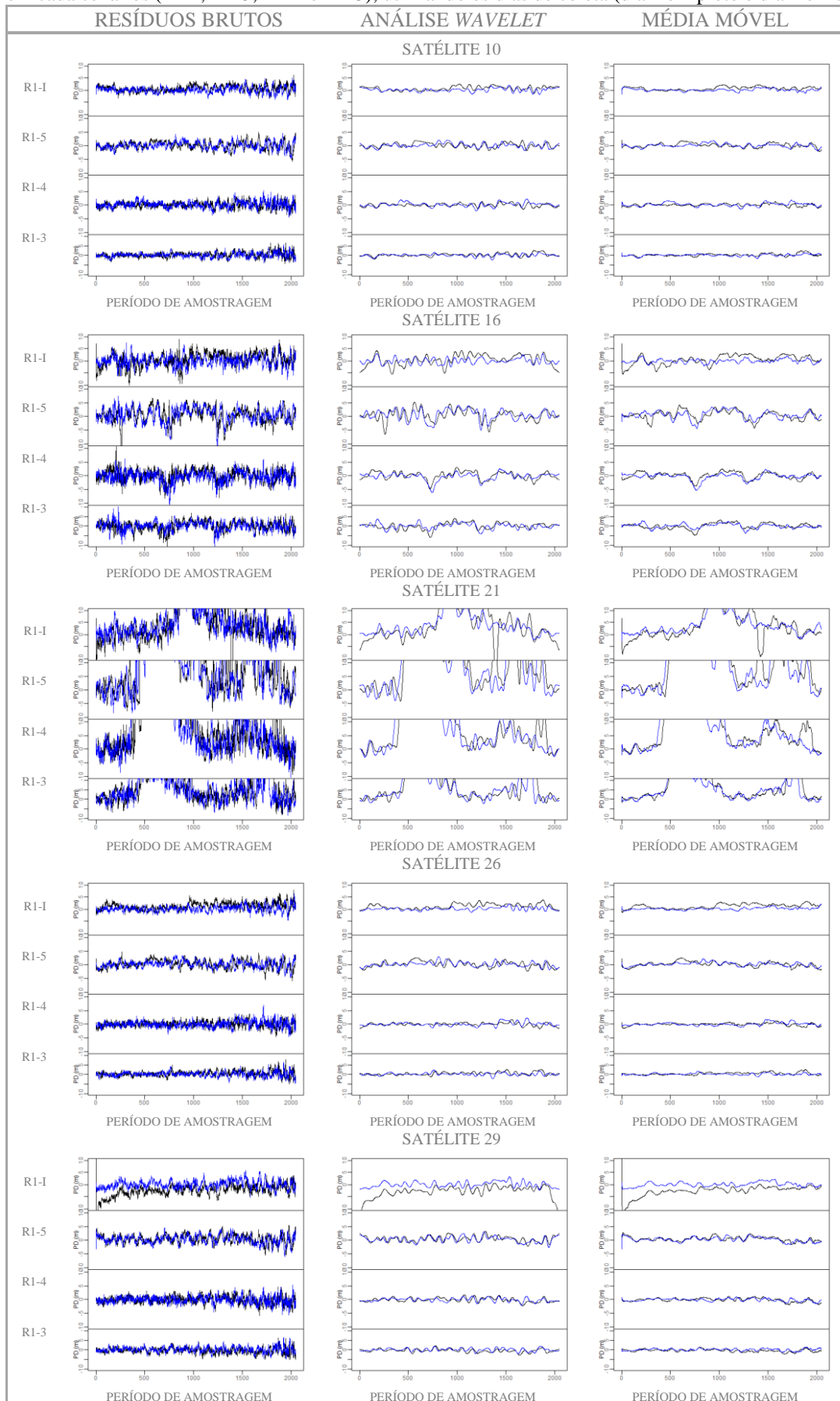
Da mesma forma que para os movimentos de deslocamento e inclinação, a cada cenário analisado foram coletados dois dias (dia 1 e dia 2), deste modo se faz possível a verificação da repetibilidade do multicaminho. Foi seguida a mesma nomenclatura que nos movimentos anteriores $Mr-C(d)$, por exemplo: cenário R1-I(1) – rotação do receptor 1, cenário inicial, dia 1.

Vale ressaltar que os parâmetros determinados no deslocamento de receptor 1 (Subseção 6.1.1), assim como utilizado no movimento de inclinação (Subseção 6.2.1) também serão considerados ao longo das análises desta movimentação. Assim sendo, será utilizado a máscara de elevação de 15° , a base *wavelet* Symmlets com 8 momentos nulos, a escala *wavelet* 0, 1, 2, 3 e 4 e a janela de 60 segundos para a MM.

6.3.1 R1 – Rotação Receptor 1

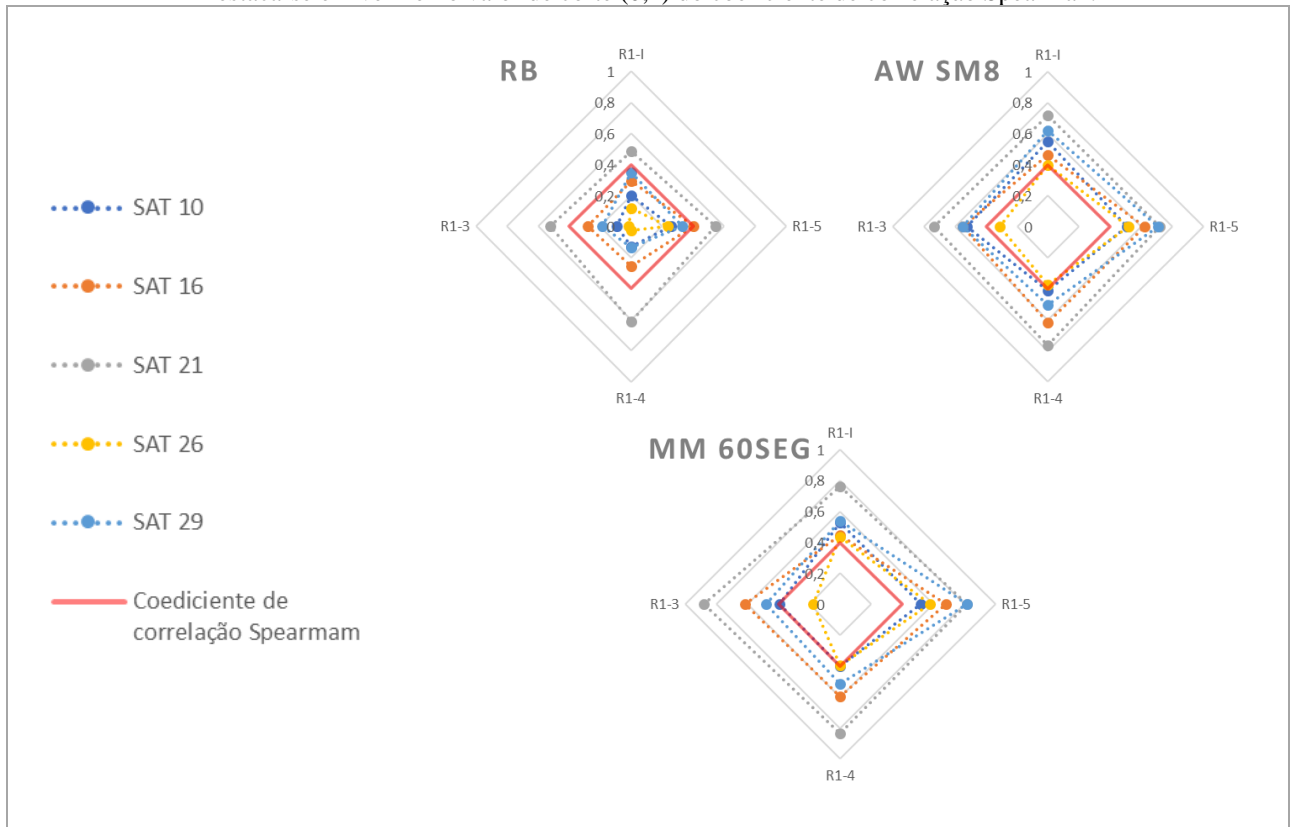
Para o receptor 1 será utilizado os dados dos satélites 10, 16, 21, 20, 26 e 29. Com os satélites definidos foi verificado as séries temporais para cada um dos métodos analisados (RB, AW e MM), sendo estes apresentados na Figura 35.

Figura 35 – Séries temporais para os três métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26 e 29), em cada cenários (R1-I, R1-5, R1-4 e R1-3), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul).



Na análise da Figura 35 nota-se que, da mesma forma que nos testes anteriores, ocorre uma redução dos resíduos quando utilizados os métodos de AW e MM. Para visualização das correlações entre os dias consecutivos a Figura 36 apresenta o coeficiente de correlação Spearman.

Figura 36 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada um dos métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (R1-I, R1-5, R1-4 e R1-3). Destaca-se em vermelho valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman.



Por meio da Figura 36 é possível verificar que no método de RB apenas um satélite (sat 21) poderá ser avaliado, embora o satélite 16 possua um cenário (R1-5) no qual a correlação seja superior a 0,4, o mesmo será desconsiderado por ser necessário dois dias para verificar a movimentação. Com os coeficientes de correlações é possível verificar quais rotações serão analisadas, as quais são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Rotações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21, 26, 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e MM (verde).

| Método | Satélite | 5° | 4° | 3° | 2° | 1° |
|----------------------------|----------|----|----|----|----|----|
| Resíduos Brutos | Sat 21 | | | | | |
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 10 | | | | | |
| | Sat 16 | | | | | |
| | Sat 21 | | | | | |
| | Sat 26 | | | | | |
| | Sat 29 | | | | | |
| Média Móvel 60 seg | Sat 10 | | | | | |
| | Sat 16 | | | | | |
| | Sat 21 | | | | | |
| | Sat 26 | | | | | |
| | Sat 29 | | | | | |

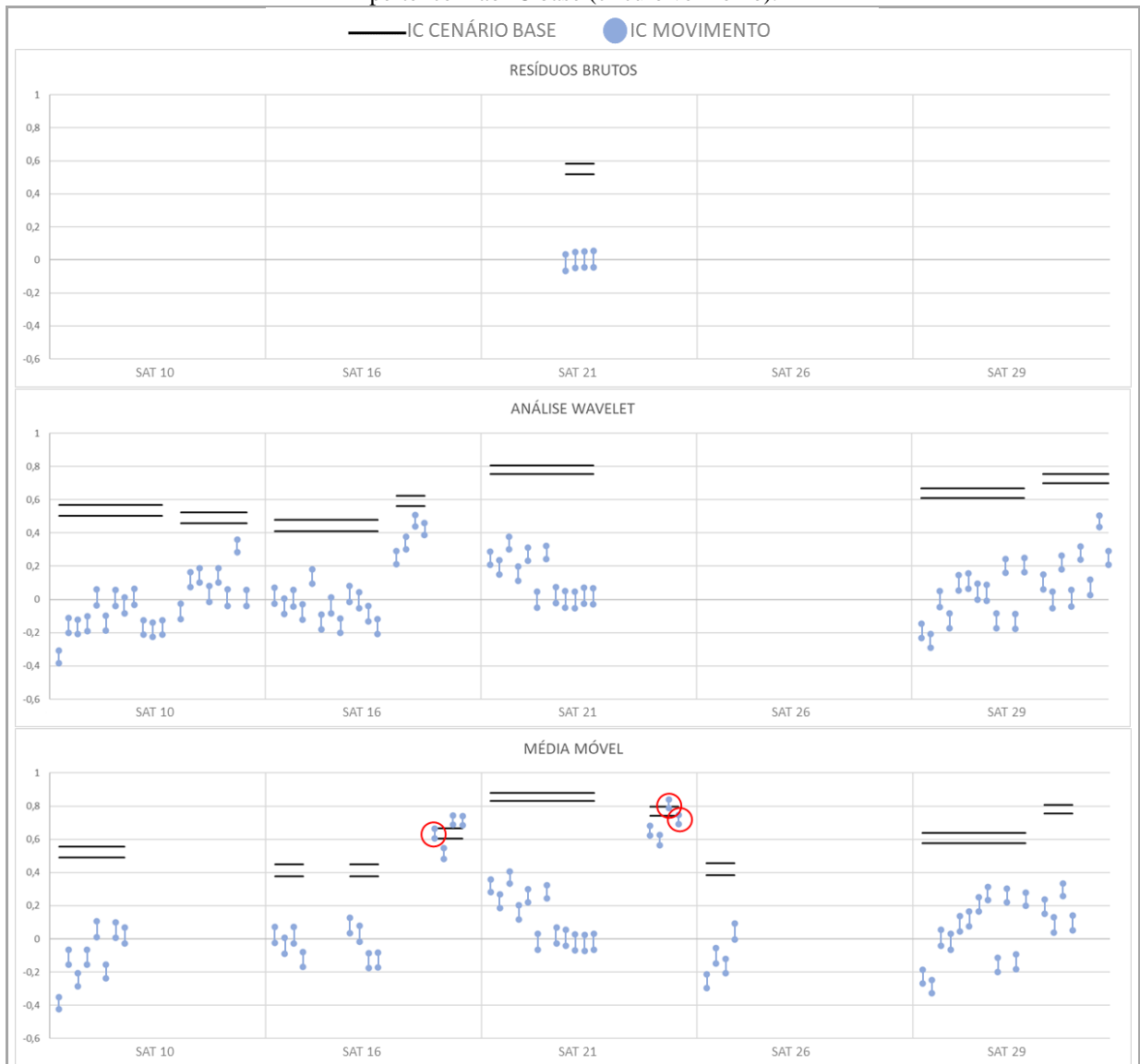
Definidas as movimentações foi verificada a Diferenciação, sendo os resultados apresentados na Tabela 11. O cálculo da diferenciação pode ser encontrado no Apêndice B.

Tabela 11 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação para as rotações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21, 26, 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e MM (verde). Destacando-se em vermelho os valores inferiores a 0,3.

| Método | Satélite | 5° | 4° | 3° | 2° | 1° |
|----------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Resíduos Brutos | Sat 21 | 0,251 | 0,269 | 0,493 | 0,066 | 0,017 |
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 10 | 0,789 | 0,414 | 0,334 | 0,551 | 0,424 |
| | Sat 16 | 0,454 | 0,355 | 0,411 | 0,323 | 0,078 |
| | Sat 21 | 0,411 | 0,421 | 0,712 | 0,158 | 0,094 |
| | Sat 26 | | | | | |
| | Sat 29 | 0,490 | 0,511 | 0,616 | 0,655 | 0,385 |
| Média Móvel 60 seg | Sat 10 | 0,782 | 0,334 | | | 0,089 |
| | Sat 16 | 0,362 | 0,246 | 0,301 | 0,007 | 0,430 |
| | Sat 21 | 0,309 | 0,374 | 0,575 | 0,070 | 0,655 |
| | Sat 26 | 0,334 | | | | |
| | Sat 29 | 0,544 | 0,468 | 0,699 | 0,413 | 0,168 |

Após o cálculo da Diferenciação foi realizada a análise das movimentações por meio do IC. Vale ressaltar que apenas as movimentações que foram detectadas pela Diferenciação foram testadas pelo IC. A Figura 37 apresenta a análise do IC para os três métodos. Para mais detalhes sobre os valores do IC consultar Apêndice C.

Figura 37 – Verificação da rotação por meio do IC para todos os satélites (sat 10, 16, 21, 26, e 29) nos métodos de RB, AW e MM para os movimentos de 5°, 4°, 3°, 2° e 1°. Destacando os deslocamentos que pertencem ao IC base (círculo vermelho).

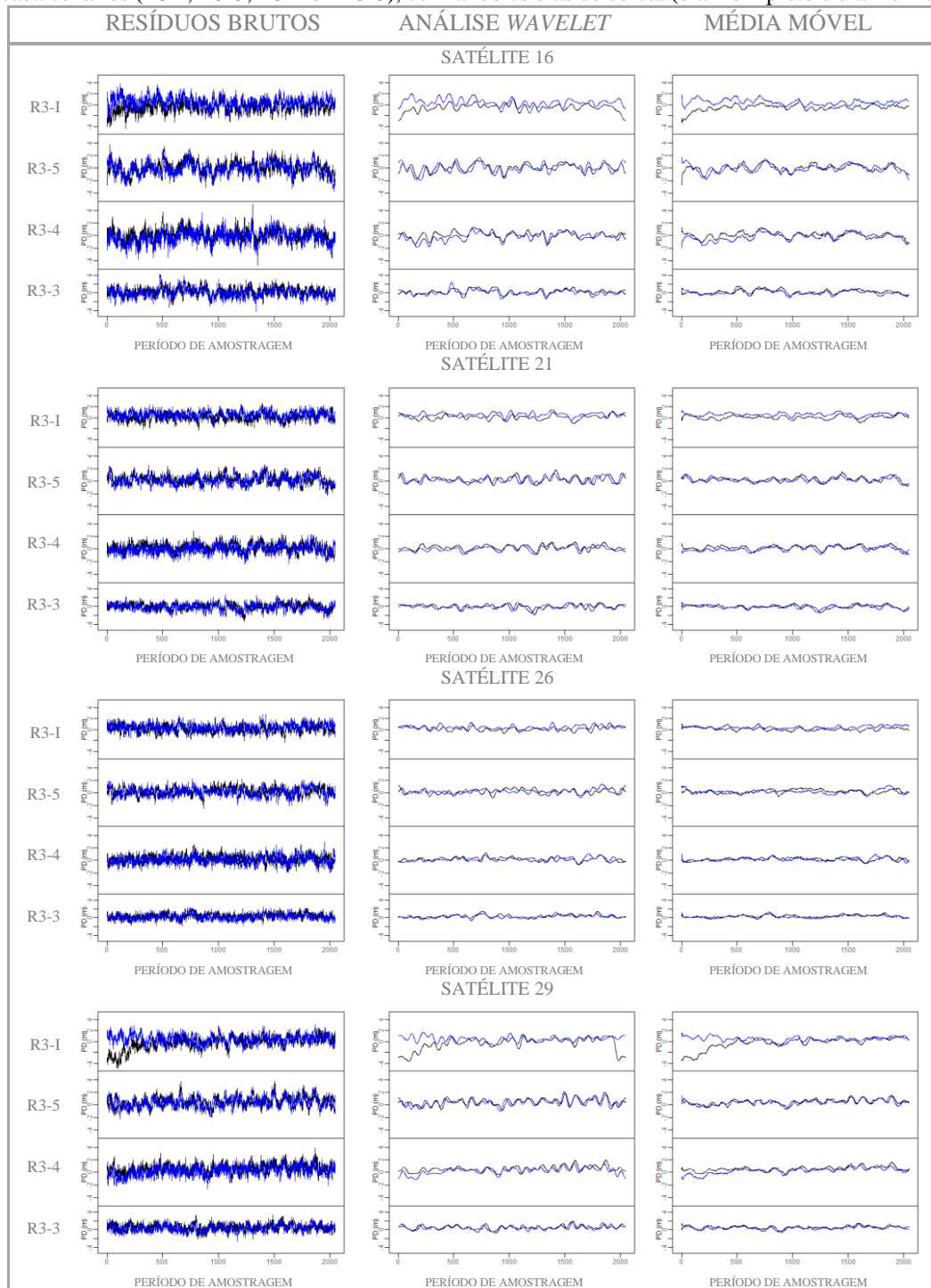


Ao analisar os IC foi verificado que dois movimentos na Média Móvel sobrepõem ao IC base, sendo ambos de movimentação de 1°, nos satélites 16 e 21. Com isso se tem a não detecção de ambos.

6.3.2 R3 – Rotação Receptor 3

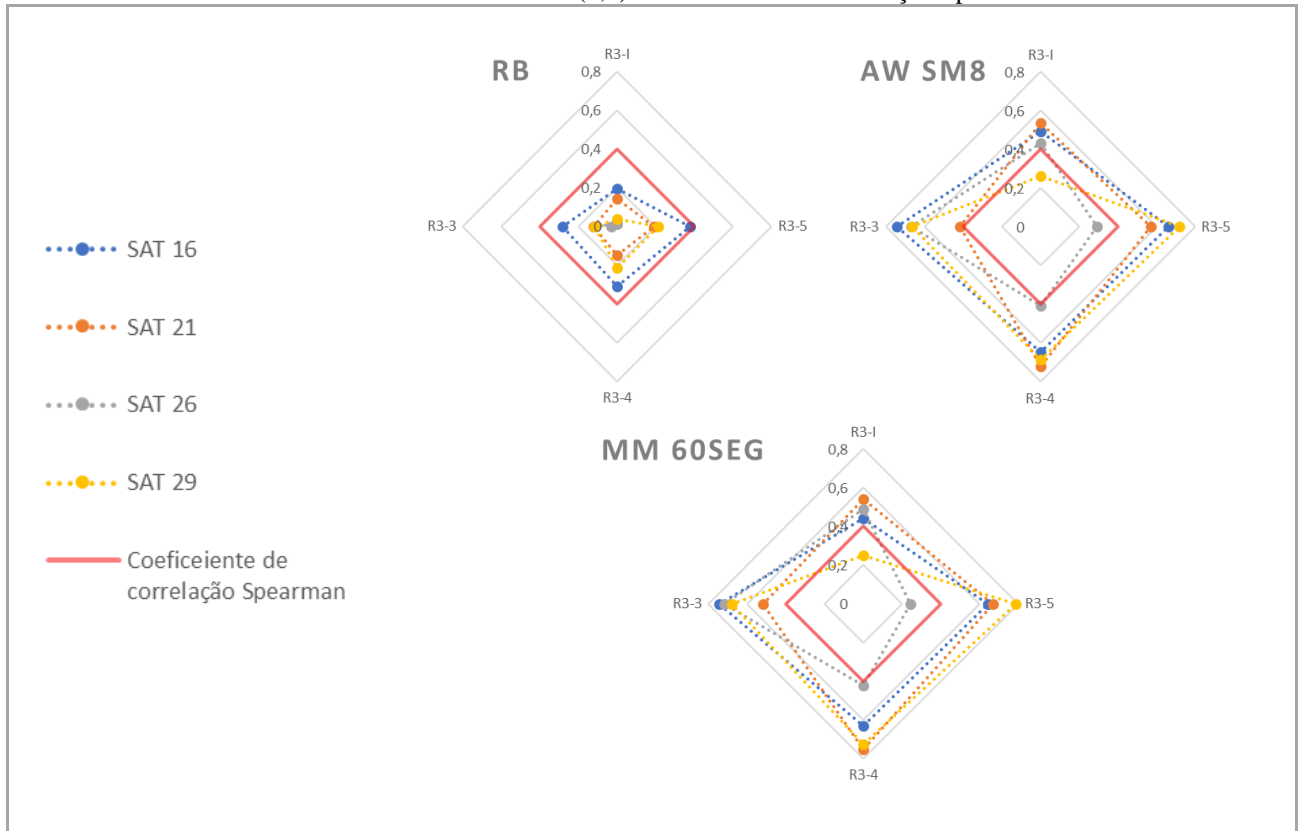
Nesse receptor os satélites que tiveram a coleta mais consistente ao longo de todo o período de coleta são os satélites 16, 21, 20, 26 e 29. A Figura 38 apresenta as séries temporais para os métodos de RB, AW e MM.

Figura 38 – Séries temporais para os três métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 16, 21, 26 e 29,) em cada cenários (R3-I, R3-5, R3-4 e R3-3), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul).



Com a Figura 38 pode-se observar que, da mesma forma que na seções anteriores, os métodos AW e MM apresentaram os melhores resultados. A Figura 39 apresenta o coeficiente de correlação Spearman.

Figura 39 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada um dos métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 16, 21, 26, e 29) em cada um dos cenários (R3-I, R3-5, R3-4 e R3-3). Destacase em vermelho valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman.



Na Figura 39, novamente, pode ser verificado uma melhora da correlação para os métodos de AW e MM, uma vez que nenhum cenário do RB passou pelo valor de corte (0,4). Deste modo foram analisadas as movimentações apenas para os métodos de AW e MM, as quais são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Rotações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 16, 21, 26, 29) para os dois métodos (AW (vermelho) e MM (verde)).

| Método | Satélite | 5° | 4° | 3° | 2° | 1° |
|---------------------|----------|----|----|----|----|----|
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 16 | | | | | |
| | Sat 21 | | | | | |
| | Sat 26 | | | | | |
| | Sat 29 | | | | | |
| Média Móvel 60 seg | Sat 16 | | | | | |
| | Sat 21 | | | | | |
| | Sat 26 | | | | | |
| | Sat 29 | | | | | |

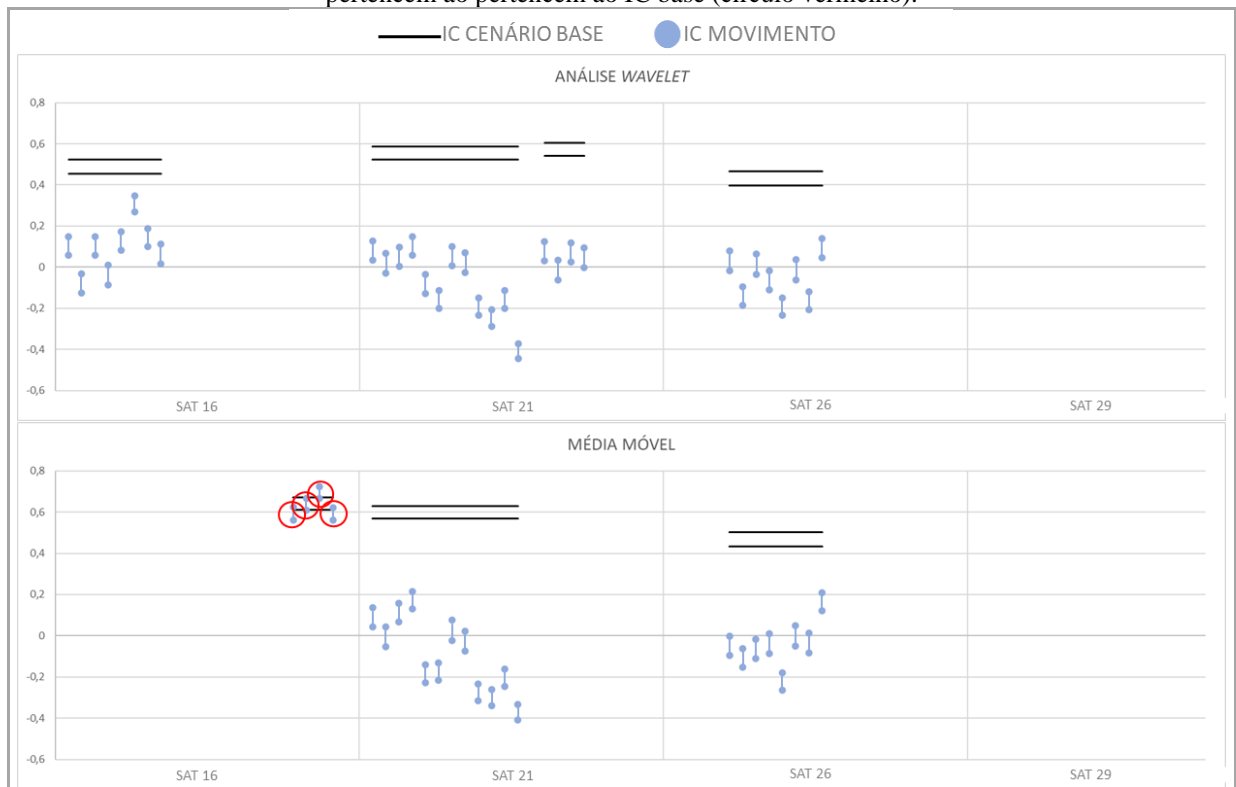
Com as movimentações definidas foi calculada a Diferenciação, sendo os resultados apresentados na Tabela 13Tabela 11. O cálculo da diferenciação pode ser encontrado no Apêndice B.

Tabela 13 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação para as rotações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 16, 21, 26, 29) para os métodos de AW (vermelho) e MM (verde). Destacando-se em vermelho os valores inferiores a 0,3.

| Método | Satélite | 5° | 4° | 3° | 2° | 1° |
|----------------------------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 16 | 0,398 | 0,334 | 0,289 | 0,115 | 0,234 |
| | Sat 21 | 0,535 | 0,568 | 0,697 | 0,507 | 0,285 |
| | Sat 26 | | 0,509 | 0,829 | | |
| | Sat 29 | | | | 0,288 | 0,262 |
| Média Móvel 60 seg | Sat 16 | 0,254 | 0,228 | 0,142 | -0,195 | 0,446 |
| | Sat 21 | 0,457 | 0,707 | 0,792 | 0,128 | 0,149 |
| | Sat 26 | | 0,710 | 0,897 | | |
| | Sat 29 | | | | -0,238 | 0,159 |

Com as movimentações verificadas por meio da Diferenciação foram desconsideradas as situações que tiveram o resultado inferior a 0,3 para a assim ser feita a análise por meio do IC, sendo estas apresentadas na Figura 40. Para mais detalhes sobre os valores do IC consultar Apêndice C.

Figura 40 – Verificação da rotação por meio do IC para todos os satélites (sat 16, 21, 26, e 29) nos métodos de Análise Wavelet e Média Móvel para os movimentos de 5°, 4°, 3°, 2° e 1°. Destacando os deslocamentos que pertencem ao IC base (círculo vermelho).

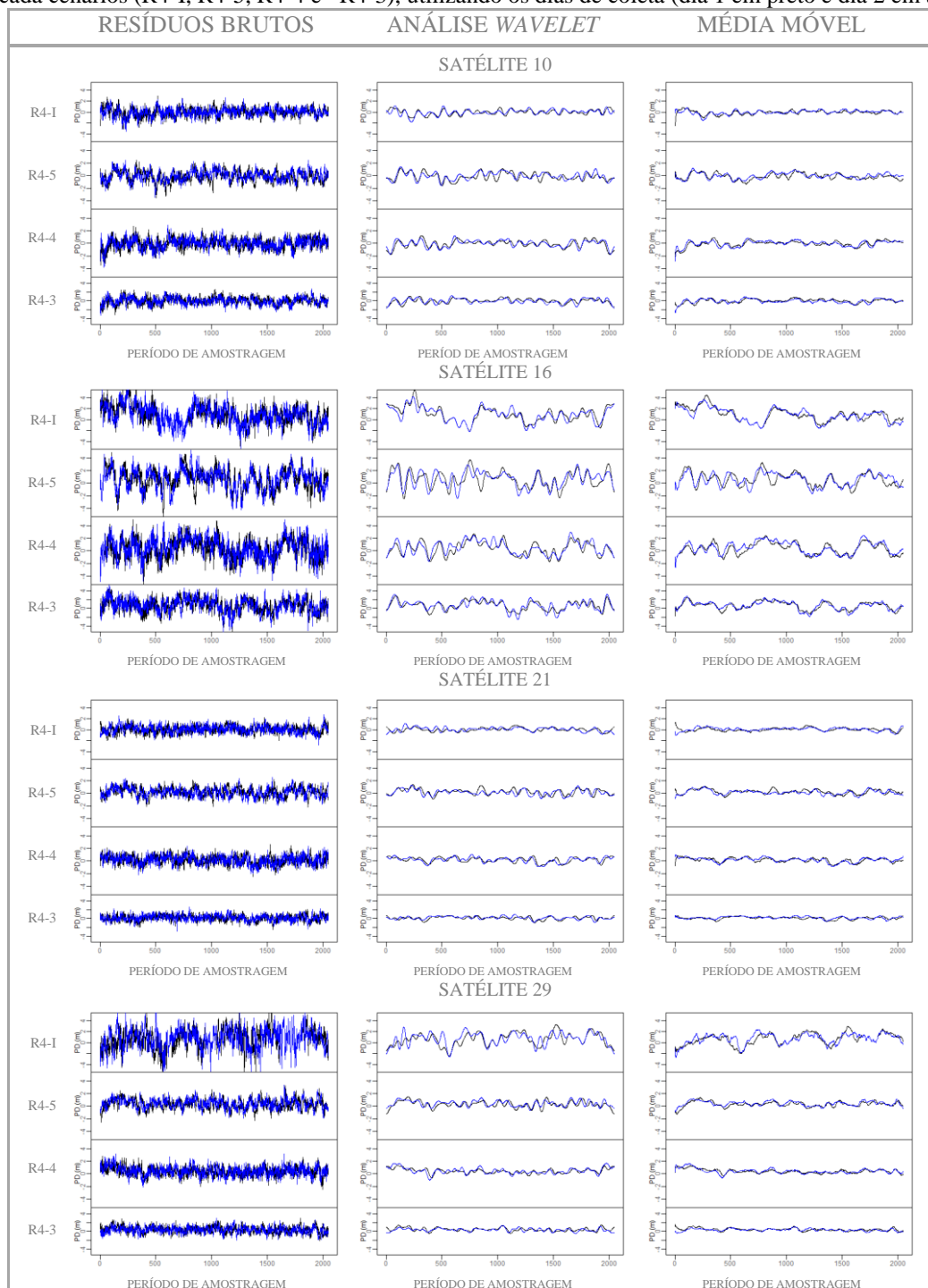


Na verificação do IC, foi visto que o movimento de 1° para o satélite 16 na MM se sobrepõe ao IC base, deste modo não se tem a detecção da rotação deste.

6.3.3 R4 – Rotação Receptor 4

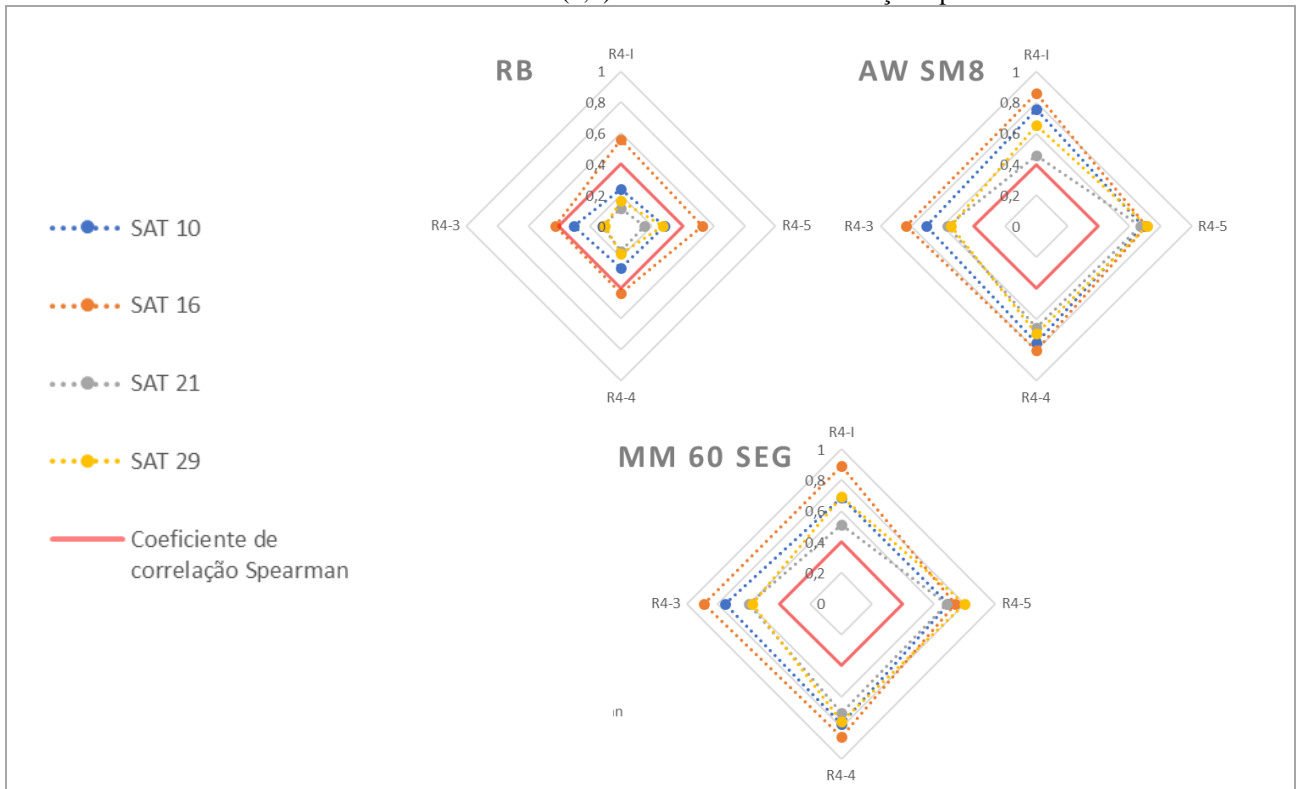
O último receptor a ser analisado na movimentação de rotação foi o receptor 4, no qual foram utilizados os satélites 10, 16, 21 e 29. A Figura 41 apresenta as séries temporais para os métodos de RB, AW e MM.

Figura 41 – Séries temporais para os três métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10, 16, 21 e 29,) em cada cenário (R4-I, R4-5, R4-4 e R4-3), utilizando os dias de coleta (dia 1 em preto e dia 2 em azul).



Com a Figura 41 é possível visualizar uma alta similaridade entre os dias. Para melhor verificação das correlações entre os dias consecutivos é apresenta na Figura 42 o coeficiente de correlação Spearman.

Figura 42 – Comparação entre os coeficientes de correlação de Spearman para cada um dos métodos (RB, AW e MM) para todos os satélites (sat 10,16, 21 e 29) em cada um dos cenários (R4-I, R4-5, R4-4 e R4-3). Destaca-se em vermelho valor de corte (0,4) do coeficiente de correlação Spearman.



Com Figura 42 nota-se uma melhoria da correlação quando utilizado os métodos AW e MM, uma vez que todos os cenários de ambos os métodos passam pelo valor de corte (0,4), enquanto apenas um satélite do método dos RB possui correlação superior a 0,4. A Tabela 14 traz a verificação das possíveis movimentações.

Tabela 14 – Rotações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21 e 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e MM (verde).

| Método | Satélite | 5° | 4° | 3° | 2° | 1° |
|---------------------|----------|----|----|----|----|----|
| Resíduos Brutos | Sat 16 | | | | | |
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 10 | | | | | |
| | Sat 16 | | | | | |
| | Sat 21 | | | | | |
| | Sat 29 | | | | | |
| Média Móvel 60 seg | Sat 10 | | | | | |
| | Sat 16 | | | | | |
| | Sat 21 | | | | | |
| | Sat 29 | | | | | |

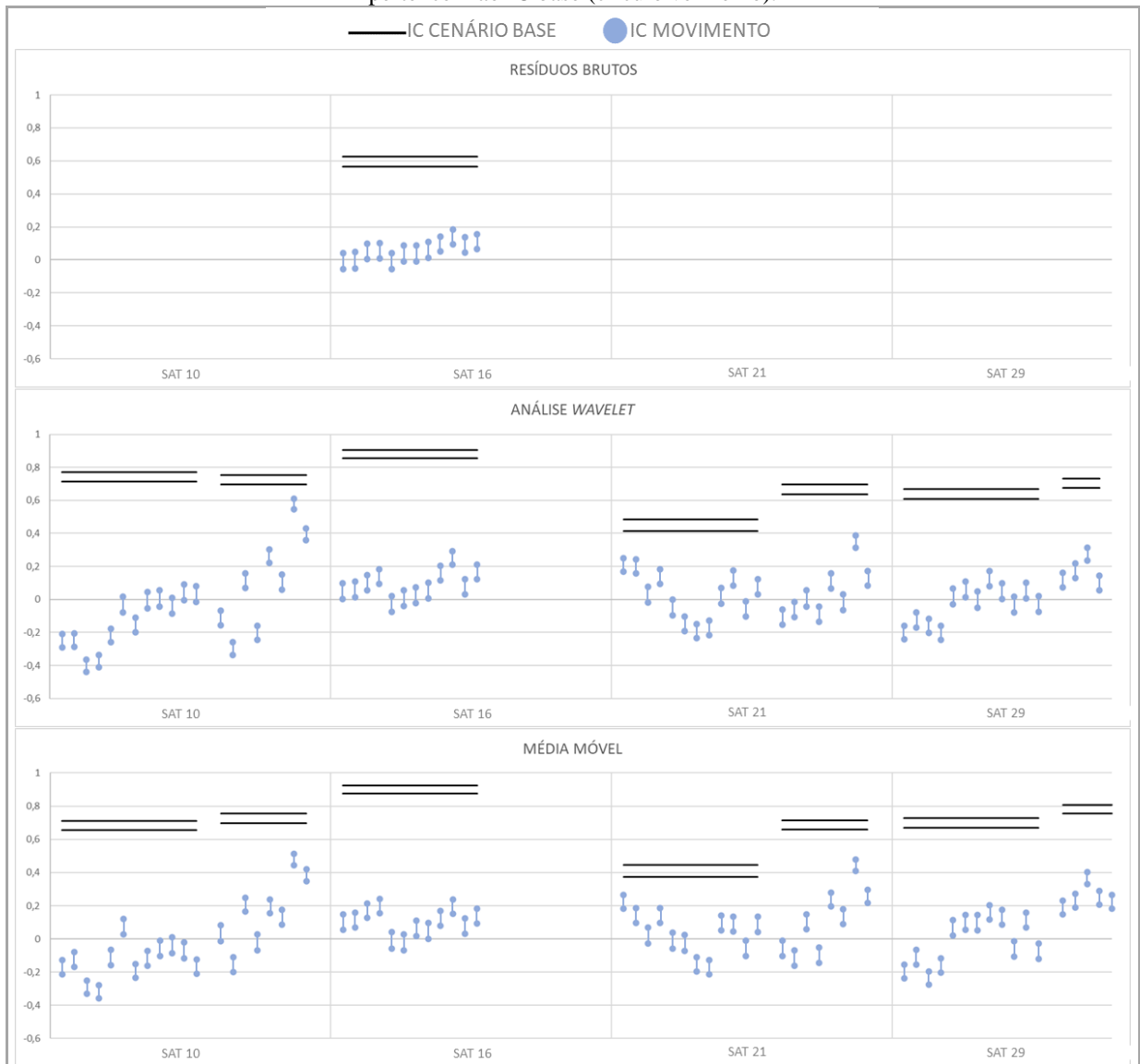
Após a definição das rotações foi calculada a Diferenciação, sendo os resultados apresentados na Tabela 15Tabela 11. O cálculo da diferenciação pode ser encontrado no Apêndice B.

Tabela 15 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação para as rotações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° por meio da combinação entre os cenários em cada satélites (sat 10, 16, 21 e 29) para os métodos de RB (azul), AW (vermelho) e MM (verde). Destacando-se em vermelho os valores inferiores a 0,3.

| Método | Satélite | 5° | 4° | 3° | 2° | 1° |
|----------------------------|----------|-------|-------|-------|--------------|--------------|
| Resíduos Brutos | Sat 16 | 0,532 | 0,560 | 0,453 | 0,285 | 0,154 |
| Análise Wavelet Sm8 | Sat 10 | 0,847 | 0,652 | 0,563 | 0,804 | 0,492 |
| | Sat 16 | 0,742 | 0,837 | 0,698 | 0,252 | 0,175 |
| | Sat 21 | 0,373 | 0,653 | 0,607 | 0,726 | 0,417 |
| | Sat 29 | 0,702 | 0,542 | 0,393 | 0,351 | 0,290 |
| Média Móvel 60 seg | Sat 10 | 0,746 | 0,707 | 0,670 | 0,502 | 0,629 |
| | Sat 16 | 0,736 | 0,842 | 0,746 | 0,018 | 0,114 |
| | Sat 21 | 0,458 | 0,689 | 0,613 | 0,502 | 0,825 |
| | Sat 29 | 0,732 | 0,559 | 0,487 | 0,385 | 0,582 |

Da mesma forma que nas seções anteriores, com as movimentações verificadas por meio da Diferenciação foram desconsideradas as situações que tiveram resultado inferior a 0,3 para realizar a análise por meio do IC, sendo estas apresentadas na Figura 43. Para mais detalhes sobre os valores do IC consultar Apêndice C.

Figura 43 – Verificação da rotação por meio do IC para todos os satélites (sat 10, 16, 21 e 29) nos métodos de RB, AW e MM para os movimentos de 5°, 4°, 3°, 2° e 1°. Destacando os deslocamentos que pertencem ao IC base (círculo vermelho).



Por meio da análise do IC é verificada não sobreposição entre os IC base e IC de movimento, o que significa que nas rotações testadas foram detectadas movimentações.

6.4 Análise Geral

A fim de averiguar a eficiência dos métodos em relação a detecção da movimentação, foi verificado o número de movimentos corretamente detectados, sendo estes obtidos a partir do número máximo de movimentos possíveis. Com isso tem-se na Tabela 16 os resultados correspondentes aos movimentos de deslocamento (D), inclinação (I) e rotação (R). Na tabela são apresentados: os Números de Movimentos (N° Movimentos) os quais levam em consideração todas as movimentações possíveis por meio dos cenários e satélites; as Movimentações Analisadas (MA) as quais são as movimentações analisadas após a

verificação da correlação entre os dias de cada cenário; e os Movimentos Positivos (MP) que são os movimentos corretamente detectados pelo método.

Tabela 16 – Verificação em porcentagem de detecção da movimentação para cada um dos três métodos propostos (RB, AW e MM).

| | Nº MOVIMENTOS | RESÍDUOS BRUTOS | | ANÁLISE WAVELET Sm8 | | MÉDIA MÓVEL 60seg | |
|----|------------------|--------------------|--------------|------------------------|---------------|----------------------|----------------|
| | | MA | MP | MA | MP | MA | MP |
| | | D1 | 36 (100%) | 3 (8,33%) | 2 (5,56%) | 28 (77,78%) | 23 (63,89%) |
| D3 | 24 (100%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 15 (62,5%) | 15 (62,5%) | 15 (62,5%) | 12 (50%) |
| I4 | 25 (100%) | 2 (8%) | 1 (4%) | 21 (84%) | 20 (80%) | 22 (88%) | 9 (36%) |
| R1 | 25 (100%) | 5 (20%) | 1 (4%) | 20 (80%) | 17 (68%) | 19 (76%) | 12 (48%) |
| R3 | 20 (100%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 14 (70%) | 8 (40%) | 14 (70%) | 4 (20%) |
| R4 | 20 (100%) | 5 (25%) | 3 (15%) | 20 (100%) | 17 (85%) | 20 (100%) | 18 (90%) |

Por meio da Tabela 16, assim como já verificado nas análises anteriores, se tem a comprovação de uma melhor detecção da movimentação quando utilizado a AW. Porém, devido ao uso do multicaminho de baixa frequência nas análises, se tem grande semelhança entre os resultados da AW e da MM, principalmente quando verificado a correlação dos dias que não apresentam movimentação (MA).

Uma outra verificação que é possível realizar é em relação a posição dos receptores. Devido ao local em que se encontram os mesmos podem possuir melhor ou pior desempenho na detecção da movimentação. Na Figura 14, a qual apresenta o ambiente em que o experimento foi realizado, se nota a presença de vários obstáculos, estando a maioria a esquerda da estrutura. Com isso, assim como o esperado, o receptor que está do lado com menor número de interferências (lado direito) possui os melhores resultados, sendo este o receptor 4 (I4 e R4). Enquanto para os receptores 1 e 3 (D1, D3, R1 e R3) que estão posicionados a frente (1) e atrás (3) da estrutura, apresentam resultados inferiores, devido a interferência que o mesmo sofre pelos obstáculos da esquerda.

Também foi realizada a análise em relação as diferentes amplitudes empregadas no experimento, a qual tem como objetivo verificar o desempenho de detecção em cada um dos métodos propostos. Para tanto foi calculada a porcentagem de acertos para cada amplitude levando em consideração o número de satélites usados em cada movimento, sendo os resultados apresentados nas Tabelas 17, 18 e 19.

Tabela 17 – Verificação da detecção da movimentação para cada uma das amplitudes possíveis (10, 5, 4, 3, 2 e 1cm) para os deslocamentos (D1 e D3).

| | Método | Movimentos | 10 cm | 5 cm | 4 cm | 3 cm | 2 cm | 1 cm |
|----|---------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|
| D1 | Resíduos Brutos | 6 (100%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 1 (16,67%) | 0 (0%) | 1 (16,67%) |
| | Análise Wavelet Sm8 | | 3 (50%) | 2 (33,33%) | 5 (83,33%) | 5 (83,33%) | 3 (50%) | 5 (83,33%) |
| | Média Móvel 60s | | 5 (83,33%) | 3 (50%) | 4 (66,67%) | 3 (50%) | 3 (50%) | 3 (50%) |
| D3 | Resíduos Brutos | 4 100% | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| | Análise Wavelet Sm8 | | 1 (25%) | 2 (50%) | 3 (75%) | 3 (75%) | 3 (75%) | 3 (75%) |
| | Média Móvel 60s | | 3 (75%) | 1 (25%) | 3 (75%) | 2 (50%) | 2 (50%) | 1 (25%) |

Tabela 18 – Verificação da detecção da movimentação para cada uma das amplitudes possíveis (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) para a inclinação (I4).

| | Método | Movimentos | 5° | 4° | 3° | 2° | 1° |
|----|---------------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| I4 | Resíduos Brutos | 5 100% | 0 (0%) | 1 (20%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| | Análise Wavelet Sm8 | | 4 (80%) | 5 (100%) | 5 (100%) | 3 (60%) | 3 (60%) |
| | Média Móvel 60s | | 1 (20%) | 3 (60%) | 2 (40%) | 2 (40%) | 1 (20%) |

Tabela 19 – Verificação da detecção da movimentação para cada uma das amplitudes possíveis (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) para as rotações (R1, R3 e R4).

| | Método | Movimentos | 5° | 4° | 3° | 2° | 1° |
|----|---------------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| R1 | Resíduos Brutos | 5 100% | 0 (0%) | 0 (0%) | 1 (20%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| | Análise Wavelet Sm8 | | 4 (80%) | 4 (80%) | 4 (80%) | 3 (60%) | 2 (40%) |
| | Média Móvel 60s | | 5 (100%) | 3 (60%) | 3 (60%) | 1 (20%) | 0 (0%) |
| R3 | Resíduos Brutos | 4 100% | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| | Análise Wavelet Sm8 | | 2 (50%) | 3 (75%) | 2 (50%) | 1 (25%) | 0 (0%) |
| | Média Móvel 60s | | 1 (25%) | 2 (50%) | 2 (50%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| R4 | Resíduos Brutos | 4 100% | 1 (25%) | 1 (25%) | 1 (25%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| | Análise Wavelet Sm8 | | 4 (100%) | 4 (100%) | 4 (100%) | 3 (75%) | 2 (50%) |
| | Média Móvel 60s | | 4 (100%) | 4 (100%) | 4 (100%) | 2 (50%) | 3 (75%) |

Por meio das respostas obtidas na análise das amplitudes nota-se que os movimentos de inclinação (Tabela 18) e rotação (Tabela 19) seguem o comportamento esperado, ou seja, há uma diminuição da detecção quando se tem uma menor amplitude no movimento, ainda que tanto para a I4 e R3 a melhor detecção seja para a movimentação de 4°, a segunda maior movimentação. Porém, para o movimento de deslocamento (Tabela 17), não é possível

verificar esse comportamento, uma vez que é possível notar melhores resultados na menor amplitude (1cm).

Sumarizando, a última análise foi a verificação geral dos resultados, para tanto foi calculado o valor total de movimentos detectados para cada um dos métodos (RB, AW e MM). A Tabela 20 apresenta o Número de Movimento (Nº Movimentos), levando em consideração todos os receptores e movimentos utilizados; as Movimentações Analisadas (MA); e os Movimentos Positivos (MP), os quais foram corretamente detectados pelo método.

Tabela 20 – Movimentos detectados para cada um dos métodos analisados (RB, AW e MM)

| Método | Nº Movimentos | MA | MP |
|---------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Resíduos Brutos | 150 (100%) | 15 (10%) | 7 (4,67%) |
| Análise Wavelet Sm8 | | 118 (78,67%) | 100 (66,67%) |
| Média Móvel 60s | | 119 (79,33%) | 76 (50,67%) |

Com o resultado da Tabela 20 pode-se comprovar a melhor eficiência da detecção da movimentação estrutural quando utilizado o método da Análise *Wavelet*, o qual chega a uma detecção de 66,67%, superando em 16% o método de Média Móvel e em 62% o método dos Resíduos Brutos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O multicaminho está associado ao erro oriundo da propagação do sinal GNSS, em que as observações coletadas pelos receptores não são provenientes do sinal direto emitido pelo satélite, mas sim de sinais que sofreram reflexões em superfícies naturais ou não. Por esse motivo o mesmo é de grande dificuldade de modelagem, sendo este um dos principais obstáculos para a acurácia do posicionamento. Deste modo, o uso do multicaminho em pesquisas relacionadas com a movimentação estrutural se torna uma alternativa, uma vez que o mesmo está diretamente ligado ao meio em que está inserido.

Os experimentos realizados nessa pesquisa visaram a análise da detecção da movimentação utilizando o multicaminho por meio de três diferentes métodos (Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel). Primeiro foram verificados alguns parâmetros iniciais, os quais foram considerados em todas as análises por apresentarem melhor resposta na detecção. Estes parâmetros foram o ângulo de elevação de 15°, pois as máscaras de elevação maiores apresentam uma suavização dos resíduos, o que pode acarretar na perda do efeito do multicaminho proveniente da estrutura, a base *wavelet* Symmlets com 8 momentos nulos, as escalas *wavelets* 0, 1, 2, 3 e 4, as quais são correspondentes ao multicaminho proveniente da estrutura e a janela de 60 segundos para a MM.

Como no experimento realizado nesta pesquisa o efeito do multicaminho causado pela estrutura foi principalmente o de baixa frequência, dada a proximidade da antena do receptor a estrutura, foi possível aplicar e comparar o método de MM nos resíduos para separar as series de multicaminho. Entretanto, em situações em que a antena não esteja tão próxima, o método de médias móveis dificilmente poderia ser aplicado, uma vez que o multicaminho pode ser predominante em frequências (escalas) intermediárias e, para tanto, a análise *wavelet* seria essencial.

Após todas as análises foi possível concluir que o método de AW foi mais eficiente na detecção da movimentação para as três movimentações testadas (deslocamento, inclinação e rotação), chegando a uma detecção de até 85% no R4 (rotação do receptor 4). Também foi verificado que, como esperado, à medida que se diminui a amplitude do movimento se tem uma maior dificuldade para detectá-lo.

Algo que também ficou evidenciado nos experimentos foi a relação entre o ambiente e a resposta da movimentação. O receptor que estava melhor posicionado (receptor 4), ou seja, possuía uma menor interferência do meio em que ele estava inserido em relação a

estrutura, apresentou melhores resultados, podendo ser detectado 80% das inclinações (I4) e 85% das rotações (R4). Já os receptores 1 e 3 tiveram resultados inferiores, sendo que nos deslocamentos D1 e D3 foi possível a detecção de 63,89% e 62,5% dos movimentos, respectivamente, e de 68% e 40% de detecção para as rotações de R1 e R3, podendo estar ligados a interferência do meio no resultado. Os dados do receptor 2, posicionado entre a estrutura e uma árvore, não puderam nem ser processados, possivelmente porque todos os sinais recebidos estavam sendo influenciados pela estrutura ou pela árvore existente no ambiente.

Com base nos resultados obtidos e sabendo que apesar de ter sido verificada a movimentação de até 1 cm ainda há muito o que se explorar quando se trata de movimentação estrutural, é possível deixar algumas recomendações e possibilidades para trabalhos futuros:

- Análise de movimentações inferiores a 1 cm;
- Verificação da maior distância possível entre o receptor e a estrutura;
- Desenvolvimento de um método que informe qual movimentação e qual magnitude foi detectada;
- Verificação entre AW e MM em ambientes com menor número de interferência do meio.
- Desenvolvimento de técnica utilizando múltiplas constelações, com o objetivo de reduzir o tempo necessário de ocupação por ponto, minimizando também os erros causados pela ocultação.
- Integração do método com outras técnicas de levantamento, como por exemplo o imageamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. O Relatório de Segurança de Barragens 2019. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2019>. Acesso em: 9 jan. 2020.

ARAÚJO NETO, J. O. Uso do GPS no monitoramento dinâmico da infraestrutura de transportes: pontes rodoviárias em concreto. Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Alves Trabanco. 2017. 201 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017.

BRASIL. LEI nº 12.334, de 1 de setembro de 2010. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Política Nacional de Segurança de Barragens, Brasília, DF, 1 set. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm. Acesso em: 3 jun. 2020.

BRASSAROTE, Gabriela de Oliveira Nascimento. Análise multiescala de séries temporais do efeito da cintilação ionosférica nos sinais de satélite GPS a partir de wavelets não decimadas. 2014. 84 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/116008>>.

CHAVES, J. C. Uso da tecnologia GPS na monitoração de deformação: sistemas, etapas e experimentos. 2001. 212 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

DAUBECHIES, I. Ten Lectures on Wavelets. 1. ed. Philadelphia, pennsylvania: society for industrial and applied mathematics, 1992. 358 p. ISBN 978-0-898712-74-2.

DING, X. et al. Surface deformation detection using GPS. In: Proceedings of the 12th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1999). 1999. p. 53-62.

DODSON, A. H.; MENG, X.; ROBERTS, G. Adaptive method for multipath mitigation and its applications for structural deflection monitoring. In: International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation (KIS 2001). 2001. p. 5-8.

FORTES, L. P. S. Operacionalização da rede brasileira de monitoramento contínuo do Sistema GPS (RBMC). 1997, 152f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

GIBBONS, J. D.; KENDALL, M. G. “Rank correlation methods”. Edward Arnold, 5.ed. p. 260. Londres, 1990.

IBGE. RECOMENDAÇÕES PARA LEVANTAMENTOS RELATIVOS ESTÁTICOS – GPS. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2008. 35 p. v. 1.

IM, S. B.; HURLEBAUS, S.; KANG, Y. J. Summary review of GPS technology for structural health monitoring. Journal of Structural Engineering, v. 139, n. 10, p. 1653-1664, 2013. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000475

INCRA. MANUAL TÉCNICO DE POSICIONAMENTO: Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 1. ed. Brasília: [s. n.], 2013. 37 p. v. 1.

LAROCCA, A. P. C. et al. Uso de receptores GPS de 100 HZ na detecção de deflexões verticais milimétricas de pontes de concreto de pequeno porte. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 21, n. 2, p. 290-307, 2015.

LOVSE, J. W. et al. Dynamic deformation monitoring of tall structure using GPS technology. *Journal of surveying engineering*, v. 121, n. 1, p. 35-40, 1995.

MALLAT, S. A Wavelet Tour of Signal Processing. 1. ed. San Diego, California: Elsevier, 1998. 629 p. ISBN 978-0-12-466606-1.

MASCIOTTA, M. G.; RAMOS, L. F.; LOURENÇO, P. B. The importance of structural monitoring as a diagnosis and control tool in the restoration process of heritage structures: a case study in Portugal. *Journal of Cultural Heritage*, v. 27, p. 36-47, 2017.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. UNESP - Universidade Estadual Paulista, 2.ed. São Paulo, 2008.

MONICO, J. F. G. et al. GPSeq: Manual do Usuário. Versão L1 1.1. Versão L1 1.1.ed. Presidente Prudente, SP: FCT – UNESP - Universidade Estadual Paulista, 2008.

MORETIN, P.A.; TOLOI, C. M. C. Modelo para revisão de séries temporais. Rio de Janeiro: Instituto de Matemática Pura e Aplicada, 1981. 370 p.

MORETTIN, P. A., TOLOI, C. M. C. Análise de Séries Temporais, 2 ed. Edgar Blucher: São Paulo, 2006.

MOSCHAS, F.; STIROS, S. C. Three-dimensional dynamic deflections and natural frequencies of a stiff footbridge based on measurements of collocated sensors. *Structural Control and Health Monitoring*, v. 21, n. 1, p. 23-42, 2014.

NASON, G. P.; SILVERMAN, B. W. The stationary wavelet transform and some statistical applications. In: *Wavelets and statistics*. Springer, New York, NY, 1995. p. 281-299.

NBR 6120.TÉCNICAS, ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS: Carga para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

NEGRI, T. T. Reconhecimento de padrões via Wavelets: aplicação no monitoramento de estruturas a partir do efeito do multicaminho proveniente de sinais de satélites GPS. 2012. 77 f.: il. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012.

NEGRI, T. T. Reconhecimento de padrões via Wavelets: Aplicação no monitoramento de estruturas a partir do efeito do multicaminho proveniente de sinais de satélites GPS. 2012.

POLEZEL, W. G. C.; MONICO, J. F. G.; Departamento de cartografia, UNESP. Análise dos fatores que influenciam o Multicaminho. 2004.

POLEZEL, W. G. C.; SOUZA, E.M.; MONICO, J. F. G. Método de posicionamento relativo por satélite GPS com correção do efeito do multicaminho em estações de referência:

formulação matemática, resultados e análises. TEMA-Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, v. 9, n. 1, p. 133-142, 2008.

SANTOS, L. O. Monitoramento e ensaio de pontes. Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, ano 2014, p. 1-14.

SANTOS, R. C. et al. Detection of a curved bridge deck vibration using robotic total stations for structural health monitoring. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, v. 1, p. 1-14, 2019.

SOUZA, E. M. Análise de wavelets para detecção e correção do multicaminho no posicionamento relativo GNSS estático e cinemático. 2008. 170 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/86803>>.

SOUZA, E. M.; MONICO, J. F. G. Wavelet shrinkage: high frequency multipath reduction from GPS relative positioning. *GPS Solutions*, v. 8, n. 3, p. 152-159, 2004.

SOUZA, E. M.; MONICO, J. F. G.; PAGAMISSE, A. Redução do efeito do multicaminho de frequências alta e baixa no posicionamento relativo cinemático utilizando wavelets: resultados preliminares. *Boletim de Ciências Geodésicas*, p. 142-156, 2009.

SOUZA, E. M.; NEGRI, T. T. First prospects in a new approach for structure monitoring from GPS multipath effect and wavelet spectrum. *Advances in Space Research*, v. 59, n. 10, p. 2536-2547, 2017.

SPEARMAN, C. "The Proof and Measurement of Association between Two Things." *The American Journal of Psychology*, vol. 15, n. 1, p. 72-101, 1904. doi:10.2307/1412159. Accessed 12 May 2021.

TEUNISSEN, P. J.G.; MONTENBRUCK O. Teunissen. *Global Navigation Satellite Systems: Springer Handbook*. Perth, Australia: Springer International Publishing, 2017. 1333 p. ISBN 978-3-319-42926-7.

TAQQU, M.S. et al. Estimators for long-range dependence: an empirical study. *Fractals*, London, v. 3, n. 4, p. 785-798, 1995.

ADLER, J., PARMRYD, I. Quantifying colocalization by correlation: The Pearson correlation coefficient is superior to the Mander's overlap coefficient. *Cytometry Part A*. 2010. 77A, pp. 733-742.

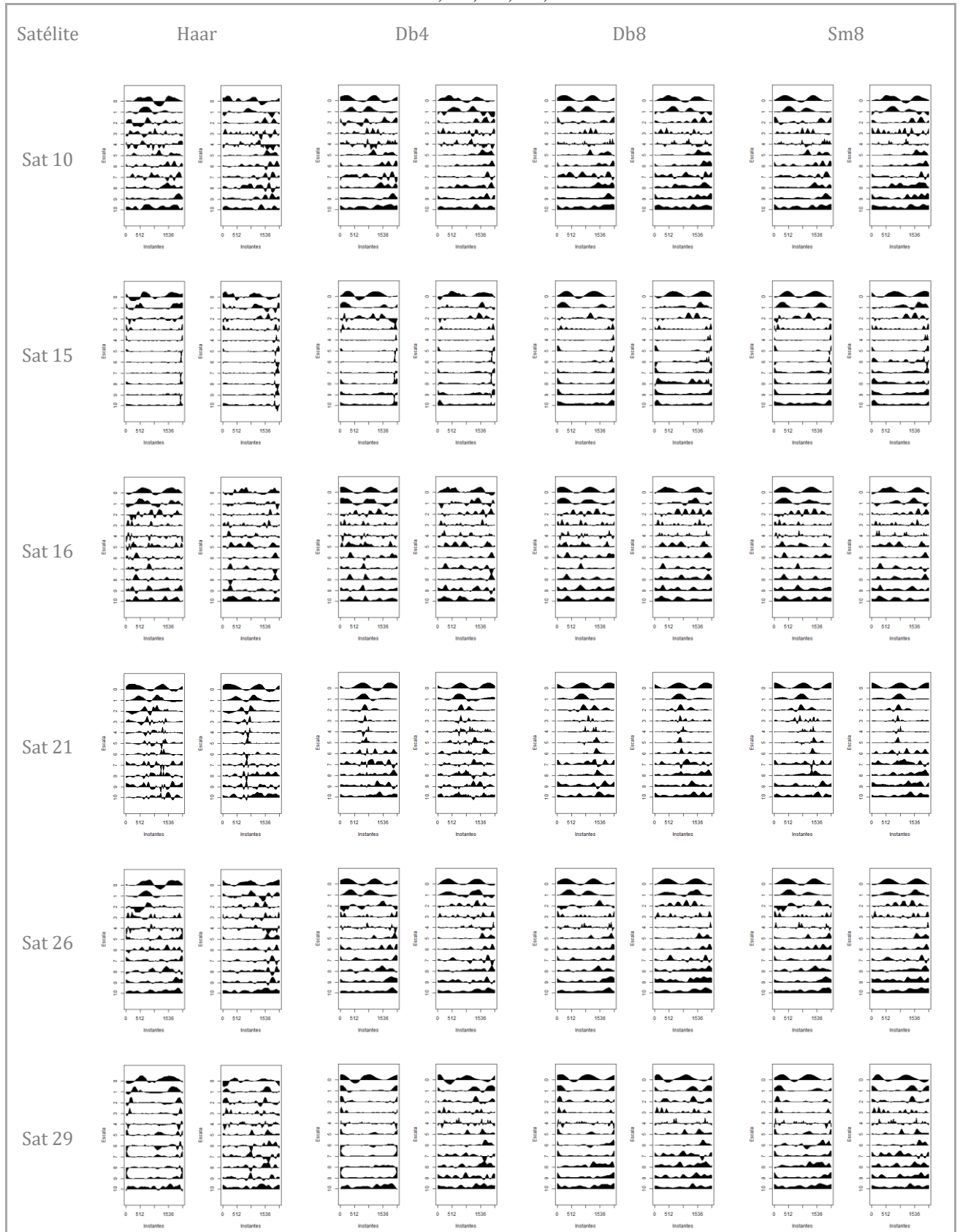
SAAD, et al. Beauchamp, Michael S., Desai, R., Cox, Robert W. A new method for improving functional-to-structural MRI alignment using local Pearson correlation. 2009, Vol. Volume 44, Issue 3, pp. 839-848. 60

CHAKRABORTY, S. et al. Investigating the correlation between high-frequency global oscillations and solar. *Journal of Physics: Conference Series*. 2011.

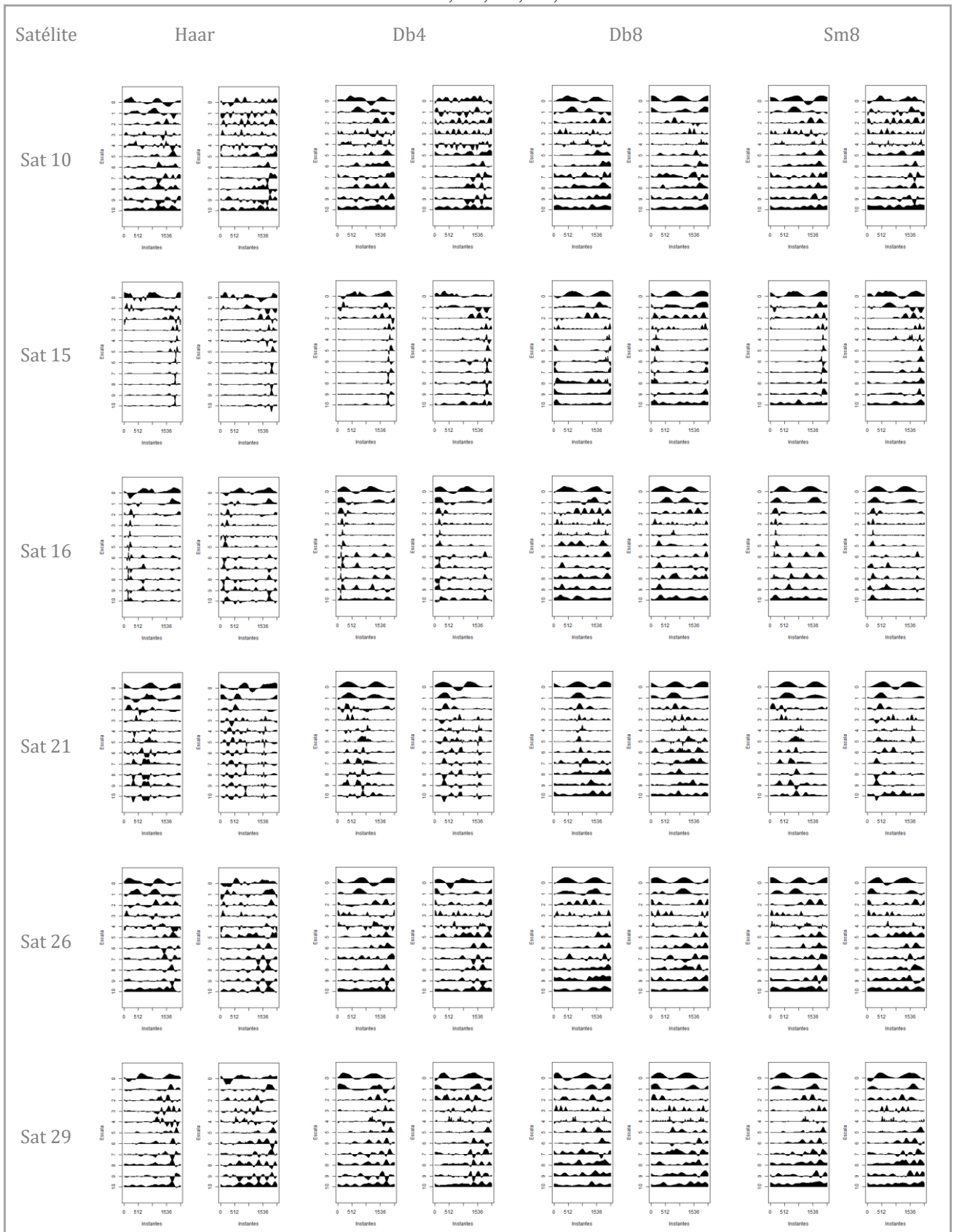
PEARSON, K. Mathematical contributions to the theory of evolution. III. Regression, heredity and panmixia. *Philos. Trans. Royal Soc. London Ser. A*. 1896, 187, pp. 253-318.

APÊNDICE A - COMPARATIVO ENTRE AS BASES WAVELETS

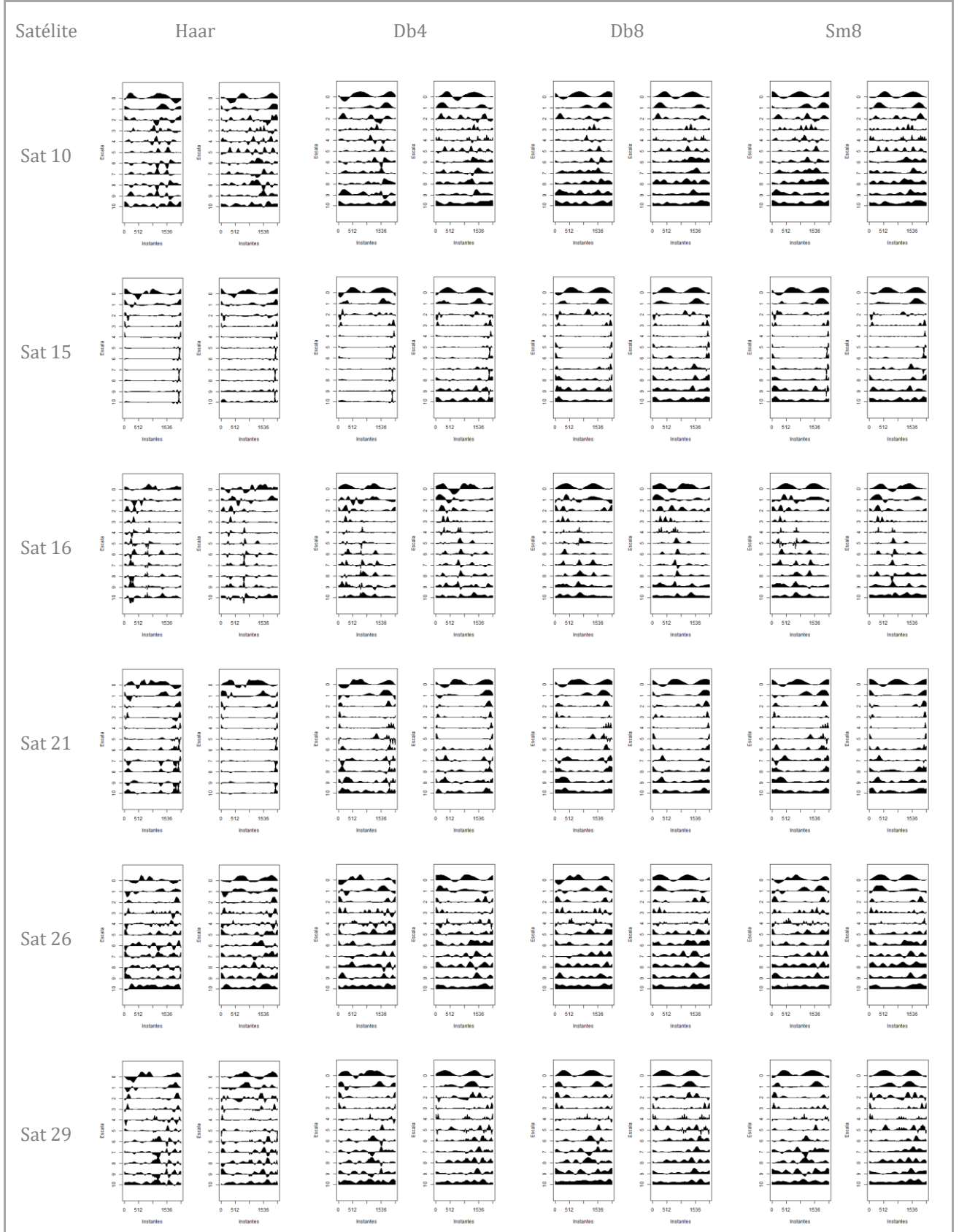
Escala *wavelet* para o cenário D1-I (1 e 2) nas bases *wavelets* Haar, Db4, Db8 e Sm8, para os satélites 10, 15, 16, 21, 26 e 29.



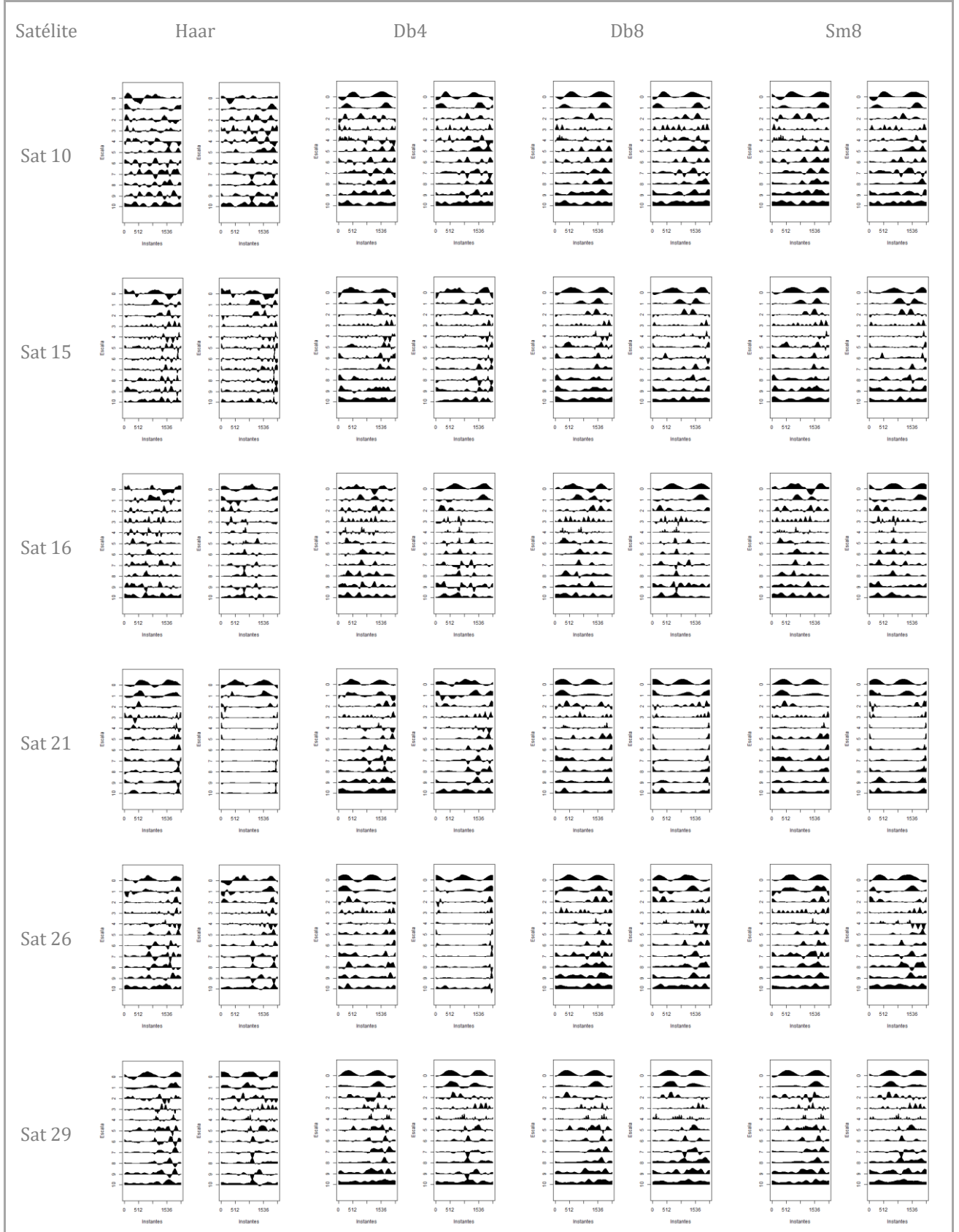
Escala *wavelet* para o cenário D1-10 (1 e 2) nas bases *wavelets* Haar, Db4, Db8 e Sm8, para os satélites 10, 15, 16, 21, 26 e 29.



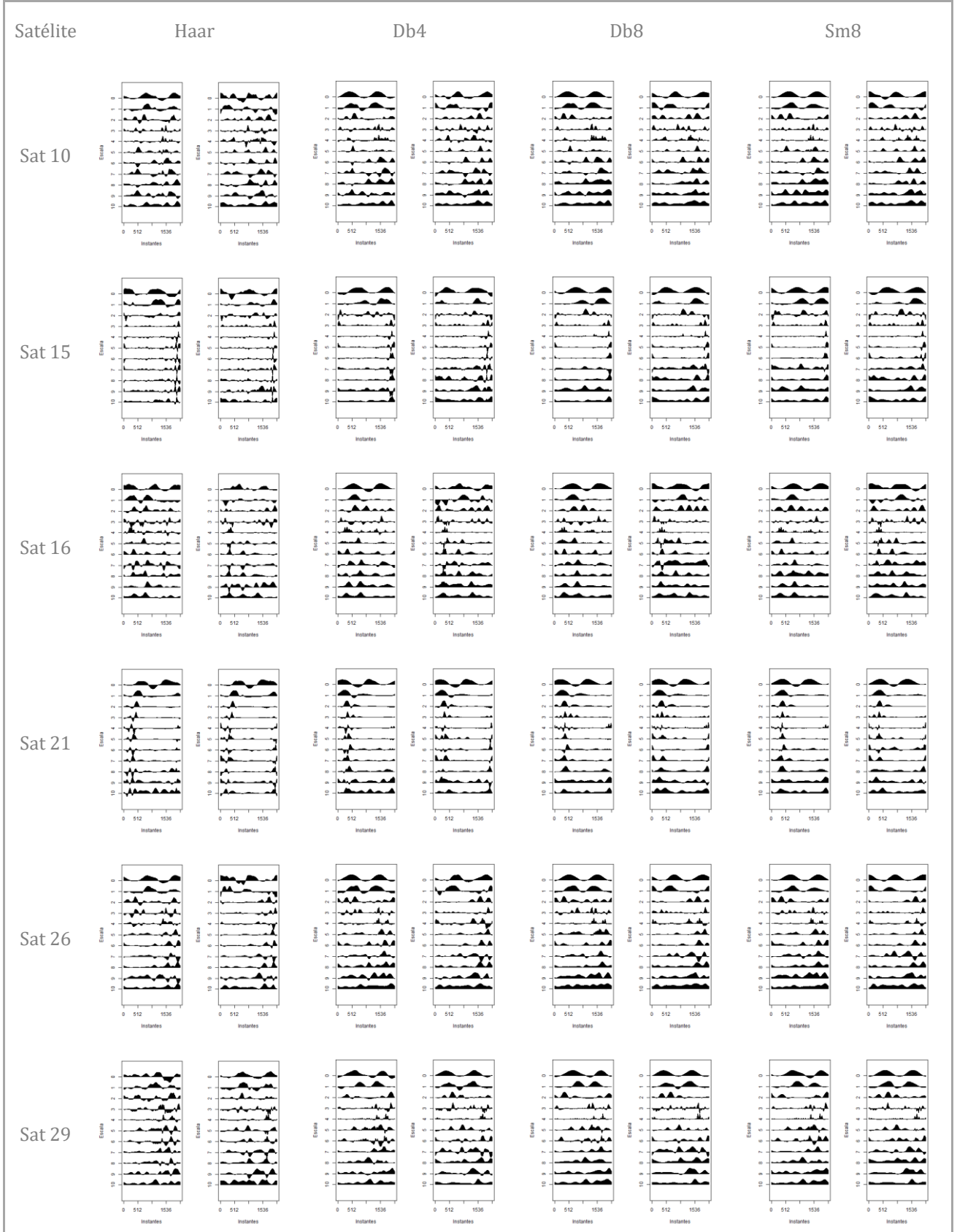
Escala *wavelet* para o cenário D1-5 (1 e 2) nas bases *wavelets* Haar, Db4, Db8 e Sm8, para os satélites 10, 15, 16, 21, 26 e 29.



Escala *wavelet* para o cenário D1-4 (1 e 2) nas bases *wavelets* Haar, Db4, Db8 e Sm8, para os satélites 10, 15, 16, 21, 26 e 29.



Escala *wavelet* para o cenário D1-3 (1 e 2) nas bases *wavelets* Haar, Db4, Db8 e Sm8, para os satélites 10, 15, 16, 21, 26 e 29.



**APÊNDICE B – CÁLCULO DA DIFERENCIAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTE
DE CORRELAÇÃO DE DIAS CONSECUTIVOS E NÃO CONSECUTIVOS.**

D1 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação entre os dias sem movimento e com movimento para os deslocamentos de 10cm, 5cm, 4cm, 3cm, 2cm e 1cm em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel.

| | | 10 cm | | 5 cm | | 4 cm | | 3 cm | | 2 cm | | 1 cm | |
|------------------------|--------|--------|-----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|-------|----------------|--------|----------------|
| | | D1-I | D1-I + D1-10 | D1-I | D1-I + D1-5 | D1-I | D1-I + D1-4 | D1-I | D1-I + D1-3 | D1-5 | D1-5 + D1-3 | D1-5 | D1-5 + D1-4 |
| RESÍDUOS BRUTOS | Sat 10 | 0,200 | -0,187 | 0,200 | 0,019 | 0,200 | -0,013 | 0,200 | 0,112 | 0,127 | 0,070 | 0,127 | -0,037 |
| | | 0,387 | | 0,181 | | 0,213 | | 0,088 | | 0,057 | | 0,164 | |
| | Sat 15 | 0,384 | -0,156 | 0,384 | 0,457 | 0,384 | 0,102 | 0,384 | 0,008 | 0,499 | 0,261 | 0,499 | 0,160 |
| | | 0,540 | | -0,073 | | 0,282 | | 0,376 | | 0,238 | | 0,339 | |
| | Sat 16 | 0,294 | -0,007 | 0,294 | -0,030 | 0,294 | 0,094 | 0,294 | 0,086 | 0,427 | -0,038 | 0,427 | -0,003 |
| | | 0,301 | | 0,324 | | 0,201 | | 0,208 | | 0,465 | | 0,430 | |
| Sat 21 | 0,485 | -0,042 | 0,485 | -0,105 | 0,485 | -0,072 | 0,485 | -0,185 | 0,037 | 0,005 | 0,037 | 0,110 | |
| | 0,527 | | 0,590 | | 0,557 | | 0,670 | | 0,033 | | -0,073 | | |
| Sat 26 | 0,117 | -0,064 | 0,117 | 0,077 | 0,117 | -0,014 | 0,117 | 0,155 | 0,165 | 0,069 | 0,165 | -0,149 | |
| | 0,181 | | 0,040 | | 0,131 | | -0,038 | | 0,096 | | 0,314 | | |
| Sat 29 | 0,351 | -0,253 | 0,351 | 0,252 | 0,351 | 0,093 | 0,351 | 0,021 | 0,284 | 0,027 | 0,284 | 0,024 | |
| | 0,604 | | 0,099 | | 0,258 | | 0,330 | | 0,257 | | 0,260 | | |
| ANÁLISE WAVELET (Sm8) | Sat 10 | 0,550 | -0,261 | 0,550 | 0,093 | 0,550 | -0,015 | 0,550 | 0,125 | 0,419 | 0,067 | 0,419 | 0,047 |
| | | 0,811 | | 0,458 | | 0,565 | | 0,425 | | 0,352 | | 0,372 | |
| | Sat 15 | 0,508 | -0,191 | 0,508 | 0,572 | 0,508 | 0,157 | 0,508 | 0,076 | 0,677 | 0,380 | 0,677 | 0,230 |
| | | 0,811 | | -0,064 | | 0,351 | | 0,432 | | 0,297 | | 0,447 | |
| | Sat 16 | 0,462 | -0,043 | 0,462 | -0,019 | 0,462 | 0,083 | 0,462 | 0,118 | 0,558 | -0,024 | 0,558 | 0,158 |
| | | 0,505 | | 0,481 | | 0,379 | | 0,344 | | 0,582 | | 0,400 | |
| Sat 21 | 0,717 | -0,053 | 0,717 | -0,128 | 0,717 | -0,153 | 0,717 | -0,319 | 0,149 | 0,187 | 0,149 | 0,138 | |
| | 0,770 | | 0,845 | | 0,870 | | 1,036 | | -0,038 | | 0,011 | | |
| Sat 26 | 0,399 | 0,014 | 0,399 | 0,048 | 0,399 | 0,111 | 0,399 | 0,249 | 0,473 | 0,118 | 0,473 | -0,016 | |
| | 0,385 | | 0,351 | | 0,288 | | 0,150 | | 0,355 | | 0,489 | | |
| Sat 29 | 0,619 | -0,343 | 0,619 | 0,458 | 0,619 | 0,214 | 0,619 | 0,014 | 0,501 | 0,094 | 0,501 | 0,144 | |
| | 0,962 | | 0,161 | | 0,405 | | 0,606 | | 0,407 | | 0,357 | | |
| MÉDIA MÓVEL (60 segs.) | Sat 10 | 0,526 | -0,194 | 0,526 | 0,102 | 0,526 | 0,062 | 0,526 | 0,191 | 0,492 | 0,063 | 0,492 | 0,373 |
| | | 0,720 | | 0,424 | | 0,464 | | 0,335 | | 0,429 | | 0,119 | |
| | Sat 15 | 0,549 | -0,246 | 0,549 | 0,658 | 0,549 | 0,219 | 0,549 | 0,139 | 0,749 | 0,515 | 0,749 | 0,405 |
| | | 0,795 | | -0,109 | | 0,330 | | 0,410 | | 0,234 | | 0,344 | |
| | Sat 16 | 0,446 | -0,088 | 0,446 | -0,031 | 0,446 | 0,232 | 0,446 | 0,152 | 0,542 | -0,056 | 0,542 | 0,237 |
| | | 0,534 | | 0,477 | | 0,214 | | 0,294 | | 0,598 | | 0,305 | |
| Sat 21 | 0,762 | 0,025 | 0,762 | -0,129 | 0,762 | -0,180 | 0,762 | -0,357 | 0,388 | 0,195 | 0,388 | 0,228 | |
| | 0,737 | | 0,891 | | 0,942 | | 1,119 | | 0,193 | | 0,160 | | |
| Sat 26 | 0,434 | 0,144 | 0,434 | 0,099 | 0,434 | 0,073 | 0,434 | 0,293 | 0,554 | 0,111 | 0,554 | 0,201 | |
| | 0,290 | | 0,335 | | 0,361 | | 0,141 | | 0,443 | | 0,353 | | |
| Sat 29 | 0,539 | -0,465 | 0,539 | 0,631 | 0,539 | 0,311 | 0,539 | -0,116 | 0,591 | 0,078 | 0,591 | 0,342 | |
| | 1,004 | | -0,092 | | 0,228 | | 0,655 | | 0,513 | | 0,249 | | |

D3 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação entre os dias sem movimento e com movimento para os deslocamentos de 10cm, 5cm, 4cm, 3cm, 2cm e 1cm em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel.

| | | 10 cm | | 5 cm | | 4 cm | | 3 cm | | 2 cm | | 1 cm | |
|------------------------|--------|--------|--------------|--------|-------------|--------|-------------|-------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
| | | D3-I | D3-I + D3-10 | D3-I | D3-I + D3-5 | D3-I | D3-I + D3-4 | D3-I | D3-I + D3-3 | D3-5 | D3-5 + D3-3 | D3-5 | D3-5 + D3-4 |
| RESÍDUOS BRUTOS | Sat 16 | 0,195 | -0,067 | 0,195 | -0,108 | 0,195 | 0,007 | 0,195 | -0,147 | 0,327 | 0,078 | 0,327 | 0,073 |
| | | 0,262 | | 0,303 | | 0,188 | | 0,188 | | 0,249 | | 0,254 | |
| | Sat 21 | 0,142 | 0,019 | 0,142 | -0,141 | 0,142 | -0,013 | 0,142 | -0,002 | 0,018 | 0,023 | 0,018 | -0,062 |
| | | 0,123 | | 0,283 | | 0,155 | | 0,144 | | -0,006 | | 0,080 | |
| Sat 26 | 0,011 | 0,006 | 0,011 | -0,078 | 0,011 | -0,011 | 0,011 | 0,041 | 0,026 | -0,008 | 0,026 | 0,012 | |
| | 0,006 | | 0,090 | | 0,022 | | -0,030 | | 0,034 | | 0,014 | | |
| Sat 29 | 0,037 | 0,173 | 0,037 | 0,132 | 0,037 | 0,253 | 0,037 | 0,115 | 0,310 | -0,096 | 0,310 | 0,056 | |
| | -0,137 | | -0,096 | | -0,217 | | -0,079 | | 0,406 | | 0,254 | | |
| ANÁLISE WAVELET (Sm8) | Sat 16 | 0,492 | -0,193 | 0,492 | 0,043 | 0,492 | -0,024 | 0,492 | -0,367 | 0,591 | 0,151 | 0,591 | 0,235 |
| | | 0,685 | | 0,449 | | 0,516 | | 0,859 | | 0,440 | | 0,356 | |
| | Sat 21 | 0,534 | 0,111 | 0,534 | -0,158 | 0,534 | -0,070 | 0,534 | 0,116 | 0,430 | 0,077 | 0,430 | -0,192 |
| | | 0,423 | | 0,692 | | 0,604 | | 0,418 | | 0,354 | | 0,622 | |
| Sat 26 | 0,429 | -0,064 | 0,429 | -0,223 | 0,429 | 0,024 | 0,429 | 0,066 | 0,398 | 0,058 | 0,398 | -0,098 | |
| | 0,493 | | 0,652 | | 0,405 | | 0,363 | | 0,340 | | 0,496 | | |
| Sat 29 | 0,261 | 0,367 | 0,261 | 0,200 | 0,261 | 0,424 | 0,261 | 0,224 | 0,749 | -0,145 | 0,749 | 0,198 | |
| | -0,106 | | 0,061 | | -0,163 | | 0,037 | | 0,894 | | 0,551 | | |
| MÉDIA MÓVEL (60 segs.) | Sat 16 | 0,443 | -0,205 | 0,443 | 0,157 | 0,443 | 0,130 | 0,443 | -0,308 | 0,529 | 0,201 | 0,529 | 0,262 |
| | | 0,648 | | 0,286 | | 0,313 | | 0,751 | | 0,328 | | 0,267 | |
| | Sat 21 | 0,540 | 0,196 | 0,540 | -0,131 | 0,540 | -0,145 | 0,540 | 0,105 | 0,526 | 0,074 | 0,526 | -0,018 |
| | | 0,344 | | 0,671 | | 0,685 | | 0,435 | | 0,452 | | 0,544 | |
| Sat 26 | 0,491 | 0,006 | 0,491 | -0,041 | 0,491 | 0,014 | 0,491 | 0,013 | 0,313 | 0,055 | 0,313 | 0,017 | |
| | 0,485 | | 0,532 | | 0,477 | | 0,478 | | 0,258 | | 0,296 | | |
| Sat 29 | 0,249 | 0,303 | 0,249 | 0,418 | 0,249 | 0,481 | 0,249 | 0,298 | 0,791 | 0,156 | 0,791 | 0,503 | |
| | -0,054 | | -0,169 | | -0,232 | | -0,049 | | 0,635 | | 0,288 | | |

I4 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação entre os dias sem movimento e com movimento para as inclinações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel.

| | | 5° | | 4° | | 3° | | 2° | | 1° | |
|------------------------|--------|-------|-------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|-------------|
| | | I4-I | I4-I + I4-5 | I4-I | I4-I + I4-4 | I4-I | I4-I + I4-10 | I4-I | I4-I + I4-2 | I4-3 | I4-3 + I4-2 |
| RESÍDUOS BRUTOS | Sat 10 | 0,227 | -0,013 | 0,227 | -0,091 | 0,227 | -0,016 | 0,227 | 0,002 | 0,316 | 0,076 |
| | | | 0,240 | | 0,318 | | 0,243 | | 0,225 | | 0,240 |
| | Sat 16 | 0,550 | 0,138 | 0,550 | 0,190 | 0,550 | 0,187 | 0,550 | -0,057 | 0,337 | -0,014 |
| | | | 0,412 | | 0,360 | | 0,363 | | 0,607 | | 0,351 |
| | Sat 21 | 0,185 | -0,100 | 0,185 | 0,042 | 0,185 | -0,046 | 0,185 | -0,020 | 0,082 | 0,027 |
| | | 0,285 | | 0,143 | | 0,231 | | 0,205 | | 0,056 | |
| | Sat 26 | 0,366 | 0,109 | 0,366 | -0,015 | 0,366 | -0,064 | 0,366 | -0,096 | 0,082 | -0,081 |
| | | | 0,257 | | 0,381 | | 0,430 | | 0,462 | | 0,162 |
| | Sat 29 | 0,147 | -0,064 | 0,147 | 0,039 | 0,147 | 0,006 | 0,147 | -0,060 | 0,243 | 0,152 |
| | | | 0,211 | | 0,108 | | 0,141 | | 0,207 | | 0,091 |
| ANÁLISE WAVELET (Sm8) | Sat 10 | 0,644 | 0,318 | 0,644 | -0,227 | 0,644 | -0,089 | 0,644 | -0,015 | 0,788 | 0,102 |
| | | | 0,326 | | 0,871 | | 0,733 | | 0,659 | | 0,686 |
| | Sat 16 | 0,793 | 0,311 | 0,793 | 0,411 | 0,793 | 0,329 | 0,793 | -0,149 | 0,764 | -0,082 |
| | | | 0,482 | | 0,382 | | 0,464 | | 0,942 | | 0,846 |
| | Sat 21 | 0,574 | -0,201 | 0,574 | -0,064 | 0,574 | -0,085 | 0,574 | 0,010 | 0,418 | 0,006 |
| | | 0,775 | | 0,638 | | 0,659 | | 0,564 | | 0,412 | |
| | Sat 26 | 0,522 | 0,322 | 0,522 | 0,086 | 0,522 | 0,037 | 0,522 | -0,238 | 0,556 | -0,180 |
| | | | 0,200 | | 0,436 | | 0,485 | | 0,760 | | 0,736 |
| | Sat 29 | 0,508 | -0,066 | 0,508 | -0,049 | 0,508 | 0,010 | 0,508 | -0,190 | 0,687 | 0,353 |
| | | | 0,574 | | 0,557 | | 0,498 | | 0,698 | | 0,334 |
| MÉDIA MÓVEL (60 segs.) | Sat 10 | 0,660 | 0,356 | 0,660 | -0,027 | 0,660 | -0,030 | 0,660 | 0,133 | 0,795 | 0,261 |
| | | | 0,304 | | 0,687 | | 0,690 | | 0,527 | | 0,534 |
| | Sat 16 | 0,865 | 0,469 | 0,865 | 0,556 | 0,865 | 0,466 | 0,865 | -0,145 | 0,834 | 0,059 |
| | | | 0,396 | | 0,309 | | 0,399 | | 1,010 | | 0,775 |
| | Sat 21 | 0,650 | -0,115 | 0,650 | -0,095 | 0,650 | -0,211 | 0,650 | 0,069 | 0,396 | -0,066 |
| | | 0,765 | | 0,745 | | 0,861 | | 0,582 | | 0,462 | |
| | Sat 26 | 0,636 | 0,374 | 0,636 | 0,075 | 0,636 | 0,047 | 0,636 | -0,281 | 0,575 | -0,220 |
| | | | 0,262 | | 0,561 | | 0,589 | | 0,917 | | 0,795 |
| | Sat 29 | 0,596 | 0,104 | 0,596 | -0,074 | 0,596 | -0,071 | 0,596 | -0,313 | 0,738 | 0,314 |
| | | | 0,492 | | 0,670 | | 0,667 | | 0,909 | | 0,424 |

R1 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação entre os dias sem movimento e com movimento para as rotações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel.

| | | 5° | | 4° | | 3° | | 2° | | 1° | |
|------------------------|--------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|
| | | R1-I | R1-I + R1-5 | R1-I | R1-I + R1-4 | R1-I | R1-I + R1-3 | R1-5 | R1-5 + R1-3 | R1-5 | R1-5 + R1-4 |
| RESÍDUOS BRUTOS | Sat 10 | 0,260 | -0,129 0,389 | 0,260 | -0,013 0,273 | 0,260 | 0,073 0,187 | 0,258 | 0,012 0,246 | 0,258 | -0,050 0,308 |
| | Sat 16 | 0,260 | 0,048 0,212 | 0,260 | 0,029 0,231 | 0,260 | 0,015 0,245 | 0,404 | 0,042 0,363 | 0,404 | 0,245 0,159 |
| | Sat 21 | 0,470 | 0,219 0,251 | 0,470 | 0,201 0,269 | 0,470 | -0,024 0,494 | 0,546 | 0,480 0,066 | 0,546 | 0,529 0,017 |
| | Sat 26 | 0,082 | -0,157 0,239 | 0,082 | 0,094 -0,012 | 0,082 | 0,136 -0,054 | 0,238 | -0,005 0,243 | 0,238 | 0,002 0,236 |
| | Sat 29 | 0,272 | -0,020 0,292 | 0,272 | -0,013 0,285 | 0,272 | -0,100 0,372 | 0,329 | 0,031 0,298 | 0,329 | 0,067 0,262 |
| ANÁLISE WAVELET (Sm8) | Sat 10 | 0,417 | -0,372 0,789 | 0,417 | 0,003 0,414 | 0,417 | 0,083 0,334 | 0,507 | -0,044 0,551 | 0,507 | 0,082 0,425 |
| | Sat 16 | 0,451 | -0,004 0,455 | 0,451 | 0,095 0,356 | 0,451 | 0,039 0,412 | 0,620 | 0,297 0,323 | 0,620 | 0,542 0,078 |
| | Sat 21 | 0,694 | 0,283 0,411 | 0,694 | 0,273 0,421 | 0,694 | -0,019 0,713 | 0,719 | 0,561 0,158 | 0,719 | 0,625 0,094 |
| | Sat 26 | 0,236 | -0,292 0,528 | 0,236 | 0,166 0,070 | 0,236 | 0,308 -0,072 | 0,521 | -0,100 0,621 | 0,521 | 0,082 0,440 |
| | Sat 29 | 0,476 | -0,015 0,491 | 0,476 | -0,036 0,512 | 0,476 | -0,140 0,616 | 0,710 | 0,055 0,655 | 0,710 | 0,325 0,385 |
| MÉDIA MÓVEL (60 segs.) | Sat 10 | 0,372 | -0,410 0,782 | 0,372 | 0,038 0,334 | 0,372 | 0,113 0,259 | 0,518 | 0,253 0,265 | 0,518 | 0,089 0,428 |
| | Sat 16 | 0,406 | 0,043 0,363 | 0,406 | 0,160 0,246 | 0,406 | 0,105 0,301 | 0,684 | 0,677 0,007 | 0,684 | 0,430 0,254 |
| | Sat 21 | 0,680 | 0,371 0,309 | 0,680 | 0,306 0,374 | 0,680 | 0,105 0,575 | 0,816 | 0,746 0,070 | 0,816 | 0,655 0,161 |
| | Sat 26 | 0,074 | -0,261 0,335 | 0,074 | 0,199 -0,125 | 0,074 | 0,360 -0,286 | 0,578 | 0,329 0,249 | 0,578 | -0,033 0,611 |
| | Sat 29 | 0,502 | -0,043 0,545 | 0,502 | 0,033 0,469 | 0,502 | -0,197 0,699 | 0,817 | 0,404 0,413 | 0,817 | 0,168 0,649 |

R3 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação entre os dias sem movimento e com movimento para as rotações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel.

| | | 5° | | 4° | | 3° | | 2° | | 1° | |
|------------------------|--------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|--------|------------------|--------|-----------------|
| | | R3-I | R3-I + R3-5 | R3-I | R3-I + R3-4 | R3-I | R3-I + R3-3 | R3-5 | R3-5 + R3-3 | R3-5 | R3-5 + R3-4 |
| RESÍDUOS BRUTOS | Sat 16 | 0,212 | 0,005 0,207 | 0,212 | 0,011 0,201 | 0,212 | 0,070 0,142 | 0,378 | 0,093 0,285 | 0,378 | 0,224 0,154 |
| | Sat 21 | 0,109 | -0,022 0,131 | 0,109 | -0,010 0,119 | 0,109 | -0,105 0,214 | 0,192 | 0,053 0,140 | 0,192 | 0,092 0,100 |
| | Sat 26 | 0,155 | 0,044 0,111 | 0,155 | -0,016 0,171 | 0,155 | -0,031 0,186 | -0,029 | -0,008 -0,021 | -0,029 | 0,014 -0,043 |
| | Sat 29 | 0,108 | 0,114 -0,006 | 0,108 | 0,071 0,037 | 0,108 | 0,047 0,061 | 0,214 | 0,084 0,130 | 0,214 | 0,109 0,105 |
| ANÁLISE WAVELET (sm8) | Sat 16 | 0,485 | 0,087 0,399 | 0,485 | 0,151 0,334 | 0,485 | 0,196 0,289 | 0,661 | 0,370 0,291 | 0,661 | 0,507 0,154 |
| | Sat 21 | 0,520 | -0,015 0,535 | 0,520 | -0,049 0,569 | 0,520 | -0,177 0,697 | 0,568 | 0,012 0,556 | 0,568 | 0,130 0,438 |
| | Sat 26 | 0,629 | 0,051 0,578 | 0,629 | 0,120 0,509 | 0,629 | -0,200 0,829 | 0,293 | -0,121 0,414 | 0,293 | 0,202 0,091 |
| | Sat 29 | 0,335 | 0,308 0,027 | 0,335 | 0,293 0,042 | 0,335 | 0,093 0,243 | 0,717 | 0,047 0,670 | 0,717 | 0,400 0,317 |
| MÉDIA MÓVEL (60 segs.) | Sat 16 | 0,408 | 0,154 0,254 | 0,408 | 0,180 0,228 | 0,408 | 0,266 0,142 | 0,640 | 0,603 0,037 | 0,640 | 0,446 0,194 |
| | Sat 21 | 0,504 | 0,047 0,457 | 0,504 | -0,203 0,707 | 0,504 | -0,288 0,792 | 0,669 | 0,376 0,293 | 0,669 | 0,149 0,520 |
| | Sat 26 | 0,664 | 0,087 0,577 | 0,664 | -0,046 0,710 | 0,664 | -0,233 0,897 | 0,242 | 0,168 0,074 | 0,242 | -0,085 0,327 |
| | Sat 29 | 0,306 | 0,438 -0,132 | 0,306 | 0,325 -0,019 | 0,306 | 0,049 0,257 | 0,787 | 0,544 0,243 | 0,787 | 0,159 0,628 |

R4 – Cálculo da Diferenciação dos coeficientes de correlação entre os dias sem movimento e com movimento para as rotações de 5°, 4°, 3°, 2° e 1° em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise Wavelet e Média Móvel.

| | | 5° | | 4° | | 3° | | 2° | | 1° | |
|------------------------|--------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|------------|
| | | R4-I | R4-I + R4-5 | R4-I | R4-I + R4-4 | R4-I | R4-I + R4-3 | R4-5 | R4-5 + R4-3 | R4-5 | R4-5 + 4-4 |
| RESÍDUOS BRUTOS | Sat 10 | 0,227 0,322 | -0,095 | 0,227 0,231 | -0,004 | 0,227 0,230 | -0,003 | 0,281 0,361 | -0,080 | 0,281 0,250 | 0,031 |
| | Sat 16 | 0,550 0,532 | 0,018 | 0,550 0,561 | -0,011 | 0,550 0,454 | 0,097 | 0,523 0,285 | 0,238 | 0,523 0,154 | 0,369 |
| | Sat 21 | 0,185 0,128 | 0,057 | 0,185 0,178 | 0,007 | 0,185 0,200 | -0,015 | 0,149 0,157 | -0,008 | 0,149 0,059 | 0,090 |
| | Sat 29 | 0,147 0,213 | -0,066 | 0,147 0,123 | 0,024 | 0,147 0,122 | 0,025 | 0,268 0,256 | 0,012 | 0,268 0,213 | 0,055 |
| ANÁLISE WAVELET (Sm8) | Sat 10 | 0,644 0,847 | -0,203 | 0,644 0,652 | -0,008 | 0,644 0,564 | 0,080 | 0,688 0,848 | -0,160 | 0,688 0,475 | 0,213 |
| | Sat 16 | 0,793 0,742 | 0,051 | 0,793 0,837 | -0,044 | 0,793 0,698 | 0,095 | 0,705 0,164 | 0,541 | 0,705 0,045 | 0,660 |
| | Sat 21 | 0,574 0,373 | 0,201 | 0,574 0,653 | -0,079 | 0,574 0,608 | -0,034 | 0,670 0,822 | -0,152 | 0,670 0,517 | 0,153 |
| | Sat 29 | 0,508 0,702 | -0,194 | 0,508 0,543 | -0,035 | 0,508 0,393 | 0,115 | 0,715 0,558 | 0,157 | 0,715 0,459 | 0,256 |
| MÉDIA MÓVEL (60 segs.) | Sat 10 | 0,660 0,746 | -0,086 | 0,660 0,707 | -0,047 | 0,660 0,671 | -0,011 | 0,694 0,502 | 0,192 | 0,694 0,629 | 0,064 |
| | Sat 16 | 0,865 0,736 | 0,129 | 0,865 0,843 | 0,022 | 0,865 0,746 | 0,119 | 0,738 0,018 | 0,720 | 0,738 0,114 | 0,624 |
| | Sat 21 | 0,650 0,458 | 0,192 | 0,650 0,690 | -0,040 | 0,650 0,614 | 0,036 | 0,686 0,502 | 0,184 | 0,686 0,825 | -0,139 |
| | Sat 29 | 0,596 0,732 | -0,136 | 0,596 0,560 | 0,036 | 0,596 0,487 | 0,109 | 0,802 0,385 | 0,417 | 0,802 0,582 | 0,220 |

APÊNDICE C – CÁLCULO DO INTERVALO DE CONFIANÇA

D1 – Valor do Limites Inferior e Superior (LI e LS) do IC dos dias de referencia (D1-I e D1-5) e para cada um dos deslocamentos analisados (10 cm, 5 cm, 4 cm, 3 cm, 2 cm e 1 cm) em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel.

| | | Sat 10 | | Sat 15 | | Sat 16 | | Sat 21 | | Sat 26 | | Sat 29 | | |
|------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS | |
| RESÍDUOS BRUTOS | D1-I | 0,129 | 0,215 | 0,354 | 0,427 | 0,231 | 0,311 | 0,518 | 0,582 | 0,047 | 0,139 | 0,302 | 0,377 | |
| | D1-5 | 0,135 | 0,221 | 0,452 | 0,520 | 0,526 | 0,589 | 0,160 | 0,245 | 0,191 | 0,273 | 0,335 | 0,409 | |
| | 10 CM | | -0,228 | -0,143 | -0,093 | 0,002 | 0,005 | 0,099 | -0,009 | 0,086 | -0,126 | -0,033 | -0,270 | -0,187 |
| | | | -0,045 | 0,053 | -0,013 | 0,084 | 0,038 | 0,130 | -0,035 | 0,062 | 0,131 | 0,217 | -0,163 | -0,073 |
| | | | -0,174 | -0,085 | -0,216 | -0,130 | 0,019 | 0,113 | 0,069 | 0,159 | -0,113 | -0,019 | -0,210 | -0,123 |
| | | | -0,025 | 0,072 | -0,051 | 0,048 | 0,121 | 0,208 | 0,031 | 0,124 | -0,013 | 0,083 | -0,008 | 0,088 |
| | 5 CM | | -0,015 | 0,082 | 0,571 | 0,633 | -0,212 | -0,126 | -0,143 | -0,051 | 0,071 | 0,161 | 0,331 | 0,405 |
| | | | 0,052 | 0,143 | 0,291 | 0,367 | -0,133 | -0,041 | -0,142 | -0,050 | 0,117 | 0,204 | 0,144 | 0,229 |
| | | | 0,053 | 0,144 | 0,470 | 0,536 | -0,084 | 0,012 | -0,123 | -0,030 | 0,045 | 0,137 | 0,101 | 0,189 |
| | 4 CM | | -0,093 | 0,003 | 0,411 | 0,480 | -0,059 | 0,040 | -0,163 | -0,073 | -0,020 | 0,077 | -0,004 | 0,091 |
| | | | -0,060 | 0,038 | 0,068 | 0,159 | 0,006 | 0,101 | -0,100 | -0,005 | -0,071 | 0,026 | 0,062 | 0,153 |
| | | | -0,014 | 0,083 | -0,006 | 0,090 | -0,071 | 0,027 | -0,112 | -0,018 | -0,001 | 0,094 | -0,098 | -0,003 |
| | | | -0,148 | -0,057 | 0,097 | 0,186 | -0,075 | 0,022 | -0,107 | -0,013 | -0,136 | -0,044 | -0,063 | 0,035 |
| | 3 CM | | -0,144 | -0,053 | -0,029 | 0,068 | 0,006 | 0,101 | -0,128 | -0,036 | -0,115 | -0,021 | 0,038 | 0,131 |
| | | | 0,044 | 0,136 | -0,046 | 0,053 | 0,009 | 0,104 | -0,197 | -0,109 | 0,089 | 0,178 | -0,005 | 0,090 |
| | | | -0,106 | -0,011 | -0,101 | -0,006 | 0,123 | 0,210 | -0,164 | -0,074 | -0,129 | -0,036 | -0,039 | 0,059 |
| | | | -0,031 | 0,066 | 0,021 | 0,115 | 0,155 | 0,239 | -0,179 | -0,090 | 0,093 | 0,182 | 0,072 | 0,162 |
| | 2 CM | | -0,053 | 0,046 | -0,198 | -0,111 | 0,220 | 0,300 | -0,136 | -0,044 | 0,008 | 0,103 | 0,041 | 0,133 |
| | | | -0,003 | 0,092 | 0,054 | 0,146 | -0,060 | 0,038 | -0,034 | 0,063 | 0,001 | 0,096 | -0,011 | 0,085 |
| | | | -0,107 | -0,013 | 0,022 | 0,115 | -0,089 | 0,007 | -0,025 | 0,072 | 0,000 | 0,096 | -0,047 | 0,052 |
| | | | 0,020 | 0,114 | 0,339 | 0,413 | -0,016 | 0,080 | 0,011 | 0,105 | -0,021 | 0,075 | -0,027 | 0,070 |
| | 1 CM | | 0,015 | 0,109 | 0,108 | 0,196 | -0,056 | 0,042 | 0,077 | 0,167 | -0,043 | 0,056 | 0,013 | 0,107 |
| | | | -0,098 | -0,003 | 0,024 | 0,118 | 0,019 | 0,112 | 0,047 | 0,139 | -0,156 | -0,066 | 0,001 | 0,096 |
| | | | -0,007 | 0,089 | 0,020 | 0,114 | 0,195 | 0,277 | 0,183 | 0,266 | 0,108 | 0,196 | 0,023 | 0,117 |
| | | -0,116 | -0,022 | 0,274 | 0,351 | -0,005 | 0,091 | -0,003 | 0,093 | -0,023 | 0,074 | 0,096 | 0,184 | |
| ANÁLISE WAVELET (Sm8) | | -0,176 | -0,087 | 0,238 | 0,317 | -0,132 | -0,040 | 0,504 | 0,569 | -0,011 | 0,085 | -0,047 | 0,051 | |
| | D1-I | 0,504 | 0,568 | 0,377 | 0,448 | 0,409 | 0,478 | 0,754 | 0,807 | 0,391 | 0,461 | 0,610 | 0,670 | |
| | D1-5 | 0,453 | 0,520 | 0,692 | 0,748 | 0,650 | 0,707 | 0,213 | 0,294 | 0,600 | 0,660 | 0,615 | 0,674 | |
| | 10 CM | | -0,305 | -0,225 | -0,091 | 0,005 | 0,077 | 0,167 | 0,067 | 0,157 | 0,054 | 0,146 | -0,330 | -0,252 |
| | | | -0,187 | -0,099 | -0,038 | 0,060 | 0,077 | 0,167 | -0,029 | 0,069 | 0,267 | 0,345 | -0,260 | -0,177 |
| | | | -0,345 | -0,268 | -0,274 | -0,192 | 0,170 | 0,253 | 0,123 | 0,209 | -0,119 | -0,026 | -0,353 | -0,276 |
| | | | -0,161 | -0,071 | -0,178 | -0,089 | 0,216 | 0,297 | 0,046 | 0,138 | 0,129 | 0,216 | -0,114 | -0,021 |
| | 5 CM | | 0,068 | 0,159 | 0,563 | 0,625 | -0,251 | -0,167 | -0,046 | 0,053 | 0,162 | 0,246 | 0,628 | 0,687 |
| | | | 0,116 | 0,203 | 0,611 | 0,670 | -0,144 | -0,052 | -0,081 | 0,015 | 0,357 | 0,429 | 0,357 | 0,430 |
| | | | 0,225 | 0,305 | 0,226 | 0,306 | -0,045 | 0,054 | -0,091 | 0,005 | 0,251 | 0,329 | 0,381 | 0,452 |
| | 4 CM | | -0,166 | -0,077 | 0,182 | 0,265 | 0,051 | 0,142 | -0,151 | -0,060 | 0,121 | 0,208 | 0,175 | 0,259 |
| | | | 0,004 | 0,099 | 0,207 | 0,289 | -0,016 | 0,081 | -0,115 | -0,022 | 0,053 | 0,144 | 0,131 | 0,217 |
| | | | -0,042 | 0,056 | 0,127 | 0,213 | -0,111 | -0,017 | -0,110 | -0,016 | 0,090 | 0,179 | -0,221 | -0,136 |
| | | | -0,157 | -0,066 | 0,190 | 0,273 | -0,127 | -0,035 | -0,100 | -0,006 | -0,183 | -0,095 | 0,026 | 0,119 |
| | 3 CM | | -0,178 | -0,089 | -0,046 | 0,052 | -0,017 | 0,080 | -0,120 | -0,027 | 0,062 | 0,153 | -0,024 | 0,073 |
| | | | 0,059 | 0,150 | -0,028 | 0,069 | 0,031 | 0,124 | -0,242 | -0,158 | 0,191 | 0,273 | -0,032 | 0,066 |
| | | | -0,107 | -0,013 | 0,020 | 0,114 | 0,174 | 0,258 | -0,156 | -0,066 | -0,204 | -0,117 | -0,019 | 0,077 |
| | | | -0,049 | 0,050 | -0,078 | 0,019 | 0,268 | 0,346 | -0,214 | -0,128 | 0,187 | 0,269 | 0,140 | 0,225 |
| | 2 CM | | -0,160 | -0,070 | -0,291 | -0,210 | 0,311 | 0,386 | -0,123 | -0,030 | -0,066 | 0,031 | 0,045 | 0,137 |
| | | | -0,050 | 0,049 | 0,291 | 0,367 | 0,023 | 0,117 | 0,054 | 0,145 | 0,035 | 0,128 | 0,046 | 0,138 |
| | | | -0,257 | -0,174 | 0,272 | 0,349 | -0,126 | -0,033 | -0,029 | 0,068 | 0,094 | 0,183 | -0,009 | 0,087 |
| | | | 0,108 | 0,195 | 0,307 | 0,382 | 0,124 | 0,210 | 0,060 | 0,151 | 0,026 | 0,119 | 0,074 | 0,164 |
| | 1 CM | | 0,000 | 0,095 | 0,374 | 0,445 | -0,005 | 0,090 | 0,055 | 0,146 | -0,029 | 0,068 | -0,015 | 0,081 |
| | | | 0,036 | 0,129 | 0,227 | 0,307 | 0,140 | 0,225 | -0,052 | 0,047 | -0,069 | 0,029 | 0,188 | 0,270 |
| | | -0,106 | -0,012 | 0,278 | 0,355 | 0,451 | 0,519 | 0,018 | 0,112 | 0,189 | 0,272 | -0,028 | 0,069 | |
| | | -0,030 | 0,068 | 0,494 | 0,559 | 0,037 | 0,129 | 0,084 | 0,173 | 0,109 | 0,196 | 0,293 | 0,369 | |
| MÉDIA MÓVEL (60 seg) | | -0,204 | -0,117 | 0,420 | 0,489 | 0,139 | 0,224 | -0,053 | 0,045 | 0,144 | 0,229 | 0,035 | 0,128 | |
| | D1-I | 0,489 | 0,555 | 0,601 | 0,661 | 0,377 | 0,448 | 0,829 | 0,880 | 0,385 | 0,456 | 0,576 | 0,637 | |
| | D1-5 | 0,506 | 0,570 | 0,817 | 0,867 | 0,668 | 0,725 | 0,614 | 0,673 | 0,654 | 0,711 | 0,677 | 0,734 | |
| | 10 CM | | -0,213 | -0,126 | -0,142 | -0,050 | 0,029 | 0,122 | 0,097 | 0,185 | 0,173 | 0,257 | -0,411 | -0,338 |
| | | | -0,224 | -0,139 | -0,081 | 0,015 | -0,011 | 0,085 | -0,067 | 0,031 | 0,272 | 0,349 | -0,304 | -0,224 |
| | | | -0,493 | -0,424 | -0,363 | -0,287 | 0,158 | 0,242 | 0,183 | 0,265 | -0,136 | -0,044 | -0,377 | -0,301 |
| | | | -0,383 | -0,308 | -0,206 | -0,119 | 0,171 | 0,255 | -0,027 | 0,070 | 0,050 | 0,142 | -0,255 | -0,171 |
| | 5 CM | | 0,009 | 0,103 | 0,679 | 0,735 | -0,310 | -0,230 | -0,109 | -0,015 | 0,204 | 0,285 | 0,730 | 0,784 |
| | | | 0,222 | 0,302 | 0,637 | 0,696 | -0,128 | -0,035 | -0,123 | -0,030 | 0,505 | 0,570 | 0,495 | 0,560 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 4 CM | 0,107 | 0,194 | 0,678 | 0,734 | -0,118 | -0,025 | -0,148 | -0,057 | 0,277 | 0,354 | 0,427 | 0,495 |
| | | -0,128 | -0,035 | 0,616 | 0,675 | 0,138 | 0,224 | -0,126 | -0,033 | 0,279 | 0,356 | 0,325 | 0,399 |
| | | 0,041 | 0,134 | 0,264 | 0,342 | 0,080 | 0,170 | -0,122 | -0,029 | 0,114 | 0,201 | 0,221 | 0,301 |
| | | -0,021 | 0,075 | 0,158 | 0,242 | -0,159 | -0,068 | -0,165 | -0,075 | 0,090 | 0,179 | -0,246 | -0,162 |
| | | -0,026 | 0,071 | 0,298 | 0,374 | 0,014 | 0,108 | -0,105 | -0,010 | -0,063 | 0,035 | 0,192 | 0,274 |
| | -0,102 | -0,007 | 0,147 | 0,232 | 0,051 | 0,143 | -0,129 | -0,037 | 0,082 | 0,171 | -0,030 | 0,067 | |
| | 3 CM | 0,156 | 0,240 | 0,119 | 0,206 | 0,045 | 0,137 | -0,281 | -0,199 | 0,261 | 0,339 | -0,094 | 0,001 |
| | | -0,112 | -0,019 | 0,023 | 0,116 | 0,189 | 0,271 | -0,178 | -0,089 | -0,209 | -0,122 | -0,095 | 0,000 |
| | | -0,027 | 0,070 | 0,213 | 0,294 | 0,337 | 0,411 | -0,269 | -0,186 | 0,157 | 0,242 | 0,165 | 0,249 |
| | | -0,197 | -0,109 | -0,212 | -0,125 | 0,388 | 0,458 | -0,172 | -0,083 | -0,257 | -0,173 | 0,053 | 0,144 |
| | 2 CM | -0,016 | 0,080 | 0,450 | 0,517 | 0,011 | 0,106 | -0,011 | 0,085 | 0,097 | 0,186 | 0,089 | 0,178 |
| | | -0,221 | -0,135 | 0,128 | 0,215 | -0,063 | 0,035 | -0,067 | 0,030 | -0,036 | 0,062 | 0,009 | 0,104 |
| | | 0,284 | 0,360 | 0,631 | 0,689 | 0,228 | 0,308 | -0,009 | 0,087 | 0,185 | 0,268 | 0,157 | 0,242 |
| | -0,007 | 0,088 | 0,341 | 0,415 | 0,125 | 0,212 | 0,015 | 0,109 | -0,134 | -0,042 | 0,006 | 0,101 | |
| | 1 CM | 0,318 | 0,392 | 0,331 | 0,405 | 0,176 | 0,259 | 0,032 | 0,125 | 0,176 | 0,260 | 0,375 | 0,447 |
| | | 0,066 | 0,157 | 0,309 | 0,384 | 0,535 | 0,598 | 0,246 | 0,325 | 0,425 | 0,494 | 0,102 | 0,190 |
| | | 0,128 | 0,215 | 0,609 | 0,668 | 0,028 | 0,121 | 0,238 | 0,317 | 0,217 | 0,298 | 0,453 | 0,521 |
| | | 0,043 | 0,135 | 0,553 | 0,615 | 0,284 | 0,361 | 0,546 | 0,608 | 0,350 | 0,422 | 0,180 | 0,263 |

D3 – Valor do Limites Inferior e Superior (LI e LS) do IC dos dias de referencia (D3-I e D3-5) e para cada um dos deslocamentos analisados (10 cm, 5 cm, 4 cm, 3 cm, 2 cm e 1 cm) em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel.

| | | Sat 16 | | Sat 21 | | Sat 26 | | Sat 29 | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS | |
| RESÍDUOS BRUTOS | D3-I | 0,163 | 0,247 | 0,100 | 0,189 | -0,047 | 0,052 | -0,034 | 0,064 | |
| | D3-5 | 0,331 | 0,405 | -0,035 | 0,062 | -0,025 | 0,072 | 0,299 | 0,374 | |
| | 10 CM | -0,114 | -0,020 | -0,028 | 0,070 | -0,045 | 0,054 | 0,167 | 0,251 | |
| | | -0,086 | 0,010 | 0,039 | 0,132 | -0,102 | -0,007 | -0,009 | 0,087 | |
| | | -0,057 | 0,041 | -0,002 | 0,093 | -0,064 | 0,033 | -0,023 | 0,073 | |
| | 5 CM | -0,024 | 0,073 | 0,024 | 0,117 | -0,068 | 0,029 | -0,073 | 0,024 | |
| | | -0,126 | -0,033 | -0,188 | -0,100 | -0,117 | -0,024 | 0,162 | 0,246 | |
| | | -0,100 | -0,005 | -0,043 | 0,056 | -0,008 | 0,088 | 0,129 | 0,215 | |
| | 4 CM | -0,022 | 0,074 | -0,020 | 0,076 | -0,129 | -0,037 | -0,058 | 0,040 | |
| | | 0,013 | 0,107 | -0,098 | -0,003 | -0,101 | -0,007 | -0,168 | -0,079 | |
| | | -0,025 | 0,072 | -0,069 | 0,029 | -0,083 | 0,013 | 0,228 | 0,308 | |
| | 3 CM | -0,085 | 0,011 | -0,052 | 0,047 | -0,035 | 0,063 | 0,102 | 0,190 | |
| | | -0,135 | -0,043 | -0,124 | -0,031 | -0,066 | 0,031 | -0,090 | 0,006 | |
| | | -0,109 | -0,015 | -0,020 | 0,076 | -0,057 | 0,041 | 0,032 | 0,125 | |
| | 2 CM | -0,180 | -0,091 | -0,059 | 0,039 | -0,008 | 0,088 | 0,083 | 0,173 | |
| | | -0,067 | 0,030 | -0,024 | 0,073 | -0,025 | 0,072 | 0,355 | 0,427 | |
| -0,139 | | -0,047 | 0,024 | 0,118 | -0,018 | 0,078 | 0,042 | 0,134 | | |
| 1 CM | -0,178 | -0,089 | -0,018 | 0,078 | 0,010 | 0,105 | -0,040 | 0,058 | | |
| | 0,047 | 0,139 | -0,009 | 0,087 | -0,056 | 0,043 | -0,142 | -0,051 | | |
| | -0,055 | 0,043 | 0,009 | 0,103 | -0,067 | 0,030 | 0,212 | 0,292 | | |
| ANÁLISE WAVELET (Sm8) | 10 CM | -0,008 | 0,088 | -0,098 | -0,003 | -0,067 | 0,031 | -0,189 | -0,101 | |
| | | -0,034 | 0,063 | -0,045 | 0,054 | 0,005 | 0,100 | 0,060 | 0,151 | |
| | | 0,026 | 0,119 | -0,113 | -0,019 | -0,031 | 0,067 | 0,016 | 0,110 | |
| | 5 CM | 0,024 | 0,118 | -0,054 | 0,045 | -0,070 | 0,027 | -0,144 | -0,053 | |
| | | 0,004 | 0,099 | -0,037 | 0,061 | 0,008 | 0,103 | 0,030 | 0,123 | |
| | | -0,016 | 0,080 | -0,068 | 0,029 | 0,006 | 0,101 | -0,134 | -0,042 | |
| | 4 CM | D3-I | 0,455 | 0,522 | 0,522 | 0,586 | 0,396 | 0,467 | 0,010 | 0,105 |
| | | D3-5 | 0,643 | 0,701 | 0,417 | 0,486 | 0,407 | 0,477 | 0,786 | 0,838 |
| | | -0,263 | -0,180 | 0,081 | 0,171 | 0,005 | 0,100 | 0,376 | 0,447 | |
| | 3 CM | -0,048 | 0,051 | 0,122 | 0,208 | -0,140 | -0,048 | 0,136 | 0,221 | |
| -0,031 | | 0,066 | 0,136 | 0,222 | -0,069 | 0,028 | -0,110 | -0,016 | | |
| -0,008 | | 0,087 | 0,159 | 0,243 | -0,139 | -0,048 | -0,050 | 0,049 | | |
| 2 CM | 0,169 | 0,253 | -0,271 | -0,188 | -0,251 | -0,168 | 0,487 | 0,553 | | |
| | 0,114 | 0,201 | -0,167 | -0,078 | 0,058 | 0,149 | 0,334 | 0,408 | | |
| | 0,154 | 0,238 | -0,011 | 0,085 | -0,056 | 0,095 | -0,071 | 0,026 | | |
| 1 CM | 0,278 | 0,354 | -0,098 | -0,003 | -0,055 | 0,044 | -0,205 | -0,118 | | |
| | 0,033 | 0,126 | -0,116 | -0,023 | -0,112 | -0,018 | 0,499 | 0,564 | | |
| | -0,100 | -0,005 | 0,054 | 0,146 | 0,080 | 0,170 | 0,195 | 0,277 | | |
| D3 | -0,293 | -0,212 | -0,266 | -0,183 | -0,079 | 0,018 | -0,169 | -0,079 | | |
| | -0,237 | -0,152 | -0,066 | 0,032 | -0,105 | -0,010 | -0,022 | 0,075 | | |
| | -0,303 | -0,223 | 0,035 | 0,127 | -0,031 | 0,066 | 0,192 | 0,274 | | |
| D3-5 | 0,068 | 0,159 | -0,055 | 0,044 | -0,004 | 0,092 | 0,735 | 0,789 | | |
| | -0,237 | -0,153 | 0,030 | 0,123 | -0,072 | 0,025 | 0,082 | 0,172 | | |
| | -0,298 | -0,218 | 0,173 | 0,256 | 0,032 | 0,125 | -0,138 | -0,046 | | |
| D3 | 0,145 | 0,230 | 0,080 | 0,170 | 0,018 | 0,111 | -0,119 | -0,026 | | |

| | | | | | | | | | |
|--|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 CM | -0,008 | 0,087 | 0,061 | 0,152 | -0,014 | 0,082 | 0,542 | 0,604 |
| | | 0,081 | 0,171 | -0,157 | -0,066 | -0,068 | 0,030 | -0,234 | -0,149 |
| | | 0,044 | 0,136 | 0,050 | 0,142 | 0,148 | 0,233 | 0,345 | 0,418 |
| | | 0,239 | 0,318 | -0,253 | -0,169 | -0,142 | -0,050 | 0,282 | 0,359 |
| | 10 CM | 0,201 | 0,283 | -0,031 | 0,067 | -0,153 | -0,063 | -0,192 | -0,104 |
| | | 0,357 | 0,429 | -0,163 | -0,073 | 0,226 | 0,306 | 0,352 | 0,425 |
| | | 0,349 | 0,422 | -0,218 | -0,132 | 0,126 | 0,212 | -0,087 | 0,009 |
| | | 0,357 | 0,430 | 0,567 | 0,629 | 0,433 | 0,501 | -0,054 | 0,045 |
| | 5 CM | 0,584 | 0,645 | 0,480 | 0,545 | 0,304 | 0,379 | 0,815 | 0,866 |
| | | -0,297 | -0,216 | 0,126 | 0,212 | -0,004 | 0,091 | 0,421 | 0,490 |
| | | 0,005 | 0,100 | 0,134 | 0,220 | -0,112 | -0,018 | 0,177 | 0,260 |
| | | -0,074 | 0,023 | 0,107 | 0,195 | -0,102 | -0,007 | -0,312 | -0,232 |
| | 4 CM | -0,040 | 0,058 | 0,114 | 0,202 | -0,098 | -0,003 | -0,164 | -0,075 |
| | | 0,278 | 0,355 | -0,177 | -0,088 | -0,104 | -0,009 | 0,627 | 0,686 |
| | | 0,211 | 0,292 | -0,146 | -0,055 | 0,141 | 0,227 | 0,520 | 0,584 |
| | | 0,231 | 0,311 | 0,030 | 0,123 | -0,025 | 0,072 | -0,032 | 0,065 |
| | 3 CM | 0,419 | 0,488 | -0,029 | 0,068 | 0,187 | 0,270 | -0,013 | 0,083 |
| | | 0,135 | 0,221 | -0,155 | -0,065 | -0,149 | -0,058 | 0,547 | 0,609 |
| | | -0,028 | 0,069 | 0,108 | 0,196 | 0,068 | 0,159 | 0,267 | 0,345 |
| | | -0,235 | -0,150 | -0,301 | -0,221 | -0,048 | 0,051 | -0,107 | -0,013 |
| | 2 CM | -0,193 | -0,105 | -0,076 | 0,020 | -0,060 | 0,038 | 0,014 | 0,108 |
| | | -0,252 | -0,168 | 0,034 | 0,127 | -0,026 | 0,071 | 0,263 | 0,340 |
| | | 0,112 | 0,200 | 0,030 | 0,123 | 0,076 | 0,165 | 0,823 | 0,873 |
| | | -0,189 | -0,101 | 0,063 | 0,154 | -0,209 | -0,122 | -0,023 | 0,074 |
| | 1 CM | -0,302 | -0,222 | 0,151 | 0,236 | 0,005 | 0,100 | -0,201 | -0,113 |
| | | 0,230 | 0,310 | 0,057 | 0,149 | 0,019 | 0,113 | 0,168 | 0,252 |
| | | 0,076 | 0,166 | 0,086 | 0,176 | 0,019 | 0,113 | 0,631 | 0,689 |
| | | 0,133 | 0,219 | -0,087 | 0,009 | 0,163 | 0,247 | 0,177 | 0,261 |
| | 1 CM | 0,079 | 0,168 | 0,006 | 0,101 | 0,232 | 0,312 | 0,524 | 0,588 |
| | | 0,216 | 0,297 | -0,106 | -0,012 | -0,127 | -0,034 | 0,145 | 0,230 |
| | | 0,252 | 0,330 | -0,049 | 0,049 | -0,041 | 0,057 | 0,158 | 0,242 |
| | | 0,322 | 0,397 | -0,010 | 0,086 | 0,303 | 0,378 | 0,590 | 0,650 |
| | 1 CM | 0,379 | 0,450 | -0,128 | -0,035 | 0,341 | 0,414 | 0,293 | 0,369 |

I4 – Valor do Limites Inferior e Superior (LI e LS) do IC dos dias de referencia (I4-I e I4-3) e para cada uma das inclinações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise Wavelet e Média Móvel.

| | | Sat 10 | | Sat 16 | | Sat 21 | | Sat 26 | | Sat 29 | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS |
| RESÍDUOS BRUTOS | I4-I | 0,214 | 0,295 | 0,564 | 0,625 | 0,065 | 0,156 | 0,358 | 0,430 | 0,126 | 0,213 |
| | I4-3 | 0,288 | 0,364 | 0,344 | 0,417 | 0,044 | 0,136 | 0,041 | 0,133 | 0,209 | 0,290 |
| | 5° | -0,052 | 0,047 | 0,058 | 0,149 | -0,147 | -0,055 | 0,076 | 0,166 | -0,121 | -0,028 |
| | | 0,003 | 0,098 | 0,137 | 0,223 | -0,094 | 0,001 | 0,092 | 0,180 | -0,102 | -0,008 |
| | | 0,029 | 0,122 | 0,080 | 0,170 | -0,007 | 0,088 | 0,092 | 0,181 | -0,076 | 0,020 |
| | | -0,062 | 0,035 | 0,147 | 0,232 | -0,091 | 0,005 | 0,050 | 0,141 | -0,162 | -0,072 |
| | 4° | -0,119 | -0,025 | 0,145 | 0,231 | -0,009 | 0,087 | -0,018 | 0,078 | -0,019 | 0,078 |
| | | -0,101 | -0,007 | 0,076 | 0,165 | -0,061 | 0,037 | 0,030 | 0,123 | -0,024 | 0,072 |
| | | -0,115 | -0,022 | 0,165 | 0,249 | -0,090 | 0,005 | 0,062 | 0,153 | -0,058 | 0,040 |
| | | -0,034 | 0,064 | 0,120 | 0,207 | -0,060 | 0,038 | -0,006 | 0,090 | -0,060 | 0,038 |
| | 3° | -0,072 | 0,025 | 0,150 | 0,235 | -0,103 | -0,008 | -0,112 | -0,018 | -0,050 | 0,048 |
| | | -0,041 | 0,057 | 0,139 | 0,225 | 0,002 | 0,097 | -0,022 | 0,075 | -0,056 | 0,042 |
| | | -0,113 | -0,020 | 0,149 | 0,234 | -0,018 | 0,078 | -0,036 | 0,062 | -0,047 | 0,052 |
| | | -0,055 | 0,044 | 0,178 | 0,261 | -0,007 | 0,088 | 0,034 | 0,127 | -0,030 | 0,067 |
| | 2° | -0,043 | 0,056 | -0,118 | -0,025 | -0,064 | 0,034 | -0,123 | -0,030 | -0,103 | -0,008 |
| -0,049 | | 0,050 | -0,103 | -0,009 | -0,039 | 0,060 | -0,186 | -0,097 | -0,144 | -0,053 | |
| 0,123 | | 0,210 | -0,068 | 0,029 | -0,005 | 0,090 | -0,092 | 0,004 | -0,081 | 0,015 | |
| -0,056 | | 0,043 | -0,057 | 0,041 | -0,110 | -0,015 | -0,036 | 0,062 | -0,143 | -0,051 | |
| 1° | 0,022 | 0,116 | -0,055 | 0,043 | -0,023 | 0,074 | -0,135 | -0,043 | 0,117 | 0,204 | |
| | 0,078 | 0,168 | -0,021 | 0,076 | -0,066 | 0,032 | -0,004 | 0,092 | 0,045 | 0,137 | |
| | -0,059 | 0,039 | -0,066 | 0,031 | 0,008 | 0,103 | -0,026 | 0,071 | 0,093 | 0,182 | |
| | 0,077 | 0,167 | -0,062 | 0,036 | 0,177 | 0,261 | -0,071 | 0,026 | 0,085 | 0,175 | |
| ANÁLISE WAVELET (Sm8) | I4-I | 0,856 | 0,906 | 0,714 | 0,769 | 0,416 | 0,485 | 0,645 | 0,703 | 0,608 | 0,668 |
| | I4-3 | 0,763 | 0,816 | 0,757 | 0,810 | 0,402 | 0,472 | 0,502 | 0,567 | 0,668 | 0,725 |
| | 5° | 0,247 | 0,326 | 0,249 | 0,327 | -0,164 | -0,074 | 0,245 | 0,324 | -0,154 | -0,063 |
| | | 0,420 | 0,489 | 0,066 | 0,156 | -0,099 | -0,005 | 0,294 | 0,370 | -0,211 | -0,124 |
| | | 0,282 | 0,359 | 0,272 | 0,350 | 0,263 | 0,341 | 0,136 | 0,222 | 0,049 | 0,141 |
| | | 0,428 | 0,496 | 0,124 | 0,211 | -0,013 | 0,084 | 0,112 | 0,199 | -0,260 | -0,177 |
| | 4° | 0,388 | 0,459 | -0,133 | -0,041 | -0,171 | -0,082 | 0,025 | 0,118 | -0,138 | -0,046 |
| | | 0,261 | 0,339 | -0,054 | 0,044 | -0,079 | 0,018 | 0,241 | 0,321 | -0,026 | 0,071 |
| | | 0,391 | 0,462 | -0,182 | -0,093 | -0,127 | -0,034 | -0,010 | 0,086 | -0,193 | -0,105 |
| | | 0,322 | 0,397 | -0,178 | -0,090 | 0,044 | 0,136 | 0,127 | 0,214 | -0,157 | -0,067 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 3° | 0,338 | 0,411 | -0,203 | -0,116 | -0,127 | -0,035 | -0,022 | 0,075 | -0,073 | 0,023 | |
| | | 0,376 | 0,447 | -0,065 | 0,032 | -0,031 | 0,066 | -0,045 | 0,053 | -0,126 | -0,034 | |
| | | 0,342 | 0,415 | -0,127 | -0,035 | 0,025 | 0,118 | 0,053 | 0,145 | -0,068 | 0,029 | |
| | | | 0,328 | 0,402 | -0,031 | 0,066 | 0,047 | 0,139 | -0,019 | 0,077 | -0,075 | 0,022 |
| | 2° | -0,242 | -0,158 | -0,016 | 0,080 | 0,012 | 0,106 | -0,193 | -0,105 | -0,212 | -0,125 | |
| | | -0,083 | 0,014 | -0,096 | -0,001 | 0,124 | 0,210 | -0,226 | -0,141 | -0,364 | -0,288 | |
| | | -0,132 | -0,039 | 0,219 | 0,299 | 0,074 | 0,164 | -0,149 | -0,058 | -0,174 | -0,085 | |
| | | | -0,001 | 0,094 | -0,104 | -0,010 | -0,012 | 0,084 | -0,029 | 0,069 | -0,324 | -0,245 |
| | 1° | -0,120 | -0,026 | 0,096 | 0,184 | -0,058 | 0,040 | -0,189 | -0,101 | 0,351 | 0,424 | |
| | | 0,014 | 0,108 | 0,204 | 0,285 | -0,067 | 0,031 | -0,137 | -0,045 | 0,222 | 0,302 | |
| | | -0,153 | -0,062 | -0,028 | 0,069 | 0,174 | 0,258 | -0,050 | 0,049 | 0,285 | 0,361 | |
| | | | -0,063 | 0,035 | 0,156 | 0,241 | 0,312 | 0,387 | -0,009 | 0,086 | 0,269 | 0,346 |
| MÉDIA MÓVEL (60 seg) | 14-I | 0,655 | 0,713 | 0,877 | 0,925 | 0,375 | 0,447 | 0,743 | 0,797 | 0,670 | 0,727 | |
| | 14-3 | 0,780 | 0,832 | 0,809 | 0,860 | 0,395 | 0,465 | 0,534 | 0,597 | 0,742 | 0,796 | |
| | 5° | 0,299 | 0,374 | 0,317 | 0,392 | -0,149 | -0,058 | 0,356 | 0,428 | 0,087 | 0,176 | |
| | | 0,182 | 0,265 | 0,529 | 0,592 | -0,003 | 0,092 | 0,340 | 0,413 | -0,009 | 0,086 | |
| | | 0,234 | 0,314 | 0,322 | 0,397 | 0,343 | 0,416 | 0,241 | 0,320 | 0,195 | 0,277 | |
| | | | 0,240 | 0,319 | 0,522 | 0,585 | 0,137 | 0,223 | 0,227 | 0,307 | -0,044 | 0,054 |
| | 4° | -0,029 | 0,069 | 0,535 | 0,598 | -0,082 | 0,015 | 0,063 | 0,154 | -0,091 | 0,005 | |
| | | -0,022 | 0,075 | 0,387 | 0,458 | -0,036 | 0,062 | 0,235 | 0,315 | -0,155 | -0,064 | |
| | | 0,035 | 0,128 | 0,515 | 0,579 | -0,067 | 0,030 | -0,001 | 0,094 | -0,086 | 0,010 | |
| | | | -0,036 | 0,062 | 0,431 | 0,499 | 0,056 | 0,147 | 0,128 | 0,215 | -0,167 | -0,077 |
| | 3° | -0,143 | -0,051 | 0,455 | 0,522 | -0,265 | -0,182 | 0,012 | 0,106 | -0,120 | -0,027 | |
| | | -0,043 | 0,056 | 0,505 | 0,569 | 0,042 | 0,134 | -0,057 | 0,041 | -0,123 | -0,030 | |
| 0,088 | | 0,177 | 0,467 | 0,534 | 0,060 | 0,151 | 0,049 | 0,140 | -0,131 | -0,039 | | |
| | | 0,093 | 0,181 | 0,491 | 0,556 | -0,054 | 0,044 | -0,053 | 0,046 | -0,130 | -0,038 | |
| 2° | 0,059 | 0,150 | -0,213 | -0,126 | -0,020 | 0,076 | -0,324 | -0,245 | -0,349 | -0,271 | | |
| | 0,063 | 0,153 | -0,053 | 0,046 | 0,104 | 0,192 | -0,293 | -0,212 | -0,413 | -0,340 | | |
| | 0,371 | 0,443 | -0,118 | -0,024 | 0,093 | 0,182 | -0,248 | -0,164 | -0,326 | -0,248 | | |
| | | 0,100 | 0,188 | 0,024 | 0,118 | -0,062 | 0,036 | -0,165 | -0,076 | -0,452 | -0,380 | |
| 1° | 0,267 | 0,345 | 0,007 | 0,101 | -0,110 | -0,016 | -0,243 | -0,158 | 0,251 | 0,329 | | |
| | 0,209 | 0,290 | 0,062 | 0,153 | -0,050 | 0,048 | -0,261 | -0,178 | 0,146 | 0,231 | | |
| | 0,202 | 0,284 | -0,030 | 0,068 | 0,099 | 0,188 | -0,192 | -0,104 | 0,321 | 0,396 | | |
| | | 0,176 | 0,260 | -0,019 | 0,078 | 0,363 | 0,435 | -0,096 | -0,001 | 0,201 | 0,282 | |

R1 – Valor do Limites Inferior e Superior (LI e LS) do IC dos dias de referencia (R1-I e R1-5) e para cada uma das rotações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise Wavelet e Média Móvel.

| | | Sat 10 | | Sat 16 | | Sat 21 | | Sat 26 | | Sat 29 | | |
|-----------------------|--------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS | |
| | | RESÍDUOS BRUTOS | R1-I | 0,129 | 0,215 | 0,231 | 0,311 | 0,518 | 0,582 | 0,047 | 0,139 | 0,302 |
| R1-5 | 0,191 | | 0,273 | 0,353 | 0,426 | 0,465 | 0,531 | 0,178 | 0,261 | 0,284 | 0,360 | |
| 5° | -0,160 | | -0,070 | 0,010 | 0,105 | 0,101 | 0,189 | -0,220 | -0,134 | -0,122 | -0,029 | |
| | -0,121 | | -0,027 | -0,078 | 0,018 | 0,077 | 0,167 | -0,153 | -0,062 | -0,182 | -0,093 | |
| | -0,149 | | -0,058 | -0,040 | 0,058 | 0,217 | 0,298 | -0,116 | -0,022 | -0,063 | 0,035 | |
| | -0,136 | | -0,044 | -0,072 | 0,026 | 0,021 | 0,115 | -0,148 | -0,057 | -0,169 | -0,079 | |
| 4° | -0,037 | | 0,061 | -0,007 | 0,089 | 0,142 | 0,228 | 0,028 | 0,121 | -0,042 | 0,056 | |
| | -0,083 | | 0,013 | -0,095 | 0,000 | -0,070 | 0,028 | 0,103 | 0,191 | -0,008 | 0,088 | |
| | 0,006 | | 0,101 | -0,064 | 0,033 | 0,152 | 0,236 | -0,073 | 0,024 | -0,064 | 0,034 | |
| | | | -0,066 | 0,031 | -0,131 | -0,038 | -0,048 | 0,050 | -0,018 | 0,079 | -0,057 | 0,041 |
| 3° | -0,006 | | 0,090 | -0,037 | 0,061 | -0,065 | 0,033 | 0,081 | 0,170 | -0,122 | -0,029 | |
| | -0,153 | | -0,062 | -0,028 | 0,069 | -0,050 | 0,049 | -0,164 | -0,074 | 0,014 | 0,108 | |
| | -0,101 | -0,006 | -0,032 | 0,066 | -0,046 | 0,052 | 0,111 | 0,199 | -0,057 | 0,042 | | |
| | | -0,086 | 0,010 | -0,061 | 0,037 | -0,046 | 0,053 | -0,046 | 0,053 | 0,073 | 0,163 | |
| 2° | -0,063 | 0,035 | 0,007 | 0,102 | 0,351 | 0,424 | -0,065 | 0,033 | -0,035 | 0,063 | | |
| | -0,056 | 0,042 | 0,081 | 0,171 | 0,322 | 0,397 | 0,002 | 0,097 | -0,087 | 0,009 | | |
| | 0,012 | 0,107 | 0,175 | 0,259 | 0,371 | 0,443 | -0,101 | -0,007 | -0,004 | 0,092 | | |
| | | -0,049 | 0,050 | 0,111 | 0,199 | 0,395 | 0,466 | -0,056 | 0,042 | -0,068 | 0,029 | |
| 1° | -0,050 | 0,049 | 0,221 | 0,301 | 0,443 | 0,511 | 0,002 | 0,097 | 0,029 | 0,122 | | |
| | -0,085 | 0,011 | 0,121 | 0,207 | 0,390 | 0,460 | -0,110 | -0,016 | -0,042 | 0,056 | | |
| | 0,025 | 0,119 | 0,320 | 0,395 | 0,505 | 0,569 | 0,040 | 0,133 | 0,124 | 0,210 | | |
| | | -0,067 | 0,030 | 0,279 | 0,356 | 0,491 | 0,556 | -0,133 | -0,041 | 0,039 | 0,132 | |
| ANÁLISE WAVELET (Sm8) | R1-I | 0,504 | 0,568 | 0,409 | 0,478 | 0,754 | 0,807 | 0,391 | 0,461 | 0,610 | 0,670 | |
| | R1-5 | 0,458 | 0,525 | 0,560 | 0,622 | 0,654 | 0,712 | 0,483 | 0,549 | 0,698 | 0,754 | |
| | 5° | -0,384 | -0,309 | -0,025 | 0,072 | 0,207 | 0,289 | -0,237 | -0,152 | -0,231 | -0,146 | |
| | | -0,200 | -0,112 | -0,089 | 0,007 | 0,151 | 0,236 | -0,119 | -0,025 | -0,290 | -0,209 | |
| | | -0,209 | -0,122 | -0,043 | 0,056 | 0,303 | 0,378 | -0,075 | 0,022 | -0,047 | 0,051 | |
| | | | -0,190 | -0,101 | -0,121 | -0,028 | 0,112 | 0,200 | -0,043 | 0,056 | -0,173 | -0,084 |
| | 4° | -0,036 | 0,062 | 0,094 | 0,182 | 0,232 | 0,311 | 0,171 | 0,255 | 0,054 | 0,146 | |
| | | -0,188 | -0,099 | -0,181 | -0,092 | -0,050 | 0,048 | 0,155 | 0,240 | 0,065 | 0,156 | |
| -0,040 | | 0,059 | -0,084 | 0,012 | 0,242 | 0,321 | 0,091 | 0,180 | 0,000 | 0,095 | | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 3° | -0,084 | 0,012 | -0,201 | -0,114 | -0,022 | 0,075 | 0,205 | 0,286 | -0,007 | 0,089 |
| | | -0,032 | 0,066 | -0,014 | 0,082 | -0,048 | 0,051 | 0,284 | 0,361 | -0,174 | -0,085 |
| | | -0,212 | -0,126 | -0,054 | 0,044 | -0,052 | 0,047 | -0,158 | -0,068 | 0,160 | 0,244 |
| | | -0,226 | -0,141 | -0,133 | -0,041 | -0,027 | 0,070 | 0,262 | 0,340 | -0,175 | -0,086 |
| | -0,210 | -0,124 | -0,207 | -0,120 | -0,031 | 0,067 | -0,010 | 0,086 | 0,165 | 0,249 | |
| | 2° | -0,117 | -0,024 | 0,210 | 0,291 | 0,492 | 0,558 | -0,104 | -0,009 | 0,060 | 0,151 |
| | | 0,074 | 0,164 | 0,302 | 0,377 | 0,496 | 0,562 | 0,211 | 0,292 | -0,053 | 0,046 |
| | | 0,101 | 0,190 | 0,439 | 0,507 | 0,473 | 0,539 | -0,121 | -0,027 | 0,182 | 0,265 |
| | -0,016 | 0,080 | 0,388 | 0,459 | 0,580 | 0,641 | -0,012 | 0,084 | -0,041 | 0,057 | |
| | 1° | 0,101 | 0,189 | 0,496 | 0,561 | 0,551 | 0,614 | 0,211 | 0,292 | 0,240 | 0,320 |
| | | -0,038 | 0,060 | 0,424 | 0,493 | 0,502 | 0,567 | -0,181 | -0,092 | 0,025 | 0,118 |
| | | 0,284 | 0,361 | 0,573 | 0,634 | 0,705 | 0,760 | 0,388 | 0,459 | 0,437 | 0,505 |
| -0,040 | | 0,058 | 0,616 | 0,676 | 0,598 | 0,658 | -0,122 | -0,028 | 0,209 | 0,290 | |
| MÉDIA MÓVEL (60 seg) | R1-I | 0,489 | 0,555 | 0,377 | 0,448 | 0,829 | 0,880 | 0,385 | 0,456 | 0,576 | 0,637 |
| | R1-5 | 0,456 | 0,523 | 0,605 | 0,665 | 0,742 | 0,796 | 0,533 | 0,597 | 0,755 | 0,808 |
| | 5° | -0,422 | -0,350 | -0,026 | 0,071 | 0,281 | 0,358 | -0,294 | -0,214 | -0,268 | -0,186 |
| | | -0,155 | -0,065 | -0,090 | 0,006 | 0,187 | 0,270 | -0,148 | -0,057 | -0,327 | -0,248 |
| | | -0,287 | -0,206 | -0,026 | 0,071 | 0,332 | 0,406 | -0,207 | -0,120 | -0,042 | 0,056 |
| | | -0,156 | -0,066 | -0,170 | -0,080 | 0,117 | 0,204 | -0,003 | 0,092 | -0,067 | 0,031 |
| | 4° | 0,011 | 0,105 | 0,087 | 0,176 | 0,219 | 0,299 | 0,156 | 0,240 | 0,045 | 0,137 |
| | | -0,239 | -0,154 | -0,178 | -0,089 | -0,067 | 0,031 | 0,103 | 0,191 | 0,077 | 0,166 |
| | | 0,006 | 0,101 | -0,097 | -0,002 | 0,244 | 0,323 | 0,096 | 0,184 | 0,166 | 0,250 |
| | -0,027 | 0,070 | -0,210 | -0,123 | -0,029 | 0,068 | 0,275 | 0,352 | 0,234 | 0,313 | |
| | 3° | 0,037 | 0,129 | 0,034 | 0,127 | -0,042 | 0,057 | 0,329 | 0,403 | -0,201 | -0,114 |
| | | -0,336 | -0,258 | -0,018 | 0,078 | -0,068 | 0,029 | -0,199 | -0,111 | 0,222 | 0,302 |
| | | -0,244 | -0,160 | -0,176 | -0,086 | -0,072 | 0,025 | 0,243 | 0,322 | -0,182 | -0,094 |
| | | -0,208 | -0,121 | -0,171 | -0,081 | -0,066 | 0,032 | 0,081 | 0,171 | 0,198 | 0,280 |
| | 2° | -0,019 | 0,077 | 0,382 | 0,453 | 0,549 | 0,611 | -0,064 | 0,033 | 0,152 | 0,236 |
| | | 0,113 | 0,200 | 0,478 | 0,544 | 0,592 | 0,653 | 0,181 | 0,264 | 0,039 | 0,131 |
| | | 0,294 | 0,370 | 0,647 | 0,705 | 0,572 | 0,633 | 0,127 | 0,214 | 0,257 | 0,335 |
| | | 0,022 | 0,116 | 0,538 | 0,601 | 0,651 | 0,709 | 0,088 | 0,177 | 0,051 | 0,143 |
| | 1° | 0,244 | 0,323 | 0,604 | 0,664 | 0,623 | 0,682 | 0,373 | 0,445 | 0,337 | 0,410 |
| | | 0,158 | 0,242 | 0,480 | 0,546 | 0,564 | 0,626 | -0,049 | 0,050 | 0,130 | 0,216 |
| 0,421 | | 0,490 | 0,688 | 0,744 | 0,787 | 0,839 | 0,499 | 0,563 | 0,526 | 0,589 | |
| 0,123 | 0,210 | 0,684 | 0,740 | 0,690 | 0,746 | 0,016 | 0,110 | 0,332 | 0,405 | | |

R3 – Valor do Limites Inferior e Superior (LI e LS) do IC dos dias de referencia (R3-I e R3-5) e para cada uma das rotações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel.

| | | Sat 16 | | Sat 21 | | Sat 26 | | Sat 29 | |
|-----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS |
| RESÍDUOS BRUTOS | R3-I | 0,163 | 0,247 | 0,100 | 0,189 | -0,047 | 0,052 | -0,034 | 0,064 |
| | R3-5 | 0,361 | 0,433 | 0,151 | 0,236 | -0,087 | 0,009 | 0,183 | 0,266 |
| | 5° | -0,034 | 0,064 | -0,067 | 0,030 | 0,001 | 0,096 | 0,078 | 0,168 |
| | | -0,052 | 0,047 | -0,027 | 0,070 | 0,002 | 0,097 | 0,090 | 0,179 |
| | | -0,059 | 0,039 | -0,024 | 0,073 | -0,057 | 0,041 | -0,052 | 0,047 |
| | | -0,066 | 0,031 | -0,033 | 0,065 | 0,017 | 0,111 | -0,045 | 0,053 |
| | 4° | -0,031 | 0,067 | -0,071 | 0,026 | -0,063 | 0,034 | 0,056 | 0,147 |
| | | 0,062 | 0,153 | -0,112 | -0,019 | -0,046 | 0,052 | 0,274 | 0,351 |
| | | 0,008 | 0,103 | 0,012 | 0,107 | -0,059 | 0,039 | -0,083 | 0,013 |
| | | -0,034 | 0,064 | -0,051 | 0,048 | -0,093 | 0,003 | -0,084 | 0,012 |
| | 3° | 0,022 | 0,116 | -0,146 | -0,055 | -0,076 | 0,021 | 0,004 | 0,099 |
| | | 0,035 | 0,127 | -0,178 | -0,089 | -0,030 | 0,067 | 0,041 | 0,133 |
| | | 0,028 | 0,121 | -0,056 | 0,043 | -0,069 | 0,028 | -0,021 | 0,076 |
| | | 0,026 | 0,119 | -0,183 | -0,095 | -0,019 | 0,077 | 0,063 | 0,154 |
| | 2° | 0,046 | 0,138 | 0,011 | 0,106 | -0,055 | 0,043 | 0,029 | 0,122 |
| | | 0,080 | 0,169 | -0,050 | 0,049 | -0,057 | 0,041 | -0,091 | 0,005 |
| 0,083 | | 0,172 | 0,016 | 0,110 | -0,036 | 0,061 | -0,034 | 0,064 | |
| 0,060 | | 0,151 | 0,028 | 0,121 | 0,004 | 0,099 | -0,062 | 0,036 | |
| 1° | 0,193 | 0,275 | 0,047 | 0,139 | -0,041 | 0,057 | 0,090 | 0,179 | |
| | 0,173 | 0,256 | 0,028 | 0,122 | -0,048 | 0,051 | 0,091 | 0,180 | |
| | 0,308 | 0,383 | 0,070 | 0,160 | -0,007 | 0,088 | 0,205 | 0,286 | |
| | 0,257 | 0,335 | 0,106 | 0,194 | -0,045 | 0,054 | 0,169 | 0,253 | |
| ANÁLISE WAVELET (Sm8) | R3-I | 0,455 | 0,522 | 0,522 | 0,586 | 0,396 | 0,467 | 0,010 | 0,105 |
| | R3-5 | 0,622 | 0,681 | 0,542 | 0,604 | 0,245 | 0,324 | 0,704 | 0,759 |
| | 5° | 0,059 | 0,150 | 0,033 | 0,126 | 0,032 | 0,125 | 0,244 | 0,323 |
| | | -0,126 | -0,033 | -0,030 | 0,068 | -0,021 | 0,075 | 0,171 | 0,254 |
| | | 0,058 | 0,149 | 0,002 | 0,097 | 0,004 | 0,098 | -0,081 | 0,015 |
| | | -0,086 | 0,009 | 0,057 | 0,148 | 0,139 | 0,225 | -0,095 | 0,000 |
| | 4° | 0,083 | 0,173 | -0,129 | -0,036 | -0,016 | 0,080 | 0,248 | 0,327 |
| | | 0,269 | 0,347 | -0,201 | -0,114 | -0,185 | -0,096 | 0,608 | 0,668 |

| | | | | | | | | | |
|----------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 3° | 0,101 | 0,189 | 0,007 | 0,102 | -0,035 | 0,063 | -0,081 | 0,016 |
| | | 0,017 | 0,111 | -0,026 | 0,071 | -0,110 | -0,016 | -0,081 | 0,015 |
| | | 0,136 | 0,221 | -0,234 | -0,149 | -0,234 | -0,149 | -0,034 | 0,064 |
| | | 0,077 | 0,167 | -0,288 | -0,207 | -0,062 | 0,036 | 0,032 | 0,125 |
| | 2° | 0,104 | 0,192 | -0,202 | -0,115 | -0,208 | -0,121 | 0,183 | 0,266 |
| | | 0,173 | 0,257 | -0,445 | -0,373 | 0,047 | 0,139 | 0,183 | 0,266 |
| | | 0,328 | 0,402 | 0,031 | 0,124 | -0,109 | -0,015 | 0,030 | 0,123 |
| | | 0,238 | 0,317 | -0,064 | 0,034 | -0,195 | -0,107 | -0,081 | 0,015 |
| | 1° | 0,385 | 0,455 | 0,024 | 0,117 | 0,039 | 0,132 | 0,119 | 0,206 |
| | | 0,266 | 0,344 | -0,003 | 0,093 | 0,020 | 0,114 | -0,111 | -0,017 |
| | | 0,489 | 0,554 | 0,105 | 0,193 | 0,091 | 0,180 | 0,443 | 0,510 |
| | | 0,507 | 0,571 | 0,025 | 0,119 | -0,097 | -0,002 | 0,374 | 0,445 |
| MÉDIA MÓVEL (60 seg) | R3-I | 0,601 | 0,661 | 0,396 | 0,466 | 0,344 | 0,417 | 0,661 | 0,718 |
| | R3-5 | 0,504 | 0,569 | 0,287 | 0,363 | 0,222 | 0,303 | 0,445 | 0,512 |
| | R3-I | 0,357 | 0,430 | 0,567 | 0,629 | 0,433 | 0,501 | -0,054 | 0,045 |
| | R3-5 | 0,611 | 0,670 | 0,656 | 0,714 | 0,215 | 0,296 | 0,768 | 0,821 |
| | 5° | 0,182 | 0,265 | 0,043 | 0,135 | 0,009 | 0,103 | 0,364 | 0,436 |
| | | -0,163 | -0,073 | -0,054 | 0,044 | 0,038 | 0,131 | 0,262 | 0,340 |
| | | 0,028 | 0,121 | 0,069 | 0,159 | -0,119 | -0,026 | -0,051 | 0,047 |
| | | -0,114 | -0,020 | 0,129 | 0,215 | 0,104 | 0,192 | 0,006 | 0,101 |
| | 4° | 0,063 | 0,153 | -0,227 | -0,142 | -0,096 | 0,000 | 0,362 | 0,434 |
| | | 0,305 | 0,380 | -0,216 | -0,130 | -0,153 | -0,062 | 0,717 | 0,772 |
| | | 0,057 | 0,148 | -0,022 | 0,075 | -0,112 | -0,018 | -0,049 | 0,050 |
| | | -0,109 | -0,015 | -0,074 | 0,023 | -0,086 | 0,010 | -0,146 | -0,055 |
| | 3° | 0,190 | 0,273 | -0,314 | -0,234 | -0,264 | -0,181 | 0,028 | 0,121 |
| | | 0,048 | 0,139 | -0,339 | -0,261 | -0,051 | 0,048 | 0,053 | 0,144 |
| | | 0,054 | 0,145 | -0,245 | -0,161 | -0,084 | 0,012 | 0,222 | 0,302 |
| | | 0,189 | 0,272 | -0,408 | -0,334 | 0,121 | 0,207 | 0,223 | 0,303 |
| | 2° | 0,423 | 0,491 | 0,208 | 0,289 | -0,118 | -0,024 | 0,168 | 0,252 |
| | | 0,360 | 0,432 | 0,027 | 0,120 | -0,262 | -0,179 | 0,109 | 0,197 |
| | | 0,485 | 0,551 | 0,351 | 0,424 | 0,162 | 0,246 | 0,282 | 0,358 |
| | | 0,396 | 0,466 | 0,171 | 0,255 | 0,076 | 0,166 | 0,150 | 0,235 |
| | 1° | 0,562 | 0,624 | 0,404 | 0,474 | 0,144 | 0,229 | 0,588 | 0,649 |
| | | 0,608 | 0,667 | 0,219 | 0,299 | -0,066 | 0,032 | 0,536 | 0,599 |
| | | 0,667 | 0,724 | 0,614 | 0,674 | 0,382 | 0,453 | 0,728 | 0,782 |
| | | 0,560 | 0,622 | 0,503 | 0,567 | 0,277 | 0,354 | 0,563 | 0,625 |

R4 – Valor do Limites Inferior e Superior (LI e LS) do IC dos dias de referencia (R4-I e R4-5) e para cada uma das rotações analisados (5°, 4°, 3°, 2° e 1°) em cada satélite analisado para cada método Resíduos Brutos, Análise *Wavelet* e Média Móvel.

| | | Sat 10 | | Sat 16 | | Sat 21 | | Sat 29 | | |
|-----------------|-----------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS | |
| RESÍDUOS BRUTOS | R4-I | 0,214 | 0,295 | 0,564 | 0,625 | 0,065 | 0,156 | 0,126 | 0,213 | |
| | R4-5 | 0,253 | 0,331 | 0,495 | 0,560 | 0,109 | 0,196 | 0,217 | 0,298 | |
| | 5° | -0,154 | -0,064 | -0,056 | 0,042 | 0,018 | 0,112 | -0,114 | -0,021 | |
| | | -0,150 | -0,059 | -0,051 | 0,047 | 0,023 | 0,116 | -0,041 | 0,057 | |
| | | -0,240 | -0,156 | 0,004 | 0,099 | -0,071 | 0,026 | -0,077 | 0,020 | |
| | | -0,197 | -0,110 | 0,007 | 0,102 | 0,030 | 0,123 | -0,104 | -0,009 | |
| | 4° | -0,059 | 0,039 | -0,057 | 0,041 | -0,042 | 0,056 | -0,028 | 0,069 | |
| | | -0,002 | 0,093 | -0,008 | 0,088 | -0,067 | 0,030 | -0,039 | 0,059 | |
| | | -0,101 | -0,006 | -0,009 | 0,087 | -0,148 | -0,057 | -0,087 | 0,009 | |
| | | -0,076 | 0,021 | 0,013 | 0,107 | -0,052 | 0,046 | -0,067 | 0,031 | |
| | 3° | -0,056 | 0,042 | 0,051 | 0,143 | -0,064 | 0,033 | -0,029 | 0,069 | |
| | | -0,020 | 0,077 | 0,095 | 0,184 | -0,030 | 0,067 | -0,068 | 0,029 | |
| | | -0,022 | 0,075 | 0,045 | 0,137 | -0,052 | 0,047 | -0,003 | 0,092 | |
| | | -0,071 | 0,026 | 0,065 | 0,155 | -0,038 | 0,060 | 0,038 | 0,130 | |
| | 2° | -0,121 | -0,028 | 0,190 | 0,272 | -0,061 | 0,037 | -0,043 | 0,055 | |
| | | -0,182 | -0,093 | 0,091 | 0,180 | -0,069 | 0,029 | -0,015 | 0,082 | |
| | | -0,011 | 0,085 | 0,276 | 0,353 | -0,078 | 0,019 | -0,008 | 0,087 | |
| | | -0,147 | -0,055 | 0,097 | 0,185 | -0,080 | 0,016 | -0,056 | 0,042 | |
| | 1° | -0,013 | 0,083 | 0,335 | 0,409 | 0,040 | 0,132 | 0,008 | 0,103 | |
| | | -0,041 | 0,057 | 0,220 | 0,300 | -0,082 | 0,015 | -0,043 | 0,055 | |
| | | 0,190 | 0,272 | 0,379 | 0,450 | 0,033 | 0,125 | 0,149 | 0,234 | |
| | | 0,088 | 0,177 | 0,332 | 0,406 | 0,034 | 0,126 | 0,099 | 0,187 | |
| | ANÁLISE WAVELET (Sm8) | R4-I | 0,714 | 0,769 | 0,856 | 0,906 | 0,416 | 0,485 | 0,608 | 0,668 |
| | | R4-5 | 0,697 | 0,752 | 0,683 | 0,739 | 0,637 | 0,695 | 0,675 | 0,732 |
| 5° | | -0,289 | -0,208 | 0,003 | 0,098 | 0,167 | 0,251 | -0,242 | -0,158 | |
| | | -0,287 | -0,206 | 0,013 | 0,107 | 0,159 | 0,243 | -0,169 | -0,079 | |
| | | -0,437 | -0,365 | 0,055 | 0,146 | -0,018 | 0,078 | -0,204 | -0,117 | |
| | | -0,411 | -0,338 | 0,096 | 0,184 | 0,093 | 0,182 | -0,245 | -0,161 | |
| 4° | | -0,259 | -0,176 | -0,075 | 0,022 | -0,096 | 0,000 | -0,030 | 0,068 | |

| | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 3° | -0,080 | 0,017 | -0,041 | 0,057 | -0,190 | -0,102 | 0,015 | 0,109 |
| | | -0,198 | -0,110 | -0,022 | 0,075 | -0,235 | -0,150 | -0,052 | 0,047 |
| | | -0,053 | 0,046 | 0,007 | 0,101 | -0,215 | -0,129 | 0,082 | 0,171 |
| | | -0,042 | 0,057 | 0,116 | 0,203 | -0,027 | 0,071 | 0,003 | 0,098 |
| | | -0,087 | 0,009 | 0,213 | 0,294 | 0,085 | 0,174 | -0,080 | 0,017 |
| | | -0,006 | 0,090 | 0,030 | 0,123 | -0,105 | -0,010 | 0,006 | 0,101 |
| | 2° | -0,016 | 0,080 | 0,124 | 0,210 | 0,032 | 0,124 | -0,075 | 0,022 |
| | | -0,157 | -0,067 | 0,534 | 0,597 | -0,152 | -0,061 | 0,072 | 0,162 |
| | | -0,335 | -0,257 | 0,326 | 0,400 | -0,108 | -0,013 | 0,131 | 0,217 |
| | 1° | 0,068 | 0,159 | 0,604 | 0,664 | -0,042 | 0,056 | 0,235 | 0,315 |
| | | -0,245 | -0,161 | 0,379 | 0,450 | -0,134 | -0,041 | 0,054 | 0,145 |
| | | 0,223 | 0,304 | 0,614 | 0,673 | 0,067 | 0,158 | 0,074 | 0,164 |
| 0,059 | | 0,150 | 0,541 | 0,604 | -0,065 | 0,033 | 0,039 | 0,131 | |
| MÉDIA MÓVÉL (60 sec) | R4-I | 0,548 | 0,611 | 0,622 | 0,681 | 0,312 | 0,387 | 0,375 | 0,446 |
| | R4-5 | 0,359 | 0,432 | 0,684 | 0,740 | 0,084 | 0,173 | 0,328 | 0,402 |
| | R4-I | 0,655 | 0,713 | 0,877 | 0,925 | 0,375 | 0,447 | 0,670 | 0,727 |
| | R4-5 | 0,698 | 0,754 | 0,712 | 0,767 | 0,658 | 0,716 | 0,754 | 0,808 |
| | 5° | -0,212 | -0,126 | 0,055 | 0,147 | 0,184 | 0,266 | -0,239 | -0,154 |
| | | -0,169 | -0,080 | 0,068 | 0,158 | 0,097 | 0,185 | -0,156 | -0,065 |
| | | -0,329 | -0,251 | 0,126 | 0,212 | -0,028 | 0,069 | -0,276 | -0,194 |
| | | -0,357 | -0,280 | 0,156 | 0,240 | 0,097 | 0,185 | -0,204 | -0,117 |
| | 4° | -0,156 | -0,066 | -0,058 | 0,040 | -0,059 | 0,040 | 0,020 | 0,114 |
| | | 0,027 | 0,120 | -0,069 | 0,028 | -0,073 | 0,024 | 0,055 | 0,147 |
| | | -0,235 | -0,150 | 0,016 | 0,110 | -0,197 | -0,109 | 0,053 | 0,145 |
| | | -0,162 | -0,072 | 0,000 | 0,095 | -0,214 | -0,127 | 0,116 | 0,203 |
| | 3° | -0,104 | -0,010 | 0,078 | 0,168 | 0,051 | 0,143 | 0,087 | 0,176 |
| | | -0,086 | 0,010 | 0,153 | 0,238 | 0,044 | 0,136 | -0,106 | -0,012 |
| | | -0,115 | -0,022 | 0,030 | 0,123 | -0,104 | -0,010 | 0,070 | 0,160 |
| | | -0,209 | -0,123 | 0,094 | 0,182 | 0,043 | 0,135 | -0,119 | -0,026 |
| | 2° | -0,015 | 0,082 | 0,617 | 0,676 | -0,105 | -0,010 | 0,147 | 0,232 |
| | | -0,198 | -0,111 | 0,455 | 0,522 | -0,160 | -0,070 | 0,191 | 0,273 |
| 0,165 | | 0,249 | 0,657 | 0,715 | 0,059 | 0,150 | 0,330 | 0,404 | |
| -0,070 | | 0,027 | 0,483 | 0,549 | -0,144 | -0,052 | 0,207 | 0,289 | |
| 1° | 0,154 | 0,239 | 0,692 | 0,748 | 0,196 | 0,277 | 0,181 | 0,264 | |
| | 0,086 | 0,175 | 0,630 | 0,688 | 0,090 | 0,179 | 0,134 | 0,220 | |
| | 0,444 | 0,512 | 0,697 | 0,753 | 0,411 | 0,480 | 0,410 | 0,479 | |
| | 0,348 | 0,421 | 0,748 | 0,802 | 0,215 | 0,296 | 0,387 | 0,458 | |