

Figura 21: Comparação entre RLT e FFDR, na estimativa da flutuação da velocidade, com $\tau_R = 10 - 1000 s$ para o FFDR, entre 02:00 e 02:27 hs, dia 30/08/02.

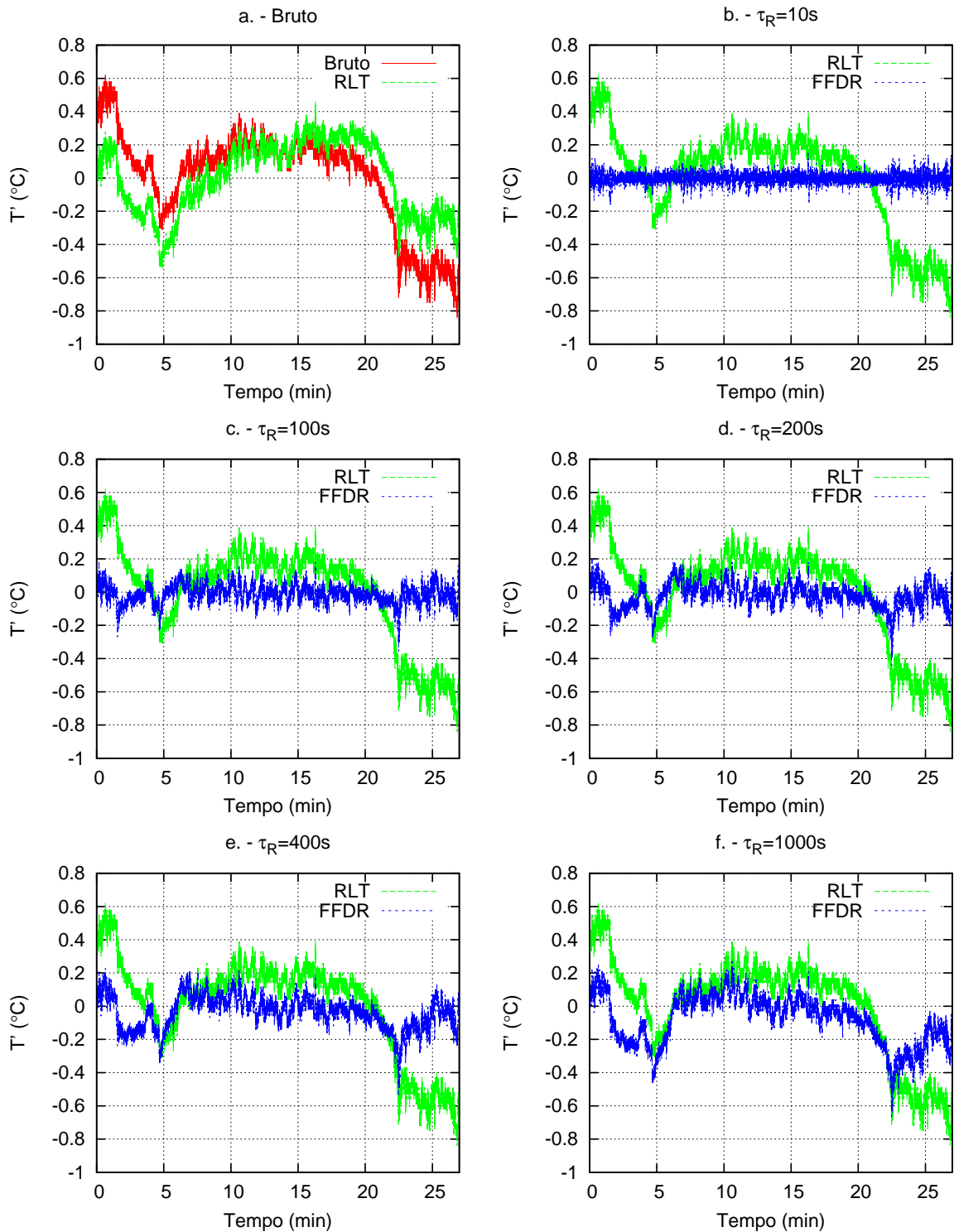


Figura 22: Comparação entre RLT e FFDR, na estimativa da flutuação da temperatura, com $\tau_R = 10 - 1000\text{ s}$ para o FFDR, entre 02:00 e 02:27 hs, dia 30/08/02.

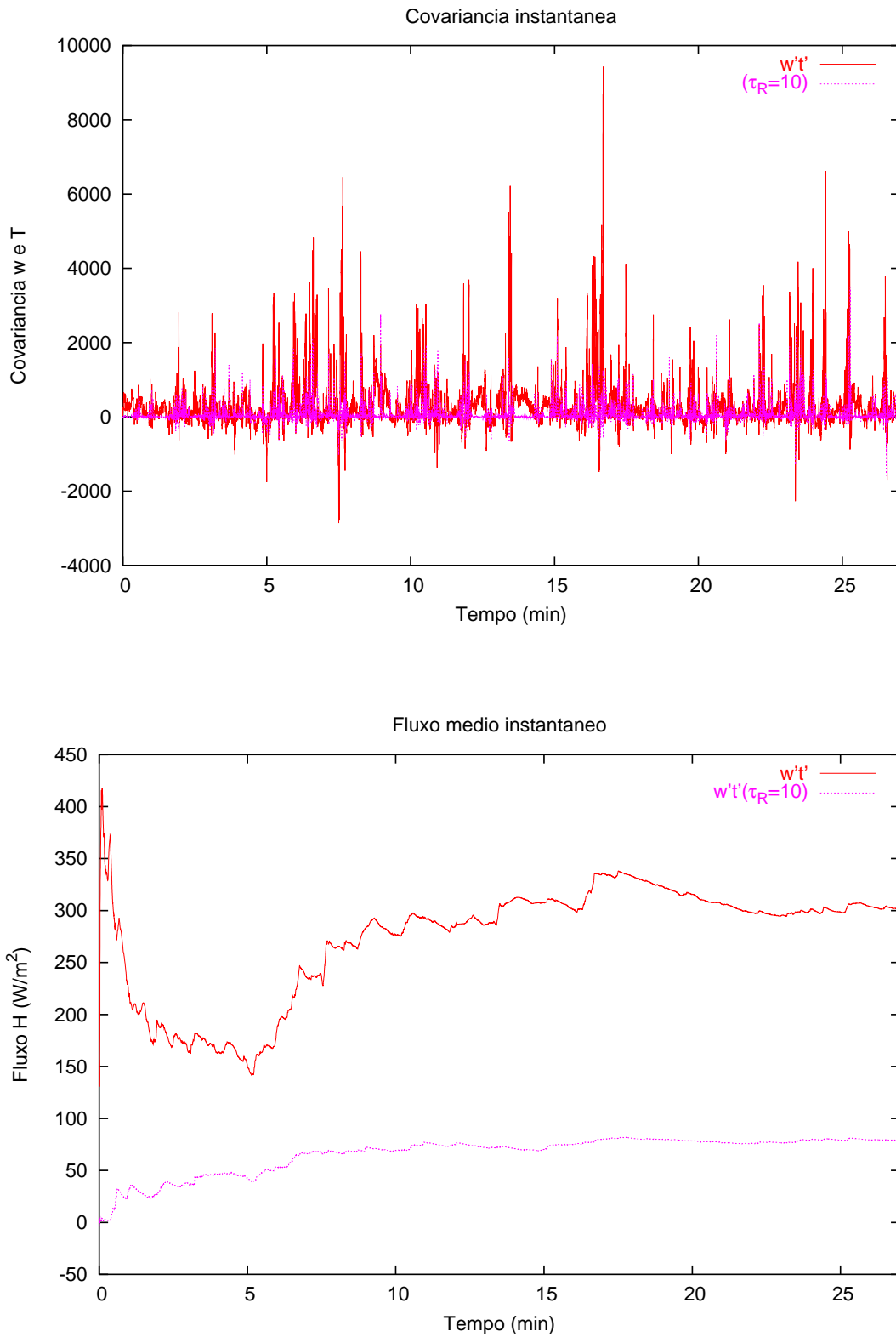


Figura 23: Comparação entre FFDR com $\tau_R = 10$ s, e (Bruto), na estimativa das covariâncias e evolução do fluxo turbulento médio, entre 12:00 e 12:27 hs, dia 30/08/02.

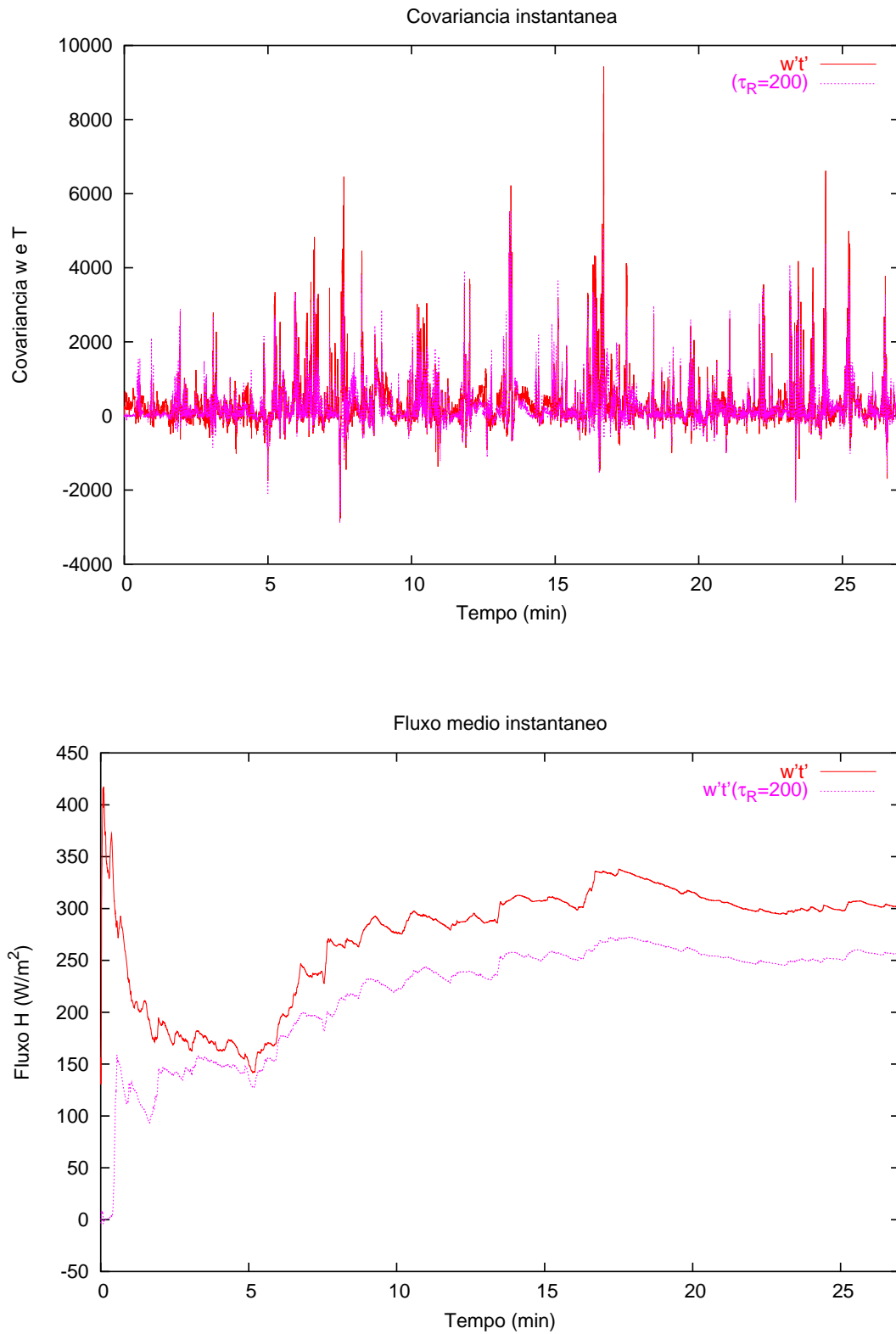


Figura 24: Comparação entre FFDR com $\tau_R = 200$ s, e (Bruto), na estimativa das covariâncias e evolução do fluxo turbulento médio, entre 12:00 e 12:27 hs, dia 30/08/02.

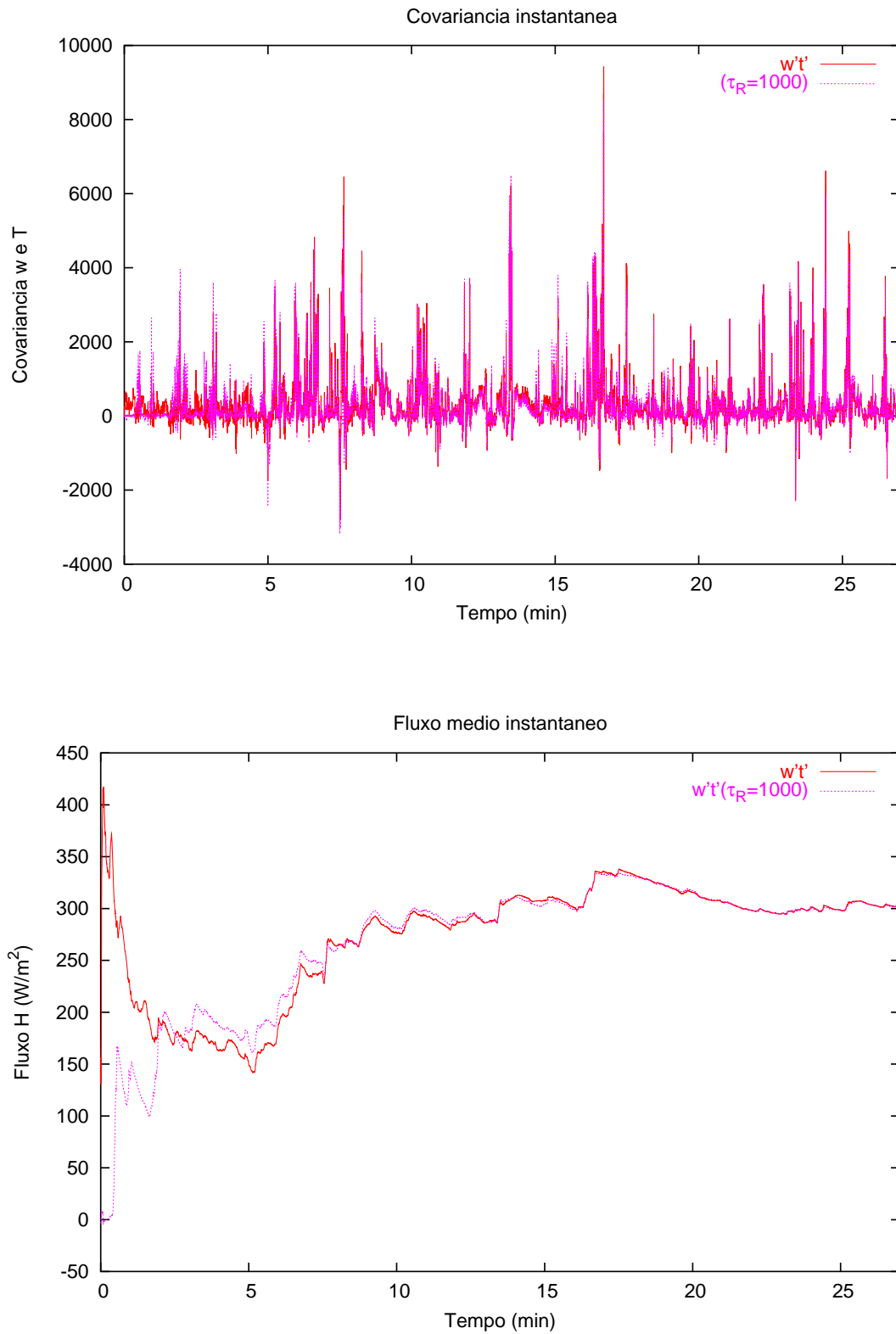


Figura 25: Comparação entre FFDR com $\tau_R = 1000$ s, e (Bruto), na estimativa das covariâncias e evolução do fluxo turbulento médio, entre 12:00 e 12:27 hs, dia 30/08/02.

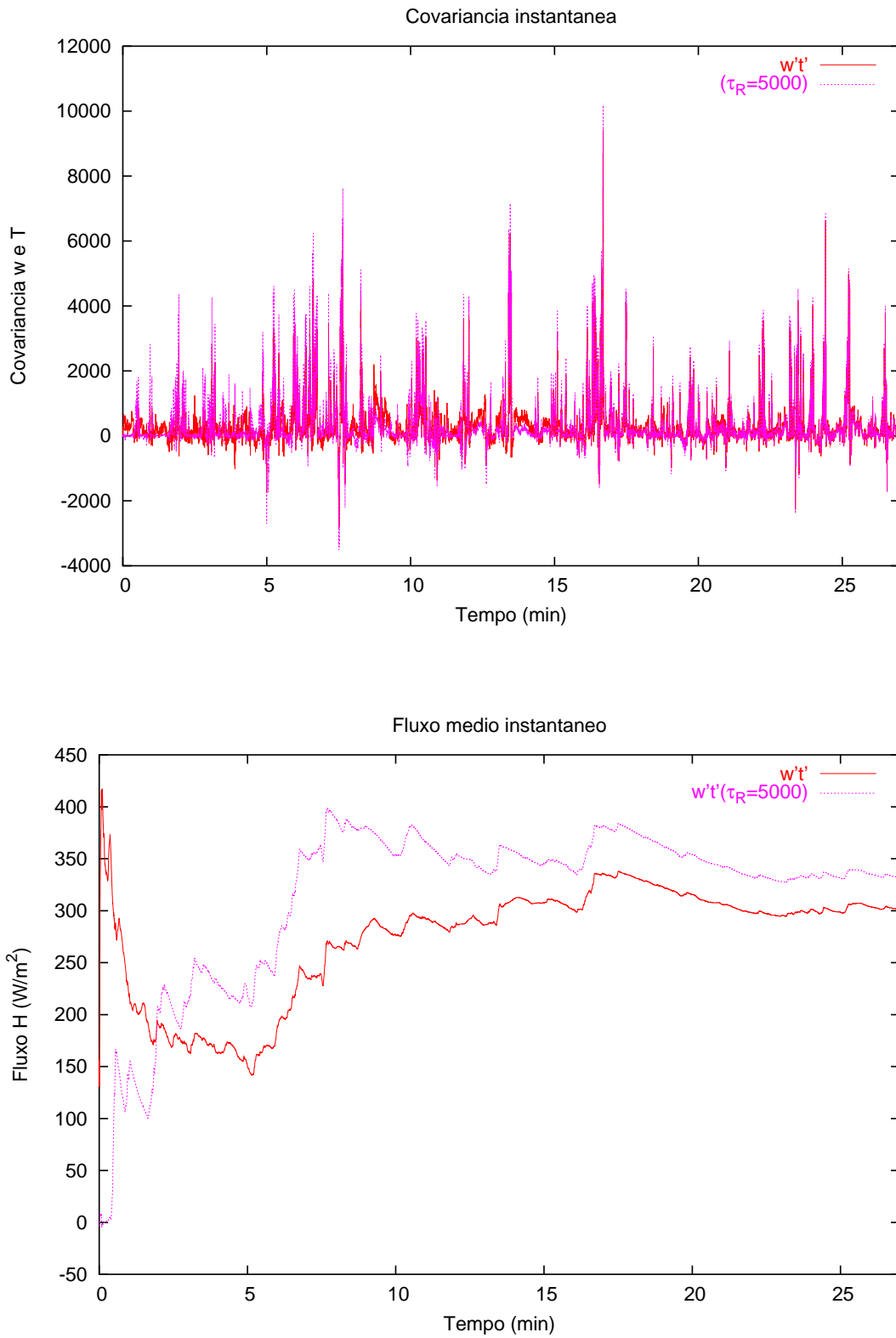


Figura 26: Comparação entre FFDR com $\tau_R = 5000$ s, e (Bruto), na estimativa das covariâncias e evolução do fluxo turbulento médio, entre 12:00 hs e 12:27 hs, dia 30/08/02.

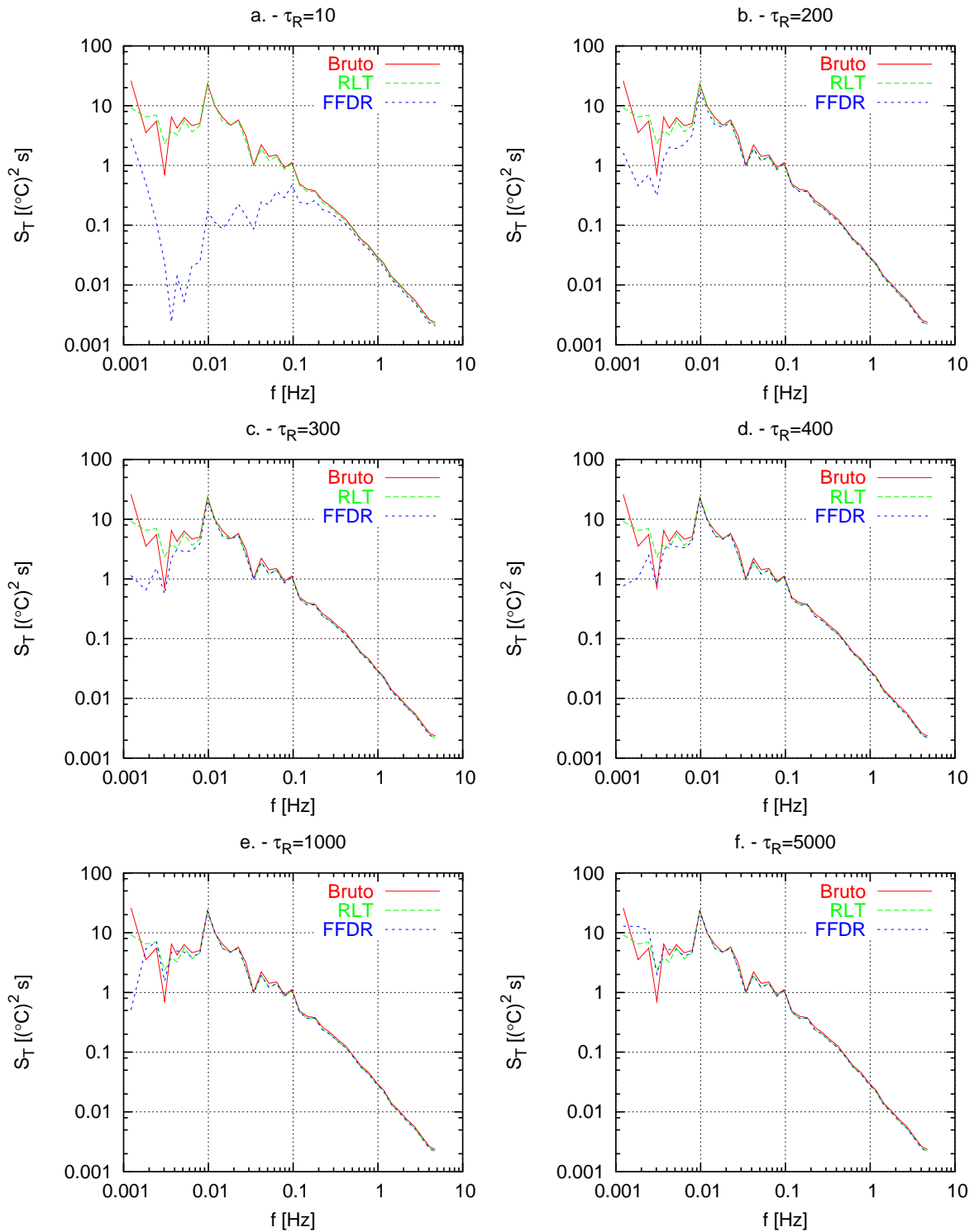


Figura 27: Comparação FFDR, RLT e (Bruto), na estimativa das densidades espectrais de temperatura, entre 12:00 e 12:27 hs, dia 04/02/02.

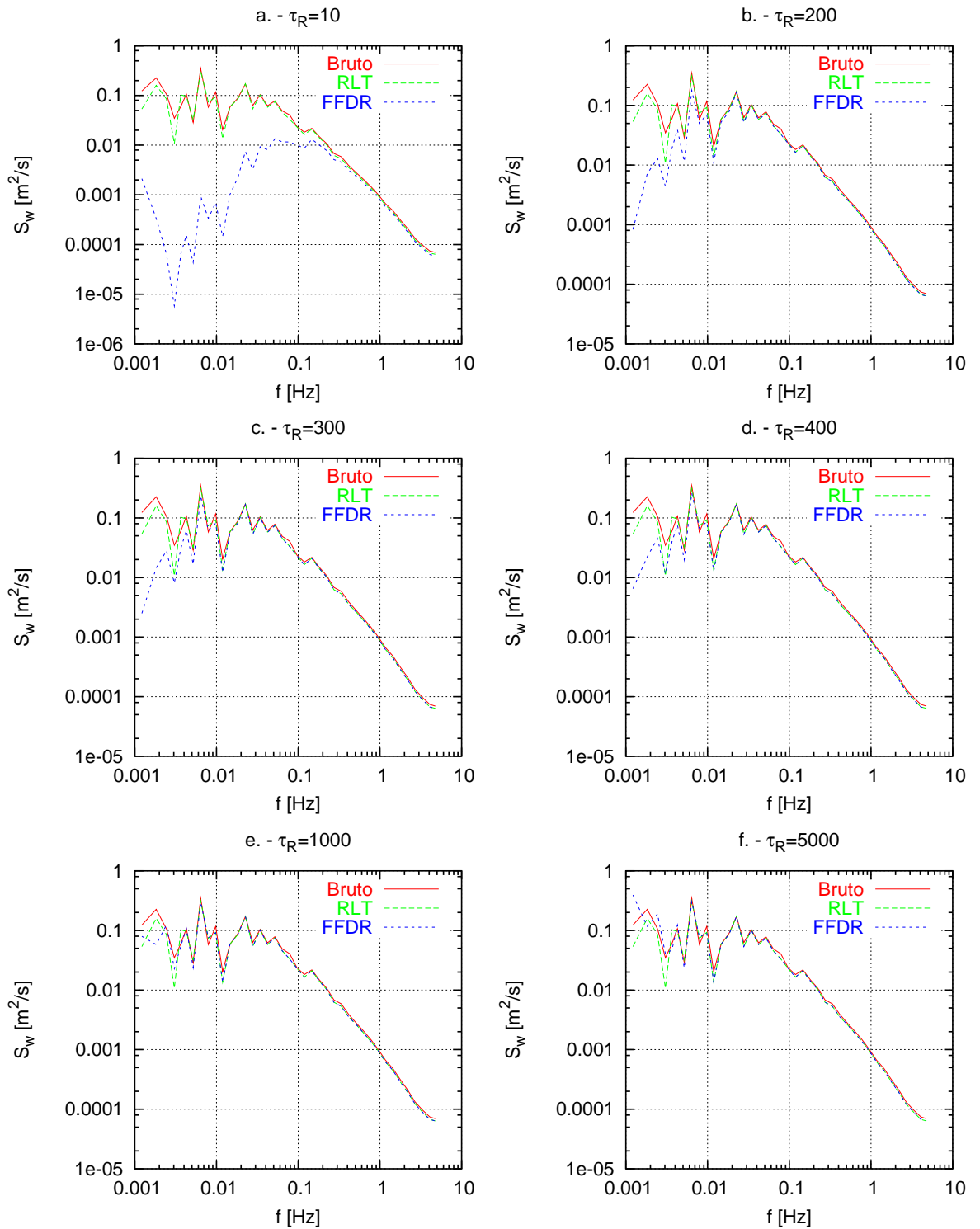


Figura 28: Comparação FFDR, RLT e (Bruto), na estimativa das densidades espectrais de velocidade vertical do vento, entre 02:00 e 02:27 hs, dia 01/02/02.

5 *Conclusões*

Nesta dissertação foram estudadas algumas, das principais técnicas básicas, no tratamento e condicionamento de séries temporais turbulentas. Os dados, experimentalmente coletados e separados em conjuntos de amostras com 27 minutos, foram submetidos aos tratamentos com técnicas de média simples, média instantânea através de filtros digitais recursivos e remoção linear de tendência, para se observar como cada uma destas técnicas age nas séries temporais e, suas implicações nas estimativas dos fluxos turbulentos e espectros.

Observou-se que a aplicação do processo de média simples, leva à superestimativa das variâncias das quantidades turbulentas, esse processo também conduz à superestimativa dos fluxos turbulentos quando a tendência, na série turbulenta, é positiva e subestima os fluxos quando a tendência linear da série turbulenta é negativa.

A remoção da tendência linear, das séries temporais turbulentas é um procedimento padrão, pois, é necessária para satisfazer as condições de estacionariedade. Para a aplicação do processo de média, seguindo as propriedade de média de Reynolds, uma das condições assumidas é a estacionariedade. Esta condição é necessária para estimar os fluxos turbulentos pela MCV.

Observou-se, nos gráficos das flutuações de temperatura e velocidade, que o tratamento com filtro digital recursivo também age na remoção da tendência linear presente na série temporal turbulenta. Disto podemos afirmar que esta técnica é eficaz para minimizar os efeitos da não estacionariedade na janela de dados, onde se está calculando a média. É importante observar que, isto depende da escolha apropriada para a escala de tempo τ_R .

Observou-se que as flutuações da velocidade vertical do vento e da temperatura, não mostraram sensibilidade significativa quando aplicou-se a técnica FFDR com escalas de tempo entre $\tau_R = 200 s$ à $\tau_R = 400 s$. Os erros sistemáticos, na estimativa dos fluxos, também apresentaram pequenas diferenças quando tratados com FFDR digital

com tal escala de tempo, apresentando praticamente o mesmo valor daqueles tratados apenas com a técnica de remoção linear de tendência, quando utilizado $\tau_R = 450 s$. Isto sugere que a utilização do filtro digital recursivo tipo FFDR com uma escolha de $\tau_R = 450 s$, no máximo conduz a resultados com erro da mesma ordem da técnica de RLT. Nas estimativas dos fluxos essa escolha apresenta os mesmos resultados quantitativos, porém, na estimativa espectral os resultados são bastante diferentes, uma vez que o FFDR apresenta remoção de baixas frequências mais eficientemente em relação à RLT.

Na observação das densidades espectrais, após o tratamento com filtro digital recursivo, percebeu-se que esse atua mais eficientemente na supressão das amplitudes de baixa frequência, presentes na série temporal turbulenta. Esse resultado é mais evidente nos espectros de temperatura. Isto se deve aos dados turbulentos de temperatura apresentarem uma maior variabilidade, ou seja apresentam maior tendência linear nos conjuntos com intervalos de 27 minutos em questão.

O filtro digital recursivo, é um tipo de filtro passa-baixa, porém quando a série resultante de sua ação é subtraída das amostras originais (brutas), ele tem um caráter passa-alta, porque permanecem apenas as altas frequências. Uma questão que não é muito clara nos resultados da aplicação do filtro digital recursivo, é a sua inicialização, ou seja, uma vez iniciado o processo (ponto inicial y_0), o filtro leva um certo tempo para atingir a estabilidade. Praticamente na maioria das séries analisadas, esse tempo parece ser em torno de 3 à 4 minutos. Após esse, o resultado do comportamento dos valores médios das covariâncias, filtrados com FFDR, seguem o mesmo comportamento gráfico dos resultados sem tratamento e daqueles tratados com a técnica RLT, contudo, resultando valores quantitativamente de acordo com sua escala de tempo τ_R .

O filtro digital recursivo é utilizado em tratamentos de dados principalmente em tempo real. A vantagem da utilização desse tipo de filtro, na estimativa dos fluxos turbulentos e cálculo espectral, é a agilidade no tempo de processamento, e economia computacional, o que estrategicamente é um grande benefício para planejamento de campanhas experimentais.

Como consideração final, um dos grandes benefícios do estudo feito nessa dissertação, foi identificar que a correção do deslocamento de fase, que não era levada em consideração nos modelos de filtros digitais anteriores (FDR proposto por McMillen 1988) e, presente no modelo (FFDR Franceschi e Zardi 2003) conduz à estimativas satisfatórias, principalmente para espectros de temperatura turbulenta, que são os mais

difíceis de se minimizar os efeitos de não estacionariedade. Ficou claro observando, nos resultados gráficos dos espectros, que a remoção de baixas frequências nos espectros de temperatura, os deixou com o perfil típico de espectros classicamente esperados.

Como perspectivas futuras, deve-se testar as técnicas em outras componentes do campo de vento e também outras quantidades escalares turbulentas. Testar outros conjuntos de dados, janelas e períodos de tempo (um dia inteiro por exemplo). Adequar, as rotinas de cálculo, para serem implementadas nos programas que calculam fluxos e espectros em tempo real. Em softwares que já utilizam o tratamento com filtro digital recursivo proposto por McMillen (1988), as alterações sugeridas por Franceschi e Zardi (2003) servirão para corrigir os efeitos do deslocamento de fase, na série resultante, e obter resultados com mais confiabilidade para os fluxos turbulentos.

APÊNDICE A – Estimativa Espectral de Sinais Aleatórios.

Quando consideramos um sinal aleatório $x(t)$, num intervalo de tempo infinito, não é possível aplicar a Transformada de Fourier (TF), pois não haverá convergência no intervalo $[-\infty, \infty]$.

Ao utilizarmos, por exemplo, um intervalo de tempo limitado, a densidade espectral de potência de um sinal aleatório estacionário $x(t)$ é definida por:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau, \quad (\text{A.1})$$

onde $R(\tau)$ é definida como correlação do sinal $x(t)$, expressa também, em relação à esperança matemática $E[.]$ como:

$$R(\tau) = E[x(t)x(t - \tau)] \quad (\text{A.2})$$

$S(f)$ é o Espectro de Potência ou Densidade Espectral de Potência, uma vez que dimensionalmente resulta em *Watts/Hertz*.

A expressão (A.1) também é conhecida como Teorema de Wiener-Khintchine ou Teorema da Autorrelação.

Quando estamos estudando bandas, a potência total na banda $[f_1, f_2]$ escreve-se

$$P = \int_{f_1}^{f_2} S(f) df. \quad (\text{A.3})$$

Inversamente podemos calcular a função de autocorrelação de $x(t)$, $R(t)$ a partir de (A.1):

$$R(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) e^{i2\pi ft} df, \quad (\text{A.4})$$

(A.1) e (A.4) formam um par de TF, ou seja, as suas propriedades são as mesmas da TF.

A aplicação do Teorema de Wiener-Khintchine (WK) mostra um problema: "é que a função de autocorrelação (A.2) não pode ser calculada de forma exata, pois não dispomos de um número infinito de amostragens aleatórias do processo $x(t)$, para calcular a esperança matemática $E[\cdot]$ ".

Neste ponto, entra a hipótese de **ergodicidade**, permitindo que a média de conjunto "ensemble" possa ser substituída pela média temporal.

Então, para um processo ser ergodico observa-se que:

$$E[x(t)x(t - \tau)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x(t - \tau) dt. \quad (\text{A.5})$$

O problema do cálculo da densidade espectral através do Teorema de WK ainda não está completamente resolvido, pois na prática não estamos dispendo de um intervalo de temporal infinito.

Utilizando (A.5) num intervalo T finito, obtemos não a função de autocorrelação, mas sim sua estimativa $\hat{R}(t)$. Esta é uma razão fundamental pela qual o cálculo do espectro de sinais aleatórios reais não se chama simplesmente cálculo espectral, mas sim **estimativa espectral**. Para sinais reais, nós nunca teremos acesso à verdadeira densidade espectral, mas apenas a uma estimativa dessa densidade espectral.

Da definição de TF, a densidade espectral de energia para um sinal determinístico, se escreve como:

$$S(f) = |X(f)|^2. \quad (\text{A.6})$$

O que impede seu uso em sinais aleatórios é o fato de $X(t)$ não existir caso o intervalo seja $[-\infty, \infty]$. Porém, quando fazemos análise, de apenas um determinado intervalo temporal de observação $x(t) \in [0, T]$, ou seja, analisamos apenas uma parcela finita da série temporal, estamos estimando uma energia finita para o conjunto de dados. A energia total de $x(t)$ neste intervalo será dada por:

$$\int_0^T x^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df. \quad (\text{A.7})$$

Esta última igualdade vem do Teorema de Parseval, que postula que a energia total é conservada quando da passagem do domínio de tempo para o domínio da frequência.

A potência total no mesmo intervalo escreve-se então, levando em conta (A.7), como;

$$P_T = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df, \quad (\text{A.8})$$

que, quando $T \rightarrow \infty$ e invertendo a ordem dos operadores limite e integral, torna-se:

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|X(f)|^2}{T} \right] df. \quad (\text{A.9})$$

Comparando (A.8) com (A.3) podemos, por identificação, tirar que a densidade espectral de potência se escreve por:

$$S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left| \int_0^T x(t) e^{-i2\pi ft} dt \right|^2 df.$$

Assim:

$$S_T(f) = \frac{1}{T} \left| \int_0^T x(t) e^{-i2\pi ft} dt \right|^2 df,$$

representa a potência média no intervalo T . Para que

$$s(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} S_T(f),$$

seja válido, é necessário ainda que $S_T(f)$ seja um estimador consistente, por exemplo quando $T \rightarrow \infty$ tenhamos:

$$E[S_T(f)] = S(f) \quad e \quad \sigma_{S_T}^2 = 0,$$

uma variância nula quer dizer que $S_T(f)$ toma um único valor (quando $T \rightarrow \infty$) que é $S(f)$. Assim podemos escrever que:

$$S_T(f) = E[S_T(f)], \quad \text{quando } T \rightarrow \infty \text{ se } \sigma_{S_T}^2 = 0,$$

e daí escrevemos:

$$S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E \left[\left| \int_0^T x(t) e^{-i2\pi ft} dt \right|^2 \right]. \quad (\text{A.10})$$

As relações (A.1) e (A.10) constituem duas formas eqüivalentes (mas) diferentes de estimar a densidade espectral de potência de um processo aleatório. Estas duas formas enquadram-se naquilo que se chama estimação espectral clássica, em relação a outros tipos de métodos baseados em modelos paramétricos e/ou de alta resolução [18].

APÊNDICE B – Transformada de Fourier

Em sua versão discreta, a Transformada de Fourier (TF) de um sinal $f(x)$ com N pontos, é calculada por:

$$F(\omega) = \sum_{x=0}^{N-1} f(x)e^{-i\omega x} \quad (\text{B.1})$$

onde x é o sinal, ω é a frequência, $\omega = 2\pi\frac{k}{N}$, $k = 0, 1, \dots, N - 1$, onde k é o índice de frequência.

como resultado da aplicação da TF, obtém-se um conjunto de N coeficientes em que a presença de ruído é preponderante (normalmente em frequências elevadas $\omega > \omega_n$), e aplicando a Transformada de Fourier Inversa (TFI), obtém-se o um sinal mais limpo.

A frequência ω_n é a *Frequência de Nyquist*, e é a frequência máxima que pode ser resolvida pela TF, ou seja se tivermos uma série com N pontos, $\omega_n = N/2$. Qualquer outra frequência superior a ω_n , sobreporá seu sinal ou amplitude de onda, em uma sinal de frequência inferior à ω_n , por exemplo: uma onda frequência ω_h , com $\omega_h > \omega_n$, vai amplificar o sinal da onda de frequência $\omega = N - \omega_n$. Isto produz ruído (e um erro) no espectro, nas regiões de baixa frequência. Uma forma de corrigir o espectro é através de uma remoção da tendência linear na região das baixas frequências. (Kaimal e Finnigan, 1994, pg:264), ou utilizando um filtro passa alta (atenua as baixas frequências).

Este ruído aparece sempre quando ambas condições acontecem:

- Sensor responde à frequências maiores do que a taxa de amostragem do sensor.
- O sinal verdadeiro possui frequências maiores do que a taxa de amostragem.

A correção só é possível através de Filtro Analógico (Tempo Real, Eletrônico). Qualquer outro processo de filtragem digital (Posterior a Coleta), não funciona, pois é IMPOSSÍVEL saber qual porção da amplitude da onda, nas frequências solúveis é real, e qual foi a sobreposição que recebeu.

A TF é aplicada para conjuntos de dados de duração infinita, porém sabemos que na Meteorologia da Camada Limite nada tem periodicidade infinita por um tempo infinito.

Então, geralmente escolhemos um intervalo da série de dados (janela), porém este procedimento causa um problema conhecido como "Fenômeno de Gibbs" ou "efeito de borda", resultando em freqüências espúrias, também chamadas de *red noise* [35], quando houver uma tendência linear no sinal, nas janela escolhida. A TF entende que esta janela periódica. Devido a existência desta tendência linear (gerando o efeito de borda), ao unir as extremidades para ter um caráter periódico, a TF encara a série como modelo "Dente de Serra" (Figura 29), cuja expansão exige muitos termos de senos e cossenos para descrevê-la de uma forma mais suave, e estas inúmeras freqüências, "sujam" o espectro nas regiões de baixas freqüências, uma alternativa é remover a tendência linear do intervalo, embora ainda permaneça, com amplitude menor, o comportamento dente de serra ainda persiste, e neste caso pode-se utilizar filtros como: *Bell Taper* para criar um decaimento suave nas extremidades (ver fig. 8.7; Stull, 1988, pg: 309).

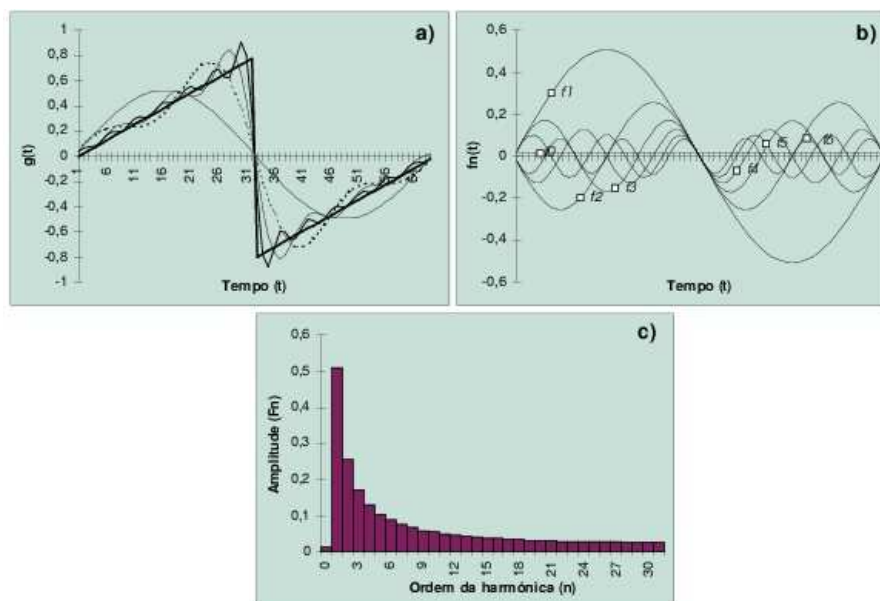


Figura 29: Decomposição de uma função $g(t)$ ("dente de serra") em suas componentes harmônicas. **Fonte:** Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, *Corrente Alternada, Cadeira de Eletricidade e Magnetismo, Curso de Informática 1997/98*.

Na (Figura 29), temos: **a)** A função $g(t)$ (traço mais grosso) é definida através de seu valor em 64 pontos equidistantes. Sobrepostas ao traço mais fino estão representadas a soma das primeiras 2,4,8 e 16 componentes, sendo de notar que a aproximação à

função original é mais perfeita conforme aumenta o número de componentes incluídas na série de Fourier. **b)** Gráfico das 7 primeiras componentes de $g(t)$, ($f_0(t)$ a $f_6(t)$). A $f_1(t)$ chama-se frequência fundamental e as restantes componentes chamam-se as harmônicas de ordem 2,3, etc.; a harmônica de ordem 0 ($f_0(t)$) é uma constante igual ao valor médio da função. **c)** O espectro em frequência de $g(t)$. sendo esta função definida em 64 pontos, apenas são necessárias 32 componentes harmônicas para sua representação exata.

Referências

- [1] Aubinet, M., Ciaccia, A., Elbers, I., Grelle, A., Ibrom, A., Moncrieff, J. B., Masheeder, J., Pilegaard, K., Rebman, C., Shurpali, N., Valentine, R.:1997, *A List of Recommended Formulas For Eddy Covariance Computations*, EUROFLUX Framework IV: Environment and Climate Programme.
- [2] Aubinet, M., Grelle, A., Ibrom, A., Rannik, Ü., Moncrieff, J. B., Foken, T., Kowalsky, A. S., Martin, P. H., Berbingier, P., Bernhofer, Ch., Clement, R., elbers, J., Granier, A., Grünwald, T., Morgenstern, K., Pilegaard, K., Rebmann, C., Snijders, W., Valentini, R., Vesala, T.:1998, *Estimates Of The Annual Net Carbon and Water Exchange Of European Forests: The EUROFLUX Methodology*, sub. To Adv. Ecol. Res.
- [3] Baldocchi, D.D., wilson, K., Paw, U. K. T.:1998, *On Measuring Net Ecosystem Carbon Exchange In Complex Terrain Over Tall Vegetation*, Global Change Biology, submitted.
- [4] Baldocchi, D.D.:2003, *Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future*, Global Change Biology. **9**, 479-492.
- [5] Barcza, Z.:2001, *Long term atmosphere/biosphere exchange of CO₂ in Hungary*, Ph.D. Dissertation by Zoltán BARCZA, Geography/Earth Sciences Doctoral Program, Eötvös Loránd University, **2001**.
- [6] Bendat, J. S., Piersol, A. G.:1990, *Random Data - Analysis And Measurement Procedures*, 2nd Ed., Wiley, New York.
- [7] De Bruin, H. A. R. and Hartogensis, O. K.:2004 (In press), *Variance Method to Determine Turbulent Fluxes of Momentum and Sensible Heat in the Stable Atmospheric Surface Layer*, Boundary-Layer Meteorology. **00**, 1-9.
- [8] Degrazia, G. A., Goulart, A. G.: *Aplicação Da Dinâmica De Fluidos Em Escamentos Na Camada Limite Atmosférica*, II Escola De Inverno De Física-2005, Universidade Federal de Santa Maria, Edição Especial Agosto 2005, Revista Ciência e Natura, 10-57.
- [9] Duchon, Claude E.:1979, *Lanczos Filtering in One and Two Dimensions*, Journal of Applied Meteorology. **18**, 1016-1022.
- [10] Helers, R. S.: *Análise de Séries Temporais*, Departamento de Estatística, Universidade Federal do Paraná, 2 Ed., Curitiba, 2004.
- [11] Franceschi, M. DE. Zardi, D *Evaluation of cut-off frequency and correction of filter-induced phase lag and attenuation in eddy covariance analysis of turbulence data*. Boundary-Layer Meteorology 108,2003.

- [12] Franceschi, M. DE.: *Investigation Of Atmospheric boudary Layer Dynamics In Alpine Valleys*, 2004, 136p, Tese (Doctoral in Environmental Engineering) - Università Degli Studi Di Trento, Trento, Italy, 2004.
- [13] Goulden, M. L., Munger, J. W., Fan, S. M., Daube, B. C., Wofsy, S. C.:1996,*Measurements Of Carbon Sequestration By Long-Term Eddy Covariance: Methods And A Critical Evaluation Of Accuracy*, *Global Change Biology*. **2**, 169-182.
- [14] Grace, J., Malhi, Y., Lloy, J., McIntyre, J., Miranda, A. C., Meir, P., Miranda, H. S.:1996,*The Use Of Eddy Covariance To Infer The Net Carbon Dioxide Uptake Of Brazilian Rain Forest*, *Global Change Biology*. **2**, 209-217.
- [15] Guenni, O., Douglas, M., Baruch, Z.:2002,*Responses to drought of five Brachiaria species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality*, *Plant and Soil*. **243**, 229-241.
- [16] Haugen, D. A.:1978,*Effects os sampling rates and averaging periods on meteorological measurements.*, In. Proc. Fourth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation, April 1978, Denver, CO, American Meteorological Society, Boston, MA, 15-18.
- [17] Hinze, J. O.:1975,*Turbulence.*, McGraw-Hill.
- [18] Jesus, S. M.:1999/00,*Estimação Espectral e Aplicações*,Curso: Engenharia de Sistemas e Computação,Faculdade de Ciências e Tecnologia, University of Algarve.
- [19] Kaimal, J. C. and Finnigan, J. J.:1994,*Atmospheric Boundary layer Flows: Their Structure and Measurements*, Oxford Press. 289pp.
- [20] Libby, P. A.:1996,*Introduction to Turbulence.*, Combustion: An Internacional Series, Taylor & Francis.
- [21] Lee, X.:1998,*On Micrometeorological Observations of Surface-Air Exchange Over Tall Vegetation*, *Agricultural and Forest Meteorology*, in press.
- [22] Lin, C. C.:1953,*On Taylor's Hypothesis and the Acceleration terms in the Navier-Stokes Equation.*, *Quarterly Applied Math.*, **10**:295
- [23] Lin, C. C; Reid, W. H.:1963,*Handbuch der Physic.,volume VIII/2, chapter Turbulent Flow. Theoretical Aspects.*, Springer-Verlag, 438-523.
- [24] Lisieur, M.:1997,*Turbulence In Fluids*, 3rd Ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [25] Lumley, J. L., Panofsky, H. A.:1964,*The Structure Of The Atmospheric Turbulence.*, John Wiley e Sons, London, 232pp.
- [26] McMillen, R. T.:1988,*An Eddy Correlation Technique With Extended Applicability To Non-Simple Terrain*, *Boundary-Layer Meteorology*, **43**, 231-245.
- [27] Moncrieff, J. B., Valentini, R., Greco, S., Seufert, G., Ciccioli, P.:1997a,*Trace Gas Exchange over Terrestrial Ecosystems: Methods And Perspectives In Micrometeorology*, *Journal Of Experimental Botany*, 1113-1142.

- [28] Moraes, O. L. L., Acevedo, O. C.:2004,*Camada Limite Planetária-Problemas Com Medições E Interpretação De Dados*,Turbulência, Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, **Vol. 4**, 109-136.
- [29] Moraes, O. L. L., Acevedo, O. C. *et al.*:2005,*Surface Layer Turbulence Parameters Over A Complex Terrain*, Atmospheric Environment, **39**, 3103-3112.
- [30] Rannik Ü and Vesala, T.:1999,*Autoregressive Filtering Versus Linear Detrending in Estimation of Fluxes by The Eddy covariance Method*, Boundary-Layer Meteorology. **91**, 259-280.
- [31] Reynolds, O.:*On The Dynamical Theory of Incompressible Viscous Fluids And The Determination Of The Criterion.*, Philosophic Theory Of The Royal Society Of London, A, Vol. 168, 123-164pp.
- [32] Sakai, R. K.: *Observational Study Of Turbulent Exchange Between The Surface and Canopy Layer Over Several Forest Types*, 2000, 182p, Tese de Doutorado - University at Albany, State University of New York, New York, USA, 2000.
- [33] Silva, J. R. P. Da.:2001,*Balanço De Carbono Sobre Uma Plantação De Eucalipto, O Problema De Quioto*, Trabalho de final de curso, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico.
- [34] Silvestrini, H. J. e Möller, S. V.:2004,*Turbulência*, Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, **Vol. 4**, 231pp.
- [35] Stull, R. B.:1988,*An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Academic, 637pp.