

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA**

**ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS DE UMA ESTAÇÃO DA REDE  
BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DOS SISTEMAS  
GNSS.**

**ARIADNY APOLONIO**

Prof. Dra Claudia Pereira Krueger

Doutorando Christian Gonzalo Pilapanta Amagua

**CURITIBA, 2019**

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

“Uma **série temporal** é qualquer **conjunto de observações ordenadas no tempo**”;  
(Morettin, P. & Toloi, C. 2014).

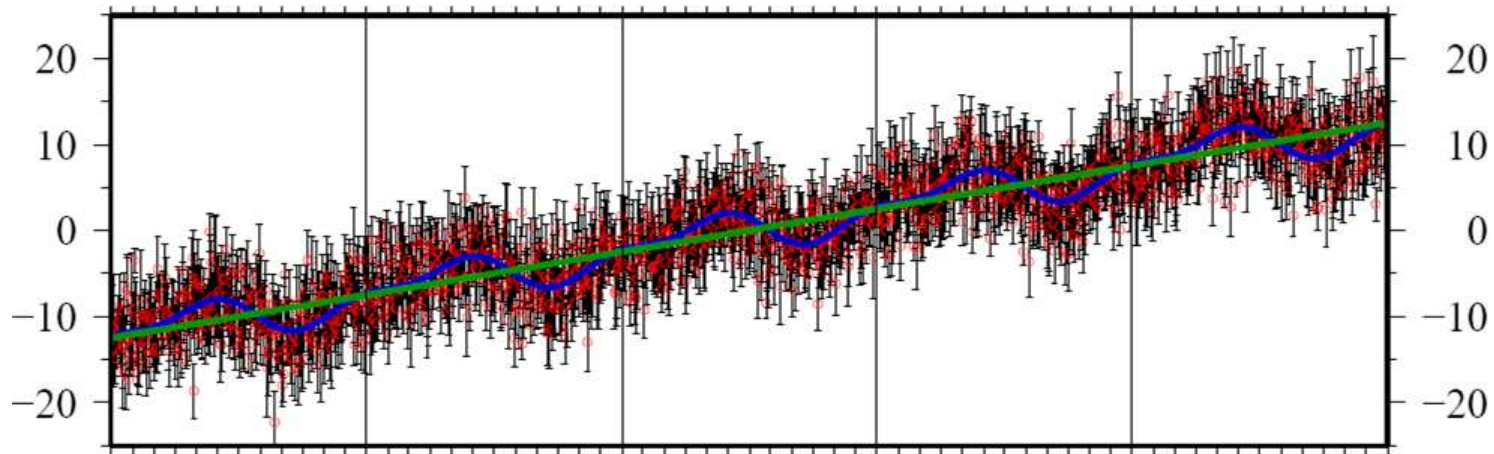


Figura. Série de tempo de coordenadas. Estação GNSS JPLM. IGS  
(Fonte: Herring, T. A. et al. 2018)

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na **geodésia** fala-se em **séries de coordenadas**

Modelo funcional = modelo linear de **trajetórias** (modelo cinemático).

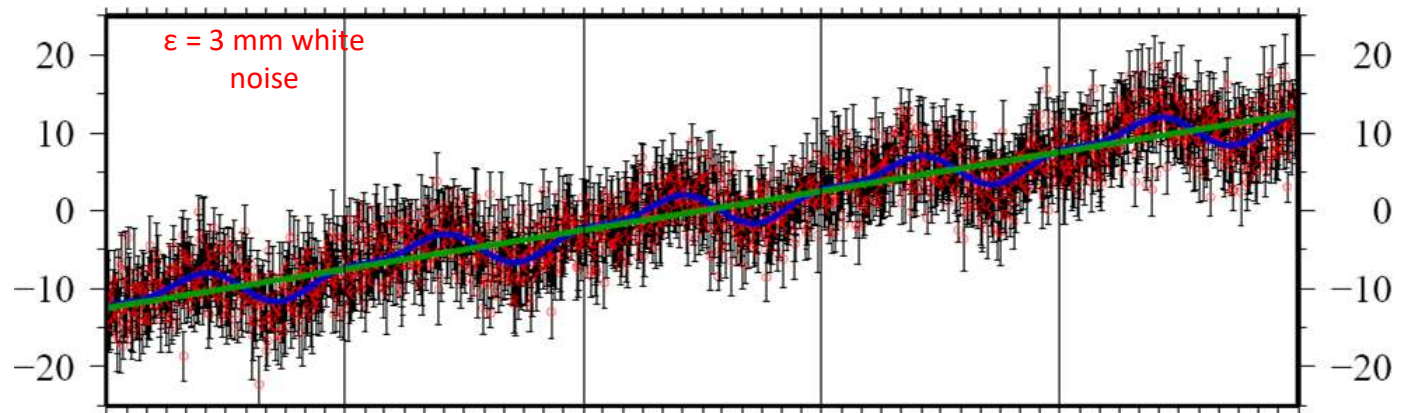


Figura. Série de tempo de coordenadas. Estação GNSS JPLM. IGS  
(Fonte: Herring, T. A. et al. 2018)

Posição no tempo t

Velocidade (linear)

Termo sazonal

Erro

$$x^i = x_0^i + v^i(t - t_0) + A_0^i \cos\left(\frac{2\pi(t - t_0)}{T_0} - \tau_0\right) + A_1^i \cos\left(\frac{2\pi(t - t_0)}{T_1} - \tau_1\right) + \varepsilon$$

Posição inicial ( $t_0$ )

Periodicidade anual (sinusoidal)

Periodicidade semi-anual (sinusoidal)

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

## Qual o objetivo da análise temporal ?

- **Abordagem Geofísica:**
  - explicar o comportamento dos fenômenos, (e.x. **deslocamento por fenômenos físicos**, terremotos, efeitos de carga, erosão ...).
- **Abordagem Geodésica:**
  - **melhorar a acurácia da solução** através da modelagem/redução dos efeitos causados pelos **fenômenos sazonais** [Dach and Dietrich, 2000] (e.x. materialização do sistema de referência terrestre).

GNSS Receiver CONZ



Earthquake Epicenter



## Real-time PPP during earthquake using RTNet by GPS

February 27, 2010

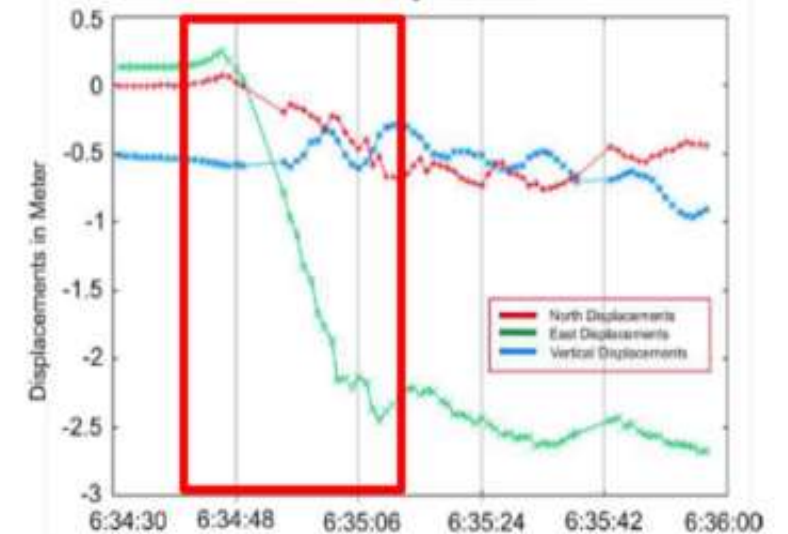
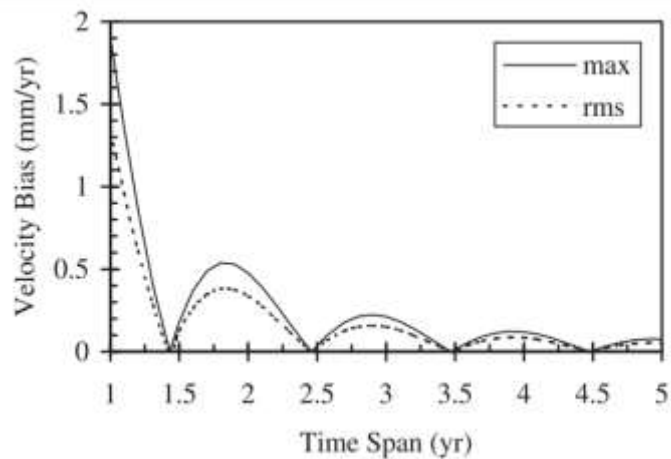
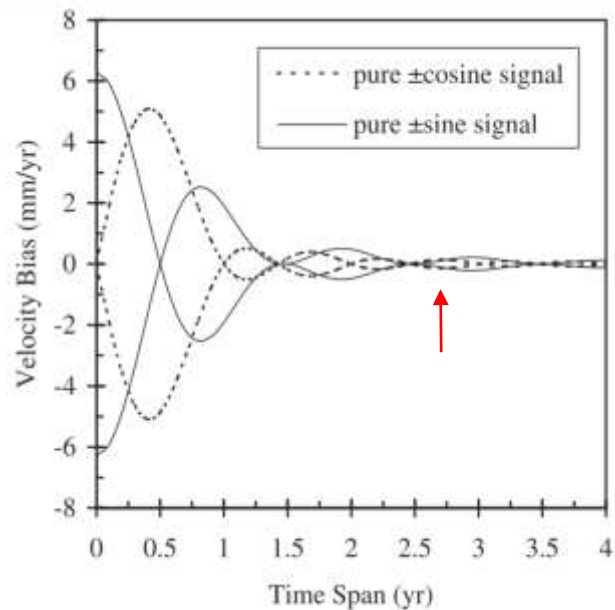


Figura. Exemplo de objetivo geofísico

Fonte: Adaptado Pilapanta, 2018

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS



- **Principal problema na análise de séries: Periodicidade**

- Variações nas **condições atmosféricas**
- Variação das massas (ciclo hidrológico) = **Efeitos de carga**
- **Erros sistemáticos** (monumentos ou elementos das antena)

- **Possíveis soluções (Herring, et al. 2018):**

- Para levantamentos geodésicos contínuos: **Maior tempo de rastreamento** (ver figura).
- Para levantamentos geodésicos por campanhas: de ser possível realizar **observações na mesma época** a cada ano e/ou modelar a periodicidade dos dados (objeto deste estudo).

Na Figura Acima: velocidades de um sinal sinusoidal (seno e cosseno); Embaixo: máximo (max) e Desvio quadrático médio (RMS) das velocidades de um sinal sinusoidal anual .

Figura. Degradação das velocidades função da periodicidade  
(Fonte: Blewitt, G. & Lavallée, D. 2002)

**Objetivo Principal:** Estudar o **comportamento temporal** da estação GNSS de monitoramento contínuo **NAUS** (Manaus) entre os anos de 2011 e 2014 (**3 anos**), visando identificar e quantificar os efeitos dos diferentes sinais físicos presentes nas séries de coordenadas e sua posterior filtragem.

### Objetivos Específicos:

- **Identificar e quantificar os diferentes sinais físicos** presentes nas séries de coordenadas;
- Analisar a **acurácia** das coordenadas obtidas **antes e após a filtragem** dos diferentes efeitos físicos.

# 3 Área de estudo

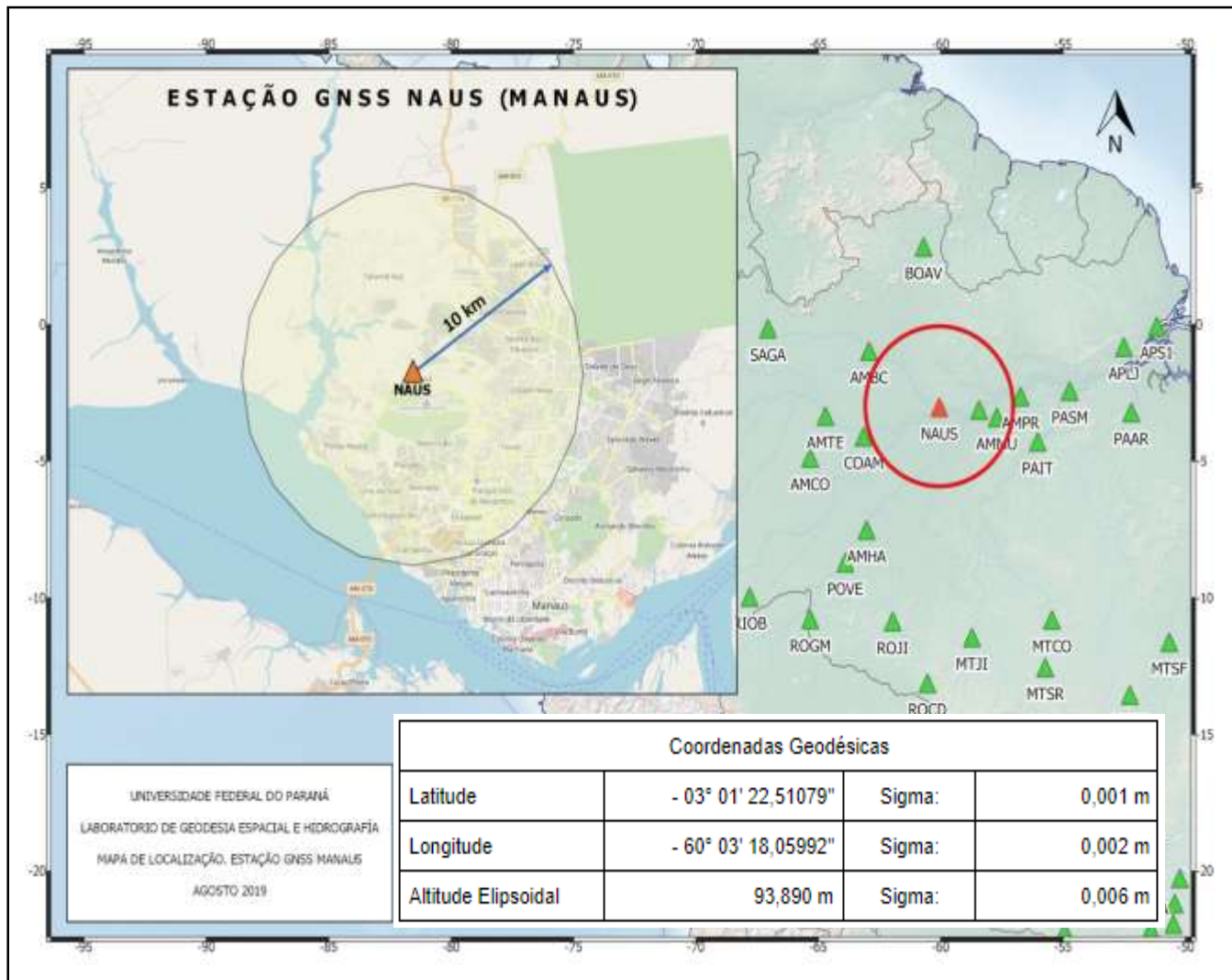


Figura. Localização da Estação GNSS de Monitoramento Contínuo NAUS  
Fonte: Pilapanta, C. et al. 2018

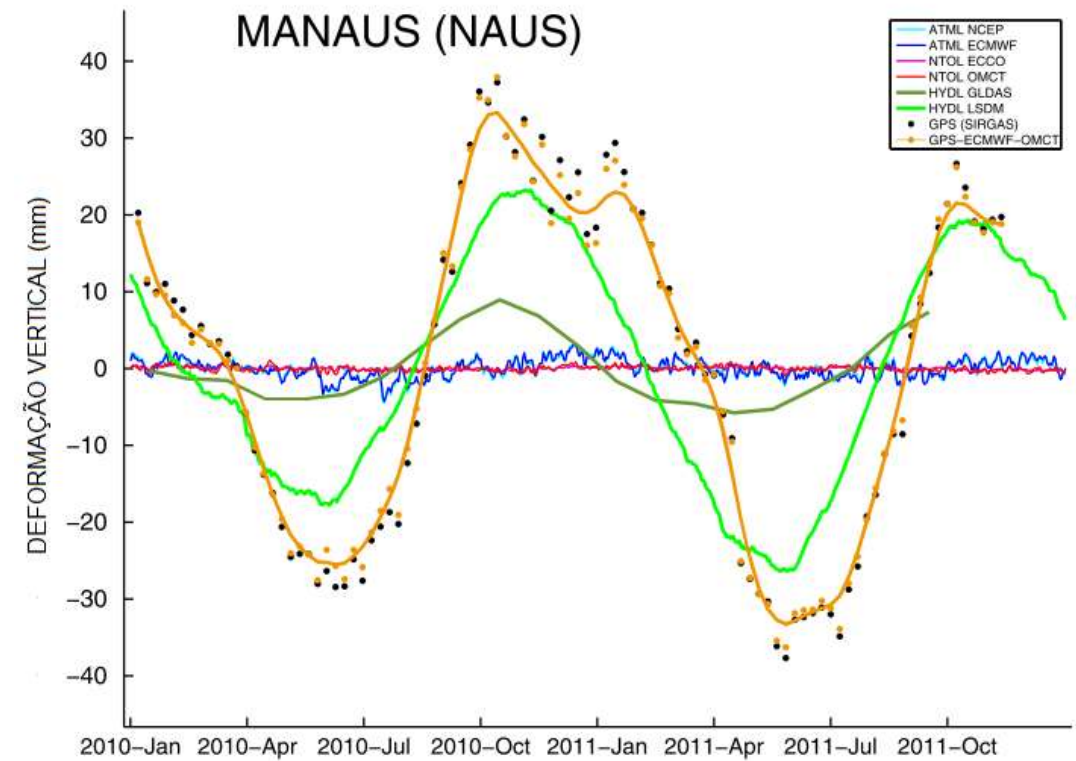


Figura. Deformação vertical da estação GNSS de Monitoramento Contínuo NAUS  
Fonte: Dill e Dobslaw (2013)

# Processamento de dados

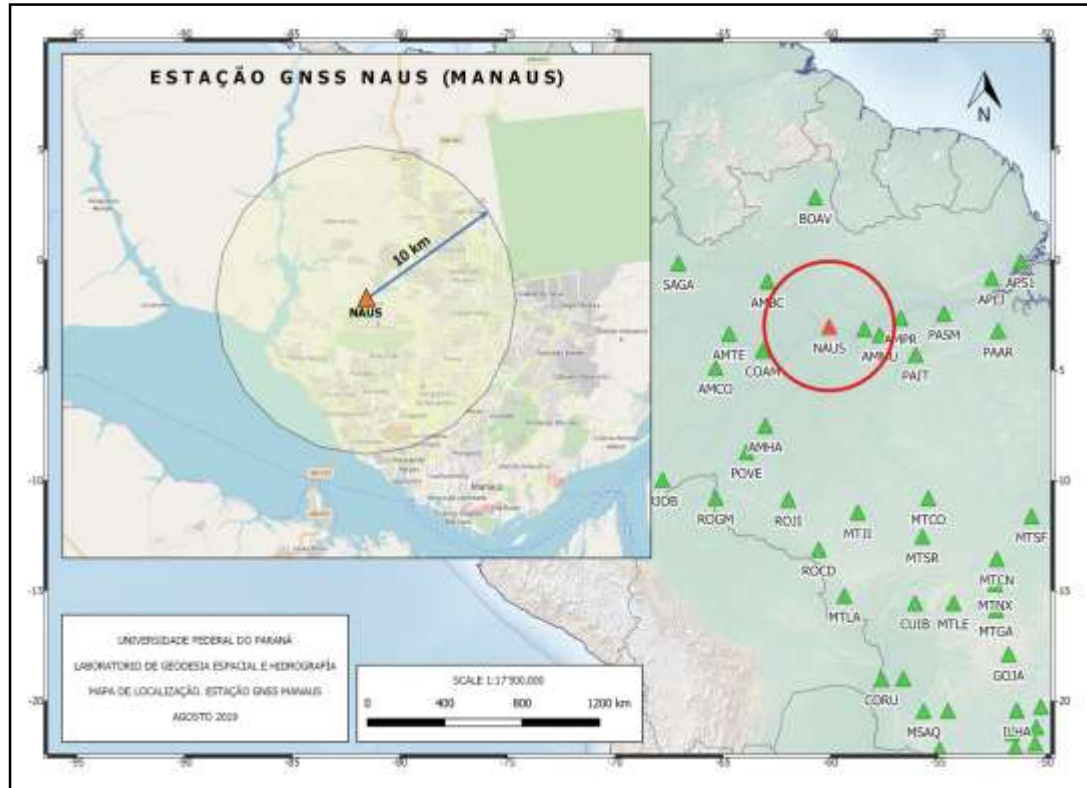


Figura. Localização da Estação GNSS de Monitoramento Contínuo NAUS  
(Fonte: Pilapanta, C. et al. 2018)

Software: Bernese GNSS. Versão 5.2

Método de processamento: Pós-processamento por linhas de base

Período de processamento: 2011 - 2014

Metodologia base:

- BRUNINI, C. et al. Improved Analysis Strategy and Accessibility of the SIRGAS Reference Frame. International Association of Geodesy Symposia, v. 136, p. 3-10, 2012. ISSN 09399585.
- SÁNCHEZ, 2017. Diretrizes para os Centros de Análise SIRGAS.



# Análise de séries temporais

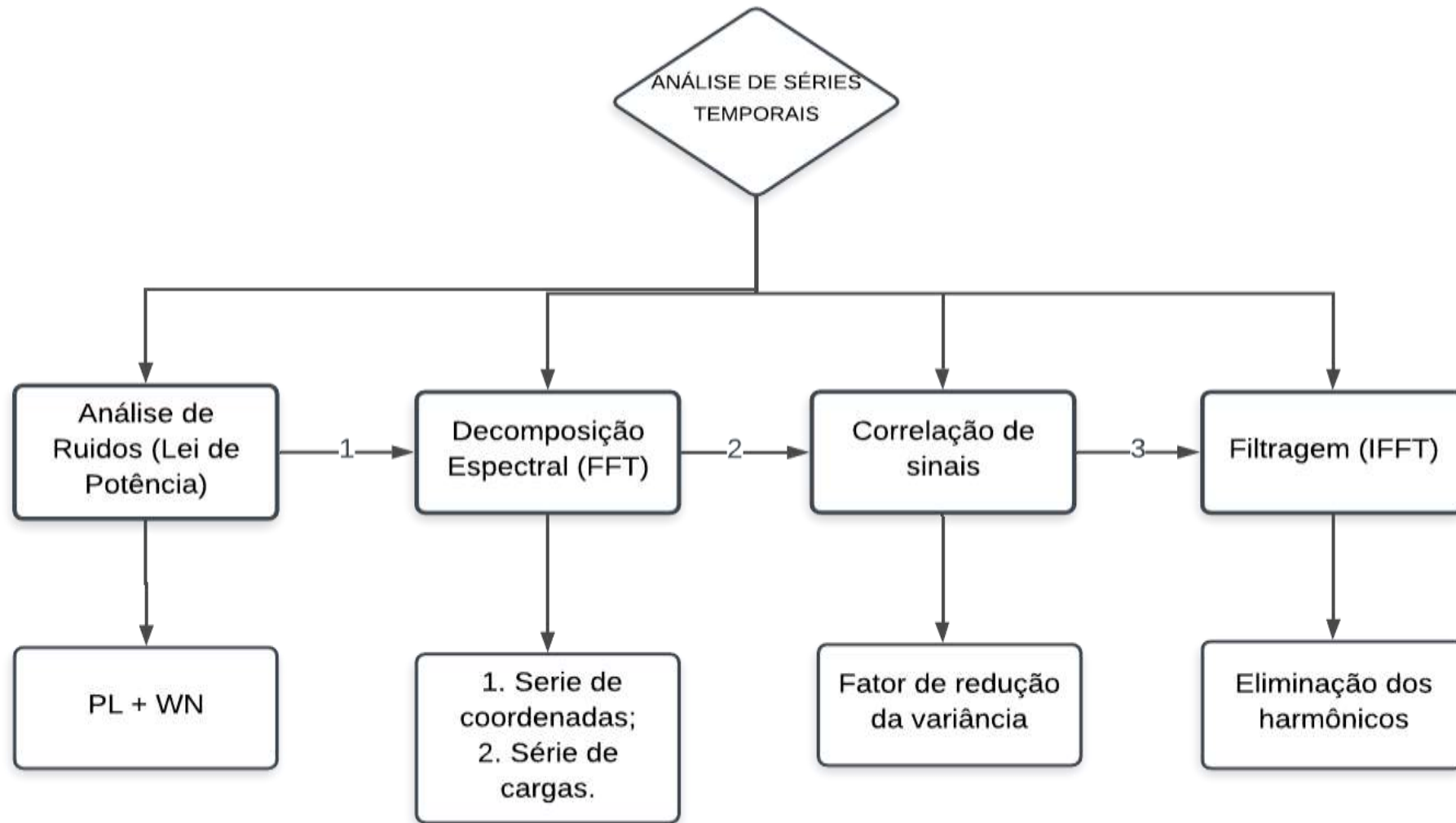


Figura. Esquema fundamental da Séries Temporais  
Fonte: Autora (2019)

# Comprovação do método de decomposição

- Geração de uma série maregráfica

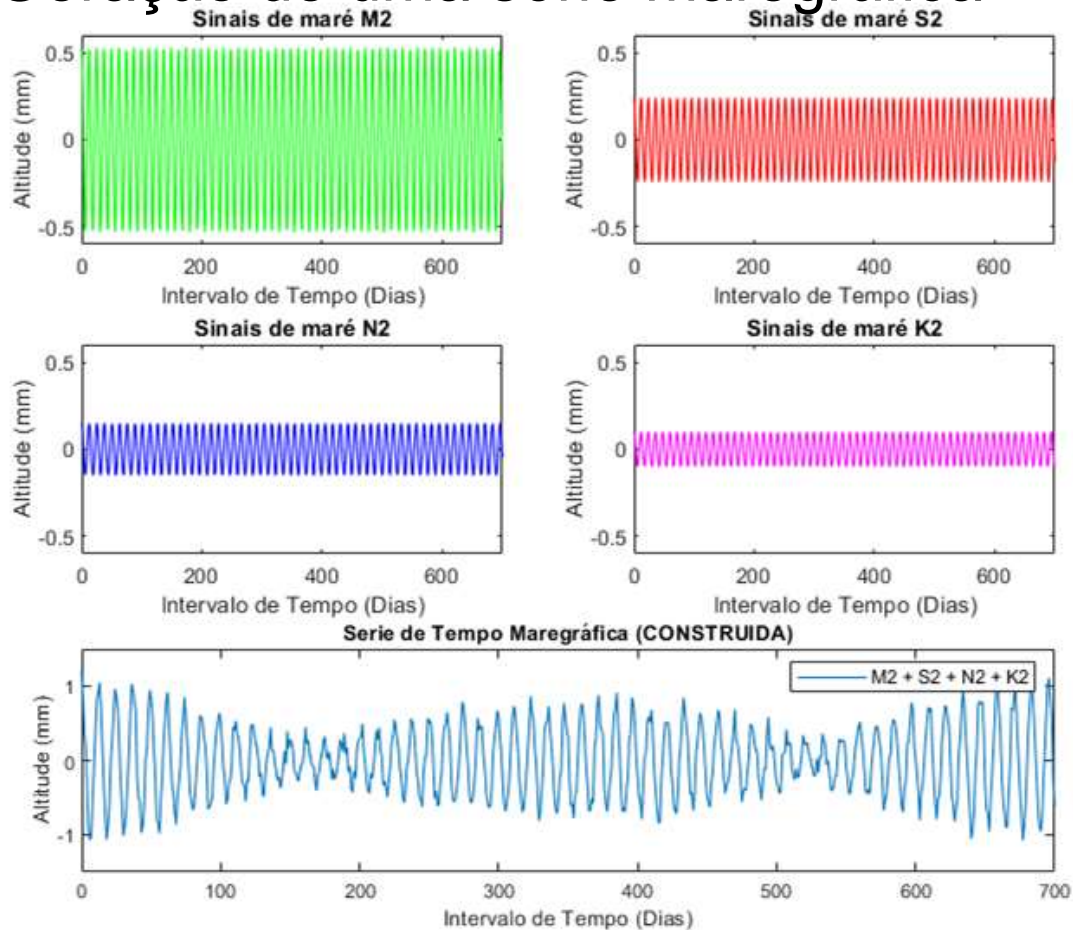


Figura – Série Maregráfica Construída  
Fonte: Autora

- somatória de 4 harmônicos principais (M2, S2, N2 e K2) e um sinal de ruído branco.

ORD	SÍMBOLO	VALORES ORIGINAIS	
		AMPLITUDE (mm)	FREQUÊNCIA (ciclos/hora)
1	M2	0,53	12,42
2	S2	0,24	12,00
3	N2	0,15	12,66
4	K2	0,10	11,97

TABELA – Amplitude e frequência dos harmônicos  
Fonte : ADAPTADO PILAPANTA (2018).

# Comprovação do método de decomposição

- Geração de uma série maregráfica

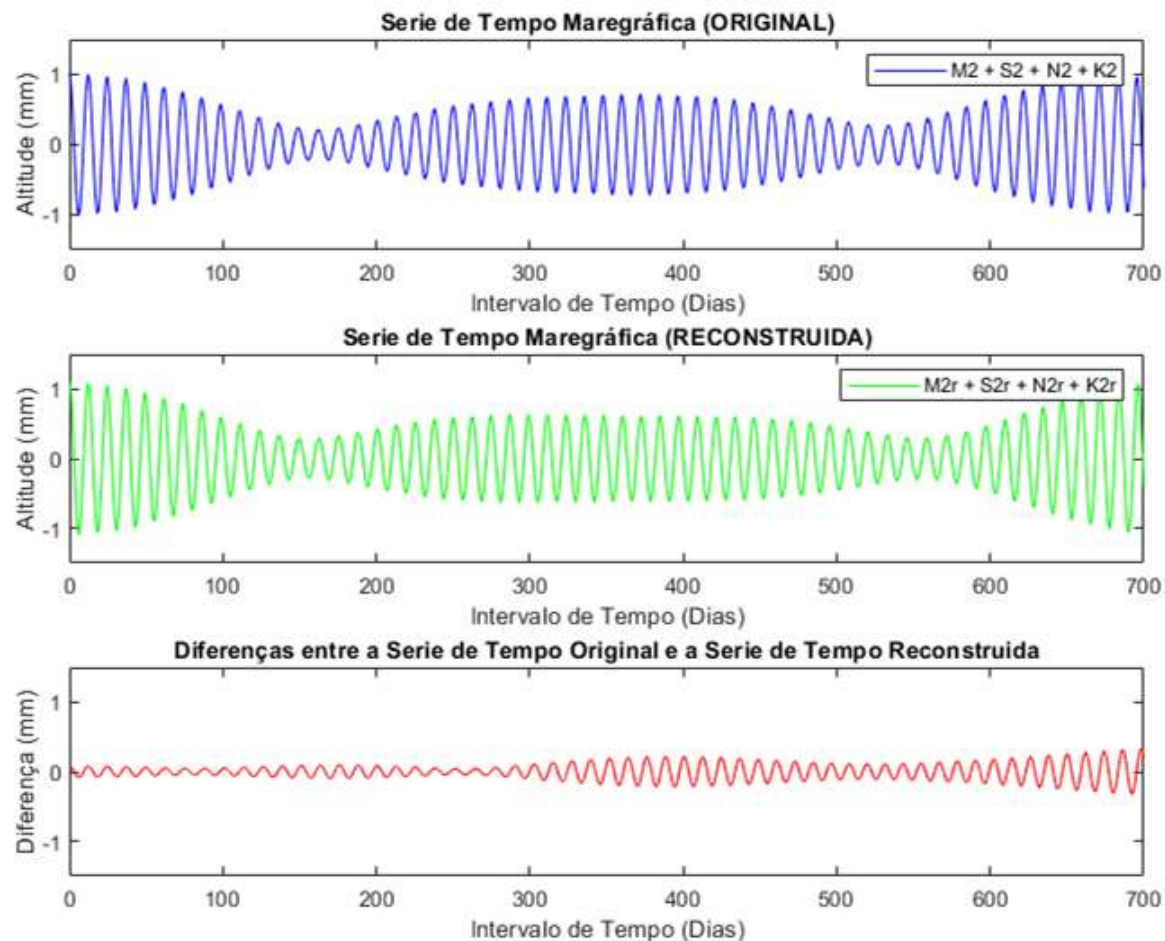


Figura – Diferença entre a série maregráfica original e a reconstruída  
Fonte: Autora (2019)

- valores estatisticamente iguais
  - nível de confiança 95 % (teste de médias)

ORD	SÍMBOLO	VALORES ORIGINAIS		VALORES DETECTADOS	
		AMPLITUDE (mm)	FREQUÊNCIA (ciclos/hora)	AMPLITUDE (mm)	FREQUÊNCIA (ciclos/hora)
1	M2	0,53	12,42	0,54	12,43
2	S2	0,24	12,00	0,31	12,01
3	N2	0,15	12,66	0,18	12,65
4	K2	0,10	11,97	0,06	11,82

TABELA – Amplitude e frequência dos harmônicos  
Fonte : Adaptado Pilapanta (2018).

# 4 RESULTADOS

## Sinais por Efeitos de Carga

- Detecção/ Sinais

### GPS

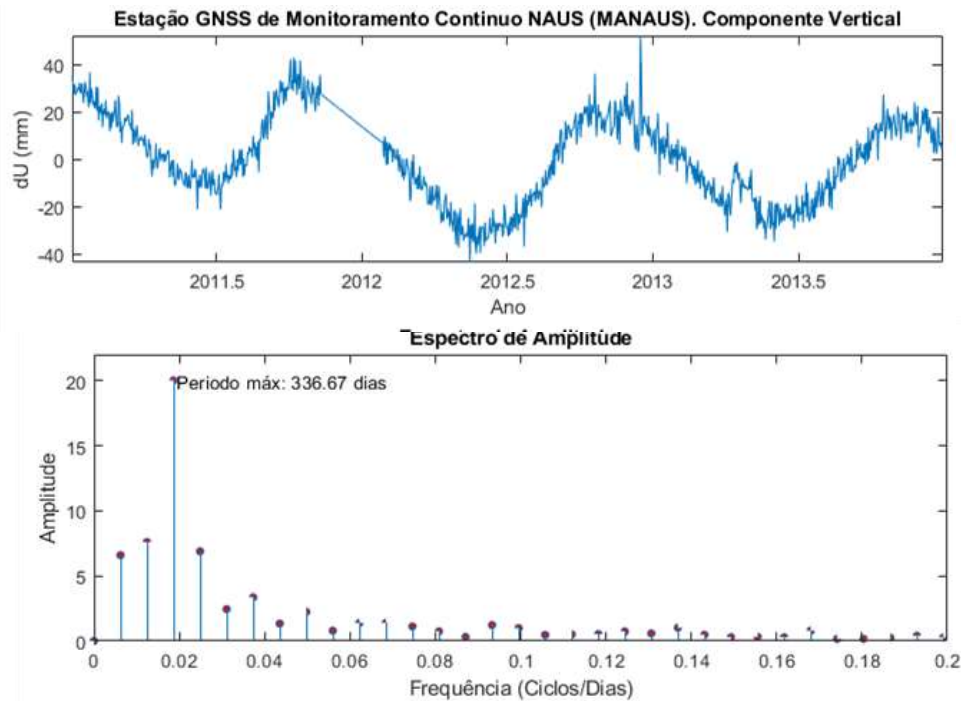


Figura – Estação GNSS Nauss  
Fonte: Autora (2019)

## Efeitos de cargas individuais

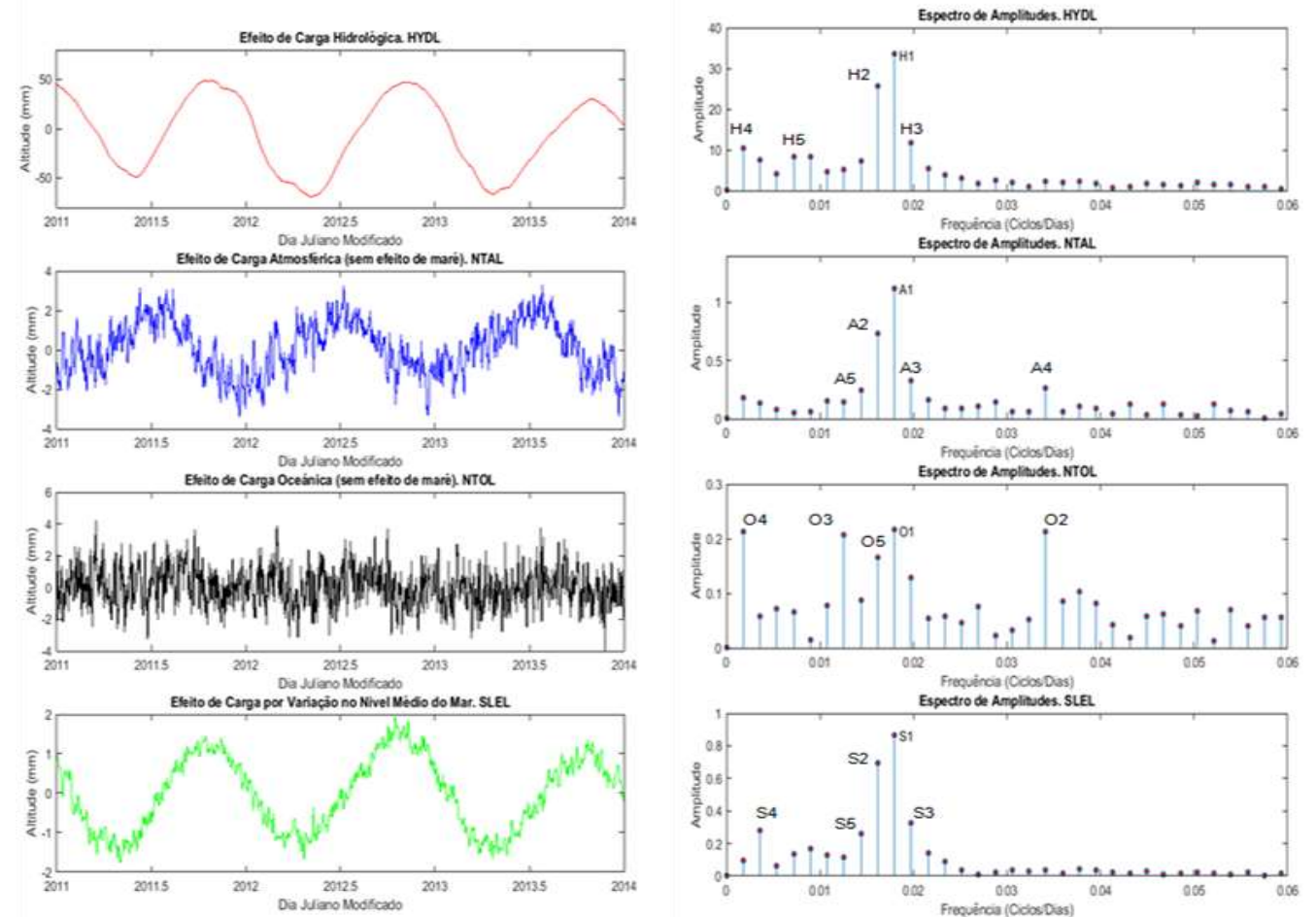


Figura – Diferença entre a série maregráfica original e construída  
Fonte: Autora (2019)

# 4 RESULTADOS

## Sinais por Efeitos de Carga

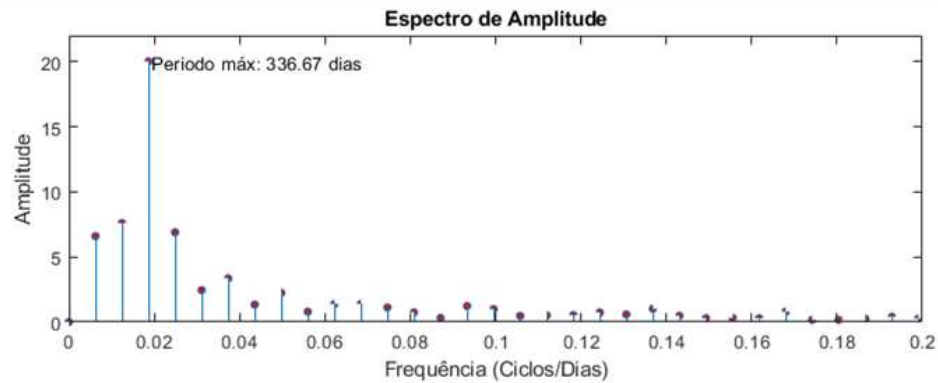
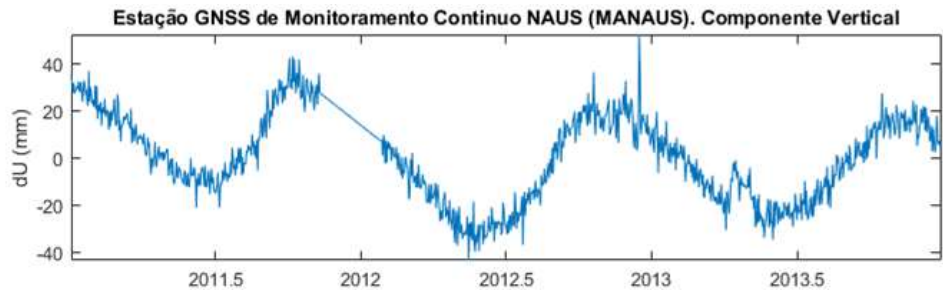


Figura –Estação GNSS Nauss  
Fonte: Autora (2019)

SÍMBOLO	AMPLITUDE		PERÍODO		SÍMBOLO	AMPLITUDE		PERÍODO	
	(dB)	(cpd)	(cpa)	(dB)		(dias)	(anos)		
NTAL				NTOL					
A01	1,12	349,60	1,0	O01	0,22	349,60	1,0		
A02	0,73	388,44	1,1	O03	0,21	184,00	0,5		
A03	0,33	317,82	0,9	O04	0,21	499,43	1,4		
A04	0,26	184,00	0,5	O05	0,17	388,44	1,1		
A05	0,24	437,00	1,2	O06	0,14	68,55	0,2		
HYDL				SLEL					
H01	33,42	349,60	1,0	S01	0,87	349,60	1,0		
H02	25,76	388,44	1,1	S02	0,69	388,44	1,1		
H03	11,70	317,82	0,9	S03	0,33	317,82	0,9		
H04	8,32	699,20	1,9	S04	0,26	437,00	1,2		
H05	8,21	874,00	2,4	S05	0,17	699,20	1,9		

TABELA – Harmônicos detectados nas séries temporais dos efeitos de carga  
Fonte: AUTORA (2019)

# 4 RESULTADOS

## Reconstrução e Filtragem dos sinais de carga

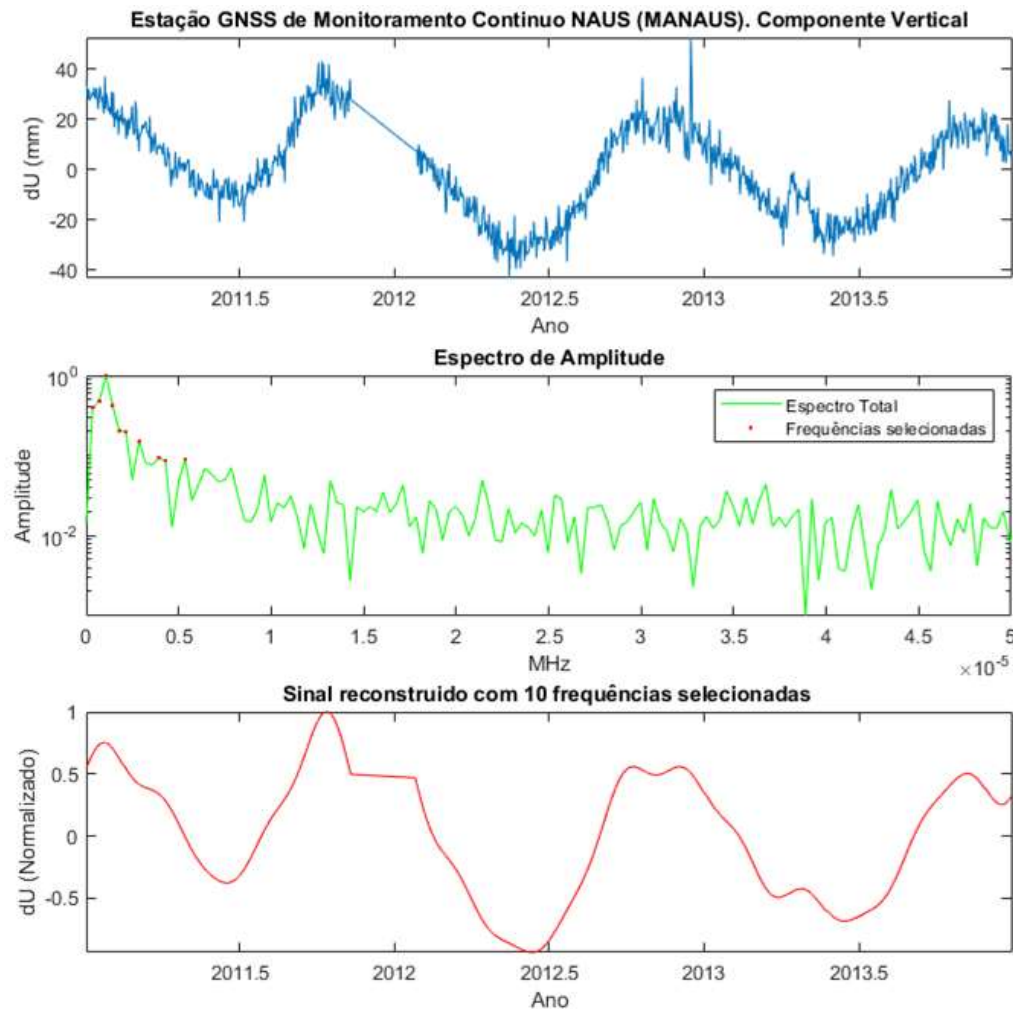


Figura. Sinal reconstruído. Estação GNSS de Monitoramento Contínuo NAUS  
Fonte: Autora 2019

- Série de coordenadas uma vez filtrada os 10 primeiros harmônicos reconstruídos.

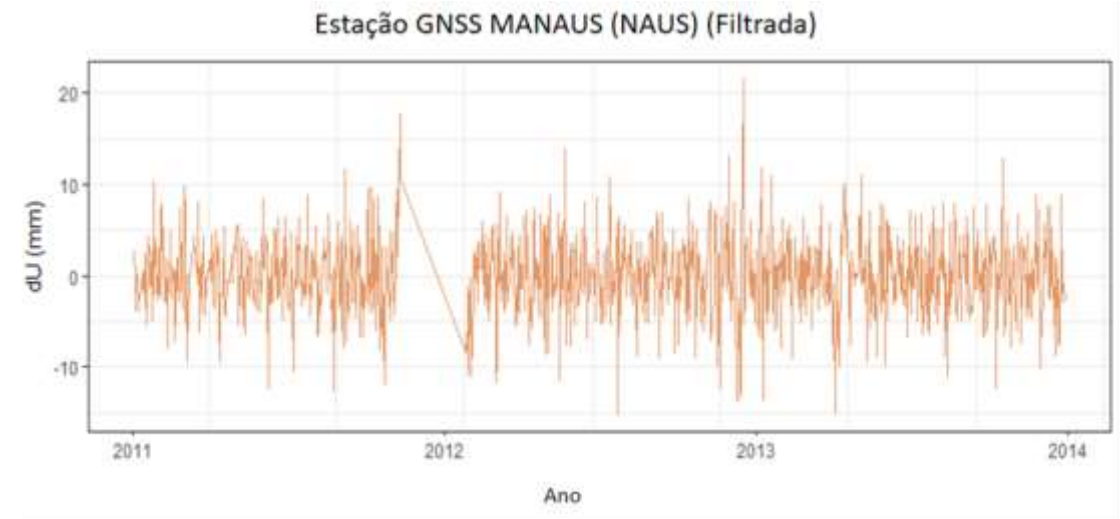




Figura. Estação GNSS NAUS série de Tempo filtrada.  
Fonte: Autora 2019

## Análise da precisão da série de coordenadas após a filtragem

- Critério de Informação Bayesiano - BIC

SÉRIE	GM WN	BIC	PL+WN		BIC
	$\sigma_{GM}$		$\sigma_{PL}$	$\sigma_{WN}$	
Original	15,25	6179,02	14,65	4,35	6122,77
Filtrada	11,08	3869,919	11,93	3,32	3212,209

TABELA – Variância obtidas por modelo estocástico  
 Fonte: AUTORA 2019.

 1º Modelo estocástico da série;  
 2º Comportamento estatístico (BIC)  
 Gauss Markov noise (GM),  
 Ruído Power Law noise e White noise (PL+WN)

# 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

- A **estação NAUS**, possui **repetibilidades** relativamente **maiores**, as quais em princípio devem-se a presença de processos relacionados à proximidade da estação GNSS com **vertentes de rio**. Isto foi verificado através da decomposição das séries, onde os sinais provenientes do **efeito de carga hidrológica** tem **maiores amplitudes** ;
- Baseados na comparação direta das soluções, foi possível determinar uma **melhoria** geral na repetibilidade das coordenadas **após a filtragem** dos diferentes efeitos de carga.
- Recomenda-se realizar novos estudos através da análise dos efeitos de carga individuais com o objetivo de quantificar seu efeito em cada uma das componentes dos pontos.



PILAPANTA, C. G.; KRUEGER, C. P.; TIERRA, A. Avaliação do impacto do efeito de carga por pressão atmosférica em posicionamento GPS de alta precisão nas regiões do Equador Continental e da Amazônia Brasileira; Dissertação 2018.;

DACH, R. et al. User Manual of the Bernese GNSS Software, Version 5.2. Astronomical Institute, University of Bern, 2015. 884 p. ISBN 978-3-906813-05-9. Disponível em: <<http://www.bernese.unibe.ch/docs/DOCU52.pdf>>;

GEMAEL, C.; ANDRADE, J. B. *Geodésia Celeste*. 2. ed. Curitiba: Editora UFPR, 2003;

GÉRARD, P.; LUZUM, B. IERS Conventions (2010). [S.l.], 2010. v. 36. Disponível em: <<http://www.iers.org/TN36/>>;

HALL, M. Resolution and uncertainty in spectral decomposition. *First Break*, v. 24, n. 12, p. 43–47, 2006;

KRUEGER, C. P.; EURIQUES, J. F.; VISKI, A. R.; HUINCA, S. C. M.; WERLICH, R. M. C. *Desenvolvimentos do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia*. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/2/fullpaper/CT02-44\\_1506826271.pdf](http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/2/fullpaper/CT02-44_1506826271.pdf)>. Acesso em: 01/02/2019;

LI, Z. et al. A comparison of hydrological deformation using GPS and global hydrological model for the Eurasian plate. *Advances in Space Research*, COSPAR, v. 60, n. 3, p. 587–596, 2017. ISSN 18791948. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2019.04.023>> e

MORETTIN A. P; TOLOI C. M. C. *Análise de séries temporais; segunda edição revista e ampliada* 2006.

# Agradecimentos





**Obrigada!**