



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Instituto de Matemática - CCMN

Pós-graduação em Estatística

**FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA EM  
MODELOS DINÂMICOS LINEARES  
GENERALIZADOS**

Mariane Branco Alves

TESE DE DOUTORADO

Rio de Janeiro  
junho de 2006

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Instituto de Matemática - CCMN

Mariane Branco Alves

**FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA EM MODELOS  
DINÂMICOS LINEARES GENERALIZADOS**

*Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em  
Estatística do Instituto de Matemática - CCMN da Univer-  
sidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial  
para obtenção do grau de Doutor em Estatística.*

Orientador: *Dani Gamerman*  
Co-orientador: *Marco Antonio Rosa Ferreira*

Rio de Janeiro  
junho de 2006

FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA EM MODELOS DINÂMICOS LINEARES  
GENERALIZADOS

Mariane Branco Alves

TRABALHO APRESENTADO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTATÍSTICA DO INSTITUTO DE MATEMÁTICA - CCMN DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ESTATÍSTICA.

Aprovado por:

---

Prof. Dani Gamerman, Ph.D.

---

Prof. Marco Antonio Rosa Ferreira, Ph.D.

---

Profa. Alexandra Mello Schmidt, Ph.D.

---

Prof. Helio dos Santos Migon, Ph.D.

---

Prof. Reinaldo Castro de Souza, Ph.D.

---

Prof. Silvia Emiko Shimakura , Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
JUNHO DE 2006

ALVES, MARIANE BRANCO

Funções de Transferência  
em Modelos Dinâmicos Lineares  
Generalizados [Rio de Janeiro] 2006  
VIII, 152p. 29,7 cm (IM/UFRJ, D.Sc.,  
Estatística, 2006)

Tese - Universidade Federal do Rio  
de Janeiro, IM

1.Funções de Transferência 2.Modelos  
Dinâmicos Lineares Generalizados  
3.Inferência Bayesiana 4.Monte Carlo  
via Cadeais de Markov

I.IM/UFRJ II.Título (série)

*Há muito tempo que eu saí de casa  
Há muito tempo que eu caí na estrada  
Há muito tempo que eu estou na vida  
Foi assim que eu quis e assim eu sou feliz*

*Principalmente por poder voltar  
A todos os lugares onde já cheguei  
Pois lá deixei um prato de comida  
Um abraço amigo, um canto para dormir e sonhar*

*E aprendi que se depende sempre  
De tanta, muita, diferente gente  
Toda pessoa sempre é as marcas  
Das lições diárias de outras tantas pessoas*

*E é tão bonito quando a gente entende  
Que a gente é tanta gente onde quer que a gente vá  
E é tão bonito quando a gente sente  
Que nunca está sozinho por mais que pense estar*

*É tão bonito quando a gente pisa firme  
Nessas linhas que estão nas palmas de nossas mãos  
É tão bonito quando a gente vai à vida  
Nos caminhos onde bate bem mais forte o coração*

*Caminhos do Coração - Gonzaguinha*

*A meus pais, que me deram raízes, mas também  
souberam me dar asas; que me ensinaram o essencial:  
amor, ética, dignidade. O restante eu sigo aprendendo  
nos livros e na vida.*

*Ao Marcus, que conhece meus defeitos e ressalta  
minhas virtudes; com quem eu sou, simplesmente, eu.  
Com quem eu sou feliz.*

# Agradecimentos

Ao meu orientador Dani Gamerman, minha admiração pela habilidade de aliar talento a organização. Obrigada pela paciência e dedicação ao longo deste trabalho. Foi inevitável, depois de todos esses anos, que eu passasse a lhe considerar um grande amigo e é ao *amigo* Dani, pessoa extremamente generosa, que eu quero registrar minha enorme gratidão por ter viabilizado meu retorno à vida acadêmica.

A meu orientador Marco Antonio Rosa Ferreira, pelas contribuições sempre relevantes que trouxe à orientação deste trabalho e por ter me cedido seu programa para ajuste de modelos dinâmicos lineares generalizados para o caso Poisson, o que certamente facilitou a implementação das extensões feitas neste trabalho.

Ao Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da USP, pelos dados de poluição e óbitos em São Paulo e ao professor Julio da Motta Singer (IME-USP), pela disponibilização desses dados em sua página na internet.

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro (SMAC-RJ), pelos dados de poluição utilizados em uma das aplicações deste trabalho e ao professor Antonio Carlos Ponce de Leon (IMS-UERJ), pela parceria no projeto de extensão Poluição versus Saúde, que viabilizou o uso desses dados.

A Washington Leite Junger, pela disponibilização de seu aplicativo para preenchimento de dados omissos.

A meus irmãos queridos, Magno e Fabiane, que não me faltam nunca. Qualquer agradecimento a vocês é pouco. Talvez eu deva, simplesmente, agradecer à vida, por vocês existirem e por se fazerem sempre presentes.

Ao Vitor, que se tornou de vez um membro da minha família durante o doutorado, pela dedicação à minha irmã.

Às queridas amigas Alcione e Alexandra. A primeira, uma pernambucana "da gema", com o dom de espalhar risos por onde passa: sua companhia no início dessa trajetória fez toda a diferença. A segunda, uma friburguense de gargalhada praiana, solar: nunca vou esquecer a força que você deu para o término dessa dissertação. Mas agradecer pela participação de vocês ao longo do doutorado é diminuir sua importância, porque amigas como vocês são a família que eu pude escolher.

À Cibele, mineira arretada (ô sô!), e com um coração enorme. Até te conhecer, eu me sentia completamente só no doutorado. Obrigada por ter dividido comigo essa jornada.

Ao professor e amigo Hedibert, que por trás de um temperamento explosivo guarda um coração tão grande quanto ele próprio e que sempre esteve pronto a conversar: fosse para resolver um problema de Estatística ou para falar dos caminhos a que a vida nos leva.

Felizmente, meus agradecimentos não cabem em uma página...

Ao professor Hélio Migon: suas aulas, no final da graduação, no mestrado e no doutorado, foram um divisor de águas para minha formação. Minha gratidão por ter me incentivado, há alguns anos atrás, a tentar um concurso para professora substituta no Departamento de Estatística. Meu retorno à Estatística começou com aquele concurso.

Ao Prof. Miguel de Simone (*in memoriam*), que espreitou uma de minhas aulas de professora substituta e inexperiente e veio me dizer, ao final, que eu "levava jeito para a coisa" e que vocação é coisa séria, à qual não se deve dar as costas. Pensei muito nessas palavras ao voltar à universidade.

A todos os professores que tive na UFRJ, pela formação sólida que me proporcionaram. Em particular, ao professor Guido Zapata, que se colocava em sala de aula com o cérebro e com a alma; que reconhecia em cada um de nós um indivíduo e que me ensinou, além de Análise Real e Teoria da Integração, a olhar os alunos nos olhos.

À Lia (na secretaria de pós-graduação) e à D. Margarida (na biblioteca), ambas agora ex-funcionárias e, mais recentemente, ao Eduardo (da secretaria de pós-graduação) que sempre me atenderam com enorme boa vontade.

Aos meus alunos da UERJ, que me têm trazido muitas alegrias e que, para mim, são um incentivo constante para aprender mais.

Finalmente, à própria UFRJ. Com o término do meu doutoramento, encerra-se um longo período na minha vida: fui aluna do "Fundão" de 1991 a 2006, com apenas uma breve interrupção, quando decidi que precisava experimentar a vida profissional fora das fronteiras acadêmicas, para em breve retornar, cheia de saudades. Comecei minha trajetória por essa universidade no IM, passei pela COPPE e, finalmente, retornei ao IM. Desnecessário dizer que, tendo feito graduação, mestrado e doutorado na instituição, a profissional que sou é fruto direto da formação que tive aqui. Também por isso, tenho enorme gratidão à UFRJ. Mas minha gratidão vai muito além do profissionalismo. A *pessoa* que sou tem muito a ver com a minha passagem por aqui: o Fundão permeia esses anos da minha vida. Aqui fiz grandes amigos. Na UFRJ, dei meus primeiros passos nos tablados das salas de aula universitárias e acabei constatando que esses tablados são o meu lugar. Aqui aprendi a estudar de verdade, a trabalhar numa idéia até senti-la íntima. E hoje a memória passeia e é sexta-feira de Grêmio - onde ouvir música brega na jukebox, além de não ser brega, era *cool* - e num instante é Quinta Musical no auditório do CT - dia de conhecer música diferente, feita pelo Brasil afora - e já, já é Quarta de cinema no Roxinho. E num piscar de olhos me pego aos pulos num dos shows inesquecíveis no bloco A, quando a gente ("a gente", então, éramos: eu, Elaine, Raquel e Rogério) decidia que, definitivamente, haveria oportunidade para fazer prova outro dia, mas show grátis e com quase uma hora de bis era imperdível! Ou então nos reuníamos para ir à passeata, vestidos de preto, com as caras pintadas de verde e amarelo. Saudades dos saraus lítero-musicais na Produção (onde eu descobri que não era a única a ouvir aqueles discos que ninguém conhecia) e cafezinhos no Anjinho e lanches no Batista - estes sempre regados a um bom papo, meu esporte preferido. E as horas intermináveis de biblioteca e provas... quantas provas! E, principalmente, quanta gente! Conheci mineiro, paulista, candango, potiguar, amazonense, cearense, matogrossense, gaúcho e outros fluminenses (e como são, em toda a sua diversidade, parecidas essas gentes!). Conheci pernambucano, baiano, alagoano, peruano, colombiano, equatoriano... tantos anos... anos que eu levo na memória e no coração. Valeu, Fundão!

# Resumo

Modelos dinâmicos lineares constituem uma poderosa estrutura para a análise de séries temporais, uma vez que, ao permitir a evolução de seus parâmetros, explicitamente determinam a forma como estes parâmetros relacionam-se a seus valores passados. Uma hipótese bastante restritiva nessa classe de modelos é a de que a variável resposta deva ser gaussiana. Os modelos dinâmicos lineares generalizados estendem a classe dos modelos dinâmicos lineares, permitindo respostas cujas distribuições pertençam à família exponencial. Essa classe de modelos também pode ser vista como uma extensão aos modelos lineares generalizados, estruturando formalmente a autocorrelação serial. Uma outra vantagem dos modelos dinâmicos lineares generalizados é a construção de preditores formados por blocos estruturais com interpretação clara, tais como tendência, sazonalidade e efeitos de regressoras. Ao se especificar, em uma análise temporal, o efeito de uma regressora, é possível assumir-se que variações nessa variável não tenham impacto apenas imediato sobre a resposta esperada, mas que seu efeito se propague, de alguma forma, por instantes futuros. Adotamos, no presente trabalho, funções de transferência para modelagem de tais efeitos, representados por blocos estruturais  $E_t$  presentes nos modelos dinâmicos lineares generalizados propostos. Toda a inferência é realizada sob o paradigma bayesiano e, no contexto acima, tem-se duas fontes de dificuldades para a obtenção analítica de distribuições a posteriori: a natureza não gaussiana da resposta, associada a prioris não conjugadas e, caso haja parâmetros autoregressivos no bloco  $E_t$ , a não-linearidade do preditor em tais parâmetros. Durante a década de 80, diversos trabalhos trataram a não-normalidade / não-linearidade em modelos dinâmicos baseando o processo de inferência em primeiros e segundos momentos ou evitando integração por meio da obtenção de modas a posteriori. O propósito deste trabalho é a realização de inferência bayesiana completa sobre modelos dinâmicos lineares generalizados contendo funções de transferência em seus preditores, utilizando-se métodos de Monte Carlo via Cadeias de Markov para obtenção de amostras da distribuição a posteriori conjunta dos parâmetros envolvidos em tais modelos. Diversas estruturas de transferência são especificadas, associadas a respostas Poisson, Binomial, Gama e Gaussiana Inversa. Os modelos resultantes são aplicados a dados artificiais e, finalmente, os modelos Poisson e Gama são aplicados a dados reais. No primeiro caso, estima-se o efeito acumulado de poluentes atmosféricos sobre contagens de óbitos de crianças. O modelo Gama é usado para se estimar o efeito de volumes diários de chuva sobre níveis de poluição.

**Palavras-chave:** Funções de transferência, Modelos dinâmicos lineares generalizados, Inferência bayesiana, Monte Carlo via cadeias de Markov.



# Abstract

Dynamic linear models constitute a powerful structure for the analysis of time series, once they allow parameters to evolve, formally determining the way these parameters relate to their past values. A sufficiently restrictive hypothesis in this class of models is that the dependent variable must be Gaussian. Dynamic generalized linear models extend the class of dynamic linear models, allowing responses whose distributions belong to the exponential family. This class of models can also be seen as an extension to the generalized linear models, formally structuring serial autocorrelation. Another advantage of the dynamic generalized linear models is the construction of predictors formed by structural blocks with clear interpretation, such as trend, seasonality and effects of regressor variables. As one specifies the effect of a regressor in a time series analysis it is possible to assume that variations in that variable do not have only immediate impact on the mean response, but that its effects somehow propagate to future times. We adopt, in the present work, transfer functions to model such effects, represented by structural blocks  $E_t$  considered in the proposed dynamic generalized linear models. All the inference is carried under the Bayesian paradigm and in the context above two sources of difficulties emerge for the analytical derivation of posterior distributions: non-gaussian nature of the response, associated to non-conjugate priors and, if there are autoregressive parameters in the block  $E_t$ , also non-linearity of the predictor on these parameters. During the 80's several works treated non-normality / non-linearity in dynamic models basing the inference process on first and second moments or avoiding integration by the determination of posterior modes. The purpose of this work is to produce complete Bayesian inference on generalized dynamic linear models with transfer functions in their predictors, using Monte Carlo Markov Chain methods to build samples of the posterior joint distribution of the parameters involved in such models. Several transfer structures are specified, associated to Poisson, Binomial, Gamma and Inverse Gaussian responses. The resulting models are applied to artificial data and, finally, Poisson and Gamma models are applied to real data. In the first case, we estimate the cumulative effect of atmospheric pollutants on infant death counts. The Gamma model is used to estimate the effect of daily rain volumes over pollutant levels.

**Keywords:** Transfer functions, Dynamic Generalized Linear Models, Bayesian inference, Monte Carlo Markov chain.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contexto e Relevância do Trabalho	1
1.2	Organização do Trabalho	4
<b>2</b>	<b>Revisão de Literatura</b>	<b>7</b>
2.1	Modelos Dinâmicos Lineares	8
2.2	Modelos Dinâmicos Não-normais / Não-lineares	10
2.2.1	Modelos dinâmicos lineares generalizados	10
2.2.2	Aproximação da posteriori em modelos dinâmicos não-normais/ não-lineares: algumas alternativas	11
2.3	Funções de Transferência	13
2.4	Monte Carlo via Cadeias de Markov	15
2.4.1	O amostrador de Gibbs	17
2.4.2	O algoritmo Metropolis-Hastings	18
2.4.3	Estratégia de amostragem: movimentos individuais ou em blocos	20
2.4.4	Monitoração da convergência	20
2.5	Seleção de Modelos	21
2.5.1	EPD - <i>Expected predictive deviance</i>	22
2.5.2	DIC - <i>Deviance information criterion</i>	23
2.5.3	Verossimilhança preditiva	24
<b>3</b>	<b>Funções de Transferência em Modelos Dinâmicos Lineares Generalizados</b>	<b>25</b>
3.1	A Estrutura Geral dos Modelos Propostos	25
3.2	Estrutura Observacional	28
3.3	Funções de Transferência Adotadas	30
3.3.1	Modelos de defasagens polinomiais	30
3.3.2	Função de transferência de ordem ( $r = 1, s = 0$ )	32
3.3.3	Função de transferência de ordem ( $r = 1, s > 0$ )	34
3.3.4	Função de transferência de ordem ( $r=1,s=0$ ) com fator de ganho dinâmico	34
3.3.5	Função de transferência de ordem ( $r = 1, s \geq 0$ ) com erros aleatórios	35
3.4	Cálculos Envolvidos nos algoritmos MCMC	36
3.4.1	Resposta Poisson	37
3.4.2	Resposta Binomial	48
3.4.3	Resposta Gama	49
3.4.4	Resposta Gaussiana Inversa	50

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

