Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Os programas de álcool como combustíveis nos EUA, no Japão e na União Européia e as possibilidades de exportação do Brasil

Sérgio Rangel Figueira

Tese apresentada, para obtenção do título de doutor em Ciências, Área de Concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2005

Sérgio Rangel Figueira
Economista

Os programas de álcool como combustível nos EUA, no Japão e na União Européia e as possibilidades de exportação do Brasil

Orientadora:

Prof[a] Dr[a]. HELOISA LEE BURNQUIST

Tese apresentada, para obtenção do título de doutor em Ciências, Área de Concentração: Economia Aplicada.

Piracicaba
2005

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Figueira, Sérgio Rangel
Os programas de álcool como combustível nos EUA, no Japão e na União Européia e as possibilidades de exportação do Brasil / Sérgio Rangel Figueira. - - Piracicaba, 2005.
245 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

1. Álcool como combustível 2. Brasil 3. Estados Unidos 4. Exportação 5. Japão 6. União Européia I. Título

CDD 338.4766182

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Dedico ao meu pai, José Francisco e
minha mãe, Maria Conceição

AGRADECIMENTOS

À orientadora Heloisa Lee Burnquist, pela dedicação em todas as etapas desse trabalho.

Agradecimento especial à professora Mirian Bacchi, pelo fundamental apoio na utilização do modelo de Box-Jenkins e pelas participações no seminário e qualificação.

À professora Sílvia Miranda, pela participação no seminário e qualificação, e ao professor Geraldo Sant'ana, pela participação na qualificação. Ambos forneceram preciosas sugestões para a realização deste trabalho.

Ao professor Marcos Jank, pelas sugestões para a escolha do tema.

Aos professores do Departamento de Economia, Administração e Sociologia, toda a minha gratidão pelos conhecimentos transferidos.

À CAPES, pela bolsa concedida.

À Maielli, pela paciência e dedicação no atendimento.

À Ligiana e ao Álvaro pelo atendimento na biblioteca.

A todos os funcionários da ESALQ, que propiciaram a estrutura para a realização dos cursos e da tese.

Ao Luiz Carlos Corrêa Carvalho e ao professor Guilherme Dias, pelas conversas ao longo deste trabalho.

Aos colegas do doutorado: Cárliton, Humberto, Kleber, Samuel, Piedade e Alivinio, pelo qual compartilhamos inúmeros cursos oferecidos no departamento, pela amizade e companheirismo.

Ao Jonas, pelas conversas a respeito da tese.

Ao pessoal da República: Humberto, Ary, Mauro, Lucilio, Emerson, Marcelo e a todos os demais eventuais moradores.

Ao grupo de estudos em comércio internacional (GECINT), pelo qual tenho o prazer e orgulho de participar, pelas discussões e trocas de informações.

À todos os colegas da ESALQ, pelo companheirismo esalqueano.

À toda a família e amigos, pelo apoio na realização de mais está jornada na minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 12

LISTA DE TABELAS 17

RESUMO..... 25

ABSTRACT……. 26

1 INTRODUÇÃO..... 27

1.1 O problema e sua importância 27

1.2 Objetivos..... 30

1.3 Justificativa 31

2 DESENVOLVIMENTO..... 39

2.1 Revisão da literatura 39

2.1.1 A evolução do programa do álcool combustível no Brasil..... 40

2.1.2 Exportações brasileiras de álcool 48

2.1.3 O mercado de açúcar 51

2.1.4 O efeito estufa e o protocolo de Quioto..... 55

2.1.4.1 O protocolo de Quioto 56

2.1.5 Externalidades positivas ambientais relacionadas à utilização do álcool combustível 58

2.1.5.1 Redução da emissão de CO_2 através da utilização do álcool como combustível 59

2.1.5.2 Redução da utilização de MTBE, principalmente nos EUA 61

2.1.5.2.1 O impacto do MTBE na água nos Estados Unidos da América..... 63

2.1.6 Instabilidade na oferta de petróleo..... 66

2.1.7 Programas americano, japonês e europeu para se utilizar o etanol como combustível..... 67

2.1.7.1 O programa americano do etanol para combustível 68

2.1.7.1.1 O programa da gasolina oxigenada de inverno dos EUA..... 68

2.1.7.1.2 O programa de gasolina reformulada nos EUA 71

2.1.7.1.3 O programa de gasolina renovável nos EUA (Renewable Fuels Standard –RFS) 75

2.1.7.1.4 O programa de etanol E 85 77

2.1.7.1.5 Oferta de etanol nos Estados Unidos 79

2.1.7.2 O programa do etanol no Japão 81

2.1.7.3 Os programas de etanol na União Européia 83

2.1.7.3.1 Demanda por etanol na União Européia 85

2.1.7.3.2 Oferta de etanol na União Européia 87

2.1.8 Modelos de demanda por gasolina 91

2.2 Metodologia, procedimentos e dados 96

2.2.1 Metodologia 96

2.2.1.1 Modelos univariados 97

2.2.1.2 Modelos de função de transferência 101

2.2.2 Procedimentos 102

2.2.2.1 Etapas para a realização de previsões em um modelo univariado utilizando-se da metodologia de Box-Jenkins 102

2.2.2.1.1 Identificação 103

2.2.2.1.1.1 Identificação da ordem de integração do filtro 103

2.2.2.1.1.1.1 Identificação da ordem de integração da série pela visualização gráfica 104

2.2.2.1.1.1.2 Identificação da ordem de integração da série pelo teste de *Dickey-Fuller* 105

2.2.2.1.1.1.3 Identificação, pela visualização gráfica, de séries cuja sazonalidade não é estacionária 108

2.2.2.1.1.1.4 Teste de raiz unitária sazonal 109

2.2.2.1.1.2 A Identificação dos modelos ARMA 109

2.2.2.1.1.2.1 Identificação do Modelo Auto Regressivo AR 110

2.2.2.1.1.2.2 Identificação do modelo de médias móveis MA 112

2.2.2.1.1.2.3 Identificação do Modelo auto-regressivo de médias móveis (ARMA)..... 114

2.2.2.1.1.3 Identificação do modelo ARMA sazonal 115

2.2.2.1.2 Estimação e checagem de diagnóstico..... 115

2.2.2.1.2.1 Análise dos resíduos 115

2.2.2.1.2.1.1 Teste de autocorrelação residual..... 115

2.2.2.1.2.1.2 Teste de Box Pierce.....116

2.2.2.1.2.1.3 Teste de correlação cruzada..... 116

2.2.2.1.2.2 Avaliação da ordem do modelo 117

2.2.2.1.2.3 Menor erro quadrático médio 117

2.2.2.1.3 Previsão 117

2.2.2.2 Etapas para a realização de previsões em um modelo de função de transferência..... 121

2.2.2.2.1 Identificação 121

2.2.2.2.2 Estimação e checagem de diagnóstico..... 123

2.2.2.2.2.1 Análise dos resíduos 123

2.2.2.2.2.2 Teste de superajustamento e de subajustamento 124

2.2.2.2.2.3 Menor erro quadrático médio 124

2.2.2.2.3 Previsão 124

2.2.3 Dados 124

2.3 Resultados e discussão 125

2.3.1 Projeções sobre consumo de etanol nos Estados Unidos 126

2.3.1.1 Previsão do consumo de gasolina nos EUA 126

2.3.1.1.2 Seleção do modelo..... 126

2.3.1.1.2.1 Identificação 126

2.3.1.1.2.2 Estimação 132

2.3.1.1.2.3 Verificação 132

2.3.1.1.2.3.1 Teste de autocorrelação residual..... 132

2.3.1.1.2.3.2 Teste de Box-Pierce..... 133

2.3.1.1.2.3.3 Teste de correlação cruzada..... 134

2.3.1.1.2.3.4 Erro quadrático médio 134

2.3.1.1.3 Previsão do consumo de gasolina..... 135

2.3.1.2 Cenários para o consumo de etanol nos EUA 136

2.3.1.2.1 Primeiro cenário: substituição da adição do MTBE na gasolina, pelo etanol carburante, em 17 estados norte-americanos..... 136

2.3.1.2.2 Segundo cenário: substituição da adição do MTBE na gasolina, pelo etanol carburante, em todos os estados norte-americanos..... 137

2.3.1.2.3 Terceiro cenário: Programa de combustíveis renováveis..... 138

2.3.1.3 Discussão: impactos dos cenários de consumo de etanol nos Estados Unidos na utilização de milho e os subsídios à produção da matéria prima..... 139

2.3.2 Projeções sobre o consumo de etanol no Japão..... 142

2.3.2.1 Previsão sobre o consumo de gasolina no Japão 142

2.3.2.1.1 Seleção do modelo..... 142

2.3.2.1.1.1 Estimação 142

2.3.2.1.1.2 Verificação 143

2.3.2.1.1.2.1 Teste de autocorrelação residual..... 143

2.3.2.1.1.2.2 Teste de Box-Pierce..... 144

2.3.2.1.1.2.3 Teste de correlação cruzada..... 144

2.3.2.1.1.2.4 Menor erro quadrático médio 144

2.3.2.1.2 Previsão do consumo de gasolina 145

2.3.2.2 Projeção do consumo de etanol 146

2.3.2.3 Discussão: possibilidade de exportação de etanol do Brasil para o mercado japonês .. 146

2.3.3 Projeções sobre o consumo de etanol na Alemanha, França, Itália, e Reino Unido. 147

2.3.3.1 Projeções sobre o consumo de gasolina na França, Itália, Alemanha e Reino Unido..... 147

2.3.3.1.1 Previsão sobre o consumo de gasolina na Alemanha 148

2.3.3.1.1.1 Seleção do modelo 148

2.3.3.1.1.1.1 Estimação 148

2.3.3.1.1.1.2 Verificação 148

2.3.3.1.1.1.2.1 Teste de autocorrelação residual 148

2.3.3.1.1.1.2.2 Teste de Box-Pierce 149

2.3.3.1.1.1.2.3 Teste de correlação cruzada 149

2.3.3.1.1.1.2.4 Menor erro quadrático médio 149

2.3.3.1.1.2 Previsão do consumo de gasolina 150

2.3.3.1.2 Previsão sobre o consumo de gasolina na Alemanha, Itália, França e Reino Unido.. 151

2.3.3.1.2.1 Seleção do modelo 151

2.3.3.1.2.1.1 Estimação 151

2.3.3.1.2.1.2 Verificação 151

2.3.3.1.2.1.2.1 Teste de autocorrelação residual 151

2.3.3.1.2.1.2.2 Teste de Box-Pierce 152

2.3.3.1.2.1.2.3 Teste de correlação cruzada 152

2.3.3.1.2.1.2.4 Menor erro quadrático médio 152

2.3.3.1.2.2 Previsão do consumo de gasolina 153

2.3.3.2 Inferências sobre o consumo de gasolina na França, Alemanha, Itália e Reino Unido... 154

2.3.3.3 Projeções sobre o consumo de etanol na Alemanha 157

2.3.3.4 Projeções sobre o consumo de etanol na França, Itália, Reino Unido e Alemanha 158

2.3.4 Projeções sobre o consumo de álcool anidro no Brasil 159

2.3.4.1 Previsões sobre o consumo de gasolina no Brasil utilizando-se da função de transferência. 159

2.3.4.1.1 Identificação 160

2.3.4.1.1.1 Modelo Univariado sobre o consumo de gasolina no Brasil 161

2.3.4.1.1.1.1 Estimação 161

2.3.4.1.1.1.2 Verificação 161

2.3.4.1.1.1.2.1 Teste de autocorrelação residual 161

2.3.4.1.1.1.2.2 Teste de Box-Pierce 162

2.3.4.1.1.1.2.3 Teste de correlação cruzada 162

2.3.4.1.1.1.2.4 Menor erro quadrático médio 162

2.3.4.1.1.2 Modelo univariado para a evolução do PIB no Brasil 163

2.3.4.1.1.2.1 Verificação 164

2.3.4.1.1.2.1.1 Teste de autocorrelação residual 164

2.3.4.1.1.2.1.2 Teste de Box-Pierce 164

2.3.4.1.1.2.1.3 Teste de correlação cruzada 164

2.3.4.1.1.2.1.4 Menor erro quadrático médio 165

2.3.4.1.1.2.1.5 Análise da função de correlação cruzada entre o PIB e o consumo de gasolina.. 166

2.3.4.1.1.2.2 Estimação 166

2.3.4.1.1.3 Verificação 167

2.3.4.1.1.3.1 Análise das funções de autocorrelações dos resíduos 167

2.3.4.1.1.3.2 Teste de Box-Pierce 167

2.3.4.1.1.3.3 Teste de correlação cruzada entre o resíduo e a variável explicativa 167

2.3.4.1.1.3.4 Menor erro quadrático médio 168

2.3.4.2 Cenários para o consumo de gasolina no Brasil 169

2.3.4.3 Considerações sobre as projeções do consumo de gasolina no Brasil 170

2.3.4.4 Projeções sobre consumo de álcool anidro no Brasil 171

2.3.5 Previsão sobre o consumo de álcool hidratado no Brasil 172

2.3.5.1 Seleção do modelo 172

2.3.5.1.1 Estimação 172

2.3.5.1.2 Verificação 173

2.3.5.1.2.1 Teste de autocorrelação residual 173

2.3.5.1.2.2 Teste de Box-Pierce 174

2.3.5.1.2.3 Teste de correlação cruzada 174

2.3.5.1.2.4 Menor erro quadrático médio 174

2.3.5.2 Previsão do consumo de álcool hidratado 175

3 CONCLUSÕES 177

REFERÊNCIAS 183

ANEXOS 193

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo simplificado do processo de produção de açúcar e álcool..... 33

Figura 2 - Evolução mensal do preço do barril de petróleo, em US$, período: jan/70 até dez/03 40

Figura 3 - Evolução da produção brasileira de álcool, período:1970 até 2002 43

Figura 4 - Evolução da produção de carros a álcool e a gasolina/diesel no Brasil, período: 1979 até 2003 44

Figura 5 - Destino da cana de açúcar voltada para a produção de álcool e de açúcar, período: 1975/1976 até 1999/2000 45

Figura 6 - Vendas e expectativas de vendas de carros bicombustíveis, período: 2003 até 2010 .. 47

Figura 7 - Exportações brasileiras de álcool, período: 1996 até 2004..... 48

Figura 8 - Principais destinos das exportações brasileiras de álcool, milhões de litros, no ano de 2004..... 49

Figura 9 - Comércio mundial de etanol, milhões de litros, períodos: 1998 até 2002..... 50

Figura 10 - Exportações brasileiras de açúcar, período: 1990 até 2003 53

Figura 11 - Desenho ilustrativo das formas de contaminação da água pelo MTBE 63

Figura 12 - Projeções sobre a oferta mundial de Petróleo, período: 1960 até 2040..... 67

Figura 13 - Histórico da produção de etanol nos EUA , período: 1980 até 2004..... 79

Figura 14 - Milho utilizado nos EUA para a produção de etanol, período: 1980 até 2004..... 80

Figura 15 - Evolução da produção de biodiesel na União Européia, milhares de toneladas, período: 1993 ate 2001 88

Figura 16 - Produção de etanol na União Européia, milhares de toneladas, períodos: 1993 até 2001. 88

Figura 17 - Produção de biodiesel nos países da União Européia, milhares de toneladas, no ano de 2001 89

Figura 18 - Produção de etanol nos países da União Européia, milhares de toneladas, no ano de 2001 89

Figura 19 - Gráficos contendo as FACs de uma série integrada de segunda ordem 105

Figura 20 - Procedimentos para se efetuar o teste de raiz unitária 107

Figura 21 - Função de autocorrelação com uma série sazonalmente não estacionária 108

Figura 22 - Exemplos de Função de Autocorrelação e Autocorrelação Parcial para modelos Auto Regressivos de ordem 0 (representado como AR(0)) e de ordem 1(AR(1)) 110

Figura 23 - Exemplos de Função de Autocorrelação e Autocorrelação Parcial para modelos AutoRegressivos de ordem 2 (AR(2)) 111

Figura 24 - Exemplos de função de autocorrelação (FAC) e de autocorrelação parcial (FACP) para modelos de Média Móvel (MA) de ordem 0 e 1. 112

Figura 25 - Exemplos de Função de Autocorrelação (FAC) e Autocorrelação Parcial (FACP) modelos de Média Móvel (MA) de ordem 2. 113

Figura 26 - Gráficos relativos ao modelo ARMA (1,1) 114

Figura 27 - Função de autocorrelação estimada para o consumo de gasolina nos EUA, período da série: 1980 até 2003 126

Figura 28 - Autocorrelação da demanda de gasolina nos EUA após a diferença, período da série: 1980 até 2003. 129

Figura 29 - Autocorrelação do consumo de gasolina nos Estados Unidos com diferença e diferença sazonal, período da série: 1980 até 2003 131

Figura 30 - Autocorrelação parcial do consumo de gasolina nos Estados Unidos após a extração da diferença e da diferença sazonal, período da série: 1980 até 2003 131

Figura 31 - Valores estimados, previstos e os intervalos de confiança do consumo de gasolina nos Estados Unidos, período: 1° tri 1995 até 4 ° tri 2003. 135

Figura 32 - Resultado da previsão do consumo de gasolina para os EUA, período 2004 até 2012 136

Figura 33 - Resultado dos cenários I, II e III de consumo de etanol nos EUA, períodos: 2004 até 2012 138

Figura 34 - Valores observados e previstos de consumo de gasolina no Japão, em bilhões de litros 1° tri. 2000 até 4° tri. 2003 145

Figura 35 - Previsão anual da oferta de gasolina no Japão, em bilhões de litros, período: 2004 até 2012 145

Figura 36 - Valores observados e previstos, em bilhões de litros, período: 2001 até 2003 150

Figura 37 - Previsão da oferta de gasolina na Alemanha, período: 2004 até 2012 150

Figura 38 - Valores observados e previstos, período: 1° tri. 2001 até 4° tri 2003 153

Figura 39 - Previsão de oferta trimestral de gasolina na Alemanha, França, Itália e Reino Unido, período: 2004 até 2012 154

Figura 40 - Evolução das porcentagens de consumo de gasolina e de óleo diesel para automóveis no Reino Unido, período: 1989 até 2003 155

Figura 41 - Evolução das porcentagens de consumo de gasolina e óleo diesel na Alemanha, período: 1989 até 2003. 155

Figura 42 - Evolução das porcentagens de consumo de gasolina e óleo diesel na França, período: 1989 até 2003 156

Figura 43 - Evolução das porcentagens de consumo de gasolina e óleo diesel na Itália, período: 1989 até 2003 157

Figura 44 - Comparação entre os valores previstos e os observados, período: 1° tri. 2001 até 4° tri. 2003 163

Figura 45 - Valores estimados e previstos do PIB, período: 1° tri 2001 até 4° tri 2003 165

Figura 46 - Análise comparativa entre o valor observado e o previsto, período: 1° tri 2001 até 4° tri 2003 168

Figura 47 - Resultados de simulação de Cenários relativos ao crescimento do consumo de gasolina no Brasil, período: 2004 até 2012 169

Figura 48 - Valores observados e previstos para o consumo de gasolina na economia brasileira, em bilhões de litros, período: 1° tri 2001 até 4° tri 2004..... 175

Figura 49 - Curva de aprendizagem relativa à produção de etanol no Brasil..... 194

Figura 50 - Cenários otimista e muito otimista com relação a importação de etanol..... 195

Figura 51- Gráfico sobre a produção de etanol no mundo, em milhões de litros..... 196

Figura 52 - Evolução da Produção Mundial nos Principais Países Produtores, período: 1998 até 2002 197

Figura 53 - Importação de etanol utilizada para combustível e outros fins..... 198

Figura 54 - Mapa da localização das plantas industriais de produção de etanol nos Estados Unidos..... 199

Figura 55- Função de Autocorrelação do consumo de gasolina no Japão..... 210

Figura 56 - Autocorrelação da demanda de gasolina no Japão após a diferença 213

Figura 57 - Autocorrelação da demanda de gasolina no Japão com diferença e diferença sazonal 215

Figura 58 - Autocorrelação parcial da demanda de gasolina no Japão após a diferença e a diferença sazonal 215

Figura 59 - Função de autocorrelação do consumo de gasolina na Alemanha..... 216

Figura 60 - Autocorrelação da demanda de gasolina na Alemanha após a diferença 219

Figura 61 - Autocorrelação da demanda de gasolina na Alemanha com diferença e diferença sazonal 221

Figura 62 - Autocorrelação parcial da demanda de gasolina na Alemanha com diferença e diferença sazonal 221

Figura 63 - Função de autocorrelação do consumo de gasolina na Alemanha, Reino Unido, França e Itália. 222

Figura 64 - Autocorrelação da demanda de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália após a aplicação de duas diferenças 225

Figura 65 - Autocorrelação da demanda de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália com diferença e diferença sazonal..... 226

Figura 66 - Autocorrelação parcial da demanda de gasolina na Alemanha, França, Itália e Reino Unido com duas diferenças e diferença sazonal 227

Figura 67 - Autocorrelação do consumo de gasolina no Brasil..... 229

Figura 68 - Autocorrelação do consumo de gasolina no Brasil após a diferença..... 233

Figura 69 - Autocorrelação parcial da demanda de gasolina no Brasil após a diferença..... 233

Figura 70 - Autocorrelação do PIB no Brasil 235

Figura 71 - Autocorrelação do PIB no Brasil após a diferença 238

Figura 72 - Função de Autocorrelação do PIB após se extrair a diferença e a diferença sazonal 239

Figura 73 - Autocorrelação parcial do PIB após se extrair a diferença e a diferença sazonal ... 239

Figura 74 - Função de autocorrelação do consumo álcool hidratado no Brasil 241

Figura 75 - Autocorrelação do consumo de álcool hidratado após a diferença e a diferença sazonal 245

Figura 76 - Autocorrelação parcial do consumo de álcool hidratado após a diferença e a diferença sazonal 245

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de cana-de-açúcar no Brasil – principais estados produtores -; em 1000 32

Tabela 2 - Produção de álcool no Brasil por região e Estado; em milhões de litros, safras: 1996/97 até 2002/03..... ..... .33

Tabela 3 - Produção de cana-de-açúcar nos 10 maiores países produtores em 2003; período: 1996 até 2003 35

Tabela 4 - Produtividade dos 10 principais países produtores de cana de açúcar, período: 1996 até 2003 36

Tabela 5 - Produtividade dos estados produtores de cana-de-açúcar no Brasil; períodos: 1997 até 2003 37

Tabela 6 - Consumo *per capita* dos maiores consumidores mundiais de açúcar, período: 1994 até 2001 52

Tabela 7 - Gases responsáveis pelo efeito estufa 55

Tabela 8 - Gases do efeito estufa e suas principais fontes antropogênicas 56

Tabela 9 - Redução necessária dos principais países emissores de CO_2 58

Tabela 10 - Redução da emissão de CO2 pela utilização de álcool, no ano de 1996..... 59

Tabela 11 - Balanço das emissões líquidas de CO_2 devido à produção de cana-de-açúcar e utilização de etanol, no ano de 1996..... 60

Tabela 12 - Balanço da oferta e da demanda de MTBE nos EUA, período: 1995 até 2001 62

Tabela 13 - Consumo estimado de MTBE em gasolina reformula e oxigenada de inverno por estado, período: 1995 até 2001 65

Tabela 14 - Áreas com programas de gasolina de inverno dos Estados Unidos, até julho de 1999..... 70

Tabela 15 - Áreas redesignadas dos Estados Unidos: inicialmente participaram do programa de gasolina oxigenada de inverno, no entanto abandonaram o programa por deixar de apresentar problemas de excesso de monóxido de Carbono no ar, até julho de 1999 71

Tabela 16 - Programa de gasolina reformulada de inverno dos EUA 73

Tabela 17 - Programa de gasolina reformulada de verão dos EUA 74

Tabela 18 - Volume aplicável de combustível renovável nos EUA, período: 2005 até 2012 77

Tabela 19 - Principais fontes alternativas de energia para veículos nos Estados Unidos, período: 1995 até 2004. 78

Tabela 20 - Evolução do consumo de E-85 nos Estados Unidos; Milhões de Galões; nos anos de 1998, 2000 e 2002 78

Tabela 21 - Tendências da oferta total de energia primária no Japão e porcentagens por fontes de energia 82

Tabela 22 - Teste de raiz unitária para séries individuais , para a série de consumo de gasolina nos EUA, período da série: 1980 até 2003. 127

Tabela 23 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{μ} e $\tau_{\alpha\mu}$, para a série de gasolina americana, período da série: 1980 até 2003 128

Tabela 24 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , para a série de consumo de gasolina dos Estados Unidos, período da série: 1980 até 2003 128

Tabela 25 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença, para a série de gasolina americana, período da série: 1980 até 2003. 129

Tabela 26 - Valores utilizados para o teste de raiz unitária sazonal, período da série: 1980 até 2003 130

Tabela 27 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina americano, período da série: 1980 até 2003. 132

Tabela 28 - Valores das autocorrelações residuais para a série do consumo de gasolina nos Estados Unidos, período da série: 1980 até 2003 133

Tabela 29 - Correlações cruzadas entre o resíduo e o consumo de gasolina, período da série: 1980 até 2003 134

Tabela 30 - Milhões de toneladas de milho necessárias para a produção de etanol nos Cenários I, II e III, referentes ao consumo do combustível na economia norte- americana, período: 2004 até 2012 140

Tabela 31- Destino do milho norte-americano por forma de utilização, no ano de 2003 140

Tabela 32 - Cenários sobre a possibilidade de importação de etanol dos países caribenhos, período: 2004 até 2012 141

Tabela 33 - Estimativa de subsídios concedidos para a produção de etanol nos EUA, em bilhões de dólares, para os três cenários, período: 2004 até 2012 142

Tabela 34 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina no Japão, período da série: 1990 até 2003 143

Tabela 35 - Valores das autocorrelações do consumo de gasolina no Japão, período da série: 1990 até 2003 143

Tabela 36 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina no Japão, período da série: 1990 até 2003 144

Tabela 37 - Consumo anual de etanol no Japão, caso a mistura se torne compulsória, período: 2004 até 2012 146

Tabela 38 - Projeção da necessidade de cana-de-açúcar para a exportação do álcool pelo Brasil, período 2004 até 2012 147

Tabela 39 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina na Alemanha, período da série: 1990 até 2003 148

Tabela 40 – Valores das autocorrelações do consumo de gasolina na Alemanha, período da série: 1990 até 2003 149

Tabela 41 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina na Alemanha, período da série: 1990 até 2003. 149

Tabela 42 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina na Alemanha, França, Reino Unido e Itália, período da série: 1990 até 2003 151

Tabela 43 – Valores das autocorrelações do consumo de gasolina na Alemanha, França, Reino Unido e Itália, período da série: 1990 até 2003 151

Tabela 44 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina na Alemanha, França, Reino Unido e Itália, período da série: 1990 até 2003. 152

Tabela 45 - Consumo estimado de etanol na Alemanha, período: 2004 até 2012 158

Tabela 46 - Consumo estimado de etanol nos quatro países da União Européia, período: 2004 até 2012 159

Tabela 47 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina no Brasil, modelo univariado; período da série 1991 até 2003 161

Tabela 48 - Valores das autocorrelações do consumo de gasolina no Brasil, período da série: 1991 até 2003 162

Tabela 49 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina no Brasil, período da série: 1991 até 2003 162

Tabela 50 - Valores estimados do processo gerador do PIB no Brasil, período da série: 1991 até 2003 163

Tabela 51 - Valores das autocorrelações, período da série: 1991 até 2003 164

Tabela 52 - Correlação cruzada entre o resíduo e a evolução do PIB brasileiro, período da série: 1991 até 2003 165

Tabela 53 - Resultados da função de correlação cruzada entre o consumo de gasolina no Brasil e o PIB, período da série: 1991 a 2003 166

Tabela 54 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina no Brasil, período da série: 1990 até 2003 166

Tabela 55 - Valores das autocorrelações para a Função de Transferência do consumo de gasolina no Brasil, período da série: 1991 até 2003 167

Tabela 56 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina no Brasil, período da série: 1991 até 2003 168

Tabela 57- Resultados das projeções do consumo anual de álcool anidro no Brasil, considerando-se os seguintes cenários: Cenário I (crescimento do PIB de 1,22%); Cenário II (crescimento do PIB de 2,9%); e Cenário III (crescimento do PIB de 4,6%), período: 2004 até 2012 172

Tabela 58 - Valores estimados para o processo gerador do consumo de álcool hidratado no Brasil, período da série: 1991 até 2003 173

Tabela 59 - Valores das autocorrelações do consumo de álcool hidratado no Brasil, período da série: 1991 até 2003 173

Tabela 60 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de álcool hidratado no Brasil, período da série: 1991 até 2003 174

Tabela 61 - Projeções sobre o consumo de álcool hidratado no Brasil, período: 2004 até 2012 175

Tabela 62 - Capacidade de produção de etanol nos estados produtores em 2003 200

Tabela 63 - Oferta de gasolina para motores nos EUA (milhões de barris por dia),..... 201

Tabela 64 - Quantidade vendida de gasolina para utilização comercial no Japão, unidade de medida: milhões de litros, período: 1º tri. 1990 até 4º tri. 2003 202

Tabela 65 - Consumo de gasolina trimestral na França, unidade de medida: bilhões de litros, período: 1° tri. 1990 até 4 ° tri. 2003 203

Tabela 66 - Consumo trimestral de gasolina na Alemanha: Bilhões de litros, período: 1° tri. 1990 até 4° tri de 2003 204

Tabela 67 - Consumo trimestral de gasolina na Itália: Bilhões de litros, período: 1° tri. 1990 até 4 ° tri .2003 205

Tabela 68 - Consumo trimestral de gasolina no Reino Unido: Bilhões de litros, período: 1° tri. 1990 até 4 ° tri de 2003 206

Tabela 69 - Consumo de gasolina trimestral no Brasil. Estimativa de quantidade média de barris consumidos por dia, período: 1° tri. 1991 até 4 ° tri. 2003 207

Tabela 70 - Evolução do PIB no Brasil – adotando-se a Base Móvel, período: 1° tri. 1991 até 4 ° tri de 2003 208

Tabela 71 - Teste de akaike e shwarz para a série americana. 209

Tabela 72 - testes de Akaike e Schwarz 211

Tabela 73 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{τ} e $\tau_{\beta\tau}$, para a série de consumo de gasolina no Japão 211

Tabela 74 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{μ} e $\tau_{\alpha\mu}$, para a série de consumo de gasolina no Japão 212

Tabela 75 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , para a série de consumo de gasolina no Japão 212

Tabela 76 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença , para a série de consumo de gasolina no Japão 213

Tabela 77 - Valores utilizados para o teste de dickey-Fuller sazonal 214

Tabela 78 - Testes de Akaike e Schwarz 217

Tabela 79 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{τ} e $\tau_{\beta\tau}$, para o consumo de gasolina na Alemanha. 217

Tabela 80 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{μ} e $\tau_{\alpha\mu}$, para o consumo de gasolina na Alemanha 218

Tabela 81 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , para o consumo de gasolina na Alemanha. 218

Tabela 82 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença , para o consumo de gasolina na Alemanha 219

Tabela 83 - Valores utilizados para o teste de dickey-Fuller sazonal 220

Tabela 84 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{τ} e $\tau_{\beta\tau}$, para o consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália 223

Tabela 85 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{μ} e $\tau_{\alpha\mu}$, para o consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália 223

Tabela 86 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , para o consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália 224

Tabela 87 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença , para o consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália 224

Tabela 88 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença, para o consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália 224

Tabela 89 - Valores utilizados para o teste de dickey-Fuller sazonal 226

Tabela 90 - Variação real do PIB 228

Tabela 91 - Testes Akaike e Schwarz..... 230

Tabela 92 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{τ} e $\tau_{\beta\tau}$ 230

Tabela 93 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{μ} e $\tau_{\alpha\mu}$ 231

Tabela 94 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ 231

Tabela 95 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença 232

Tabela 96 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença 232

Tabela 97 - Resíduo entre os valores previstos e os observados, no período: 4° tri. 1993 e 4° tri. 2003 234

Tabela 98 - Testes Akaike e Shwarz 236

Tabela 99 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{τ} e $\tau_{\beta\tau}$ 236

Tabela 100 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{μ} e $\tau_{\alpha\mu}$ 237

Tabela 101 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ 237

Tabela 102 - Teste de raiz unitária para séries individuais, considerando-se a segunda diferença 238

Tabela 103 - Valores dos resíduos..... 240

Tabela 104 - Os testes akaike e Schwarz para a série de consumo de álcool hidratado apontaram para a utilização de 12 "lags" no teste de Dickey-Fuller..... 242

Tabela 105 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{τ} e $\tau_{\beta\tau}$, para o consumo de álcool hidratado no Brasil..... 242

Tabela 106 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{μ} e $\tau_{\alpha\mu}$, para o consumo de álcool hidratado no Brasil..... 243

Tabela 107 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , para o consumo de álcool hidratado no Brasil..... 243

Tabela 108 - Teste de raiz unitária para séries individuais, considerando-se a segunda diferença , para o consumo de gasolina no Brasil 244

Tabela 109 - Teste de raiz unitária para séries individuais, considerando-se a terceira diferença, para o consumo de álcool hidratado no Brasil..... 244

RESUMO

Os programas de álcool como combustível nos EUA, no Japão e na União Européia e as possibilidades de exportação do Brasil

O presente trabalho teve como objetivo delinear cenários para o consumo de etanol utilizado como combustível em países identificados como fundamentais no desenvolvimento do mercado internacional de etanol, como é o caso dos Estados Unidos, Japão, União Européia e Brasil, considerando-se um horizonte até o ano de 2012, ano pelo qual os países ratificaram, pelo Protocolo de Quioto, o compromisso de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa. Para cumprir tal objetivo, utilizou-se do modelo Box-Jenkins de séries temporais para se efetuar as projeções do consumo de gasolina nestes países, no caso da União Européia projetou-se o consumo da Alemanha, isoladamente, e do conjunto das quatro maiores economias européias: Alemanha, França, Itália e Reino Unido. Após a realização das projeções, utilizaram-se as metas de mistura de etanol, em processo de discussão nos países em questão, obtendo-se os cenários de consumo de etanol. No caso brasileiro, projetou-se o consumo de álcool anidro, misturado na gasolina, e o consumo de álcool hidratado. Para os Estados Unidos, construi-se três cenários alternativos: no primeiro estimou-se um consumo de aproximadamente 7,2 bilhões de litros de etanol no ano de 2012; no segundo, um consumo de 12,3 bilhões de litros; e, no terceiro, um consumo de 18,9 bilhões de litros no ano de 2012. Nestes três cenários, os produtores americanos de milho teriam plena capacidade de suprir a oferta, mantendo-se o sistema de subsídios para os produtores domésticos e tarifas incidentes sobre a importação de etanol. O Japão foi o país desenvolvido analisado com maior potencial para se tornar um grande importador de etanol brasileiro. Caso a mistura compulsória de 3% até 2007 e 10% a partir de 2008 venha a ser efetivada, isto implicaria em uma grande expansão no consumo de etanol para cerca de 6,5 bilhões de litros no ano de 2012. O montante de etanol consumido deve ser basicamente importado, devido à indisponibilidade do país em produzir etanol. Na União Européia, caso a Alemanha venha a adotar uma mistura de 2% de etanol na gasolina, isto implicaria em consumo de aproximadamente 360,5 milhões de litros no ano de 2012. Caso os quatro países europeus analisados adotem a mistura de 2 % de etanol na gasolina, o consumo seria da ordem de 1,36 bilhões de litros no ano de 2012. Projetou-se, ainda, o consumo de álcool anidro e hidratado no Brasil. Apesar da potencialidade do mercado japonês e da possibilidade de exportar para a Alemanha, o mercado brasileiro continua sendo o maior mercado potencial para o setor sucroalcooleiro brasileiro. Caso o preço do álcool hidratado se mantenha competitivo em relação ao da gasolina, este mercado possui um grande potencial de crescimento, principalmente com a possibilidade de expansão da frota de carros bicombustíveis. Mantendo-se a trajetória de crescimento de 2002 e 2003, o consumo do álcool hidratado poderá atingir 17,4 bilhões de litros em 2012.

Palavras chave: Álcool combustível; Estados Unidos; Japão; União Européia; Brasil.

ABSTRACT

The ethanol fuel programs in the United States, Japan and European Union and Brazil's exportation possibilities.

The present work aimed to delineate scenarios for ethanol consumption used as fuel in countries identified as fundamental for the growth of the international market of ethanol, such as the United States, Japan, European Union and Brazil, considering a horizon until the year of 2012, when the countries ratified, through the Kyoto Protocol, the commitment to reduce the emission of gases which cause the greenhouse effect. In order to do so, a Box-Jenkins model of time series was delineated and estimated to forecast the gasoline consumption in these countries. In the case of the European Union the consumption of Germany was first projected separately, and then the consumption of the group of the four biggest European economies: Germany, France, Italy and United Kingdom was also projected as a group. After figuring out the projected consumption levels, the goals of mixture of ethanol were used, along with the countries in question, establishing their own scenarios of ethanol consumption. In the Brazilian case, the consumption anhydrous alcohol, mixed with the gasoline, was projected separately from the hydrated alcohol consumption. For the United States, three alternative scenarios were projected: the first estimated a consumption of roughly 7.2 billion liters of ethanol in the year of 2012; the second, a consumption of 12.3 billion liters; and the third, a consumption of 18.9 billion liters for the year of 2012. In these three scenarios, the American maize producers would have full capacity to supply the demand, considering that the existing subsidies for domestic producers and tariffs upon ethanol imports remain. The results showed that Japan was the developed country with greater potential to become a Brazilian importer of ethanol. In case the compulsory mixture of 3% up to 2007 and 10% until 2008 becomes effective, the consumption of ethanol would expand by 6.5 billion liters in the year of 2012. The amount of ethanol consumed in Japan must basically be imported, since the country does not produce the fuel. In the European Union, considering that Germany adopts a mixture of 2% of ethanol in the gasoline, a consumption of approximately 360.5 million liters would result in 2012. In case the four European countries considered for the analysis adopt the mixture of 2 % of ethanol in the gasoline, the consumption would be about 1.36 billion liters by 2012. The anhydrous and hydrated alcohol consumption was also projected for Brazil. Despite the potential of the Japanese market and the possibility to export to Germany, the Brazilian market continued to be the biggest potential market for the Brazilian sugar-ethanol sector. In case the price of the hydrated alcohol remains competitive compared to gasoline, it has a great potential of growth, mainly with the possibility of expansion of the fleet of flex fuel cars. If the growth rate that prevailed for 2002 and 2003 is sustained, the consumption of the hydrated alcohol is likely to reach 17.4 billion liters by 2012.

Keywords: Fuel Ethanol, United States; Japan, European Union, Brazilian exports

1 INTRODUÇÃO

1.1 O problema e sua importância

O Brasil foi pioneiro na utilização do álcool como combustível em larga escala. No ano de 1975, o país passou a implementar o Programa Nacional do Álcool com o objetivo de reduzir a importação de petróleo.

Posteriormente, em 1980, os EUA adotam um programa de utilização do etanol como combustível, produzido principalmente a partir do milho. O programa de etanol norte americano foi implantado com o objetivo de estabilizar o preço do milho, além de implementar uma fonte alternativa de combustível.

No final da década de 1990 e início de 2000, outros países desenvolvidos e em desenvolvimento passam a analisar a possibilidade de implementação de programas de biocombustíveis, podendo-se considerar como fatores motivadores desses programas: o impacto ambiental, redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa, e a estratégia dos países em diversificar sua matriz energética, tornando-a menos dependente do petróleo.[1]

As elevadas e crescentes emissões de dióxido de carbono (CO_2)[2] são as principais responsáveis pelo efeito estufa. Considera-se, atualmente, que o principal elemento propulsor de emissão de CO_2 é o modelo de produção e de consumo energético, que se baseia no uso intensivo dos recursos fósseis não renováveis: carvão mineral, petróleo, gás, etc, que é adotado como base do processo produtivo prevalecente. Além do modelo energético, vem contribuindo para o efeito estufa a destruição de florestas e ecossistemas, que funcionam como "sumidouros" e "reservatórios" naturais de absorção do dióxido de carbono.

---

[1] Com as crises sociais e políticas nos principais países produtores de petróleo e alguns estudos apontando para a redução da oferta de petróleo no médio prazo, a excessiva dependência do petróleo na matriz energética passou a ser considerado um fator de risco para muitos países desenvolvidos.

[2] O dióxido de carbono (CO_2) não é um gás tóxico, não sendo considerado, portanto, um poluente atmosférico **local.** Embora não tóxico, o CO_2 é um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa; desta forma, considera-se o CO_2 como um poluente **global**.

Em Quioto, no Japão, em 1997, realizou-se uma conferência entre 154 países membros das Nações Unidas[3], tendo como resultado o Protocolo de Quioto, com uma proposta concreta de início do processo de estabilização das emissões de gases geradores do efeito estufa. O Protocolo dividiu os países em dois grupos: o Anexo 1 (países mais industrializados, grandes emissores de CO_2) e os países do Não-anexo 1 (países que podem aumentar suas emissões, pois provavelmente necessitam aumentar a sua oferta energética, para atender às necessidades básicas de desenvolvimento).

De acordo com o Protocolo de Quioto, os países do Anexo I ficam obrigados a reduzir suas emissões de gases geradores de efeito estufa, para que elas se tornem 5,2% inferiores aos níveis de emissão de 1990. O Protocolo estabeleceu ainda que essa redução deverá ser realizada entre 2008 e 2012 (fase definida como o primeiro período de cumprimento do Protocolo).

Os 39 países que compõem o Anexo I do Protocolo de Quioto devem promover, ao longo do período de 2008 a 2012, reduções diferenciadas, tomando por base as emissões registradas em 1990. Para a União Européia, por exemplo, prevê-se uma redução de 8%, para o Japão, uma redução de 6%, e os EUA deverão reduzir, caso venha a ratificar o acordo, 7% de suas emissões.

Tendo como impulso inicial o estímulo para os países do Anexo I adotarem uma matriz energética mais limpa, com menores emissões de gases geradores do efeito estufa e menos dependentes do petróleo em sua matriz energética, alguns países desenvolvidos, tais como Austrália, Japão e alguns países da União Européia estão analisando projetos para misturar o álcool na gasolina.

Apesar dos Estados Unidos não terem ratificado o Protocolo de Quioto, até 2005, o seu programa de uso do etanol como combustível vem-se expandindo, tendo as seguintes motivações: - adotar uma matriz energética mais limpa, em termos de emissão de poluentes; - a descoberta de MTBE (Metil-Tércio-Butil-Éter), considerado cancerígeno e poluidor dos lençóis freáticos, na água de alguns estados americanos, principalmente na Califórnia, que forçou a substituição do MTBE pelo etanol em alguns estados americanos; - o *lobby* dos produtores de milho americanos; e a estratégia para reduzir a dependência por importação de petróleo.

---

[3] A discussão sobre as mudanças climáticas e os efeitos dos gases poluentes na camada de ozônio, iniciaram na conferência de Toronto em 1988. Em 1992, no Rio de Janeiro , 154 países membros das Nações Unidas, ratificaram um compromisso de reduzir até 2012 para os níveis de 1990 a emissão de gases geradores do efeito estufa. As partes envolvidas na reunião se comprometeram a realizar uma série de encontros para avaliar o seu desempenho quanto a redução de emissão de CO_2. Esses encontros foram denominados de conferências das partes. As primeiras duas conferências foram realizadas em Berlim, Alemanha em 1995, e em Geneva na Suíça, em julho de 1996. A terceira conferência foi realizada em dezembro de 1997, em Quioto, no Japão (ENVIRONMENT CANADA, 2001).

Na União Européia, estipularam-se prazos para a implantação dos biocombustíveis. Esses estabelecem que até 2005, 2% de todos os combustíveis devem ser originários de biomassa, e até 2010, esse percentual deve se elevar para 5,75%.

No Japão está em curso um programa para misturar álcool na gasolina para reduzir a emissão de CO_2. Foi aprovada, pelo ministro japonês do meio ambiente, uma política para reduzir os gases causadores do efeito estufa através de uma mistura de álcool na gasolina da ordem de 10% até 2008. Atualmente, a legislação japonesa permite, mas não obriga, a mistura de 3% de álcool na gasolina.

Além dos países do Anexo I, muitos países em desenvolvimento, tais como Colômbia, China e Índia, também estão implantando programas de mistura do etanol na gasolina com o intuito de tornar sua matriz energética mais limpa, reduzir a dependência do petróleo e gerar renda para seus produtores agrícolas.

O Brasil tem interesse em acompanhar estes programas de utilização do álcool como combustível tendo como intuito explorar esse mercado como um potencial exportador do produto, pois apresenta as seguintes vantagens comparativas: o Brasil foi pioneiro na utilização do álcool como combustível, garantindo ao país o conhecimento desta tecnologia da produção e da comercialização do álcool, permitindo redução dos custos de produção (ver Anexo A); o setor sucroalcooleiro brasileiro apresenta grande competitividade internacional, tanto na produção de açúcar, como de álcool; e o país ainda apresenta área com potencial para ampliar a produção de cana de açúcar.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho consiste em delinear cenários para o consumo de etanol em países identificados como fundamentais no desenvolvimento do mercado internacional de etanol, como é o caso dos Estados Unidos, Japão, União Européia e Brasil, considerando-se um horizonte até o ano de 2012, ano pelo qual os países ratificaram o compromisso de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa pelo Protocolo de Quioto. Deverão ser avaliadas, ainda nesse contexto, as possibilidades de exportação brasileira de álcool anidro.

Para cumprir o objetivo geral, o presente trabalho assume como objetivos específicos:

- Apresentar um panorama da situação corrente dos programas de etanol nos EUA, Japão e União Européia no que se refere às suas metas para a mistura de etanol na gasolina.
- Utilizar modelos de previsão de Box-Jenkins para obter previsões de consumo de gasolina nesses mesmos países até 2012, ano em que os países se comprometeram a reduzir a emissão de CO_2 pelo Protocolo de Quioto. Com base nessas previsões da demanda por combustível e as características dos programas de etanol nos países selecionados, serão feitas projeções sobre o consumo de etanol para os EUA, Japão e União Européia.
- Pesquisar a evolução da oferta de etanol nos EUA, França, Espanha e Suécia, países desenvolvidos produtores de etanol.
- Com base nas projeções de demanda e de oferta de etanol nestes países, avaliar potenciais necessidades de importação.
- No caso brasileiro pretende-se projetar o consumo de álcool anidro e hidratado. Será utilizada a metodologia de Box-Jenkins para prever o consumo de gasolina e álcool hidratado no Brasil até 2012. Com base na previsão do consumo de gasolina será projetado o consumo de álcool anidro.

1.3 Justificativa

Vários países do mundo, tanto os desenvolvidos, como os países em desenvolvimento, estão adotando programas para a utilização de biocombustíveis em sua matriz energética. A perspectiva de que o Brasil venha a se tornar também um grande exportador de etanol apresenta-se positiva para a economia nacional, por criar importante potencial para a entrada de divisas e geração de renda e emprego. O setor sucroalcooleiro possui uma grande importância para a economia nacional, particularmente para o estado de São Paulo que concentra cerca de 60% da produção nacional. Além do estado de São Paulo, são importantes estados produtores de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do país, o Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás. Na região Norte-Nordeste, destacam-se os estados de Alagoas e Pernambuco (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção de cana-de-açúcar no Brasil – principais estados produtores -; em 1000 toneladas, safras: 1990/91 até 2003/04

	Safras (mil toneladas)				
Estados	**90/91**	**94/95**	**99/00**	**02/03**	**03/04**
PARÁ	184	75	521	311	420
MARANHÃO	595	260	938	1105	1304
PIAUÍ	464	328	218	284	323
R. G. NORTE	2169	2064	1893	2682	2614
PARAÍBA	4570	3240	3418	4336	5017
PERNAMBUCO	18679	16478	13320	14891	17003
ALAGOAS	22617	20067	19315	22645	29537
SERGIPE	1395	620	1163	1430	1526
BAHIA	1053	1156	2098	2214	2137
NORTE-NORDESTE	**52235**	**44629**	**43017**	**50243**	**60195**
MINAS GERAIS	9850	9485	13599	15600	18916
ESPÍRITO SANTO	1194	1913	2127	3293	2953
RIO DE JANEIRO	4522	5480	4953	4478	4577
SÃO PAULO	131815	148942	194234	192487	207811
PARANÁ	10751	15519	24351	23893	28486
MATO GROSSO	3325	4907	10111	12384	14350
MATO GROSSO DO SUL	3978	3725	7410	8247	8893
GOIÁS	4258	5831	7163	9922	13041
CENTRO-SUL	**170195**	**196084**	**263949**	**270407**	**299121**
BRASIL	**222429**	**240713**	**306966**	**320650**	**359316**

Fonte: União da Agroindústria Canavieira de São Paulo - UNICA (2005)

Nota: O setor sucroalcooleiro está instalado no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, permitindo-se a produção de cana e seus derivados o ano todo, em dois períodos intercalados. Na região Centro-Sul, a colheita da cana ocorre de maio a outubro, enquanto na região Norte-Nordeste, esse período compreende outubro a abril. Dadas essas características, a safra é representada em dois anos. Como exemplo, representa-se a safra de 90/91.

Atualmente, a maioria das usinas instaladas no Brasil produzem álcool anidro e hidratado, além de açúcar, dando ao sistema um grande grau de flexibilidade (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES, 2003), conforme sistema ilustrado na Figura 1.

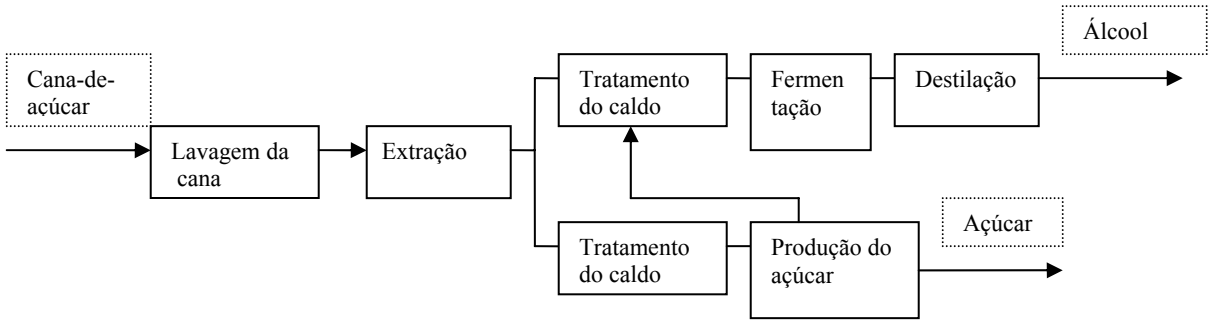

Figura 1 - Fluxo simplificado do processo de produção de açúcar e álcool

Fonte: Moreira; Goldemberg (2000)

O Brasil conta com 284 usinas fabricando álcool, das quais 234 produzem tanto álcool anidro como hidratado (Tabela 2). A região Nordeste, tradicional na produção de açúcar, conta hoje com 70 usinas produzindo álcool. O Norte do país possui duas usinas produzindo este produto. A região Centro-Sul contém 212 usinas. Deste total, 172 usinas produzem anidro e hidratado e 40 produzem apenas hidratado (BNDES, 2003).

O Estado de São Paulo destaca-se como o maior produtor de álcool do Centro-Sul e do país, com 128 usinas produtoras de álcool, sendo responsável pela produção de 3/4 do açúcar e 2/3 do álcool fabricado na região (a produção estimada de álcool na região Centro-Sul, na safra 2002/2003, é de 11,014 bilhões de litros). O Paraná é o segundo maior produtor da região, contando com 26 usinas produzindo álcool. Minas Gerais vem em terceiro, com 16 usinas. O estado de Goiás produz em 11 usinas, enquanto no Mato Grosso a produção é realizada por cerca de 10 usinas. O estado do Mato Grosso do Sul compreende 9 usinas, no Rio de Janeiro existem 6 usinas em operação, no Espírito Santo são 5 usinas e no Rio Grande do Sul apenas 1 usina mantém produção no Estado (BNDES, 2003).

Além de ser o maior produtor e apresentar vantagem comparativa na produção de álcool, o Brasil apresenta potencial de crescimento na produção deste produto. Acredita-se que o país tenha capacidade instalada para a produção de 16 bilhões de litros por ano (BNDES, 2003). Como a produção na safra 2003/2004 foi de 14,8 bilhões, conforme se verifica na Tabela 2, o

Brasil ainda teria o potencial de ampliar a produção de álcool em pouco mais de 1 bilhão de litros, sem a necessidade de novos investimentos nas plantas industriais.

No entanto, deve-se considerar a flexibilidade das plantas industriais para a produção de açúcar, álcool anidro, e álcool hidratado. Daí se infere que qualquer avaliação da capacidade instalada para produção de álcool deve levar em conta também à quantidade de açúcar a ser produzido.

Tabela 2 - Produção de álcool no Brasil por região e Estado; em milhões de litros, safras: 1996/97 até 2002/03

Estados	**Safras (milhões de litros)**							
	96/97	**97/98**	**98/99**	**99/00**	**00/01**	**01/02**	**02/03**	**03/04**
NORTE/ NORDESTE	**2.266**	**2.144**	**1.631**	**1.368**	**1.528**	**1.359**	**1.471**	**1.740**
PARÁ	16	16	15,5	25,5	31,2	24,9	26,4	35
MARANHÃO	39	64	71,9	57,1	46,9	75	83,5	89,8
PIAUÍ	21	25	22,7	15,4	16,6	18,6	22,8	22,3
RIO G. DO NORTE	127	131,7	110,1	68,5	93,8	79,8	99	94,8
PARAÍBA	332	310,2	257	201,5	218,3	226,6	240,3	277,7
PERNAMBUCO	665	549,5	433,5	339,8	297,3	261,9	306,9	378,2
ALAGOAS	874	838,5	561,2	550,5	712,6	562,2	567,8	725,5
SERGIPE	67,9	78	64,1	46,8	58,6	52	61,3	62
BAHIA	92	101,6	76,3	60,1	48,4	54,4	57,8	49,6
CENTRO/ SUL	**12.113**	**13.262**	**12.280**	**11.634**	**9.064**	**10.160**	**11.152**	**13.068**
MINAS GERAIS	471	641,6	636	643,6	485	524,4	635,8	799,2
ESPÍRITO SANTO	108	176,8	119	126,2	150	131	202,5	183,9
RIO DE JANEIRO	105	134,7	105	117,8	92,5	64,7	109	107,9
SÃO PAULO	8.971	9.493	9.072	8.486	6.439	7.118	7.690	8.828
PARANÁ	1.233	1.311	1.023	1.031	799	960,2	980	1.224
MATO GROSSO	468	595,9	527,9	542	464,3	580,1	653,9	792,1
MATO GROSSO DO SUL	287	393,5	345,4	371	314,7	396,5	418	480,5
GOIÁS	464	512,5	447,9	314	318,4	379,2	455	646,3
BRASIL	**14.379**	**15.407**	**13.912**	**13.002**	**10.593**	**11.515**	**12.623**	**14.808,7**

Fonte: UNICA (2005)

Apesar do Brasil ser o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo seguido por Índia e Austrália o país ainda possui áreas para ampliar esta produção (Tabela 3). A área utilizada pela cana-de-açúcar nos meses de março e abril de 2005 foi de aproximadamente 5,6 milhões de hectares, correspondendo a aproximadamente 9,7% das áreas cultivadas brasileiras, conforme o levantamento sistemático da produção agrícola (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2005). Além disto, a cana, em tese, pode ser produzida em grande parte do território nacional, confirmando o potencial para a expansão da cultura da cana-de-açúcar em território brasileiro, face à vasta área agricultável ainda a ser explorada no país (BNDES, 2003).

Tabela 3 - Produção de cana-de-açúcar nos 10 maiores países produtores em 2003; período: 1996 até 2003

Países	**Produção de cana-de-açúcar (mil toneladas métricas)**							
	1996	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**
Brasil	317.106	331.613	345.255	333.848	327.705	345.942	363.721	383.232
Índia	281.100	277.560	262.090	295.730	299.230	295.956	279.208	289.630
China	71.260	83.012	87.204	78.108	71.275	77.966	92.203	92.370
Tailândia	57.699	59.506	50.332	53.494	59.436	60.013	74.258	64.408
Paquistão	45.230	41.998	53.104	55.191	46.333	43.606	48.042	52.056
México	45.081	45.220	48.895	46.880	44.150	47.275	45.635	45.127
Colômbia	35.000	36.000	34.000	32.300	32.750	33.400	35.800	36.600
Austrália	35.821	38.463	39.531	38.534	38.165	31.228	32.260	36.012
Estados Unidos	26.727	28.751	31.486	32.023	32.762	31.377	32.253	31.301

Fonte: FNP Consultoria & Comércio (2005)

Quanto à produtividade da cana, o Brasil aparece em sexto lugar (Tabela 4). No entanto, vem ocorrendo um incremento na produtividade nos canaviais brasileiros, como resultado dos investimentos em tecnologia promovidos pelo setor.

Tabela 4 - Produtividade dos 10 principais países produtores de cana de açúcar, período: 1996 até 2003

Países	**Produtividade (toneladas por hectare)**							
	1996	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**
Brasil	66,76	68,89	69,24	68,15	67,62	69,77	71,32	71,73
Índia	67,73	66,56	66,52	72,93	70,91	68,57	63,28	62,85
China	57,28	74,92	73,47	74,96	59,95	60,86	64,79	69,56
Tailândia	58,58	60,72	54,83	56,61	64,46	70,60	93,64	66,40
Paquistão	46,97	43,52	50,29	47,78	45,87	45,38	48,04	47,93
México	71,11	73,53	77,49	72,91	71,44	75,76	72,21	70,62
Colômbia	90,21	93,02	86,29	86,36	82,49	82,88	83,26	84,14
Austrália	93,53	95,92	94,12	93,08	91,09	75,98	77,36	85,13
Estados Unidos	74,24	77,92	82,21	79,66	78,38	75,43	77,91	77,48

Fonte: FNP Consultoria & Comércio (2005)

Nota: Os valores da produtividade brasileira foram obtidos com a divisão da produção de cada país pela sua respectiva área colhida.

Quando se analisam as diferentes regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil, identificam-se diferentes níveis de produtividade. Estados como Mato Grosso, Paraná, São Paulo e Goiás apresentam nível de produtividade compatível com os maiores níveis mundiais. No ano de 2003, o estado do Mato Grosso apresentava o maior nível de produtividade (109,5 toneladas por hectare), muito acima da produtividade alcançada nos demais estados brasileiros e acima dos maiores níveis de produtividade internacional. Em termos de produtividade, abaixo do nível de produtividade obtido no Mato Grosso encontram-se respectivamente os estados do Paraná, São Paulo e Goiás (a produtividade destes estados oscilou entre 81 e 82 toneladas pro hectare). Estes estados com nível de produtividade equiparado aos mais elevados níveis internacionais respondem por cerca de 74,7% da produção brasileira de cana (Tabela 5).

Tabela 5 - Produtividade dos estados produtores de cana-de-açúcar no Brasil; períodos: 1997 até 2003

	Produtividade (toneladas por hectare)						
Estados	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**
ACRE	28.2	30.3	33.8	31.8	41.8	-----	-----
RONDÔNIA	34.9	36.1	36.4	46.3	37.6	-----	-----
AMAZONAS	15.6	48.1	51.4	53.2	57.6	57.5	62.3
PARÁ	63.2	65.8	57.6	72.5	65.7	69.5	53.1
Amapá	12.9	24.3	28.5	15.3	22.2		
TOCANTINS	42.5	40.8	40.9	42.1	57.7	54.7	56.8
NORTE	**53**	**54.9**	**49.7**	**58.9**	**59.7**	**62**	**57**
MARANHÃO	59.6	51.8	52.4	55.7	35.8	61	61.3
PIAUÍ	52.9	53.5	57.5	54.6	56.7	53.1	53
CEARÁ	48.6	45.8	50.9	50	51.3	49.1	50.8
RIO GDE DO NORTE	43.4	41.3	37.4	54.7	50.3	47.8	58.1
PARAÍBA	40.7	32.7	38.1	43.8	49.8	50.4	52.1
PERNAMBUCO	49.3	48.8	37.9	49.8	47	50.5	50.4
ALAGOAS	55.1	61.8	59.4	62	62.9	57.1	57.6
SERGIPE	60	60.5	60.6	64.2	64.6	67.2	61.5
BAHIA	53.3	52	53.2	53.1	54.6	56.2	56.2
NORDESTE	**51.1**	**52.5**	**49.5**	**55.3**	**54.9**	**53.9**	**54.6**
MINAS GERAIS	58.2	60.5	62.6	64.2	64.5	65.6	68
ESPÍRITO SANTO	51.7	51.1	50	54.1	53.1	62.9	64.5
RIO DE JANEIRO	44.6	44.8	44.6	44.6	31.4	45	44.6
SÃO PAULO	79.3	77.8	77.1	76	77.4	79.9	81.4
SUDESTE	**74.9**	**74**	**73.6**	**72.9**	**73.4**	**76.6**	**78.1**
PARANÁ	81.8	85.8	80	70.8	81.1	79.1	82.9
SANTA CATARINA	25.7	30	31.5	31.8	37.5	37.6	39.7
RIO GRANDE DO SUL	29.6	31.7	31.7	29.8	33.3	32.5	34.4
SUL	**75**	**78.7**	**74**	**65.7**	**75.3**	**73.5**	**77.4**
MATO GROSSO DO SUL	40.2	46.8	47	43.2	45.3	47.4	47.6
MATO GROSSO	122	113.5	109.8	85.6	112	113	110
GOIÁS	78.6	79.5	71.8	73	78.9	80.4	81.2
DF	66.3	46.1	45.9	45.2	45.4		
CENTRO –OESTE	**76.3**	**75.7**	**70.6**	**67.9**	**72**	**74.9**	**75.6**
BRASIL	**68.9**	**69.1**	**68**	**68**	**69.3**	**71.2**	**72.8**

Fonte: FNP Consultoria & Comércio (2005)

Nota: Os valores da produtividade brasileira foram obtidos com a divisão da produção brasileira de cada estado pela área colhida.

Quanto à ampliação das plantas industriais, a indústria brasileira de equipamentos é composta de dois núcleos fabris, sendo um instalado em Piracicaba (Grupo Dedini) e outro em Ribeirão Preto (Grupo Biagi). Além de algumas empresas independentes também localizadas nessas regiões, esses grupos têm capacidade de fornecer 24 usinas completas por ano. Em dois anos e meio, é possível instalar o parque industrial necessário para a produção de 5 bilhões de litros de álcool anidro, utilizando-se apenas da indústria de bens de capital instalada no Brasil. (BNDES, 2003)

Finalmente, deve-se ressaltar que a escolha dos países a serem pesquisados no presente trabalho, Estados Unidos, Japão e países da União Européia, teve como base os seguintes fatores: (i) os Estados Unidos possuem programa para misturar etanol na gasolina; (ii) o Japão vem negociando com os produtores brasileiros de álcool anidro a possibilidade de o Brasil tornar-se um exportador deste produto para suprir seu mercado de combustível; (iii) a União Européia vem incentivando projetos dos países membros para se intensificar a utilização de biocombustíveis; (iv) estes países são grandes consumidores mundiais de gasolina. No ano de 2000, foram responsáveis por cerca de 60% do consumo mundial de gasolina (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2004b); e, (v) estudo realizado por Berg (2003) apontando estes países como os potenciais importadores de etanol no período de 2005 até 2012 (ver Anexo B).

2 DESENVOLVIMENTO

Inicia-se este capítulo com a revisão da literatura. Posteriormente, serão apresentados a metodologia, os procedimentos e os dados para se efetuar as projeções. Finaliza-se o capítulo, com os resultados e a discussão.

2.1 Revisão da literatura

Inicia-se este sub item descrevendo a evolução do programa de álcool como combustível no Brasil, programa pioneiro em termos mundiais, quanto aos fatores que motivaram a sua elaboração e sua crise no final da década de 1980 e 1990. Aborda-se, também, alguns dados relativos ao crescimento das exportações de álcool pelo Brasil, principalmente nos anos de 2002 e 2003 e o mercado mundial de álcool. Além disto, caracteriza-se brevemente o mercado externo e doméstico de açúcar.

Posteriormente, serão abordados os principais fatores impulsionadores dos programas de etanol como combustível nos países desenvolvidos selecionados, salientando-se a necessidade de redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa nos países desenvolvidos que ratificaram o protocolo de Quioto, e o impacto da utilização do etanol como combustível para reduzir a emissão de CO_2. No caso americano, destaca-se a necessidade de substituição do oxigenante MTBE (Metil Tributil Etano) pelo etanol, motivada pela poluição causada pelo MTBE nas águas americanas. Ressalta-se ainda a instabilidade na oferta de petróleo e a elevação dos preços, servindo como um estímulo adicional para os países promoverem o programa de etanol como combustível. Após analisar os fatores motivadores, serão apresentados os programas de etanol nos Estados Unidos, União Européia e Japão.

Finalizando este capítulo, serão apresentados alguns modelos que utilizaram técnicas de cointegração para analisar a demanda por gasolina na Índia, Kwait e Estados Unidos e para estimar a importação de petróleo nos EUA.

2.1.1 A evolução do programa do álcool combustível no Brasil

O mercado doméstico de álcool combustível, tanto o anidro como o hidratado, também representa um importante mercado para o setor sucroalcooleiro. Destaca-se neste tópico um breve histórico sobre o mercado de álcool combustível no Brasil e suas perspectivas futuras.

No ano de 1973, os países da OPEP[4] (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), atuando na forma de cartel, entraram em acordo para reduzir a produção de petróleo mundial, de forma coordenada, ou seja, determinando-se níveis de produção para cada um dos países membros. Isso desencadeou o primeiro choque do petróleo. A redução da produção provocou elevação dos preços do petróleo no mercado internacional, afetando todos os países importadores do produto, como pode ser visualizado na Figura 2. Nessa mesma figura, pode-se verificar que a tendência de alta nos preços no mercado internacional de petróleo perdurou por toda a década de 1970.

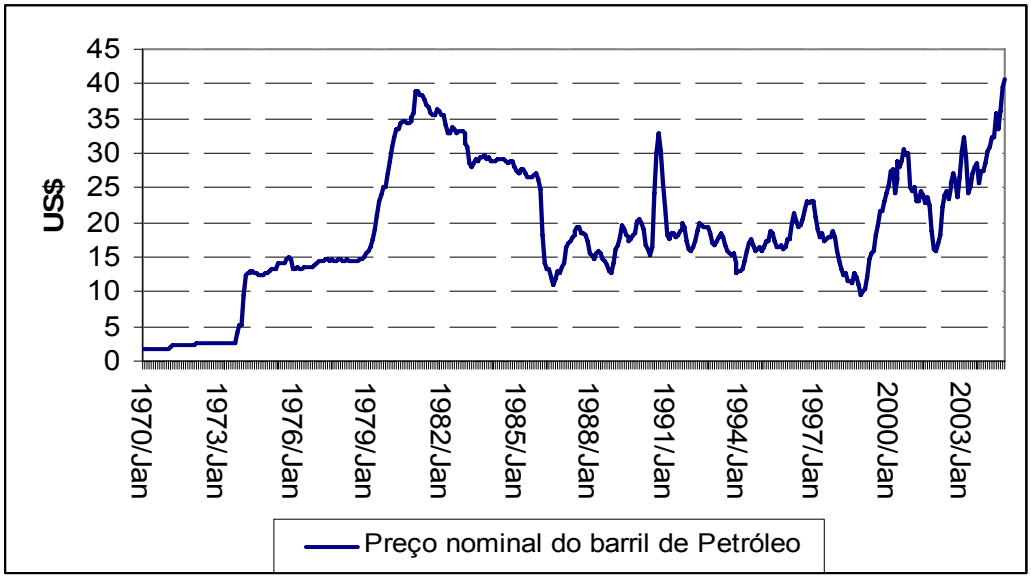

Figura 2 - Evolução mensal do preço do barril de petróleo, em US$, período: jan/70 até dez/03

Fonte: Energy Information Administration (2004d)

Nesse período, como o Brasil importava mais de 80% do petróleo que consumia, as despesas com as importações do país aumentaram de US$ 6,2 bilhões, em 1973, para US$ 12,6

[4] A formação original da OPEP ocorreu em 1960, incluía Irã, Iraque, Kuwait, Arábia Saudita e Venezuela. Em 1973, oito outros países tinham se unido: Qatar, Indonésia, Líbia, os Emirados Árabes Unidos, Argélia, Nigéria, Equador e Gabão. Em 1973, três quartos das reservas mundiais de petróleo encontravam-se nos territórios da OPEP (MANKIW, 1999).

bilhões, em 1974. O saldo da Balança Comercial passou de um leve superávit de US$ 7 milhões em 1973, para um déficit de US$ 4,7 bilhões em 1974. O crescimento do déficit da Balança Comercial desencadeou elevação do déficit da conta corrente, passando de US$ 1,7 bilhão para US$ 7,1 bilhões (BAER, 1996).

No ano de 1974 iniciou-se o governo do General Geisel. Este governo optou pela manutenção do crescimento econômico, apesar do cenário de baixo crescimento nas demais economias. Para manter a taxa de crescimento, elaborou-se o II PND sob a orientação de João Paulo dos Reis Velloso, Ministro do Planejamento na época.

O II PND (1975-1979) avaliava a crise e os transtornos da economia mundial como passageiros, considerando que as condições de financiamento externo eram favoráveis, propunha uma "fuga para frente", assumindo os riscos de aumentar provisoriamente os déficits comerciais e a dívida externa, mas construindo uma estrutura industrial avançada que permitiria superar conjuntamente a crise e o subdesenvolvimento (REGO et al., 2000).

Neste contexto, em 9 de outubro de 1975 o presidente Geisel faz um discurso à nação no qual anunciou uma série de medidas para reduzir ao máximo o déficit no Balanço de Pagamentos, sendo que uma destas medidas foi a elaboração do Programa Nacional do Álcool, concedendo-se estímulos financeiros à expansão da lavoura canavieira e à montagem de destilarias anexas e autônomas (MORAES, 1999).

Shikida; Bacha (1999) salientaram que foi uma orquestração de interesses que levou o Brasil a optar pelo Programa Nacional do Álcool. Para os usineiros tratava-se de diversificar a produção e de "criar" um novo mercado diante das freqüentes crises da economia açucareira. Para a execução do Programa Nacional do Álcool houve um forte apoio oficial, sob a forma de financiamentos, incentivos creditícios e fiscais, subsídios e/ou incentivos de preços. Assim, de 1975 a 1980, foi investido US$ 1,019 bilhão no Programa Nacional do Álcool, sendo 75% desta quantia advinda de recursos públicos e 25% de recursos privados**.** Esse montante foi empregado no desenvolvimento de 209 projetos, na sua maioria visando à instalação ou a modernização de destilarias em áreas tradicionais da agroindústria canavieira (destacadamente em São Paulo, Alagoas, Pernambuco e Rio de Janeiro).

A produção de álcool deveria ser vendida à PETROBRÁS, sendo que o papel do Instituto do Açúcar e do Álcool[5] - IAA seria o de fiscalizar a produção e a comercialização de todos os tipos de álcool em todo o território nacional.

Também foi estabelecido que a produção de álcool anidro deveria ser feita prioritariamente nas destilarias anexas às usinas (que teriam financiamentos concedidos pelas entidades oficiais de crédito, ou através do Fundo Especial de Exportação para se adequarem à produção de álcool). Como grande parte das usinas não possuía destilarias anexas, foram abertas linhas de crédito para que as usinas as instalassem ou as ampliassem, e também para que se instalassem destilarias autônomas (MORAES, 1999).

Em relação ao processo de implantação do programa, devem ser destacadas duas fases: a primeira abrange o período de novembro de 1975 até 1978, conforme indicado na Figura 3, correspondendo ao uso da mistura álcool-gasolina, à implantação das destilarias anexas, e ao envolvimento da indústria automotiva para a produção de carros a álcool. Nesta fase ocorreu uma expansão moderada na produção do álcool.

[5] O Instituto do Açúcar e do Álcool foi criado em 1933 e extinto em 1990 (governo Collor). Entre as diversas funções deste instituto, destacavam-se a determinação dos limites de produção de açúcar e do álcool, através de cotas para cada usina ou destilaria quando da definição do Plano de Safra, além da fixação de preços da matéria-prima e dos produtos finais, e também a operacionalização das exportações do açúcar excedente produzido (CARUSO, 2000). A extinção do instituto foi decorrência a intenção do governo Collor em implantar uma política de redução do papel do estado na economia (SHIKIDA,1997).

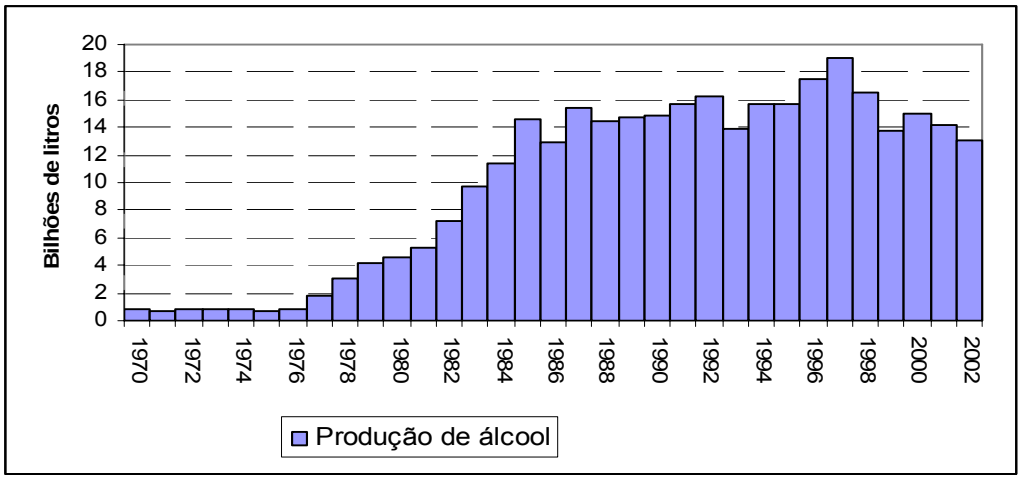

Figura 3 - Evolução da produção brasileira de álcool, período: 1970 até 2002

Nota: A unidade de medida da FAO é tonelada métrica. Utilizou-se a conversão de 810 gramas igual a 1litro. Conversão utilizada pelo Centro de Estudos de Pesquisa Econômica Aplicada - CEPEA.

Fonte: FAO (2004)

A segunda fase, iniciada em 1979, é a da produção em larga escala do álcool hidratado, para ser usado em carros movidos exclusivamente com este combustível. Diante de um novo conflito no Oriente Médio – entre Irã e Iraque - contribuindo para que os preços do petróleo atingissem patamares elevados (Figura 2), acelerou-se a implementação do uso do álcool hidratado como combustível único.

Shikida; Bacha (1999) ressaltam que nesta fase verificaram-se três conjuntos de medidas, incluindo-se desde a indústria de bens de capital até o consumidor final, para o desenvolvimento do programa:

O **primeiro conjunto de medidas** foi tomado no âmbito da agroindústria canavieira, intensificando-se a produção de álcool hidratado a partir da expansão das destilarias autônomas.

O **segundo** foi no âmbito do Estado. A Petrobrás continuou responsável pela comercialização do álcool[6], dando ao produtor garantia de compra do produto, além de dividir

[6] No final de 1983 a Petrobrás se aproximava do monopsônio do álcool já que estava autorizada a comprar o volume que excedia o consumo, além dos estoques de segurança, e cerca de 50% de todo o álcool consumido no País, incluindo anidro e hidratado (este percentual chegava a 100% em São Paulo e arredores). Além disto, detinha controle significativo dos tanques coletores (23,5% da capacidade total de armazenagem, aproximadamente 1,3 milhão de metros cúbicos), e a maior rede de postos de abastecimento de álcool hidratado no País (MORAES, 1999).

parte dos custos de estocagem. Foram tomadas medidas inovadoras de estímulo ao uso do veículo movido exclusivamente a álcool, como redução da alíquota do imposto sobre produtos industrializados (IPI) e da taxa rodoviária única para veículos privados dessa natureza, isenção do IPI para táxis a álcool e o estabelecimento de um limite do preço ao consumidor de álcool hidratado de 65% em relação ao preço da gasolina. Foi definida a obrigatoriedade de adicionamento de 22% de álcool anidro à gasolina.

O **terceiro** foi voltado para a indústria de máquinas e equipamentos para a agroindústria canavieira e para a indústria automobilística, onde foram estimuladas suas produções diante da possibilidade de expansão desses mercados.

As medidas adotadas pelo governo brasileiro surtiram efeito, desencadeando expansão na venda de carros a álcool. Entre os anos de 1983 e 1988, o carro a álcool passou a ser mais vendido em relação ao carro movido à gasolina, conforme ilustrado na Figura 4. Apenas a partir de 1989 a venda de carros a gasolina voltou a ultrapassar a venda de carros a álcool e em 1990 inicia-se o processo de declínio da venda de carros a álcool.

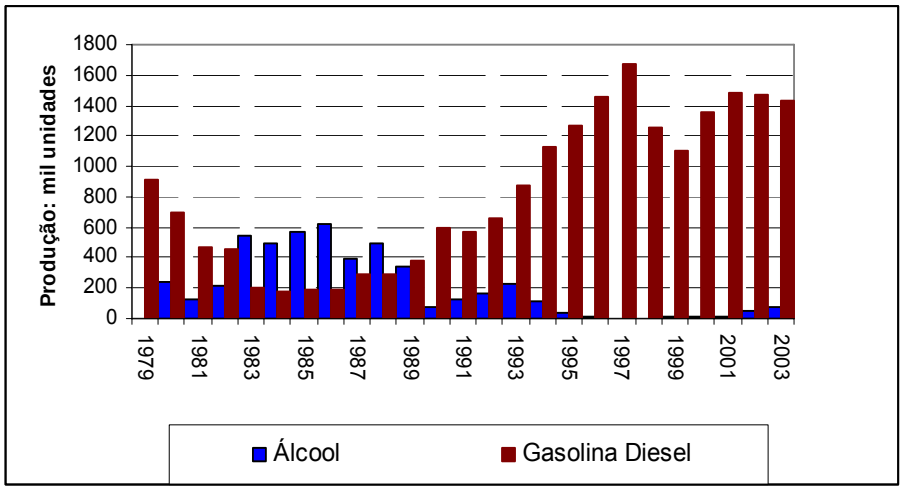

Figura 4 - Evolução da produção de carros a álcool e a gasolina/diesel no Brasil, período: 1979 até 2003

Fonte: Informação UNICA (2005)

O impulso dado ao Programa Nacional do Álcool, a partir de 1979, desencadeou mudanças na utilização da cana-de-açúcar, com parcelas crescentes desse produto sendo utilizadas para a produção de álcool combustível, em detrimento do açúcar entre os anos de 1978 e 1990, como pode ser visualizado na Figura 5.

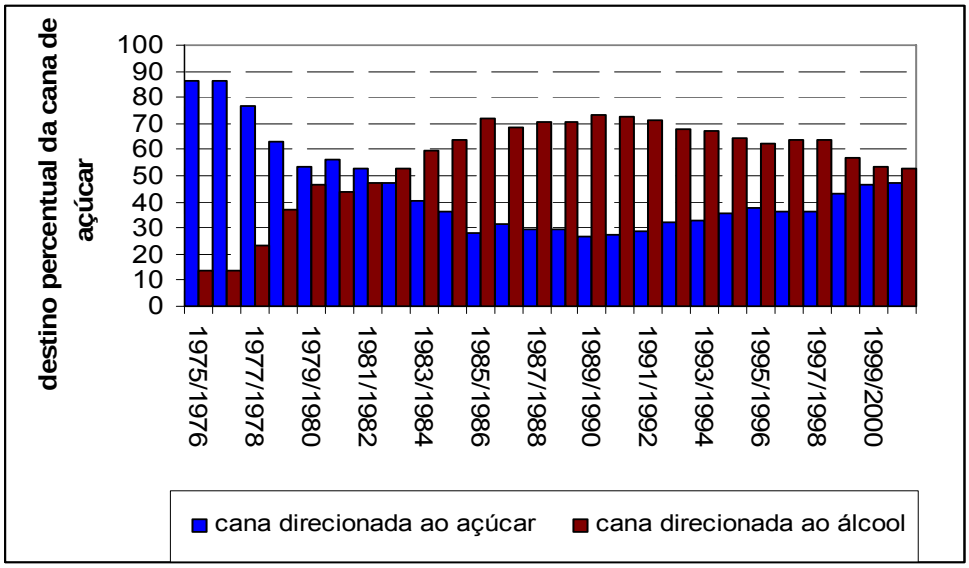

Figura 5 - Destino da cana de açúcar voltada para a produção de álcool e de açúcar, período: 1975/1976 até 1999/2000

Fonte: Leão (2002)

Quanto à disposição geográfica da produção de álcool, registra-se o fortalecimento da produção alcooleira em regiões e estados já tradicionais nesse segmento produtivo, como São Paulo e Rio de Janeiro na região Sudeste, e Alagoas e Pernambuco na região Nordeste. Expandiu-se também a produção de álcool os seguintes estados: Minas Gerais, Paraná, Paraíba e Rio Grande do Norte. Estados sem tradição no setor sucroalcooleiro, como Goiás, Mato Grosso do Sul, e Mato Grosso, passaram a produzir álcool (SHIKIDA; BACHA, 1999).

Moraes (1999) descreve os acontecimentos que levaram a estagnação do Programa do Álcool na década de 1990 e 2000, repercutindo em queda nas vendas dos carros a álcool. A partir de 1986, começa a ocorrer uma redução dos preços internacionais do petróleo. Nesse período, a expansão da produção brasileira de petróleo diminuía a dependência do país em relação ao petróleo importado. Além disto, os planos econômicos do governo priorizavam o controle inflacionário e do déficit público, suspendendo os financiamentos governamentais para a ampliação da capacidade instalada.

Ao longo da década de 1990 e início de 2000, a tônica passou a ser a liberalização dos preços e da comercialização do açúcar e do álcool. Além disto, o estado brasileiro abdicou dos

investimentos e isenções de impostos para estimular a venda de carros a álcool, mantendo-se apenas a mistura do álcool anidro na gasolina.

O fim dos incentivos fiscais, para a produção de carro a álcool, e a crise de abastecimento de 1989[7] são apontados como os principais responsáveis pela reversão na preferência do consumidor em adquirir carro a álcool em detrimento do carro a gasolina (Figura 4). Na década de 1990 e início da década de 2000 tornou-se praticamente irrelevante a venda de carros a álcool em comparação com a de carros a gasolina.

Com a redução gradativa da utilização do álcool como combustível na década de 1990, a produção de açúcar voltou a ocupar uma participação cada vez maior na utilização da cana-de-açúcar (Figura 5).

As expectativas são de que o crescimento na venda de carros bicombustíveis, nos primeiros anos do século XXI, volte a viabilizar o crescimento das vendas de álcool hidratado no futuro. Os carros bicombustíveis, que podem ser abastecidos tanto com álcool como com gasolina, foram lançados em março de 2003 (INFORMAÇÃO UNICA, 2004).

A perspectiva de expansão da venda dos carros bicombustíveis poderá trazer uma nova perspectiva para o consumo de álcool hidratado no Brasil, a despeito do declínio na venda de carros movidos exclusivamente a álcool na década de 1990 e início da de 2000, ver Figura 4, e o consequente sucateamento da frota.

As perspectivas favoráveis ao consumo do álcool hidratado se devem ao crescimento da venda de carros bicombustíveis, e a perspectiva de crescimento da venda destes carros para os próximos anos passando de aproximadamente 48 mil unidades vendidas em 2003 para 1,3 milhões de unidades vendidas em 2010, ver Figura 6.

---

[7]Em 1989, assiste-se a greves e boicotes dos canavieiros e fornecedores de cana independentes, à ameaça dos próprios produtores de parar a produção de álcool, a alteração dos vínculos comerciais tradicionais entre fornecedores e usineiros e a denéuncia de comercialização clandestina do álcool. Em dezembro, os produtores, alegando compromisso com os usuários de carro a álcool, ameaçam parar de entregar álcool anidro à Petrobrás, "para mais tarde transformá-lo em hidratado". A Petrobrás, alegando grande defasagem nos preços dos derivados, anuncia, entre outras medidas, a diminuição do prazo de faturamento dos derivados enregues às distribuidoras, a drástica redução dos estoques de segurança de álcool e o dramático corte em seus investimentos. Em meados do ano, a empresa adverte aos usuários sobre a possibilidade de faltar álcool. De fato, pouco depois, começa o desabastecimento e as filas se alongam nos postos (SANTOS, 1993).

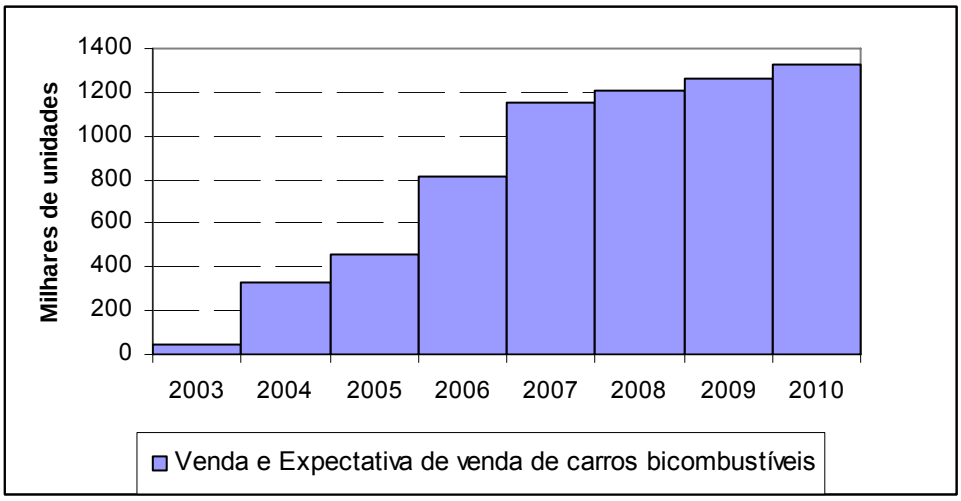

Figura 6 - Vendas e expectativas de vendas de carros bicombustíveis, período: 2003 até 2010

Nota: No ano de 2003 e 2004 registram-se as vendas observadas de carros bicombustíveis. No ano de 2005 até 2010, registram-se as expectativas de vendas de carros bicombustíveis.

Fontes: Informação UNICA (2004, 2005)

Com a aquisição de carros bicombustíveis, cabe ao consumidor a escolha entre abastecer o tanque de seu carro com álcool hidratado ou gasolina. Como se gasta mais álcool do que gasolina por quilometro rodado, estima-se que o preço do álcool deva ser de aproximadamente 70% do preço da gasolina, para ser indiferente ao consumidor optar por abastecer o veículo com gasolina ou álcool hidratado.

Desta forma, caso se concretizem as estimativas de venda de carros bicombustíveis para os próximos anos, o álcool hidratado pode voltar a ganhar participação nas vendas de combustíveis no Brasil. Para isto, o preço do álcool hidratado deve se manter competitivo em relação ao preço da gasolina.

Além da relação de preço entre o álcool e a gasolina, a expansão do uso do gás natural veicular (GNV) pode impactar a venda de carros bicombustíveis. Somente em 2003, a frota de carros de passeio movidos a GNV cresceu cerca de 40%, atingindo 630 mil veículos. . Em nível federal, a CIDE não incide no gás natural veicular. Em nível estadual, no Rio de Janeiro, estado pelo qual 90% da frota de táxis é movida a GNV e cerca de 240 mil carros rodam com o combustível, há desconto de 75% no IPVA dos veículos convertidos, em relação ao valor

cobrado dos veículos a gasolina, e de 50% em relação aos carros a álcool. Além disto, a taxa de ICMS é de 30% para o álcool e de 12% para o GNV (BUENO, 2004).

2.1.2 Exportações brasileiras de álcool

Ao longo da década de 1990, com o declínio do consumo de álcool carburante no Brasil, decorrente da redução das vendas de carros a álcool, as usinas ampliaram as exportações de etanol com finalidade industrial a partir de 1999 (Figura 7).

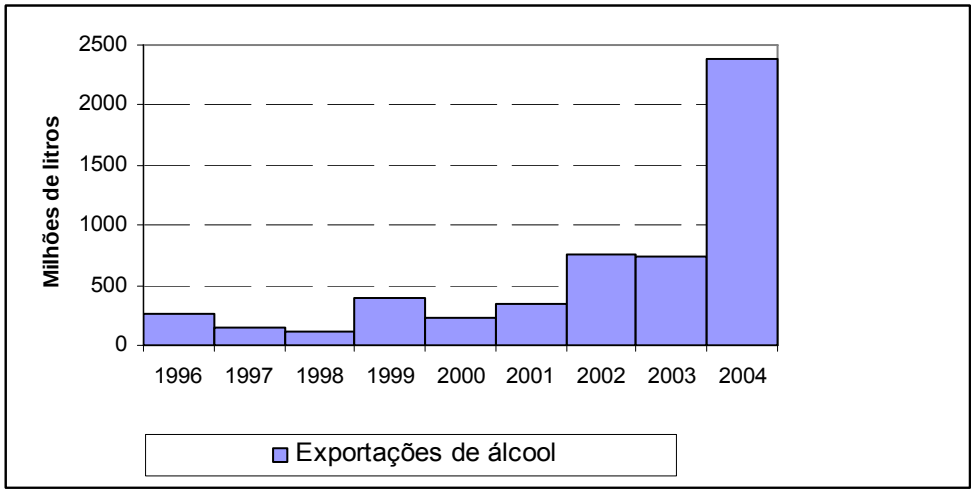

Figura 7 - Exportações brasileiras de álcool, período: 1996 até 2004

Fonte: Brasil (2005)

Nota: Utilizou-se a conversão de 0,81 kg =1litro, para se transformar os valores divulgados no Alice de quilograma para litros. Conversão está utilizada no CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada).

Os cinco principais compradores no ano de 2004 foram: a Índia, Estados Unidos a Coréia do Sul, o Japão e a Suécia (Figura 8). Conforme F.O. LICHTS (2003), está em curso, na Índia, um programa de mistura de etanol na gasolina. Iniciou-se esse programa em 2003, na primeira fase adotou-se uma mistura de 5% de etanol na gasolina (E-5) para ser vendido em 9 estados e territórios. Na segunda fase, iniciada em janeiro de 2004, a mistura de 5% de etanol foi ampliada para todo o país. O programa ainda possui uma terceira fase a ser decidida a data de implantação, pela qual a mistura de etanol na gasolina irá passar para 10%.

Apesar da Índia ser o segundo maior produtor de etanol da Ásia, perdendo para a China, tendo capacidade de produzir 2,7 bilhões de litros de etanol (F.O. LICHTS, 2003). No ano de 2004 ocorreu quebra de safra e atraso no desenvolvimento da produção local, desencadeando revisão da mandatoriedade do "E-5" em todo o território nacional. Apesar da revisão, a Índia necessitou importar etanol do Brasil (NASTARI, 2004)

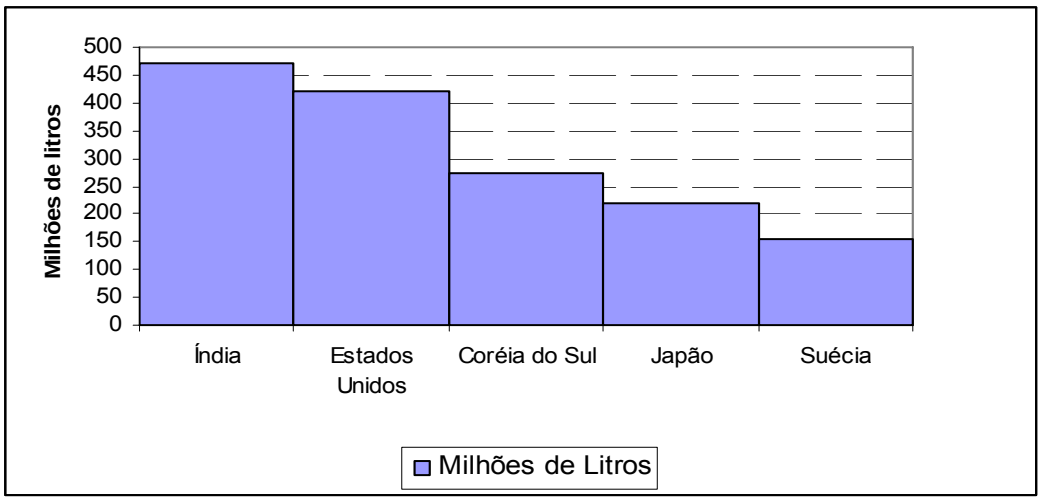

Figura 8 - Principais destinos das exportações brasileiras de álcool, milhões de litros, no ano de 2004

Fonte: Brasil (2005)

Apesar da tarifa de importação de US$ 0,54 por galão para o álcool produzido no Brasil. Os Estados Unidos se destacaram como o segundo maior destino das exportações brasileiras de álcool no ano de 2004. Na terceira e na quarta posição, a Coréia do Sul e o Japão se destacam como grandes importadores de álcool para uso industrial. Conforme Silveira (2001), a Suécia possui um programa de etanol como combustível, sendo utilizado tanto como combustível para ônibus como também existe o programa E85 (composto por 85% de etanol e 15% de outro aditivo).

O álcool vem sendo utilizado internacionalmente com a finalidade de bebidas alcoólicas, uso industrial (utilizado para cosméticos, tintas, tinta de impressão, etc.) e combustíveis à base de álcool (utilizando o álcool misturado com a gasolina ou puro) (BERG, 2003). No entanto, desde a década de 1980 o etanol é mais largamente produzido com a finalidade de combustível (ver Anexo C).

Em termos mundiais, o etanol combustível responde por cerca de dois terços da produção mundial de álcool etílico. A produção mundial de etanol (englobando todas as categorias, tais como álcool, industrial e "potável") alcançou 31,7 bilhões de litros em 2000, dos quais o Brasil, como maior produtor mundial, foi responsável por 39% do volume total produzido (ver Anexo D) (SILVEIRA, 2001).

Deste total, entretanto, pouco mais de 3 bilhões de litros são comercializados anualmente no mercado internacional (Figura 9). Constata-se que é relativamente difícil chegar a um consenso sobre o valor/volume da produção e do comércio internacional de etanol. Isso se deve ao fato de existir uma variedade de matérias-primas através dos quais este produto pode ser produzido, além de diversos processos de produção, e usos diferenciados para o produto (SILVEIRA, 2001).

A implantação dos programas de etanol em vários países, principalmente nos países desenvolvidos, é responsável pelo esperado crescimento no comércio internacional de etanol. Berg (2003) traz dois cenários com projeções sobre os potenciais importadores de etanol até o ano de 2012. Nos dois cenários descritos, o Japão aparece como o maior importador potencial de etanol, seguido dos Estados Unidos e da União Européia (ver Anexo B).

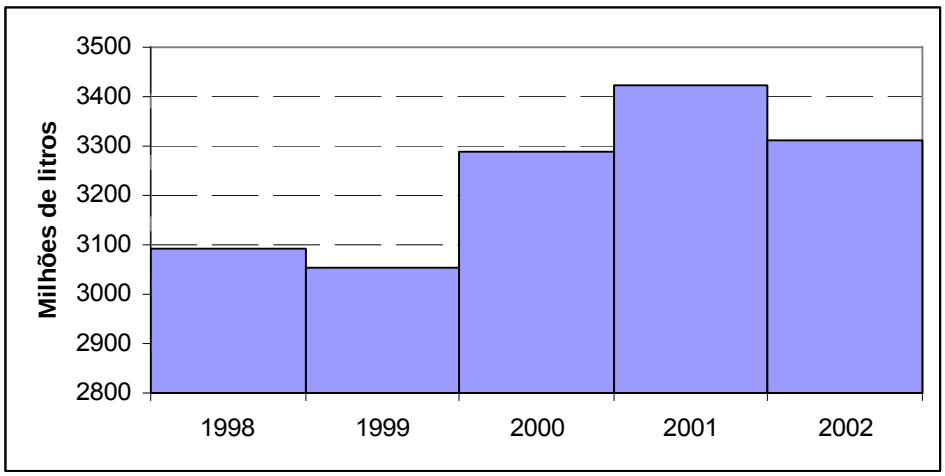

Figura 9 - Comércio mundial de etanol, milhões de litros, períodos: 1998 até 2002

Fonte: Berg (2003)

Apesar da maior parte do etanol produzido no mundo ser direcionado para combustível, o uso industrial e de bebidas absorve a maior parte do comércio internacional. Berg (2003) estima que no ano de 2006 o comércio internacional de etanol voltado para combustível deverá suplantar o voltado para uso industrial e de bebidas (ver Anexo E).

O crescimento do ainda incipiente mercado internacional de etanol para combustível seria importante tanto para países com programas de etanol em larga escala, como Brasil e EUA, como para estimular a utilização de etanol como combustível em outros países, como o Japão. No primeiro caso, desencadearia uma forma de balancear a oferta e a demanda doméstica e reduzir o risco resultante de falhas de safras que fornecem as matérias primas para a produção de etanol e das oscilações de preços em outros mercados substitutos da oferta, como o açúcar. No segundo, a formação de um mercado internacional com a inclusão de outros países ofertantes, como Índia e Malásia, seria importante para reduzir o risco de oscilações de oferta e preços de um único país ofertante.

2.1.3 O mercado de açúcar

Além do álcool utilizado como combustível e para fins industriais, o setor sucroalcooleiro brasileiro também atua no mercado doméstico e externo de açúcar, sendo importante caracterizar este mercado, pelo qual poderá trazer desdobramentos para a estratégia do setor sucroalcooleiro no mercado brasileiro de álcool combustível e na busca pela abertura de novos mercados no exterior.

Quanto ao mercado doméstico de açúcar, entre os anos de 1994 e 2001, o Brasil apresentou um dos maiores níveis de consumo de açúcar do mundo, Tabela 6. No ano de 2001, o consumo *per capita* brasileiro atingiu o patamar de 55 kg/ha/ano.Observando-se relativa estagnação do consumo de açúcar na Brasil. Ambas as constatações sinalizam para um baixo crescimento do consumo *per capita* de açúcar do brasileiro nos próximos anos.

O consumo *per capita* de açúcar em um nível mundial encontrou-se estagnado em 20 kg/açúcar/ano, entre os anos de 1994 e 2001. Observa-se ainda, uma estagnação do consumo de açúcar na maior parte dos países pesquisados. Apenas a Rússia demonstrou crescimento no consumo de açúcar. Desta forma, o mercado mundial cresce em um ritmo vegetativo.

Tabela 6 - Consumo *per capita* dos maiores consumidores mundiais de açúcar, período: 1994 até 2001

Países	**Consumo per capita (kg de açúcar/ano)**							
	1994	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**
Mundo	20	21	21	21	21	21	21	21
Brasil	51	51	53	54	55	54	54	55
Rússia	33	34	35	31	34	42	47	48
México	48	45	46	45	46	46	46	46
Canadá	39	41	41	41	41	41	41	41
Argentina	38	39	38	41	42	42	40	39
UE	39	38	38	38	38	39	38	38
África do Sul	33	35	34	33	29	34	38	37
EUA	32	32	33	32	33	32	32	32
Colômbia	36	36	34	33	30	34	31	31
Turquia	30	31	31	32	32	31	29	29
Japão	20	20	19	18	18	17	18	18
Índia	15	16	17	17	17	17	18	18
Indonésia	14	15	15	15	14	15	16	16
China	7	7	7	7	7	7	7	7

Fonte: Costa (2004)

O grande impulso às exportações brasileiras de açúcar ocorreu na década de 1990 (Figura 10). Entre os anos de 1990 e 1994, as exportações do açúcar brasileiro passaram de 1,5 milhão de toneladas para 3,4 milhões. Entre os anos de 1995 e 1998 ocorreu uma nova mudança nos patamares do açúcar exportado, passando de 6,3 milhões de toneladas para 8,3 milhões de toneladas. A partir de 1999 ocorreu crescimento nos patamares exportados de açúcar, passando de 12,1 milhões de toneladas em 1999 e atingindo 12,9 milhões em 2003.

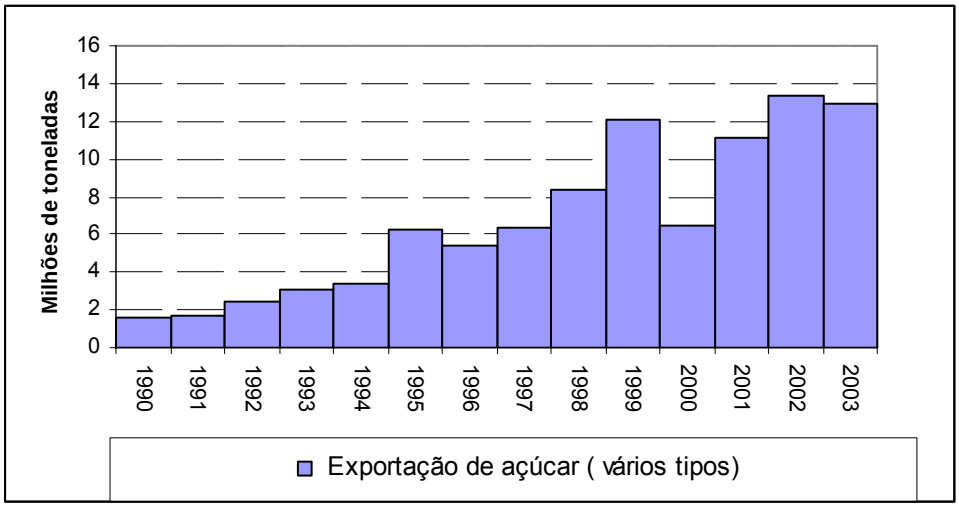

Figura 10 - Exportações brasileiras de açúcar, período: 1990 até 2003

Fonte: Brasil (2005)

Bacchi; Alves; Silveira (2002) explicam este vertiginoso crescimento das exportações brasileiras através de alguns fatores: a liberalização das exportações em julho de 1994, que encerrou o então vigente regime de quotas tarifárias, quando se taxava em 40% os volumes exportados superiores aos estabelecidos como quota; o aumento da demanda mundial, que se refletiu em condições favoráveis no mercado internacional; e a extinção de acordos especiais de comércio entre governos, que propiciou a entrada do Brasil em mercados até então fechados. Podendo-se creditar o crescimento das exportações brasileiras de açúcar a motivos de origem interna e externa. Como de origem externa, cita-se o fim do acordo bilateral URSS-Cuba, que possibilitou ao Brasil ocupar, em parte, o lugar de Cuba no mercado da antiga URSS. No âmbito interno, destaca-se a mudança da política cambial brasileira, ocorrida em janeiro de 1999, quando foi extinto o chamado "regime de bandas cambiais", que determinava os limites de flutuação do preço da moeda estrangeira, adotando-se o regime de câmbio flexível. A liberalização do câmbio foi acompanhada por uma progressiva desvalorização da moeda brasileira, estimulando a competitividade dos produtos nacionais exportáveis e favorecendo, entre outros, o setor exportador de açúcar.

Além da desvalorização cambial, ressalta-se a crescente participação das exportações oriundas de São Paulo, respaldadas pelos baixos custos de produção comparativamente a outras regiões do Brasil e do Mundo. Os custos de produção do açúcar no Estado de São Paulo e na Região Centro/Sul, da qual esse estado faz parte, apresentam-se como os mais baixos do mundo,

próximos a US$ 190,00/ton e US$ 240,00/ton, respectivamente. Na Região Norte/Nordeste, o custo foi estimado como próximos a US$ 300,00/t, respectivamente. Em relação aos demais países produtores de açúcar, a África do Sul possui um custo de produção de US$ 250,00/t, a Austrália de US$ 270,00/t, a Tailândia de US$ 310/t, a Argentina de US$ 364,00/t, a União Européia de US$ 480,00/t e os Estados Unidos da América US$ 525,00/t. O custo de produção de açúcar no México é de US$ 308,00/t. Embora esses custos de produção estimados sejam grandemente dependentes das taxas de câmbio utilizadas para a conversão dos valores expressos em moeda nacional para a moeda americana, limitando a capacidade de se efetuar uma análise mais precisa sobre a competitividade dos países produtores de açúcar (BACCHI; ALVES; SILVEIRA, 2002).

Deve-se considerar também como um dos fatores que propiciaram o aumento das exportações brasileiras de açúcar, a maior destinação da matéria-prima (cana-de-açúcar) para a produção dessa *commodity,* especialmente em função do menor consumo de álcool hidratado decorrente da pequena participação das vendas de carros a álcool nas vendas totais de veículos e do sucateamento da frota existente no país (BACCHI; ALVES; SILVEIRA, 2002).

Stalder (1997) destaca também a existência de grandes quebras de safras de tradicionais produtores mundiais, como Índia, China e Cuba nos anos de 1994 e 1995 propiciando uma elevação ainda maior dos preços internacionais no período, favorecendo o desvio de cana moída para a produção de açúcar em detrimento da produção de álcool.

Para os próximos anos, o setor sucroalcooleiro brasileiro pode obter um novo patamar de exportação de açúcar. Este novo patamar pode ser decorrência do fim dos subsídios aos produtores de açúcar na União Européia e o fim das quotas tarifárias americanas.

Estimando os impactos para as exportações brasileiras decorrentes do fim dos subsídios aos produtores de açúcar da União Européia e das cotas americanas. No primeiro caso, estimou-se que o fim dos subsídios concedidos pela União Européia pode significar em um incremento de aproximadamente 8.053 toneladas ano de açúcar refinado. No segundo caso, o fim do sistema de cotas a importação dos EUA desencadearia em um incremento de aproximadamente 1.440 toneladas/ano para esse país (COSTA; BURNQUIST, 2004).

2.1.4 O efeito estufa e o protocolo de Quioto

A partir da década de 70, conforme Ribeiro (1997), a preocupação com o meio ambiente passou da escala local, envolvendo questões como lixo urbano, resíduos industriais e poluição do ar, para escalas nacional e regional, dados os efluentes industriais, defensivos agrícolas e poluição dos mares, rios e costas. Posteriormente, passou-se a analisar os problemas ambientais de dimensão internacional, como a propagação da nuvem radioativa em acidentes nucleares, a chuva ácida, a destruição da camada de ozônio e o efeito estufa.

O efeito estufa é um fenômeno natural que, ao não deixar a Terra ficar excessivamente fria, permite manter uma temperatura ambiente adequada à existência de seres vivos. Alguns gases emitidos em quantidades superiores àqueles naturais, podem, no entanto, intensificar o efeito, ou seja, aquecer demais a temperatura terrestre. Para evitar o aumento de emissão de gases provocado por atividades humanas, como indústrias, transporte, agricultura e desflorestamento, é necessário estabelecer medidas que limitem o volume de emissões.

Apesar de vários gases contribuírem para o efeito estufa, ver Tabela 7, o dióxido de carbono (CO_2)[8] é o gás com maior contribuição, 55%, para este efeito. Em seguida vem os clorofluorcarbonos, contribuindo com 20%.

Tabela 7 - Gases responsáveis pelo efeito estufa

Composto	Fórmula	Concentração em 1992	Taxa anual de crescimento	Contribuição ao efeito estufa
Dióxido de Carbono	CO_2	355 ppmv	0,4%	55%
Metano	CH_4	1,72 ppmv	1,0%	15%
Clorofluor-carbonos	CFC_{13}/CF_2C_{12}	0,20 ppbv/0,32 ppbv	7,0%/7,0%	20%
Óxido de nitrogênio	NOX	311 ppbv	0,25%	10%

Fonte: Ribeiro (1997)

[8] O dióxido de carbono (CO_2) não é um gás tóxico e, por isso mesmo, não é considerado um poluente atmosférico **local.** Embora não tóxico, o CO_2 é um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa, desta forma, considera-se o CO_2 como um poluente **global**.

O CO_2 é originário, principalmente, da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural, em ordem de importância), mas também pode ser gerado pelo desflorestamento e erosão do solo (Tabela 8).

Tabela 8 - Gases do efeito estufa e suas principais fontes antropogênicas

Gases	Fontes antropogênicas
Dióxido de Carbono (CO_2)	Queima de combustível fóssil Desflorestamento e uso do solo Fabricação de cimento
Metano (CH_4)	Cultivo de arroz Criação de gado Deterioração e queima de biomassa Vazamento na produção de combustíveis fósseis.
Clorofluorcarbonos (CFCs)	Fabricação de solventes, refrigerantes, aerossóis para formação de espumas.
Óxido nitroso	Fertilizantes Queima de combustível fóssil Conversão de terra para agricultura.
Gases precursores	Envolvidos no ozônio e na química do metano
Óxido de nitrogênio	Queima de combustíveis fósseis
Hidrocarbonetos	Evaporação de combustíveis e solventes
Monóxido de Carbono	Queima de combustível fóssil e biomassa.

Fonte: Ribeiro (1997)

2.1.4.1 O protocolo de Quioto

Com relação ao meio ambiente, desde a Conferência Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), ocorrida em 1992, no Rio de Janeiro, o problema da poluição atmosférica global, associada às emissões de dióxido de carbono (CO_2)[9], ganhou importância na pauta de negociações dos países participantes da conferência. Naquela ocasião decidiu-se pela prevenção dos riscos do efeito estufa, que poderia implicar em alterações climáticas com graves conseqüências para diversos países (MORAES, 1999).

Em Quioto, no Japão, realizou-se uma conferência entre as partes, na qual o Protocolo foi apresentado para a aprovação dos países, como proposta concreta de início do processo de estabilização das emissões de gases geradores do efeito estufa (TETTI et al., [200-]).

O Protocolo dividiu os países em dois grupos:

[9] A preocupação com o aumento do teor de CO_2 na atmosfera está relacionado ao aquecimento global do planeta, devido ao "efeito estufa", que pode provocar alterações do clima em diversas regiões, com impactos diferenciados em cada uma.

ANEXO 1- países mais industrializados, grandes emissores de CO_2 e,

NÃO-ANEXO 1- países que para atender às necessidades básicas de desenvolvimento, precisam aumentar a sua oferta energética e, potencialmente, suas emissões.

De acordo com o Protocolo de Quioto, os países do ANEXO I ficam obrigados a reduzir suas emissões de gases geradores do efeito estufa para que elas se tornem 5,2% inferiores aos níveis de emissão de 1990. O Protocolo de Quioto estabeleceu ainda que essa redução deverá ser realizada entre 2008 e 2012 (fase definida como o primeiro período de cumprimento do Protocolo). Para possibilitar a implementação dos seus propósitos de redução de emissões e ao mesmo tempo assegurar uma transição economicamente viável para a adoção desse novo padrão.

Os 39 países que compõem o ANEXO I do Protocolo de Quioto devem promover, no período de 2008 a 2012, reduções diferenciadas, tomando por base as emissões registradas em 1990. Por exemplo, caso os Estados Unidos, ratificassem o Protocolo de Quioto, teriam de promover redução de 7% nas emissões de gases gerados do efeito estufa; os países da União Européia, teriam que promover redução de 8%; o Japão, redução de 6%, e assim sucessivamente, devendo a soma dos países do ANEXO I resultar em uma redução líquida de 5,2% no global.

Os principais países ou blocos geradores do efeito estufa são os Estados Unidos, o Japão e a União Européia (Tabela 9). Visualiza-se também a necessidade de redução de emissão de CO_2 de acordo com as emissões projetadas para 2010. Em relação aos valores projetados, os EUA deveriam reduzir em 32% a emissão de CO_2 para se adequarem a meta, ao passo que o Japão deverá reduzir em 33% e a União Européia em 28%.

Tabela 9 - Redução necessária dos principais países emissores de CO_2

	Emissão em 1990	Meta de Quioto	Emissões permitidas diante da meta	Emissões projetadas para 2010.	Redução necessária para cumprir a meta de Quioto	Porcentagem
EUA	1.362	93%	1.267	1.838	571	32%
Japão	298	94%	289	424	144	33%
União Européia	822	92%	756	1.064	308	28%
Outros países OECD	318	95%	300	472	171	36%
Europa Oriental	266	104%	277	395	118	42%
Ex-Rússia	891	98%	873	763	0	0%
Total	3.957		3.753	4.956	1.312	26%

Fonte: Tetti et al. [200-]

Para entrar em vigor, o Protocolo de Quioto deve ser ratificado (ou seja, contar com a aprovação plena, inclusive dos respectivos Parlamentos Nacionais) por pelo menos 55% dos países signatários e, também, por países que representam, pelo menos, 55% das emissões globais do ano-base de 1990 (TETTI et al., [200-]). Com a ratificação da Rússia, em 2005, a primeira e a segunda condição foram atendidas.

O protocolo de Quioto passou legalmente a prevalecer a partir de 16 de fevereiro de 2005. A partir desta data, os países signatários passaram a ter uma obrigação legal de reduzir os gases causadores do efeito estufa. Além disto, este marco legal sinaliza favoravelmente para as empresas investirem em tecnologias menos poluentes (UNITED NATIONS CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2004).

2.1.5 Externalidades positivas ambientais relacionadas à utilização do álcool combustível

As principais externalidades positivas ambientais relacionadas a utilização do álcool combustível referem-se a redução da emissão de CO_2 e a não utilização do *Methyl Tertiary Butyl Ether* (MTBE) na gasolina, cujo efeito colateral é a contaminação do subsolo e dos lençóis freáticos.

2.1.5.1 Redução da emissão de CO_2 através da utilização do álcool como combustível

Quanto à emissão de CO_2, a grande vantagem do Brasil se deve à enorme participação da energia renovável na sua matriz energética. Aí se incluem o álcool, a hidroeletricidade e o carvão vegetal de florestas plantadas, utilizadas na siderurgia. No entanto, tem-se ampliado a emissão de CO_2, no caso brasileiro, por conta das queimadas e os desmatamentos na Amazônia (RIBEIRO, 1997).

Trabalho desenvolvido por Macedo (1997), analisou a redução de emissão de CO_2 gerado pela utilização do álcool como combustível e pela utilização do bagaço para a geração de energia elétrica. Ao se analisar a redução de CO_2 gerado pela utilização do álcool como combustível, tanto nas formas anidro como hidratado, observa-se uma redução de emissão de 9,13 $*10^6$ toneladas/ano de carbono, o equivalente a 32,931$*10^6$ toneladas /ano de CO_2 através da utilização do álcool como combustível, ver Tabela 10.

Tabela 10 - Redução da emissão de CO2 pela utilização de álcool, no ano de 1996

Tipos de Álcool	**Medido como Carbono**		
	Produção, 1996 (10^6 m^3/ano)	Gasolina substituída (10^6 m^3/ano)	Redução da emissão de C (10^6 ton/ano)
Álcool Anidro	4,27	4,44	3,37
Álcool hidratado	9,47	7,58	5,76
Total	13,74		9,13

Nota: A pesquisa fez a mensuração em termos de Carbono. O equivalente de Carbono para CO_2 será de:
1C=3,659 CO_2

Fonte: Macedo (1997)

Além da redução da emissão de CO_2 advinda diretamente da substituição da gasolina pelo álcool, pode-se também reduzir a emissão de CO_2 através da utilização do bagaço gerado pela produção de álcool como fonte de energia. Para esta análise deve ser feito o balanço entre o aumento da taxa de CO2 na atmosfera decorrente do uso de combustíveis e insumos de origem fóssil utilizados na produção agrícola e industrial, e as reduções devido à substituição da gasolina pelo álcool, e pela substituição do óleo combustível pelo bagaço de cana tanto na produção de açúcar como de outros produtos industriais, ver Tabela 11 (MORAES, 1999).

Tabela 11 - Balanço das emissões líquidas de CO_2 devido à produção de cana-de-açúcar e utilização de etanol, no ano de 1996

	Medido como Carbono
	10^6 toneladas de C (equivalente)/ano*
Uso de combustíveis fósseis na agricultura	+1,28
Emissões de metano (queima de cana-de-açúcar)	+0,06
Emissões de N_2O	+0,24
Substituição da gasolina por álcool	-9,13
Substituição do óleo combustível por bagaço (indústria de alimentos e química)	-5,20
Contribuição líquida	-12,74

Fonte: Macedo (1997)

Nota: * A pesquisa fez a mensuração em termos de Carbono. O equivalente de Carbono para CO_2 será de: 1C=3,659 CO_2

Em 1996, a indústria brasileira de cana de açúcar processou $273x10^6$ toneladas de cana de açúcar; 59% foi usado para produzir álcool ($13,7x10^6$ m^3) e 41% para produzir açúcar ($13,5x10^6$). Na utilização da cana de açúcar para a produção de etanol constatou-se redução da emissão de CO_2 pela substituição da gasolina e pela utilização do bagaço como fonte de energia na produção de açúcar. Nestas duas formas de utilização da cana como fonte de energia, a redução da emissão de CO_2 foi de 12,74 $*10^6$ toneladas de carbono, o equivalente a $46,7x10^6$ toneladas de CO_2 . Isto corresponde a cerca de 20% da emissão de CO_2 advinda de origem fóssil do Brasil (MACEDO, 1997). Demonstra-se, com esta pesquisa, as reduções de emissão de CO_2 decorrente da utilização do álcool como combustível e do bagaço na geração de energia.

2.1.5.2 Redução da utilização de MTBE, principalmente nos EUA

A gasolina é utilizada em motores ciclo Otto[10], Atualmente estas gasolinas (em suas várias especificações) ou são reformuladas[11] ou contém oxigenantes para corrigir a octanagem e diminuir a emissão de poluentes. Os principais oxigenantes em uso atualmente são o MTBE (Metil Tributil Etano), o ETBE (Etil Tributil Etano) e o etanol. O MTBE é utilizado na Europa, Ásia e Estados Unidos. O ETBE é utilizado principalmente na Europa e o etanol na sua forma anidro é utilizado no Brasil na proporção de 25% e nos Estados Unidos. Nos últimos anos vem ocorrendo crescimento da utilização do etanol misturado a gasolina nos EUA.

A mistura de MTBE no motor a gasolina tem apresentado crescimento desde que se iniciou sua produção, 20 anos atrás até a década de 1990. No início da década de 1980 sua utilização foi estimulada pelo declínio da utilização do chumbo na gasolina e posteriormente pelo crescimento da demanda por gasolina Premium (LIDDERDALE, 2004).

Nos Estados Unidos o MTBE é utilizado principalmente nas gasolinas reformuladas e nas oxigenadas de inverno, ver Tabela 12. O programa da gasolina oxigenada teve início em novembro de 1992, estimulando um crescimento na produção de MTBE de 83.000 barris por dia em 1990 para 161.000 barris por dia em 1994. Com o advento do programa de gasolina reformulada, em janeiro de 1995, ocorreu um impulso adicional na demanda por MTBE. Desencadeando-se expansão da produção de MTBE para 266.000 barris por dia em 1997 (LIDDERDALE, 2004).

---

[10] O motor ciclo Otto é o chamado motor a explosão, no qual o combustível misturado a uma certa quantidade de ar é comprimido na câmara de combustão até atingir uma certa taxa, (taxa de compressão) quando então a centelha fornecida pela vela de ignição inicia a combustão. Neste tipo de motor a principal qualidade exigida do combustível é sua octanagem (resistência à compressão). Quanto maior a octanagem maior a resistência.

[11] Gasolinas reformuladas são aquelas que apresentam reduções significativas nas emissões de certos compostos formadores de ozônio e poluentes atmosféricos tóxicos . Também contêm oxigenados e não evaporam tão facilmente quanto as gasolinas convencionais.

Tabela 12 - Balanço da oferta e da demanda de MTBE nos EUA, período: 1995 até 2001

	Unidade de medida: milhares de barris por dia						
	1995	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**
+MTBE Production	163,5	185,1	197,1	205,5	216,2	211,5	206,7
+MTBE estoques	13,9	(3,6)	4,9	(3,9)	4,3	2,3	(1,1)
+MTBE crescimento das importações	45,1	47,7	59,9	67,8	74,8	76,5	76,6
+ MTBE crescimento das importações	5,9	8,3	11,6	25,9	20,7	23,8	21,2
Oferta de MTBE nos EUA	**216,6**	**220,9**	**250,2**	**243,5**	**274,5**	**266,5**	**261**
+MTBE em RFG importada	12,9	19,1	17,7	19,8	20,9	21,7	23,7
+MTBE em Gasolina Oxigenada importada	1,0	0	0	0	0	0,1	0,2
=Oferta total de MTBE	230,5	240	267,9	263,3	295,4	288,2	285,1
MTBE misturado no RFG e gás oxigenado	234,5	225,5	246,6	263,6	259,6	257,2	238,6
=MTBE em gasolina convencional	(3,8)	14,5	21,3	(0,3)	35,8	31,0	46,5

Fonte: Lidderdale (2004)

Ressaltando-se que os oxigenados auxiliam a reduzir os precursores de ozônio, gases tóxicos e monóxido de carbono. Além disto, os oxigenados auxiliam a expandir o octano sem precisar investir em melhorias nas refinarias. Muitas refinarias teriam grande dificuldade para obter o padrão das gasolinas reformuladas caso os oxigenados não fossem utilizados para a produção de gasolina reformulada (WILSON, 1998).

2.1.5.2.1 O impacto do MTBE na água nos Estados Unidos da América

A contaminação da água por MTBE pode ocorrer por vazamentos nos tanques de armazenagem, pelos oleodutos ou até mesmo pela chuva, ver Figura 11. A emissão de MTBE pelos veículos e a evaporação dos postos de combustíveis liberam o oxigenado para a atmosfera. Como o oxigenado persiste na atmosfera por dias e até mesmo semanas e parte deste gás voltará a forma líquida, retornando a Terra por meio das chuvas, provocando a contaminação dos córregos, rios e lagos. Ocorre contaminação pois o oxigenado químico é resistente a degradação, infiltrando-se nos poços e nos lençóis freáticos (ZOGORSKY et al., 1997).

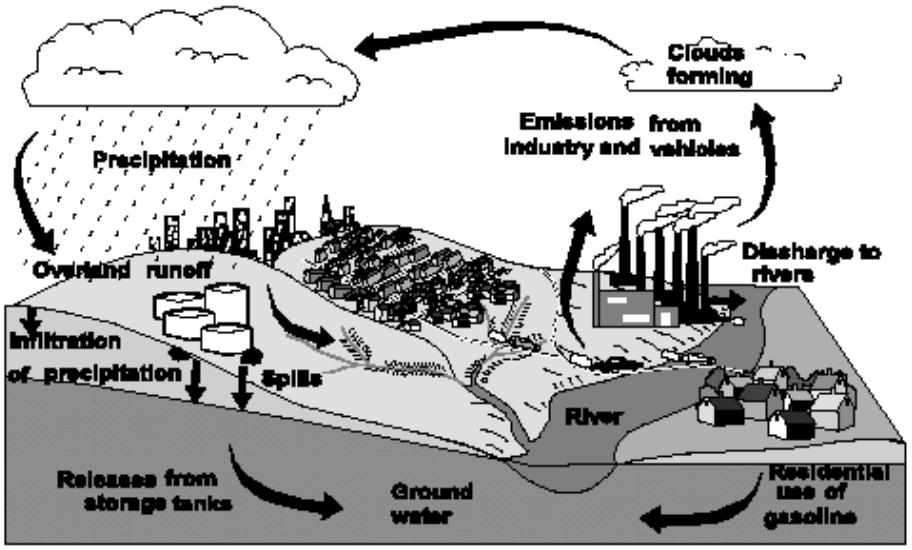

Figure 2.1. The movement of fuel oxygenates in the environment (adapted from Squillace *et al.*, 1995a)

Figura 11 - Desenho ilustrativo das formas de contaminação da água pelo MTBE

Fonte: Zogorsky et al. (1997)

O MTBE tem sido detectado em todo o território americano, pois tem sido utilizado para limitar a poluição do ar e para ampliar a octanagem da gasolina. Além disto, os tubos e caminhões utilizados para transportar a gasolina através da nação tem sido contaminados com a substância. Trinta e cinco estados americanos reportaram para a ocorrência de MTBE no lençol freático em pelo menos 20% do tempo de vigência dos testes. Vinte e quatro estados encontraram

MTBE em pelo menos 60% do tempo de vigência. Onze estados reportaram que pelo menos dez fontes públicas foram contaminadas no tempo de vigência da pesquisa e quinze estados reportaram que dez fontes privadas foram fechadas. Reportou-se ainda, em uma pesquisa nacional, a constatação de existência de MTBE em baixa concentração em aproximadamente 100 ou mais dos 1200 sistemas de águas testados. Algumas comunidades da Califórnia, Kansas e Maine têm tido problemas mais sérios com a contaminação do lençol freático. Como exemplo sita-se Santa Mônica, Califórnia, pela qual fechou sete fontes responsáveis pela oferta de 50 por cento do abastecimentos de água da cidade (STEPHENSON, 2002).

O impacto do MTBE, na poluição da água, desencadeou proibição de sua utilização em 17 estados americanos. Destes 17 estados, 5 estados são grandes consumidores de MTBE: Califórnia, Connectituct, Kentucky, Missouri e New York, responsáveis pelo consumo de cerca de 50% do consumo de MTBE utilizado na gasolina reformulada e gasolina oxigenada e cerca de 44% do consumo de MTBE nos EUA, ver Tabela 13.

Tabela 13 - Consumo estimado de MTBE em gasolina reformula e oxigenada de inverno por estado, período: 1995 até 2001

Estados com decreto do banimento de MTBE	**Unidade de medida: média anual em milhares de barris por dia**							
	Data da interrupção da utilização de MTBE	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**
Califórnia	01/01/2004	71,2	78,8	86,5	97,3	103,6	102,4	79,7
Connectituct	01/10/ 2003	10,6	9,4	10,0	10,0	9,0	8,5	9,4
Kentucky	01/01/ 2006	1,8	2,2	2,4	2,1	2,2	2,2	2,2
Missoury	01/07/ 2005	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	3,3	3,2
New York	01/01/ 2004	22,7	22,0	23,7	24,4	21,4	19,7	21,1
Illinois	24/07/ 2004	3,2	1,0	0,9	0,4	0	0	0
Colorado	05/04/2002	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0	0
Indiana	24/07/2004	0,4	0,1	0,1	0,1	0	0	0
Iowa	11/05/2000	0	0	0	0	0	0	0
Kansas	01/07/2004	0	0	0	0	0	0	0
Michigan	01/06/2003	0	0	0	0	0	0	0
Minnesota	01/07/2005	0	0	0	0	0	0	0
Nebraska	01/01/2001	0	0	0	0	0	0	0
Nevada	01/01/2004	0	0	0	0	0	0	0
Ohio	07/01/2005	0	0	0	0	0	0	0
South Dakota	07/01/2000	0	0	0	0	0	0	0
Washington	01/01/2004	0	0	0	0	0	0	0
Estados sem decreto de banimento de MTBE								
Arizona		0,3	0,3	1,8	3,7	3,7	3,6	3,6
Delaware		2,6	2,2	2,6	2,8	3,0	3,0	3,0
Distrito de Columbia		1,1	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7
Maine		3,7	3,7	3,7	3,7	0,8	0	0
Maryland		13,4	10,1	11,2	11,1	11,2	11,7	12,6
Massachustes		16,2	16,0	16,9	16,4	14,8	16,5	16,8
New Hampshire		2,0	2,1	2,3	2,6	2,6	2,9	3,2
New Jersey		30,7	29,0	31,4	32,6	28,1	26,3	27,1
North Caroline		0,4	0	0	0	0	0	0
Pennsylvania		9,3	8,7	9,2	9,4	8,8	9,3	9,7
Rhode Island		3,8	3,5	3,4	3,5	2,9	2,9	2,6
Texas		25,9	23,7	27,0	29,2	31,2	30,3	30,5
Utah		0,0	0,0	0,1	0,1	0	0	0
Virginia		14,0	11,4	12,3	13,1	13,2	13,6	13,6

Fonte: Lidderdale (2004)

2.1.6 Instabilidade na oferta de petróleo

Além de considerar as externalidades positivas ambientais para a implementação de programas de biocombustíveis, os países estão considerando como estratégico diversificar sua matriz energética tornando-a menos dependente do petróleo.

Em período recente, os países, principalmente os desenvolvidos, passaram a considerar a dependência de importação de petróleo e derivados como uma situação de risco para a economia local. Essa sensação de risco se agravou com a crise política na Venezuela e os conflitos no Oriente Médio.

Além da instabilidade política e social nos países responsáveis por grande parte da oferta mundial de petróleo que podem afetar a oferta de petróleo no curto prazo, alguns estudos começam a apontar para incerteza quanto a oferta de petróleo no Médio e Longo Prazo. Pesquisa realizada por Duncan; Youngquist (1998) sobre o ciclo de vida do petróleo apontam para a incerteza quanto a oferta de petróleo no Longo Prazo. O referido trabalho utilizou séries históricas da produção de petróleo da produção das 42 nações responsáveis pela produção de mais de 98% do petróleo utilizado no mundo, agrupadas em 7 regiões e no mundo. Pelo referido trabalho a produção de petróleo no mundo apresentará o pico de sua oferta em 2006. A partir desta data se iniciará um processo de retração na oferta mundial de petróleo, ver Figura 12. Tal retração será inicialmente desencadeada pelos países não pertencentes a OPEP e posteriormente, em 2011, os países da OPEP também apresentarão declínio na oferta mundial.

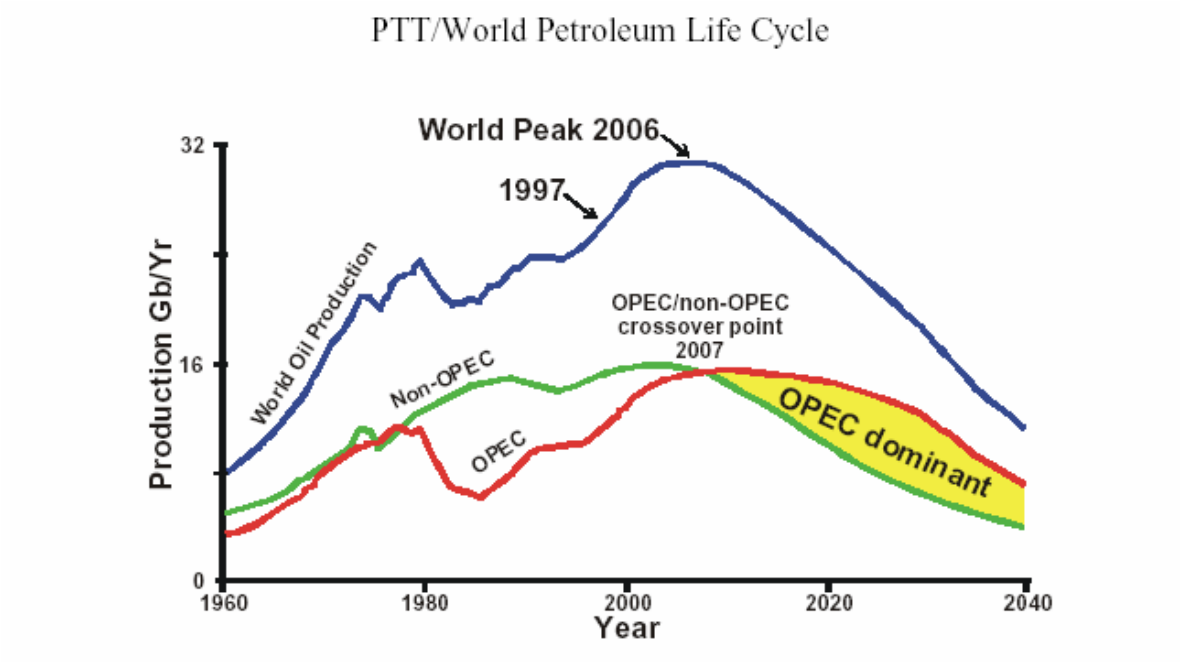

Figura 12 - Projeções sobre a oferta mundial de Petróleo, período: 1960 até 2040

Fonte: Duncan; Youngquist (1998)

A descoberta de novos campos de Petróleo ou o desenvolvimento de novas tecnologias viabilizando a extração de petróleo em campos antes inviáveis economicamente (como a extração de petróleo em águas profundas) podem expandir o ciclo de vida do petróleo como matriz energética. No entanto, no longo prazo tenderá a ocorrer redução da oferta de petróleo, pois esse tipo de combustível fóssil não é renovável.

2.1.7 Programas americano, japonês e europeu para se utilizar o etanol como combustível

A busca de combustíveis alternativos menos poluentes e renováveis, como é o caso do etanol, vem assumindo importância crescente em um nível mundial, pelas suas vantagens ambientais, sociais e econômicas, os países mais desenvolvidos têm manifestado interesse pela tecnologia desenvolvida no Brasil. Neste contexto, alguns países têm desenvolvido programas semelhantes ao Programa Nacional do Álcool brasileiro, com a finalidade de inserir o etanol em sua matriz energética.

2.1.7.1 O programa americano do etanol para combustível

Os EUA utilizam álcool como combustível, em larga escala[12], desde a década de 1980. Em anos recentes está em curso um programa para se ampliar à utilização deste tipo de combustível no país. Paralelamente à expansão da demanda por etanol, estão sendo realizados diversos investimentos para ampliar a produção de etanol nos EUA.

Estimulado pelo programa brasileiro, o plano americano (US and Gasohol) iniciou no começo da década de 1980 (SILVEIRA, 2001). O programa de produção de etanol teve como principal causa, no entanto, a estabilização do preço do milho, além de gerar uma alternativa para a gasolina importada (MORAES, 1999). Apesar do programa de etanol americano utilizar majoritariamente o milho como insumo, pode-se utilizar o trigo, o arroz, a madeira e a batata para a extração de etanol.

O real impulso dado à demanda por etanol ocorreu na década de 1990, quando foi instituído o "*Clean Air Act*" nos EUA, estabelecendo-se um conjunto de padrões da qualidade do ar das áreas americanas (usualmente se referem às cidades). Para reduzir o nível de poluição foram instituídos os programas de gasolina oxigenada de inverno e o de gasolina reformulada, sendo que ambos os programas exigem a adição de oxigênio na gasolina. Para efetuar a adição de oxigênio na gasolina é necessária a utilização de MTBE ou etanol.

Os programas de gasolina oxigenada de inverno são administrados e executados pelos governos estaduais, ao passo que o programa de gasolina reformulada é administrado pelo governo federal (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 1999a).

2.1.7.1.1 O programa da gasolina oxigenada de inverno dos EUA

A emenda do "*Clean Air Act*" de 1990 tornou obrigatório o uso de gasolina oxigenada em áreas que não se encontram no padrão do "*Federal Ambient Air*" de monóxido de carbono (CO). A emissão dos motores dos veículos são as principais causas da emissão de CO na maior parte

---

[12] Desde 1908, existem experiências nos Estados Unidos para se utilizar o etanol como combustível. No entanto, apenas na década de 1980 a utilização do etanol como combustível começou a ganhar relevância. Desde então, vem ocorrendo incremento deste tipo de combustível (DIPARDO, 2005).

das áreas e nos meses de inverno amplia-se os níveis deste gás (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997).

O monóxido de carbono é um gás produzido pela combustão incompleta do carbono contido no combustível. Elevados níveis de CO são perigosos para a saúde. O governo americano estabeleceu, através do "*National Ambient Air Quality Standards*" (NAAQS), um limite de concentração de CO de 35 ppm por um período de 1 hora e 9 ppm para um período de 8 horas (HOWARD et al., 1997).

As estações para monitorar a poluição do ar encontraram elevados níveis de monóxido de carbono (CO) durante os meses de inverno em várias localizações urbanas nos EUA. Os maiores índices de concentração de CO nas cidades ocorrem nos meses de inverno, quando a inversão de temperatura retém a poluição próxima do chão e inibe sua dispersão e diluição. Nesses meses, o aumento de CO no ar é agravado pela expansão da emissão dos veículos frios. A média de concentração de CO nos meses de inverno são duas vezes maiores do que a concentração de CO nos meses de verão (HOWARD et al., 1997).

Para reduzir a emissão de CO nos meses de inverno o "Clean Air Act" requer pelo menos um teor de 2,7% de oxigêneo na gasolina vendida nas áreas com nível de CO acima do permitido. Este nível de oxigênio é obtido com a adição de cerca de 15% de methyl tertiary butyl ether (MTBE) ou cerca de 7,5% de etanol (por volume). Outros combustíveis oxigenados efetivamente utilizados, ou que podem vir a ser utilizados, são o ethyl tertiary-butyl alcohol (TBA), tertiary-amyl methyl ether (TAME), diisopropyl ether (DIPE), e tertiary-butyl alcohol (TBA) (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997).

Estações de monitoramento analisam a qualidade do ar nas principais cidades americanas. Caso as estações de monitoramento detectem mais de um excesso de CO no ar por dois anos seguidos, então a cidade deve se integrar ao programa de gasolina oxigenada de inverno (Tabela 14). Por outro lado, o programa de gasolina oxigenada de inverno pode deixar de ser requerido para uma cidade caso não se registre mais do que um excesso do nível de CO no período de 2 anos (Tabela 15). No entanto, a cidade pode continuar voluntariamente no programa mesmo sem excesso do nível de CO (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 1999a). O programa de gasolina oxigenada de inverno está em vigor em 26 cidades americanas. Deste total, 5 cidades se integraram ao programa voluntariamente.

Tabela 14 - Áreas com programas de gasolina de inverno dos Estados Unidos, até julho de 1999

Área	Período de controle	Teor do oxigenado	Tipo de oxigenado	EPA Federal Register Notice
Minneapolis/St. Paul, MN*	1/out até 31/dez	2,7 ±		13 de maio de 1999
Albuquerque, NM*	1/nov até 28/fev	3,1	100% Etanol	13 de junho de 1996
Portland, OR*	1/nov até 28/fev	2,7 ±		2 de setembro de 1997.
El Passo, TX	1/nov até 31/mar**	2,7	100% Etanol	12 de setembro de 1994
Colorado Springs, CO	1/nov até 7/fev**	3,1		10 de março de 1997
Denver/Boulder, CO	1/nov até 7/fev**	Carga média de 3,1% de oxigêneo..	100% etanol	10 de março de 1997
Ft. Collins-Loveland, CO	1/nov até 7/fev**	3,1	100% etanol	10 de março de 1997
Missoula, MT	1/nov até 28/fev	2,7	100% etanol	
Provo/Oren, UT	1/nov até 28/fev	Concentração média de 3,1% de oxigênio.***	100% etanol	
Las Vegas, NV	1/out até 31/mar**	Concentração de 3,5% de oxigênio.***	100% etanol	11 de dezembro de 1998** 2 de junho de 1999.
Reno, NV	1/out até 31/jan	2,7	100% Etanol	
Phoenix, AZ	1/out até 28/fev	Concentração de 3,5% de oxigênio. ***	100% etanol	
Anchorage, AK	01/nov até 28/fev	volume de etanol de 10%***	100% Etanol	16 de maio de 1996
Grant´s Pass, OR	1/nov até 28/fev	2,7 ±		
Klamath Co., OR	1/nov até 28/fev	2,7 ±	100% Etanol	
Medford, OR	1/nov até 28/fev	2,7 ±	100% Etanol	
Seattle, WA	1/nov até 28/fev	2,7 ±		
Spokane	1/set até 28/fev	Concentração média de 3,5% de oxigênio como etanol***	100% Etanol	22 de setembro de 1997
Tucson	1/out até 31/mar	5,2 a 10% de etanol	100% Etanol	

Fontes: Howard et al. (1997) e Energy Information Administration (1999a)

Notas: * Áreas pelas quais poderiam sair do programa de gasolina oxigenada de inverno. No entanto, estas áreas voluntariamente mantiveram-se no programa.

** Áreas pelas quais ocorreu posteriores mudanças de datas.

*** Vários estados pediram alterações na porcentagem do oxigênio na gasolina. Alguns estados pediram requisição para uma mistura de 10% de volume de etanol na gasolina. Outros estados pediram uma mistura de 3,5% de concentração de oxigênio na gasolina, o que equivale a uma mistura de 10% de volume de etanol.

Tabela 15 - Áreas redesignadas dos Estados Unidos: inicialmente participaram do programa de gasolina oxigenada de inverno, no entanto abandonaram o programa por deixar de apresentar problemas de excesso de monóxido de Carbono no ar, até julho de 1999

Área	Período de controle	Data da resignação
Baltimore, MD	1/nov até 28/fev	31 de outubro de 1995
Boston-Lawrance-Salem, MA	1/nov até 28/fev	30 de janeiro de 1996
Chico, CA	1/out até 31/jan	31 de março de 1998
Cleveland-Akro-Lorain, OH	1/nov até 29/fev	4 de fevereiro de 1994
Duluth, MN	1/out até 31/jan	14 de abril de 1994
Fesno, CA	1/oct até 31/jan	31 de março de 1998
Greensboro-Wiston-Salem-Highpoint, NC	1/nov até 28/fev	21 de setembro de 1994
Hartford, CT	1/nov até 28/fev	14 de maio de 1996
Raleigh-Durhan, NC	1/nov até 28/fev	2 agosto de 1995
Memphis, TN		26 de julho de 1994
Modesto, CA	1/out até 31/jan	31 de março de 1998
Philadelphia-Wilmington-Treton, PA-MD-NJ	1/nov até 28/fev	30 de janeiro de 1996 28 de junho de 1996
Sacramento, CA	1/out até 31/jan	31 de março de 1998
Salt Lake City, UT	1/nov até 28/fev	21 de janeiro de 1999
San Diego, CA	1/nov até 28/fev	31 de março de 1998
San Francisco, CA	1/out até 31/jan	31 de março de 1998
Seattle-Tacoma, WA	1/nov até 29/fev	11 de outubro de 1996
Stockton, CA	1/out até 31/jan	31 de março de 1998
Syracuse, NY	1/nov até 28/fev	29 de setembro de 1993
Vancouver, WA	1/nov até 28/fev	21 de outubro de 1996
Washington, DC-MD-VA	1/nov até 28/fev	30 de janeiro de 1996
New York/NJ/Connectituct*	1/out até 28/fev	
	NJ	22 de novembro de 1999
	CT	1 de dezembro de 1999
	NY	19 de abril de 2000
Fairbanks, AK	1/nov até 28/fev	16 de maio de 1996***

Fontes: Howard et al. (1997)

2.1.7.1.2 O programa de gasolina reformulada nos EUA

Quando o Congresso dos EUA aprovou a emenda do "*Clean Air Act*" de 1990, foram estabelecidos inúmeros programas para obter combustíveis e veículos com motores mais limpos. Estes programas têm obtido elevado sucesso em proteger a saúde pública através da redução da emissão de poluentes pelos automóveis. Na emenda de 1990, o Congresso fechou um balanço dos programas para controle de emissão dos veículos e dos combustíveis. O programa da gasolina

reformulada (RFG) foi concebido para atingir vários objetivos, Incluindo-se a melhoria da qualidade do ar e a utilização de oxigenados nos combustíveis (HOLMSTEAD, 2001).

O Congresso estabeleceu as exigências globais do programa RFG pela identificação das cidades específicas pelas quais poderiam ser requeridos padrões específicos de performance para a RFG, incluindo um requerimento pelo qual a gasolina do programa RFG deve conter um mínimo de 2% de oxigênio por carga. O etanol e o MTBE são os oxigenados com maior utilização no programa de gasolina reformulada. O "*Environmental Protection Agency*" (EPA) publicou o regulamento final estabelecendo as exigências finais das duas fases do programa no início de 1994. Em 2001, o MTBE respondia por 87% dos oxigenados utilizados no programa de gasolina reformulada (HOLMSTEAD, 2001).

A primeira fase do programa federal da gasolina reformulada, iniciada em janeiro de 1995, introduziu uma gasolina mais limpa, ajudando a reduzir as emissões de veículos causadora da expansão do ozônio e poluentes tóxicos nas cidades americanas (HOLMSTEAD, 2001). Neste período, 60 áreas do território americano estavam com nível de ozônio acima do desejável (WILSON, 1998).

Para a tomada de decisão quanto às áreas a serem incorporadas ao programa de gasolina reformulada, o EPA utilizou sua classificação das áreas que não se encontram no padrão de qualidade do ar para ozônio conforme o "*National Ambient Air Quality Standards*" (NAAQS). Essa classificação considera seis níveis de ozônio por área acima do nível desejado: marginal, moderada, séria, severa ou extrema. A classificação feita pelo EPA seguiu as requisições do "*Clean Air Act*" de 1990 (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 1999b).

A segunda fase do referido programa teve início em janeiro de 2000 e foi concebida para reduzir a emissão de "*Volatile Organic Compounds*" (VOC), Óxidos de Nitrogêneo (NOX) e outros gases tóxicos (HOLMSTEAD, 2001).

Sob o "*Clean Air Act*", dez áreas metropolitanas, com os mais sérios níveis de poluição do ar, receberam requerimento para aderir ao uso de gasolina reformulada (RFG). Além destas, outras áreas aderiram voluntariamente ao programa de RFG com o intuito de ajudar a combater os seus problemas com poluição do ar, conforme indicado nas Tabelas 16 e 17 (HOLMSTEAD, 2001).

Na média de 2000, observou-se em inúmeras áreas, porcentagens de oxigênio mais elevadas do que o valor mínimo requerido e diferentes porcentagens entre a gasolina reformulada de inverno e a de verão, ver Tabela 16.

Tabela 16 - Programa de gasolina reformulada de inverno dos EUA

	Valores percentuais médios encontrados na gasolina reformulada no ano de 2000			
Áreas	Porcentagem De oxigênio	Porcentagem de concentração de MTBE	Porcentagem de concentração de etanol.	Porcentagem de TAME (*tert-amyl methyl ether)*
Atlantic City, NJ	2,08	9,86	0,54	0,64
Baltimore, MD*	1,98	9,58	0,00	1,43
Boston-Worchester, MA	2,14	9,80	0,29	1,58
Chicago- Gary –Lake County,IL- IN-WI.*	3,70	0,00	10,66	0,00
Covington, KY	3,02	3,67	6,76	0,03
Dallas-Fort Worth, TX	1,99	9,89	0,00	1,13
Hartford, CT*	2,12	9,01	0,43	2,05
Houston-Galveston-Brazoria,TX*	2,04	10,52	0,00	0,77
Los Angeles-Anheim-Riverside, CA*	2,23	12,11	0,00	0,16
Louisville, KY	2,24	7,25	2,54	0,14
Manchester, NH	2,04	10,04	0,00	1,36
Milwaukee-Racine, WI*	3,65	0,00	10,51	0,00
New York City, NY-NJ-CT*	1,99	9,87	0,36	0,44
Nortfolk-Virginia Beach, VA	2,00	9,90	0,00	1,24
Philadelphia, PA-NJ-DE-MD*	2,06	10,33	0,18	0,73
Portsmouth-Dover, NH	2,24	10,96	0,00	1,44
Poughkeepise, NY	2,12	9,78	0,71	0,55
Rhode Island	2,20	9,81	0,48	1,45
Richmond, VA	1,94	9,43	0,00	1,43
Sacramento, CA*	2,14	11,34	0,00	0,45
San Diego, CA*	2,20	11,96	0,00	0,17
Springfield, MA	2,22	9,39	0,71	1,63
St. Louis, MO	2,72	5,23	4,94	0,31
St. Louis, MO (w/o 3/20/00)	2,71	5,59	4,72	0,30
Sussex County, DE	2,00	8,12	0,00	3,21
Warren County, NJ	1,98	10,32	0,01	0,49
Washington, D.C.	1,98	9,71	0,00	1,21

Fonte: U.S. Environment Protection Agency (2004a)

Nota: * Regiões pelas quais obrigatoriamente tiveram de aderir ao Programa de Gasolina Reformulada

Tabela 17 - Programa de gasolina reformulada de verão dos EUA

	Valores percentuais médios encontrados na gasolina reformulada no ano de 2000			
Áreas	Porcentagem de oxigênio	Porcentagem de concentração de MTBE	Porcentagem de concentração de etanol.	Porcentagem de TAME
Atlantic City, NJ	2,23	11,47	0,00	0,93
Baltimore, MD	2,06	10,12	0,00	1,39
Boston-Worchester, MA	2,17	10,59	0,00	1,51
Chicago-Lake Co.,IL, Gary, IN	3,51	0,01	10,11	0,00
Covington, KY	3,06	3,49	6,95	0,04
Dallas-Fort Worth, TX	2,03	10,16	0,00	1,09
Hartford, CT	2,13	9,21	0,00	2,86
Houston-Galveston,TX	2,11	11,01	0,00	0,67
Los Angeles, CA	2,01	10,94	0,00	0,15
Louisville, KY	2,27	8,15	2,20	0,09
Manchester, NH	2,18	11,10	0,00	1,00
Milwaukee-Racine, WI	3,49	0,00	10,05	0,00
New York City, NY-NJ-CT	2,03	10,26	0,00	1,00
Nortfolk-Virginia Beach, VA	2,07	10,33	0,00	1,20
Philadelphia, PA-NJ-DE-MD	2,20	11,49	0,00	0,63
Portsmouth-Dover, NH	2,21	11,82	0,00	0,42
Poughkeepise, NY	2,04	10,21	0,00	1,12
Rhode Island	2,07	9,53	0,00	2,07
Richmond, VA	2,13	10,52	0,00	1,24
Sacramento, CA	2,18	11,46	0,00	0,62
San Diego, CA	2,09	11,32	0,00	0,23
Springfield, MA	2,12	9,90	0,01	1,97
St. Louis, MO	2,20	9,07	1,35	0,53
Sussex County, DE	2,01	9,10	0,00	2,12
Warren County, NJ	2,17	10,93	0,00	1,11
Washington, D.C.	2,11	10,43	0,00	1,19

Fonte: U.S. Environment Protection Agency (2004b)

O MTBE é um importante componente para se misturar na gasolina pois adiciona o oxigênio exigido pela gasolina reformulada, ampliando o volume da gasolina e o nível de octano de forma simultânea. Para obter os 2% de oxigênio requeridos pelo programa federal de gasolina reformulada, exige-se uma mistura de aproximadamente 11% de MTBE (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2002).

Quando o MTBE é adicionado à gasolina, ocorre um importante efeito de diluição substituindo compostos indesejáveis como benzeno, aromáticos e súlfur. Além disto, o MTBE proporciona elevação do Octano. Se o MTBE for reduzido ou banido, as refinarias precisarão

encontrar outras formas de manter o nível de octano da gasolina e manter as exigências federais (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2002).

O etanol recebe uma taxa de isenção de impostos de 54 centavos de dólar por galão no mercado dos Estados Unidos. Os incentivos fiscais para o etanol legalmente se espiram em 2007. No entanto, a isenção tem sido inúmeras vezes prorrogada desde sua criação em 1978 (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2002).

Algumas características do etanol têm feito este produto menos atrativo para as refinarias em relação ao MTBE como um oxigenado. O etanol resulta em uma maior emissão da fumaça contendo volatile organic compounds (VOCs) em comparação ao MTBE. A maior volatilidade do etanol dificulta a obtenção dos padrões de emissão do governo federal, especialmente nos meses de verão quando a gasolina reformulada necessita obter padrões de emissão de VOC. Para acomodar a utilização de etanol, outros componentes da gasolina, como o pentano, que são altamente voláteis, necessitam ser retirados da gasolina para ocorrer a adição do etanol (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2002).

A maior volatilidade do etanol em relação ao MTBE lhe permite uma maior concentração de oxigênio. Como resultado, necessita-se de apenas metade do volume de etanol para produzir o mesmo nível de oxigênio na gasolina reformulada que é proporcionada pelo MTBE. No entanto, a volatilidade do etanol desencoraja as refinarias a misturar etanol na gasolina para obter as exigências dos oxigenados. Desta forma, a mistura com etanol significa uma emissão um pouco maior de gases tóxicos em comparação com o MTBE, necessitando-se compensar esta maior emissão com a mistura de outros compostos (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2002).

2.1.7.1.3 O programa de gasolina renovável nos EUA (Renewable Fuels Standard – RFS)

A administração do governo federal tem estimulado uma expansão no papel dos combustíveis alternativos na matriz energética americana através do "*National Energy Policy*". Assim como o poder executivo, o Congresso tem debatido a possibilidade de expansão de combustíveis alternativos para os próximos anos. No Congresso americano, vêm sendo discutidos vários projetos de lei que concedem incentivos fiscais para o desenvolvimento de combustíveis alternativos (YACOBUCCI, 2002).

Neste sentido, o Congresso americano aprovou no dia 2 de agosto de 2001 uma legislação sobre energia, "*The House version*" (H.R. 4), pela qual se inclui metas para a utilização de combustíveis alternativos. No início de março de 2002, iniciou-se a discussão sobre energia no senado americano através da "*Senate Bill*" S.517. Ambas as medidas contém provisões para um fundo de pesquisa e desenvolvimento, incentivos fiscais e outros incentivos para combustíveis alternativos (YACOBUCCI, 2002).

As discussões no Senado se estenderam no ano de 2003 e 2004, elaborando-se a "*The Energy Policy Act of 2003*", denominada pelo Senado de S.2095. Algumas das medidas discutidas no S. 2095 referem-se ao cronograma de implantação do programa de combustíveis renováveis nos EUA (Tabela 18) e o banimento do MTBE em todo o território americano até 31 de dezembro de 2014 (UNITED STATES, 2004).

Os defensores dos combustíveis renováveis argumentam que o estímulo para a utilização de combustíveis alternativos promove a melhoria na qualidade do ar e na segurança energética do país. Por outro lado, os opositores de tais medidas argumentam que existem formas mais baratas para se reduzir a poluição e cortar o consumo de gasolina. Por exemplo, melhorando o desempenho dos motores de uma milha por galão de todos os veículos de passageiros nos Estados Unidos provocaria maior redução no consumo de petróleo em comparação a qualquer programa de combustível renovável (YACOBUCCI, 2002).

Tabela 18 - Volume aplicável de combustível renovável nos EUA, período: 2005 até 2012

Ano	Volume aplicável de combustível renovável (bilhões de galões)	Volume aplicável de combustível renovável (bilhões de litros)
2005	3,1	11,73
2006	3,3	12,49
2007	3,5	13,25
2008	3,8	14,38
2009	4,1	15,52
2010	4,4	16,66
2011	4,7	17,79
2012	5,0	18,93

Fonte: United States (2004)

2.1.7.1.4 O programa de etanol E 85

Além dos programas pelos quais se prevê uma mistura minoritária do álcool na gasolina, existem nos EUA programas pelos quais o etanol é a base do combustível. O tipo de veículo mais comum movido a álcool, utilizado nos EUA, são os chamados veículos "E-85", o qual funciona tanto com etanol ou com gasolina, ou com qualquer combinação entre os dois combustíveis até 85% de etanol e 15% de gasolina (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2003b).

Estimativas feitas pelo "*Energy Information Administration*" constatou a existência de aproximadamente 4,1 milhões de veículos, no ano de 2002, nos EUA. No entanto, muitos destes veículos são utilizados na forma tradicional, consumindo apenas gasolina. Deste total, estima-se que 133 mil veículos foram utilizados no consumo de etanol em 2003. Montante este que coloca o E-85 como o combustível alternativo com maior taxa de crescimento entre os anos de 1995 e 2004 (Tabela 19).

Tabela 19 - Principais fontes alternativas de energia para veículos nos Estados Unidos, período: 1995 até 2004

Anos	E-85	Compressed Natural Gases (CPG)	Eletricidade	Methanol, 85%
1995	1.527	50.218	2.860	18.319
1996	4.536	60.144	3.280	20.265
1997	9.130	68.571	4.453	21.040
1998	12.788	78.782	5.243	19.648
1999	24.604	91.267	6.964	18.964
2000	87.570	100.750	11.830	10.426
2001	100.303	111.851	17.847	7.827
2002	120.951	120.839	33.047	5.873
2003	133.776	132.988	45.656	4.917
2004(projeção)	146.195	143.742	55.852	4.592
Taxa de crescimento	78,8%	12,4%	39,1%	-14,3%

Fonte: Energy Information Administration (2004a)

Os veículos "E-85" contam com mais de 400 postos de abastecimento nos Estados Unidos. Além disto, estima-se uma produção anual de cerca de 2 milhões de veículos "flexible fuels" nos próximos anos (RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2004). Apesar do crescimento na utilização do etanol (E-85) como veículo alternativo à gasolina, este consumo ainda representa uma baixa porcentagem em relação ao consumo total de etanol nos EUA. Consumiu-se no ano de 2002, cerca de 10 milhões de galões de E-85, ver Tabela 20 (Energy Information Administration, 2004a). Volume consideravelmente pequeno em relação aos aproximadamente 1,5 bilhões de galões, de etanol, consumidos nos programas de gasolina reformulada e oxigenada de inverno.

Tabela 20 - Evolução do consumo de E-85 nos Estados Unidos; Milhões de Galões; nos anos de 1998, 2000 e 2002

	Milhões de galões		
	1998	**2000**	**2002**
E-85	1,72	7,07	10,07

Fonte: Energy Information Administration (2004a)

2.1.7.1.5 Oferta de etanol nos Estados Unidos

Para atender ao crescimento da demanda por etanol estão sendo realizados investimentos para ampliar a capacidade de produção deste combustível. A indústria de etanol norte-americana tem sustentado um crescimento de produção desse produto nas duas últimas décadas, intensificando-se nos últimos anos, ver Figura 13.

No ano de 2004 foram abertas 12 novas plantas, combinadas com a expansão da capacidade produtiva de seis plantas. Aumentando a capacidade de produção de etanol da indústria americana para mais de 4,1 bilhões de galões (RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2005).

Além dos investimentos já consolidados, está em curso um programa de investimentos para ampliar a capacidade de produção de etanol, passando de aproximadamente 12,9 bilhões de litros em 2004 para mais de 18 bilhões em 2012. Tanto a estrutura produtiva já consolidada como os novos investimentos estão localizados no cinturão do milho (ver Anexo F).

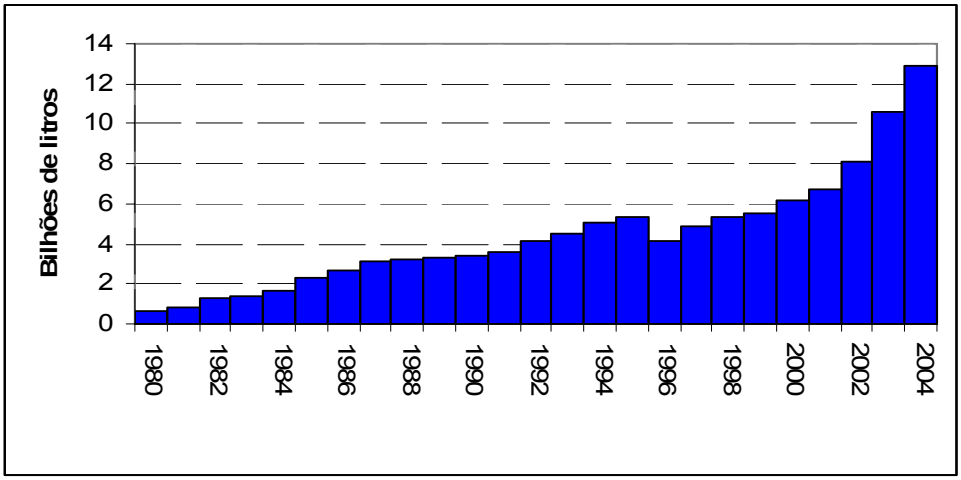

Figura 13 - Histórico da produção de etanol nos EUA , período: 1980 até 2004

Fontes: Renewable Fuels Association (2005)

Para a produção dos cerca de 12,9 bilhões de litros de etanol, em 2004, utilizou-se de aproximadamente 44 milhões de toneladas de milho (Figura 14). Obtendo-se uma produtividade no ano de 2004 de aproximadamente 91,598 Quilogramas de milho para a produção de 1 galão de etanol.

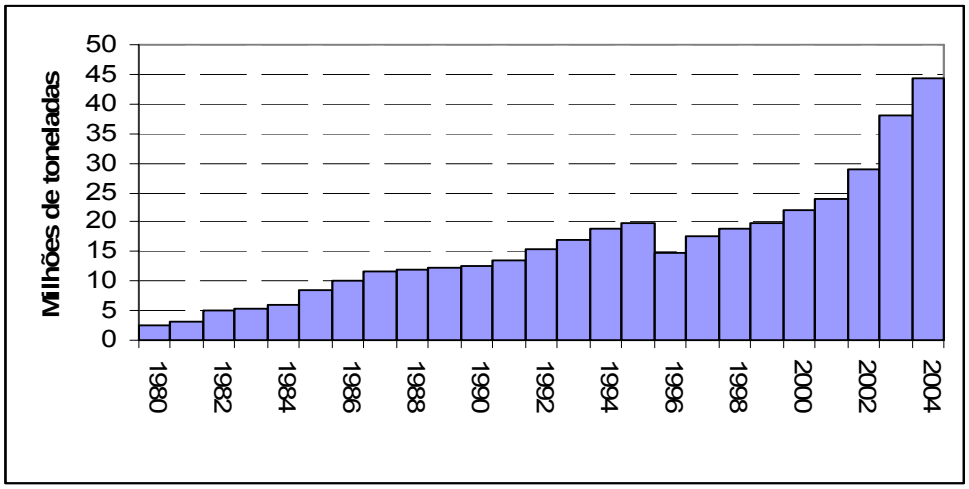

Figura 14 - Milho utilizado nos EUA para a produção de etanol, período: 1980 até 2004

Fonte: Renewable Fuels Association (2005)

Este extraordinário crescimento na produção de etanol deve-se à forte intervenção governamental. De acordo com as estimativas do *General Accounting Office* (GAO), os subsídios concedidos à produção do etanol somaram US$ 11,5 bilhões entre 1980 e 2000, dos quais 96% foram relativos à isenção dos impostos (Silveira, 2001).

O governo federal subsidia o etanol em aproximadamente U$ 0,54 por galão. Além disto, alguns estados concedem subsídios complementares variando entre U$ 0,10 e 0,40 por galão. Os combustíveis oxigenados são beneficiários de aproximadamente 1 bilhão de dólares ao ano (RASK, 2004).

Com a finalidade de se incentivar o uso do etanol, já que os combustíveis alternativos não são economicamente competitivos, existe uma redução no imposto federal (estabelecida pelo Clean Air Act, de 1990) quando o etanol é adicionado à gasolina. Conforme a ALCO (1997 apud MORAES, 1999), o nível dos subsídios (que no início do programa era de 60 centavos por galão, estando em 54 centavos por galão em 1997).

Além de produzir etanol internamente, o programa de etanol americano permite uma cota de importação de 7%, sem pagar tarifa de importação, para os países integrantes do *Caribbean*

Basin Initiative (CBI)[13]. Algumas empresas brasileiras estão se aproveitando destas cotas para exportar para os EUA utilizando a estratégia da triangulação. O álcool brasileiro é desidratado em alguns países do Caribe (como Jamaica e Costa Rica) para posterior envio aos EUA. Com o tempo, está estratégia de exportação de álcool deverá se reduzir, pois os países caribenhos estão implantando projetos de investimento para abastecer o mercado americano (NOGUEIRA, 2003).

2.1.7.2 O programa do etanol no Japão

O governo japonês vem investindo em novas formas de energia como a nuclear e a de gás natural, na tentativa de reduzir a dependência de petróleo em sua matriz energética, resultando em produção de diferentes fontes, conforme se verifica na Tabela 21 (STATISTICS BUREAU, 2005). Com o Protocolo de Quioto, o Japão está procurando desenvolver novos tipos de energia menos poluentes, visando diversificar sua matriz energética, tornando-a menos dependente do petróleo, e reduzir o impacto ambiental desta matriz.

---

[13] O *Caribbean Basin Initiative* (CBI), com início em 1984, possibilita redução ou eliminação das tarifas de importação, nos Estados Unidos, para muitos dos produtos advindos de 24 países participantes nas regiões da América Central e Caribe: *Antigua and Barbuda; Aruba; Bahamas; Barbados; Belize; Costa Rica; Dominica; Dominican Republic; El Salvador; Grenada; Guatemala; Guyana; Haiti; Honduras; Jamaica; Montserrat; Netherlands Antilles; Nicaragua; Panama; Saint Kitts and Nevis; Saint Lucia; Saint Vincent and the Grenadines; Trinidad and Tobago; Virgin Islands, British.* (INTERNATIONAL TRADE DATA SYSTEM, 2004).

Tabela 21 - Tendências da oferta total de energia primária no Japão e porcentagens por fontes de energia

	Petajoule*					
	1980	**1985**	**1990**	**1995**	**2000**	**2001**
Fonte total de energia primária	16.627	16.967	20.357	22.768	23.534	22.781
	Porcentagens	(%)				
Petróleo	66,1	56,3	58,3	55,8	51,8	49,4
Carvão	17,0	19,4	16,6	16,5	17,9	19,1
Gás Natural	6,1	9,4	10,1	10,8	13,1	13,1
Energia Nuclear	4,7	8,9	9,4	12,0	12,4	12,6
Energia Hídrica	5,2	4,7	4,2	3,5	3,4	3,3
Geothermal	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Novas energias	1,0	1,2	1,3	1,1	1,1	2,3

Fonte: Statistics Bureau (2005)

Nota : *1 Kilolitro de petróleo = $3,87 \times 10^{10}$ joules $\Leftrightarrow$ 1 petajoule = 10^{15} joules

A primeira etapa do programa japonês para misturar etanol na gasolina consistiu na regulamentação pelo governo, em 2003, de uma lei permitindo adição de até 3% de álcool à gasolina a partir de março de 2004. A lei regulamentada pelo Ministério do Meio Ambiente japonês faculta o uso da mistura de álcool à gasolina, a partir de março de 2004, nas regiões de Osaka e da ilha Hogaido. De 2005 em diante, essa norma valerá para todo o país (INTERESSE ..., 2003). Pretende-se ainda reduzir os gases causadores do efeito estufa através de uma mistura de álcool na gasolina da ordem de 10% até 2008 (ETHANOLRFA, 2003).

O potencial de consumo de etanol no Japão é grande, dado, o seu elevado consumo de gasolina. O Japão é o segundo maior consumidor de gasolina do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos.

Oferta de etanol: O Japão não terá condições de produzir etanol na quantidade necessária para suprir a sua demanda. A necessidade de importar etanol não consiste em empecilho para a viabilidade do programa japonês, pois apesar de ser um grande consumidor de energia, o Japão é pobre em termos de recursos naturais para a sua geração. O país depende da importação de 82% de fontes primárias de energia, sendo o petróleo a fonte de energia mais importante. Desta forma, ocorrerá substituição de parte da importação de petróleo ou gasolina por etanol.

Pensando neste potencial importador a **Coimex Trading Company** (empresa exportadora do Grupo Coimex, especializada em commodities agrícolas brasileiras, operando expressivos volumes de café, açúcar, álcool, soja e milho) e a MITSUI brasileira (empresa 100% filiada da companhia japonesa Mitsui & Co. Ltd., tendo o comércio exterior como uma das principais atividades desenvolvidas pela empresa) criaram, em parceria, a CM Bioenergia Internacional Importação e Exportação Ltda, tendo como meta operacionalizar a venda de álcool anidro para o Japão (NOGUEIRA, 2003).

O objetivo da nova empresa consiste em dar suporte às autoridades japonesas, pois os parlamentares japoneses discutem a regulamentação de regras para a mistura do álcool à gasolina. Além disto, a idéia do governo japonês é criar no Brasil uma base de produção para atender o mercado japonês.

Com a permissão de mistura do álcool na gasolina, o Japão poderá importar 500 milhões de litros de álcool do Brasil no curto prazo. Além deste volume comercializado inicialmente, o presidente da UNICA, Eduardo Pereira de Carvalho, ressaltou durante evento na Câmara: "O Japão é um mercado promissor para o Brasil, pois só nós podemos fornecer álcool em grandes quantidades para eles"(ÁLCOOL ..., 2003).

2.1.7.3 Os programas de etanol na União Européia

Em 8 de maio de 2003, foi publicada uma diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho da União Européia relativa à promoção da utilização de biocombustíveis[14] ou de outros combustíveis renováveis[15] nos transportes rodoviários. Esta diretiva favorável à utilização de biocombustíveis considerou os seguintes aspectos: - a promoção da produção e do uso de biocombustíveis poderá contribuir para uma redução da dependência das importações de energia e para diminuir as emissões de gases causadores do efeito estufa (DIRECTIVA DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2003).

---

[14] Por "Biocombustíveis" entende-se o combustível líquido ou gasoso para transporte produzido a partir de biomassas; São considerados biocombustíveis o "bioetanol": etanol produzido a partir de biomassa e/ou da fracção biodegradável de resíduos, para utilização como biocombustível, o "biodiesel": éster metílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais, com qualidade de combustível para motores diesel, para utilização como biocombustíveis, etc. Por "Biomassa" entende-se, a fracção biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura incluindo substâncias vegetais e animais), da sivicultura e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

[15] "outros combustíveis renováveis", referem-se aos combustíveis renováveis que não sejam biocombustíveis, obtidos a partir de fontes de energia renováveis tal como se encontram definidas na "Directiva" 2001/77/CE(8)

O Conselho Europeu sugeriu a utilização de combustíveis derivados de fontes agrícolas (biocombustíveis) como a tecnologia com maior potencial no curto e médio prazo. O Conselho Europeu também sugeriu uma estratégia de ação para substituir em 20% a utilização da gasolina e do óleo diesel por combustíveis alternativos até 2020 (DIESELNET, 2001).

Para ampliar a utilização de biocombustíveis na União Européia, os Estados-Membros deverão assegurar que seja colocada nos seus mercados uma proporção mínima de biocombustíveis e de outros combustíveis renováveis, e estabelecem metas indicativas[16] nacionais para o efeito. Até 31 de dezembro de 2005, todos os estados membros deverão possuir proporção mínima de 2% do total dos combustíveis de transporte colocados no mercado. Até 31 de dezembro de 2010, o valor de referência dessas metas, calculado com base no teor energético, é de 5,75% de todo o combustível de transporte comercializado. Os Estados-Membros devem pôr em vigor as disposições legislativas, regulamentares e administrativas necessárias para dar cumprimento à presente diretiva até 31 de dezembro de 2004 e informar imediatamente a Comissão desse fato (DIRECTIVA DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2003).

A diretiva também deixou a critério dos Estados Membros, a escolha dos biocombustíveis ou outros combustíveis renováveis a serem utilizados na composição do combustível, ficando a critério dos países decidir se os biocombustíveis serão consumidos na forma pura ou misturados nos combustíveis fósseis, bom como suas estratégias para atingir a sua meta (MANIATIS, 2003). Ficou, também, a critério dos Estados Membros, decidir pela opção de reduzir os impostos aplicados aos biocombustíveis puros ou misturados, quando utilizados para aquecimento ou como combustível para motores (DIESELNET, 2001).

Os Estados Membros devem levar em consideração, nas medidas que adotarem, o balanço geral climático e ambiental dos vários tipos de combustíveis e outros tipos de combustíveis renováveis. Além disso, podem dar prioridade à promoção dos combustíveis cujo balanço ambiental apresentar uma melhor relação custo/eficácia, sem deixarem de atender

[16] O Conselho de biocombustíveis assumiu compromisso com o parlamento de que as metas sugeridas são indicativas e não obrigatório. Desta forma, tanto as metas como as misturas não são obrigatórias. Em seu primeiro relatório após a entrada em vigor da directiva, os Estados-Membros indicam o nível das respectivas metas indicativas nacionais para a primeira fase. No relatório referentes a 2006, os Estados-Membros indicam as respectivas metas indicativas nacionais para a segunda fase. Até 31 de dezembro de 2006 e, a partir dessa data, a Comissão elabora um relatório de avaliação destinado ao Parlamento Europeu e ao Conselho sobre os progressos registrados na utilização de biocombustíveis e de outros combustíveis renováveis dos Estados-Membros. Se nesse relatório se concluir que as metas indicativas podem não ser atingidas por razões não justificadas e/ou não relacionadas com novos dados científicos, essas propostas deverão incidir nas metas nacionais, incluindo eventualmente metas obrigatórias, na forma apropriada (DIRECTIVA DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2003).

simultaneamente à competitividade e à segurança do (DIRECTIVA DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2003).

No seu primeiro relatório após a entrada em vigor da presente diretiva, os Estados-Membros deverão indicar o nível das respectivas metas indicativas nacionais para a primeira fase. No relatório referente a 2006, os Estados-Membros devem indicar as metas indicativas para a segunda fase. Decidiu-se ainda que os Estados-Membros precisam comunicar à Comissão, antes de 1 de julho de cada ano: as medidas tomadas para promover a utilização dos biocombustíveis, ou de outros combustíveis renováveis, na substituição do gasóleo ou da gasolina no domínio dos transportes (DIRECTIVA DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2003).

2.1.7.3.1 Demanda por etanol na União Européia

Os programas escolhidos pelos países membros, e suas respectivas metas serão divulgadas nos relatórios enviados para a Comissão Européia até dezembro de 2005. Desta forma, não se sabe ao certo os programas a serem utilizados por cada país membro.

Sabe-se que a França, a Espanha e a Suécia já possuem programas de bioetanol, mas em escala reduzida em relação ao montante de combustível consumido. Estes três países concedem incentivos fiscais para estimular a demanda pelo consumo de bioetanol.

***França*:** Na França já existem programas de biodiesel e bioetanol como combustível; no entanto, tais programas representam cerca de 1% do total de combustíveis consumidos por ano (HÉNARD; AUDRAN, 2003).

Hénard; Audran (2003) salientam que os programas de biodiesel possuem maior possibilidade de se expandir na França em relação aos programas de bioetanol, pois o diesel é o combustível mais consumido no país. Estima-se que 63% dos veículos privados na França utilizam o óleo diesel como combustível e 37% empregam a gasolina. Desta forma, as refinarias francesas apresentam superávit na produção de gasolina, necessitando exportar a preços menores, e déficit na produção de óleo diesel, necessitando importar a maiores preços. Desta forma, as refinarias francesas preferem o biodiesel, pois reduziria a necessidade de importação de óleo diesel, ao etanol, desencadeando ampliação no superávit na produção de gasolina.

O etanol começou a ser utilizado na França em 1987, quando uma lei promulgada passou a permitir mistura de 3 a 15% de oxigenados orgânicos ao petróleo. Em 1992, o governo francês

concordou em conceder incentivos ao etanol, através de uma taxa doméstica sobre o consumo do petróleo.

Os fatores responsáveis pelo desenvolvimento do programa de etanol na França foram: a pressão dos agricultores franceses para aumentar a sua renda; o envolvimento de companhias francesas como a TotalFinaElf na produção de etanol e o elevado nível de desconto fiscal para a utilização do etanol no combustível (LANEREE; MONIER, 2000).

***Espanha*:** em 1995 iniciou-se a utilização do etanol na mistura do combustível. Os motivos que levaram ao sucesso do programa de etanol no combustível na Espanha foram: o papel de liderança de empresas privadas em energia e projetos ambientais associados com as companhias de petróleo; o elevado nível de desconto fiscal para incentivar a demanda e a oferta de bioetanol; as políticas regionais motivadas pela importância de setores agrícolas (LANEREE; MONIER, 2000).

A média de incorporação do etanol na gasolina é de 3 a 4% no tipo de gasolina eurosuper (super 95). Esta porcentagem aumenta para 6 a 7% na gasolina octanada superplus 98 (super 98) (LANEREE; MONIER, 2000).

***Suécia*:** a princípio**,** o etanol foi utilizado no país em veículos pesados, cujos motores (pesados) receberiam óleo diesel. Em Estocolmo, mais de 250 ônibus já circulam utilizando-se da mistura, e outros 150 em outras localidades. Além desta forma, o etanol também é utilizado como o combustível denominado E85 (composto por 85% de etanol e 15% de outro aditivo para melhorar a ignição do motor), o qual pode ser utilizado em veículos flexíveis, e como aditivo da gasolina e do óleo diesel (SILVEIRA, 2001).

***Alemanha*:** Em 2002, o parlamento alemão optou por conceder incentivos fiscais para os biocombustíveis até o final de 2008. Tais incentivos têm como objetivo incentivar a formação dos mercados de biocombustíveis. Os parlamentares consideram esta medida como de grande importância para reduzir a emissão dos gases causadores do efeito estufa no setor de transporte, para reduzir a dependência do petróleo e com o intuito de preservar a renda e o emprego no setor agrícola (HENKE; KLEPPER; SCHMITZ, 2003).

O Brasil negociou com a Alemanha a possibilidade de implantar uma mistura de 2% do etanol na gasolina, na negociação entre o Mercosul e a União Européia (PULITI, 2004). Tal mistura auxiliaria a Alemanha a cumprir a meta de utilização de biocombustível sugerida pelo Parlamento Europeu, além de auxiliar a cumprir a meta de redução de emissão dos gases

causadores do efeito estufa. Para o Brasil, tal mistura possibilitaria a exportação de etanol para a Alemanha, além de servir como efeito demonstração para os demais países da União Européia que também necessitam cumprir as metas de biocombustíveis estipuladas pelo Parlamento Europeu.

2.1.7.3.2 Oferta de etanol na União Européia

Assim como na demanda de etanol, na oferta de etanol, tanto a França, como a Espanha e a Suécia possuem estruturas para produzir etanol utilizando diferentes matérias-primas, tais como a beterraba, o trigo e a cevada.

Considerando-se a produção de biocombustíveis como um todo nos diversos países do mundo, a União Européia possui uma pequena participação nesta oferta. No ano de 2000 a União Européia produziu 890.600 toneladas, representando 6% da oferta mundial de biocombustíveis. Neste mesmo ano, o etanol respondeu pela maior proporção de biocombustíveis produzidos no mundo, 14,6 milhões de toneladas. Os Estados Unidos e o Brasil foram os maiores produtores (DULAS, 2004).

A maior parte da produção de biocombustíveis da União Européia se concentra na produção de biodiesel. No ano de 2001, foram produzidas 780.000 toneladas de biodiesel e 216.000 toneladas de bioetanol (THUIJL; ROOS; BEURSKENS, 2003). Apesar da maior produção de biodiesel, vem ocorrendo expansão da produção de bioetanol na União Européia entre os anos de 1993 e 2001, conforme se visualiza nas Figuras 15 e 16, respectivamente.

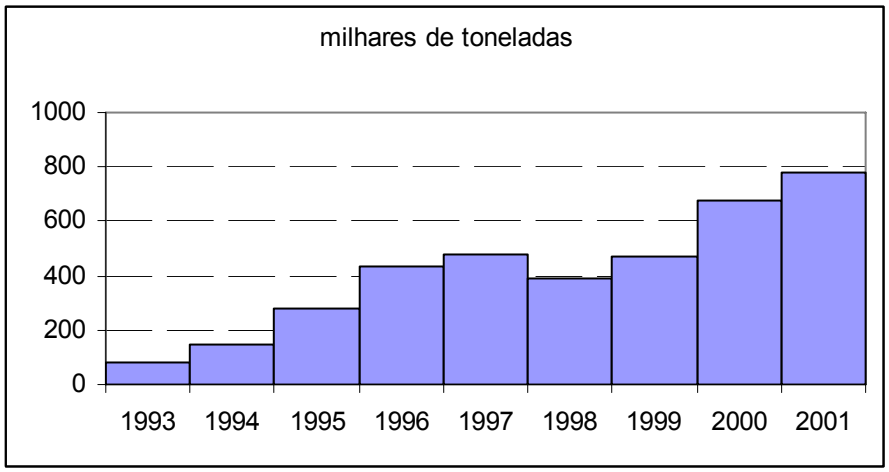

Figura 15 - Evolução da produção de biodiesel na União Européia, milhares de toneladas, período: 1993 ate 2001

Fonte: Thuijl; Roos; Beurskens (2003)

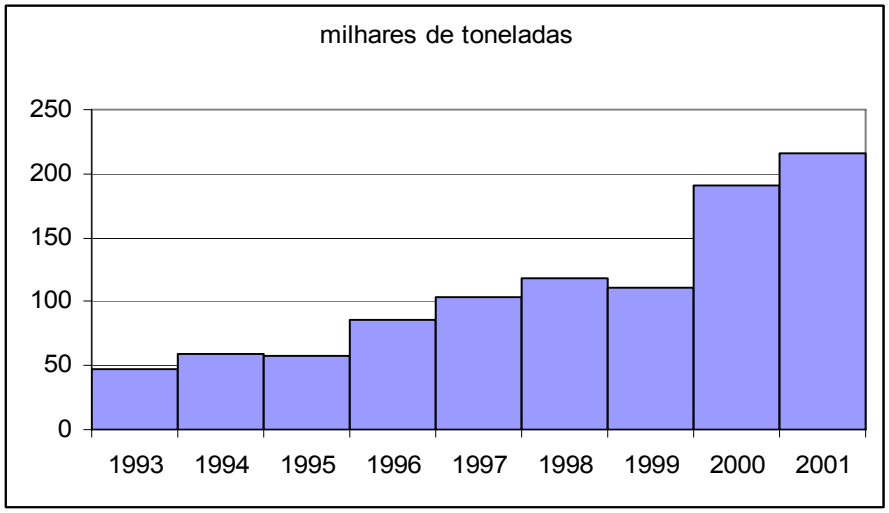

Figura 16 - Produção de etanol na União Européia, milhares de toneladas, períodos: 1993 até 2001

Fonte: Dulas (2004)

No ano 2001, apenas 6 países membros da União Européia produziam biocombustíveis: Áustria, França, Alemanha, Itália, Espanha e Suécia. Dos países citados, a Áustria a Alemanha e a Itália produziam apenas biodiesel. A Espanha concentrava seus esforços na produção de etanol.

A França produzia tanto etanol como biodiesel, no entanto a produção de biodiesel é maior do que etanol. Apesar de se concentrar na produção de biodiesel, a Suécia também produz etanol de forma marginal (Figuras 17 e 18) (DIESELNET, 2001).

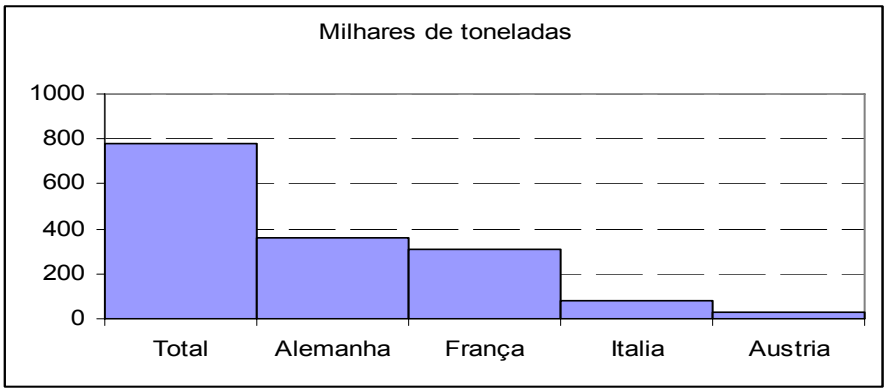

Figura 17 - Produção de biodiesel nos países da União Européia, milhares de toneladas, no ano de 2001

Fonte: Thuijl; Roos; Beurskens (2003)

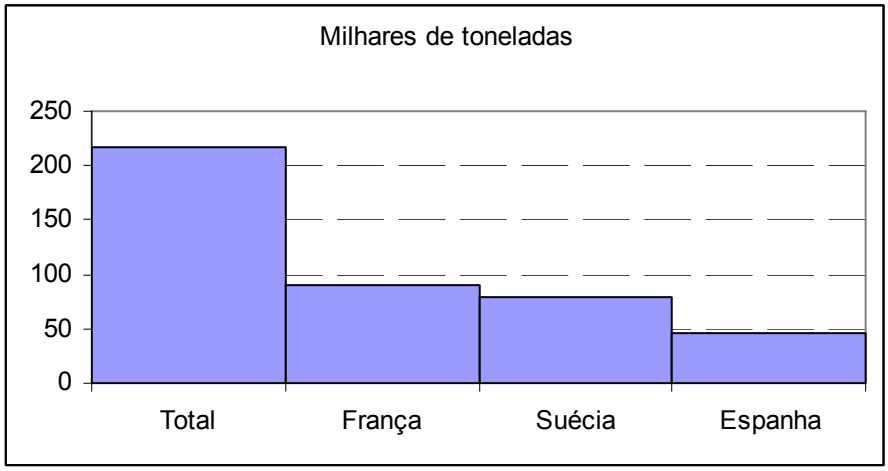

Figura 18 - Produção de etanol nos países da União Européia, milhares de toneladas, no ano de 2001

Fonte: Thuijl; Roos; Beurskens (2003)

Na ***França,*** a principal matéria-prima utilizada para a produção de etanol é a beterraba, mas há também produção a partir da casca de trigo e sobras de álcool proveniente do vinho. Há

sete destilarias autônomas, com um nível de capacidade combinado de aproximadamente 82 milhões de litros por dia. Além disto, existem 16 complexos integrados de açúcar e álcool (BERG, 1999).

Em relação à distribuição do produto no país, existe uma aliança entre a indústria do petróleo e os produtores de etanol, pelos quais vendem o produto fortemente subsidiado às fábricas de ETBE da Total Fina e da Elf, que o misturam à gasolina e o distribuem ao consumidor (SILVEIRA, 2001).

O etanol utilizado para combustível na França não é diretamente misturado na gasolina. A empresa Total Fina prefere realizar uma mistura química do etanol com um combinado de produtos de petróleo, *isobutylene*, para produzir ETBE. O ETBE é o produto misturado na gasolina. A empresa prefere tal procedimento pois argumenta que a maior volatilidade do etanol poderia exceder a norma de volatilidade da União Européia (HÉNARD; AUDRAN, 2003).

Na ***Espanha***, a produção de etanol teve início em 1995 com a criação da ECO-CARBURANTES ESPANOLA, para construir sua primeira destilaria. Em 2000, iniciou-se em Cartagena a primeira destilaria para produzir etanol de cevada para ser incorporado na gasolina como ETBE. Os principais insumos utilizados para a produção de etanol na Espanha são a cevada e o trigo (LANNEREE; MONIER, 2000).

O país tem projeto para se tornar o maior produtor de etanol da União Européia em 2004, quando a terceira e maior planta de produção de etanol entrar em operação em Salamanca. As outras duas plantas já começaram a funcionar, sendo uma em Cartagena e outra na Galícia (BERG, 2001).

Na ***Suécia*** também já existe produção de etanol. Recentemente, uma nova planta de produção de etanol foi instalada em Norrköping, 150 km ao Sul de Estocolmo. A produção anual será de 50.000 m^3 de etanol e 45.000 toneladas de proteínas para ração. A produção será baseada em 135.000 toneladas de trigo (25.000 hectares).

Nos demais países da União Européia, como a Bélgica, Dinamarca, Finlândia, Grécia, Irlanda, Luxemburgo, Holanda, Portugal e Reino Unido, a aplicação de biocombustível está na fase experimental. No Reino Unido, estão em desenvolvimento vários projetos piloto, alguns destes utilizando hidrogênio e etanol (THUIJL; ROOS; BEURSKENS, 2003).

Caso ocorra expansão da demanda por etanol desencadeada por programas voltados para inserir o álcool no combustível na União Européia, ocorrerá discriminação entre os países

exportadores do produto, pois os países da ACP (África, Caribe e Pacífico) contam com isenção ou redução das tarifas para exportar álcool para a União Européia. Para os demais países, incluindo o Brasil, o mercado de álcool na União Européia é protegido por tarifas . As tarifas de importação de álcool são de: EUR$ 192/m^3 para álcool não desnaturado; EUR$ 102/m^3 para álcool desnaturado (NOGUEIRA, 2003).

2.1.8 Modelos de demanda por gasolina

Como em praticamente todos os países que têm programas já implementados ou em vias de implementação para o consumo de etanol, prevê-se que esse deverá ser misturado à gasolina, a estimação do consumo de etanol deverá ser efetuada a partir da estimativa do consumo de gasolina. Este tópico apresenta alguns estudos internacionais e brasileiros que utilizaram técnicas de cointegração para se analisar a demanda por gasolina. Hodge (1999), Ramanathan (1999), Eltony; AlMutairi (1995), Burnquist; Bacchi (2002) e Alves; Bueno (2003) utilizaram modelos de cointegração para se analisar a demanda por gasolina na Índia, Kuwait, Estados Unidos e Brasil. Jabir (2001) utilizou destas técnicas para estimar a importação de petróleo pelos EUA.

Além destes trabalhos, a análise destaca o trabalho de Marjotta-Maistro (2002), por se constituir em uma análise do mercado de combustíveis no Brasil, que enfatizou tanto o emprego da gasolina como do álcool hidratado pela frota de automóveis do país.

Hodge (1999) empregou um modelo para estimar uma regressão que explicasse o comportamento do consumo de energia nos Estados Unidos, empregando-se como variáveis explicativas o preço e a renda *per capita*. Além destas variáveis incluiu-se uma terceira variável relacionada à evolução tecnológica na indústria automobilística americana, repercutindo em menor consumo de gasolina por quilômetro rodado nos automóveis americanos. Esse modelo encontra-se ilustrado na equação (1).

$$\ln E_t = \beta_0 + \beta_1 \ln P_t + \beta_2 \ln I_t + \beta_3 \ln EF_t \qquad (1)$$

Onde:

E_t = Quantidade *per capita* de energia consumida nos Estados Unidos.

O transporte é o maior consumidor de energia.

P_t = Índice de preço de consumo de energia do consumidor.

I_t = Renda *per capita* da população da população americana.

Ef_t = O modelo inclui como medida de eficiência: o consumo médio de gasolina, em milhas por galão. Essa variável representa uma "*proxy*" da tecnologia utilizada no transporte, repercutindo em redução do consumo de gasolina.

Para a análise de regressão foram utilizadas séries históricas do consumo de energia nos Estados Unidos, entre os anos de 1957 até 1996, tendo-se obtido estimativas das elasticidades preço e renda de curto e de longo-prazo do consumo de energia.

Os resultados obtidos por Hodge (1999) na análise da demanda por energia nos EUA, no longo prazo mostram uma expansão de 1% na renda *per capita* resulta em expansão de 1,012% no consumo de energia. Além disso, tem-se que uma expansão de US$1,00 no preço da energia resulta em decréscimo de 0,169% no consumo deste produto. Desta forma, a energia mostrou-se um produto inelástico em relação ao preço no mercado dos Estados Unidos. A variável tecnologia tem contribuído para reduzir o consumo de energia pela redução do consumo de gasolina, na ordem de 0,4%.

Jabir (2001) utilizou técnicas de cointegração para estimar a demanda por barril de óleo cru importado pelos Estados Unidos, conforme expresso na equação (2), utilizando-se uma série histórica que vai de 1988 até 1998.

$$X = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Z_t \qquad (2)$$

Onde:

X = logaritmo natural da quantidade de óleo cru importado.

Y = logaritmo natural do crescimento do PIB americano.

Z = logaritmo natural do preço real do barril de petróleo cru importado.

Em seu trabalho, Jabir (2001) obteve os seguintes resultados para o longo prazo: a importação de óleo cru está positivamente correlacionada com a evolução da renda *per capita* americana. A elasticidade renda da demanda por petróleo importado foi de 0,8, ao passo que a elasticidade preço encontrada foi de -0,9.

Ramanathan (1999) utiliza técnicas de cointegração para se analisar as elasticidades de curto e longo-prazo na demanda por gasolina na Índia. Utilizou-se uma série que vai de 1972-1973 até 1993-1994. A equação (3) ilustra o modelo utilizado.

$$G_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_t + \alpha_2 P_t \qquad (3)$$

Onde:

G = o consumo *per capita* de gasolina em tonéis;

Y = a renda real *per capita* tem como base os preços de 1980 e 1981;

P = o índice de preço de gasolina tem com base os anos de 1980 e 1981;

O valor de longo prazo encontrado para a relação entre renda *per capita* e demanda por gasolina na Índia foi de 2,682. Ao passo que o valor de curto-prazo encontrado entre a variação de renda e a demanda por gasolina foi de 1,178. Inferindo-se uma elevada elasticidade renda para o consumo de gasolina no caso indiano.

Quanto à relação entre o preço e a demanda por gasolina, observou-se inelasticidade. A elasticidade de longo-prazo obtida foi de -0,319, ao passo que a elasticidade de curto-prazo foi de -0,21.

Eltony; Al-Mutairi (1995) estimaram a demanda por gasolina no Kuwait, a equação (4) ilustra o modelo utilizado para se efetuar a estimativas, com uma série histórica de 1970 a 1989.

$$LogG_t = \alpha + \beta_1 \log P_t + \beta_2 \log Y_t + \beta_3 \log G_{t-1} \qquad (4)$$

Onde:

G = consumo de gasolina *per capita;*

P = preço real da gasolina;

Y = renda real *per capita; e,*

G_{t-1} = termo de erro.

As elasticidades preço de curto e de longo prazo foram: -0,37 e -0,46. As elasticidade renda da demanda de curto e de longo prazo foram: 0,47 e 0,92. Desta forma a demanda por

gasolina é inelástica no curto e no longo prazo. Quanto à elasticidade renda, percebe-se que o impacto da expansão da renda na demanda por gasolina é mais acentuado no longo prazo do que no curto prazo.

No caso brasileiro, Burnquist; Bacchi (2002), utilizaram técnicas de cointegração para estimar a demanda por gasolina no Brasil no período de 1973 até 1998, equação 5.

$$\Delta l\text{nCG}_{\text{t}} = \alpha + \beta\Delta l\text{nPG}_{\text{t}} + \delta\Delta l\text{nRE}_{\text{t}} + \gamma\Delta l\text{nRE}_{\text{t-2}} + \theta z_{t-1} \quad (5)$$

Onde:

CG_t = consumo *per capita* de gasolina

PG_t= preço da gasolina

RE = Renda agregada da gasolina

z = Termo de correção de erro.

Os resultados obtidos indicam que no curto prazo, a demanda por gasolina no país é inelástica a mudança na renda real, dado que um aumento da ordem de 1% nessa variável resulta em incremento pouco expressivo, da ordem de 0,6% no consumo de gasolina. No longo prazo, conforme esperado, a elasticidade renda obtida apresentou-se relativamente mais elevada, embora pouco inferior à unidade. No que se refere à elasticidade preço da demanda, os resultados mostram que o consumo de gasolina, no contexto da economia brasileira, é aparentemente pouco sensível a mudanças nos preços desse combustível, tanto no curto como no longo prazo.

Marjotta-Maistro (2002) analisou o mercado de combustíveis no Brasil, tanto da gasolina como do álcool anidro, relacionando os efeitos de mudanças em variáveis associadas à oferta e demanda sobre o comportamento dos agentes, tanto ligados às instituições públicas reguladoras ou diretamente ao mercado (vendedores e compradores), em uma estrutura parcialmente liberada, entre os anos de 1995 e 2000. A equação (6) ilustra o modelo do consumo de gasolina no varejo:

$$V_t^d = \theta_0 + \theta_1 v_t + \theta_2 R_t + \theta_3 D_t + \theta_4 F_t \quad (6)$$

Onde :

V_t^d = Consumo de gasolina no varejo.

v_t = formulação do preço no varejo.

R_t = renda (Índice do PIB real mensal).

D_t = taxa de desemprego (em porcentagem).

F_t = Proxy para frota de veículos nacionais movidos à gasolina (em unidades)

Os resultados obtidos por Marjotta-Maistro(2002) mostram que o consumo de gasolina mostrou-se inelástico tanto frente a variações na renda dos consumidores como nas variações nos preços da gasolina, 0,20 e -0,62. Os coeficientes da taxa de desemprego e da frota de automóveis foram de -0,0413 e 1,67, respectivamente. Desta forma, a frota de veículos mostrou-se mais importante do que a renda em relação ao consumo de gasolina. A pesquisadora interpretou este fato como indicação de que as variações na renda dos consumidores poderão ser direcionadas para outros produtos ou serviços e não somente para a aquisição de mais combustível (MARJOTTA-MAISTRO, 2002).

Alves; Bueno (2003), utilizaram um modelo de cointegração para analisar as elasticidades de curto e de longo prazo para o consumo de gasolina entre o período de 1974 e 1999. O modelo empregado pelos autores foi expresso na equação (7).

$$\ln C_t = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 \ln P_t + \beta_3 \ln A_t \qquad (7)$$

onde:

Y_t = renda real *per capita*

P_t = consumo de gasolina *per capita*

A_t= preço real do álcool hidratado

Os resultados obtidos por Alves; Bueno (2003) indicam que o consumo de gasolina mostrou-se inelástico em relação ao preço e à renda *per capita*, tanto no curto quanto no longo prazo. Além disto, a expansão na renda gera crescimento no consumo de gasolina e a expansão dos preços desencadeia redução do preço da gasolina. A elasticidade preço de curto prazo mostrou-se menor que a de longo prazo e a elasticidade renda de curto e de longo prazo mostraram-se praticamente idênticas. Os resultados do modelo apontaram para a substituição imperfeita entre o álcool e a gasolina, tanto no curto, quanto no longo prazo, pois a magnitude da elasticidade cruzada entre o consumo da gasolina e o preço do álcool mostrou-se baixa.

2.2 Metodologia, procedimentos e dados

2.2.1 Metodologia

O estudo busca obter projeções quanto ao consumo de etanol nos EUA, no Japão, na Alemanha, no Reino Unido, na França, na Itália e no Brasil, para o período de 2004 até 2012, com base no consumo de gasolina nos países selecionados. Para a realização das previsões desse consumo de gasolina, o presente trabalho utiliza a metodologia de Box-Jenkins com séries temporais. Posteriormente, com os valores projetados de consumo de gasolina, chega-se a uma estimativa do consumo de álcool, considerando-se diferentes porcentagens de mistura de álcool na gasolina, conforme vem sendo indicado pelos programas de implementação de mistura de combustível, com o intuito de projetar o consumo de etanol nestes países.

Utilizou-se do modelo de Box-Jenkins pela opção de se utilizar modelos univariados de séries temporais para se efetuar as previsões. Os modelos univariados projetam valores futuros de uma série utilizando-se apenas das informações contidas em seus valores passados.

Apenas no Brasil não foi possível utilizar o modelo univariado, necessitando-se incluir a variável Produto Interno Bruto no modelo denominado de função de tansferência. A metodologia para a realização da função de transferência também foi desenvolvida por Box- Jenkins.

Justifica-se a utilização da metodologia de Box-Jenkins pelo poder de previsão e pelo princípio da parcimônia. O poder de previsão se refere à capacidade de um modelo em comparar suas previsões com os resultados observados. O objetivo do modelo é o de conseguir um bom resultado de previsão fora do período da amostra (GUJARATI, 2000). Neste sentido, os modelos de Box-Jenkins utilizados para se projetar o consumo de gasolina nos países selecionados mostraram-se eficientes quando se comparam os valores projetados com valores observados.

Pelo princípio da parcimônia um modelo deve ser mantido tão simples quanto possível. Um modelo nunca pode ser uma descrição completamente precisa da realidade, pois para tal torna-se necessário o emprego de um modelo tão complexo que terá pouco uso prático (GUJARATI, 2000). O modelo de Box-Jenkins preza pelo princípio da parcimônia, utilizando-se das informações contidas em seus valores passados para se realizar as previsões de uma série. Quando apenas as informações da série não são suficientes para a realização de previsões

satisfatórias então se complementa a análise com outras séries históricas ou com variáveis "*dummy*"[17].

Uma alternativa à utilização dos modelos univariados para o presente estudo, seria a realização de projeções com base na estimativa de modelos estruturais, expressando, por exemplo, a demanda por gasolina em cada um desses países. Esse procedimento requer, no entanto, o emprego de projeções obtidas, a princípio, fora da amostra para as variáveis explicativas, o que pode ser menos adequado, dada a natureza das variáveis utilizadas.

Tomando como base os preceitos microeconômicos, a expressão de uma função de demanda do bem deveria incluir, pelo menos, uma variável representativa da renda, tal como o PIB, e outra representativa do preço do produto, no caso o preço de gasolina para o período da análise, que compreende nove anos. A adoção destes modelos necessitaria a realização de previsões sobre o preço da gasolina e a renda nos países selecionados. No entanto, considerou-se que as limitações de se realizar previsões para estas duas séries trariam mais dúvidas do que benefícios para a realização das previsões sobre a demanda por gasolina. Dessa forma, apenas para o caso do Brasil utilizou-se a variável renda para se estimar o consumo de gasolina.

2.2.1.1 Modelos univariados

Os modelos de séries temporais têm sido comumente utilizados para realizar projeções. Um modelo de série temporal simples, ao qual nos referimos como modelo univariado, não considera qualquer outra variável explanatória além dos componentes da série, que se alteram apenas em função do tempo. As projeções de observações futuras são realizadas, portanto, extrapolando os componentes estimados a partir dos últimos valores da amostra de dados utilizada (HARVEY, 1989).

A metodologia de Box-Jenkins permite que valores futuros de uma série sejam previstos tomando por base apenas as características de seus valores presentes e passados, em termos de tendências e comportamentos cíclicos. Isso é feito explorando a correlação temporal que existe geralmente entre os valores exibidos pela série. A relação temporal considerada pelo enfoque de Box-Jenkins é representada formalmente por um conjunto de processos estocásticos genericamente denominados modelos ARIMA. Os modelos ARIMA resultam da combinação de três componentes denominados "filtros": o componente auto-regressivo (AR), o filtro de

[17] As variáveis *dummies* são variáveis qualitativas inseridas no modelo (GUJARATI, 2000).

integração (I) e o componente de médias móveis (MA). Uma série de tempo pode conter os três filtros ou apenas um subconjunto desses, resultando daí várias alternativas de modelos passíveis de análise pela metodologia Box-Jenkins (FAVA; 2000).

No modelo **Auto-Regressivo (AR)**, o comportamento de uma variável é explicada pelo seu próprio passado (Harvey, 1989). A equação 8 ilustra o modelo auto-regressivo de primeira ordem AR(1).

$$y_t = \phi y_{t-1} + \varepsilon_t \tag{8}$$

Onde:

Φ é um parâmetro e E (ε_t) =0; E (ε^2_t) = σ^2; E ($\varepsilon_t \varepsilon_s$) = 0 para t $\neq$ s

O modelo auto-regressivo genérico AR(p), ilustrado na equação 9, ilustra o caso em que esse é o resultado da soma ponderada de seus p valores passados, além do ruído branco ε_t.

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + ... + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \tag{9}$$

No modelo de **Médias Móveis (MA)**, a série *Yt* resulta da combinação linear dos choques aleatórios (ruídos brancos) ocorridos no período corrente e nos períodos passados (Fava, 2000). O modelo de médias móveis de primeira ordem – MA (1) – é ilustrado pela equação 10.

$$y_t = \varepsilon_t - \theta \varepsilon_{t-1} \tag{10}$$

O modelo de médias móveis genéricas envolve q valores defasados de "ε" é indicado por MA (q) e expresso na forma da equação 11.

$$y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - ... - \theta_t \varepsilon_{t-q} \tag{11}$$

A série y_t resulta, portanto, da soma ponderada do valor corrente e dos q valores passados de ε.

No modelo **auto-regressivo de médias móveis (ARMA)**, o Yt é descrito por seus valores passados e pelos choques aleatórios correntes e passados (FAVA, 2000). O modelo ARMA (1,1), dado pela equação 12, é a especificação mais simples que um processo dessa natureza pode apresentar.

$$y_t = y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta\varepsilon_{t-1} \tag{12}$$

A especificação genérica de um modelo ARMA admite um componente auto-regressivo de ordem p e um componente de médias móveis de ordem q: ARMA(p,q), ilustrado pela equação 13.

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \ldots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1} - \ldots - \theta_t\varepsilon_{t-q} \tag{13}$$

Modelos não estacionários: modelos auto-regressivos integrados de médias móveis (ARIMA). A metodologia de Box-Jenkins aplica-se a um caso específico de séries não estacionárias, séries que se tornam estacionárias após a aplicação de diferenças. O número de diferenças necessário para tornar uma série estacionária é denominado de *ordem de integração*. (FAVA, 2000).

A equação 14 ilustra a extração da diferença de uma série não estacionária de ordem de integração 1. Se essa série for integrada de primeira ordem, torna-se estacionária com apenas uma diferença.

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} \tag{14}$$

Extrai-se a segunda diferença, quando a extração de uma diferença não for suficiente para transformar a série em estacionária. Se a série apresentar, por exemplo duas raízes unitárias, deve-se efetuar uma segunda diferença para torná-la estacionária, conforme indicado na equação 15 (FAVA, 2000).

$$\Delta^2 y_t = \Delta(\Delta y_t)$$

$$\Delta^2 y_t = \Delta(y_t - y_{t-1}) \tag{15}$$

Se a série apresentar três raízes unitárias, toma-se a terceira diferença da série, e assim sucessivamente, até que essa assuma uma forma estacionária.

Modelo univariado sazonal: as séries contendo padrão sazonal podem ser descritas por uma classe de modelos chamados ARIMA SAZONAL ou SARIMA (p,d,q) x (P,D,Q)s (BACCHI, 1994).

Como exemplo de um modelo autoregressivo sazonal, uma série temporal trimestral, "z_t", influenciada pelo valor observado um ano antes, z_{t-s} (s=4) e pelo termo aleatório, $a_{t.,.}$ equação 16 (VANDAELE, 1983).

$$z_t - \Phi_1 z_{t-s} = a_t \tag{16}$$

Um modelo autoregressivo geral de ordem P, pode ser escrito através da equação 17.

$$z_t = \Phi_1 z_{t-s} + \Phi_2 z_{t-2s} + ... + \Phi_p z_{t-ps} + a_t \tag{17}$$

O modelo sazonal de média móvel pode ser representado como um modelo contendo o choque aleatório atual e um choque ocorrido em "s" observações anteriores, a_{t-s}, conforme ilustrado na equação 18 (VANDAELE , 1983).

$$z_t = a_t - \Theta_1 a_{t-s} \tag{18}$$

Caso sejam necessários mais termos de médias móveis sazonais no modelo, então deve-se incluir tais parâmetros. Em geral, um modelo de média móvel sazonal de ordem Q pode ser expresso na equação 19 (VANDAELE, 1983).

$$z_t = a_t - \Theta_1 a_{t-s} - \Theta_2 a_{t-2s} - \Theta_3 a_{t-3s} - ... - \Theta_Q a_{t-qs} \tag{19}$$

A ordem de integração sazonal do modelo deve ser analisada para identificar se é adequada a introdução de diferenças sazonais no modelo, bem como o número de diferenças sazonais que precisam ser consideradas (VANDAELE, 1983). A diferença sazonal de primeira ordem pode ser expressa da maneira indicada na equação 20.

$$\Delta_s z_t = z_t - z_{t-s} \tag{20}$$

A diferença sazonal de segunda ordem pode ser expressa como na equação 21.

$$\Delta_s^2 z_t = \Delta_s \left(z_t - z_{t-s} \right) \tag{21}$$

2.2.1.2 Modelos de função de transferência

Em alguns casos é possível melhorar o desempenho das previsões de uma variável dependente y_t, obtidas pelo método estocástico univariado, mediante a introdução de outras variáveis explicativas no modelo ($x_{1t}, x_{2t}, ..., x_{nt}$). Isto irá ocorrer se as variáveis introduzidas no modelo contiverem informações que não estejam completamente contidas no passado da série y_t, ver equação 22 (VANDAELE, 1983).

$$y_t = v_0 x_t + v_1 x_{t-1} + v_2 x_{t-2} + ... + e_t \tag{22}$$

Os valores de v_0, v_1 e v_2 na equação 22, referem-se ao peso da influência das variáveis explicativas na variável dependente. A soma dos impactos das variáveis explicativas na variável dependente pode ser expresso na forma da equação 23. A variável g representa a variação acumulada no tempo na variável y_t decorrente de uma variação unitária em x_t em um período (VANDAELE, 1983).

$$\sum_{k=0}^{\infty} v_k = g \tag{23}$$

Sob condições gerais, pode-se expressar a variável (*vb)* por dois polinômios *w*(B) e $\delta(B)$. *W*(B) corresponde ao operador de média móvel, ao passo que $\delta(B)$ corresponde ao operador autoregressivo ver equação 24 (BACCHI, 1994).

$$y_t = (w(B)/\delta(B))x_{t-b} + e_t \tag{24}$$

O parâmetro b de defasagem representa o número completo de intervalos de tempo necessários para que a variável x_t produza algum efeito em y_t.

2.2.2 Procedimentos

Neste tópico discutem-se as etapas necessárias para a realização das previsões utilizando-se a metodologia de Box-Jenkins para modelos univariados e para função de transferência. Os modelos delineados são utilizados para a realização das previsões do consumo de gasolina nos Estados Unidos, Japão, Reino Unido, França, Alemanha, Itália e para o consumo gasolina e álcool hidratado no Brasil.

2.2.2.1 Etapas para a realização de previsões em um modelo univariado utilizando-se da metodologia de Box-Jenkins

Vandaele (1983) descreve 4 etapas para a realização de previsões para um modelo de série temporal, utilizando-se do modelo univariado de Box-Jenkins.

Etapa 1*: Identificação* das especificações preliminares do modelo;

Etapa 2: *Estimação* de seus parâmetros;

Etapa 3: **Checagem de diagnóstico** (verificação) da adequação do modelo;

Etapa 4: Previsão das realizações futuras**.**

Uma das razões para a popularidade dos modelos de Box-Jenkins consiste na capacidade demonstrada para a realização de previsões, principalmente no que se refere a previsões de curto prazo (GUJARATI, 2000).

Para a realização das quatro etapas envolvidas na realização da previsão pelo modelo de modelo de Box-Jenkins, o programa computacional RATS (Regression Analysis of Time Series), na versão 4 (DOAN, 1992).

2.2.2.1.1 Identificação

Para a identificação dos filtros: AR, I, MA, que compõem o processo gerador da série, bem como de suas respectivas ordens, utiliza-se da análise de visualização gráfica da função de autocorrelação (FAC) e da função de autocorrelação parcial (FACP). Além da análise das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial pode-se empregar o teste de Dickey-Fuller como uma forma de auxiliar a condução de testas da ordem de integração da série.

2.2.2.1.1.1 Identificação da ordem de integração do filtro

A identificação da ordem de integração do filtro envolve quatro etapas. A primeira consiste na análise da visualização gráfica da Função de Autocorrelação. Caso a visualização gráfica aponte para a não estacionariedade da série, então recorre-se ao teste de *Dickey-Fuller* com o intuito de auxiliar ao teste da visualização gráfica. A terceira etapa consiste em analisar graficamente a ordem de integração sazonal da série. A quarta, consiste em aplicar o teste de raiz unitária sazonal, com o intuito de auxiliar a análise da visualização gráfica.

***Função de autocorrelação*:** O coeficiente de autocorrelação ou correlação serial de ordem "k", ou seja, a autocorrelação entre y_t e y_{t-k} é dado pela equação 25.

$$\rho_k = \frac{\mathrm{cov}(y_t, y_{t-k})}{\mathrm{var}(y_t)} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \tag{25}$$

A sequência de pares (k, ρk), k = 1,2, ..., é denominada função de autocorrelação. O coeficiente de autocorrelação "ρk" envolve parâmetros geralmente desconhecidos. Na prática, é necessário trabalhar com o coeficiente de autocorrelação "amostral" r_k , expresso pela equação 26 (FAVA, 2000).

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^{n} (y_t + \bar{y})(y_{t-k} - \bar{y})}{\sum_{t=1}^{n} (y_t - \bar{y})^2} \tag{26}$$

A FAC amostral é constituída pelos pares (k,rk), k=1,2,...

Função de autocorrelação parcial (FACP): O coeficiente de autocorrelação parcial de ordem k, usualmente representado por ϕ_{kk} , mede a correlação entre y_t e y_{t-k}, depois de descontada a influência de y_{t-1}, y_{t-2} , ..., y_{t-k+1} sobre y_t . Para se calcular o coeficiente ϕ_{kk} , k = 1,2,..., deve-se calcular o último coeficiente, $\beta_{kk,}$ de cada uma das auto-regressões expressas nas equações 27, 28 e 29 (FAVA, 2000).

$$y_t = \beta_{11} y_{t-1} + \varepsilon_t \qquad \phi_{11} = \beta_{11} \qquad (27)$$

$$y_t = \beta_{11} y_{t-1} + \beta_{22} y_{t-2} + \varepsilon_t \qquad \phi_{22} = \beta_{22} \qquad (28)$$

$$\vdots$$

$$y_t = \beta_{k1} y_{t-1} + \beta_{k2} y_{t-2} + \ldots + \beta_{kk} y_{t-k} + \varepsilon_t \qquad \phi_{kk} = \beta_{kk} \qquad (29)$$

2.2.2.1.1.1.1 Identificação da ordem de integração da série pela visualização gráfica

Utilizam-se dois critérios para se analisar a ordem de integração da série: o primeiro é a análise gráfica da FAC e o segundo consiste no emprego do teste de Dickey-Fuller para testar a ordem de integração da série.

Geralmente, as séries não estacionárias apresentam fortes correlações seriais: os valores dos coeficientes de autocorrelação declinam muito lentamente à medida que “k” aumenta. Assim sendo, uma FAC amostral com valores inicialmente altos e que não declinam rapidamente para um valor estatisticamente igual a zero à medida que “k” aumenta, indica que a série é não estacionária e precisa, portanto, ser diferenciada, ver Figura 19 (FAVA, 2000).

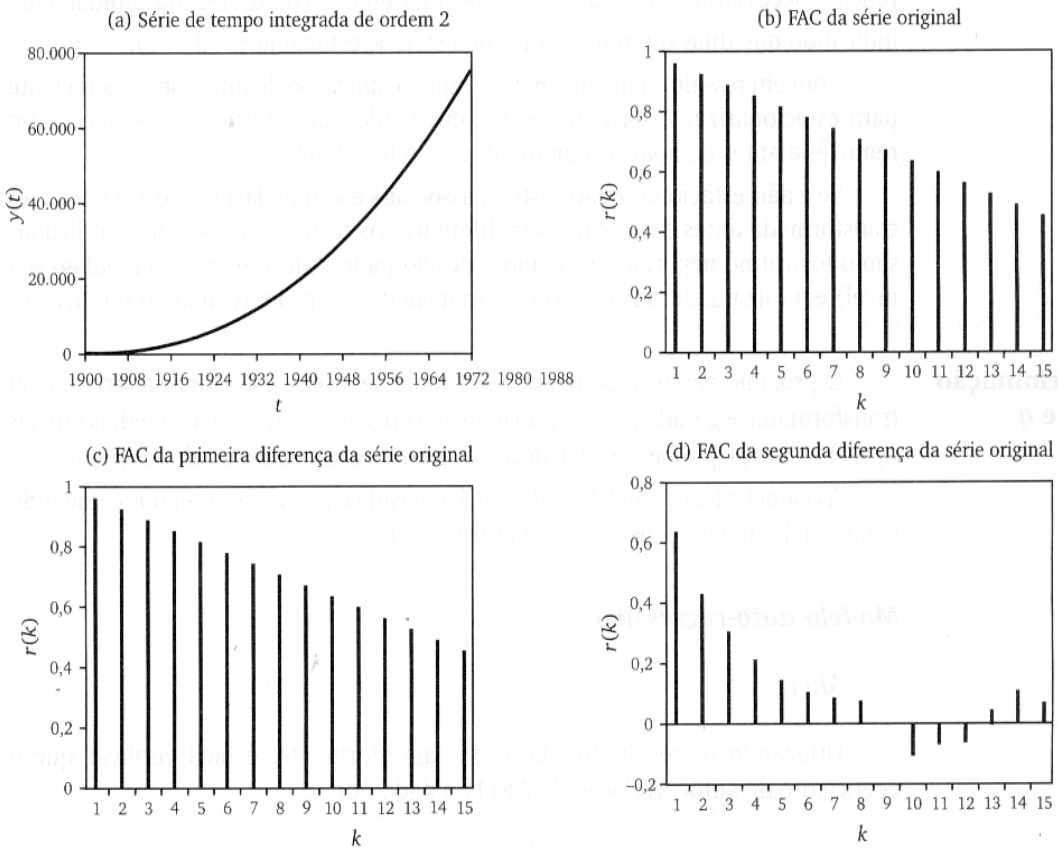

Figura 19 - Gráficos contendo as FACs de uma série integrada de segunda ordem

Fonte: Fava (2000)

2.2.2.1.1.1.2 Identificação da ordem de integração da série pelo teste de *Dickey-Fuller*

Complementando a análise gráfica da Função de Autocorrelação, utiliza-se o teste de Dickey-Fuller com o intuito de analisar a ordem de integração da série. Enders (1995) sugere uma série de procedimentos que podem ser empregados para testar a existência de raiz unitária em uma série através do teste de Dickey-Fuller, que se encontram ilustrados na Figura 20, na forma de um organograma.

As 4 etapas para se efetuar o teste de raiz unitária são:

Etapa 1: Partindo-se da análise da equação 30, utiliza-se a estatística τ_τ para testar a hipótese nula (H0: $\gamma = 0$), conforme indicado na Figura 20. Quando essa hipótese nula é

rejeitada, tem-se uma indicação de que a hipótese de existência de raiz unitária também deve ser rejeitada.

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{30}$$

Etapa 2: Se na etapa anterior, a hipótese nula não for rejeitada, torna-se necessário determinar se foi incluído um regressor determinístico em demasia. Realiza-se então, o teste de significância do termo tendência sob a hipótese nula de raiz unitária. Para o teste de significância, utiliza-se a estatística $\tau_{\beta\tau}$ para testar a significância de a_2. Caso a hipótese nula não tenha sido rejeitada, então deve-se realizar a etapa 3 do teste.

Etapa 3: Estima-se o modelo sem a tendência, equação 31. Realiza-se o teste para se averiguar a existência de raiz unitária utilizando-se a estatística τ_μ. Se a hipótese nula for rejeitada, conclui-se que o modelo não contém uma raiz unitária. No entanto, se a hipótese nula de raiz unitária não for rejeitada, torna-se necessário realizar o teste para a significância do termo constante.

Se a hipótese nula para a constante for rejeitada, então analisa-se o $\gamma = 0$, utilizando-se uma distribuição normal. Caso se aceite H_0 , então se aceita a existência de raiz unitária da série. Caso não se aceite H_0, então se rejeita a existência de raiz unitária na série, ver Figura 20.

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{31}$$

Etapa 4: Estima-se a equação sem tendência e constante, ver equação 32. Utiliza-se o teste τ para se testar a presença de raiz unitária. Se a hipótese nula for rejeitada, conclui-se que a seqüência y_t não contém uma raiz unitária. Caso se aceite H_0, então conclui-se para a existência de raiz unitária na série, ver Figura 20.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{32}$$

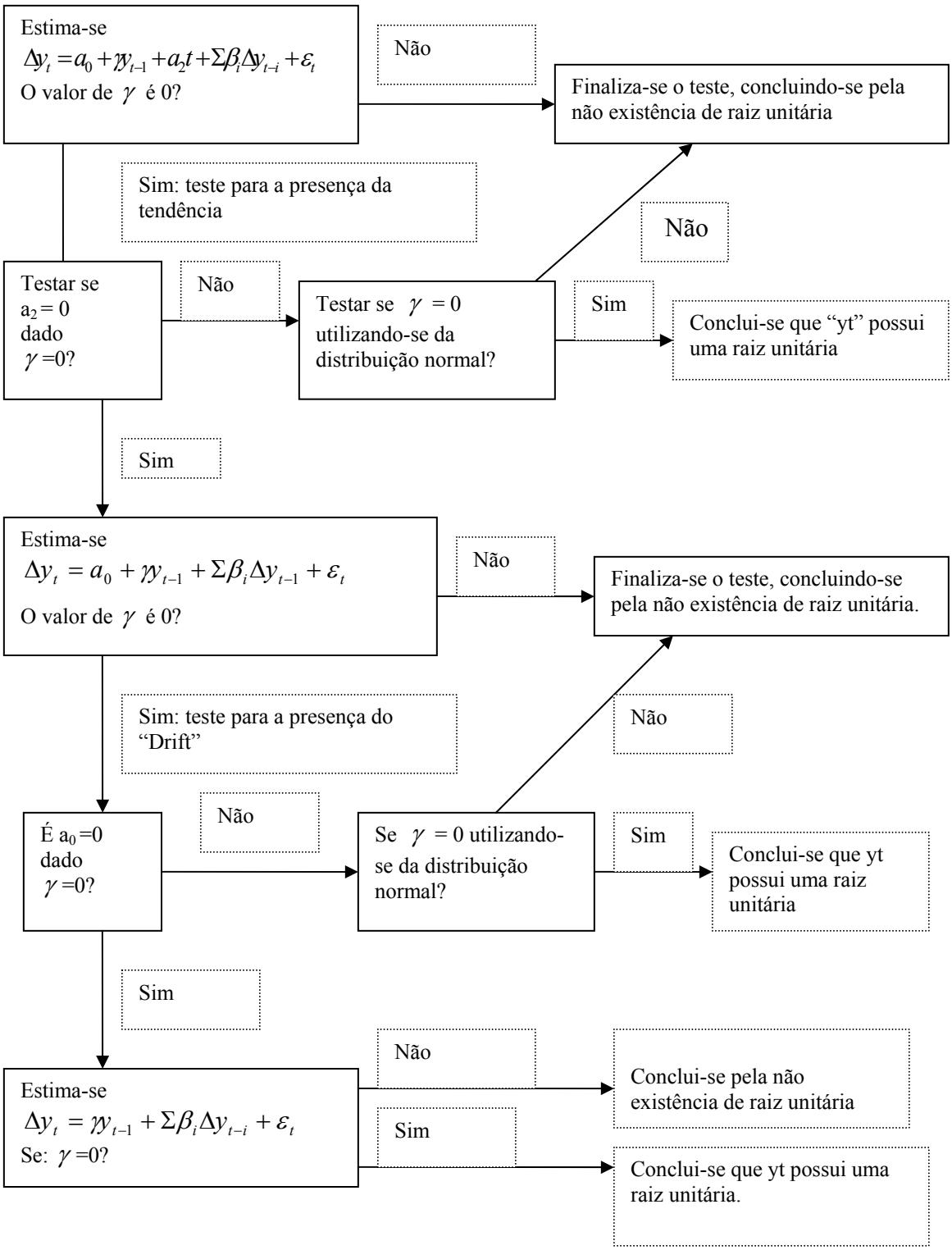

Figura 20 - Procedimentos para se efetuar o teste de raiz unitária

Fonte: Enders (1995)

2.2.2.1.1.1.3 Identificação, pela visualização gráfica, de séries cuja sazonalidade não é estacionária

Quando a periodicidade da série é inferior a um ano (séries mensais e trimestrais, por exemplo), outro tipo de correlação serial passa a ter importância: a correlação entre os instantes de tempo distantes entre si por s ou múltiplos de s, onde s é o número de observações contidas em uma ano (s = 12 para dados mensais e s = 4 para dados trimestrais) (FAVA, 2000)

Caso as defasagens referentes à sazonalidade da série declinarem lentamente na função de autocorrelação, tem-se um indício de que a série é sazonalmente não estacionária, sendo necessário fazer uma diferença sazonal (VANDAELE, 1983). Esse caso é ilustrado na Figura 21.

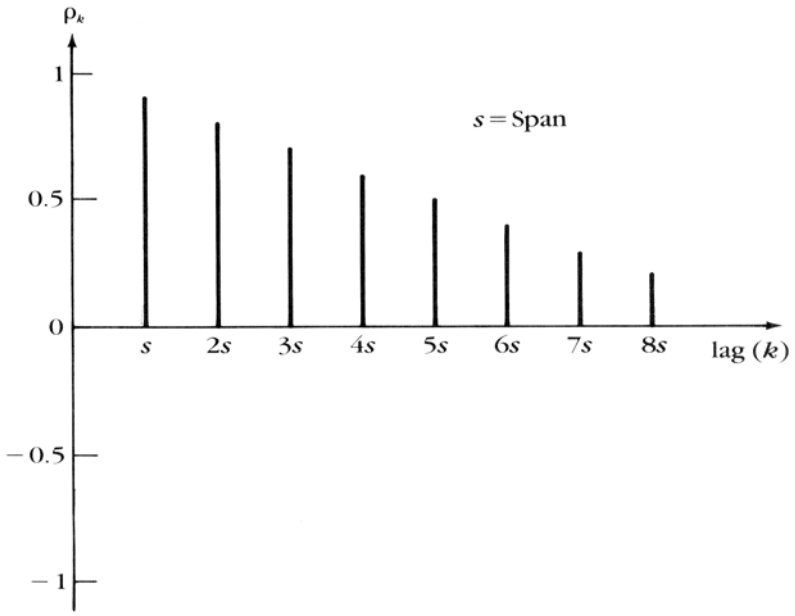

Figura 21 - Função de autocorrelação com uma série sazonalmente não estacionária

Fonte: Vandaele (1983)

2.2.2.1.1.1.4 Teste de raiz unitária sazonal

Conforme Enders (1995), para a realização do teste de raiz unitária sazonal necessita-se adotar os seguintes procedimentos:

Primeiramente, deve-se obter as variáveis expressas nas equações 33, 34, 35 e 36:

$$y_{1(t-1)} = y_{t-1} + y_{t-2} + y_{t-3} + y_{t-4} \tag{33}$$

$$y_{2(t-1)} = y_{(t-1)} - y_{(t-2)} + y_{(t-3)} - y_{(t-4)} \tag{34}$$

$$y_{3(t-1)} = y_{(t-1)} - y_{(t-3)} \tag{35}$$

$$y_{3(t-2)} = y_{(t-2)} - y_{(t-4)} \tag{36}$$

Em segundo lugar, deve-se estimar a regressão expressa na equação 37.

$$(1 - L^4)y_t = \gamma_1 y_{1(t-1)} - \gamma_2 y_{2(2t-1)} + \gamma_5 y_{(3t-1)} - \gamma_6 y_{(3t-2)} \tag{37}$$

Para melhorar o resultado da análise da regressão 37, podem-se acrescentar outras variáveis na equação. Podendo-se incluir um intercepto, variáveis "*dummies*" sazonais ou a variável tendência (ENDERS, 1995).

Finalmente**,** aplica-se o teste "F" para a hipótese de $\gamma_5 = \gamma_6 = 0$. Se o valor calculado for menor do que o valor crítico reportado em Hylleberg et al. (1990), isso leva a concluir que γ_5 e/ou γ_6 igualam-se a zero, indicando a existência de uma raiz unitária com freqüência anual.

2.2.2.1.1.2 A Identificação dos modelos ARMA

Após a realização das análises de ordem de integração e da ordem de integração sazonal da série, o próximo passo consiste em identificar o modelo ARMA gerador da série. Para realizar essa identificação, procede-se à visualização gráfica da função de autocorrelação e autocorrelação parcial.

2.2.2.1.1.2.1 Identificação do Modelo Auto Regressivo AR

Utilizam-se os resultados obtidos com os gráficos da FAC e da FACP para se indicar a existência de um processo gerador da série "AR". O gráfico da função de autocorrelação deverá declinar exponencialmente ao se expandir o k[18]. A FACP, por sua vez, deverá ser truncada na ordem p do modelo AR(p). Por exemplo, no modelo AR(1) a FACP deverá ser truncada em k=1, enquanto no modelo AR(2), essa deverá ser truncada em k=2, conforme se ilustra nas Figura 22 e 23.

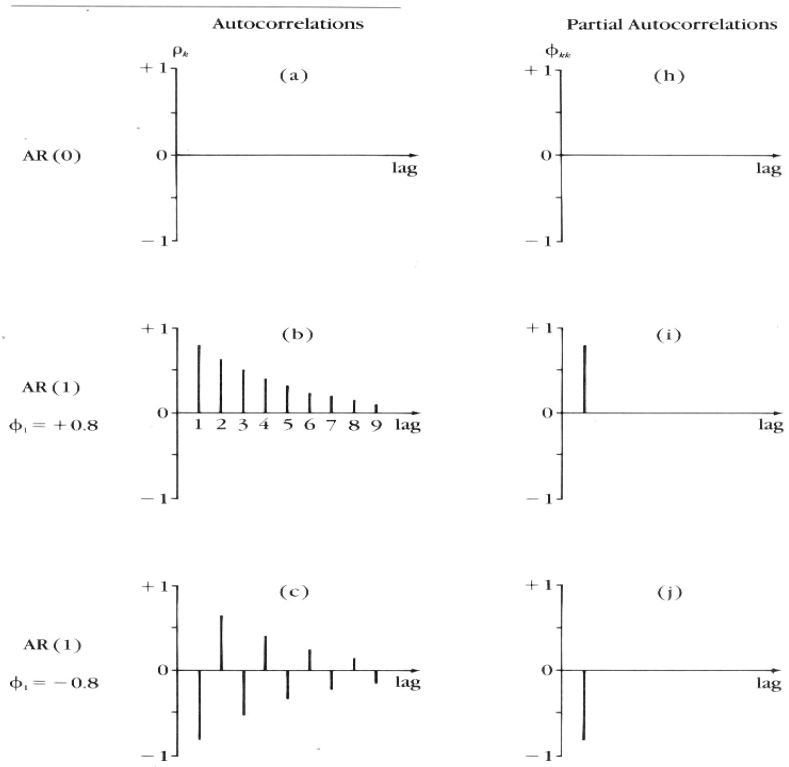

Figura 22 - Exemplos de função de autocorrelação e autocorrelação parcial para modelos auto regressivos de ordem 0 (representado como AR(0)) e de ordem 1(AR(1))

Fonte: Vandaele (1983)

[18] O k equivale aos "*lags*" da Figura 23.

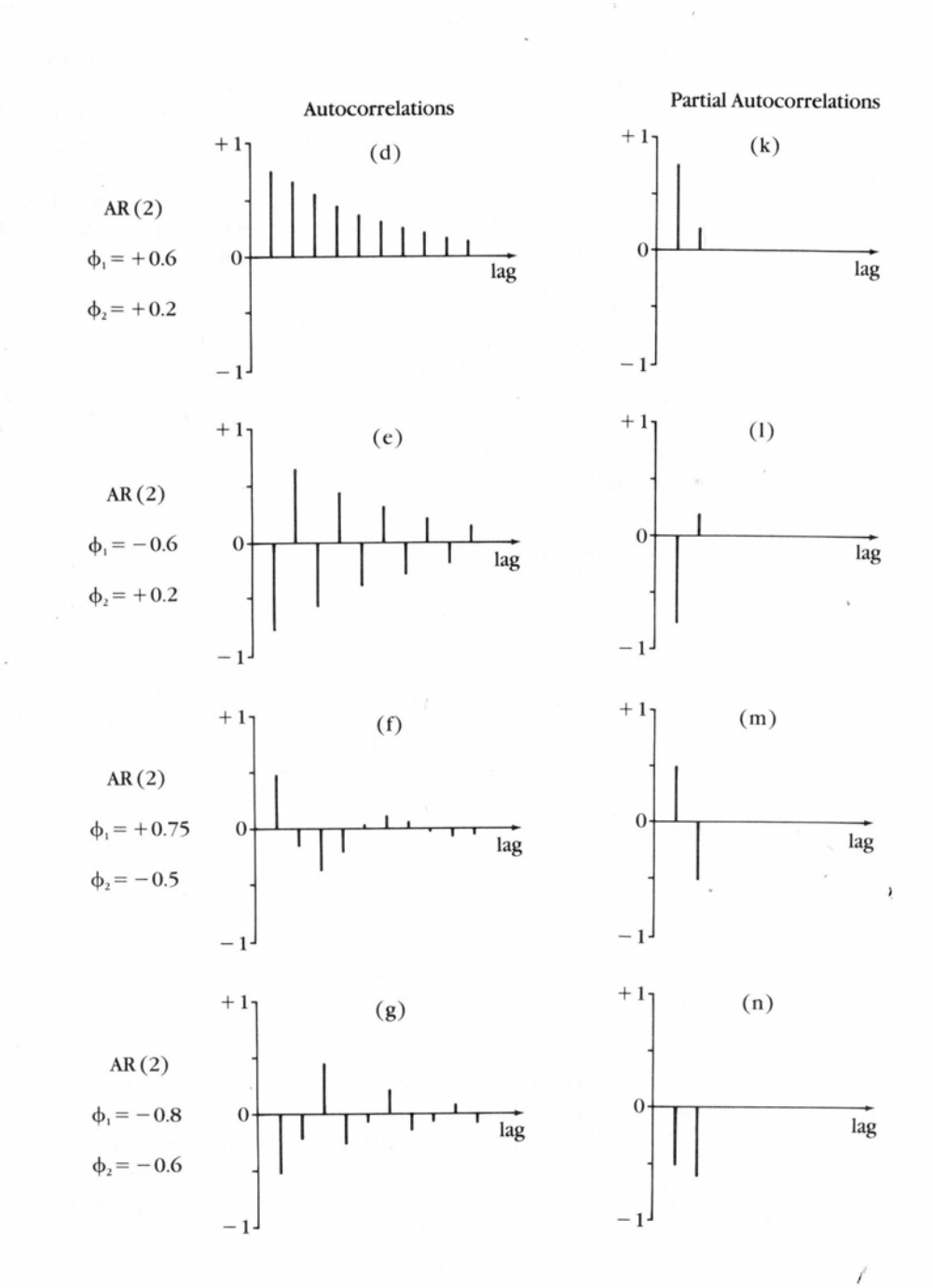

Figura 23 - Exemplos de função de autocorrelação e autocorrelação parcial para modelos auto regressivos de ordem 2 (AR(2))

Fonte: Vandaele (1983)

2.2.2.1.1.2.2 Identificação do modelo de médias móveis MA

A FAC de um modelo MA(q) deverá ser truncada na ordem "q" do modelo MA. Por exemplo, a função de autocorrelação de um modelo MA(1) deverá ser truncada em k=1. A função de autocorrelação MA(2) deverá ser truncada em k=2. Por outro lado, a FACP de um modelo MA(q) deverá declinar exponencialmente (Figuras 24 e 25).

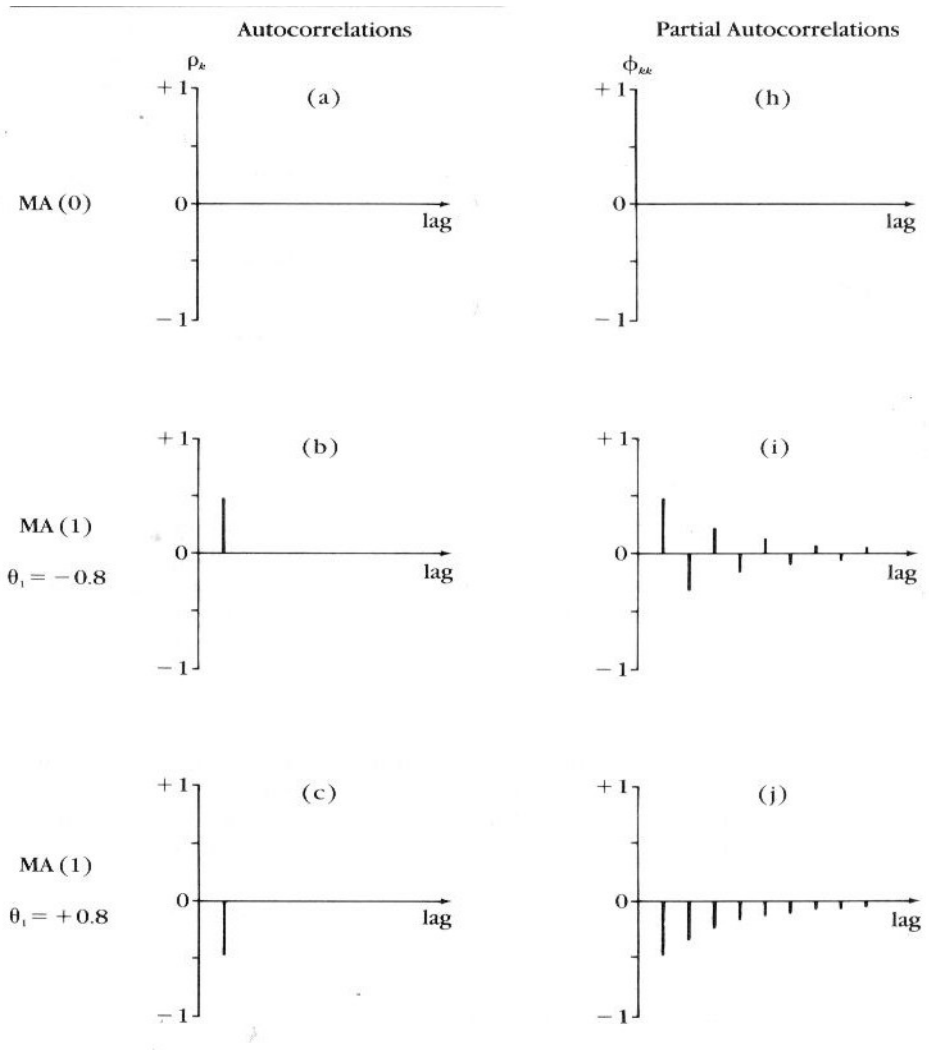

Figura 24 - Exemplos de função de autocorrelação (FAC) e de autocorrelação parcial (FACP) para modelos de Média Móvel (MA) de ordem 0 e 1

Fonte: Vandaele (1983)

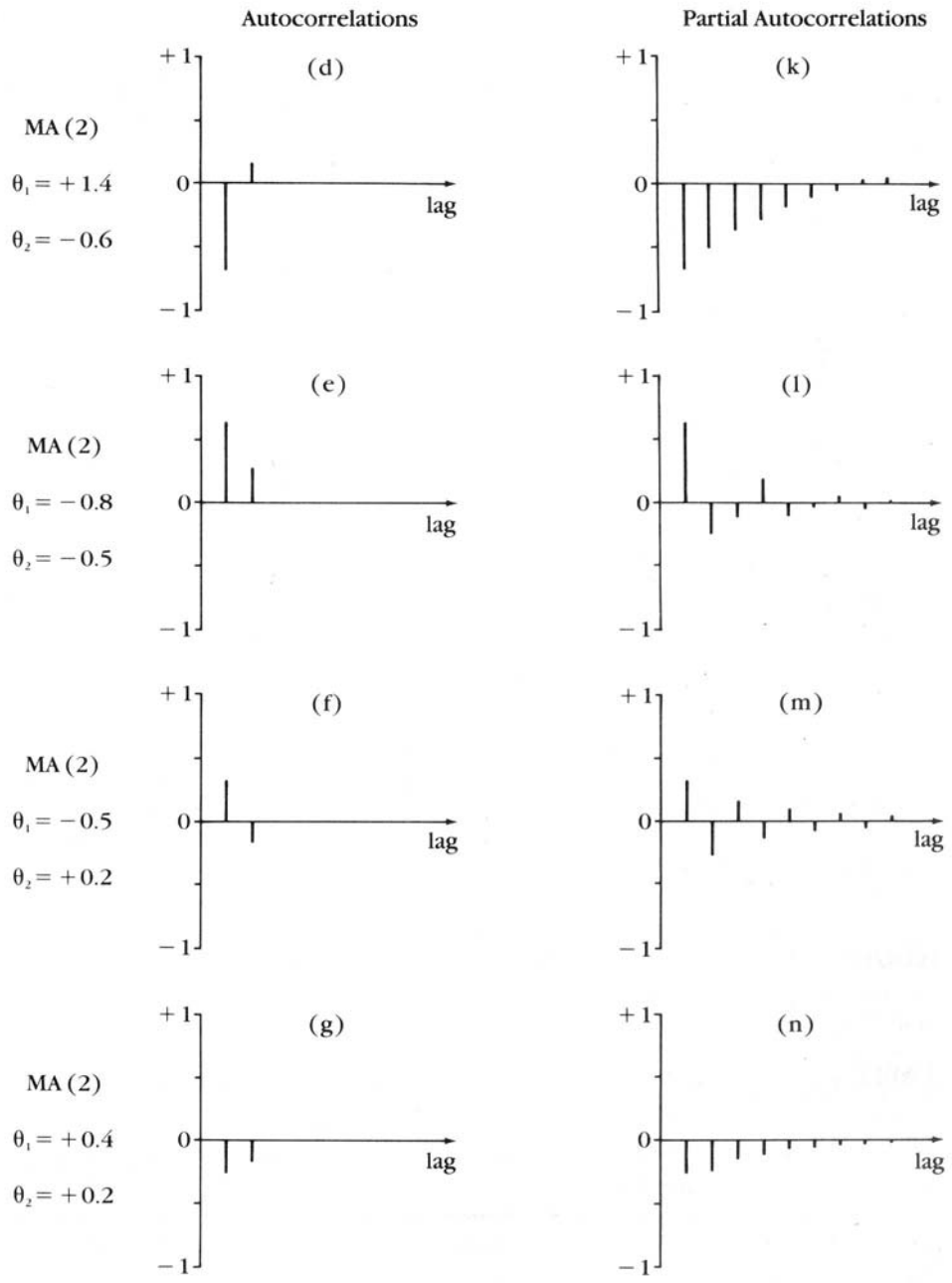

Figura 25 - Exemplos de função de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP) modelos de média móvel (MA) de ordem 2

Fonte: Vandaele (1983)

2.2.2.1.1.2.3 Identificação do Modelo auto-regressivo de médias móveis (ARMA)

No caso geral de um modelo ARMA (p,q), verifica-se que a FACP decresce quando k aumenta, mas sem padrão definido; a FAC, por sua vez, é declinante a partir de k=p. No caso de modelos ARMA torna-se difícil identificar as ordens "p" e "q" apenas com a visualização gráfica das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial, necessitando-se das etapas de estimação e verificação para se assegurar as ordens dos modelos. Na Figura 26, exemplificam-se gráficos relativos ao ARMA (1,1).

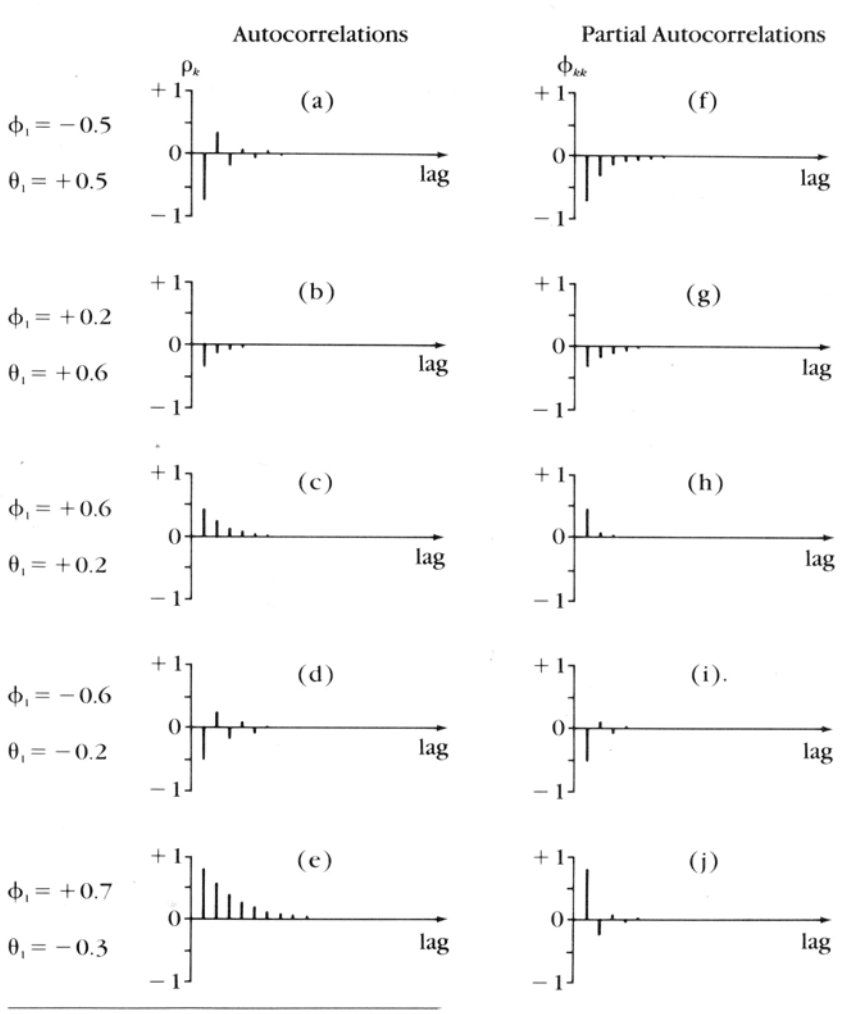

Figura 26 - Gráficos relativos ao modelo ARMA (1,1)

Fonte: Vandaele (1983)

2.2.2.1.1.3 Identificação do modelo ARMA sazonal

No caso de modelos que contêm filtros sazonais e não sazonais, a FAC e a FACP da série mostram-se como uma mistura de modelos sazonais e não sazonais, o que torna mais difícil analisar o processo gerador da série sazonal e não sazonal (FAVA; 2000). Apesar desta dificuldade, Vandaele (1983) salienta que tanto o modelo autoregressivo sazonal, como o modelo de média móvel sazonal, e o modelo autoregressivo e de média móvel sazonal, comportam-se segundo a mesma lógica do modelo não sazonal. A diferença fundamental é que deve-se atentar, nesses casos, para a necessidade de se identificar o período de sazonalidade para se efetuar a análise.

2.2.2.1.2 Estimação e checagem de diagnóstico

Uma vez determinado o modelo SARIMA (p,d,q)(P,D,Q) pelo processo de identificação, o processo de estimação, etapa 2 da metodologia de Box-Jenkins, consiste em obter os valores do modelo.

A etapa 3 da metodologia de Box-Jenkins, checagem de diagnóstico, consiste em verificar a adequação do modelo identificado e estimado. Em caso positivo, pode-se adotá-lo para fazer previsão; em caso negativo, outra especificação deve ser escolhida para modelar a série, o que implica em refazer as etapas de identificação e estimação.

As formas de verificação mais comumente consideradas são agrupadas em três itens: análise dos resíduos, avaliação da ordem do modelo e menor erro quadrático médio.

2.2.2.1.2.1 Análise dos resíduos

Os resíduos do modelo estimado, $\hat{\varepsilon}_t$, equivalem as estimativas do ruído branco ε_t. Assim sendo, devem se comportar como um ruído branco se o modelo estiver adequadamente especificado. Seus coeficientes de autocorrelação devem ser estatisticamente iguais a zero.

2.2.2.1.2.1.1 Teste de autocorrelação residual

Empregando-se o teste de autocorrelação residual: denominando-se os $\hat{a}_t$ como *resíduos estimados.* Se o modelo for adequado, os $\hat{a}_t$ deverão estar próximos dos valores de a_t e, portanto, deverão ser aproximadamente não-correlacionados. Se os valores calculados para "$\hat{r}_k$" indicarem

as autocorrelações dos resíduos $\hat{a}_t$, então deveríamos ter $\hat{r}_k \cong 0$. Em particular, deveríamos ter, aproximadamente, $\hat{r}_k \approx N(0,1/n)$.

A comparação de $\hat{r}_k$ com os limites $\pm 2/\sqrt{n}$ fornece uma indicação geral de possível quebra de ruído branco em "a_t" (MORETTIN; TOLOI, 2004). Caso exista algum valor da autocorrelação residual acima deste valor limite, sugere-se a incorporação de mais um parâmetro de média móvel no modelo.

2.2.2.1.2.1.2 Teste de Box-Pierce

Conforme Morettim; Toloi (2004), Box-Pierce sugeriram um teste para as autocorrelações dos resíduos estimados, que, embora não possibilite detectar quebras específicas no comportamento do ruído branco, pode indicar se esses valores são muito altos.

Um dos testes possíveis deste conjunto utiliza a estatística Q* de Ljung-Box, conforme expresso na equação 38.

$$Q^*(K) = n(n+2)\sum_{K=1}^{K} \frac{r_k^2(\hat{\varepsilon})}{n-k} \tag{38}$$

Q* (K) tem distribuição qui-quadrado (X^2) com K-p-q graus de liberdade.

Convém, adicionalmente, analisar o gráfico dos resíduos para verificar se há indícios de que a hipótese de variância constante no tempo não está sendo respeitada.

2.2.2.1.2.1.3 Teste de correlação cruzada

Se o modelo é adequado então a_t e Zt-k são independentes. Conforme Morettim; Toloi (2004), as relações mostram que s_k (obtido com a função de correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina nos EUA) é significativamente diferente de zero quando $|\hat{s}_k| > 2/\sqrt{n}$. Caso todos os valores da função de correlação cruzada forem menores do que este valor, então não será necessário inserir mais um termo autoregressivo.

2.2.2.1.2.2 Avaliação da ordem do modelo

O objetivo é o de verificar se o modelo não está superespecificado (p e/ou q maiores do que o devido) nem subespecificado (p e/ou q menores do que o necessário). Para verificar se está ocorrendo subespecificação, deve-se introduzir parâmetros adicionais e analisar sua significância estatística. A cada nova estimação do modelo, apenas um parâmetro deve ser introduzido. Por exemplo, se o modelo inicialmente estimado for um ARMA (1,1), estima-se em seguida uma ARMA (2,1) ou ARMA (1,2).

2.2.2.1.2.3 Menor erro quadrático médio

A última fase da etapa de verificação consiste na análise do erro quadrático médio. O previsor ótimo "ℓ" períodos à frente, representado por $\hat{y}_n(\ell)$ é aquele que minimiza o erro quadrático médio de previsão, expresso na equação 39.

$$E\left[y_{n+l} - \hat{y}_n(\ell)\right]^2 = E\left[e_n^2(\ell)\right] \tag{39}$$

Onde:

$\varepsilon_n(\ell)$ é o erro de previsão "ℓ" instantes à frente de n.

Por este critério, seleciona-se um intervalo de tempo com informações sobre o valor da série. Posteriormente, roda-se alguns modelos analisando-se o modelo com menor erro quadrático médio. Além dos valores do erro quadrático médio, a visualização gráfica, entre os valores previstos e os observados, permite fazer inferências sobre a qualidade do modelo.

2.2.2.1.3 Previsão

Depois de selecionar, entre os modelos estimados, aquele que se mostrar o mais adequado, chega-se a última etapa da metodologia de Box-Jenkins, que consiste na realização de previsões para a série Yt, em instantes de tempo posteriores a "n". A previsão pode ser pontual ou por intervalo. No segundo caso, é preciso conhecer adicionalmente, a distribuição do erro de previsão (FAVA, 2000).

Segundo o enfoque de Box-Jenkins, a análise de séries de tempo tem como objetivo principal a realização de previsão. Essa metodologia permite que valores futuros de uma série sejam previstos tomando por base apenas seus valores presentes e passados. Isso é feito explorando a correlação temporal que existe entre os valores exibidos pela série (FAVA, 2000).

O estimador de Box-Jenkins é limitado para a realização de previsões de longo prazo, tanto para previsões pontuais como por intervalo. Necessitando-se fazer constante monitoramento e atualização para evitar erros. A seguir utiliza-se demonstração de Fava (2000) para demonstrar estas limitações.

Previsão pontual: A esperança condicional de $y_{n+l,}$ é expresso na equação 40.

$$\hat{y}_n(\ell) = E[y_{n+\ell} / y_n, y_{n-1}, ..., y_1] \tag{40}$$

Caso o modelo seja uma ARMA (1,1), expressa-se na equação 41.

$$y_t = \phi y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta\varepsilon_{t-1} \tag{41}$$

Previsão no instante n+ ℓ

A previsão no instante n+ ℓ é expressa na equação 42.

$$y_{n+\ell} = \phi y_{n+\ell-1} + \varepsilon_{n+2} - \theta\varepsilon_{n+\ell-1} \tag{42}$$

Equação de previsão é expressa nas equações 43.

$$\hat{y}_n(\ell) = E[y_{n+\ell} / y_n, y_{n-1}, ..., y_1]$$
$$\hat{y}_n(\ell) = E[\phi y_{n+\ell-1} + \varepsilon_{n+\ell} - \theta\varepsilon_{n+\ell-1} / y_n, y_{n-1}, ..., y\ell]$$
$$\hat{y}_n(\ell) = \varphi\, \hat{y}_n(\ell - 1) \tag{43}$$

Quando o modelo for um ARIMA (p,d,q), ilustrado na equação 44

φ (B)Δ^d yt = θ (B)ϵt ou

$$w_t = \phi_1 w_{t-1} + ... + \phi_p w_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} + ... + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (44)$$

onde:

$w_{t = \Delta^d}$ yt

A equação geral para o modelo passa a ser ilustrada na equação 45.

$$w_{n+\ell} = \phi_1 w_{n+\ell-1} + ... + \phi_p w_{n+\ell-p} + \varepsilon_{n+\ell} - \theta_1 \varepsilon_{n+\ell-1} - ... - \theta_q \varepsilon_{n+\ell-q} \quad (45)$$

Se o horizonte de previsão for maior do que a ordem do modelo (ℓ>p e ℓ>q), a equação de $\hat{w}_n(\ell)$ fica reduzida a equação 46.

$$\hat{w}_n(\ell) = \phi_1 \hat{w}_n(\ell-1) + \phi_2 \hat{w}_n(\ell-2) + ... + \phi_n(\ell-\rho) \quad (46)$$

Portanto, a previsão para a série "ℓ" períodos a frente é baseada apenas em valores previstos de *w*. Isso revela que a metodologia de Box-Jenkins mostra-se limitada para previsões de longo prazo.

Previsão por intervalo

Conforme Bacchi (1994), o intervalo de confiança, a 5% de probabilidade, para a previsão é ilustrada pela equação 47.

$$\hat{Y}_t(h) \pm 1{,}96\left[\hat{V}(h)\right]^{1/2} \quad (47)$$

Para construir o intervalo de previsão, é necessário conhecer a distribuição do erro de previsão $\varepsilon_n(\ell)$ que no modelo ARIMA (p,d,q) é ilustrada pela equação 48.

$$\varepsilon_n(\ell) = w_{n+\ell} - \hat{w}_n(\ell) \quad (48)$$

A equação $w_{n+\ell}$ é ilustrada na equação 49.

$$w_{n+\ell} = \varepsilon_{n+\ell} + \psi_1 \varepsilon_{n+\ell-1} + \ldots + \psi_{\ell-1}\varepsilon_{n+1} + \psi_\ell \varepsilon_n + \psi_{\ell+1}\varepsilon_{n-1} + \ldots \tag{49}$$

A equação de previsão passa a ser expresso na equação 50.

$$\hat{w}_{n(\ell)} = \psi_\ell \varepsilon_n + \ldots + \psi_{\ell+1}\varepsilon_{n-1} + \psi_{\ell+2}\varepsilon_{n-2} + \ldots \tag{50}$$

O erro de previsão ℓ passos à frente passa então a ser ilustrado pela equação 51.

$$e_n(\ell) = \varepsilon_{n+\ell} + \psi_1 \varepsilon_{n+\ell-1} + \ldots + \psi_{\ell-1}\varepsilon_{n+1} \tag{51}$$

Com essa expressão para $e_n(\ell)$, sua média e variância, não esquecendo que ε_t é um ruído branco, é ilustrada na equação 52.

$$E[e_n(\ell)] = 0$$
$$V[e_n(\ell)] = E[e_n^2(\ell)] = \sigma_\varepsilon^2\left(1 + \psi_1^2 + \psi_2^2 + \ldots + \psi_{\ell-1}^2\right) = V(\ell) \tag{52}$$

Uma vez definida a distribuição do erro de previsão, pode-se construir o intervalo de previsão para $w_{n+\ell}$ é expresso na equação 53.

$$\hat{w}(\ell) \pm z \times \sigma_\varepsilon \left[1 + \psi_1^2 + \psi_2^2 + \ldots + \psi_{\ell-1}^2\right]^{1/2} \quad [19] \tag{53}$$

Como a variância de $e_n(\ell)$ cresce à medida que ℓ aumenta, o intervalo de previsão vai sendo ampliado; isso indica que as previsões de curto prazo são mais precisas do que as de longo prazo.

[19] Supondo que ε_t tem distribuição normal: $e_n(\ell) \sim N[0;V(\ell)]$

Necessidade para se atualizar a previsão: Conforme Fava (2000), tendo em vista que a metodologia de Box-Jenkins tem sua capacidade de previsão comprometida no longo prazo, tanto para previsões pontuais como para previsões de intervalo, convém, sempre que possível, atualizar as previsões já realizadas.

Existindo dois caminhos alternativos para se atualizar as previsões:

1) Substituindo $\hat{y}_n$ (1), $\hat{y}_n$ (2), etc. que aparecem nas equações de previsão;
2) Reestimando o modelo;

2.2.2.2 Etapas para a realização de previsões em um modelo de função de transferência

2.2.2.2.1 Identificação

Uma importante ferramenta analítica para a identificação do modelo de função de transferência é a função de correlação cruzada entre as variáveis dependentes e explicativas. A função de correlação cruzada mede a correlação entre as séries temporais em diferentes períodos de tempos (VANDAELE, 1983).

Necessita-se utilizar os resíduos das variáveis dependentes e explicativas para se efetuar a análise utilizando-se da função de correlação cruzada. Quando as séries são altamente autocorrelacionadas, a função de correlação cruzada entre as duas séries temporais pode ser dificilmente interpretada e podem fornecer resultados enganosos. Desta forma, é recomendado primeiro filtrar os dados antes de calcular a correlação cruzada. O processo de filtragem possui as seguintes etapas: a primeira consiste em obter o modelo univariado apropriado, através do processo ARIMA, para cada série envolvida e posteriormente calcular a correlação cruzada dos resíduos (VANDAELE, 1983).

Existem divergências entre autores quanto à forma de se realizar a filtragem, alguns autores advogam a utilização do mesmo filtro, modelo ARIMA, para a série da variável dependente, outros advogam a utilização de um filtro para cada série. Existe um consenso de que a forma de se realizar o filtro irá depender da natureza e do tipo do modelo de função de transferência pelo qual se deseja construir. Se o modelo da função de transferência for no contexto de uma equação simultânea então é mais recomendado utilizar filtros distintos para cada série. No entanto, caso ocorra um modelo unidirecional, pelo qual a variável explicativa influencia a variável dependente, sem que ocorra retorno da influência. Recomenda-se a

utilização do mesmo filtro utilizado na variável explicativa, na variável dependente (VANDAELE, 1983).

Conforme Bacchi (1994), a correlação cruzada pode ser ilustrada na equação 54.

$$\rho_{\alpha\beta}(k) = \gamma_{\alpha\beta}(\mathrm{K}) / \sigma_{\alpha}\, \sigma_{\beta} \qquad \mathrm{K}=0,\ \pm 1,\ \pm 2,\ ... \tag{54}$$

Onde:

$\gamma_{\alpha\beta}(\mathrm{K})$ = $\mathrm{E}\left[(\alpha_t - \mu_\alpha)(\beta_{t+k} - \mu_\beta)\right]$ e σ_α e σ_β são os desvios padrão das séries α e β, respectivamente.

Como a função de correlação cruzada não é simétrica, as correlações cruzadas devem ser calculadas para defasagens positivas e negativas. Valores elevados de $\rho_{\alpha\beta}$(K), K>0, indicam que α_t é o preditor de β_t e valores elevados de $\rho_{\alpha\beta}$(K), K<0 indicam que β_t é o preditor de α_t (BACCHI, 1994). Como o objetivo da função de transferência é o de aprimorar a previsão da variável dependente, então se leva em consideração apenas os valores de K>0 para se efetuar o processo de identificação do modelo.

A significância da correlação cruzada é avaliada comparando o seu valor com o desvio padrão. Para duas séries ruído branco, independentes, o desvio padrão aproximado da correlação cruzada é obtido pela equação 55.

$$\sigma\left[r_{\alpha\beta}(k)\right] = 1/\sqrt{n} \tag{55}$$

Conforme Bacchi (1994): a ordem do operador autoregressivo (m), do operador de média móvel (ℓ) e o valor da constante de defasagem (b), podem ser identificados utilizando-se a análise da função de Correlação Cruzada, da seguinte forma: O valor de “b" é igual à defasagem da primeira correlação cruzada significativa; a ordem de “m” pode ser identificada através da associação do padrão da correlação cruzada com o padrão da função de autocorrelação de um modelo AR(p), se não existir tal padrão, m=0. O valor do numerador “ℓ” é o número de períodos que o padrão AR(p) tarda a aparecer após a primeira correlação cruzada significativa.

Após se identificar a influência da variável explicativa na variável dependente, a próxima etapa consiste em identificar o modelo do resíduo. Tendo-se obtido estimativas preliminares de $\hat{\varepsilon}_t = y_t - \hat{v}(B)_{xt}$ Com a série temporal do resíduo, utiliza-se a metodologia univariada do modelo ARIMA para se identificar o modelo do resíduo (VANDAELE, 1983). Analisando desta forma o processo gerador da série.

2.2.2.2.2 Estimação e checagem de diagnóstico

Após o processo de identificação, a etapa 2 consiste em estimar os coeficientes do modelo. Após se estimar os valor da função de transferência inicia-se o processo de verificação. A inadequação do modelo pode ser obtida através dos seguintes testes de análise de resíduos, de superajustamento e subajustamento e o de menor erro quadrático médio.

2.2.2.2.2.1 Análise dos resíduos

A análise dos resíduos do modelo de função de transferência envolve teste para autocorrelações individuais e para grupo de autocorrelações (teste Q de Ljung-Box) e teste para correlações cruzadas entre o resíduo e as variáveis explicativas do modelo (pré-filtradas) individuais e para grupos de correlações. Quando o termo de ruído é inadequado, os resíduos são autocorrelacionados, mas as correlações cruzadas do resíduo e variáveis explicativas são nulas. Quando o termo de função de transferência é inadequado não só as autocorrelações dos resíduos mas também as correlações cruzadas entre resíduos e variáveis explicativas são não nulas (BACCHI, 1994).

A estimativa Q de Ljung-Box é ilustrada pela equação 56.

$$Q(K) = g(g+2)\left[\sum_{K=1}^{K} \frac{1}{g-k} r_k^2(\hat{a})\right] \tag{56}$$

Com distribuição de κ-p-q graus de liberdade.

2.2.2.2.2.2 Teste de superajustamento e de subajustamento

Consiste em estimar um modelo com parâmetros extras, testar se estes são estatisticamente significativos e verificar se a variância residual desse modelo alternativo diminui em relação à do original.

2.2.2.2.2.3 Menor erro quadrático médio

A última fase da etapa de verificação consiste na análise do erro quadrático médio. O previsor ótimo "ℓ" períodos à frente, representado por $\hat{y}_n(\ell)$ é aquele que minimiza o erro quadrático médio de previsão.

2.2.2.2.3 Previsão

Para se efetuar a previsão, utilizando-se função de transferência, leva-se em consideração tanto as trajetórias da própria série como a utilização de uma ou algumas variáveis explicativas. Um dos grandes problemas para a realização de previsões utilizando-se função de transferência, refere-se à necessidade de se efetuar previsões das variáveis explicativas.

2.2.3 Dados

Este tópico apresenta algumas características das séries históricas do consumo de gasolina dos EUA, Japão, Inglaterra, Alemanha, Reino Unido, Itália e Brasil. No caso do Brasil utilizou-se também a série histórica relativa à evolução do PIB nas estimativas dos modelos, para a obtenção das projeções de consumo do combustível.

As séries relacionadas ao consumo de gasolina são divulgadas mensalmente, tendo-se optado, no entanto, por converter a série mensal, em uma série trimestral com o intuito de aprimorar os resultados das etapas do modelo de previsão ARIMA. A consideração de dados trimestrais é aconselhada quando é desejável (e necessária) a minimização das oscilações mensais da série utilizada para as estimativas. Isso atribui uma maior estabilidade nas etapas de identificação do modelo ARIMA (ver Anexo G).

Os dados utilizados para efetuar as projeções sobre o consumo de gasolina nos EUA foram obtidos junto ao *Energy Information Administration* (2004d), órgão do governo norte-americano responsável pelas informações sobre energia no país. A série estatística referente à

oferta de gasolina para motores nos EUA divulga uma média mensal da oferta diária de barris de gasolina no país entre os anos de 1973 e 2003.

Os dados utilizados para efetuar as projeções sobre o consumo de gasolina utilizada por motores automotivos no Japão, entre os anos de 1990 e 2003, foram obtidos junto ao órgão do governo japonês: *The Institute of Energy Economics* (2004).

Para se efeutar a análise do consumo de gasolina na União Européia, utilizou-se como *proxy* o consumo dos maiores países: Reino Unido, França, Alemanha e Itália. Estes países representaram o consumo de 71,4% do consumo de gasolina dos países da União Européia no ano de 2002, sem considerar os países do Leste Europeu incorporados em 2004. Quando se incluem os países do Leste, o percentual cai para 64,5% (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2004b).

As séries históricas do consumo de gasolina na França, Alemanha, Itália e Reino Unido foram todas obtidas junto ao *The Institute of Energy Economics* (2004).

Inicialmente os dados estavam na unidade de medida: "gasolina métrica da tonelada", pela qual 1.000 toneladas equivalem a 8,53 barris de petróleo. Para facilitar a comparação, as séries foram convertidas em barris.

Conforme mencionado anteriormente, no caso do modelo selecionado para estimar o consumo de gasolina brasileiro, optou-se por inserir o PIB na função de transferência, tendo-se observado que essa inclusão resultava em um modelo de previsão do consumo de gasolina mais consistente no que se refere aos valores estimados e a minimização do erro quadrático médio.

No caso brasileiro, além do consumo de álcool anidro misturado na gasolina, também será analisado o consumo de álcool hidratado, consumido sem a necessidade de se efetuar a misturar com a gasolina.

Os dados relacionados ao consumo de gasolina, consumo de álcool hidratado e a evolução do Produto Interno Bruto, foram obtidos no Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2004).

2.3 Resultados e discussão

Esse item inclui os resultados dos ajustamentos dos modelos, acompanhados das projeções de consumo de gasolina para os Estados Unidos, o Japão, os quatro países da União Européia (Alemanha, França, Reino Unido e Itália) e o Brasil. O tópico Inclui os cenários

relacionados ao consumo de etanol para os Estados Unidos, Japão, Alemanha e Brasil e as possibilidades de exportação do Brasil.

Para facilitar a leitura do trabalho, a etapa de identificação será mantida no corpo do texto apenas para os Estados Unidos. Para os demais países, a etapa de identificação estará em anexo.

2.3.1 Projeções sobre consumo de etanol nos Estados Unidos

2.3.1.1 Previsão do consumo de gasolina nos EUA

Para efetuar as projeções do consumo de gasolina nos EUA, utilizando-se a metodologia de modelos univariados de Box-Jenkins, foram realizadas as etapas de seleção do modelo e posteriormente a etapa de previsão do consumo de gasolina nos EUA. Ressaltando-se que apesar da série histórica americana abranger os anos de 1973 até 2003, os processos de identificação, estimação e verificação foram realizados utilizando-se a série de 1980 até 2003. Esse período propiciou melhores resultados na etapa de verificação.

2.3.1.1.2 Seleção do modelo

2.3.1.1.2.1 Identificação

A identificação requer uma verificação da função de autocorrelação para se analisar a estacionariedade da série. Para o presente trabalho, utilizou-se um gráfico da Função de Autocorrelação do consumo de gasolina dos Estados Unidos, Figura 27.

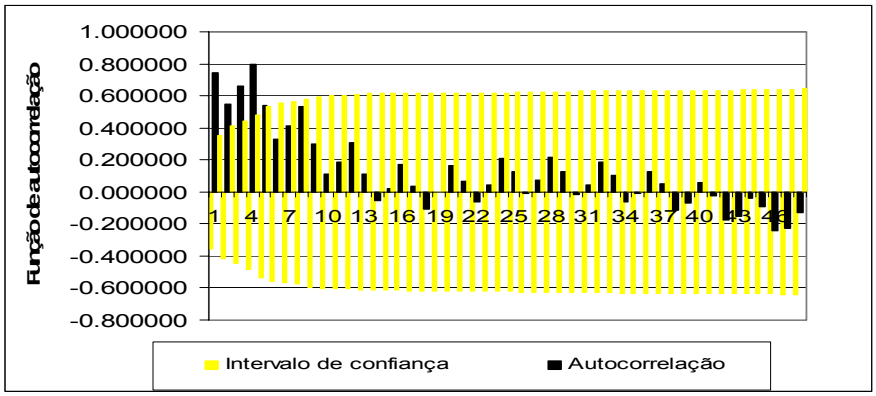

Figura 27 - Função de autocorrelação estimada para o consumo de gasolina nos EUA, período da série: 1980 até 2003

A análise visual da FAC (Função de Autocorrelação) mostra um declínio "suave" da série, não podendo descartar a sua não estacionariedade. Para aprimorar a análise da ordem de integração, realizou-se o teste de raiz unitária de Dickey-Fuller.

Foram utilizadas 8 defasagens para efetuar o teste de Dickey-Fuller, seguindo os resultados do teste de Akaike (ver Anexo 8) . A primeira e a segunda etapa do teste utilizam-se da equação 57.

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (57)$$

Verifica-se que se pode rejeitar as hipóteses nulas (H_0), existência de raiz unitária, tanto na primeira como na segunda etapa desse teste, devendo-se passar para as etapas posteriores. Os valores do teste estão ilustrados na Tabela 22. O teste de Ljung-Box: Q(28-0) =18,70 com nível de significância de 0,907, não diagnosticou autocorrelação dos resíduos.

Tabela 22 - Teste de raiz unitária para séries individuais, para a série de consumo de gasolina nos EUA, período da série: 1980 até 2003

H0	**Valores calculados**	**Valores tabelados (100 observações) Nível de significância =0,01**
$\gamma = 0$	τ_τ = -1,8987	τ_τ = -4,04
$a_2 = 0$	$\tau_{\beta\tau}$ = 2,0619	$\tau_{\beta\tau}$ =3,53

Na etapa 3, também se rejeita a hipótese nula (H_0), existência de raiz unitária, utilizando-se da equação 58, ver Tabela 23. Os resultados não apresentaram autocorrelação dos resíduos. Tendo-se obtido Q(28-0)= 18,475 com nível de significância de 0,913.

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (58)$$

Tabela 23 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_μ e $\tau_{\alpha\mu}$, para a série de gasolina americana, período da série: 1980 até 2003

H0	Valores calculados	Valores tabelados (100 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ_μ = -0,19496	τ_μ = -3,51
$a_0 = 0$	$\tau_{\alpha\mu}$ = 0,26080	$\tau_{\alpha\mu}$ = 3,22

Verifica-se que, também neste caso, os resultados obtidos não permitem rejeitar a hipótese nula, levando à realização de uma etapa 4, com as estimativas da equação (59).

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{59}$$

Os resultados obtidos na estimativa da equação 59 não apresentaram autocorrelação dos resíduos, tendo assumido um valor Q(28-0) = 19,08, com nível de significância de 0,89. O teste não rejeitou H_0, necessitando-se adotar outras etapas do teste de Dickey-Fuller, conforme resultados apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , para a série de consumo de gasolina dos Estados Unidos, período da série: 1980 até 2003

H0	Valores calculados	Valores tabelados (100 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = 1,46078	τ = -2,60

Como os testes de Dickey-Fuller indicam a não estacionariedade da série, procede-se à análise da sua ordem de integração. Para essa análise, repetem-se os procedimentos da quarta etapa do teste de Dickey-Fuller, mas tomando a série com duas diferenças, conforme indicado na equação 60. Os resultados estão expressos na Tabela 25.

$$\Delta\Delta y_t = \gamma \Delta y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{60}$$

Tabela 25 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença, para a série de gasolina americana, período da série: 1980 até 2003

H0	Valores calculados	Valores tabelados (100 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -3,008	τ = -2,60

Os resultados indicam que a hipótese nula deve ser rejeitada a um nível de significância de 0,01, indicando que a série é estacionária em segunda diferença, permitindo inferir que a série é integrada de ordem 1, possui uma raiz unitária.

Face a esse resultado, toma-se a série em primeira diferença e repete-se a análise gráfica da FAC, com o intuito de verificar a estacionariedade sazonal da série (Figura 28). A função de autocorrelação sugere a não estacionariedade sazonal da série. Necessitando-se efetuar o teste de raiz unitária sazonal com o intuito de aprimorar a análise da visualização gráfica da Função de Autocorrelação.

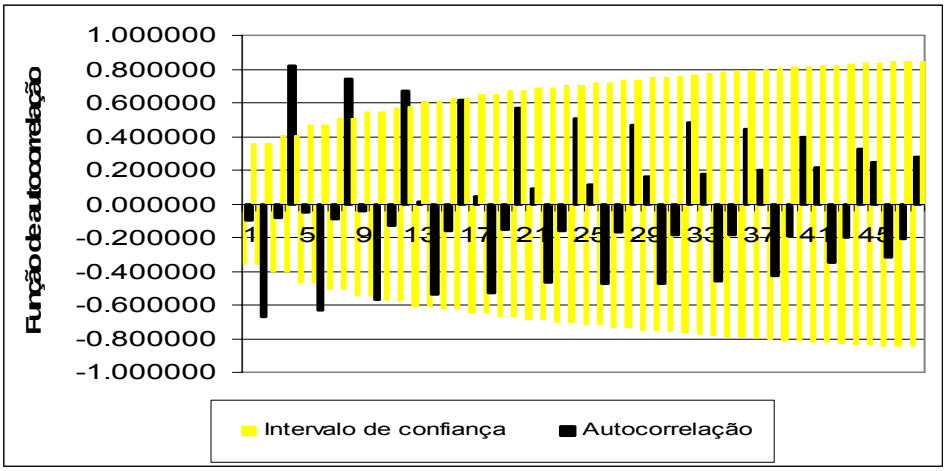

Figura 28 - Autocorrelação da demanda de gasolina nos EUA após a diferença, período da série: 1980 até 2003

Teste de estacionariedade sazonal: Com o intuito de corroborar a análise da visualização gráfica da Função de Autocorrelação para a estacionariedade sazonal da série, utiliza-se o teste de raiz unitária sazonal, expresso na equação 61.

A seguir, essas variáveis são utilizadas para estimar a equação 61.

$$v_5 = \alpha + t + \gamma_1 v_1 + \gamma_2 v_2 + \gamma_3 v_3 + \gamma_4 v_4 + \gamma_5 v_{5(t-1)} + \gamma_6 v_{5(t-2)} + d_1 + d_2 + d_3 \quad (61)$$

Sendo que:

α = constante

t = tendência

$v_1 = (y(t-1) + y(t-2) + y(t-3) + y(t-4))$

$v_2 = (-y(t-1) + y(t-2) - y(t-3) + y(t-4))$

$v_3 = (y(t-1) - y(t-3))$

$v_4 = (-y(t-2) + y(t-4))$

$v_5 = (y(t) - y(t-4))$

d_1; d_2 e d_3 = variáveis "*dummies*"

Como o valor obtido com o teste F para γ_5 e γ_6 foi inferior ao valor crítico apresentado na Tabela 26, aceita-se a hipótese de existência de raiz unitária sazonal da série. Isso indica a necessidade de extrair uma diferença sazonal com o intuito de tornar a série estacionária.

Tabela 26 - Valores utilizados para o teste de raiz unitária sazonal, período da série: 1980 até 2003

Variáveis utilizadas na equação	**Número de observações**	**Valor calculado**	**Valor crítico**	**Grau de liberdade**
'Intercepto Tendência Dummies Sazonais	82	6,27	6,60	0,95

Fonte: Hylleberg et al. (1990)

Com a série de consumo de gasolina para os EUA tomada em primeira diferença e a diferença sazonal, tem-se os gráficos das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial, expressas nas Figuras 29 e 30, respectivamente.

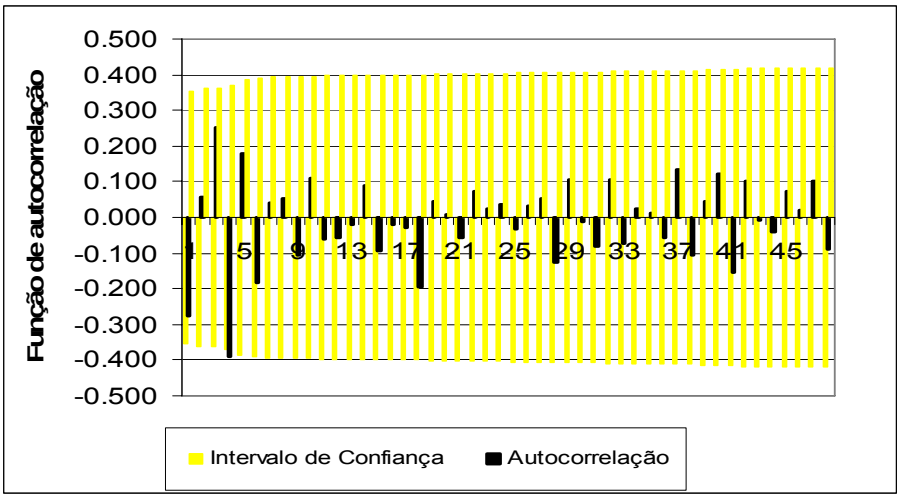

Figura 29 - Autocorrelação do consumo de gasolina nos Estados Unidos com diferença e diferença sazonal, período da série: 1980 até 2003

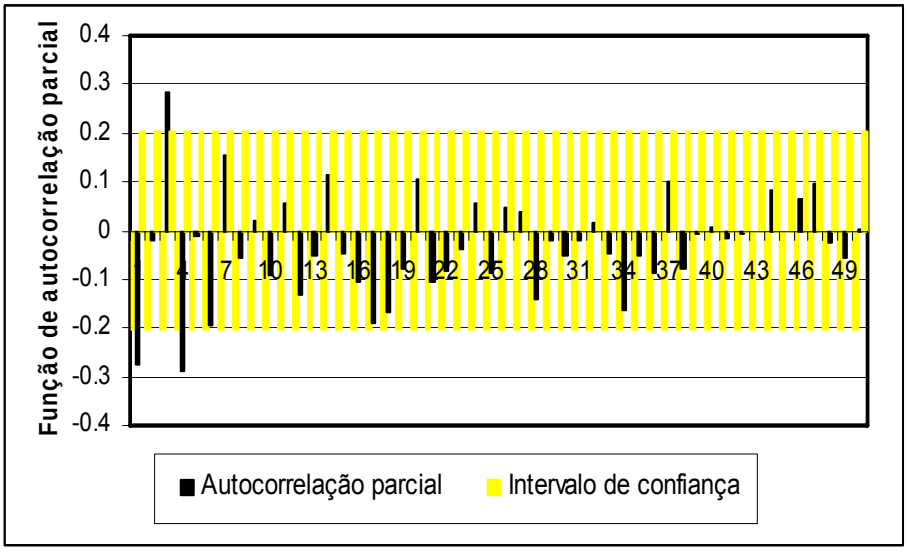

Figura 30 - Autocorrelação parcial do consumo de gasolina nos Estados Unidos após a extração da diferença e da diferença sazonal, período da série: 1980 até 2003

Pela visualização gráfica, após se extrair a diferença e a diferença sazonal, existem alguns indícios do processo gerador da série ser um ARMA, pois tanto a função de autocorrelação como a função de autocorrelação parcial são declinantes com um padrão indefinido, embora não seja possível afirmar qual a ordem do modelo (quais os valores de p e q). Dessa maneira, apenas nas

etapas posteriores da análise, estimação e checagem de diagnóstico, pode-se aprimorar as análises dos processos geradores da série.

2.3.1.1.2.2 Estimação

Feitas as estimativas para a identificação do modelo. O modelo SARIMA (3,1,0)(1,1,0) foi o que melhor se adequou a etapa de checagem de diagnóstico, principalmente no que se refere ao menor erro quadrático médio, pois o modelo apresentou melhor capacidade de previsão trimestral para 9 anos, período escolhido para se realizar as previsões, entre os anos de 1995 e 2003. Necessitou-se extrair uma diferença e uma diferença sazonal com o intuito de transformar a série, eliminando sua não estacionariedade e não estacionariedade sazonal. Na etapa de estimação do modelo, os coeficientes AR(1), AR(3) e SAR(1) mostraram-se significativos. A manutenção do coeficiente AR(2) no modelo foi decorrência da etapa de verificação, pela qual constatou-se que a manutenção desta variável reduzia o erro quadrático médio entre os valores estimados e os observados. Os resultados dos coeficientes e o nível de significância estão expressos na Tabela 27.

Tabela 27 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina americano, período da série: 1980 até 2003

Variáveis	Coeficientes	Nível de significância
AR{1}	-0,482	0,000
AR{2}	-0,135	0,214
AR{3}	0,196	0,028
SAR{4}	-0,282	0,001

2.3.1.1.2.3 Verificação

2.3.1.1.2.3.1 Teste de autocorrelação residual

A análise envolveu o emprego de 82 observações, tendo-se utilizado valores trimestrais de consumo de gasolina médio diário entre o primeiro trimestre de 1980 e o último de 2003. Para essa série, os valores dos limites ($\pm 2/\sqrt{n}$) foram de: ± 0,22, dado que n=82 (número de observações da série analisada). Como os valores da autocorrelação dos resíduos, estiveram, em

sua maior parte, inseridos no limite do intervalo (Tabela 28). Prevalece um forte indício de que não é necessário acrescentar novos termos de médias móveis no modelo.

Tabela 28 - Valores das autocorrelações residuais para a série do consumo de gasolina nos Estados Unidos, período da série: 1980 até 2003

Autocorrelações	**Valores das autocorrelações**					
1 até 6	0,0004	-0,0122	0,0369	-0,0475	0,0506	-0,0379
7 até 12	0,1075	-0,1167	0,1210	0,0818	-0,2212	-0,0387
13 até 18	0,0391	0,1024	-0,1019	-0,0188	0,0143	-0,1029
19 até 24	0,0517	0,0312	0,0468	-0,0617	0,1322	0,0474

2.3.1.1.2.3.2 Teste de Box-Pierce

O teste de Box-Pierce indica a existência de autocorrelações nos resíduos do modelo, ilustrado na equação 62. A existência de autocorrelação requer a busca de novos modelos para expressar o processo gerador da série.

$$Q \equiv n(n+2)\sum_{k=1}^{k} \hat{r}_k^2 \,/\, (n-k) \tag{62}$$

A estatística Q (Box-Pierce) tem distribuição X^2 com K-p-q graus de liberdade

O valor do teste Q fornecido pelo RATS, resultante do cálculo para a série analisada, é de Q(24-4) = 19,05. Inferindo-se a não existência de autocorrelação dos resíduos com nível de significância de 0,518.

2.3.1.1.2.3.3 Teste de correlação cruzada

Para a amostra analisada o valor de referência para a análise de função de correlação cruzada é de 0,22, pelo mesmo critério da autocorrelação residual. Esse valor foi obtido pelo mesmo critério do teste de autocorrelação residual. Como nenhum valor da autocorrelação cruzada apresenta este valor (Tabela 29) então não se necessita adicionar mais um termo autoregressivo ao modelo.

Tabela 29 - Correlações cruzadas entre o resíduo e o consumo de gasolina, período da série: 1980 até 2003

Correlações cruzadas	**Valores das correlações cruzadas**					
0 até 5	-0,098	-0,181	-0,179	-0,157	-0,151	-0,073
6 até 11	-0,089	-0,030	-0,043	-0,017	-0,007	-0,022
12 até 17	-0,001	-0,002	0,014	0,024	0,028	0,052
18 até 23	0,037	0,056	0,031	0,043	0,039	0,045
24	0,042					

2.3.1.1.2.3.4 Erro quadrático médio

Além dos critérios adotados na etapa de verificação para a escolha do processo gerador da série, adotou-se também o critério de se considerar como previsor ótimo, aquele que minimiza o erro quadrático médio de previsão. Também por este critério optou-se pelo modelo SARIMA (3,1,0)(1,1,0) como sendo o modelo com melhor capacidade de previsão trimestral para 9 anos, período escolhido para se realizar as previsões, entre os anos de 1995 e 2003. A Figura 31 ilustra o valor observado e o previsto entre os anos de 1995 e 2003, bem como o intervalo de confiança da projeção. Verifica-se que as séries encontram-se praticamente sobrepostas, sendo que o intervalo de confiança foi o que mostrou uma faixa mais estreita entre seus extremos, quando comparado a outros modelos.

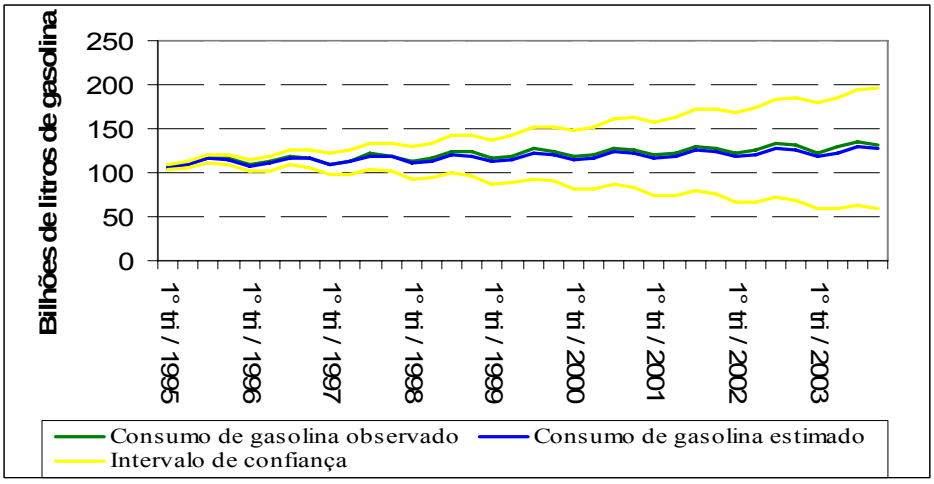

Figura 31 - Valores estimados, previstos e os intervalos de confiança do consumo de gasolina nos Estados Unidos, período: 1° tri. 1995 até 4° tri. 2003

2.3.1.1.3 Previsão do consumo de gasolina

Os valores resultantes da previsão de consumo de gasolina para os Estados Unidos, referentes aos anos de 2004 e 2012, são ilustrados na Figura 32. As previsões realizadas pelo modelo SARIMA projetaram uma taxa de crescimento do consumo de gasolina de aproximadamente 1% ao ano.

Devem ser ressaltadas, no entanto, algumas limitações associadas às previsões obtidas. Se o horizonte de previsão for maior do que a ordem do modelo (ℓ>p e ℓ>q), a previsão para a série considerando esse horizonte, ou seja, ℓ períodos à frente, será baseada apenas em valores previstos (FAVA, 2000).

Quanto mais longo for o período de previsão, maiores serão os riscos de erro no resultado obtido, pois eventuais mudanças futuras na trajetória do consumo de gasolina não são incorporadas na projeção. Para minimizar essa limitação, faz-se importante, em período futuro, mesmo após a conclusão da tese, substituir os valores previstos por valores observados com o objetivo de atualizar as previsões, incorporando possíveis mudanças na trajetória do consumo de gasolina. Além disto, é importante refazer periodicamente os processos de identificação, estimação, verificação e previsão, com o intuito de detectar eventuais alterações no processo gerador da série.

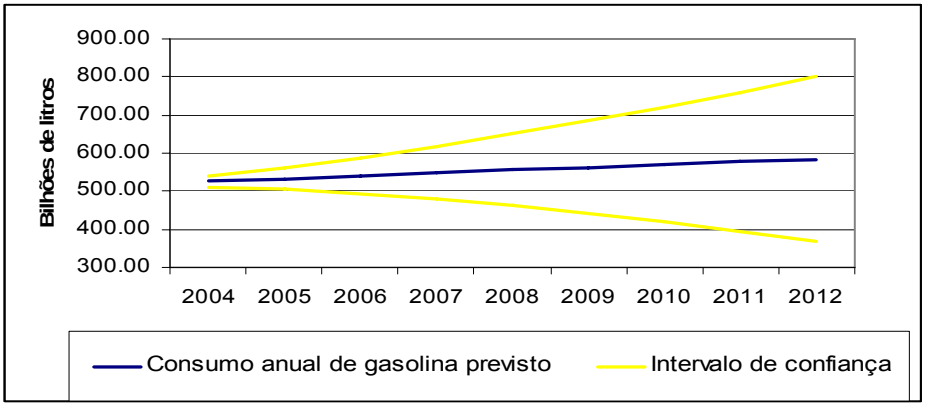

Figura 32 - Resultado da previsão do consumo de gasolina para os EUA, período 2004 até 2012

Apesar da série e o resultado da previsão serem trimestrais, optou-se por elaborar o gráfico com as projeções de consumo de gasolina nos Estados Unidos da América anualmente, como forma de facilitar a visualização da projeção.

2.3.1.2 Cenários para o consumo de etanol nos EUA

Utilizando-se como base a previsão de consumo de gasolina para os EUA, apresentada no item anterior, foram construídos três cenários de consumo americano, considerando-se combinações de comportamento do nível desse consumo, face às legislações federais e estaduais para o banimento do MTBE e para a implantação de um programa de combustíveis renováveis nos EUA.

2.3.1.2.1 Primeiro cenário: substituição da adição do MTBE na gasolina, pelo etanol carburante, em 17 estados norte-americanos

O primeiro cenário corresponde às legislações estaduais para efetuar o banimento do MTBE em vários estados norte americanos, o que implicaria na substituição desse aditivo pelo álcool carburante. Os estados incluídos são: Califórnia, Connectituct, Kentucky, Missouri, New York, Illinois, Colorado, Indiana, Iowa, Kansas, Michigan, Minnesota, Nebraska, Nevada, Ohio, South Dakota e Washington.

Para tal cenário, plausível de ocorrer, considerou-se a proporção de venda das gasolinas reformuladas e oxigenadas para cada um dos 17 estados em relação à venda total de gasolina nos EUA no de 2002. Tais informações foram obtidas no *Energy Information Administration* (2003a).

Os resultados sugerem um consumo de aproximadamente 5,19 bilhões de litros de etanol em 2004, seguindo-se um crescimento no consumo para aproximadamente 7,2 bilhões de litros de etanol em 2012.

A obtenção da previsão é feita através da multiplicação das projeções de consumo de gasolina nos EUA, realizado com o modelo de Box-Jenkins, pela proporção da gasolina oxigenada e reformulada de cada estado. Posteriormente, realizou-se a multiplicação pelo teor mínimo de etanol exigido pela gasolina reformulada (5,5%) e pela gasolina oxigenada de inverno (7,4%). A exceção em termos desses percentuais foi o estado do Colorado, que exige um teor mínimo de etanol de 8,5% em seu programa de gasolina oxigenada de inverno.

2.3.1.2.2 Segundo cenário: substituição da adição do MTBE na gasolina, pelo etanol carburante, em todos os estados norte-americanos

Neste cenário, estima-se o incremento do consumo de etanol que resultaria mediante o banimento da utilização do MTBE na gasolina em todo o território americano. Vem-se discutindo no Congresso norte-americano - com os projetos de lei do Senado S.1677, S.517 e S.2095, relacionados ao "*Energy Policy Act*", um cronograma para se realizar o banimento do MTBE nos EUA. No projeto de lei S.1677 -, estipulou-se o banimento do MTBE em 2006. No entanto, os projetos de lei subseqüentes postergaram, a princípio, a data de banimento para 2012, no S.517, e finalmente, para 2014, no S.2095.

Apesar dos últimos projetos de lei discutidos pelo Congresso dos Estados Unidos terem considerado um alongamento do prazo de banimento do MTBE para além de 2012, período tomado para a presente análise, o segundo cenário considerou o prazo de banimento do MTBE mais próximo, em 2006, prazo de banimento do projeto de lei S. 1677, com o intuito de se analisar o virtual impacto do banimento da utilização de MTBE em todo o território americano sobre o consumo de etanol nos EUA.

Os resultados sugerem um consumo de aproximadamente 11,4 bilhões de litros de etanol em 2004, seguindo-se um crescimento no consumo para aproximadamente 12,7 bilhões de litros de etanol em 2012.

2.3.1.2.3 Terceiro cenário: Programa de combustíveis renováveis

Ao contrário dos dois anteriores, esse terceiro cenário não se trata, propriamente de uma projeção, uma vez que se baseou em um cronograma de implantação de combustíveis renováveis nos EUA, conforme discutido pelo Congresso norte-americano. A construção deste cronograma utilizou o mais recente projeto de lei discutido no Senado norte-americano, denominada S.2095. Trata-se de um projeto que elabora metas anuais de consumo de biocombustíveis. Cumprindo-se essas metas, as expectativas são de que no ano de 2006 sejam consumidos 11,73 bilhões de litros de combustíveis renováveis nos EUA, ocorrendo um incremento anual do consumo, até atingir 18,9 bilhões de litros em 2012. Para a realização deste cenário assume-se que o etanol venha a ocupar uma posição dominante dentre os combustíveis renováveis disponíveis nos Estados Unidos (Figura 33).

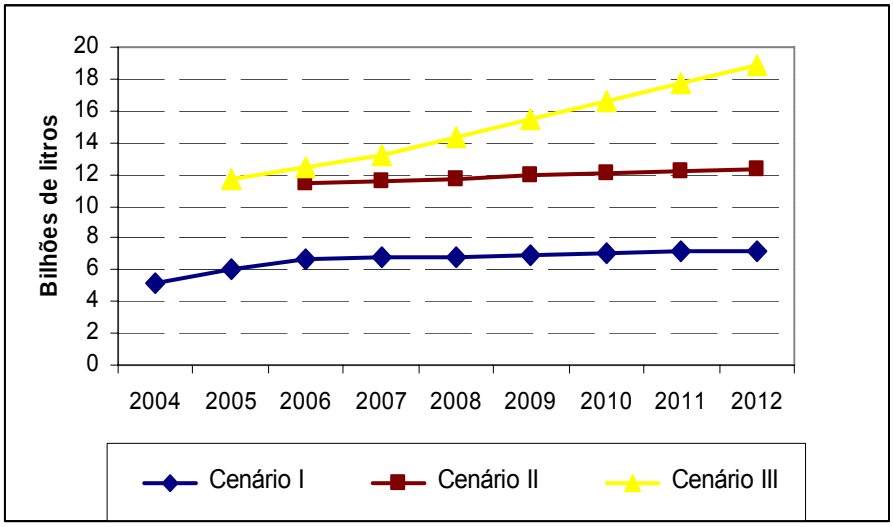

Figura 33 - Resultado dos cenários I, II e III de consumo de etanol nos EUA, períodos: 2004 até 2012

Para uma interpretação mais adequada das projeções de consumo de etanol nos EUA é importante destacar algumas limitações, que seriam relacionadas apenas ao primeiro e ao segundo cenário descritos acima.

Quanto ao primeiro cenário, trabalhou-se com valores mínimos de mistura de etanol para gasolina oxigenada e reformulada exigidos por lei. No entanto, alguns estados norte-americanos, como o Colorado, adotam uma mistura de etanol na gasolina maior do que a exigência. Desta forma, a previsão pode estar subestimando a quantidade necessária de etanol para se misturar na gasolina para o país analisado.

Além disto, assumiu-se que a proporção de venda de gasolina oxigenada e reformulada em cada estado deverá se manter constante com relação à venda total de gasolina no país obtida no ano de 2002.

No segundo cenário assumiu-se a manutenção da porcentagem de gasolina reformulada e oxigenada de inverno em relação à oferta total de combustível no país obtida no ano de 2002. Desta forma, aumentos ou declínios da porcentagem da oferta de gasolina reformulada e oxigenada em cada estado em relação à oferta nacional irá afetar o resultado obtido.

2.3.1.3 Discussão: impactos dos cenários de consumo de etanol nos Estados Unidos na utilização de milho e os subsídios à produção da matéria prima

Considerou-se importante analisar, nos três cenários alternativos, o volume de milho que deverá ser utilizado para a produção de etanol com o intuito de verificar a capacidade dos produtores americanos em ofertar a quantidade deste insumo que seria necessário para abastecer o programa de etanol para combustível americano. Considerou-se que 1 "*bushel*" (aproximadamente 35,23 quilogramas) de milho produz 2,7 galões de etanol (equivalente a 10,22 litros de etanol) (RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2003).

Pressupondo-se a manutenção da quantidade de milho necessária para produzir etanol nos próximos 9 anos, projeta-se a necessidade de 65,4 milhões de toneladas de milho em 2012, caso o programa de combustíveis renováveis venha a ser aprovado; 43,62 milhões de toneladas no segundo cenário; e, 24,92 milhões de toneladas no primeiro (Tabela 30).

Tabela 30 - Milhões de toneladas de milho necessárias para a produção de etanol nos Cenários I, II e III, referentes ao consumo do combustível na economia norte-americana, período: 2004 até 2012

Anos	1° Cenário	2° Cenário	3° Cenário
2004	17,89	0	0
2005	20,85	0	40,39
2006	23,04	40,33	43,06
2007	23,35	40,87	45,67
2008	23,66	41,42	49,58
2009	23,98	41,97	53,50
2010	24,29	42,52	57,41
2011	24,60	43,07	61,33
2012	24,92	43,62	65,24

Esses resultados sugerem para a viabilidade de se obter o montante de etanol previsto, utilizando-se apenas a produção de milho nos EUA, sem a necessidade de recorrer a importações. Tomando-se como exemplo a posição no ano de 2004, os EUA produziram 381,19 milhões de toneladas de milho. Deste total, aproximadamente 68,7 milhões de toneladas destinaram-se para a exportação (Tabela 31). Dessa forma, a reorientação do destino da produção de milho da exportação para a produção de etanol já supriria grande parte da necessidade de milho necessária para a produção de etanol no programa de combustível renovável.

Tabela 31- Destino do milho norte-americano por forma de utilização, no ano de 2003

Destino	Milhões de toneladas
Ração animal e resíduo	214,02
Exportação	68,70
Produção de etanol	50,20
HFCS	18,64
Outros	29,63
Total	381,19

Fonte: National Corn Growers Association (2005)

Considera-se interessante atentar, ainda, para a existência de uma cota de importação de 7% do etanol consumido no país, concedida aos países caribenhos. Essa cota, em complemento à produção de milho, ajudaria a viabilizar o programa de combustível renovável americano de maneira sustentável. Com a incorporação desta cota, seriam exigidas 60,75 milhões de toneladas

de milho americano para garantir o abastecimento de 17,6 bilhões de litros de etanol em 2012, pois 1,3 bilhão de litros pode ser suprido pelos países do Caribe (Tabela 32).

Tabela 32 - Cenários sobre a possibilidade de importação de etanol dos países caribenhos, período: 2004 até 2012

Anos	**Milhões de litros**		
	1º Cenário	2º Cenário	3º Cenário
2004	362,67	0	0
2005	422,66	0	821,38
2006	466,9	801,57	874,37
2007	473,13	812,14	927,36
2008	479,36	822,85	1006,88
2009	485,59	833,56	1086,33
2010	491,82	844,2	1165,85
2011	497,98	854,91	1245,3
2012	504,21	865,55	1324,82

***Subsídios*:** No que tange aos subsídios para o consumo de etanol fornecidos pelo governo dos EUA, concedidos principalmente na forma de incentivos fiscais. Estima-se uma isenção fiscal de 0,54 centavos de dólar por galão. Caso se mantenha esse nível de subsídios, espera-se que a expansão do consumo de etanol implique em uma renúncia fiscal de 2,65 bilhões de dólares no ano de 2012 (Tabela 33).

Tabela 33 - Estimativa de subsídios concedidos para a produção de etanol nos EUA, em bilhões de dólares, para os três cenários, período: 2004 até 2012

Anos	1º Cenário	2º Cenário	3° Cenário
2004	0,72	----	----
2005	0,84	----	1,64
2006	0,93	1,63	1,74
2007	0,94	1,66	1,85
2008	0,96	1,68	2,01
2009	0,97	1,70	2,17
2010	0,98	1,72	2,33
2011	0,99	1,74	2,49
2012	1,01	1,77	2,65

Para o Brasil, o programa de etanol americano não se mostra promissor em termos de mercado consumidor para o etanol produzido no Brasil, pois as exportações realizadas diretamente para os EUA necessitam pagar tarifas de US$ 54 centavos por galão. Outra alternativa encontrada pelo setor sucroalcooleiro brasileiro tem sido o acesso ao mercado americano através da triangulação com os paises do Caribe. Não se sabe quanto tempo poderá se perdurar tal estratégia, pois na medida em que ocorra expansão da produção de etanol nos paises caribenhos, a pressão pela redução dessa prática pode se acentuar.

2.3.2 Projeções sobre o consumo de etanol no Japão

2.3.2.1 Previsão sobre o consumo de gasolina no Japão

Para efetuar a previsão sobre o consumo de gasolina para os próximos anos, optou-se pelo modelo de Box-Jenkins univariado. O modelo univariado escolhido para representar o processo gerador da série foi o SARIMA(3,1,0)(1,1,0), que apresentou os melhores resultados nas etapas de estimação e verificação e o menor erro quadrático médio em relação aos modelos univariados de Box-Jenkins entre os últimos anos do período, considerando-se 2000 a 2003.

2.3.2.1.1 Seleção do modelo

2.3.2.1.1.1 Estimação

Feita a etapa de identificação da série (ver Anexo I), pela qual se sugeriu a não estacionariedade e não estacionariedade sazonal da série de ordem 1 e as etapas de verificação,

optou-se pelo modelo SARIMA (3,1,0)(1,1,0). A Tabela 34 ilustra os valores estimados e o nível de significância, ressaltando-se o alto nível de significância dos parâmetros deste modelo. Este modelo, além de apresentar o menor erro quadrático na previsão, apresentou os coeficientes AR{1}e SAR{1} significativos. Os coeficientes AR{2} e AR{3} foram mantidos no modelo, apesar de não significativos, em função dos resultados obtidos no teste de Box-Pierce e do menor erro quadrático médio apresentado entre os anos de 2000 e 2003.

Tabela 34 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina no Japão, período da série: 1990 até 2003

Variáveis	Coeficientes	Nível de significância
AR{1}	-0,675	0,00008
AR{2}	-0,338	0,1001
AR{3}	-0,306	0,1204
SAR{4}	-0,614	0,0008

2.3.2.1.1.2 Verificação

2.3.2.1.1.2.1 Teste de autocorrelação residual

Como foram analisadas 56 observações, o valor dos limites ($\pm 2/\sqrt{n}$)foi de ±0,26. Como os valores da autocorrelação dos resíduos ficaram dentro dos limites do intervalo, conforme apresentado na Tabela 35, tem-se uma indicação de que não é necessário acrescentar novos termos de médias móveis no modelo.

Tabela 35 - Valores das autocorrelações do consumo de gasolina no Japão, período da série: 1990 até 2003

Autocorrelações	Valores das autocorrelações					
1 até 6	-0,081	-0,095	-0,156	-0,168	0,058	0,152
7 até 11	-0.042	-0,239	0,0371	-0,100	0,262	

2.3.2.1.1.2.2 Teste de Box-Pierce

O valor do teste Q fornecido pelo RATS é de Q(11-4) = 13,042, mostrando que não se identifica autocorrelação dos resíduos com nível de significância de 0,07108.

2.3.2.1.1.2.3 Teste de correlação cruzada

Para a amostra analisada o valor de referência para a análise de função de correlação cruzada é de 0,26, pelo mesmo critério do teste de autocorrelação dos residual. Como nenhum valor da autocorrelação cruzada apresenta este valor, conforme se verifica na Tabela 36, então não se necessita adicionar mais um termo autoregressivo ao modelo.

Tabela 36 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina no Japão, período da série: 1990 até 2003

Correlações cruzadas	**Valores das correlações cruzadas**					
1 até 6	-0,111	-0,178	-0,155	-0,126	-0,081	-0,134
7 até 11	0,018	-0,028	0,029	-0,041	-0,016	

2.3.2.1.1.2.4 Menor erro quadrático médio

Dado o objetivo de se obter o previsor ótimo, como aquele que minimiza o erro quadrático médio de previsão, escolheu-se o modelo SARIMA(3,1,0)x(1,1,0) como sendo o modelo com melhor capacidade de previsão trimestral para 4 anos, entre os anos de 2000 e 2003, como ilustrado na Figura 34 .

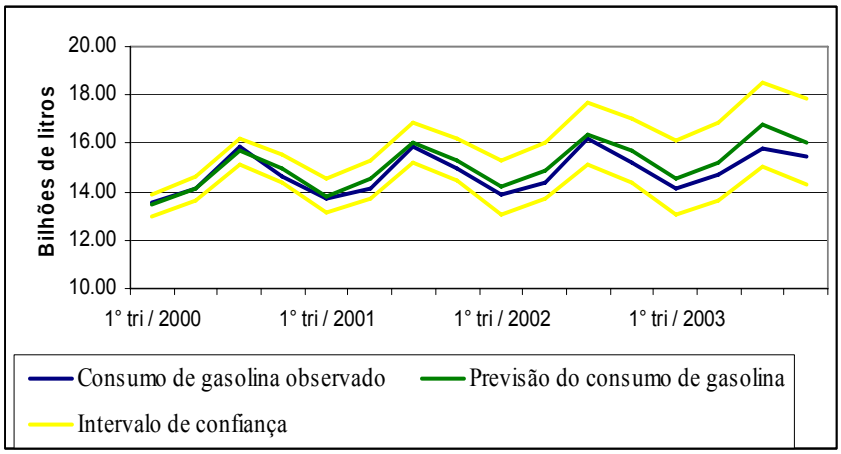

Figura 34 - Valores observados e previstos de consumo de gasolina no Japão, em bilhões de litros 1 ° tri. 2000 até 4° tri. 2003

2.3.2.1.2 Previsão do consumo de gasolina

Utilizando-se do modelo de Box-Jenkins, projeta-se crescimento de aproximadamente 1% ao ano no consumo de gasolina. Os valores previstos para o consumo de gasolina, entre os anos de 2004 e 2012, são ilustrados na Figura 35. Na obtenção desses valores, atentou-se à necessidade de substituir, periodicamente, os valores previstos, por valores observados, com o objetivo de melhorar a previsão.

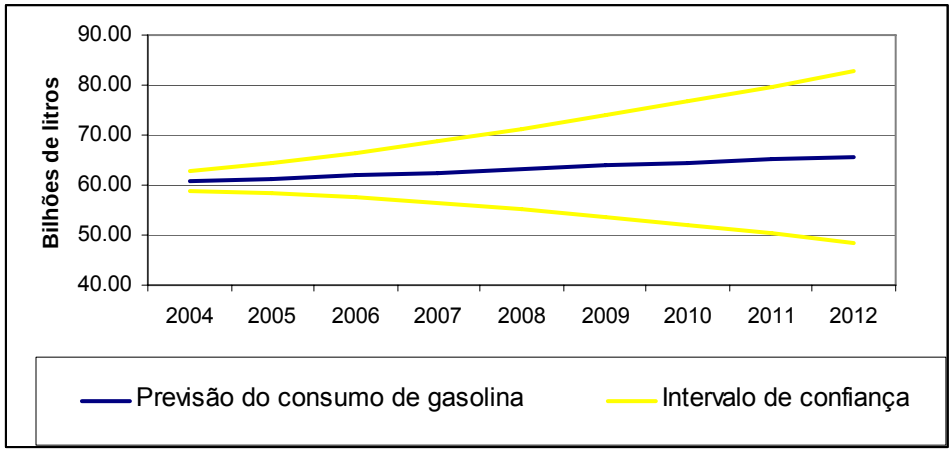

Figura 35 - Previsão anual da oferta de gasolina no Japão, em bilhões de litros, período: 2004 até 2012

2.3.2.2 Projeção do consumo de etanol

A previsão realizada nesse item toma por base a possibilidade de que venha a se implantar, de forma compulsória, a mistura de etanol na gasolina em dois cenários alternativos, conforme o andamento do programa de etanol no Japão discutido no item 4.6.2. O primeiro cenário considera uma mistura de 3% entre os anos de 2004 e 2012. No segundo, a mistura passaria de 3% para 10% a partir do ano de 2008 (Tabela 37). No caso do primeiro cenário, obtém-se uma estimativa de 1,96 bilhões de litros para esse segundo cenário, estima-se um consumo de aproximadamente 6,5 bilhões de litros de etanol no ano de 2012.

Tabela 37 - Consumo anual de etanol no Japão, caso a mistura se torne compulsória, período: 2004 até 2012

Anos	**Consumo (bilhões de litros de etanol)**	
	Cenário I: Mistura de 3% de etanol na gasolina	**Cenário II: Mistura de 3% de etanol até 2007 e 10% de 2008 em diante**
2004	1,82	1,82
2005	1,84	1,84
2006	1,85	1,85
2007	1,87	1,87
2008	1,89	6,65
2009	1,91	6,38
2010	1,93	6,44
2011	1,95	6,50
2012	1,96	6,56

2.3.2.3 Discussão: possibilidade de exportação de etanol do Brasil para o mercado japonês

Tomando como base a previsão apresentada no item acima e considerando-se que o Japão não tem como produzir, internamente, o etanol necessário para realizar a mistura na gasolina, procede-se a uma avaliação quanto ao impacto que o aumento do consumo identificado pode ter no mercado internacional, considerando-se particularmente o caso do maior país exportador nesse mercado, atualmente, que é o caso do Brasil.

Caso todo o montante projetado de consumo de etanol no Japão fosse importado do Brasil, isto implicaria em uma necessidade de expansão da produção de cana-de-açúcar brasileira da ordem de 82 milhões de toneladas até o ano de 2012, representando uma expansão 22% da

produção de cana em relação à safra de 2003/04[20] (Tabela 38). Para a realização desta análise, consideraram-se os seguintes pressupostos: (i) assumiu-se que 1 (uma) tonelada de cana produza 80 litros de etanol; e (ii) pressupõe-se que esta expansão da produção de álcool visando a exportação para o Japão não ocorra em detrimento dos demais mercados pelos quais o setor sucroalcooleiro possui atuação destacada - de açúcar, doméstico e internacional, e álcool anidro e hidratado para o mercado doméstico .

Tabela 38 - Projeção da necessidade de cana-de-açúcar para a exportação do álcool pelo Brasil, período 2004 até 2012

	Necessidade de cana-de-açúcar (Mil toneladas)	
Anos	Mistura de 3% de etanol na gasolina	Mistura de etanol de 3% até 2007 e 10% a partir de 2008
2004	22.799,0	22.799,0
2005	23.011,5	23.011,5
2006	23.248,8	23.248,8
2007	23.471,7	23.471,7
2008	23.703,7	79.012,5
2009	23.930,3	79.767,7
2010	24.160,2	80.534,3
2011	24.388,2	81.294,0
2012	24.617,3	82.058,0

2.3.3 Projeções sobre o consumo de etanol na Alemanha, França, Itália, e Reino Unido

2.3.3.1 Projeções sobre o consumo de gasolina na França, Itália, Alemanha e Reino Unido

Neste tópico, realizaram-se projeções sobre o consumo de gasolina e respectivamente o montante de etanol consumido para a Alemanha e para as quatro maiores economias da União Européia. Responsáveis pelo consumo de aproximadamente 71% do consumo de gasolina nos 15 países integrantes da União Européia até 2003. Considerando-se a entrada de mais 10 países do Leste Europeu, este percentual cai para 64,5%.

[20] Na safra de 2003/04 a produção de cana-de-açúcar no Brasil foi de 359,3 milhões de toneladas.

Priorizou-se a Alemanha por ser o país europeu com discussão interna sobre a implantação de um programa de etanol de larga escala. Além disto, a Alemanha vem discutindo com o Brasil a possibilidade de utilizar o etanol brasileiro em seu programa de biocombustível. Além da Alemanha, projetou-se o volume de etanol consumido caso as quatro maiores economias européias também adotem a mistura de etanol na gasolina.

2.3.3.1.1 Previsão sobre o consumo de gasolina na Alemanha

2.3.3.1.1.1 Seleção do modelo

2.3.3.1.1.1.1 Estimação

O modelo SARIMA (2,1,1)(0,1,0) foi o que melhor se adequou as etapas de identificação e verificação (ver Anexo J). A Tabela 39 ilustra os valores estimados e o nível de significância. Observando-se que os coeficientes AR{1}, AR{2} e MA{1} mostraram-se significativas.

Tabela 39 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina na Alemanha, período da série: 1990 até 2003

Variáveis	Coeficientes	Nível de significância
AR{1}	-1,062	0,00000004
AR{2}	-0,469	0,00001069
MA{1}	0,807	0,00000050

2.3.3.1.1.1.2 Verificação

2.3.3.1.1.1.2.1 Teste de autocorrelação residual

Como foram analisadas 56 observações, o valor dos limites ($\pm 2/\sqrt{n}$)foi de 0,26. Como os valores da autocorrelação dos resíduos ficaram no limite do intervalo (Tabela 40), então não é necessário acrescentar novos termos de médias móveis no modelo.

Tabela 40 – Valores das autocorrelações do consumo de gasolina na Alemanha, período da série: 1990 até 2003

Autocorrelações	Valores das autocorrelações					
1 até 6	0,087	-0,055	-0,184	-0,022	-0,115	-0,003
7 até 12	0,128	0,073	0,080	0,171	-0,122	-0,193

2.3.3.1.1.1.2.2 Teste de Box-Pierce

O valor do teste Q fornecido pelo RATS é de Q(12-3) = 10,165. Inferindo-se a não existência de autocorrelação dos resíduos com nível de significância de 0,337.

2.3.3.1.1.1.2.3 Teste de correlação cruzada

Para a amostra analisada o valor de referência para a análise de função de correlação cruzada é de 0,28, pelo mesmo critério da autocorrelação residual. Como nenhum valor da autocorrelação cruzada apresenta este valor, (Tabela 41), então não se necessita adicionar mais um termo autoregressivo ao modelo.

Tabela 41 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina na Alemanha, período da série: 1990 até 2003

Correlações cruzadas	Valores das autocorrelações					
0 até 5	0,033	-0,007	-0,084	-0,043	-0,106	0,040
6 até 11	0,033	0,114	-0,000	0,110	0,091	0,132
12	0,043					

2.3.3.1.1.1.2.4 Menor erro quadrático médio

Dado o objetivo de se obter o previsor ótimo, como aquele que minimiza o erro quadrático médio de previsão, escolheu-se o modelo SARIMA(2,1,1)x(0,1,0) como sendo o modelo com melhor capacidade de previsão trimestral para 3 anos, entre os anos de 2001 e 2003, conforme ilustrado na Figura 36.

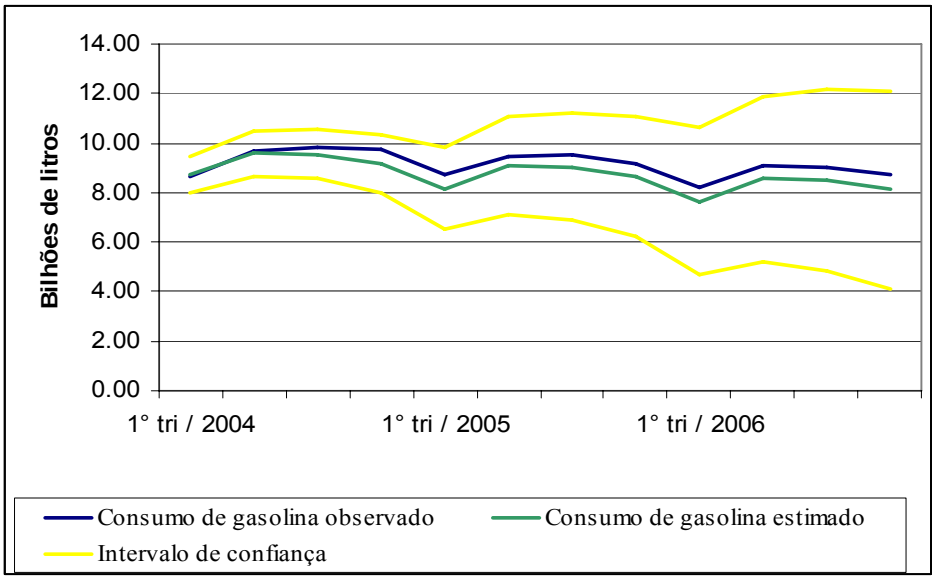

Figura 36 - Valores observados e previstos, em bilhões de litros, período: 2001 até 2003

2.3.3.1.1.2 Previsão do consumo de gasolina

Os valores previstos para o consumo de gasolina, entre os anos de 2004 e 2012, são ilustrados na Figura 37. As projeções apontam para redução do consumo de gasolina na Alemanha. Projeta-se um declínio do consumo de gasolina a taxas crescentes, iniciando-se com um declínio de 6% de 2005 em relação a 2004 e passando para 9%, do ano de 2012 em relação a 2011. Desta forma, projeta-se à manutenção do decréscimo do consumo de gasolina na Alemanha, processo este iniciado no início da década de 1990.

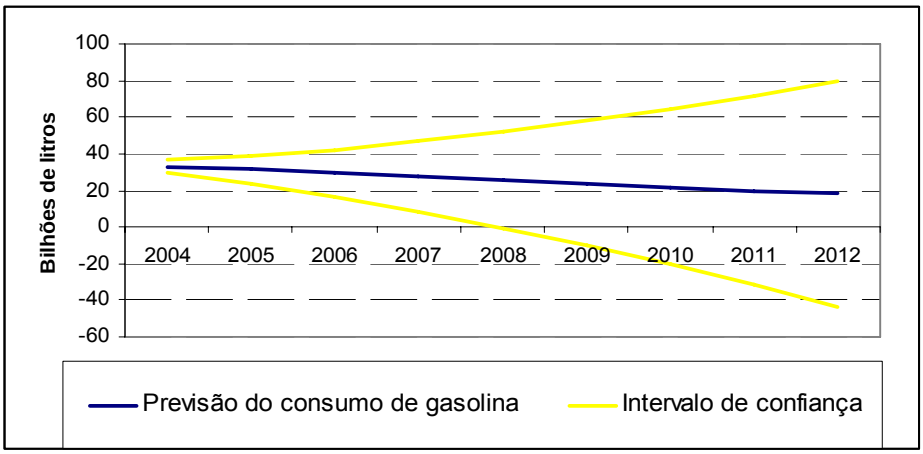

Figura 37 - Previsão da oferta de gasolina na Alemanha, período: 2004 até 2012

2.3.3.1.2 Previsão sobre o consumo de gasolina na Alemanha, Itália, França e Reino Unido

2.3.3.1.2.1 Seleção do modelo

2.3.3.1.2.1.1 Estimação

O modelo SARIMA (2,1,1)(0,1,0) foi o que melhor se adequou as etapas de identificação (ver Anexo Q) e verificação. A Tabela 42 ilustra os valores estimados e o nível de significância. Observando-se que os coeficientes AR{1}, AR{2} e MA{1} mostraram-se significativas.

Tabela 42 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina na Alemanha, França, Reino Unido e Itália, período da série: 1990 até 2003

Variáveis	Coeficientes	Nível de significância
AR{1}	-1,055	0,00000000
AR{2}	-0,543	0,00004093
MA{1}	0,873	0,00000000

2.3.3.1.2.1.2 Verificação

Após estimar o modelo temos que verificar se ele representa, ou não, adequadamente, os dados. A insuficiência na verificação pode sugerir um modelo alternativo como sendo adequado. Os testes de verificação são realizados com os resíduos.

2.3.3.1.2.1.2.1 Teste de autocorrelação residual

Como foram analisadas 56 observações, o valor dos limites ($\pm 2/\sqrt{n}$) foi de 0,26. Como os valores da autocorrelação dos resíduos ficaram no limite do intervalo (Tabela 43), então não é necessário acrescentar novos termos de médias móveis no modelo.

Tabela 43 – Valores das autocorrelações do consumo de gasolina na Alemanha, França, Reino Unido e Itália, período da série: 1990 até 2003

Autocorrelações	Valores das autocorrelações					
1 até 6	0,059	0,099	-0,138	-0,180	-0,061	-0,047
7 até 12	0,191	0,071	0,184	0,029	-0,181	-0,059

2.3.3.1.2.1.2.2 Teste de Box-Pierce

O valor do teste Q fornecido pelo RATS é de Q(12-3) = 10,8. Inferindo-se a não existência de autocorrelação dos resíduos com nível de significância de 0,28.

2.3.3.1.2.1.2.3 Teste de correlação cruzada

Para a amostra analisada o valor de referência para a análise de função de correlação cruzada passa a ser de 0,28. Como nenhum valor da autocorrelação cruzada apresenta este valor, (Tabela 44), então não se necessita adicionar mais um termo autoregressivo ao modelo.

Tabela 44 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina na Alemanha, França, Reino Unido e Itália, período da série: 1990 até 2003

Correlações cruzadas	**Valores das correlações cruzadas**					
0 até 5	-0,104	-0,082	-0,082	-0,031	-0,119	-0,006
6 até 11	0,005	0,094	-0,024	0,077	0,090	0,149
12	0,013					

2.3.3.1.2.1.2.4 Menor erro quadrático médio

Dado o objetivo de se obter o previsor ótimo, como aquele que minimiza o erro quadrático médio de previsão, escolheu-se o modelo SARIMA(2,1,1)x(0,1,0) como sendo o modelo com melhor capacidade de previsão trimestral para 3 anos, entre os anos de 2001 e 2003, Figura 38.

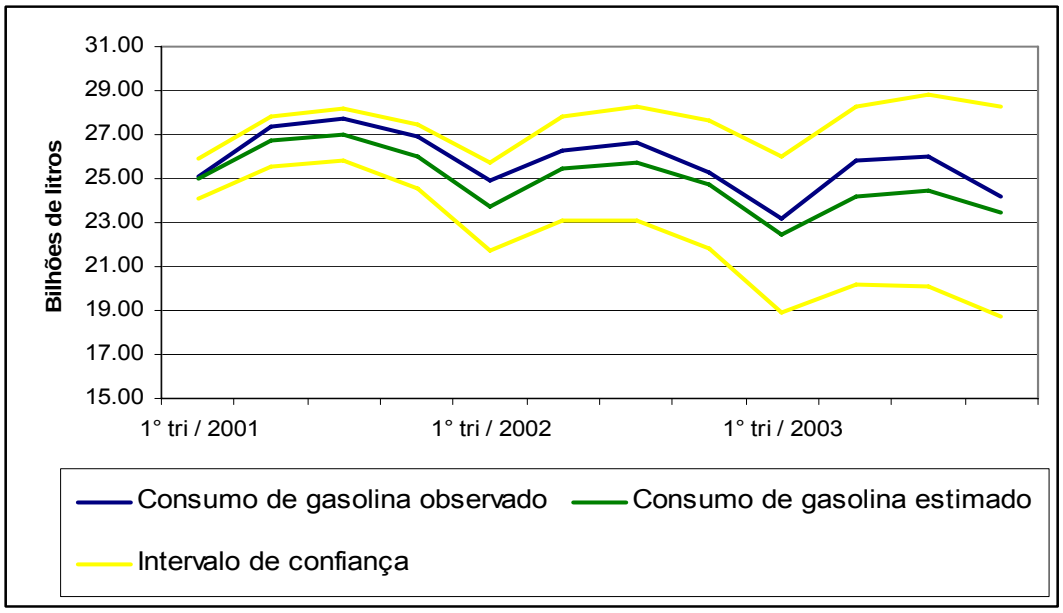

Figura 38 - Valores observados e previstos, período: 1° tri. 2001 até 4° tri. 2003

2.3.3.1.2.2 Previsão do consumo de gasolina

Os valores previstos para o consumo de gasolina, entre os anos de 2004 e 2012, são ilustrados na Figura 39. As projeções apontam para redução do consumo de gasolina na Alemanha, França, Itália e Reino Unido. Projeta-se um declínio do consumo de gasolina a taxas crescentes, iniciando-se com um declínio de 6% de 2005 em relação a 2004 e passando para 9%, do ano de 2012 em relação a 2011. Desta forma, projeta-se à manutenção do decréscimo do consumo de gasolina na Alemanha, processo iniciado no início da década de 1990.

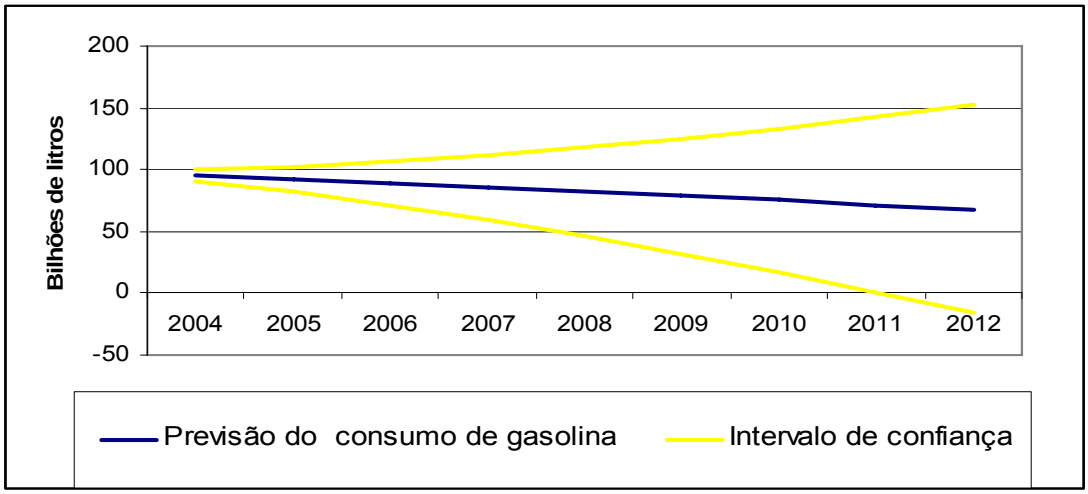

Figura 39 - Previsão de oferta trimestral de gasolina na Alemanha, França, Itália e Reino Unido, período: 2004 até 2012

2.3.3.2 Inferências sobre o consumo de gasolina na França, Alemanha, Itália e Reino Unido

As projeções obtidas utilizando-se a metodologia de Box-Jenkins indicaram uma redução do consumo de gasolina nesses países nos próximos anos. A análise das séries históricas do consumo de gasolina nesses países mostra um declínio na França e no Reino Unido, desde o início da década de 1990. Na Alemanha e Itália, a redução no consumo de gasolina passou a ser observada no final da década de 1990.

Um dos principais fatores causadores do declínio do consumo de gasolina consiste no crescimento da procura do consumidor europeu por carros movidos a óleo diesel, o que se deve aos seguintes fatores: (i) **economia nos gastos com o combustível:** o motor a diesel é mais eficiente que o motor a gasolina em termos de consumo de combustível por quilometro rodado; (ii) **incentivos fiscais:** muitos países europeus taxam menos o óleo diesel em relação à gasolina, reforçando a vantagem econômica dos carros movidos a óleo diesel; e, (iii) **redução do barulho dos carros movidos a diesel:** tem ocorrido redução do barulho dos carros movidos a diesel, tornando-se equiparáveis aos carros movidos a gasolina (PLATINUM TODAY*,* 2002).

Essa maior procura por carros movidos a óleo diesel implica, portanto, no declínio do consumo de gasolina e na expansão no consumo de óleo diesel nos quatro países selecionados.

No caso do Reino Unido, o consumo de óleo diesel apresentou um vertiginoso crescimento na década de 1990 e início de 2000, comparativamente ao consumo de gasolina.

Desde o início da década de 1990, os consumo de gasolina para automóveis vem crescendo em detrimento do consumo de óleo diesel (Figura 40).

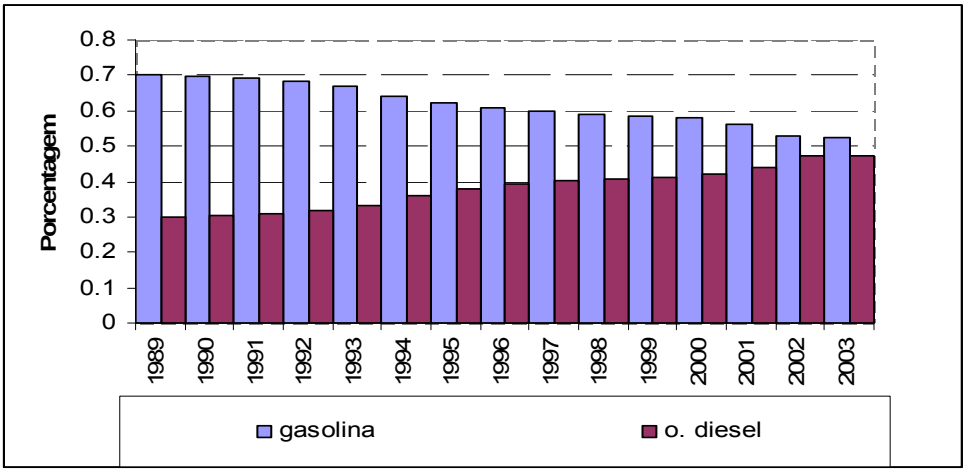

Figura 40 - Evolução das porcentagens de consumo de gasolina e de óleo diesel para automóveis no Reino Unido, período: 1989 até 2003

Fonte: The Institute of Energy Economics (2004)

No caso da Alemanha, assim como no Reino Unido, o consumo de gasolina também vem caindo em relação ao consumo de óleo diesel, desde o início da década de 1990. Neste país, o consumo de óleo diesel tornou-se maior do que o de gasolina desde o ano de 2001. Nos anos de 2002 e 2003, o consumo de óleo diesel persistiu crescendo em relação ao consumo de gasolina, ver Figura 41.

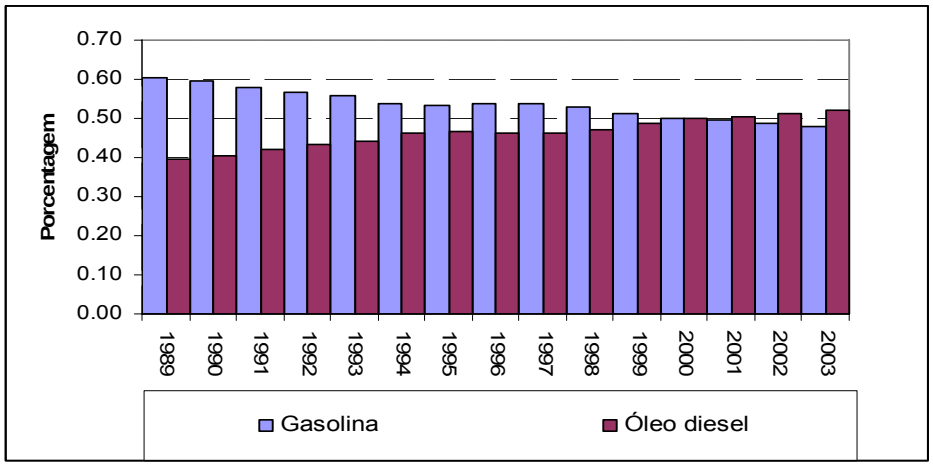

Figura 41 - Evolução das porcentagens de consumo de gasolina e óleo diesel na Alemanha, período: 1989 até 2003

Fonte: The Institute of Energy Economics (2004)

Na França, desde o início da década de 1990, o consumo de óleo diesel já supera o consumo de gasolina. Observou-se um grande crescimento do consumo de óleo diesel em comparação com o consumo de gasolina. No ano de 2003, o consumo de óleo diesel representou 70% do consumo de combustíveis para motores, ver Figura 42.

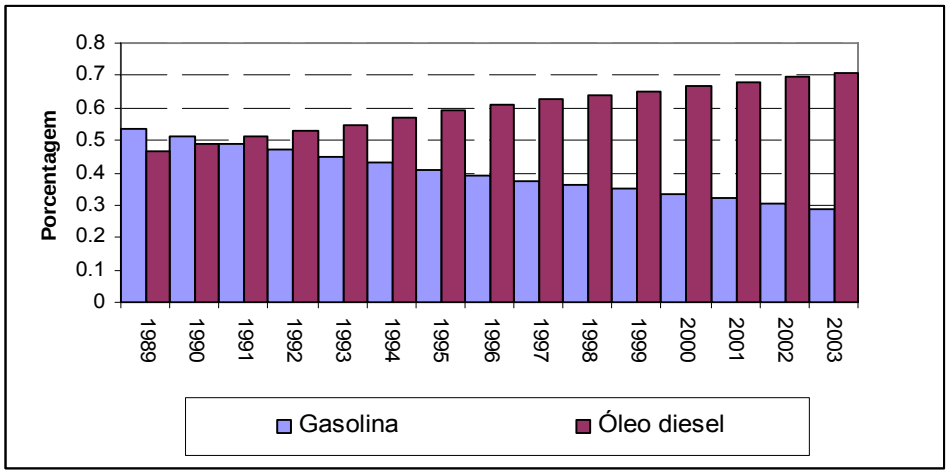

Figura 42 - Evolução das porcentagens de consumo de gasolina e óleo diesel na França, período: 1989 até 2003

Fonte: The Institute of Energy Economics (2004)

No caso italiano, observou-se crescimento do consumo de gasolina em relação ao consumo de óleo diesel até 1996. A partir desta data, passou-se a ocorrer um grande crescimento no consumo de óleo diesel. No ano de 2003, o óleo diesel obteve a marca de 60% do consumo de combustíveis, contra 40% da gasolina, ver Figura 43.

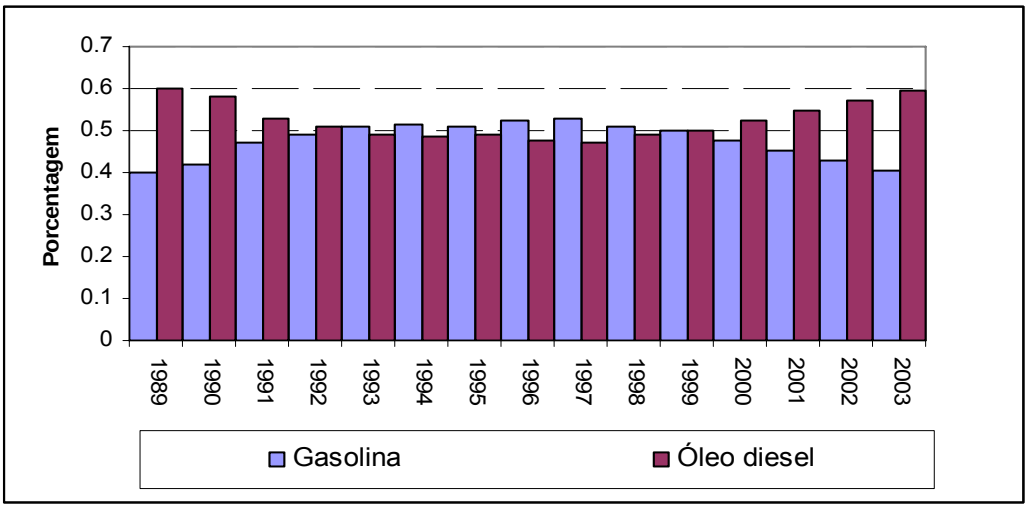

Figura 43 - Evolução das porcentagens de consumo de gasolina e óleo diesel na Itália, período: 1989 até 2003

Fonte: The Institute of Energy Economics (2004)

A tendência de substituição dos motores a gasolina pelos motores a diesel pode se tornar, portanto, um importante empecilho para a utilização do etanol como biocombustível. Como exemplo deste empecilho cita-se a França. Neste país, o consumo de óleo diesel atingiu mais de 70% do consumo de combustíveis em 2003, as refinarias estão exportando gasolina e importando óleo diesel.

Por conta do déficit no consumo de diesel e superávit na gasolina. Os produtores de combustíveis para motores podem ser mais favoráveis a produção de biodiesel em detrimento da biogasolina (HIS, 2003). Os outros três países analisados também podem atingir tal situação, caso persista a substituição dos motores a gasolina por motores a diesel.

2.3.3.3 Projeções sobre o consumo de etanol na Alemanha

Ainda não se sabe quais os países adotarão o etanol como biocombustível e quais adotarão o biodiesel, tampouco as metas em termos de misturas de cada país. Até o presente momento, apenas a Alemanha vem analisando a possibilidade de misturar 2% de etanol na gasolina. Desta forma, será realizada apenas a projeção de consumo de etanol na Alemanha (Tabela 45).

Tabela 45 - Consumo estimado de etanol na Alemanha, período: 2004 até 2012

Anos	Necessidade de Etanol (milhões de litros)
2004	663,32
2005	625,46
2006	587,61
2007	549,78
2008	511,94
2009	474,10
2010	436,26
2011	398,42
2012	360,58

2.3.3.4 Projeções sobre o consumo de etanol na França, Itália, Reino Unido e Alemanha

Apesar de apenas a Alemanha ter demonstrado algum interesse na realização de um grande programa de etanol como combustível e ter negociado a possibilidade de importação do Brasil. Neste tópico projeta-se o consumo de álcool como combustível, caso as maiores economias da União Européia também adotem a mistura de 2% de álcool na gasolina, Tabela 46. Lembrando que estes países representaram o consumo de 71,4% do consumo de gasolina dos países da União Européia, sem considerar os países do Leste Europeu incorporados em 2004. Quando se incluem os países do Leste, o percentual passa a ser de 64,5%.

Tabela 46 - Consumo estimado de etanol nos quatro países da União Européia, período: 2004 até 2012

Anos	Milhões de litros
2004	1,91
2005	1,84
2006	1,77
2007	1,70
2008	1,63
2009	1,57
2010	1,50
2011	1,43
2012	1,36

2.3.4 Projeções sobre o consumo de álcool anidro no Brasil

2.3.4.1 Previsões sobre o consumo de gasolina no Brasil utilizando-se da função de transferência

Para a previsão do consumo de álcool anidro, pressupõe-se que esse dependerá do consumo de gasolina dos próximos anos. No entanto, o consumo de gasolina vem apresentando grande instabilidade nos últimos anos. Com elevado crescimento no consumo de gasolina na década de 90, principalmente entre os anos de 1993 e 1997. No entanto, a partir de 1999, esse passa a se reduzir. (ver Anexo L). As oscilações no consumo de gasolina pode ser explicada pela oscilação na taxa de crescimento do Produto Interno Bruto do Brasil e pela variação do nível de preço da gasolina no período.

Utiliza-se um modelo ARIMA para função de transferência, incluindo-se a variável explicativa PIB do Brasil, para realizar as projeções do consumo de gasolina. Optou-se pela construção de três cenários, nos quais adotam-se três taxas de crescimento do PIB, uma baixa taxa de crescimento (1,22%), uma taxa de crescimento moderada (2,9%) e uma elevada taxa de crescimento (4,6%).

Como critério para se chegar às taxas para crescimento do PIB, utilizaram-se taxas de crescimento do período de 1993 a 2004, considerando-se como referência a implantação do Plano Real[21], que promoveu a redução das taxas de inflação do Brasil para níveis bem mais baixos que os prevalecentes por décadas na economia brasileira. Apesar da alteração do regime cambial brasileiro, abandonando-se a âncora cambial - pelo qual se mantinha o real valorizado em relação ao dólar, através do sistema de bandas cambiais – e adotando-se um regime de taxa de câmbio flutuante, persiste até hoje a preocupação das autoridades monetárias em reduzir a inflação através da elevação dos juros, repercutindo em redução do crescimento econômico.

Embora o critério adotado não tenha uma fundamentação teórica, o valor da média das taxas de crescimento do PIB para todo o período foi identificado como representativo da taxa de crescimento moderada (2,9%). O valor designado para o cenário com baixa taxa de crescimento (1,22%), refere-se à média das taxas de crescimento do PIB inferiores ao crescimento moderado, 2,9% do PIB. O valor de 4,6% refere-se à média dos valores superiores a taxa de crescimento moderada (2,9%), ver Anexo L.

2.3.4.1.1 Identificação

Como já foi visto no tópico sobre identificação do modelo de função de transferência. Necessita-se aplicar os modelos univariados ARIMA para as duas séries de variáveis incluídas no modelo, consumo de gasolina e Produto Interno Bruto, com o intuito de se estimar os resíduos necessários para observar o comportamento da função de correlação cruzada.

Neste tópico serão apresentadas as etapas de estimação e verificação dos modelos univariados do consumo de gasolina e do Produto Interno Bruto do Brasil. No Anexo M encontram-se os processos de identificação dos modelos univariados e os resíduos utilizados para se efetuar a análise da função de correlação cruzada. Além disto, será apresentada a análise da função de correlação cruzada. Análise da função de correlação cruzada entre o PIB e o consumo de gasolina.

[21] Em 14 de junho de 1993, Fernando Henrique Cardoso, ministro da economia, implantou a primeira etapa do plano de estabilização econômico conhecido como Plano Real. A primeira etapa consistia em buscar o equilíbrio para as finanças públicas, consistindo em corte orçamentário e recuperação da receita tributária do estado brasileiro (REGO et al., 2000).

2.3.4.1.1.1 Modelo Univariado sobre o consumo de gasolina no Brasil

2.3.4.1.1.1.1 Estimação

Levando-se em consideração as etapas de identificação, verificação e previsão, o modelo SARIMA (1,1,0)(1,1,0), ilustrado na Tabela 47, foi o que melhor se adequou a estas etapas.

Tabela 47 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina no Brasil, modelo univariado; período da série 1991 até 2003

Variáveis	Coeficientes	Nível de significância
Constante	-0,219	0,883
AR{1}	-0,103	0,605
SAR{4}	-0,221	0,247

Apesar do modelo SARIMA (1,1,0)(1,1,0), ter sido o modelo com melhor adequação as etapas de identificação, verificação e previsão, nenhuma das variáveis estimadas se mostrou significativa. Isso é decorrência da necessidade de se incluir outra variável na função de transferência com o intuito de melhorar a adequação do modelo.

2.3.4.1.1.1.2 Verificação

Após estimar o modelo temos que verificar se ele representa, ou não, adequadamente, os dados. A insuficiência na verificação pode sugerir um modelo alternativo como sendo adequado. Os testes de verificação são realizados com os resíduos.

2.3.4.1.1.1.2.1 Teste de autocorrelação residual

Como foram analisadas 41 observações, o valor dos limites ($\pm 2/\sqrt{n}$)foi de 0,28. Como os valores da autocorrelação dos resíduos ficaram no limite do intervalo, ver Tabela 48, então não é necessário acrescentar novos termos de médias móveis no modelo.

Tabela 48 - Valores das autocorrelações do consumo de gasolina no Brasil, período da série: 1991 até 2003

Autocorrelações	Valores das autocorrelações				
1 até 5	0,001	-0,031	0,033	-0,073	0,223
7 até 10	-0,013	0,14	-0,129	-0,157	0,041

2.3.4.1.1.1.2.2 Teste de Box-Pierce

O valor do teste Q fornecido pelo RATS é de Q(10-2) = 6,22. Inferindo-se a não existência de autocorrelação dos resíduos com nível de significância de 0,6224.

2.3.4.1.1.1.2.3 Teste de correlação cruzada

Para a amostra analisada o valor de referência para a análise de função de correlação cruzada passa a ser de 0,28, valor obtido pelo mesmo critério do teste de autocorrelação residual. Apesar do teste sugerir a inclusão de novos coeficientes autoregressivos, ver Tabela 49, a inclusão de outros coeficientes autoregressivos não reduziu o erro quadrático médio do modelo.

Tabela 49 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina no Brasil, período da série: 1991 até 2003

Correlações cruzadas	Valores das correlações cruzadas				
0 até 4	-0,224	-0,427	-0,3530	-0,332	0,368
5 até 7	-0,314	-0,090	-0,041		

2.3.4.1.1.1.2.4 Menor erro quadrático médio

Este modelo apresentou o menor erro quadrático médio dos modelos testados. A Figura 44 ilustra comparativamente os valores previstos e os observados entre estes anos. Verificar-se-á, em tópicos subseqüentes, a maior proximidade entre os valores observados e os previstos, entre o

período de 1° tri. 2001 até 4° tri 2003, quando se insere a variável PIB na função de transferência.

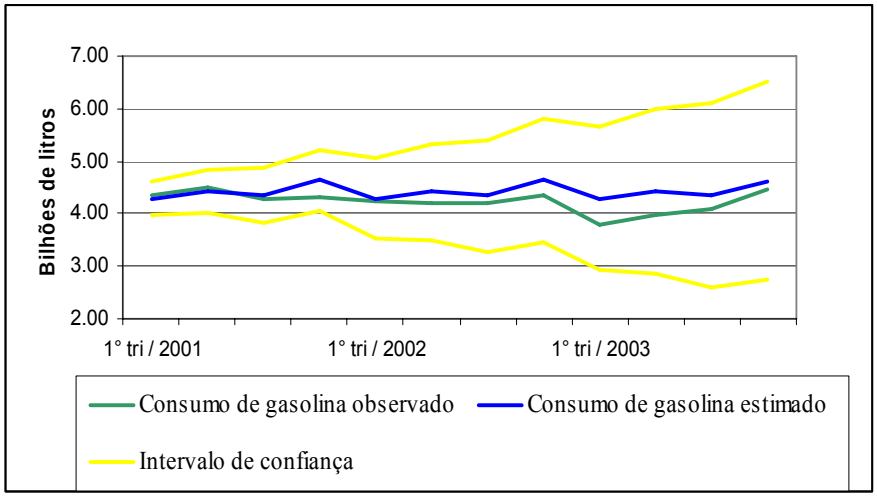

Figura 44 - Comparação entre os valores previstos e os observados, período: 1° tri. 2001 até 4° tri. 2003

2.3.4.1.1.2 Modelo univariado para a evolução do PIB no Brasil

Levando-se em consideração as etapas de identificação, verificação e previsão, o modelo ARIMA (3,0,0) foi o modelo que melhor se adequou a estas etapas. Conforme se verifica na Tabela 50.

Tabela 50 - Valores estimados do processo gerador do PIB no Brasil, período da série: 1991 até 2003

Variáveis	Coeficientes	Nível de significância
Constante	97,69	0,00000000
AR{1}	0,950	0,00000004
AR{2}	-0,640	0,00056260
AR{3}	0,367	0,00712236
N_D1{0}	4,958	0,00000005
N_D2{0}	8,077	0,00000000
N_D3{0}	5,055	0,00000005

2.3.4.1.1.2.1 Verificação

Após estimar o modelo temos que verificar se ele representa, ou não, adequadamente, os dados. A insuficiência na verificação pode sugerir um modelo alternativo como sendo adequado. Os testes de verificação são realizados com os resíduos.

2.3.4.1.1.2.1.1 Teste de autocorrelação residual

Como foram analisadas 41 observações, o valor dos limites ($\pm 2/\sqrt{n}$)foi de 0,28. Como os valores da autocorrelação dos resíduos ficaram no limite do intervalo, ver Tabela 51, então não é necessário acrescentar novos termos de médias móveis no modelo.

Tabela 51 – Valores das autocorrelações, período da série: 1991 até 2003

Autocorrelações	**Valores das autocorrelações**				
1 até 5	0,110	-0,023	0,089	0,039	-0,064
6 até 10	-0,173	0,272	0,080	-0,136	0,022

2.3.4.1.1.2.1.2 Teste de Box-Pierce

O valor do teste Q fornecido pelo RATS é de Q(11-3) = 8,558. Inferindo-se a não existência de autocorrelação dos resíduos com nível de significância de 0,38.

2.3.4.1.1.2.1.3 Teste de correlação cruzada

Para a amostra analisada o valor de referência para a análise de função de correlação cruzada passa a ser de 0,28, pelo mesmo critério da autocorrelação dos resíduos. Apesar de um termo da autocorrelação cruzada apresentar valor maior ao de referência, ver Tabela 52, a adição de mais um termo autoregressivo não se mostrou significativo e não reduziu o erro quadrático médio.

Tabela 52 - Correlação cruzada entre o resíduo e a evolução do PIB brasileiro, período da série: 1991 até 2003

Correlações cruzadas	Valores das correlações cruzadas			
0 até 4	0,435	0,0129	0,002	0,03
5 até 8	-0,05	-0,093	0,087	-0,095

2.3.4.1.1.2.1.4 Menor erro quadrático médio

O modelo ARIMA(3,0,0) apresentou o menor erro quadrático médio, entre os anos de 2001 e 2003. A Figura 45 ilustra comparativamente os valores previstos e os observados entre estes anos. Observa-se uma boa adequação entre os valores previstos e os estimados entre os anos de 2001 e 2003.

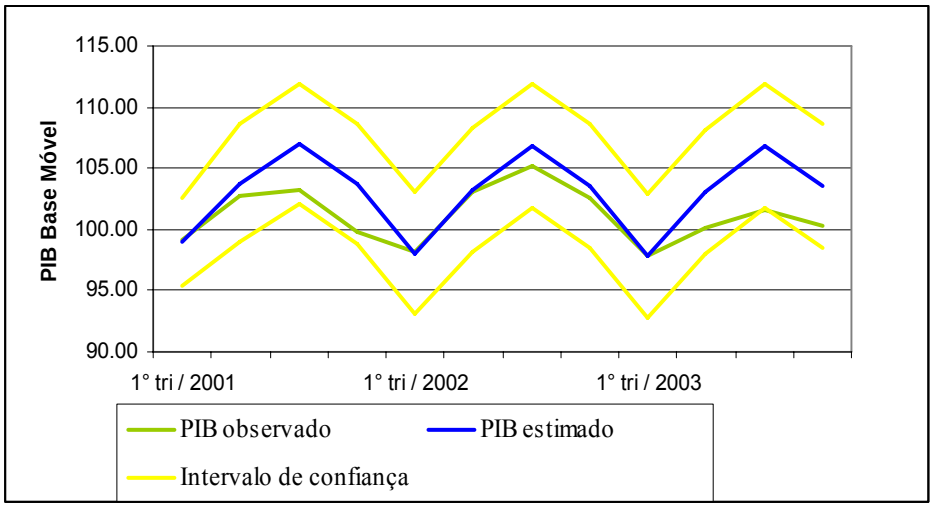

Figura 45 - Valores estimados e previstos do PIB, período: 1° tri 2001 até 4° tri 2003

2.3.4.1.1.2.1.5 Análise da função de correlação cruzada entre o PIB e o consumo de gasolina

Após ter obtido os resíduos das funções univariadas do consumo de gasolina e do PIB, o próximo passo consiste em analisar a função de correlação cruzada entre os resíduos. Conforme indicado na Tabela 53, utilizou-se para a análise os resíduos entre 1° tri. 1994:1 e 4° tri.2003 sabendo-se que o valor de referência($2/\sqrt{n}$) é de 0,3165.

Tabela 53 - Resultados da função de correlação cruzada entre o consumo de gasolina no Brasil e o PIB, período da série: 1991 a 2003

Correlações cruzadas	Valores das correlações cruzadas					
0 até 5	0,342	0,402	0,154	0,099	-0,001	0,253
6 até 10	-0,044	0,009	0,200	-0,006	0,159	

A análise da correlação cruzada indica uma influência imediata entre o valor do PIB e o do consumo de gasolina, pois o único valor acima do valor de referência corresponde a correlação cruzada “0”.

2.3.4.1.1.2.2 Estimação

Após os processos de identificação e verificação, o modelo com melhor adequação aos testes foi o de função de transferência: SARIMA(1,1,0)(1,1,0) incluindo-se a variável PIB, ilustrado na Tabela 54.

Tabela 54 - Valores estimados do processo gerador do consumo de gasolina no Brasil, período da série: 1990 até 2003

Variáveis	Coeficientes	Nível de significância
CONSTANTE	-73,63	0,08
AR{1}	-0,199	0,234
SAR{1}	-0,3267	0,071
PIB{0}	0,718	0,08

Observa-se para a significância das variáveis: constante, AR{1}, SAR{1} e PIB{0}. Apesar da variável AR{1} não ter se mostrado significativa, essa variável permitiu redução do erro quadrático médio.

2.3.4.1.1.3 Verificação

Após estimar o modelo, deve-se verificar se ele representa adequadamente, os dados. A insuficiência na verificação pode sugerir um modelo alternativo como sendo mais adequado.

2.3.4.1.1.3.1 Análise das funções de autocorrelações dos resíduos

Assumindo-se o limite como 2/√n, então o valor de limite será de 0,28, considerando-se os 49 resíduos da função entre 4° tri. 1991 e 4° tri. 2003. A Tabela 55 apresenta os valores das autocorrelações dos resíduos obtidos na função de transferência.

Tabela 55 - Valores das autocorrelações para a Função de Transferência do consumo de gasolina no Brasil, período da série: 1991 até 2003

Autocorrelações	**Valores das autocorrelações**				
1 até 5	-0,018	-0,099	-0,018	-0,086	0,256
6 até 9	-0,032	0,104	-0,102	-0,103	0,024

Como os valores das autocorrelações dos resíduos estão dentro do limite então existe forte indício de que o modelo está bem ajustado.

2.3.4.1.1.3.2 Teste de Box-Pierce

O teste Q para o grupo de autocorrelações Q(10-2) =5,846 com nível de significância de 0,664. Portanto, a análise do conjunto de autocorrelações dos resíduos também não apresenta indícios de que o modelo seja inadequado.

2.3.4.1.1.3.3 Teste de correlação cruzada entre o resíduo e a variável explicativa

A Tabela 56 mostra a correlação cruzada entre o resíduo e a variável explicativa. Como o valor do limite é de 0,28, existe forte indício de que o modelo está bem especificado. Apenas um

dos valores (0,296), está acima do limite. No entanto, a adição de um termo auto regressivo no modelo não se mostra significativo e não melhora o resultado em termos de erros quadráticos médios.

Tabela 56 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de gasolina no Brasil, período da série: 1991 até 2003

Correlações cruzadas	**Valores das correlações cruzadas**					
0 até 6	-0,127	-0,296	-0,232	-0,268	-0,279	-0,038
7 até 11	-0,008	-0,0102	0,0417	0,077	0,196	

2.3.4.1.1.3.4 Menor erro quadrático médio

Os erros quadráticos médios deste modelo, na comparação entre os valores previstos e os valores estimados entre o período de 2001 e 2003, foram de 1266,61. Tal erro quadrático médio representou uma sensível redução em relação aos valores obtidos com o modelo univariado, 4888,40. A Figura 46 ilustra visualmente a comparação, da função de transferência, entre os valores previstos e os estimados entre os anos de 2001 e 2003.

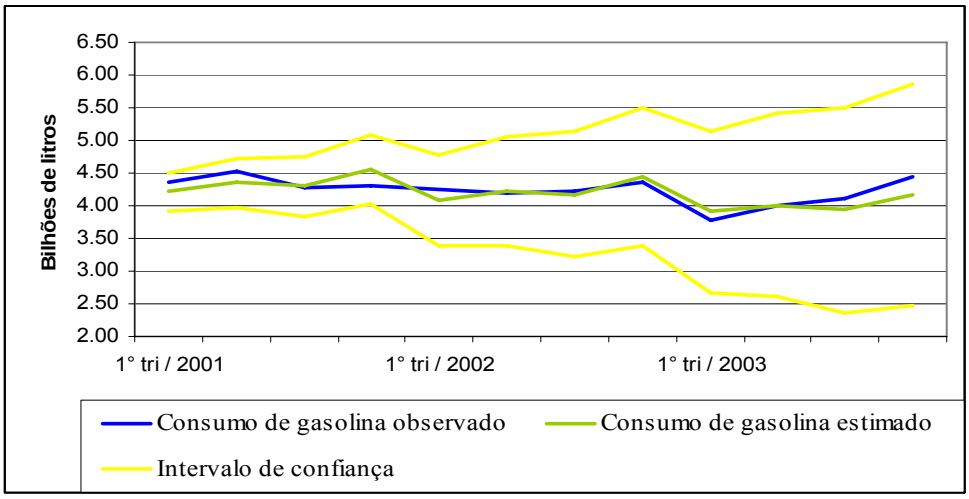

Figura 46 - Análise comparativa entre o valor observado e o previsto, período: 1° tri. 2001 até 4° tri. 2003

Além de se obter o menor erro quadrático médio, a adição da variável PIB também reduz a diferença entre os valores previstos e os observados, entre o período de 1° tri. 2001 até 4° tri 2003. Percebe-se tal melhoria, ao se comparar a visualização da Figura 46, com a inserção da variável PIB na função de transferência, com a Figura 44, modelo univariado de projeção do consumo de gasolina.

2.3.4.2 Cenários para o consumo de gasolina no Brasil

Neste item apresentam-se os resultados de três cenários elaborados para o consumo de gasolina no Brasil, utilizando-se o PIB na função de transferência. As simulações dos cenários são apresentadas na Figura 47. Conforme já mencionado, no primeiro cenário considera-se um crescimento econômico de 1,22% ao ano. No segundo, simula-se um crescimento econômico de 2,9% ao ano. No terceiro, considera-se um crescimento econômico de 4,6% ao ano.

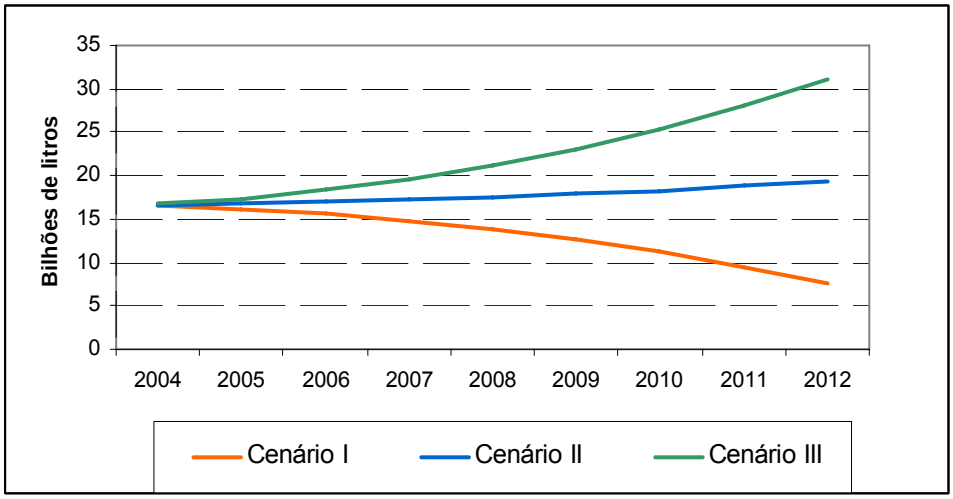

Figura 47 - Resultados de simulação de cenários relativos ao crescimento do consumo de gasolina no Brasil, período: 2004 até 2012

Constatou-se o crescimento do consumo de gasolina para os Cenários II e III, baseados no crescimento do PIB de 2,9 e 4,6%, respectivamente. No caso do Cenário II, o incremento é bem menos acentuado, não chegando a ultrapassar 19,33 bilhões de litros em 2012. No caso do Cenário III, o crescimento indicado pela simulação mostra um consumo de aproximadamente 31 bilhões de litros, em 2012. Ao passo que o cenário I, referente ao crescimento do PIB de 1,22%,

simulou-se uma redução do consumo de gasolina para 7,66 bilhões de litros no último ano da análise. Essa redução no consumo de gasolina, em um cenário de crescimento do PIB positivo 1,22%, pode ser explicada pelo crescimento da população brasileira. Conforme dados do IPEA (2005), a população brasileira cresceu a uma taxa média de 1,47% entre os anos de 2000 e 2004, Desta forma, o crescimento do PIB de 1,22% representa um decréscimo na renda *per capita* da população brasileira, implicando em redução do consumo de gasolina.

2.3.4.3 Considerações sobre as projeções do consumo de gasolina no Brasil

Considera-se interessante ressaltar que, além da variável PIB, incluída na função de transferência, existem outras variáveis que possivelmente explicam o consumo de gasolina, tais como o preço da gasolina e a evolução da frota de automóveis no Brasil, tanto de veículos a gasolina, como os bicombustíveis.

No entanto, para o presente estudo, optou-se pela inclusão apenas do PIB, como variável exógena explicativa, tanto pela adequação em utilizar um modelo parcimonioso, como pela natureza das outras variáveis explicativas. Para serem incluídas nas funções de transferência, torna-se necessária à realização de previsões das variáveis. Quando o comportamento da variável indica uma alta instabilidade para o período a ser utilizado como base, o emprego dessas previsões pode não resultar em uma função adequada para ser empregada como base para as previsões. No caso dos preços, por exemplo, a alta instabilidade apresentada nos últimos anos, por ser influenciado pela taxa de câmbio e pelo preço internacional do barril de petróleo, tornaria bastante difícil a identificação de um processo gerador que possibilitasse a obtenção de um modelo que resultasse em boa previsão da variável, para um período mais extenso, como é o horizonte de 9 anos utilizado no presente estudo. Considerou-se que a inclusão desta variável na realização das previsões poderia resultar em mais incertezas que benefícios para o resultado da previsão do consumo de gasolina.

Ressalta-se ainda, a observação dos resultados de outros estudos, que indicaram uma relativa inelasticidade do consumo de gasolina em relação ao preço. Nos trabalhos de Marjotta-Maistro (2002), Burnquist; Bacchi (2002); e Alves; Bueno (2003), o consumo de gasolina brasileiro mostrou-se inelástico em relação ao preço, tanto no curto como no longo prazo. Apesar da inelasticidade, essas pesquisas apontaram para a relação inversa entre o preço da gasolina e o seu consumo no Brasil. Isso sugere, portanto, que se ocorre uma elevação continua e prolongada

dos preços da gasolina, desencadeada por elevações dos preços internacionais do petróleo, por exemplo, os resultados dos cenários da função de transferência devem ser afetados. No entanto, a atualização da previsão, substituindo valores previstos por valores observados, captará a mudança da trajetória da previsão, pois o consumo de gasolina observado estará recebendo influência da variação dos preços.

Quanto ao impacto da frota de carros no consumo de gasolina, o trabalho de Marjotta-Maistro (2002) apontou para a elasticidade do tamanho da frota brasileiro em relação ao consumo de gasolina. Neste estudo, a frota de veículos mostrou-se mais importante do que a renda em relação ao consumo de gasolina. Com relação a este resultado, a autora inferiu que variações na renda dos consumidores poderão ser direcionadas para outros produtos ou serviços e não somente para a aquisição de mais gasolina.

Além do crescimento da frota, a recente expansão da venda de veículos bicombustíveis e a conversão de veículos a gás natural poderão trazer grandes impactos na frota de veículos nacional, afetando diretamente o consumo de gasolina e de álcool hidratado. Neste sentido, caso o preço do álcool hidratado continue abaixo do preço da gasolina, em pelo menos 70%, existe uma grande possibilidade de se expandir ainda mais a venda de carros bicombustíveis nos próximos anos, desencadeando expansão do consumo de álcool hidratado em detrimento da gasolina.

2.3.4.4 Projeções sobre consumo de álcool anidro no Brasil

De forma semelhante ao caso da gasolina, as projeções sobre o consumo de álcool anidro consideram três cenários na função de transferência. No primeiro, projeta-se uma elevação do PIB da ordem de 1,22% (Cenário I); no segundo projeta-se uma taxa de crescimento de 2,9% (Cenário II); e, no terceiro, uma taxa de crescimento de 4,6% (Cenário III). Os resultados das projeções indicam que no Cenário I pode ocorrer um decréscimo no consumo de etanol. No caso dos Cenários II e III, o crescimento do consumo de álcool anidro atinge montantes de 4,83 e 7,75 bilhões de litros no ano de 2012, respectivamente, conforme indicado na Tabela 57.

Tabela 57- Resultados das projeções do consumo anual de álcool anidro no Brasil, considerando-se os seguintes cenários: Cenário I (crescimento do PIB de 1,22%); Cenário II (crescimento do PIB de 2,9%); e Cenário III (crescimento do PIB de 4,6%), período: 2004 até 2012

	Consumo estimado (bilhões de litros)		
Anos	**Cenário I**	**Cenário II**	**Cenário III**
2004	4,13	4,17	4,21
2005	4,02	4,18	4,34
2006	3,89	4,24	4,58
2007	3,70	4,30	4,89
2008	3,46	4,38	5,30
2009	3,15	4,47	5,78
2010	2,80	4,58	6,36
2011	2,38	4,70	7,01
2012	1,91	4,83	7,75

2.3.5 Previsão sobre o consumo de álcool hidratado no Brasil

Além da projeção do consumo de álcool anidro, através da projeção de consumo de gasolina, o estudo compreendeu projeções do consumo de álcool hidratado no Brasil. Ao contrário da projeção sobre o consumo de gasolina, no entanto, a utilização de um modelo de função de transferência incorporando o PIB não se mostrou significativo e não apresentou ganhos para o modelo univariado em termos de redução do erro quadrático médio entre os anos de 2001 e 2003. Dessa forma, optou-se pela utilização de um modelo univariado de Box-Jenkins para realizar as projeções de consumo de álcool hidratado entre os anos de 2004 e 2012.

2.3.5.1 Seleção do modelo

2.3.5.1.1 Estimação

O modelo SARIMA (2,1,1)(0,1,0) foi o que melhor se adequou às etapas de identificação e verificação (ver Anexo N). A Tabela 58 ilustra os valores estimados e o nível de significância. Apenas o MA{1} não se mostrou significativo; no entanto, a incorporação deste coeficiente reduz o erro quadrático médio.

Tabela 58 - Valores estimados para o processo gerador do consumo de álcool hidratado no Brasil, período da série: 1991 até 2003

Variáveis	Coeficientes	Nível de significância
AR{1}	-0,4528	0,0727
AR{2}	0,09595	0,5066
MA{1}	0,59085	0,0271

Apesar do coeficiente AR{2} apresentar baixo nível de significância, manteve-se este coeficiente no modelo por apresentar o menor erro quadrático médio.

2.3.5.1.2 Verificação

Após estimar o modelo, procedeu-se a uma verificação quanto à sua adequação para representar os dados. De maneira geral, a insuficiência na verificação pode sugerir um modelo alternativo como sendo adequado. Os testes de verificação são realizados com os resíduos.

2.3.5.1.2.1 Teste de autocorrelação residual

Como foram analisadas 41 observações, os valores dos limites ($\pm 2/\sqrt{n}$)foram de ±0,28. Apesar dos valores da autocorrelação dos resíduos "7" e "8" terem ficado acima do limite do intervalo, conforme indicado na Tabela 59, o acréscimo de outros termos de médias móveis não se mostrou significativo e não propiciou um modelo com erro quadrático médio menor do que o obtido com o modelo SARIMA(2,1,1)(0,1,0).

Tabela 59 - Valores das autocorrelações do consumo de álcool hidratado no Brasil, período da série: 1991 até 2003

Autocorrelações	Valores das autocorrelações					
1 até 6	0,005	0,052	0,056	-0,098	-0,213	-0,105
7 até 11	-0,681	-0,341	0,127	0,067	0,079	

2.3.5.1.2.2 Teste de Box-Pierce

O valor do teste Q fornecido pelo RATS é de Q(11-3) = 13,67, indicando a não existência de autocorrelação dos resíduos com nível de significância de 0,09.

2.3.5.1.2.3 Teste de correlação cruzada

Para a amostra analisada, os valores dos limites para a análise de função de correlação cruzada são de ±0,28, pelo mesmo critério do teste de autocorrelação residual. Como nenhum valor da autocorrelação cruzada apresenta este valor, conforme indicado na Tabela 60, então não se necessita adicionar mais um termo autoregressivo ao modelo.

Tabela 60 - Correlação cruzada entre o resíduo e o consumo de álcool hidratado no Brasil, período da série: 1991 até 2003

Correlações cruzadas	**Valores das correlações cruzadas**						
0 até 6	-0,137	0,305	-0,305	-0,283	-0,294	-0,106	-0,106
7 até 11	-0,069	-0,057	0,090	0,013	-0,012		

2.3.5.1.2.4 Menor erro quadrático médio

Dado o objetivo de se obter o previsor ótimo, como aquele que minimiza o erro quadrático médio de previsão, escolheu-se o modelo SARIMA(2,1,1)x(0,1,0) como sendo o modelo com melhor capacidade de previsão trimestral para 3 anos, entre os anos de 2001 e 2003, conforme indicado na Figura 48.

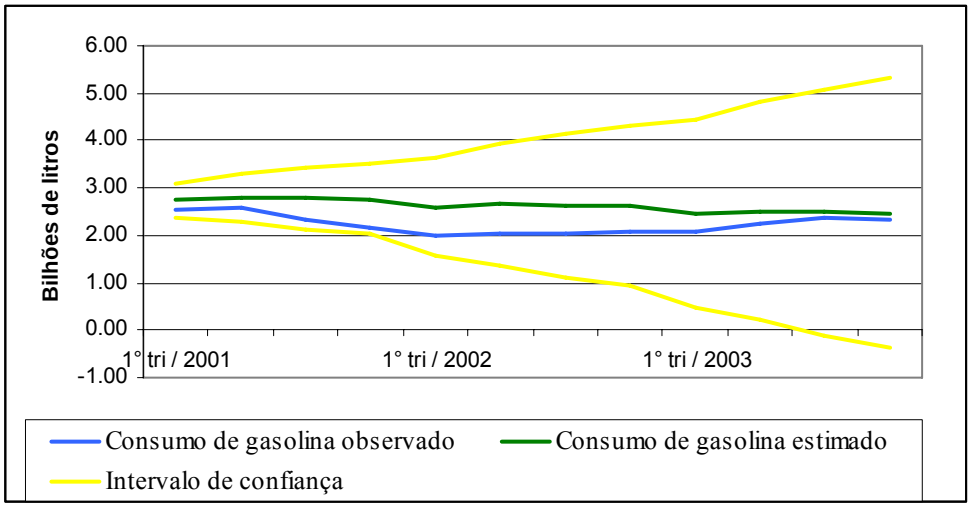

Figura 48 - Valores observados e previstos para o consumo de gasolina na economia brasileira, em bilhões de litros, período: 1° tri 2001 até 4° tri 2004

2.3.5.2 Previsão do consumo de álcool hidratado

Os valores previstos para o consumo de álcool hidratado, entre os anos de 2004 e 2012, são ilustrados na Tabela 61. Caso se consolide a projeção do consumo de álcool hidratado no Brasil pelo método de Box-Jenkins, os resultados da previsão realizada sugerem que poderão ser demandados aproximadamente 17,4 bilhões de litros de etanol no ano de 2012.

Tabela 61 - Projeções sobre o consumo de álcool hidratado no Brasil, período: 2004 até 2012

Anos	Álcool hidratado (milhões de litros)
2004	9945
2005	10879
2006	11813
2007	12746
2008	13679
2009	14613
2010	15547
2011	16480
2012	17413

A projeção de crescimento do consumo de álcool hidratado para os próximos anos é o reflexo da retomada do crescimento da procura pelo álcool hidratado a partir dos anos de 2002 e 2003. A diferença de preço entre a gasolina e o álcool na bomba (varejo), vem estimulando o uso da mistura do álcool na gasolina mesmo em carros com motores desenvolvidos para se utilizar

apenas gasolina, procedimento que se popularizou como “rabo de galo”. Além disto, ressalta-se o crescimento das vendas dos carros bicombustíveis. Caso se mantenha a tendência de crescimento de vendas de veículo bicombustíveis e se perpetue a diferença de preço do álcool hidratado para a gasolina na bomba, então este cenário do crescimento da venda de álcool hidratado poderá de fato se concretizar.

3 CONCLUSÕES

No final da década de 1990 e início de 2000, vários países desenvolvidos e em desenvolvimento passam a implementar programas de biocombustíveis. Podem ser considerados como fatores motivadores para a implementação destes programas: a exigência do Protocolo de Quioto de redução da emissão de CO_2 , a substituição do MTBE (causador de poluição nos lençóis freáticos) e a estratégia dos países em diversificar sua matriz energética, tornando-a menos dependente do petróleo.

No caso dos Estados Unidos, apesar do país não ser signatário do Protocolo de Quioto, vem analisando a possibilidade de ampliar seu programa de etanol como combustível, existindo um projeto de lei, no congresso americano, que deve resultar em consumo de aproximadamente 18,93 bilhões de litros de etanol no ano de 2012, se forem cumpridas suas diretrizes. Na União Européia, estipulou-se prazo para a adoção de programas para o uso dos biocombustíveis. Até 2005, pretende-se que 2% de todos os combustíveis consumidos sejam originários de biomassa. Até 2010, este percentual deve se elevar para 5,75%. No Japão está em curso um programa para misturar álcool na gasolina com o intuito de reduzir a emissão de CO_2. A primeira etapa do programa japonês para misturar etanol na gasolina consistiu na regulamentação pelo governo, em 2003, de uma lei permitindo adição de até 3% de álcool à gasolina a partir de março de 2004. Pretende-se ampliar a mistura de álcool na gasolina no Japão para 10% até 2008.

Postos os fatores motivadores para os programas de biocombustíveis nos países desenvolvidos e as metas de alguns destes programas, o objetivo central deste trabalho foi realizar projeções sobre o consumo de etanol dos Estados Unidos, Japão, União Européia e Brasil até o ano de 2012, tomadas como base para avaliar as mudanças decorrentes no mercado mundial e os possíveis estímulos para a exportação de álcool anidro pelo Brasil.

A realização das projeções envolveu a previsão do consumo de gasolina nestes países até o ano de 2012, no caso da União Européia analisou-se o consumo na Alemanha, França, Itália e Reino Unido, utilizando-se do modelo Box-Jenkins de séries temporais. Após a realização das previsões de consumo de gasolina, utilizaram-se as metas de mistura de etanol, em processo de discussão nos países em questão, para delinear cenários de consumo de etanol, de acordo com as perspectivas de mistura do etanol na gasolina. No caso brasileiro, além do consumo de álcool anidro, misturado na gasolina, projetou-se o consumo de álcool hidratado, utilizado em carros movidos integralmente por esse tipo de combustível.

Para os Estados Unidos foram elaborados três cenários alternativos para o consumo de etanol misturado na gasolina. O primeiro cenário, passível de ocorrer, foi obtido com base nos níveis de consumo previstos nas legislações para o banimento do MTBE em 17 estados americanos. A projeção desse cenário resultou em um consumo mínimo de 7,2 bilhões de litros de etanol no ano de 2012. No segundo, projetou-se o consumo de etanol com o banimento do MTBE em todo o território americano. O banimento integral do MTBE naquele país desencadearia um consumo de etanol de 12,3 bilhões de litros em 2012**.** No terceiro cenário, em discussão no Congresso americano, analisam-se metas para a utilização de combustíveis renováveis nos EUA. Neste cenário, assume-se que toda a meta de substituição por combustível renovável seja atendida pelo emprego do etanol, circunstância que pode vir a ocorrer no país, dados os avanços registrados na produção e consumo desse combustível. O resultado desse cenário indica que seria atingido um consumo de 18,9 bilhões de litros de etanol no ano de 2012.

A análise conduzida permite concluir, ainda, que nos três cenários delineados para a análise, os produtores norte-americanos de milho teriam plena capacidade de suprir a oferta, mantendo-se o sistema de subsídios e tarifas incidentes sobre a importação de etanol.

Além de produzir etanol internamente, o programa de etanol americano permite uma cota de importação de 7%, sem a necessidade de pagar tarifa de importação, para os 24 países da região da América Central e Caribe integrantes do *Caribbean Basin Initiative* (CBI). O mercado de álcool norte americano que pode vir a ser explorado pelos países do CBI, segundo os cenários avaliados no presente estudo, corresponde aos seguintes volumes: 504 milhões de litros (no primeiro cenário); 865 milhões de litros (no segundo cenário); e, 1,3 bilhões de litros (no terceiro cenário).

Para o Brasil, prevalece a possibilidade de exportar etanol para o mercado norte americano, sem pagar tarifas de importação, através de triangulação pelos países do (CBI).

O Japão foi o país desenvolvido analisado que mostrou maior potencial para se tornar um grande importador de etanol brasileiro. Caso a mistura compulsória venha a ser efetivada nesse país, segundo uma base de 3% até 2007 e de 10% a partir de 2008, ocorreria uma grande expansão no consumo de etanol para cerca de 6,5 bilhões de litros no ano de 2012. Devido à dificuldade do país em produzir etanol, esses volumes precisariam ser importados para atender ao consumo doméstico.

Caso todo o montante projetado de consumo de etanol no Japão fosse importado do Brasil, isto implicaria em uma necessidade de expansão da produção de cana-de-açucar brasileira da ordem de 82 milhões de toneladas até o ano de 2012, representando uma expansão de 22% da produção de cana em relação à safra de 2003/04.

Para representar a União Européia, foram consideradas as séries históricas do consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália. O motivo para a escolha desses quatro países foi, basicamente, a elevada participação do consumo de gasolina pelo grupo, em relação ao total consumido na União Européia.

Projetou-se redução do consumo de gasolina destes países, tendo-se identificado como um dos principais fatores causadores do declínio do consumo de gasolina, o crescimento da procura do consumidor europeu por carros movidos a óleo diesel, mais econômico em relação aos motores a gasolina.

Este declínio do consumo da gasolina em comparação ao óleo diesel pode significar vantagens para o programa de biodiesel, nestes países, em detrimento do programa de etanol. A França pode ser destacada como um exemplo, pois o consumo de óleo diesel respondeu por mais de 70% do combustível consumido no ano de 2003, desencadeando déficit no consumo de diesel e superávit na gasolina.

Apesar dos indícios apontarem para um maior avanço do programa de biodiesel na União Européia, a Alemanha vem analisando a possibilidade de implantar uma mistura de etanol na gasolina da ordem de 2%. Considerando-se essa possibilidade, utilizou-se o modelo de Box-Jenkins para efetuar a projeção do consumo de gasolina até 2012 para se estimar o consumo de gasolina na Alemanha. Realizada a projeção, adotou-se a mistura de 2% de álcool na gasolina obtendo-se um consumo de etanol de 360,5 milhões de litros no ano de 2012. Para efeito de simulação, realizou-se uma projeção sobre o volume a ser consumido de etanol, caso as quatro maiores economias da União Européia também misturassem 2% de etanol na gasolina. Na soma dos quatro países europeus analisados, o consumo de etanol em 2012, seria da ordem de 1,36 bilhões de litros caso adotassem a mistura do álcool na gasolina. É importante ressaltar, no entanto, que até julho de 2005, a França, a Itália e o Reino Unido não manifestaram qualquer intenção efetiva de promover a mistura do etanol na gasolina.

Projetou-se, ainda, o consumo de álcool anidro e hidratado no Brasil. Apesar da potencialidade do mercado japonês e da possibilidade de exportar para a Alemanha, o mercado

brasileiro apresenta-se como o maior mercado potencial para o setor sucroalcooleiro brasileiro. Caso o preço do álcool hidratado se mantenha competitivo em relação ao da gasolina, este mercado possui um grande potencial de crescimento, principalmente com a possibilidade de expansão da frota de carros bicombustíveis. Com as projeções de Box-Jenkins, caso se mantenha a trajetória de crescimento de 2002 e 2003 o consumo do álcool hidratado poderá atingir 17,4 bilhões de litros em 2012.

Além do álcool hidratado, o mercado brasileiro absorve o álcool anidro, na forma de uma mistura de álcool na gasolina. A análise considerou que tal consumo depende, no entanto, do crescimento da economia e do preço da gasolina em relação ao álcool. Neste cenário, o crescimento do consumo de álcool hidratado deverá desencadear redução do consumo de gasolina.

Projetaram-se três cenários incorporando-se a variável do Produto Interno Bruto (PIB) a uma função de transferência. O primeiro cenário (Cenário I) pressupõe a ocorrência de um crescimento de 1,22% ao ano do PIB. No segundo cenário (Cenário II) pressupõe-se que o crescimento é de 2,9%; enquanto no terceiro (Cenário III), o crescimento é de 4,6%. O critério adotado levou em consideração as taxas de crescimento do PIB para os anos posteriores à implantação do Plano Real, 1993 (ano pelo qual se iniciou a primeira fase do Plano Real) até 2004. Neste sentido, o Cenário II foi identificado como representativo da taxa de crescimento moderada (2,9%), obtida a partir da média das taxas de crescimento anuais do PIB. O valor designado para o cenário com baixa taxa de crescimento (1,22%), Cenário I, refere-se à média das taxas de crescimento do PIB inferiores ao crescimento moderado, de 2,9% ao ano do PIB. O valor de 4,6% de crescimento anual do PIB, indicado como Cenário III, refere-se à média dos valores superiores a taxa de crescimento moderada.

As projeções relativas ao consumo de álcool anidro, mantendo-se a porcentagem de mistura de 25% da gasolina, apresentaram os resultados discutidos a seguir. Caso persista o Cenário I, que considera a taxa de crescimento do PIB de 1,22%, ocorrerá um decréscimo do consumo de álcool anidro, passando de aproximadamente 4,08 bilhões de litros em 2003 para 1,91 bilhões de litros em 2012, tal decréscimo é resultado do baixo crescimento econômico.

No Cenário II, ocorre crescimento moderado do consumo de álcool anidro, projetando-se consumo de 4,83 bilhões de litros em 2012. No Cenário III, ocorre um crescimento mais intenso no consumo de álcool anidro, atingindo o montante de 7,75 bilhões de litros em 2012.

Para a finalização do trabalho, dada a sua natureza prospectiva, considera-se importante ressaltar suas limitações. A primeira consiste na tarefa de se realizar previsões, principalmente relacionadas a longos períodos de tempo. A própria metodologia de Box-Jenkins reconhece este problema, ressaltando suas limitações para a realização de previsões de longo prazo. Para minimizar esta limitação recomenda-se atualizar as previsões já realizadas, incorporando-se, com o passar do tempo, novos valores observados. Além disto, faz-se importante reestimar o modelo periodicamente, pois com o passar do tempo pode ter ocorrido alterações no processo gerador da série.

A segunda limitação consiste nas séries de dados utilizadas, sendo interessante ressaltar que as séries de consumo de gasolina foram obtidas de fontes distintas e utilizando diferentes unidades de medidas. Por exemplo, a série de consumo de gasolina nos EUA foi obtida como uma média diária de barris consumidos, a unidade de medida da série japonesa está em mil litros por mês. Desta forma, tanto as séries, como as conversões, podem ter implicado em erros nas projeções. Para minimizar este problema, procurou-se comparar os valores com outras fontes de informação periódica do consumo de gasolina. Por exemplo, o *Energy Information Administration* divulgou informações relacionadas ao consumo de gasolina , em inúmeros países, no ano de 2001. Esta informação foi de fundamental importância para avaliar a veracidade dos valores obtidos com as conversões das séries.

A terceira, consiste nas projeções efetuadas para os Estados Unidos. Com relação a estas projeções podem-se citar principalmente duas limitações: Primeiramente, trabalhou-se com valores mínimos de mistura de etanol para gasolina oxigenada e reformulada, exigidos por lei. No entanto, alguns estados americanos adotam uma mistura de etanol na gasolina maior do que está exigência, embora outros sejam mais reticentes. Desta forma, a previsão pode estar subestimando a quantidade necessária de etanol para se misturar na gasolina. Uma segunda limitação deve-se à pressuposição de que a porcentagem de gasolina reformulada e oxigenada de inverno em relação à oferta total de combustível no país, deve ser mantida nos níveis iguais aos do ano de 2002. Desta forma, como podem ocorrer aumentos ou declínios da porcentagem da oferta de gasolina reformulada e oxigenada em cada estado, em relação à oferta nacional, essa pressuposição pode implicar em um certo grau de distorção para o resultado obtido.

A quarta limitação refere-se às projeções do consumo de gasolina realizadas no Brasil. A evolução do consumo de gasolina mostrou-se instável, apresentando oscilações entre períodos de

crescimento e de decréscimo na série. Para melhorar o resultado da previsão, utilizou-se o modelo de função de transferência incorporando-se a variável PIB para a realização de três cenários. Dada a instabilidade da evolução do consumo de gasolina no Brasil, devido às oscilações do PIB e às mudanças no preço da gasolina - influenciada pela taxa de câmbio, pelo preço internacional do petróleo, pelo preço do álcool anidro, pelas impostos incidentes sobre o produto, dentre outros fatores - torna-se muito limitada à possibilidade de se acertar a previsão do consumo de gasolina no Brasil. Aparentemente faz-se necessário proceder a constantes atualizações da série e novas estimações do modelo.

Concluindo-se, como o tema analisado é relativamente novo, ressalta-se para a necessidade de realização de novas pesquisas, tais como: os programas de etanol como combustível em outros países não explorados neste trabalho, como a Índia e a China; os empecilhos a serem superados para que a exportação de etanol para o Japão venha a se consolidar; a formação de preços do etanol no mercado mundial; a potencialidade de o Brasil exportar bens de capital para os países que desejam iniciar a produção de álcool como combustível; e, o impacto do programa americano de etanol no mercado mundial de milho e seus desdobramentos nos mercados de alguns produtos, como o frango, que utilizam o milho como insumo.

REFERÊNCIAS

ÁLCOOL brasileiro pode ir para o Japão. **O Estado de São Paulo,** São Paulo, 29 ago. 2003. Caderno de Economia e Negócios, p. 1.

ALVES, D.C.O.; BUENO, R.D.L.S. Short-run, long-run and cross elasticities of gasoline demand in Brazil**. Energy Economics,** Amsterdam, v. 25, p. 191-199, 2003.

BACCHI, M.R.P. **Previsão de preços de bovino, suíno e frango com modelos de séries temporais**. 1994. 172 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

BACCHI, M.R.P.; ALVES, L.R.A.; SILVEIRA, A.M. Exportações brasileiras de açúcar: um modelo de auto-regressão vetorial. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 40., 2002, Passo Fundo. **Anais...** Brasília: SOBER, 2002. 1 CD-ROM.

BAER, W. **A economia brasileira.** 4. ed. São Paulo: Livraria Nobel, 1996. 391 p.

BERG, C. **World ethanol production and trade to 2000 and beyond**. Jan. 1999. Disponível em: <http://www.distill.com/berg>. Acesso em: 29 jul. 2003.

BERG, C. **World ethanol production 2001**. July 2001. Disponível em: <http://www.distill.com/world_ethanol_ production. html>. Acesso em: 28 jul. 2003.

BERG, C. **World fuel ethanol:** some basic concepts. Tokyo. Disponível em: <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles>. Acesso em: 14 out. 2003. 52 diapositivos:color.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Ampliação da produção de etanol e co-geração de energia elétrica.** Brasília, 25 jul. 2003. 17 p. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/ conhecimento/publicações/ catalogo/ seminário-alcool.asp>. Acesso em: 1 nov. 2003.

BOX, G.E.P.; JENKINS, G.M. **Time series analysis:** forecasting and control. San Francisco: Ed. Holden-Day, 1970. 531 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **ALICE**. Disponível em: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/alice.asp> Acesso em: 12 nov. 2003.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **ALICE**. Disponível em: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/alice.asp>. Acesso em: 4 mar. 2005.

BUENO, L. Usinas criticam incentivo ao uso do GNV em automóveis. **Valor Econômico**, São Paulo, mar. 2004. Valor Especial. 27 p.

BURNQUIST, H.L.; BACCHI, M.R.P. **A demanda por gasolina no Brasil:** uma análise utilizando técnicas de co-integração. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 40., 2002, Passo Fundo. **Anais...** Brasília: SOBER, 2002. 1 CD-ROM.

CARUSO, R.C. **Análise da oferta e demanda de açúcar no estado de São Paulo**. 2002. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

COSTA, C.C. **Medidas protecionistas utilizadas pelos Estados Unidos e União Européia para o açúcar:** impacto sobre a economia das regiões exportadoras do Brasil. 2004. 291 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

COSTA, C.C.; BURNQUIST, H.L. A estratégia brasileira na guerra do açúcar**. Agroanalysis,** São Paulo, v. 24, n. 8, p. 8-9, ago. 2004.

DIESELNET. **European comission proposes to encourage alternatives fuels, starting with biofuels**. 12 Nov. 2001. Disponível em: <http://www.dieselnet.com/news/0111ec.html>. Acesso em: 20 ago. 2003.

DIPARDO, J. **Outlook for biomass ethanol production and demand.** Washington: Energy Information Administration. 13 p. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html>. Acesso em: 26 jul. 2005.

DIRECTIVA DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. **Jornal Oficial,** n. L123, p. 42-46, 17 maio 2003. Disponível em: <http://www.ebb-eu.org/legis/OJ%20promotion %20POR.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2003.

DOAN, T. **RATS - user's manual:** version 4. Evanston: Thomas Doan, 1992. 527 p.

DULAS, A.W. **Overview of the production of biofuels in the European Union.** Estocolmo: CO-OPET WP Energy issues in Transport, EU Biofuel Production, May 2004. 14 p.

DUNCAN, R.C.; YOUNGQUIST, W. **The world petroleum life-cycle.** Los Angeles: University of Southern California, 22 Oct. 1998. Disponível em: <http://www.dieoff.com/page133.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2003.

ELTONY, M.N.; AL-MUTAIRI, N.H. Demand for gasoline in Kuwait an empirical analysis using cointegration techniques. **Energy Economics,** Amstertdam, v. 17, n. 3, p. 249-253, 1995.

ENDERS, W. **Applied econometric time series.** New York: John Wiley, 1995. 425 p.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Areas participating in the oxygenated gasoline program.** Washington, 1 July 1999a. 10 p. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/emeu/steo/pub/special/oxy2.html>. Acesso em: 25 abr. 2004.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Areas participating in the reformulated gasoline program.** Washington, 1 July 1999b. 10 p. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/emeu/steo/pub/special/rfg2.html>. Acesso em: 15 jan. 2005.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Impact of renewable fuels standard/mtbe provisions of S.1766 requested by the senate energy committe.** Washington, Mar. 2002. 25 p. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/servicerpt/ mtbe/pdf/sroiaf(2002)06.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2004.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Petroleum marketing annual 2002.** Washington, Aug. 2003a. 25 p. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/petroleum/ data_publications/petroleum_marketing_annual/historical/2002/pdf/pmaall.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2003.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Alternatives to traditional transportation fuels 2000.** Washington, 2003b. 15 p. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/cneaf/alternate/page/datatables/atf1-13_00.html>. Acesso em: 10 jun. 2004.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Estimated number of alternative-fueled vehicles in use in the United States, by fuel, 1995-2004**. Washington, 2004a. 2 p. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/cneaf/alternate/page/datatables/afvtable1_03.xls>. Acesso em: 20 abr. 2004.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION**. International energy annual 2002.** Washington, 10 May 2004b. 33 p. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/iea/contents.html>. Acesso em: 30 out. 2004.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Finished motor gasoline supply, disposition, and stocks.** Washington, 2004c. Disponível em: <http://tonto.eia.doe.gov/merquery/mer_data.asp?table=T03.04>. Acesso em: 10 jun. 2004.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Statistics.** Washington, 2004d. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/emeu>. Acesso em: 6 ago. 2004.

ENVIRONMENT CANADA. **International action on climate change**: the road to kyoto. Toronto, 18 Dec. 2001. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/climate/kyotoroad-e.html>. Acesso em: 12 jun. 2003.

ETHANOLRFA. **Japan set to require ethanol blended gasoline.** Tokyo. Disponível em: <http://www.ethanolrfa.org/ereports/ er011303.html>. Acesso em: 15 set. 2003.

FAO. **FAOSTAT.** Disponível em: <http://faostat.fao.org/faostat/>. Acesso em: 15 out. 2004.

FAVA, V.F. Metodologia de Box-Jenkins para modelos univariados. In: VASCONCELLOS, M.A.S.; ALVES, D. (Coord.). **Manual de econometria.** São Paulo: Editora Atlas, 2000. cap. 10, p. 205-231.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Cana. In:_____. **Agrianual 2005:** anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2005. p. 261-286.

F.O. LICHTS. **World ethanol markets**: the outlook to 2012. London, 2003. 151 p.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T.; LUCON, O. How adequate policies can push renewables. **Energy Policy,** Cellefrouin, v. 32, n. 1, p. 1141-1146, 2004**.**

GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. **MTBE contamination from underground storage tanks.** Washington, 21 May 2002. Disponível em: <http://www.gao.gov/ new.items/ d02753t.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2003.

GUJARATI, D.N. **Econometria básica.** 3. ed. São Paulo: Makron Books, 2000. 832 p.

HARVEY, A. **The econometric analysis of time series.** 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 385 p.

HÉNARD, M.C.; AUDRAN, X. **France agricultural situation:** french biofuel situation. Washington: USDA, 29 Aug. 2003. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/gainfiles/200309/145985985.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2004.

HENKE, J.M.; KLEPPER, G.; SCHMITZ, N. **Tax exemption for biofuels in germany:** is bio-ethanol really an option for climate policy? Berlin: Germany- Kiel Institute for World Economics, June 2003. Disponível em: <http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/IEW2003/ Abstracts/2003A_henke.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2004.

HIS, S. **Panorama 2004**: biofuels in Europe. Paris: Institut Français du Pétrole, 12 Dec. 2003. Disponível em: <http://www.ifp.fr/IFP/en/files/cinfo/IFP-Panorama04_12-BiocarburantVA.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2005.

HODGE, J.T. **A cointegration analysis of U.S. energy demand elasticities**. Apr. 1999. Disponível em: <http://www.mines.edu/students/j/jhodge/Papers/ Energy%20Elasticities.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2003.

HOLMETEAD, J. **Testimony of Jeffrey Holmstead assistant administrator office of air and radiation U.S. environmental protection agency before the subcommitte on oversight and investigations of the committee on energy and commerce u.s. house of representatives.** Washington: House of Representatives, 1 Nov. 2001. 4 p. Disponível em: <http://www.epa.gov/otaq/regs/fuels/congress/nov0101.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2001.

HOWARD, C.J. et al. **Air quality effects of the winter oxyfuel program**. Washington: Environmental Protection Agency, June 1997. Disponível em: <http://www.epa.gov/otaq/regs/fuels/ostp-1.pdf >. Acesso em: 22 mar. 2004.

HYLLEBERG, S. et al. Seasonal integration and cointegration**. Journal of Econometrics,** Stanford, v. 44, n. 1, p. 215-238, 1990.

INFORMAÇÃO UNICA. São Paulo, v. 7, n. 58, 2004. Disponível em: <http://www.portalunica.com.br/files/ inf_unica/fil1833.pdf>. Acesso em: 10 out. 2004.

INFORMAÇÃO UNICA. São Paulo, v. 7, n. 64, 2005. Disponível em: <http://www.portalunica.com.br/files/ inf_unica/fil2543.pdf>. Acesso em: 15 maio 2005.

INSTITUTE OF ENERGY ECONOMICS. **Monthly of mineral resources & petroleum products statistics.** Disponível em: <http://eneken.ieej.or.jp/en/statistics/index.html>. Acesso em: 3 ago. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 24 maio 2005.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **IPEADATA.** Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ipeaweb.dll/ipeadata?31441625>. Acesso em: 20 nov. 2004.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **IPEADATA**. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 18 out. 2005.

INTERESSE do Japão ampliará áreas de plantio de cana. **Correio Popular,** Campinas, 31 out. 2003, p. 2.

INTERNATIONAL TRADE DATA SYSTEM. **Caribbean basin initiative.** 23 Apr. 2004. Disponível em: <http://www.itds.treas.gov/cbi.html>. Acesso em: 16 ago. 2005.

JABIR, I. The shift in US oil demand and its impact on OPEC' market share. **Energy Economics,** Amsterdam, v. 23, n. 1, p.659-666, 2001.

LANNEREE, B.; MONIER, V. **Bioethanol in France and Spain.** Paris: Taylor Nelson Sofres consulting, Sep. 2000. Disponível em: <http://www.novem.nl/default.asp?menuId=10&documentId =26450>. Acesso em: 11 set. 2003.

LEÃO, R.M. **Álcool, energia verde.** São Paulo: Iqual Editora, 2002. 250 p.

LIDDERDALE, T. **Motor gasoline outlook and state MTBE bans**. Washington: Energy Information Administration, 2003. 16 p. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/emeu/steo/pub/special/mtbeban.html>. Acesso em: 27 mar. 2004.

MACEDO, I.C. **Greenhouse gas emissions and bio-ethanol production/utilization in Brazil.** Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, jan. 1997. 13 p.

MANIATIS, K. **Towards a wider use of biofuels in transportation.** In: SYMPOSIUM AUTOMOTIVE FUELS, 2003, Amsterdam. 26 diapositivos: color.

MANKIW, N.G. **Introdução à economia:** princípios de micro e macroeconomia**.** 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 831 p.

MARJOTTA-MAISTRO, M.C. **Ajustes nos mercados de álcool e gasolina no processo de desregulamentação**. 2002. 180 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MORAES, M.A.F.D. **A desregulamentação do setor sucroalcooleiro brasileiro.** 1999. 284 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

MOREIRA, J.R.; GOLDEMBERG, J. **O programa do álcool.** São Paulo: Instituto de Eletrotécnica e Energia, 2000. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/clima/comunic-old/alcohol.htm>. Acesso em: 10 out. 2003.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C. **Análise de séries temporais.** São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2004. 528 p.

NASTARI, P.M. **Os atuais mercados consumidores e os mercados potenciais**: parcerias e estratégias de negócio e a garantia de oferta. In: SEMINÁRIO O BRASIL E ENERGIA DO SÉCULO 21: AÇÚCAR E ETANOL, 2004, Brasília. 47 diapositivos: color. Disponível em: <http://especiais.valoronline.com.br/seminarios/Acucar_Etanol/Plinio%20Nastari.ppt>. Acesso em: 23 jul. 2005.

NATIONAL CORN GROWERS ASSOCIATION. **The world of corn 2005**. Disponível em: <http://www.ncga.com/WorldOfCorn/main/>. Acesso em: 30 jun. 2005.

NOGUEIRA, C.E.C. **Mercado internacional de álcool combustível.** In: REUNIÃO ANUAL DA CANAPLAN, 2., 2003, Piracicaba. 23 diapositivos: color.

PLATINUMTODAY. **Diesel cars & platinum demand.** London: Platinum, 2002. Disponível em: <http://www.platinum.matthey.com/uploaded_files/publications/diesel.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2004.

PULITI, P. **Brazil-germany discuss 2% ethanol in german gasoline.** São Paulo: Agência Estado Brazil, 28 maio 2004. Disponível em: <http://www.aebrazil.com/ highlights/2004/ mai/28/39.htm>. Acesso em: 13 nov. 2004.

RAMANATHAN, R. Short and long-run elasticities of gasoline demand in India: an empirical analysis using cointegration techniques. **Energy Economics,** Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 321-330, 1999.

RASK, K. Clean air policy and oxygenated fuels: do we get what we pay for? **Energy Economics,** Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 161-177, Jan. 2004.

REGO, J.M. et al. **Economia brasileira.** São Paulo: Ed. Saraiva, 2000. 262 p.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. **Ethanol industry outlook.** New York, Feb. 2003. 20 p.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. **Ethanol industry outlook.** New York, Feb. 2005. 20 p. Disponível em: <http://www.ethanolrfa.org/outlook2003.shtml>. Acesso em: 21 jun. 2005.

RIBEIRO, S.K. **O álcool e o aquecimento global**. Rio de Janeiro: CNI/Coinfra/Coopersucar, 1997. 112 p.

SANTOS, M.H.C. **Política e políticas de uma estratégia alternativa:** o caso do Proálcool. Rio de Janeiro: Notrya, 1993. 352 p.

SHIKIDA, P.F.A. A evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil de 1975 até 1995. 191 p. 1997. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

SHIKIDA, P.F.A.; BACHA, C.J.C. Evolução da agroindústria canavieira brasileira de 1975 a 1995. **Revista Brasileira de Economia,** Rio de Janeiro, v. 53, n. 1, p. 69-89, 1999.

SILVEIRA, L.T. **Evolução do mercado internacional de etanol combustível:** perspectivas e inserção brasileira. 2001. 104 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Economia Agroindustrial) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

STALDER, S.H.G.M. **Análise da participação do Brasil no mercado internacional de açúcar**. 1997. 121 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

STATISTICS BUREAU. **Statistics handbook of japan 2004.** Disponível em: <http://www.stat.go.jp/english/data/handbook/pdf/c07cont.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2005.

STEPHENSON, J. **MTBE contamination from underground storage tanks.** Washington: Environmental Protection, 21 May 2002. 18 p.

TETTI, L. et al. **Mecanismo de desenvolvimento limpo**. Rio de Janeiro: Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, [200-]. 87 p.

THUIJL, E.V.; ROOS, C.J.; BEURESKEN, L.W.M. **An overview of biofuel technologies, markets and policies in Europe.** Amsterdam: Energy Research Centre of the Netherlands, Jan. 2003. Disponível em: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2003/c03008.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2004.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. **Estatísticas**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/pages/estatisticas>. Acesso em: 23 maio 2005.

UNITED STATES. Senate of the United States. **Bill**: S.2095. Washington, 12 Feb. 2004. 1237 p. Disponível em: <http://energy.senate.gov/legislation/energybill2004/full_text.pdf>. Acesso em: 17 out. 2004.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Interagency assessment of oxygenated fuels:** executive summary. Washington, July 1997. Disponível em: <http://www.epa.gov/otaq/regs/fuels/ ostpexec.pdf>. Acesso em: 7 out. 2003.

U.S. ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **2000 winter RFG SURVEYS oxygenate information.** Disponível em: <http://www.epa.gov/otaq/consumer /fuels/ mtbe/oxy-95-00.pdf>. Acesso em 15 nov. 2004a.

U.S. ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **2000 summer RFG SURVEYS oxygenate information.** Disponível em: <http://www.epa.gov/otaq/ consumer/fuels/ mtbe/oxy-95-00.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2004b.

UNITED NATIONS CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Un secretary-general receives Russia`s Kyoto Protocol ratification.** Disponível em: <http://unfccc.int/press/interviews_and_statements/items/3290.php>. Acesso em: 18 nov. 2004.

VANDAELE, W. **Applied time series and box-jenkins models.** London: Academic Press, 1983. 409 p.

WILSON, R.D. **Testimony of Richard D. Wilson acting assistant administrator office of air and radiation U.S. environmental protection agency before the subcommitte on health and environment committee on commerce u.s. house of representatives.** Washington: House of Representatives, 22 Apr. 1998. 7 p. Disponível em: <http://www.epa.gov/OMS/consumer/fuels/mtbe/epa-test.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2004.

YACOBUCCI, B.D. **Alternative transportation fuels and vehicles:** energy, environmental, and development issues. Washington: Congressional Research Service, The Library of Congress. 18 p. Disponível em: <http://www.ncseonline.org/nle/crsreports/05Jan/RL30758.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2004.

ZOGORSKY, J.S. et al. **Fuel oxigenates and water quality.** Washington: Environmental Protection Agency, July 1997. 50 p. Disponível em: <http://www.epa.gov/otaq/regs/fuels/ostp-2.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2004.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALVES, L.R.A. **Transmissão de preços entre produtos do setor sucroalcooleiro do estado de São Paulo.** 2002. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Consumer costs of motor gasoline per mile traveled, 1973-2002**. New York: American Petroleum Institute, 2003. Disponível em: <http://htapi-ep.api.org/filelibrary/ Consumer%20Cost %20of%20Motor%20Gasoline% 20Per% 20Mile% 20Traveled%201973-2002.pdf>. Acesso em: 1 set. 2003.

BACHA, C.J.C. **Economia e política agrícola no Brasil.** São Paulo: Ed. Atlas S.A., 2004. 226 p.

BENIRSCHKA, M.; KOO, W.W.; LOU, J. **World sugar policy simulation model:** description and computer program documentation. Fargo: North Dakota State University, Department of Agricultural Economics, 1996. 57 p.

BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS. **Açúcar e álcool**. São Paulo: BM&F, 2005. 48 p.

CARVALHO, M.A.; SILVA, C.R.L. **Economia internacional**. 2. ed. São Paulo: Ed. Saraiva, 2002. 300 p.

COSTA, C.C. **Formação de preços de açúcar e álcool combustível anidro e hidratado no estado de São Paulo**. 2000. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

DOCE vitória na OMC**. Agroanalysis**, São Paulo, v. 24, n. 8, p. 2, ago. 2004.

GARDNER, B.L. **The economics of agricultural policies.** New York: Macmillan Department of Agricultural and Resource Economics University of Maryland, 1987. 387 p.

GRANGER, C.W.J.; NEWBOLD, P. **Forecasting economic time series.** San Francisco**:** Academic Press, 338 p.

HÉNARD, M.C.; AUDRAN, X. **France agricultural situation french biofuel situation 2003**.Washington: USDA Foreign Agricultural Service, 29 Aug. 2003. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/gainfiles/200308/145985868.pdf>. Acesso em: 10 out. 2004.

HOFFMANN, R. Elasticidades-renda das despesas com alimentos em regiões metropolitanas do Brasil em 1995-96**. Informações Econômicas**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 17-24, 2002.

JENKINS, G.M. **Pratical experiences with modelling and forecasting time series.** London: Gwilym Jenkins & Partner (Overseas), 1979. 146 p.

KOIZUMI, T. **The brazilian ethanol programme**: impacts on world ethanol and sugar markets. New York: FAO Corporate Document Repository, 2003. 16 p. (FAO commodity and trade policy research working paper)

KOO, W.W. **The U.S. cane and beet sugar industry under alternative trade liberalization policy options.** Fargo: North Dakota State University, Department of Agricultural Economics, Northern Plains Trade Research Center, 2000. 25 p.

KOO, W.W.; TAYLOR, R.D. **2002 outlook of the U.S. and world sugar market.** Fargo: North Dakota, Center for Agricultural Policy and Trade Studies, 2002. 31 p. (Agribusiness & Applied Economics Report).

KRUGMAN, P.R.; OBSTFELD, M. **Economia internacional:** teoria e política**.** 4. ed. São Paulo: Makron Books, 2001. 807 p.

MARCIAL, E.C.; GRUMBACH, R.J.S. **Cenários prospectivos:** como construir um futuro melhor. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2002. 148 p.

MIRANDA, S.H.G. **Quantificação dos efeitos das barreiras não-tarifárias sobre as exportações brasileiras de carne bovina**. 1997. 121 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

MORAES, M.A.F.D.; SHIKIDA, P.F.A. (Org.). **Agroindústria canavieira no Brasil:** evolução, desenvolvimento e desafios**.** São Paulo: Ed Atlas, 2002. 367 p.

MOREIRA, J.R.; GOLDEMBERG, J. **O Programa do Álcool.** São Paulo: Instituto de Eletrônica e Energia da Universidade de São Paulo - IEE-USP. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/alcohol1.htm>. Acesso em: 10 mar. 2003.

NICHOLSON, W. **Microeconomic theory.** New York: CBS College Publishing, 1985. 768 p.

PINDYCK, R.S. **Microeconomia.** 5. ed. São Paulo: Makron Books, 1994. 711 p.

SALVATORE, D. **Economia internacional.** 6. ed**.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos – LTC. 2000. 436 p.

STATISTICAL HANDBOOK OF JAPAN 2003. **Statistics.** Disponível em: <http://www.stat.go.jp/english/data/handbook/c02cont.htm>. Acesso em: 10 fev. 2004.

UGARTE, D.T. An energy strategy based on energy dedicated crops or corn: differential economic and regional impacts**.** In: THE SOUTHERN AGRICULTURAL ECONOMICS ASSOCIATION ANNUAL MEETING, 2003, San Francisco. **Anais eletrônicos**... Disponível em: <http://apacweb.ag.utk.edu/ppap/pp03/bio/DanieltuSAEA03.pdf>. Acesso em: 3 out. 2003.

VIAN, C.E.F. **Agroindústria canavieira.** Campinas: Ed. Átomo, 2003. 215 p.

VISÃO AGRÍCOLA. Cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, v.1, jan./jun. 2004, 110 p.

ANEXOS

ANEXO A – Curva de aprendizagem relativa a produção de etanol no Brasil

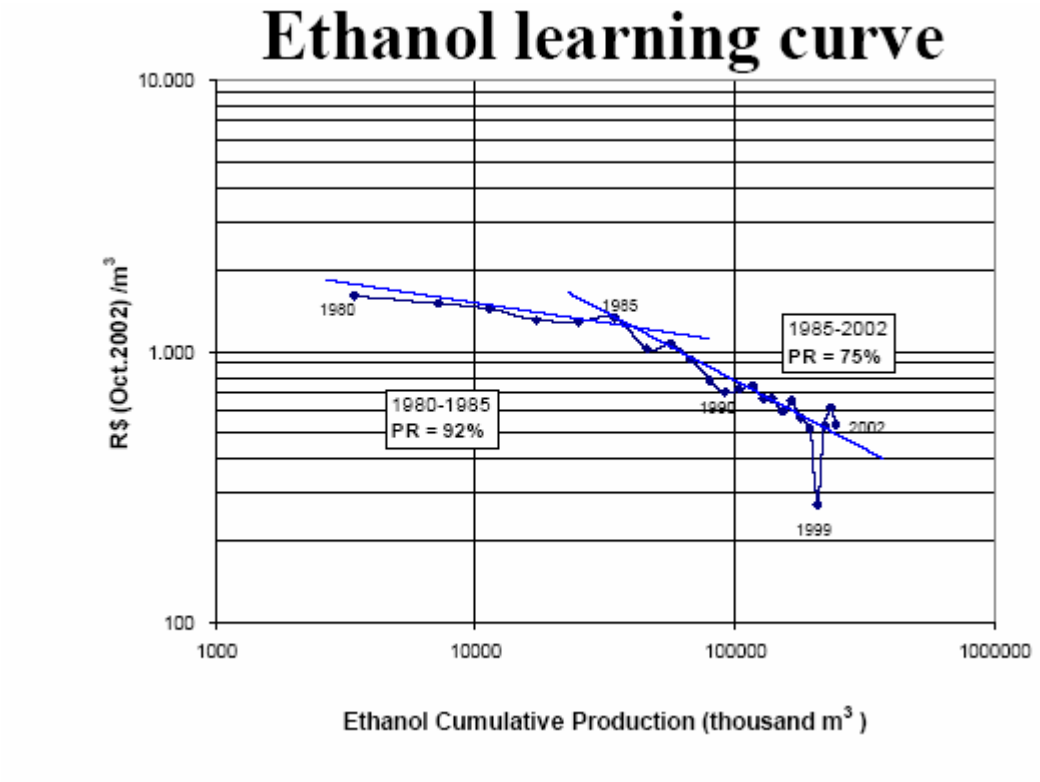

Figura 49 - Curva de aprendizagem relativa à produção de etanol no Brasil

Fonte: Goldemberg; Coelho; Lucon (2004)

ANEXO B – Cenários relativos a importação de etanol como combustível

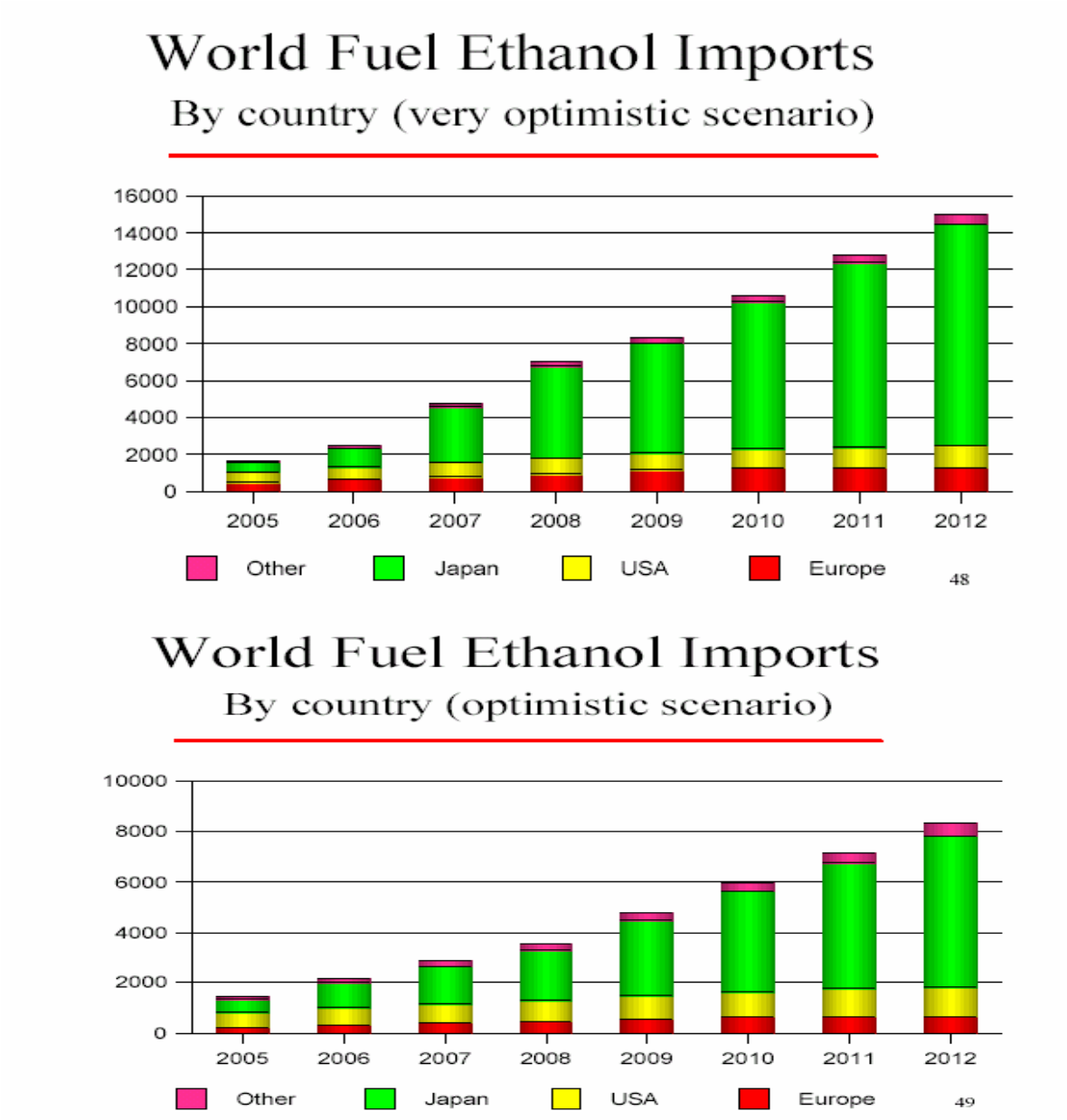

Figura 50 - Cenários otimista e muito otimista com relação a importação de etanol

Fonte: Berg (2003)

ANEXO C – Produção de etanol no mundo

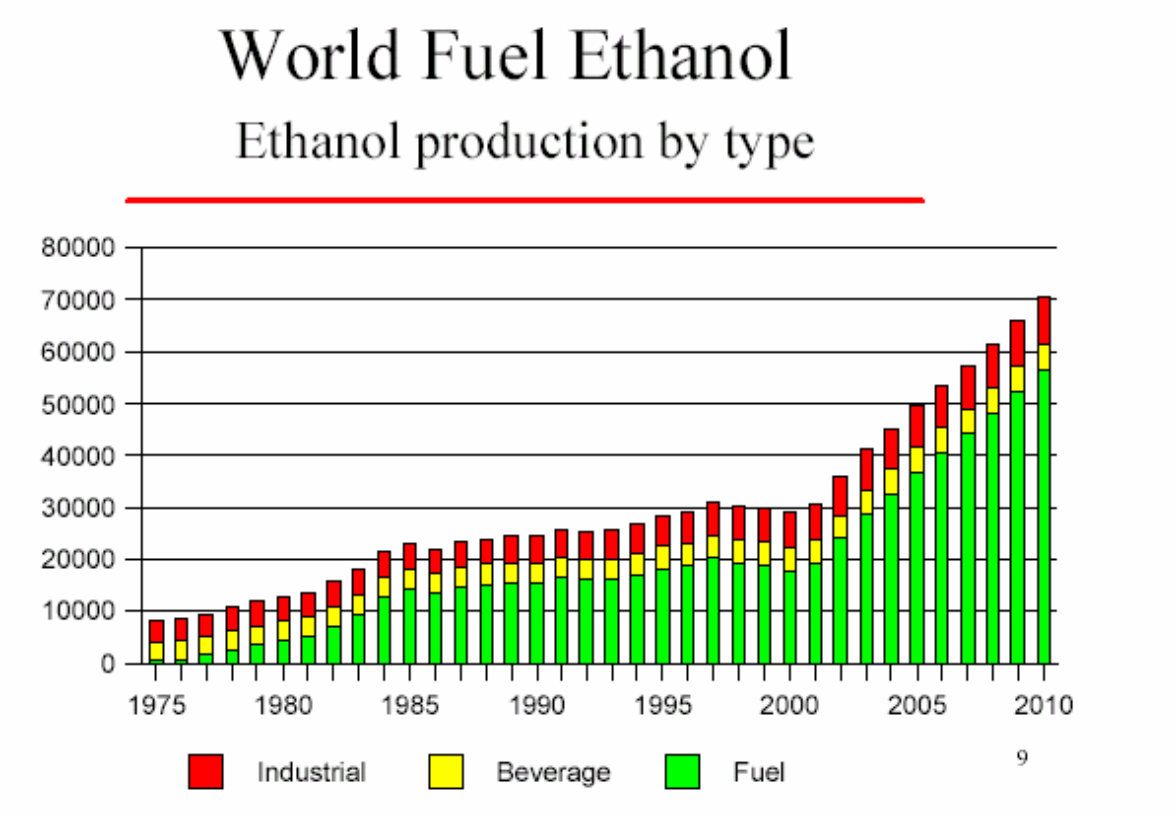

Figura 51 - Gráfico sobre a produção de etanol no mundo, em milhões de litros

Fonte: Berg (2003)

ANEXO D – Evolução da produção mundial dos principais países produtores de etanol

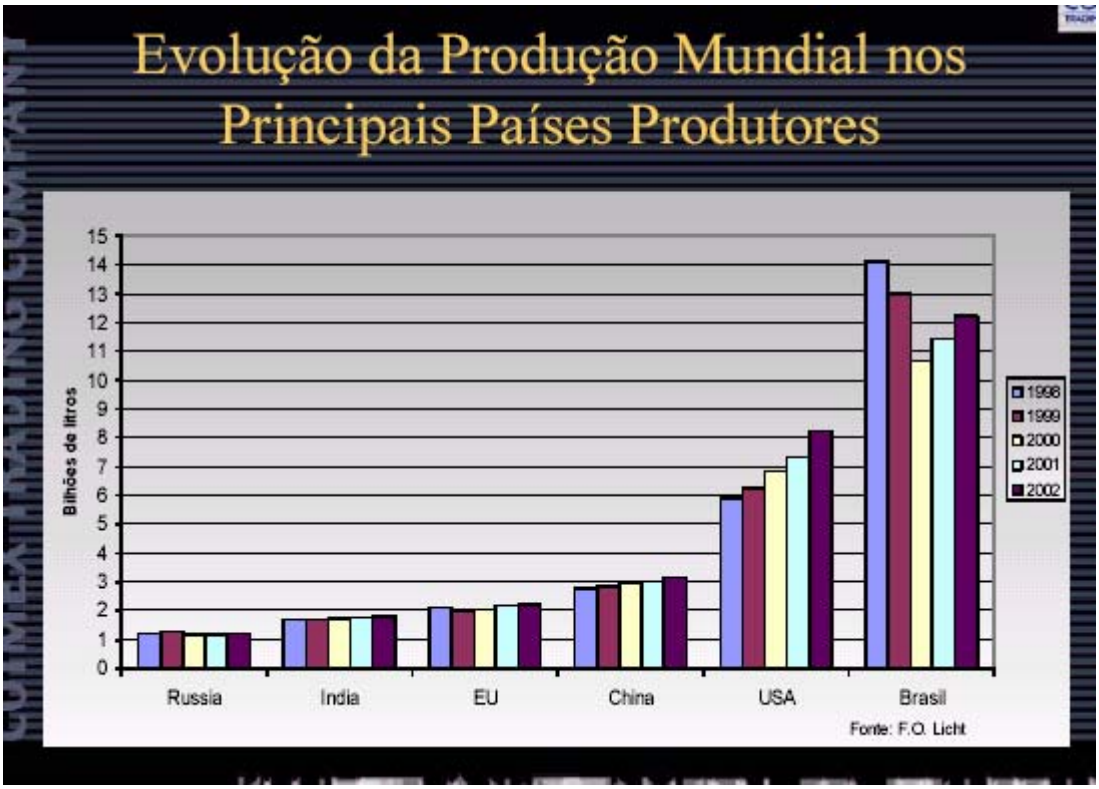

Figura 52 - Evolução da produção mundial nos principais países produtores, período: 1998 até 2002

Fonte: Nogueira (2003)

ANEXO E – Importação de etanol para diversos fins

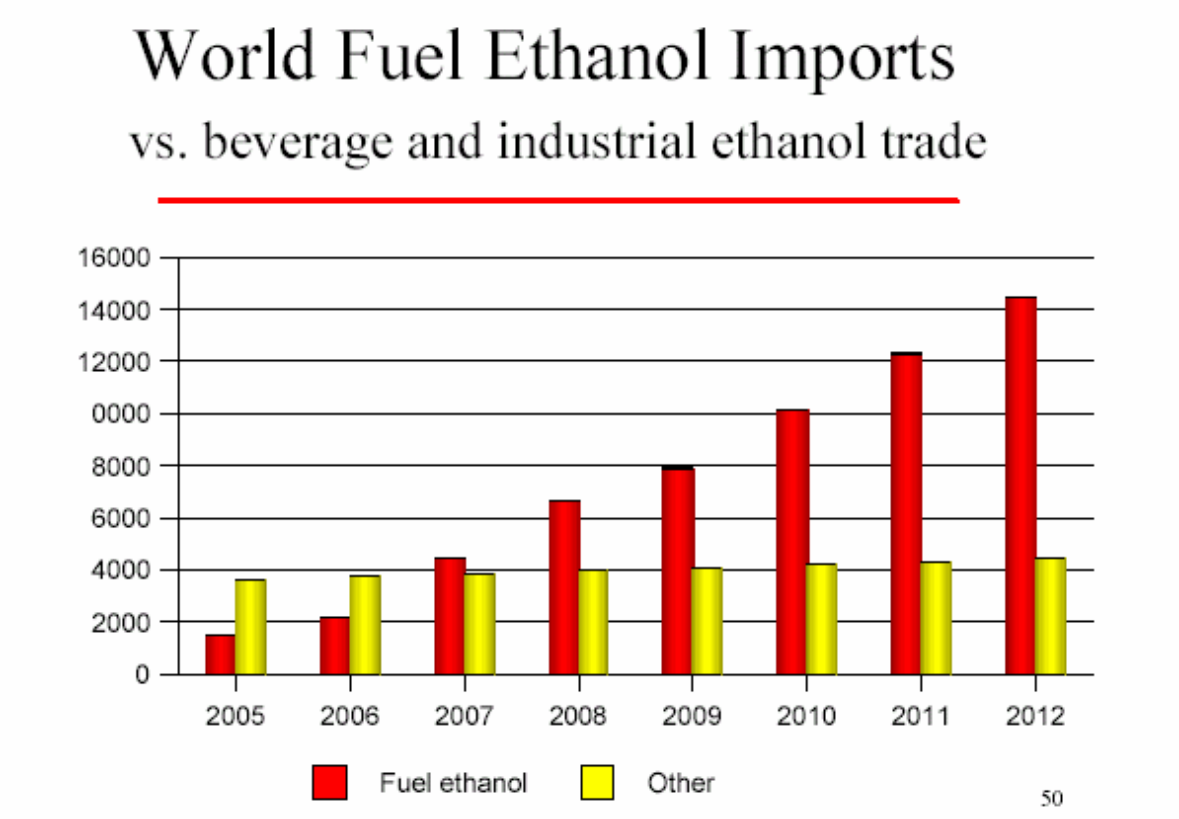

Figura 53 - Importação de etanol utilizada para combustível e outros fins

Fonte: Berg (2003)

ANEXO F – Áreas produtoras de etanol nos Estados Unidos

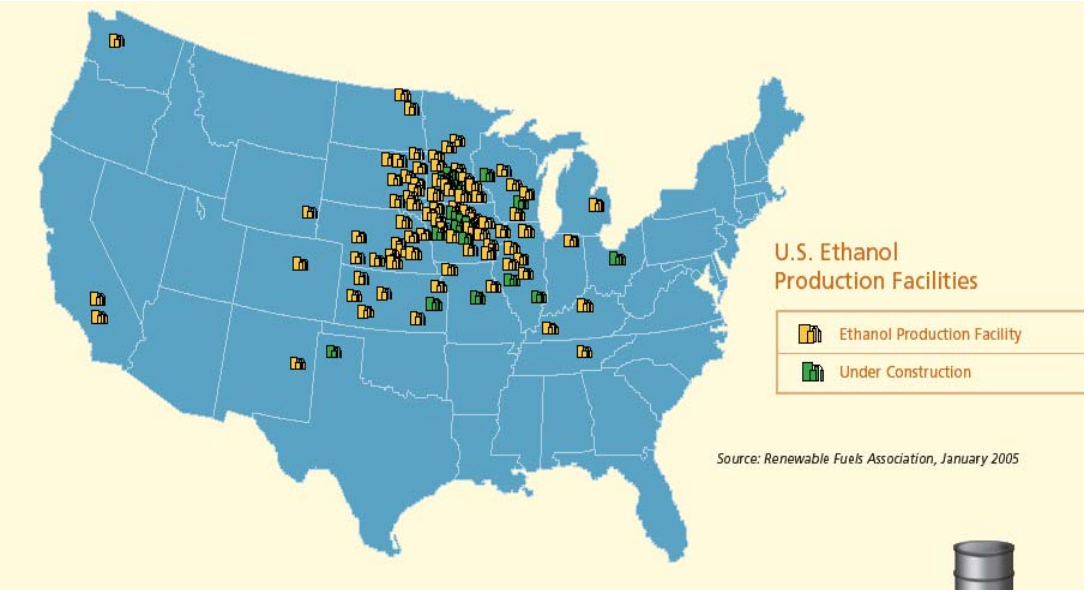

Figura 54 - Mapa da localização das plantas industriais de produção de etanol nos Estados Unidos

Fonte: Renewable Fuels Association (2005)

Tabela 62 - Capacidade de produção de etanol nos estados produtores em 2003

Estados	**Milhões de galões/ ano**
Illinois	766
Iowa	695
Nebraska	422
Minnesota	393,6
South Dakota	371
Indiana	95
Missouri	80
Kansas	79,5
Wisconsin	79
Tennessee	65
Michigan	45
North Dakota	33,5
Kentucky	24
New México	15
California	9
Idaho	6
Wyoming	5
Florida	4
Colorado	1,5
Washington	0,7
Total	3.189,8

Fonte: Renewable Fuels Association (2003)

ANEXO G – Dados

Tabela 63 - Oferta de gasolina para motores nos EUA (milhões de barris por dia), período: 1º tri. 1973 ao 4º tri. 2003

Período	Oferta de gasolina	Período	Oferta de gasolina	Período	Oferta de gasolina	Período	Oferta de gasolina
1° tri / 1973	6,34	**1° tri / 1980**	6,44	**1° tri / 1990**	7,13	**1° tri / 2000**	8,25
2° tri / 1973	6,77	**2° tri / 1980**	6,73	**2° tri / 1990**	7,21	**2° tri / 2000**	8,32
3° tri / 1973	6,95	**3° tri / 1980**	6,63	**3° tri / 1990**	7,45	**3° tri / 2000**	8,7
4° tri / 1973	6,57	**4° tri / 1980**	6,51	**4° tri / 1990**	7,3	**4° tri / 2000**	8,61
1° tri / 1974	6,02	**1° tri / 1981**	6,44	**1° tri / 1991**	6,95	**1° tri / 2001**	8,38
2° tri / 1974	6,7	**2° tri / 1981**	6,5	**2° tri / 1991**	6,99	**2° tri / 2001**	8,44
3° tri / 1974	6,8	**3° tri / 1981**	6,82	**3° tri / 1991**	7,48	**3° tri / 2001**	8,8
4° tri / 1974	6,6	**4° tri / 1981**	6,54	**4° tri / 1991**	7,29	**4° tri / 2001**	8,72
1° tri / 1975	6,2	**1° tri / 1982**	6,28	**1° tri / 1992**	7,03	**1° tri / 2002**	8,49
2° tri / 1975	6,89	**2° tri / 1982**	6,67	**2° tri / 1992**	7,11	**2° tri / 2002**	8,67
3° tri / 1975	6,92	**3° tri / 1982**	6,74	**3° tri / 1992**	7,47	**3° tri / 2002**	9,12
4° tri / 1975	6,65	**4° tri / 1982**	6,5	**4° tri / 1992**	7,35	**4° tri / 2002**	8,93
1° tri / 1976	6,51	**1° tri / 1983**	6,2	**1° tri / 1993**	7,04	**1° tri / 2003**	8,54
2° tri / 1976	7,16	**2° tri / 1983**	6,63	**2° tri / 1993**	7,31	**2° tri / 2003**	9,01
3° tri / 1976	7,19	**3° tri / 1983**	6,89	**3° tri / 1993**	7,68	**3° tri / 2003**	9,18
4° tri / 1976	7,03	**4° tri / 1983**	6,64	**4° tri / 1993**	7,62	**4° tri / 2003**	8,99
1° tri / 1977	6,76	**1° tri / 1984**	6,44	**1° tri / 1994**	7,39		
2° tri / 1977	7,32	**2° tri / 1984**	6,7	**2° tri / 1994**	7,4		
3° tri / 1977	7,39	**3° tri / 1984**	7,01	**3° tri / 1994**	7,81		
4° tri / 1977	7,23	**4° tri / 1984**	6,7	**4° tri / 1994**	7,71		
1° tri / 1978	6,93	**1° tri / 1985**	6,53	**1° tri / 1995**	7,51		
2° tri / 1978	7,61	**2° tri / 1985**	6,73	**2° tri / 1995**	7,64		
3° tri / 1978	7,61	**3° tri / 1985**	7,02	**3° tri / 1995**	8		
4° tri / 1978	7,46	**4° tri / 1985**	6,92	**4° tri / 1995**	7,92		
1° tri / 1979	7,1	**1° tri / 1986**	6,69	**1° tri / 1996**	7,62		
2° tri / 1979	7,15	**2° tri / 1986**	6,84	**2° tri / 1996**	7,75		
3° tri / 1979	7,04	**3° tri / 1986**	7,25	**3° tri / 1996**	8,1		
4° tri / 1979	6,85	**4° tri / 1986**	7,18	**4° tri / 1996**	8,03		
		1° tri / 1987	6,85	**1° tri / 1997**	7,66		
		2° tri / 1987	7,02	**2° tri / 1997**	7,84		
		3° tri / 1987	7,53	**3° tri / 1997**	8,31		
		4° tri / 1987	7,28	**4° tri / 1997**	8,13		
		1° tri / 1988	7,03	**1° tri / 1998**	7,88		
		2° tri / 1988	7,26	**2° tri / 1998**	8,01		
		3° tri / 1988	7,53	**3° tri / 1998**	8,49		
		4° tri / 1988	7,41	**4° tri / 1998**	8,42		
		1° tri / 1989	7,15	**1° tri / 1999**	8,1		
		2° tri / 1989	7,23	**2° tri / 1999**	8,22		
		3° tri / 1989	7,48	**3° tri / 1999**	8,74		
		4° tri / 1989	7,42	**4° tri / 1999**	8,48		

Fonte: Energy Information Administration (2004d)

Tabela 64 - Quantidade vendida de gasolina para utilização comercial no Japão, unidade de medida: milhões de litros, período: 1º tri. 1990 até 4º tri. 2003

Período	Venda de gasolina	**Período**	Venda de gasolina
1° tri / 1990	10318	**1° tri / 2000**	13539
2° tri / 1990	10693	**2° tri / 2000**	14137
3° tri / 1990	12139	**3° tri / 2000**	15891
4° tri / 1990	11295	**4° tri / 2000**	14633
1° tri / 1991	10655	**1° tri / 2001**	13709
2° tri / 1991	11110	**2° tri / 2001**	14164
3° tri / 1991	12294	**3° tri / 2001**	15843
4° tri / 1991	11742	**4° tri / 2001**	14963
1° tri / 1992	10994	**1° tri / 2002**	13850
2° tri / 1992	11401	**2° tri / 2002**	14353
3° tri / 1992	12602	**3° tri / 2002**	16191
4° tri / 1992	12065	**4° tri / 2002**	15213
1° tri / 1993	11084	**1° tri / 2003**	14162
2° tri / 1993	11695	**2° tri / 2003**	14695
3° tri / 1993	12644	**3° tri / 2003**	15791
4° tri / 1993	12393	**4° tri / 2003**	15479
1° tri / 1994	11503		
2° tri / 1994	12072		
3° tri / 1994	13805		
4° tri / 1994	12750		
1° tri / 1995	11725		
2° tri / 1995	12243		
3° tri / 1995	13919		
4° tri / 1995	13068		
1° tri / 1996	12398		
2° tri / 1996	12778		
3° tri / 1996	14139		
4° tri / 1996	13503		
1° tri / 1997	12612		
2° tri / 1997	13212		
3° tri / 1997	14634		
4° tri / 1997	13763		
1° tri / 1998	12709		
2° tri / 1998	13499		
3° tri / 1998	14946		
4° tri / 1998	14207		
1° tri / 1999	13129		
2° tri / 1999	13787		
3° tri / 1999	15326		
4° tri / 1999	14599		

Fonte: The Institute of Energy Economics (2004)

Tabela 65 - Consumo de gasolina trimestral na França, unidade de medida: bilhões de litros, período: 1° tri. 1990 até 4° tri. 2003

Período	Consumo de gasolina	**Período**	Consumo de gasolina
1° tri / 1990	36,55	**1° tri / 2000**	27,77
2° tri / 1990	40,52	**2° tri / 2000**	30,67
3° tri / 1990	41,41	**3° tri / 2000**	31,08
4° tri / 1990	37,03	**4° tri / 2000**	28,05
1° tri / 1991	34,08	**1° tri / 2001**	26,61
2° tri / 1991	38,73	**2° tri / 2001**	29,62
3° tri / 1991	42,33	**3° tri / 2001**	31,3
4° tri / 1991	37,37	**4° tri / 2001**	28,23
1° tri / 1992	34,51	**1° tri / 2002**	25,97
2° tri / 1992	38,33	**2° tri / 2002**	28,72
3° tri / 1992	40,87	**3° tri / 2002**	30,51
4° tri / 1992	36,39	**4° tri / 2002**	26,53
1° tri / 1993	33,37	**1° tri / 2003**	24,12
2° tri / 1993	37,77	**2° tri / 2003**	27,37
3° tri / 1993	39,67	**3° tri / 2003**	28,45
4° tri / 1993	34,78	**4° tri / 2003**	24,73
1° tri / 1994	32,39		
2° tri / 1994	36,12		
3° tri / 1994	38,56		
4° tri / 1994	33,55		
1° tri / 1995	30,95		
2° tri / 1995	34,47		
3° tri / 1995	35,75		
4° tri / 1995	32,33		
1° tri / 1996	29,56		
2° tri / 1996	32,97		
3° tri / 1996	34,71		
4° tri / 1996	30,67		
1° tri / 1997	28,14		
2° tri / 1997	32,33		
3° tri / 1997	34,31		
4° tri / 1997	30,04		
1° tri / 1998	28,07		
2° tri / 1998	31,87		
3° tri / 1998	33,87		
4° tri / 1998	30,28		
1° tri / 1999	27,75		
2° tri / 1999	32,1		
3° tri / 1999	33,74		
4° tri / 1999	29,74		

Fonte: The Institute of Energy Economics (2004)

Tabela 66 - Consumo trimestral de gasolina na Alemanha: Bilhões de litros, período: 1° tri. 1990 até 4° tri. 2003

Período	Consumo de gasolina	**Período**	Consumo de gasolina
1° tri / 1990	53,16	**1° tri / 2000**	57,35
2° tri / 1990	57,75	**2° tri / 2000**	64,01
3° tri / 1990	60,01	**3° tri / 2000**	63,47
4° tri / 1990	58,26	**4° tri / 2000**	60,9
1° tri / 1991	60,32	**1° tri / 2001**	54,23
2° tri / 1991	71,34	**2° tri / 2001**	60,94
3° tri / 1991	64,91	**3° tri / 2001**	61,96
4° tri / 1991	67,75	**4° tri / 2001**	61,26
1° tri / 1992	61,89	**1° tri / 2002**	54,84
2° tri / 1992	67,93	**2° tri / 2002**	59,33
3° tri / 1992	68,97	**3° tri / 2002**	60,01
4° tri / 1992	69,31	**4° tri / 2002**	57,78
1° tri / 1993	62,31	**1° tri / 2003**	51,46
2° tri / 1993	68,11	**2° tri / 2003**	57,36
3° tri / 1993	69,84	**3° tri / 2003**	56,91
4° tri / 1993	68,69	**4° tri / 2003**	54,72
1° tri / 1994	59,13		
2° tri / 1994	65,04		
3° tri / 1994	65,92		
4° tri / 1994	64,1		
1° tri / 1995	60,61		
2° tri / 1995	65,93		
3° tri / 1995	66,77		
4° tri / 1995	63,73		
1° tri / 1996	60,02		
2° tri / 1996	65,15		
3° tri / 1996	66,41		
4° tri / 1996	64,44		
1° tri / 1997	59,8		
2° tri / 1997	66,59		
3° tri / 1997	65,99		
4° tri / 1997	65,21		
1° tri / 1998	61,13		
2° tri / 1998	65,41		
3° tri / 1998	66,65		
4° tri / 1998	65,11		
1° tri / 1999	61,09		
2° tri / 1999	65,55		
3° tri / 1999	65,9		
4° tri / 1999	65,48		

Fonte: The Institute of Energy Economics (2004)

Tabela 67 - Consumo trimestral de gasolina na Itália: Bilhões de litros, período: 1° tri. 1990 até 4° tri . 2003

Período	Consumo de gasolina	**Período**	Consumo de gasolina
1° tri / 1990	26,73	**1° tri / 2000**	34,48
2° tri / 1990	29,51	**2° tri / 2000**	37,08
3° tri / 1990	30,59	**3° tri / 2000**	37,08
4° tri / 1990	29,55	**4° tri / 2000**	34,96
1° tri / 1991	28,28	**1° tri / 2001**	33,57
2° tri / 1991	31,64	**2° tri / 2001**	35,91
3° tri / 1991	33,71	**3° tri / 2001**	36,41
4° tri / 1991	32,81	**4° tri / 2001**	34,85
1° tri / 1992	31,04	**1° tri / 2002**	32,65
2° tri / 1992	34,25	**2° tri / 2002**	34,34
3° tri / 1992	35,88	**3° tri / 2002**	35,74
4° tri / 1992	34,89	**4° tri / 2002**	33,74
1° tri / 1993	31,74	**1° tri / 2003**	30,63
2° tri / 1993	35,95	**2° tri / 2003**	33,78
3° tri / 1993	37,07	**3° tri / 2003**	34,13
4° tri / 1993	35,77	**4° tri / 2003**	32,13
1° tri / 1994	33,37		
2° tri / 1994	36,59		
3° tri / 1994	38,15		
4° tri / 1994	36,4		
1° tri / 1995	34,9		
2° tri / 1995	37,59		
3° tri / 1995	39,27		
4° tri / 1995	37,35		
1° tri / 1996	34,85		
2° tri / 1996	38,04		
3° tri / 1996	39,49		
4° tri / 1996	38,38		
1° tri / 1997	34,39		
2° tri / 1997	38,44		
3° tri / 1997	39,93		
4° tri / 1997	38,23		
1° tri / 1998	35,52		
2° tri / 1998	38,84		
3° tri / 1998	40,18		
4° tri / 1998	38,82		
1° tri / 1999	35,16		
2° tri / 1999	38,79		
3° tri / 1999	39,37		
4° tri / 1999	37,68		

Fonte: The Institute of Energy Economics (2004)

Tabela 68 - Consumo trimestral de gasolina no Reino Unido: Bilhões de litros, período: 1° tri. 1990 até 4° tri. 2003

Período	Consumo de gasolina	**Período**	Consumo de gasolina
1° tri / 1990	50,48	**1° tri / 2000**	44,4
2° tri / 1990	52,6	**2° tri / 2000**	44,74
3° tri / 1990	52,98	**3° tri / 2000**	45,71
4° tri / 1990	51,31	**4° tri / 2000**	47,23
1° tri / 1991	48,37	**1° tri / 2001**	43,31
2° tri / 1991	51,72	**2° tri / 2001**	45,67
3° tri / 1991	52,97	**3° tri / 2001**	44,57
4° tri / 1991	51,85	**4° tri / 2001**	44,68
1° tri / 1992	49,01	**1° tri / 2002**	43,09
2° tri / 1992	51,83	**2° tri / 2002**	43,12
3° tri / 1992	51,93	**3° tri / 2002**	41,27
4° tri / 1992	51,5	**4° tri / 2002**	40,99
1° tri / 1993	49,14	**1° tri / 2003**	39,38
2° tri / 1993	50,89	**2° tri / 2003**	43,81
3° tri / 1993	51,4	**3° tri / 2003**	43,77
4° tri / 1993	51,28	**4° tri / 2003**	40,75
1° tri / 1994	46,64		
2° tri / 1994	49,03		
3° tri / 1994	49,82		
4° tri / 1994	49,64		
1° tri / 1995	44,52		
2° tri / 1995	47,32		
3° tri / 1995	47,3		
4° tri / 1995	47,91		
1° tri / 1996	45,07		
2° tri / 1996	48,19		
3° tri / 1996	48,47		
4° tri / 1996	48,93		
1° tri / 1997	45,32		
2° tri / 1997	49,34		
3° tri / 1997	47,39		
4° tri / 1997	47,76		
1° tri / 1998	46,07		
2° tri / 1998	45,69		
3° tri / 1998	47,15		
4° tri / 1998	47,37		
1° tri / 1999	44,56		
2° tri / 1999	45,48		
3° tri / 1999	46,65		
4° tri / 1999	46,81		

Fonte: The Institute of Energy Economics (2004)

Tabela 69 - Consumo de gasolina trimestral no Brasil. Estimativa de quantidade média de barris consumidos por dia, período: 1° tri. 1991 até 4° tri. 2003

Período	Consumo de gasolina	**Período**	Consumo de gasolina
1° tri / 1991	153,33	**1° tri / 2000**	293
2° tri / 1991	179,33	**2° tri / 2000**	300,66
3° tri / 1991	183,33	**3° tri / 2000**	293,33
4° tri / 1991	187	**4° tri / 2000**	317,33
1° tri / 1992	174,33	**1° tri / 2001**	304
2° tri / 1992	172	**2° tri / 2001**	312,33
3° tri / 1992	181,66	**3° tri / 2001**	292,33
4° tri / 1992	173	**4° tri / 2001**	294,33
1° tri / 1993	172,33	**1° tri / 2002**	297,33
2° tri / 1993	185	**2° tri / 2002**	289,33
3° tri / 1993	184,66	**3° tri / 2002**	288,33
4° tri / 1993	187,66	**4° tri / 2002**	297,66
1° tri / 1994	189,66	**1° tri / 2003**	264
2° tri / 1994	190	**2° tri / 2003**	275,66
3° tri / 1994	193,33	**3° tri / 2003**	280,33
4° tri / 1994	225,33	**4° tri / 2003**	304
1° tri / 1995	228,66		
2° tri / 1995	232,66		
3° tri / 1995	245,66		
4° tri / 1995	262,33		
1° tri / 1996	271,66		
2° tri / 1996	271		
3° tri / 1996	285		
4° tri / 1996	303		
1° tri / 1997	296,66		
2° tri / 1997	301		
3° tri / 1997	310,66		
4° tri / 1997	331,33		
1° tri / 1998	304,66		
2° tri / 1998	310		
3° tri / 1998	307,33		
4° tri / 1998	329		
1° tri / 1999	314,66		
2° tri / 1999	312		
3° tri / 1999	303,33		
4° tri / 1999	309		

Fonte: IPEA (2004)

Tabela 70 - Evolução do PIB no Brasil – adotando-se a Base Móvel, período: 1° tri. 1991 até 4° tri. 2003

Período	PIB	**Período**	PIB
1° tri / 1991	90,62	**1° tri / 2000**	99,9
2° tri / 1991	102,89	**2° tri / 2000**	104,92
3° tri / 1991	109,34	**3° tri / 2000**	106,86
4° tri / 1991	102,18	**4° tri / 2000**	104,35
1° tri / 1992	95,01	**1° tri / 2001**	99,2
2° tri / 1992	99,66	**2° tri / 2001**	102,69
3° tri / 1992	103,49	**3° tri / 2001**	103,23
4° tri / 1992	100,65	**4° tri / 2001**	99,85
1° tri / 1993	98,04	**1° tri / 2002**	98,15
2° tri / 1993	105,01	**2° tri / 2002**	103,11
3° tri / 1993	109,25	**3° tri / 2002**	105,2
4° tri / 1993	105,43	**4° tri / 2002**	102,62
1° tri / 1994	97,47	**1° tri / 2003**	97,91
2° tri / 1994	103,16	**2° tri / 2003**	100,1
3° tri / 1994	110,85	**3° tri / 2003**	101,59
4° tri / 1994	110,99	**4° tri / 2003**	100,23
1° tri / 1995	100,82		
2° tri / 1995	103,3		
3° tri / 1995	106,17		
4° tri / 1995	103,34		
1° tri / 1996	95,91		
2° tri / 1996	101,8		
3° tri / 1996	108,73		
4° tri / 1996	104,31		
1° tri / 1997	97,48		
2° tri / 1997	103,35		
3° tri / 1997	107,29		
4° tri / 1997	103,63		
1° tri / 1998	95,41		
2° tri / 1998	102,47		
3° tri / 1998	104,55		
4° tri / 1998	98,77		
1° tri / 1999	96,45		
2° tri / 1999	102,11		
3° tri / 1999	104,1		
4° tri / 1999	101,85		

Fonte: IPEA (2004)

ANEXO H – Teste de Akaike e Schwarz para a série americana

Os 8 “lags” utilizados no teste de Dickey-Fuller, para a série americana, foram extraídos do teste Akaike e Schwarz como pode se visualizar na tabela 71.

Tabela 71 - Teste de Akaike e Schwarz para a série americana

lags	Akaike	schwarz
1	-203.1657	
2	-300.2151	-292.3109
3	-309.3024	-298.7635
4	-349.4755	-336.3019
5	-356.6010	-340.7926
6	-356.6064	-338.1633
7	-366.6780	**-345.6002**
8	**-367.4274**	-343.7149
9	-365.4309	-339.0836
10	-363.8724	-334.8904
11	-364.3931	-332.7764
12	-362.4929	-328.2414
13	-362.0153	-325.1291
14	-360.1591	-320.6381
15	-359.8073	-317.6517
16	-358.9440	-314.1536

Os resultados obtidos pelo teste de akaike apontam para 8 defasagens, ao passo que o teste de Schwarz apontou para 7 defasagens. Tal resultado além de ser útil para a realização do teste de *Dickey-Fuller*, também é útil para se identificar o processo AR gerador da série.

ANEXO I - Processo de identificação para o consumo de gasolina no Japão

A figura 55 ilustra os resultados da função de autocorrelação da demanda por gasolina no Japão. Efetuando-se a primeira análise visual da FAC nota-se que a função de autocorrelação declina "suavemente", sinalizando-se para a não estacionariedade da série.

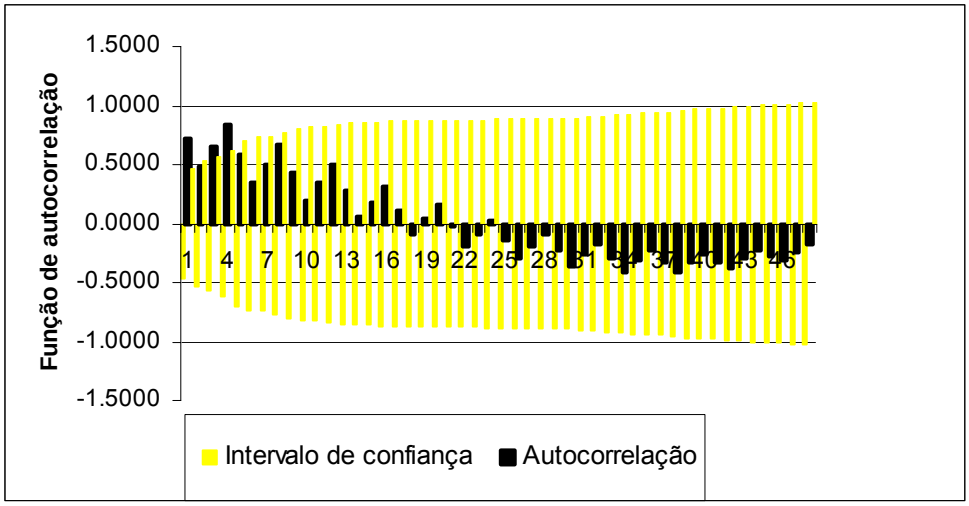

Figura 55 - Função de Autocorrelação do consumo de gasolina no Japão

Os testes Akaike e Schwarz para a série de consumo de gasolina no Japão apontaram para a utilização de 3 "lags" no teste de Dickey-Fuller, ver Tabela 72.

Tabela 72 - testes de Akaike e Schwarz

lags	Akaike	Schwarz
1	-54.9623	-51.5846
2	-125.7169	-120.6503
3	**-173.7401**	**-166.9846**
4	-173.2635	-164.8191
5	-171.4823	-161.3491
6	-169.8525	-158.0304
7	-169.7683	-156.2573
8	-170.1721	-154.9721
9	-171.3471	-154.4583
10	-170.0654	-151.4877

Além da visualização gráfica da autocorrelação e autocorrelação parcial realizou-se o teste de raiz unitária de Dickey-Fuller com o intuito de averiguar a estacionariedade da série e a ordem de integração do modelo. Na primeira e na segunda etapa utiliza-se a estimativa da equação (63) para a realização dos testes τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$.

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (63)$$

Utilizou-se 3 “lags” para se efetuar o teste de Dickey-Fuller seguindo os resultados do teste de Akaike. Os resultados estão ilustrados na Tabela 73. A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo rats: Q(13-0) = 10,51 com nível de significância Q de 0,65 .

Tabela 73 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$, para a série de consumo de gasolina no Japão

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ_τ = -0,017	τ_τ = -4,15
$a_2 = 0$	$\tau_{\beta\tau}$ = -0,280	$\tau_{\beta\tau}$ = 3,60

Como na primeira e na segunda etapa não se pode rejeitar as hipóteses H0, o que significaria a estacionariedade da série. Realiza-se a terceira etapa do teste de Dickey-Fuller, utilizando-se as estimativas da equação (64).

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{64}$$

Os resultados estão expressos na Tabela 74. A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo rats: Q(13-0) = 9,85 com nível de significância Q de 0,70.

Tabela 74 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_μ e $\tau_{\alpha\mu}$, para a série de consumo de gasolina no Japão

H0	**Valores calculados**	**Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01**
$\gamma = 0$	τ_μ = -2,572	τ_μ = -3,58
a_0 **= 0**	$\tau_{\alpha\mu}$ = 2,691	$\tau_{\alpha\mu}$ = 3,28

Como os resultados obtidos ainda não foram suficientes para rejeitar a existência de raiz unitária na série, realiza-se a etapa 4 com as estimativas da equação (65), Tabela 75.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{65}$$

Os resultados obtidos não apresentaram autocorrelação dos resíduos. Como demonstra o resultado do teste Q(13-0) =11,09 com nível de significância de 0,603.

Tabela 75 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , para a série de consumo de gasolina no Japão

H_0	**Valores calculados**	**Valores tabelados (50 observações) Nível de significância = 0,01**
$\gamma = 0$	τ = 9,108	τ = -2,62

Feitos os testes de Dickey-Fuller aceita-se a não estacionariedade da série. A próxima etapa consiste em analisar a sua ordem de integração. Com quantas diferenças a série se tornará estacionária. Para se efetivar está análise necessita-se repetir os procedimentos da quarta etapa do teste de Dickey-Fuller, mas agora com duas diferenças, ilustrado na equação 66. Os resultados estão disponíveis na tabela 76.

$$\Delta\Delta y_t = \gamma\Delta y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (66)$$

Tabela 76 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença , para a série de consumo de gasolina no Japão

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -13,67	τ = -2,62

Ao se rejeitar H0, aceita-se a estacionariedade da série. Desta forma, a ordem de integração da série é 1. Com uma diferença a série se torna estacionária.

Após se extrair a primeira diferença, repete-se a análise gráfica da FAC, com o intuito de se analisar a estacionariedade sazonal da série. Pela análise da Figura 56, existem evidências de que o modelo é sazonalmente não estacionário.

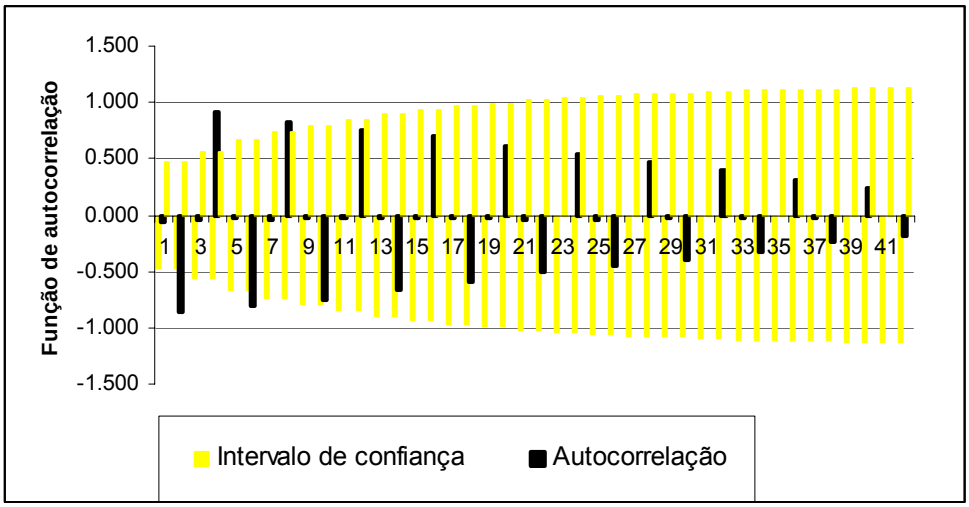

Figura 56 - Autocorrelação da demanda de gasolina no Japão após a diferença

TESTE DE ESTACIONARIEDADE SAZONAL

Com o intuito de corroborar com a análise da visualização gráfica da Função de Autocorrelação para se analisar a estacionariedade sazonal da série, utiliza-se o teste de Hylleberg. Para a realização do teste necessita-se obter as variáveis expressas na equação 67, 68, 69,70 e 71:

$$v_5 = (y(t-1)+y(t-2)+y(t-3)+y(t-4)) \quad (67)$$

$$v_2 = (-y(t-1)+y(t-2)-y(t-3)+y(t-4)) \quad (68)$$

$$v_3 = (y(t-1)-y(t-3)) \quad (69)$$

$$v_4 = (-y(t-2)+y(t-4)) \quad (70)$$

$$v_5 = (y(t)-y(t-4)) \quad (71)$$

Necessita-se ainda estimar a equação (72).

$$v_5 = \alpha + v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + d_1 + d_2 + d_3 \quad (72)$$

Como os valor obtido com o teste F para γ_5 e γ_6 foi inferior aos valores críticos divulgados por S. Hylleberg et al. (1990), corrobora-se com a hipótese de não estacionariedade sazonal da série, ver Tabela 77. Necessitando-se extrair uma diferença sazonal com o intuito de tornar a série estacionária.

Tabela 77 - Valores utilizados para o teste de Dickey-Fuller sazonal

Variáveis utilizadas na equação	**Número de observações**	**Valor calculado**	**Valor tabelado**	**Grau de liberdade**	**T (tabelado)**
Intercepto *Dummies* Sazonais	56	5,62	6,60	0,95	48

Fonte: Hylleberg et al. (1990)

Extraindo-se a diferença e a diferença sazonal, a autocorrelação e autocorrelação parcial são expressas nas Figuras 57 e 58. Pela visualização gráfica, após se extrair a diferença e a

diferença sazonal, não existem elementos para se afirmar qual o processo gerador da série(quais os valores de p e q).

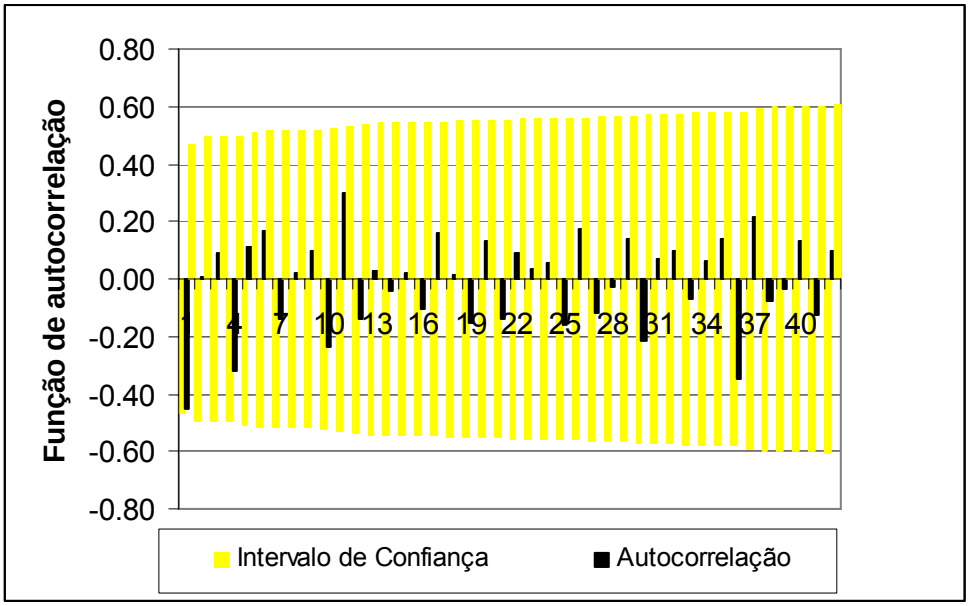

Figura 57 - Autocorrelação da demanda de gasolina no Japão com diferença e diferença sazonal

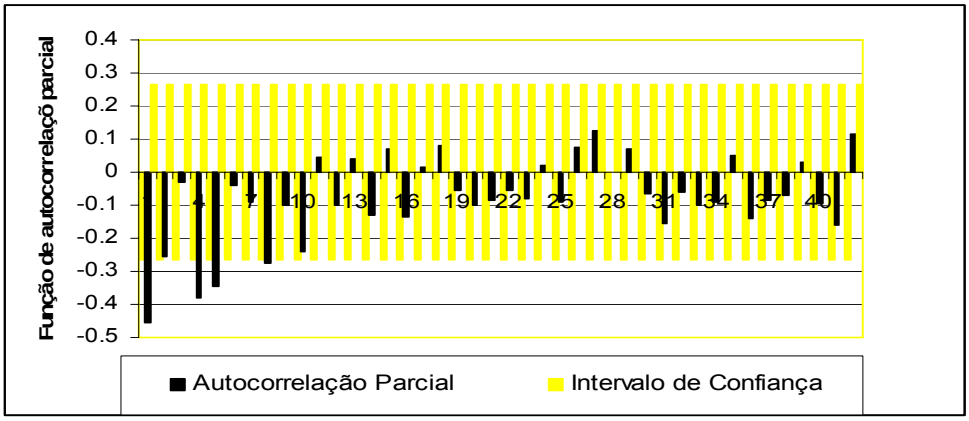

Figura 58 - Autocorrelação parcial da demanda de gasolina no Japão após a diferença e a diferença sazonal

ANEXO J - Identificação para o consumo de gasolina na Alemanha

A Figura 59 ilustra o resultado da função de autocorrelação do consumo de gasolina na Alemanha. Apesar da função de autocorrelação não declinar tão acentuadamente como nas funções de autocorrelação dos Estados Unidos e Japão, não se pode descartar por completo a não estacionariedade da série. Para complementar a análise será realizada a análise de Dickey Fuller com o intuito de se checar a estacionariedade da série.

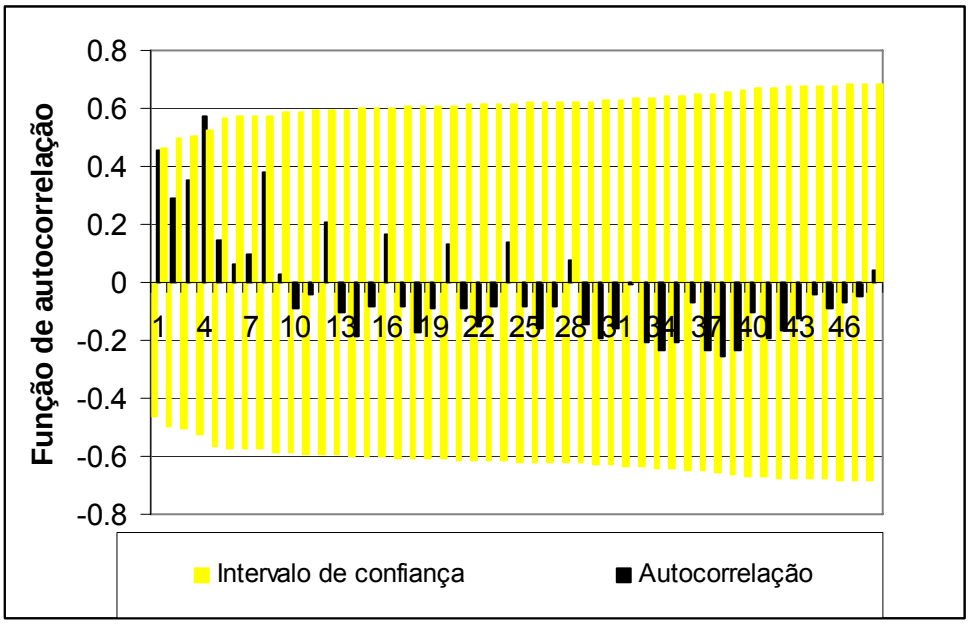

Figura 59 - Função de autocorrelação do consumo de gasolina na Alemanha

Seguindo as etapas sugeridas para a realização do teste de Dickey-Fuller. Na primeira e na segunda etapa utiliza-se a estimativa da equação (73) para a realização dos testes τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$.

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{73}$$

Utiliza-se o teste de Akaike e Schwarz para se obter o números de “lags” que serão analisados no teste de Dickey Fuller, Tabela 78.

Tabela 78 - Testes de Akaike e Schwarz

lags	Akaike	Schwarz
1	-63.7719	-60.6612
2	-71.9368	-67.2707
3	-121.1600	-114.9386
4	**-136.3779**	**-128.6012**
5	-135.7654	-126.4333
6	-133.9721	-123.0846
7	-133.1551	-120.7123
8	-133.6006	-119.6025
9	-131.6541	-116.1006
10	-130.4386	-113.3298

Após a realização dos testes de Akaike e Schwarz utilizaram-se 4 "lags" para se efetuar o teste de Dickey-Fuller seguindo os resultados do teste de akaike, Tabela 79. A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo rats: Q(13-0) = 10,51 com nível de significância Q de 0,65 .

Tabela 79 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$, para o consumo de gasolina na Alemanha

H0	**Valores calculados**	**Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01**
$\gamma = 0$	τ_τ = -0,017	τ_τ = -4,15
$a_2 = 0$	$\tau_{\beta\tau}$ = -0,280	$\tau_{\beta\tau}$ = 3,60

Como na primeira e na segunda etapa não se pode rejeitar as hipóteses H0, o que significaria a estacionariedade da série. Realiza-se a terceira etapa do teste de Dickey-Fuller, utilizando-se as estimativas da equação (74).

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (74)$$

Os resultados da Tabela 80 não rejeitam a não estacionariedade da série. A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo RATS: Q(13-0) = 9,85 com nível de significância Q de 0,70.

Tabela 80 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_μ e $\tau_{\alpha\mu}$, para o consumo de gasolina na Alemanha

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ_μ = -2,575	τ_μ = -3,58
$a_0 = 0$	$\tau_{\alpha\mu}$ = 2,69	$\tau_{\alpha\mu}$ = 3,28

Como os resultados obtidos ainda não foram suficientes para rejeitar a existência de raiz unitária na série, realiza-se a etapa 4 com as estimativas da equação (75).Os resultados estão ilustrados na Tabela 81.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{75}$$

Os resultados obtidos não apresentaram autocorrelação dos resíduos. Como demonstra o resultado do teste Q(13-0) =11,09 com nível de significância de 0,60.

Tabela 81 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , para o consumo de gasolina na Alemanha

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = 9,108	τ = -2,62

Feitos os testes de Dickey-Fuller aceita-se a não estacionariedade da série. A próxima etapa consiste em analisar a sua ordem de integração. Com quantas diferenças a série se tornará estacionária. Para se efetivar está análise necessita-se repetir os procedimentos da quarta etapa do teste de Dickey-Fuller, mas agora com duas diferenças ilustrada na equação 76. Os resultados estão expressos na Tabela 82.

$$\Delta\Delta y_t = \gamma \Delta y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{76}$$

Tabela 82 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença, para o consumo de gasolina na Alemanha

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -13,67	τ = -2,62

Ao se rejeitar H0 aceita-se a estacionariedade da série. Desta forma, a ordem de integração da série é 1. Com uma diferença a série se torna estacionária. Desta forma, o teste de Dickey Fuller sugere o modelo com uma ordem de integração 1.

Após se extrair a primeira diferença, repete-se a análise gráfica da FAC e da FACP, com o intuito de identificar o processo gerador da série, Figura 60. Existindo evidências de que o modelo é sazonalmente não estacionário, necessitando-se a extração de uma diferença sazonal.

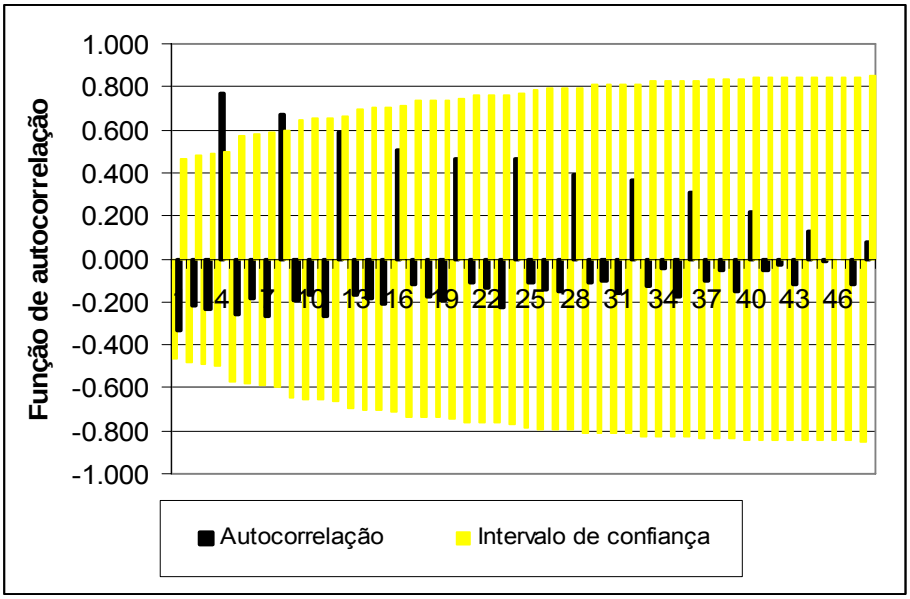

Figura 60 - Autocorrelação da demanda de gasolina na Alemanha após a diferença

TESTE DE ESTACIONARIEDADE SAZONAL

Com o intuito de corroborar com a análise da visualização gráfica da Função de Autocorrelação para se analisar a estacionariedade sazonal da série. Para a realização do teste necessita-se obter as variáveis expressas nas equações 77, 78, 79, 80 e 81.

$$v_1 = (y(t-1)+y(t-2)+y(t-3)+y(t-4)) \quad (77)$$

$$v_2 = (-y(t-1)+y(t-2)-y(t-3)+y(t-4)) \quad (78)$$

$$v_3 = (y(t-1)-y(t-3)) \quad (79)$$

$$v_4 = (-y(t-2)+y(t-4)) \quad (80)$$

$$v_5 = (y(t)-y(t-4)) \quad (81)$$

Necessita-se ainda estimar a equação (82).

$$v_5 = \alpha + t + v_1 + v_2 + v_3 + v_4 \quad (82)$$

Como os valor obtido com o teste F, ver Tabela 83, para γ_5 e γ_6 foi inferior aos valores críticos divulgados por S. Hylleberg et al. (1990), corrobora-se com a hipótese de não estacionariedade sazonal da série. Necessitando-se extrair uma diferença sazonal com o intuito de tornar a série estacionária.

Tabela 83 - Valores utilizados para o teste de dickey-Fuller sazonal

Variáveis utilizadas na equação	**Número de observações**	**Valor calculado**	**Valores tabelados (48observações) Nível de significância =0,95**
Intercepto Tendência *Dummies* Sazonais	56	1,7	3,04

Fonte: Hylleberg et al. (1990)

Extraindo-se a diferença e a diferença sazonal, a autocorrelação e autocorrelação parcial são expressas nas Figuras 61 e 62. Pela visualização gráfica, após se extrair a diferença e a diferença sazonal, a análise visual destes gráficos não se consegue elementos para se afirmar qual a ordem do modelo (quais os valores de p e q), necessitando-se das etapas posteriores de estimação e verificação para se afirmar qual o processo gerador da série.

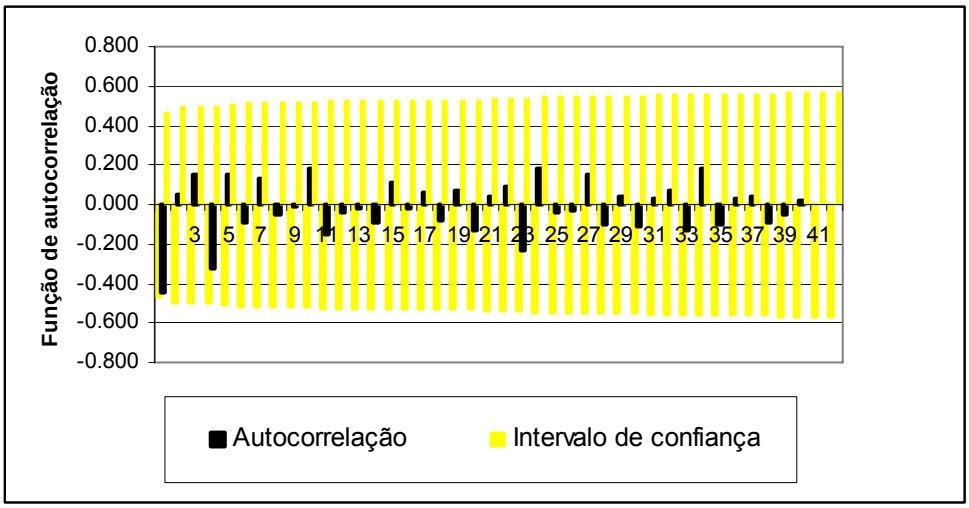

Figura 61 - Autocorrelação da demanda de gasolina na Alemanha com diferença e diferença sazonal

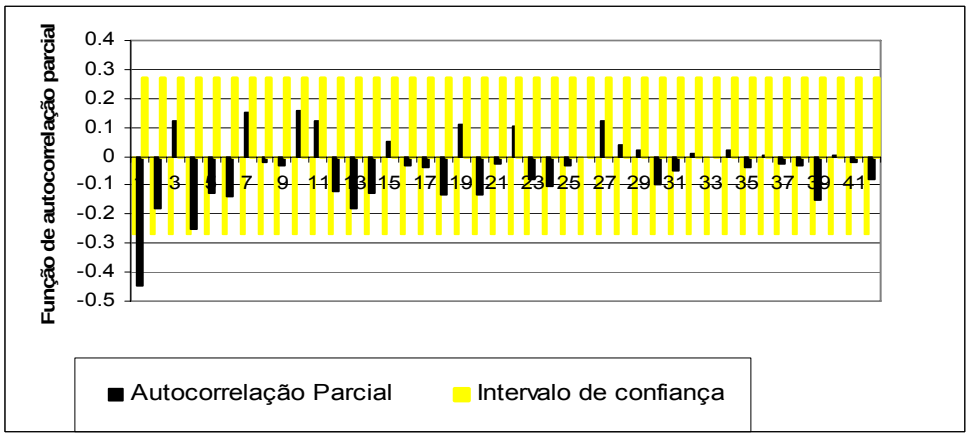

Figura 62 - Autocorrelação parcial da demanda de gasolina na Alemanha com diferença e diferença sazonal

ANEXO Q - Identificação sobre o consumo de gasolina na Alemanha, Itália, França e Reino Unido

A Figura 63 ilustra o resultado da função de autocorrelação do consumo de gasolina na Alemanha, Itália, França e Reino Unido. Pela visualização gráfica, não se pode rejeitar a não estacionariedade da série. Para complementar a análise será realizada a análise de Dickey Fuller .

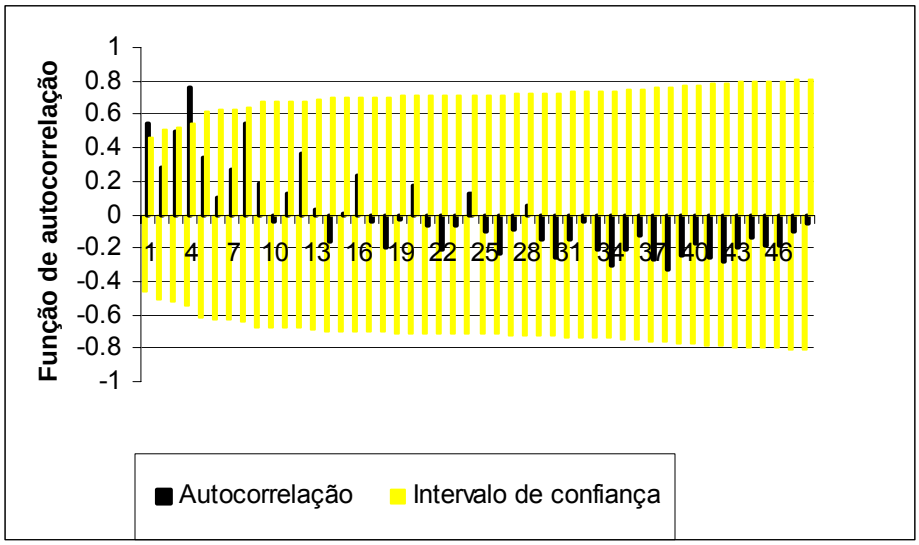

Figura 63 - Função de autocorrelação do consumo de gasolina na Alemanha, Reino Unido, França e Itália

Seguindo as etapas sugeridas para a realização do teste de Dickey-Fuller, ver Tabela 84. Na primeira e na segunda etapa utiliza-se a estimativa da equação (83) para a realização dos testes τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$.

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (83)$$

Utilizou-se 4 “lags” para se efetuar o teste de Dickey-Fuller seguindo os resultados do teste de Akaike. A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo RATS: Q(11-0) = 8,7 com nível de significância Q de 0,649.

Tabela 84 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$, para o consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ_τ = -1,04	τ_τ = -4,15
$a_2 = 0$	$\tau_{\beta\tau}$ = -0,28	$\tau_{\beta\tau}$ = 3,60

Como na primeira e na segunda etapa não se pode rejeitar as hipóteses H0, o que significaria a estacionariedade da série. Realiza-se a terceira etapa do teste de Dickey-Fuller, utilizando-se as estimativas da equação (84).

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{84}$$

Os resultados da tabela 85 não rejeitam a não estacionariedade da série. A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo rats: Q(11-0) = 9,05 com nível de significância Q de 0,61.

Tabela 85 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_μ e $\tau_{\alpha\mu}$, para o consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ_μ = 1,101	τ_μ = -3,58
$a_0 = 0$	$\tau_{\alpha\mu}$ = -1,117	$\tau_{\alpha\mu}$ = 3,28

Como os resultados obtidos ainda não foram suficientes para rejeitar a existência de raiz unitária na série, realiza-se a etapa 4 com as estimativas da equação (85).

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{85}$$

Os resultados obtidos não apresentaram autocorrelação dos resíduos (Tabela 86). Como demonstra o resultado do teste Q(11-0) =9,61 com nível de significância de 0,56.

Tabela 86 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , para o consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -2,16	τ = -2,62

Feitos os testes de Dickey-Fuller aceita-se a não estacionariedade da série após a realização de uma diferença. A próxima etapa consiste em analisar a sua ordem de integração. Com quantas diferenças a série se tornará estacionária. Para se efetivar está análise necessita-se repetir os procedimentos da quarta etapa do teste de Dickey-Fuller, mas agora com duas diferenças ilustrada na equação 84. Os resultados estão expressos na tabela 87.

$$\Delta\Delta y_t = \gamma\Delta y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{84}$$

Tabela 87 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença, para o consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -1,20	τ = -2,62

Pelo teste de Dickey-Fuller, a extração da primeira diferença ainda não torna a série estacionária necessitando aplicar mais uma diferença. A aplicação da segunda diferença tornou a série estacionária, como ser visualizado na Tabela 88.

Tabela 88 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença, para o consumo de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -4,62	τ = -2,62

Após a extração das duas diferenças se repete a análise gráfica da FAC com o intuito de se analisar o processo gerador da série e a possibilidade da não estacionariedade sazonal, Figura 64. Existindo evidências de que o modelo é sazonalmente não estacionário. Apesar das evidências, será realizado um teste para se analisar a estacionariedade sazonal da série.

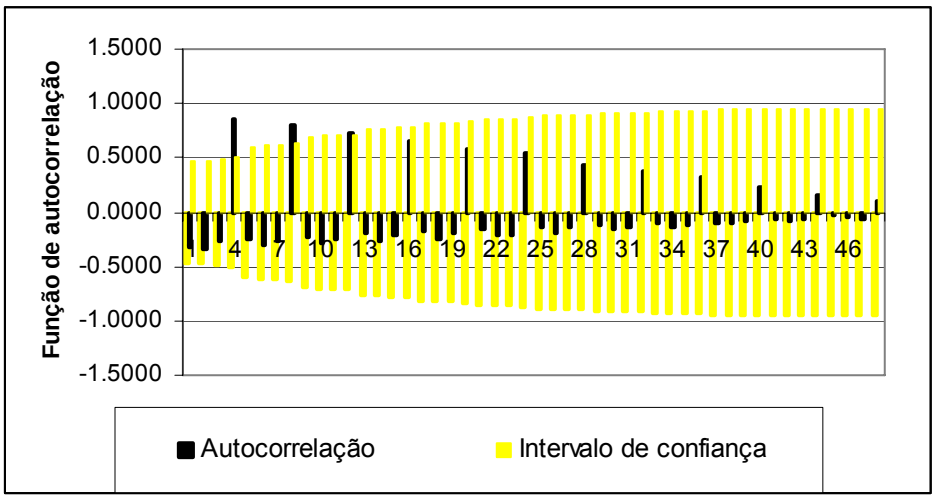

Figura 64 - Autocorrelação da demanda de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália após a aplicação de duas diferenças

TESTE DE ESTACIONARIEDADE SAZONAL

Com o intuito de corroborar com a análise da visualização gráfica da Função de Autocorrelação para se analisar a estacionariedade sazonal da série, utiliza-se o teste de Dickey-Fuller modificado. Para a realização do teste necessita-se obter as variáveis expressas nas equações 86, 87, 88, 89 e 90.

$$v_1 = (y(t-1)+y(t-2)+y(t-3)+y(t-4)) \quad (86)$$

$$v_2 = (-y(t-1)+y(t-2)-y(t-3)+y(t-4)) \quad (87)$$

$$v_3 = (y(t-1)-y(t-3)) \quad (88)$$

$$v_4 = (-y(t-2)+y(t-4)) \quad (89)$$

$$v_5 = (y(t)-y(t-4)) \tag{90}$$

Necessita-se ainda estimar a equação (91).

$$v_5 = \alpha + t + v_1 + v_2 + v_3 + v_4 \tag{91}$$

Como os valor obtido com o teste F para γ_5 e γ_6 foi inferior aos valores críticos, ver Tabela 89, divulgados por S. Hylleberg et al. (1990). Corrobora-se com a hipótese de não estacionariedade sazonal da série. Necessitando-se extrair uma diferença sazonal com o intuito de tornar a série estacionária.

Tabela 89 - Valores utilizados para o teste de dickey-Fuller sazonal

Variáveis utilizadas na equação	**Número de observações**	**Valor calculado**	**Valores tabelados (48observações) Nível de significância =0,95**
Intercepto Tendência *Dummies* Sazonais	56	0,42	3,04

Fonte: Hylleberg et al. (1990)

Extraindo-se a diferença e a diferença sazonal, a autocorrelação e autocorrelação parcial são expressas nas Figuras 65 e 66. Pela visualização gráfica, após se extrair a diferença e a diferença sazonal, não existem indícios para se afirmar qual o modelo ARIMA gerador da série (quais os valores de p e q).

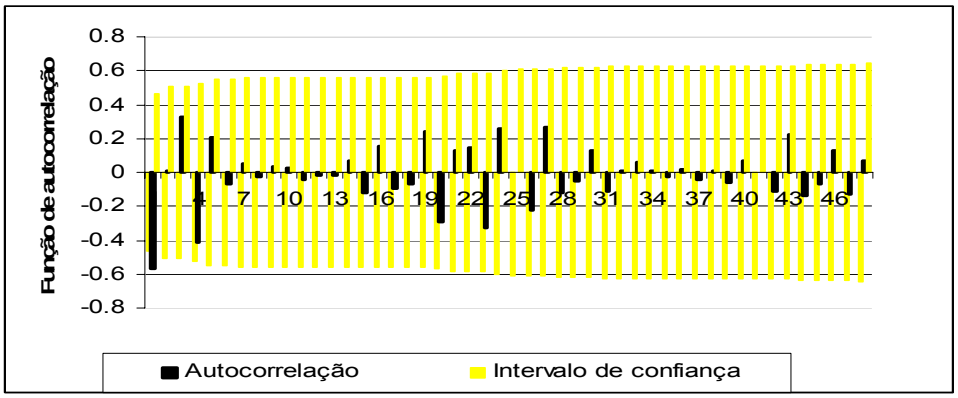

Figura 65 - Autocorrelação da demanda de gasolina na França, Alemanha, Reino Unido e Itália com diferença e diferença sazonal

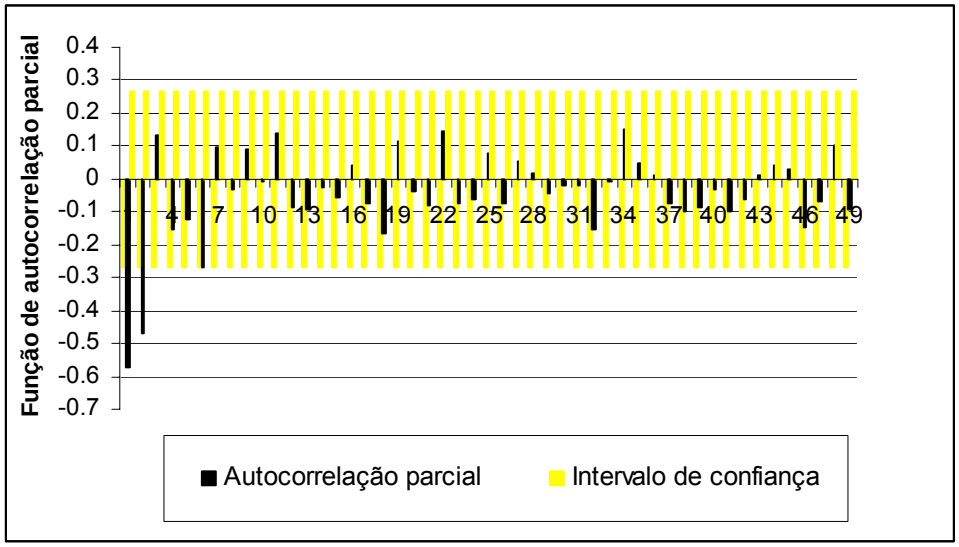

Figura 66 - Autocorrelação parcial da demanda de gasolina na Alemanha, França, Itália e Reino Unido com duas diferenças e diferença sazonal

ANEXO L – Variação real anual do PIB

Tabela 90 - Variação real anual do PIB

Anos	Variação real anual do PIB (%)
1993	4,92
1994	5,85
1995	4,22
1996	2,66
1997	3,27
1998	0,13
1999	0,79
2000	4,36
2001	1,31
2002	1,93
2003	0,54
2004	4,94

Fonte: IPEA (2005)

ANEXO M - Processo de identificação, estimação, verificação e obtenção dos resíduos para o consumo de gasolina no Brasil

IDENTIFICAÇÃO DO CONSUMO DE GASOLINA NO BRASIL

A Figura 67 ilustra os resultados das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial da função de consumo de gasolina no Brasil.

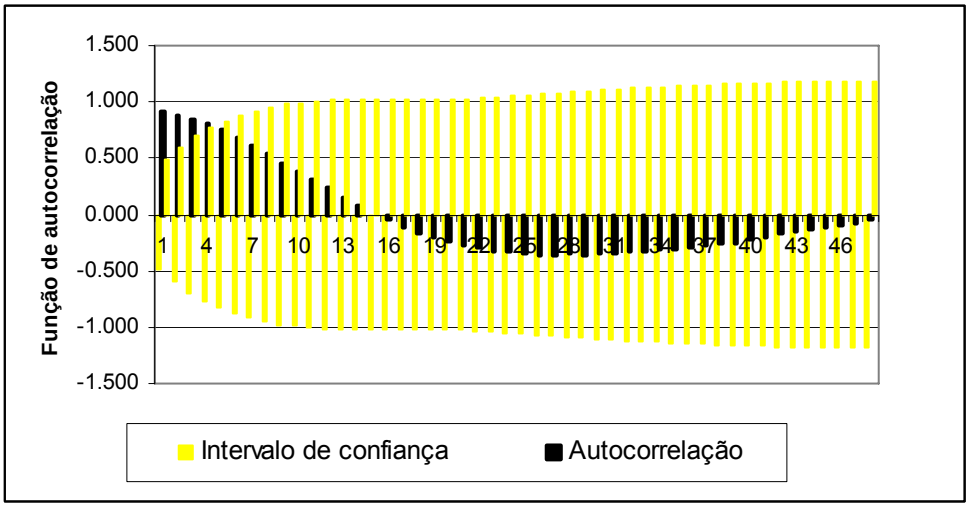

Figura 67 - Autocorrelação do consumo de gasolina no Brasil

Pela análise gráfica da função de autocorrelação, existem indícios de não estacionariedade da série. Para complementar a análise, será utilizado o teste de Dickey-Fuller.

Seguindo as etapas sugeridas por Enders (1995) para a realização do teste de Dickey-Fuller, equação 92. Utilizou-se 9 “lags” para se efetuar o teste de Dickey-Fuller seguindo os resultados do teste de akaike (Tabela 91).

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (92)$$

Tabela 91 - Testes Akaike e Schwarz

lags	Akaike	Schwarz
1	-83,84	-80,97
2	-82,11	-77,80
3	-81,58	-75,84
4	-86,73	-79,57
5	-85,14	-76,53
6	-83,57	-73,53
7	-82,41	-70,93
8	-86,72	**-73,82**
9	**-87,01**	-72,67
10	-85,01	-69,24
11	-84,04	-66,83
12	-82,94	-64,30
13	-81,47	-61,39
14	-79,52	-58,01

Na primeira e na segunda etapa utiliza-se a estimativa da equação (1) para a realização dos testes τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$, ver Tabela 92. A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box foi de: Q(10-0) = 6,30 com nível de significância Q de 0,789.

Tabela 92 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ_τ = 0,00125	τ_τ = -4,15
$a_2 = 0$	$\tau_{\beta\tau}$ = -0,1883	$\tau_{\beta\tau}$ = 3,60

Como na primeira e na segunda etapa não se pode rejeitar as hipóteses H0, o que significaria a estacionariedade da série. Realiza-se a terceira etapa do teste de Dickey-Fuller, utilizando-se as estimativas da equação (92).

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (92)$$

Os resultados estão expressos na Tabela 93. A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo rats: Q(10-0) = 5,89 com nível de significância Q de 0,824.

Tabela 93 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_μ e $\tau_{\alpha\mu}$

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ_μ = -0,1297	τ_μ = -3,58
$a_0 = 0$	$\tau_{\alpha\mu}$ = 0,7343	$\tau_{\alpha\mu}$ = 3,28

Como os resultados obtidos ainda não foram suficientes para rejeitar a existência de raiz unitária na série, realiza-se a etapa 4 com as estimativas da equação (93), tabela 94.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (93)$$

Os resultados obtidos não apresentaram autocorrelação dos resíduos. Como demonstra o resultado do teste Q(12-0) = 4,913 com nível de significância de 0,896.

Tabela 94 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = 0,001064454	τ = -2,62

Feitos os testes de Dickey-Fuller aceita-se a não estacionariedade da série. A próxima etapa consiste em analisar a sua ordem de integração. Com quantas diferenças a série se tornará estacionária, ver Tabela 95. Para se efetivar está análise necessita-se repetir os procedimentos da quarta etapa do teste de Dickey-Fuller, mas agora com duas diferenças, equação 94.

$$\Delta\Delta y_t = \gamma \Delta y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (94)$$

Ao se aceitar H0 não se aceita a estacionariedade da série, necessitando-se a extração de mais uma diferença.

Tabela 95 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -0,3810	τ = -2,62

Como após a realização de uma diferença a série ainda não se tornou estacionária, necessita-se a realização de mais uma diferença, ver equação 95, com o intuito de transformar a série em estacionária, ver Tabela 96.

$$\Delta\Delta\Delta \quad y_t = \gamma\Delta\Delta \quad y_{t-1} + \Sigma\, \beta_i \Delta\Delta\Delta \quad y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{95}$$

Tabela 96 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , considerando-se a segunda diferença

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -4,956	τ = -2,62

Desta forma o teste de Dickey-Fuller indicou a extração de duas diferenças para a série. Sugerindo-se uma série com ordem de integração 2. No entanto, os resultados posteriores de estimação, verificação e menores erros quadráticos sugerem a utilização de um modelo com ordem de integração 1.

Após se extrair a primeira diferença, repete-se a análise gráfica da FAC e da FACP, com o intuito de identificar o processo gerador da série, Figuras 68 e 69. Pela análise da FAC, não existem evidências aparentes de que o modelo é sazonalmente não estacionário. No entanto, etapas posteriores de estimação e verificação indicaram para a inclusão de uma diferença sazonal na série.

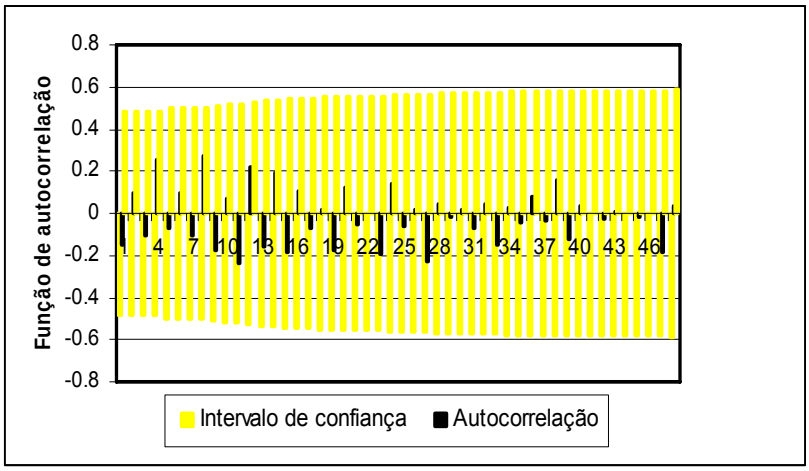

Figura 68 - Autocorrelação do consumo de gasolina no Brasil após a diferença

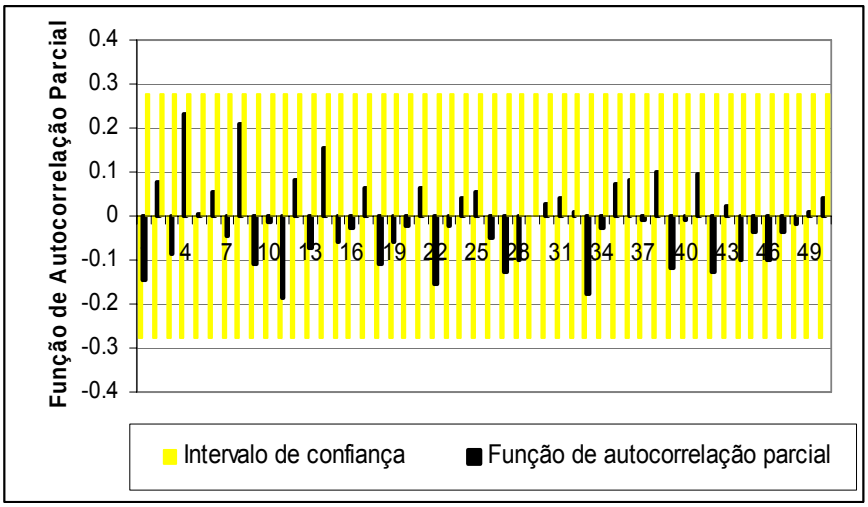

Figura 69 - Autocorrelação parcial da demanda de gasolina no Brasil após a diferença

Pela visualização gráfica, não se pode inferir sobre o modelo gerador da série. Necessitando-se as etapas posteriores de estimação, verificação e menores erros quadráticos médios.

Resíduos

A Tabela 97 ilustra o resíduo obtido com a comparação entre os valores previstos e os observados.

Tabela 97 - Resíduo entre os valores previstos e os observados, no período: 4°tri. 1993 e 4° tri. 2003

Período	Resíduo	**Período**	Resíduo
4° tri / 1993	6,037	**1° tri / 2000**	-17,116
1° tri / 1994	8,062	**2° tri / 2000**	7,799
2° tri / 1994	-5,856	**3° tri / 2000**	0,192
3° tri / 1994	-0,949	**4° tri / 2000**	12,365
4° tri / 1994	33,261	**1° tri / 2001**	3,825
1° tri / 1995	6,997	**2° tri / 2001**	4,730
2° tri / 1995	-0,518	**3° tri / 2001**	-11,554
3° tri / 1995	10,891	**4° tri / 2001**	-17,023
4° tri / 1995	-3,184	**1° tri / 2002**	15,146
1° tri / 1996	5,817	**2° tri / 2002**	-13,643
2° tri / 1996	-2,408	**3° tri / 2002**	12,102
3° tri / 1996	4,063	**4° tri / 2002**	1,321
4° tri / 1996	-3,630	**1° tri / 2003**	-30,794
1° tri / 1997	-14,080	**2° tri / 2003**	9,364
2° tri / 1997	1,396	**3° tri / 2003**	14,542
3° tri / 1997	-3,509	**4° tri / 2003**	18,796
4° tri / 1997	2,595		
1° tri / 1998	-25,608		
2° tri / 1998	-0,849		
3° tri / 1998	-13,516		
4° tri / 1998	0,012		
1° tri / 1999	5,182		
2° tri / 1999	-6,942		
3° tri / 1999	-11,580		
4° tri / 1999	-17,116		

PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO, ESTIMAÇÃO, VERIFICAÇÃO E OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS PARA O PIB NO BRASIL

IDENTIFICAÇÃO

A Figura 70 ilustra o resultados das função de autocorrelação do PIB no Brasil.

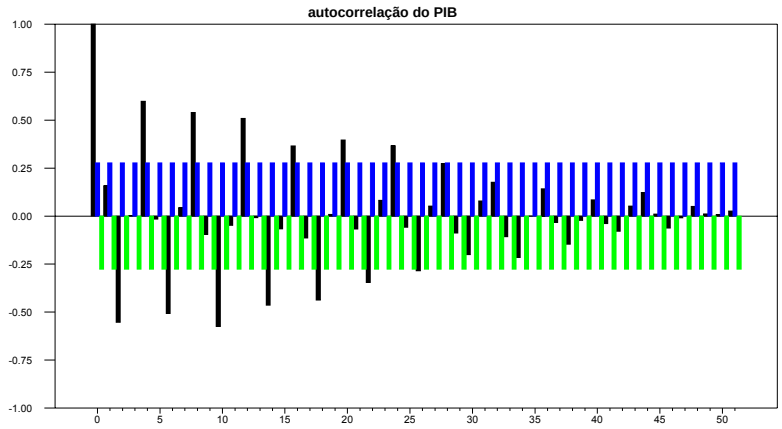

Figura 70 - Autocorrelação do PIB no Brasil

Pela análise gráfica da Função de autocorrelação não existem indícios de não estacionariedade da série. No entanto, existem indícios de não estacionariedade sazonal da série. Para complementar a análise será utilizado o teste de Dickey-Fuller.

Seguindo as etapas sugeridas por Enders (1995) para a realização do teste de Dickey-Fuller. Na primeira e na segunda etapa utiliza-se a estimativa da equação (96) para a realização dos testes τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$.

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (96)$$

Utilizou-se 15 “lags” para se efetuar o teste de Dickey-Fuller seguindo os resultados do teste de akaike (Tabela 98).

Tabela 98 - Testes Akaike e Shwarz

lags	Akaike	Schwarz
1	-85.7589	-82.8909
2	-122.8056	-118.5036
3	-130.8765	-125.1405
4	-134.8701	-127.7001
5	-136.3045	-127.7005
6	-137.3689	-127.3310
7	-139.7746	-128.3027
8	-138.8176	-125.9117
9	-137.5382	-123.1983
10	-135.5460	-119.7721
11	-142.0479	-124.8400
12	-143.3353	-124.6935
13	-141.3742	-121.2984
14	-141.9043	-120.3944
15	**-148.9653**	**-126.0215**
16	-147.2944	-122.9166
17	-146.2903	-120.4785
18	-144.2905	-117.0447
19	-152.1851	-123.5053
20	-152.6756	-122.5619

A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo rats: Q(9-0) = 6,62 com nível de significância Q de 0,67. O resultado da primeira etapa encontra-se na Tabela 99.

Tabela 99 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ_τ = -1,2749	τ_τ = -4,15
$a_2 = 0$	$\tau_{\beta\tau}$ = -0,0006	$\tau_{\beta\tau}$ = 3,60

Como na primeira e na segunda etapa não se pode rejeitar as hipóteses H0, o que significaria a estacionariedade da série. Realiza-se a terceira etapa do teste de Dickey-Fuller, utilizando-se as estimativas da equação (97).

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{97}$$

Assim como na equação (96), a equação 97 não apresentou autocorrelação dos resíduos (Tabela 100). A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo RATS: Q(9-0) = 6,62 com nível de significância Q de 0,67.

Tabela 100 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_μ e $\tau_{\alpha\mu}$

H0	**Valores calculados**	**Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01**
$\gamma = 0$	τ_μ = -0,4777	τ_μ = -3,58
$a_0 = 0$	$\tau_{\alpha\mu}$ = 2,2084	$\tau_{\alpha\mu}$ = 3,28

Como os resultados obtidos ainda não foram suficientes para rejeitar a existência de raiz unitária na série, realiza-se a etapa 4 com as estimativas da equação (98), tabela 101.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{98}$$

Os resultados obtidos não apresentaram autocorrelação dos resíduos. Como demonstra o resultado do teste Q(9-0) = 6,019 com nível de significância de 0,73.

Tabela 101 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ

H0	**Valores calculados**	**Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01**
$\gamma = 0$	τ = -0,0008	τ = -2,62

Feitos os testes de Dickey-Fuller aceita-se a não estacionariedade da série. A próxima etapa consiste em analisar a sua ordem de integração. Com quantas diferenças a série se tornará

estacionária, ver equação 99. Para se efetivar está análise necessita-se repetir os procedimentos da quarta etapa do teste de Dickey-Fuller, mas agora com duas diferenças (Tabela 102).

$$\Delta\Delta y_t = \gamma\Delta y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (99)$$

Ao se aceitar H0 não se aceita a estacionariedade da série, necessitando-se a extração de mais uma diferença.

Tabela 102 - Teste de raiz unitária para séries individuais, considerando-se a segunda diferença

H0	**Valores calculados**	**Valores tabelados (100 observações) Nível de significância =0,01**
$\gamma = 0$	τ = -4,347	τ = -2,62

O teste de Dickey-Fuller aponta a série como estacionária de ordem 1.

Após se extrair a primeira diferença, repete-se a análise gráfica da FAC com o intuito de se analisar a estacionariedade sazonal da série, Figura 71.

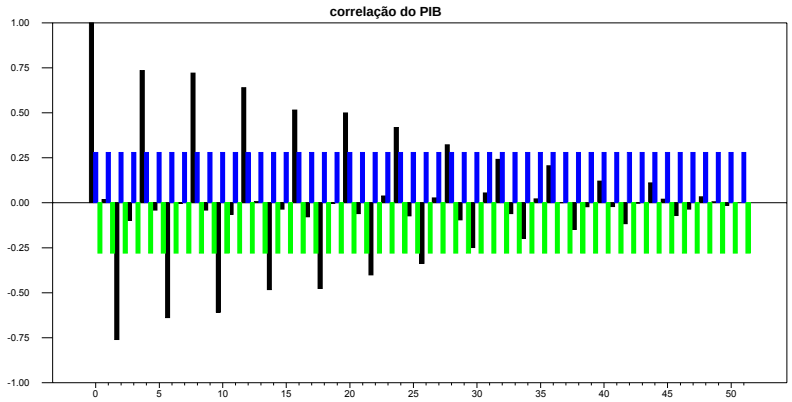

Figura 71 - Autocorrelação do PIB no Brasil após a diferença

Após se extrair a diferença e a diferença sazonal, os gráficos são demonstrados nas Figuras 72 e 73.

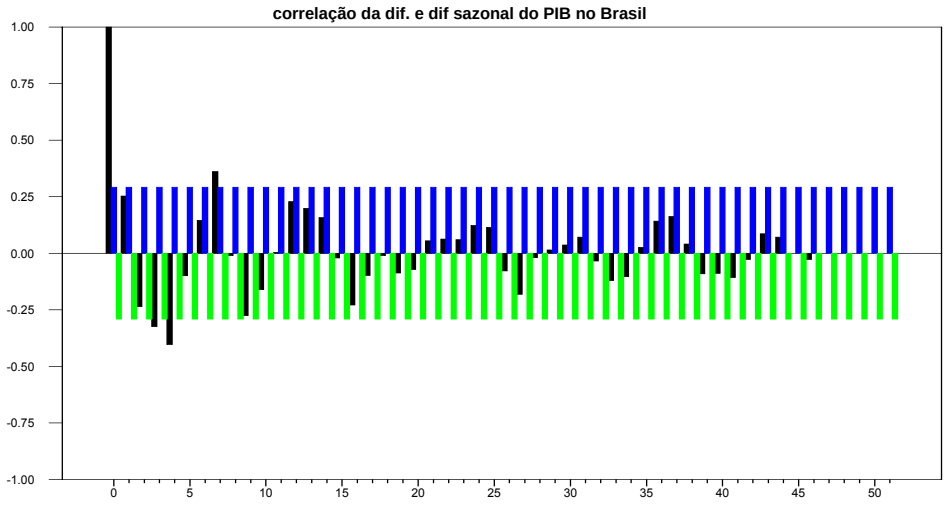

Figura 72 - Função de autocorrelação do PIB após se extrair a diferença e a diferença sazonal

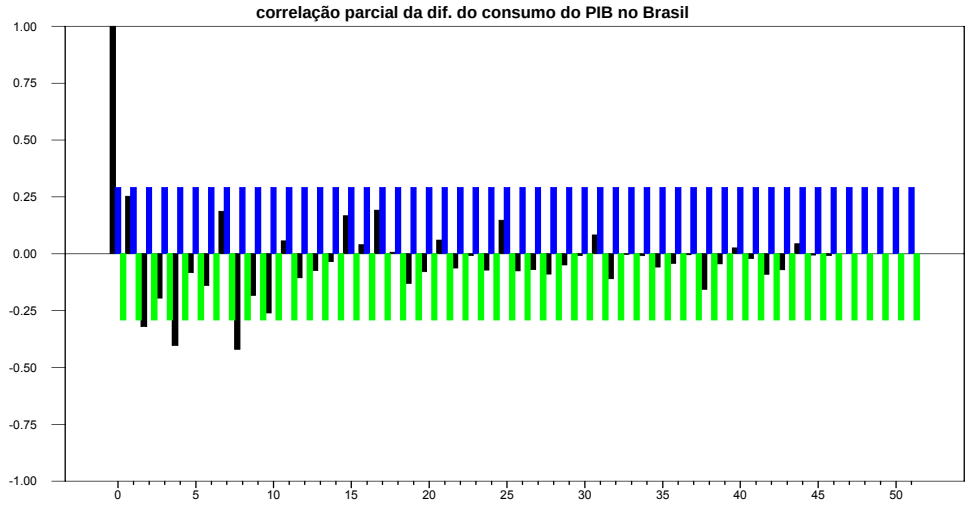

Figura 73 - Autocorrelação parcial do PIB após se extrair a diferença e a diferença sazonal

Pela visualização gráfica, após se extrair a diferença e a diferença sazonal, existe alguns indícios do processo gerador da série ser um ARMA, sem ter elementos para se afirmar qual a ordem do modelo (quais os valores de p e q).

Resíduos

Finalizando está etapa, extrai-se os resíduos entre os valores previstos e os observados, ver Tabela 103, entre o período de 1° tri. 1993 e 4° tri. 2003.

Tabela 103 - Valores dos resíduos

Período	Resíduo	**Período**	Resíduo
1° tri / 1993	1.8336	**1° tri / 2000**	2.1215
2° tri / 1993	1.2548	**2° tri / 2000**	0.0105
3° tri / 1993	2.1521	**3° tri / 2000**	0.6386
4° tri / 1993	0.6715	**4° tri / 2000**	1.0960
1° tri / 1994	-1.2817	**1° tri / 2001**	-0.0786
2° tri / 1994	1.0340	**2° tri / 2001**	-0.9065
3° tri / 1994	3.4204	**3° tri / 2001**	-2.2571
4° tri / 1994	3.7416	**4° tri / 2001**	-1.2498
1° tri / 1995	-1.3920	**1° tri / 2002**	1.4541
2° tri / 1995	1.1366	**2° tri / 2002**	-1.1779
3° tri / 1995	-1.1510	**3° tri / 2002**	0.2146
4° tri / 1995	-0.6535	**4° tri / 2002**	0.3364
1° tri / 1996	-2.3154	**1° tri / 2003**	-0.2145
2° tri / 1996	0.8348	**2° tri / 2003**	-2.8483
3° tri / 1996	2.2749	**3° tri / 2003**	-1.7328
4° tri / 1996	-1.3147	**4° tri / 2003**	-0.5880
1° tri / 1997	0.5511		
2° tri / 1997	0.6662		
3° tri / 1997	0.0831		
4° tri / 1997	-0.1990		
1° tri / 1998	-2.3710		
2° tri / 1998	1.7651		
3° tri / 1998	-2.9536		
4° tri / 1998	-2.3691		
1° tri / 1999	1.6930		
2° tri / 1999	-1.7695		
3° tri / 1999	-0.6894		
4° tri / 1999	0.5287		

ANEXO N – Identificação sobre a série de consumo de álcool hidratado no Brasil

A Figura 74 ilustra o resultado da funções de autocorrelação do consumo por álcool hidratado no Brasil. A análise da função de autocorrelação fornece um forte indício da não estacionariedade da série. No entanto adota-se o teste de Dickey-Fuller com o intuito de aprimorar a análise.

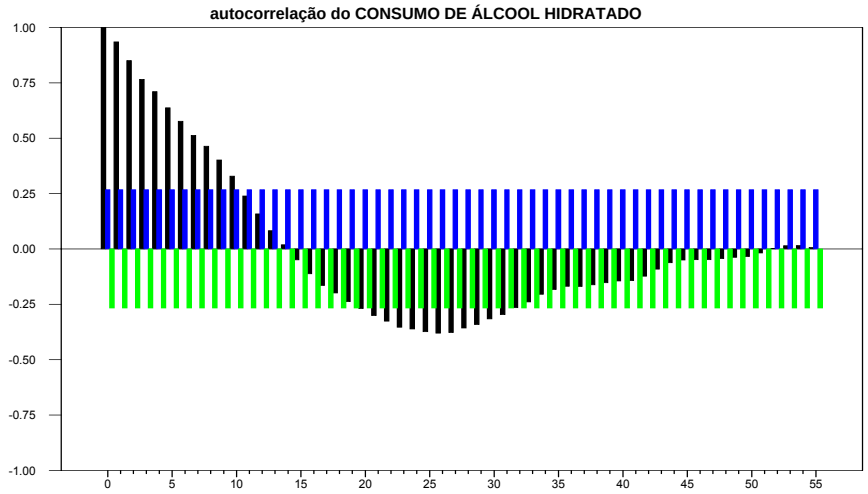

Figura 74 - Função de autocorrelação do consumo álcool hidratado no Brasil

. Seguindo as etapas para a realização do teste de Dickey-Fuller. Na primeira e na segunda etapa utiliza-se a estimativa da equação (100) para a realização dos testes τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$.

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (100)$$

Utilizou-se 12 “lags” para se efetuar o teste de Dickey-Fuller seguindo os resultados do teste de akaike (ver tabela 104). A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo rats: Q(9-0) = 5,33 com nível de significância Q de 0,804. Os valores calculados estão na Tabela 105.

Tabela 104 - Os testes Akaike e Schwarz para a série de consumo de álcool hidratado apontaram para a utilização de 12 "lags" no teste de Dickey-Fuller

Lags	akaike	Schwarz
1	-76.1934	-73.3254
2	-76.1386	-71.8367
3	-74.1927	-68.4567
4	-74.7482	-67.5783
5	-84.2801	-75.6762
6	-84.6092	-74.5713
7	-83.5256	-72.0537
8	-81.6534	-68.7475
9	-79.6535	-65.3136
10	-80.0632	-64.2893
11	-82.0739	-64.8661
12	**-84.7101**	**-66.0682**
13	-83.3376	-63.2618
14	-81.5171	-60.0072
15	-80.2716	-57.3278
16	-78.9425	-54.5647

Tabela 105 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_τ e $\tau_{\beta\tau}$, para o consumo de álcool hidratado no Brasil

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ_τ = -0,82	τ_τ = -4,15
$a_2 = 0$	$\tau_{\beta\tau}$ = -1,14	$\tau_{\beta\tau}$ = 3,60

Como na primeira e na segunda etapa não se pode rejeitar as hipóteses H0, o que significaria a estacionariedade da série. Realiza-se a terceira etapa do teste de Dickey-Fuller, utilizando-se as estimativas da equação (101).

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (101)$$

Os resultados do teste estão na tabela 106. A série não apresentou autocorrelação dos resíduos, como se observa o teste de Ljung-Box fornecido pelo rats: Q(9-0) = 5,57 com nível de significância Q de 0,78.

Tabela 106 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ_{μ} e $\tau_{\alpha\mu}$, para o consumo de álcool hidratado no Brasil

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ_{μ} = -0,83	τ_{μ} = -3,58
$a_0 = 0$	$\tau_{\alpha\mu}$ = 0,81	$\tau_{\alpha\mu}$ = 3,28

Como os resultados obtidos ainda não foram suficientes para rejeitar a existência de raiz unitária na série, realiza-se a etapa 4 com as estimativas da equação (102), Tabela 107.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \Sigma \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (102)$$

Os resultados obtidos não apresentaram autocorrelação dos resíduos. Como demonstra o resultado do teste Q(9-0) = 4,569 com nível de significância de 0,87.

Tabela 107 - Teste de raiz unitária para séries individuais τ , para o consumo de álcool hidratado no Brasil

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -1,15	τ = -2,62

Feitos os testes de Dickey-Fuller aceita-se a não estacionariedade da série. A próxima etapa consiste em analisar a sua ordem de integração. Com quantas diferenças a série se tornará estacionária. Para se efetivar está análise necessita-se repetir os procedimentos da quarta etapa do teste de Dickey-Fuller, mas agora com duas diferenças, ilustrada na equação 103. Os resultados estão na Tabela 108.

$$\Delta\Delta y_t = \gamma\Delta y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (103)$$

Tabela 108 - Teste de raiz unitária para séries individuais, considerando-se a segunda diferença , para o consumo de gasolina no Brasil

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -0,97	τ = -2,62

Ao se aceitar H0 não se aceita a estacionariedade da série, necessitando-se a extração de mais uma diferença , ver equação 104. O resultado está na Tabela 109.

$$\Delta\Delta\Delta \; y_t = \gamma\Delta\Delta \; y_{t-1} + \Sigma\beta_i \Delta\Delta\Delta \; y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (104)$$

Tabela 109 - Teste de raiz unitária para séries individuais, considerando-se a terceira diferença, para o consumo de álcool hidratado no Brasil

H0	Valores calculados	Valores tabelados (50 observações) Nível de significância =0,01
$\gamma = 0$	τ = -3,39	τ = -2,62

Desta forma o teste de Dickey-Fuller indicou a extração de duas diferenças para a série. Sugerindo-se uma série com ordem de integração 2. No entanto, as etapas de estimação, de verificação e de menores erros quadráticos sugerem a utilização da ordem de integração 1.

Após se extrair a primeira diferença, repete-se a análise gráfica da FAC com o intuito de analisar a estacionariedade da série, Figura 75. Complementa-se a análise com a Figura 76 da FACP, com intuito de analisar o processo gerador da série. Apesar do processo de identificação não indicar a não estacionariedade sazonal da série, será incluída a diferença sazonal, pois tal inclusão permite reduzir o erro quadrático médio e melhora-se o nível de significância dos estimadores em etapas posteriores.

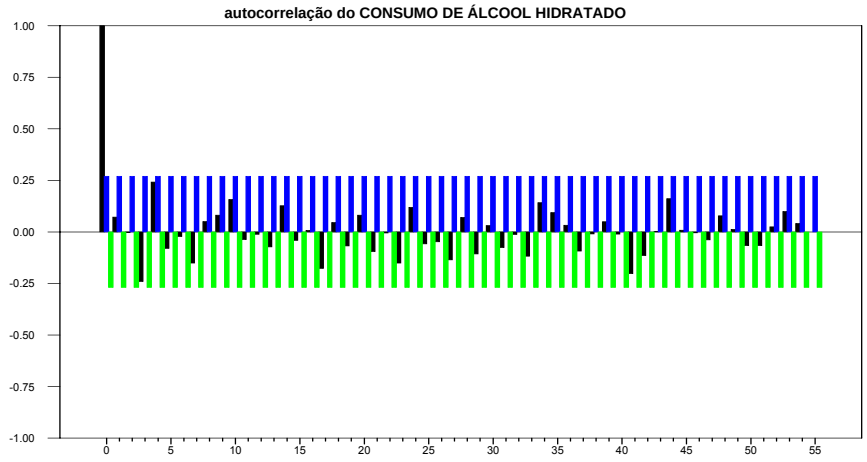

Figura 75 - Autocorrelação do consumo de álcool hidratado após a diferença e a diferença sazonal

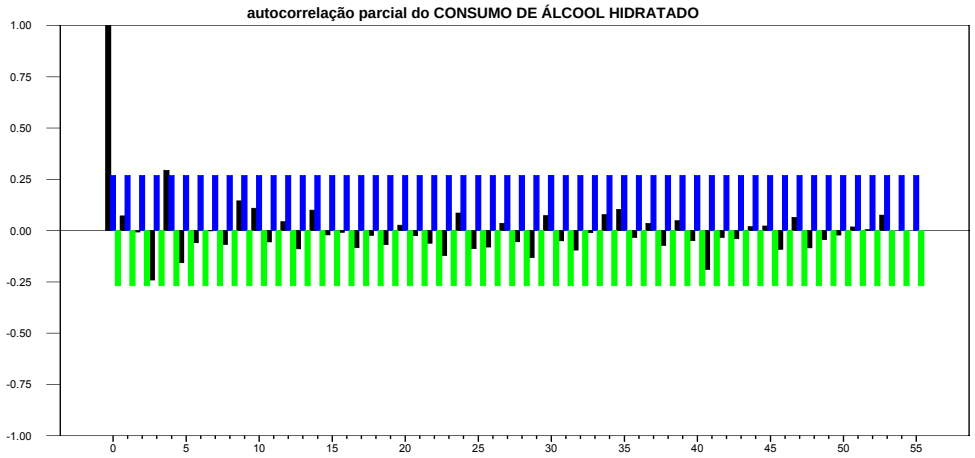

Figura 76 - Autocorrelação parcial do consumo de álcool hidratado após a diferença e a diferença sazonal

Pela visualização gráfica, após se extrair a diferença, não existe indícios do processo gerador da série, necessitando-se realizar as próximas etapas para se chegar ao modelo gerador da série.