



Sheila Cristina Zani

**Filtros ótimos que conservam
qualquer ordem de tendência**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza

Co-orientador: Prof. Eduardo Antônio Barros da Silva

Rio de Janeiro

Julho de 2008



Sheila Cristina Zani

**Filtros ótimos que conservam
qualquer ordem de tendência**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Dr. Reinaldo Castro Souza
Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Eduardo Antônio Barros da Silva
Co-orientador
UFRJ-COPPE

Dr. Basílio de Bragança Pereira
UFRJ

Dr. José Francisco Moreira Pessanha
CEPEL

Dr. Gutemberg Hespanha Brasil
UFES

Dra. Ana Carolina Letichevsky
Fundação Cesgranrio

Dra. Monica Barros
Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Paulo Cezar Pinto Carvalho
IMPA

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 15 de agosto de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Sheila Cristina Zani

Mestre em Engenharia Elétrica, na área de Métodos de Apoio à Decisão, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO). É bacharel em Ciências Estatísticas, formada pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE). Fez curso de especialização em Amostragem (ENCE) e mestrado em Estatística (UFRJ), sem tese. Desenvolveu a metodologia de cálculo dos índices de preço e volume para comércio exterior brasileiro nas séries anuais e trimestrais; implantou o método de ajuste – DENTON – para ajustar os dados de alta frequência aos dados de baixa frequência. Atualmente é responsável pelo ajuste sazonal das séries das Contas Trimestrais brasileiras e coordena o projeto Produto Interno Bruto dos Municípios. É co-autora do livro PROGRESSÕES E MATEMÁTICA FINANCEIRA, editado pela Sociedade Brasileira de Matemática (SBM) e pelo Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA-CNPq), já em 3ª edição.

Ficha Catalográfica

Zani, Sheila Cristina

Filtros ótimos que conservam qualquer ordem de tendência / Sheila Cristina Zani ; orientador: Reinaldo Castro Souza; co-orientador: Eduardo Antônio Barros da Silva. – 2008.

246 f. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Filtros simétricos. 3. Filtros de Henderson. 4. Ajuste sazonal. 5. Método X11. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Silva, Eduardo Antônio Barros da. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

Amor é fogo que arde sem se ver,
é ferida que dói, e não se sente;
é um contentamento descontente,
é dor que desatina sem doer.

É um não querer mais que bem querer;
é um andar solitário entre a gente;
é nunca contentar-se de contente;
é um cuidar que ganha em se perder.

É querer estar preso por vontade;
é servir a quem vence, o vencedor;
é ter com quem nos mata, lealdade.

Mas como causar pode seu favor
nos corações humanos amizade,
se tão contrário a si é o mesmo Amor?

Ao Morgado,
quem mais me ensinou e com quem eu mais aprendi

Agradecimentos

Muito mais do que cumprir uma mera formalidade escrevo sobre uma verdadeira rede de solidariedade e de muito, muito afeto.

- Ao Professor Reinaldo Castro e Souza, meu eterno orientador, por sua sábia e serena orientação, marcada pela excelência acadêmica e profunda sensibilidade, bem como pela confiança que desde o início demonstrou em minha capacidade; por ser um interlocutor paciente e generoso e pela coragem de ousar trabalhar com novas idéias e conceitos, correndo os riscos inerentes a esta atitude. Pela compreensão silenciosa dos momentos difíceis pelos quais passei, permitindo que meu tempo interno fluísse respeitosamente. Pela alegria de trabalharmos juntos. Por sua amizade, principalmente.
- Ao Professor Eduardo Antônio Barros da Silva que, sempre presente, co-orientou esta tese com competência, aguçado juízo crítico e extrema dedicação. Na qualidade de amigo e co-orientador, agradeço os tantos e inesquecíveis diálogos, a hospitalidade nas várias idas à sua casa e a troca de infinitos e-mails, todos respondidos quase que em tempo real. Sou inteiramente grata por essa orientação que ultrapassa a tese, bem como o imenso carinho nos momentos de dificuldade e de dor. Agradeço, sobretudo, o privilégio de haver trabalhado em um tema para o qual você tanto vem contribuindo, seja nas aulas na COPPE ou nos trabalhos que vem desenvolvendo. Obrigado por estar sempre disposto a me ajudar e por ter se tornado o primeiro nome que me vem a mente quando preciso de socorro!
- Aos professores Basilio de Bragança Pereira, José Francisco Moreira Pessanha, Gutemberg Hespanha Brasil, Ana Carolina Letichevsky, Mônica Barros e Paulo Cezar Pinto de Carvalho; por terem prontamente aceito participar da banca da defesa e contribuído com seus conhecimentos e experiências, não apenas em relação ao tema da tese como também pelo rigor acadêmico do texto e pelas sugestões que foram incorporadas à versão final;
- À Maria Alcina, secretária do Departamento de Engenharia Elétrica, anjo da guarda, por seu substancial apoio em minha trajetória acadêmica desde a inscrição no curso de mestrado até a entrega da tese de doutorado;
- À amiga Fátima, pela sinceridade de uma amizade, pois vimos que a distância não é suficiente para separar os amigos nem acabar com as longas conversas noturnas, porque mesmo à distância fez chegar, de diversas formas, seus incentivos e carinhoso cuidado e por ter me apoiado incondicionalmente, incentivando-me a prosseguir;

- À amiga Mônica, sou profundamente grata, pela indescritível solidariedade e afeto inestimável, que se traduziram sempre em entusiasmadas respostas, continuado estímulo e valiosa parceria, nas longas e cúmplices conversas;
- À amiga Ana Carolina, que esteve sempre por perto, fosse para cuidar dos aspectos práticos da minha vida, fosse pela atenção sempre zelosa bem como pelo cuidado, pela ajuda e torcida pelo término da tese. Como eu sempre falo, você não existe.
- À amiga Raquel, sempre tão dedicada e preocupada comigo e com a tese, pela compreensão, paciência e apoio durante a realização deste trabalho.
- À melhor estagiária do mundo, Gisele, pela alegria, pelo entusiasmo, pelo carinho, pela juventude e pelo apoio.
- Ao amigo Valdilson, pela proteção, direta ou indireta, visível ou invisível, nessa longa travessia, assim como pela confiança e compreensão. Devo dizer-lhe que aprendi com você a generosa solidariedade e o carinho desprendido.
- À Claríssima, por ter me emprestado sua força para que eu não caminhasse sozinha, pela lealdade, pelos nababescos jantares, pelos cuidados com a minha filha, comigo e pelos meus e, pelo eterno bom humor;
- À Marcia, assessora do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC, pelo carinho da mesma forma que a prestimosa e indispensável colaboração em muitos momentos ao longo desse período;
- À Ana e ao Flávio, pela acolhida carinhosa e por sempre oferecer uma palavra de incentivo a minha auto-estima;
- À Dona Carmem, que participa da minha vida sempre com muita disposição e que continua me ajudando com seus saberes e experiências;
- Ao Alfredo, Márcia, Marinalva e para todo o grupo dos amigos de Belford Roxo, um agradecimento especial pela acolhida e sincera solicitude, bem como pelo muito que me ensinaram;
- Ao Dr. Azor de Lima, Dr. Clemente, Dr. Alexandre Paladino e ao Dr Marcelo Salgado, meu reconhecimento pela demonstração sólida do uso da ciência e a disponibilidade com que atenderam às minhas inúmeras solicitações;
- Aos Departamentos de Informática e de Engenharia Elétrica da PUC-RIO, por terem acreditado na minha capacidade e fornecido uma bolsa de isenção de mensalidade;
- À Fundação IBGE, por ter valorizado a minha formação e acreditado no meu compromisso.

Finalmente à minha família:

- Aos meus pais, José e Cleonice, presença essencial em toda a minha vida, os mais profundos agradecimentos por suas sábias lições de esperança; sempre repetindo palavras essenciais – como, por exemplo, amor, crença, compreensão, alegria – infundiram-me a confiança necessária para realizar os meus sonhos mesmo quando não concordavam com as minhas escolhas;
- À minha saudosa avó, Luiza Maria, pelo seu caráter e discernimento, ensinou-me a ter coragem de prosseguir sempre, fazendo sempre o melhor possível. A mais real ilustração do ditado “antes quebrar do que torcer”;
- Às minhas irmãs Vânia, Mara e Sandra, referências permanentes, por estarem sempre prontas a me ajudar em qualquer circunstância e em qualquer hora e aos meus lindos sobrinhos: Carolina, Raísa, Pedro, Karina, Bruna e a pequena Beatriz, meu muito obrigada pela compreensão quanto ao afastamento e ausência em momentos especiais;
- Ao Mendonça, por existir, quando os problemas da vida me deixaram triste, você me fez sorrir. Obrigada, pelo zelo, pelo carinho, pela admiração, pelo estímulo, por estar sempre comigo, pela cumplicidade, pelos ouvidos sempre disponíveis, mesmo quando não tenho nada de importante para dizer, por tantas vezes ter saído comigo só para "me ver chorar" e, principalmente pelas implicâncias, muitas vezes era isso que faltava para me ajudar.
- À Luciana, que se fez presente em um momento tão delicado na minha vida e que permaneceu sempre junto de nós, agradeço também pelo carinho, pelo apoio irrestrito e, principalmente pelo afeto demonstrado pela Helena;
- À minha filha Helena que traz tanta luz e gosto para minha vida, um amor especial. Você é a lição mais profunda que vivi de ética, dignidade e amor... Saudável adolescente naquele começo do Curso, da mesma forma que hoje, já no fim da adolescência, soube compreender todas as minhas buscas e angústias – as existenciais e as teóricas – sendo atenta, terna, companheira enfim declaro que pela minha filha, Helena, e só por ela, esta trajetória se iniciou e, de modo surpreendente, ensinou-me que, precisaria ser completada. Obrigada minha linda!

Há muito mais a quem agradecer... A todos aqueles que, embora não nomeados, me brindaram com seus inestimáveis apoios em distintos momentos e por suas presenças afetivas inesquecíveis, o meu reconhecido e carinhoso muito obrigada!

Resumo

Zani, Sheila Cristina; Souza, Reinaldo Castro (Orientador). **Filtros ótimos que conservam qualquer ordem de tendência**. Rio de Janeiro, 2008. 246p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do rio de Janeiro

A tese “**Filtros ótimos que conservam qualquer ordem de tendência**” **aborda** os fundamentos dos filtros simétricos de Henderson que estão inseridos no contexto de ajuste sazonal, mais especificamente nos métodos da família X11; **desenvolve** um filtro ótimo, baseado em técnicas do domínio da frequência, utilizando hipóteses mais amplas que os filtros de Henderson; **compara** a performance dos dois filtros e **propõe** um método de ajuste sazonal baseado no filtro ótimo.

Palavras-chave

Filtros simétricos, filtros de Henderson, ajuste sazonal, método X11

Abstract

Zani, Sheila Cristina; Souza, Reinaldo Castro (Advisor). **Filtros ótimos que conservam qualquer ordem de tendência**. Rio de Janeiro, 2008. 246p. Doctorate Thesis – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The thesis “**Filtros ótimos que conservam qualquer ordem de tendência**” (Optimal Filters that Preserve Trend of Any Order), investigates the principles of the Henderson symmetric filters, which are inserted in the context of seasonal adjustment, specifically in the methods of the X11 family; it also develops optimal filters, based on techniques in the Frequency domain, using more general hypothesis than the ones for the Henderson filters; and **compares** the performance of the both filters and **suggests** a method of seasonal adjustment based on the optimal filter.

Keywords

Symmetric filters, Henderson filters, seasonal adjustment, X11 method.

Sumário

Apresentação	23
1. Introdução	24
1.1. O Problema	24
1.2. O Propósito	28
1.3. Organização da Tese	28
2. Os métodos da família X11	30
2.1. Introdução	30
2.2. O método X11	31
2.2.1. Um brevíssimo histórico	31
2.2.2. Um algoritmo simples de ajuste sazonal	32
2.2.3. O algoritmo de base do método X11	33
2.2.4. O passo a passo do método X11	44
3. Filtro de Henderson	120
3.1. Preliminares	120
3.2. Metodologia de cálculo	123
3.3. A escolha do tamanho dos filtros de Henderson no X11	131
4. Proposta de obtenção de novos pesos	133
4.1. Análise no domínio da frequência	133
4.1.1. Introdução	133
4.1.2. Autocovariância	136
4.1.3. Análise de Fourier	137
4.1.4. Análise espectral	138
4.1.5. Função de ganho	139
4.1.6. Função de fase	143
4.2. Filtros ótimos conservando tendência de ordem arbitrária	145
4.3. Uma abordagem mais geral dos filtros	155
4.4. Resultados	164
4.5. Simulação	172
4.5.1. Tendência cúbica com ruído $N(0,1)$	172
4.5.2. Tendência elevada a quarta potência com ruído $N(10,81)$	175
4.5.3. Tendência elevada a quinta potência com ruído $N(10,81)$	178
4.5.4. Discussão dos resultados	181
4.6. O comportamento dos filtros quando utilizados no procedimento X11	182
4.7. Os filtros assimétricos	190
5. Proposta de um método de ajuste sazonal	195
5.1. Introdução	195
5.2. Procedimento	196
5.3. Aplicação no caso do modelo aditivo	199
5.4. Aplicação no caso do modelo multiplicativo	208
5.5. Aplicação no caso do modelo multiplicativo	219

6. Conclusões e Trabalhos Futuros	234
6.1. Conclusões	234
6.2. Trabalhos Futuros	235
Referências bibliográficas	237
Anexo 1 - Modelo de detecção e correção dos valores atípicos	240
Anexo 2 - Valores dos somatórios empregados na dedução	246

Lista de ilustrações

Gráfico 2.1– Série original – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003.	37
Gráfico 2.2 – Série original e primeira estimativa da tendência – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003.	37
Gráfico 2.3 – Primeira estimativa da tendência e da sazonalidade – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003.	38
Gráfico 2.4 – As duas primeiras estimativas da tendência – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003.	38
Gráfico 2.5 – As duas primeiras estimativas da sazonalidade – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003.	38
Gráfico 2.6 – Componente sazonal-irregular de cada mês – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003 (Tabela B3 do método X11).	48
Gráfico 2.7 – Componente irregular e seus limites de confiança – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003.	60
Gráfico 2.8 – Componente irregular e seus novos limites de confiança – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003.	62
Gráfico 2.9 – Função de pesos.	63
Gráfico 2.10 – Componente irregular e seus limites de confiança.	83
Gráfico 2.11 – Componente irregular e seus novos limites de confiança.	85
Gráfico 2.12 – Distribuição da componente irregular por grupo de meses e sua média.	97
Gráfico 2.13 – Componente irregular e seus limites de confiança.	112
Gráfico 2.14 – Componente irregular e seus novos limites de confiança	113
Gráfico 4.1 – Gráfico da série no domínio do tempo.	134
Gráfico 4.2 – Gráfico do espectro da série.	135
Gráfico 4.3 – Exemplo de função de ganho para uma média móvel de doze termos.	141
Gráfico 4.4 – Amortecimento da série utilizando a média móvel assimétrica.	143
Gráfico 4.5 – Comparação entre os coeficientes oriundos do Filtro Proposto e os do Filtro de Henderson – Filtro de tamanho 5.	144
Gráfico 4.6 – Comparação entre os coeficientes oriundos do Filtro Proposto e os do Filtro de Henderson – Filtro de tamanho 7.	165
Gráfico 4.7 – Comparação entre os coeficientes oriundos do Filtro Proposto e os do Filtro de Henderson – Filtro de tamanho 9.	165

Gráfico 4.8 – Comparação entre os coeficientes oriundos do Filtro Proposto e os do Filtro de Henderson – Filtro de tamanho 13.	166
Gráfico 4.9 – Comparação entre os coeficientes oriundos do Filtro Proposto e os do Filtro de Henderson – Filtro de tamanho 23.	166
Gráfico 4.10 – Comparação entre a função de ganho do Filtro Proposto e a do Filtro de Henderson – Filtro de tamanho 5.	167
Gráfico 4.11 – Comparação entre a função de ganho do Filtro Proposto e a do Filtro de Henderson – Filtro de tamanho 7.	168
Gráfico 4.12 – Comparação entre a função de ganho do Filtro Proposto e a do Filtro de Henderson – Filtro de tamanho 9.	168
Gráfico 4.13 – Comparação entre a função de ganho do Filtro Proposto e a do Filtro de Henderson – Filtro de tamanho 13.	169
Gráfico 4.14 – Comparação entre a função de ganho do Filtro Proposto e a do Filtro de Henderson – Filtro de tamanho 23.	169
Gráfico 4.15 – Série simulada com tendência cúbica e ruído $N(0,1)$	170
Gráfico 4.16 – Série simulada com tendência cúbica e ruído $N(0,1)$	172
Gráfico 4.17 – Gráfico 4.17 – Histograma do ruído estimado pelo Filtro Proposto – Série simulada com tendência cúbica e ruído $N(0,1)$	174
Gráfico 4.18 – Gráfico 4.18 – Histograma do ruído estimado pelo Filtro de Henderson – Série simulada com tendência cúbica e ruído $N(0,1)$	174
Gráfico 4.19 – Gráfico 4.19 – Séries do ruído gerado na série simulada com tendência cúbica e do ruído gerado pelos Filtros Propostos e de Henderson	175
Gráfico 4.20 – Gráfico 4.20 – Série simulada com tendência elevada a quarta potência com ruído $N(10,81)$	176
Gráfico 4.21 – Histograma do ruído estimado pelo Filtro Proposto – Série estimada com tendência elevada a quarta potência com ruído $N(10,81)$	177
Gráfico 4.22 – Histograma do ruído estimado pelo Filtro de Henderson – Série estimada com tendência elevada a quarta potência com ruído $N(10,81)$	177
Gráfico 4.23 – Séries do ruído gerado na série simulada com tendência elevada a quarta potência com ruído $N(10,81)$	178
Gráfico 4.24 – Série simulada com tendência elevada a quinta potência com ruído $N(10,81)$	179
Gráfico 4.25 – Histograma do ruído estimado pelo Filtro Proposto – Série estimada com tendência elevada a quinta potência e ruído $N(10,81)$	180
Gráfico 4.26 – Histograma do ruído estimado pelo Filtro de Henderson – Série estimada com tendência elevada a quinta potência e ruído $N(10,81)$	180
Gráfico 4.27 – Séries do ruído gerado na série simulada com tendência elevada a quinta potência com ruído $N(10,81)$	181
Gráfico 4.28 – Estimativas de tendência de uma série livre de sazonalidade utilizando o Filtro Proposto e o Filtro de Henderson	184

Gráfico 4.29 – Segunda estimativa de tendência de uma série livre de sazonalidade utilizando o Filtro Proposto e o Filtro de Henderson	185
Gráfico 4.30 – Terceira estimativa de tendência de uma série livre de sazonalidade utilizando o Filtro Proposto e o Filtro de Henderson	185
Gráfico 4.31 – Séries de tendência utilizando o Filtro Proposto e o Filtro de Henderson	187
Gráfico 4.32 – Séries ajustadas sazonalmente utilizando o Filtro Proposto e o Filtro de Henderson	188
Gráfico 4.33 – Fatores sazonais estimados pelo Filtro Proposto e pelo Filtro de Henderson	188
Gráfico 4.34 – Taxa Trimestral em relação ao trimestre imediatamente anterior utilizando o Filtro Proposto e o Filtro de Henderson	189
Gráfico 4.35 – Série de tendência estimada pelo Filtro de Henderson (tamanho 13) e Filtro Proposto (tamanho 23)	190
Gráfico 4.36 – Médias assimétricas relacionadas com o Filtro Proposto e média simétrica de 9 termos	192
Gráfico 5.1 - Tendência	200
Gráfico 5.2 - Sazonalidade	200
Gráfico 5.3 - Irregular	200
Gráfico 5.4 – Série simulada 1	200
Gráfico 5.5 – Coeficientes sazonais – N=37	201
Gráfico 5.6 – Sazonalidade construída e estimada – Filtro 5 termos.	203
Gráfico 5.7 – Sazonalidade construída e estimada – Filtro 7 termos	205
Gráfico 5.8 – Sazonalidade construída e estimada – Filtro 9 termos	207
Gráfico 5.9 – Tendência construída e estimada	210
Gráfico 5.10 – Sazonalidade construída e estimada	211
Gráfico 5.11 – Irregular construída e estimada	211
Gráfico 5.12 – Série ajustada construída e estimada	212
Gráfico 5.13 – Defasagem do filtro N=9	214
Gráfico 5.14 – Defasagem do filtro N=10	214
Gráfico 5.15 – Defasagem do filtro N=11	214
Gráfico 5.16 – Defasagem do filtro N=12	214
Gráfico 5.17 – Defasagem do filtro N=13	214
Gráfico 5.18 – Defasagem do filtro N=14	214
Gráfico 5.19 – Defasagem do filtro N=15	215
Gráfico 5.20 – Defasagem do filtro N=16	215
Gráfico 5.21 – Defasagem do filtro N=17	215

Gráfico 5.22 – Defasagem do filtro N=18	215
Gráfico 5.23 – Tendência	221
Gráfico 5.24 – Sazonalidade	221
Gráfico 5.25 – Irregular	221
Gráfico 5.26 – Tendência*Sazonalidade	221
Gráfico 5.27 – Tendência*Irregular	222
Gráfico 5.28 – Tendência*Sazonalidade*Irregular	222
Gráfico 5.29 – Série	222
Gráfico 5.30 – Série.amortecida pelo filtro	223
Gráfico 5.31 – Tendência	224
Gráfico 5.32 – Sazonalidade	224
Gráfico 5.33 – Irregular	224
Gráfico 5.34 – Série simulada 2	224
Gráfico 5.35 – Série $Y_t^* = T_t S_t + (T_t I_t)^* + (T_t S_t I_t)^*$	225
Gráfico 5.36 – Série $Y_t^{**} = T_t S_t$	226
Gráfico 5.37 – Série $Y_t^{***} = T_t + T_t I_t + T_t S_t I_t$	226
Gráfico 5.38 – Série Tendência	227
Gráfico 5.39 – Sazonalidade	227
Gráfico 5.40 – Tendência	227
Gráfico 5.41 – Irregular	228
Gráfico 5.42 – Série Ajustada	228
Gráfico 5.43 – Tendência	229
Gráfico 5.44 – Sazonalidade	229
Gráfico 5.45 – Irregular	229
Gráfico 5.46 – Série simulada 3	229
Gráfico 5.47 – Tendência	230
Gráfico 5.48 – Sazonalidade	230
Gráfico 5.49 – Irregular	230
Gráfico 5.50 – Série simulada 4	230
Gráfico 5.51 – Tendência	231
Gráfico 5.52 – Sazonalidade	231
Gráfico 5.53 – Irregular	231
Gráfico 5.54 – Série simulada 5	231

Lista de figuras

Figura 1.1 – Classificação dos principais métodos de ajuste sazonal	25
Figura 2.1 – Esquema simplificado de funcionamento do método X11.	41
Figura 2.2 – Esquema de funcionamento do método X12-ARIMA adaptado de Findley e outros (1998).	42
Figura 2.3 – Esquema etapa B do algoritmo X11	119
Figura 3.1 – Triângulo aritmético	127
Figura 4.1 – Critérios de seleção da média móvel sazonal	186
Figura 5.1 – Esquema básico do procedimento de filtragem.	196

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Série original – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003 (Tabela B1 do método X11)	46
Tabela 2.2 – Tendência – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003 (Tabela B2 do método X11)	47
Tabela 2.3 – Componente sazonal-irregular – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003 (Tabela B3 do método X11)	48
Tabela 2.4 – Teste da presença de sazonalidade estável (Tabela B3.1 do método X11)	50
Tabela 2.5 – Fatores sazonais provisórios – MM3X3	55
Tabela 2.6 – Média móvel centrada – $M_{2 \times 12}$	56
Tabela 2.7 – Fatores sazonais preliminares normalizados	57
Tabela 2.8 – Componente irregular estimada	57
Tabela 2.9 – Pesos associados aos valores da componente irregular.	64
Tabela 2.10 – Valores substitutos para os pontos atípicos da componente sazonal-irregular – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003 (Tabela B4 do método X11)	65
Tabela 2.11 – Componente sazonal-irregular corrigida (Tabela B5 do método X11)	66
Tabela 2.12 – Fatores sazonais provisórios – MM3X3	68
Tabela 2.13 – Média móvel centrada e 12 termos	69
Tabela 2.14 – Coeficientes sazonais	70
Tabela 2.15 – Série corrigida das variações sazonais (Tabela B6 do método X11)	70
Tabela 2.16 – Tendência (médias móveis de Henderson de 13 termos).	73
Tabela 2.17 – Componente irregular.	74
Tabela 2.18 – Taxas de crescimento da tendência (em %).	75
Tabela 2.19 – Taxas de crescimento da componente irregular (em %).	75
Tabela 2.20 – Estimativa da tendência utilizando uma média de Henderson de 13 termos (Tabela B7 do método X11)	77
Tabela 2.21 – Estimativa da componente sazonal-irregular – indicador de produção física da indústria brasileira – 1985 a 2003 (Tabela B8 do método X11)	77
Tabela 2.22 – Fatores sazonais provisórios – média móvel 3X5.	80
Tabela 2.23 – Média móvel centrada – 12 termos.	81

Tabela 2.24 – Fatores sazonais preliminares normalizados.	81
Tabela 2.25 – Componente irregular estimada.	82
Tabela 2.26 – Pesos associados aos valores da componente irregular.	87
Tabela 2.27 – Valores substitutos para os pontos atípicos da componente sazonal-irregular (Tabela B9 do método X11).	88
Tabela 2.28 – Componente sazonal-irregular corrigida (Tabela B9g do método X11).	89
Tabela 2.29 – Fatores sazonais provisórios – média móvel 3X5 (Tabela B5a do método X11)	91
Tabela 2.30 – Média móvel centrada de 12 termos	92
Tabela 2.31 – Coeficientes sazonais (Tabela B10 do método X11)	92
Tabela 2.32 – Série corrigida das variações sazonais (Tabela B11 do método X11)	93
Tabela 2.33 – Componente irregular (Tabela B11 do método X11)	94
Tabela 2.34 – Repartição dos meses pelos 15 grupos	96
Tabela 2.35 – Desvio da média em valores absolutos	98
Tabela 2.36 – Quadrado dos desvios em relação a média	98
Tabela 2.37 – Repartição dos meses pelos 15 grupos, excluindo os valores atípicos	100
Tabela 2.38 – Desvios em relação à média, excluindo os valores atípicos.	101
Tabela 2.39 – Quadrado dos desvios em relação a média, excluindo os valores atípicos.	101
Tabela 2.40 – Valores da componente irregular que são excluídos da regressão para os dias trabalhados (Tabela B14 do método X11).	102
Tabela 2.41 – Tabela da ANOVA.	106
Tabela 2.42 – Coeficientes estimados pelo modelo de regressão linear.	107
Tabela 2.43 – Coeficientes estimados, incluindo o domingo, pelo modelo de regressão linear.	108
Tabela 2.44 – Coeficientes combinados e o número de dias em janeiro de 1985.	109
Tabela 2.45 – Coeficientes de ajuste para os dias trabalhados extraídos da regressão (Tabela B16 do método X11).	110
Tabela 2.46 – Componente irregular corrigida dos efeitos de dias trabalhados.	110
Tabela 2.47 – Pesos associados aos valores da componente irregular (Tabela B17 do método X11).	115
Tabela 2.48 – Coeficientes para estimação dos dias trabalhados combinados (Tabela B18 do método X11).	116
Tabela 2.49 – Série bruta corrigida dos efeitos de dias trabalhados (Tabela B19 do método X11).	117

Tabela 2.50 – Valores de correção dos pontos atípicos.	118
Tabela 4.2 – Filtros que conservam a tendência cúbica de tamanho 9	192
Tabela 4.3 – Filtros que conservam a tendência cúbica de tamanho 13	193
Tabela 4.4 – Filtros que conservam a tendência cúbica de tamanho 23	194

Lista de quadros

Quadro 2.1 – Coeficientes das médias móveis assimétricas 3X3	52
Quadro 2.2 – Desvios-padrão móveis – 5 anos	59
Quadro 2.3 – Reestimação dos desvios-padrão móveis – 5 anos	61
Quadro 2.4 – Diferenças entre as estimativas dos fatores sazonais obtidos nas etapas B4a e B5a	67
Quadro 2.5 – Coeficientes das médias móveis de Henderson sobre 13 termos	72
Quadro 2.6 – Coeficientes das médias móveis assimétricas de Musgrave associadas à média móvel de Henderson sobre 13 termos	76
Quadro 2.7 – Coeficientes das médias móveis assimétricas 3X5	79
Quadro 2.8 – Estimação dos desvios padrões móveis – 5 anos	84
Quadro 2.9 – Estimação dos desvios padrões móveis – 5 anos	112
Quadro 3.1 – Coeficientes de Henderson para diversos tamanhos de médias móveis	130
Quadro 4.1 – Coeficientes, soma dos quadrados dos coeficientes e fator de redução de variância – Filtros de tamanho: 5, 7, 9, 13 e 23.	171
Quadro 4.2 – Média e desvio padrão do ruído, do Filtro Proposto e do Filtro de Henderson – Série simulada com tendência cúbica e ruído $N(0,1)$	173
Quadro 4.3 – Média e desvio padrão do ruído, do Filtro Proposto e do Filtro de Henderson – Série simulada com tendência elevada a quarta potência e ruído $N(10,81)$	176
Quadro 4.4 – Média e desvio padrão do ruído, do Filtro Proposto e do Filtro de Henderson – Série simulada com tendência elevada a quinta potência e ruído $N(10,81)$	179
Quadro 4.5 – Média e desvio padrão do ruído, do Filtro Proposto e do Filtro de Henderson	181
Quadro 4.6 – Média, variância e coeficiente de variação obtidos nos Filtros Propostos e de Henderson em diferentes etapas do método X11	183
Quadro 5.1 – Resultados da aplicação do modelo aditivo na série simulada 1 – Filtro sazonal 5 termos	202
Quadro 5.2 – Resultados da aplicação do modelo aditivo na série simulada 1 – Filtro sazonal 7 termos	204
Quadro 5.3 – Resultados da aplicação do modelo aditivo na série simulada 1 – Filtro sazonal 9 termos	206
Quadro 5.4 – Resultados da aplicação – RMSE – Filtro 5, 7 e 9 termos	207
Quadro 5.5 – Resultados da aplicação – Tamanho – Filtro 5, 7 e 9 termos	208

Quadro 5.6 – Resultados da aplicação do método X11	209
Quadro 5.7 – Resultados da aplicação – RMSE – Filtro 5, 7 e 9 termos e X11	209
Quadro 5.8 – Resultados da aplicação – Tamanho – Filtro 5, 7 e 9 termos e X11	210
Quadro 5.9 – Resultados da aplicação do método utilizando os filtros simétricos e os assimétricos	213
Quadro 5.10 – Resultados da aplicação – RMSE – Filtros simétricos e assimétricos de 9 termos e do X11	213
Quadro 5.11 – Resultados da aplicação do método X11 utilizando os filtros simétricos de tamanhos gradativamente menores	216
Quadro 5.12 – Resultados da aplicação – RMSE – Filtros simétricos utilizados no lugar dos assimétricos de 9 termos e do X11	216
Quadro 5.13 – Quadro 5.13 – Esquema do método de ajuste sazonal proposto – modelo aditivo	218
Quadro 5.14 – Séries simuladas	219
Quadro 5.15 – Resultados da aplicação – modelo multiplicativo e X11	228
Quadro 5.16 – Resultados da aplicação – modelo multiplicativo com tendência cúbica	229
Quadro 5.17 – Resultados da aplicação – modelo multiplicativo com tendência elevada a quarta potência	230
Quadro 5.18 – Resultados da aplicação – modelo multiplicativo - sazonalidade não senoidal	231
Quadro 5.19 – Resultados da aplicação – modelo log aditivo - sazonalidade não senoidal	232
Quadro 5.20 – Quadro 5.20 – Esquema do método de ajuste sazonal proposto – modelo multiplicativo	233

Lista de siglas e abreviaturas

ARIMA - Autoregressive Integrated Moving Average

BAYSEA - Bayesian Seasonal Adjustment

BV4 - Berliner Verfahren

CONAC - Coordenação de Contas Nacionais

COIND - Coordenação de Indústria do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EUROSTAT - Statistical Office of the European Commission

LOWESS - Locally Weighted regression Scatterplot Smoothing

MM - Média Móvel

MMS - Média Móvel Sazonal

PIB - Produto Interno Bruto

SABL - Seasonal Adjustment at Bell Laboratories

SCN - Sistema de Contas Nacionais

SEATS - Signal Extraction in ARIMA Time Series

SNA - System of National Accounts

STAMP - Structural Time series Analyser, Modeller and Predictor

STL - Seasonal Trend decomposition procedure based on Loess

TRAMO - Time series Regression with ARIMA noise, Missing observations, and Outliers

VA - Valor Adicionado

VP - Valor da Produção

Apresentação

Essa Tese de doutorado é decorrente dos estudos envolvendo métodos automáticos de ajuste sazonal. Para a definição desta tese, foram realizadas várias pesquisas metodológicas que acabaram por definir o tema que é desenvolvido no presente estudo. Particularmente envolve os métodos da família X11 que utiliza o filtro desenvolvido por Henderson para extrair a tendência de uma série antes de isolar a componente sazonal. Desenvolveu-se um filtro baseado em hipóteses mais abrangentes e comparou-se a potencialidade de ambos os filtros.

Sheila Cristina Zani

Aluna do Curso de Doutorado em Engenharia Elétrica

Área de Métodos de Apoio à Decisão