

A Transmissão de Preços na Cadeia do Etanol Hidratado no Estado de São Paulo

Felipe W. I. Costa, BSc., Programa de Planejamento Energético/UFRJ, felipeimperiano@ppe.ufrj.br

Amanda Tavares, BSc., Grupo de Economia da Energia/UFRJ, amandatavsantos@gmail.com

Resumo— Defasagens temporais distintas na transmissão de oscilações dos preços dos insumos podem indicar a existência de poder de mercado na cadeia de comercialização, bem como oportunidades para o melhor planejamento das empresas. Este trabalho busca identificar o padrão de transmissão de preços do produtor de etanol hidratado e das empresas distribuidoras para o período de janeiro de 2003 até setembro de 2014, no estado de São Paulo. Foram utilizados modelos de séries temporais da família Box e Jenkins (ARIMA e funções de transferência), a fim de modelar o comportamento dos principais agentes da cadeia de comercialização de etanol combustível. O resultado das funções de transferência geradas a partir do tratamento dos dados indicam que os distribuidores ajustam de forma instantânea os seus preços e que estes são melhor explicados pela oferta de etanol; já os produtores tem um lag temporal de um mês e seus preços apresentam uma autocorrelação e são influenciados pelo preço da tonelada de cana-de-açúcar de dois períodos anteriores, isto é, um ajuste mais lento comparado aos distribuidores.

Palavras-Chave— Transmissão de Preços, Cana-de-açúcar, Etanol Hidratado, Modelos ARIMA, Função de Transferência

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é pioneiro na produção de álcool combustível, a partir da produção de cana de açúcar. O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), lançado em 1975, em resposta ao primeiro Choque do Petróleo, é uma referência internacional de política energética para a difusão do uso de biocombustíveis, em veículos leves, como alternativa aos combustíveis fósseis.

No decênio de 1970, o Proálcool viabilizou a substituição da gasolina e se estabeleceu como uma solução a um problema na balança de pagamentos nacional, em face da forte elevação dos preços do petróleo no mercado internacional.

Na década seguinte, o enfrentamento dos efeitos das mudanças climáticas alçou o etanol à condição de um importante mecanismo para a diminuição das emissões de CO₂. Destarte, espera-se um aumento na participação dos biocombustíveis no consumo energético tanto no Brasil, como no mundo.

A introdução e a disseminação de motores *flex-fuel*, no mercado nacional, permitiram ao consumidor escolher, a partir dos preços relativos, qual combustível utilizar (gasolina ou etanol). A tecnologia, lançada em 2003, já

representa quase a totalidade dos veículos de passeio novos vendidos, no país, e garante um expressivo mercado consumidor de etanol.

Mesmo com a maior facilidade proporcionada pelos motores *flex* para o consumo de etanol, ainda há entraves importantes ao uso deste combustível. Em 2013, o etanol hidratado respondeu por cerca de 20% do consumo de combustível em motores Ciclo Otto, no país (ANP, 2014, p. 114).

A concentração da produção em determinadas regiões e os custos de transporte compõem parte da explicação da diferenciação do consumo no tempo e no espaço. A região Centro-Sul congrega pouco mais de 86% da área plantada de cana e quase a totalidade da produção de etanol hidratado nacional. Somente o estado de São Paulo responde por 51,7% da área plantada de cana nacional e produziu 47,4% do total de etanol hidratado, na safra 2013/2014 (CONAB, 2013, p. 9-10).

Não à toa, em 2013, São Paulo apresentou relação entre os preços médios de revenda do etanol hidratado combustível e de gasolina comum inferior a 70%, tornando economicamente vantajosa a substituição dessa por aquele (ANP, 2014, p. 115)¹. Nesse sentido, São Paulo desponta com o principal mercado produtor e consumidor de etanol hidratado, no país.

O transporte, por sua vez, se destaca como um importante diferencial logístico, uma vez que o valor do frete entre uma usina e uma base de distribuição é um atributo relevante na composição do preço final do álcool. Nesse sentido, a localização da usina em relação ao seu comprador define a aplicação de descontos ou prêmios sobre o preço do etanol (DOLNIKOFF, 2008, p. 92).

O conhecimento das relações de transmissão de preços entre os diversos segmentos da cadeia produtiva do etanol combustível é um valioso instrumento de auxílio para a tomada de decisão dos agentes do mercado, contribuindo para a mitigação de riscos relacionados à volatilidade dos preços da cana-de-açúcar e do etanol hidratado, além de servir para o planejamento de estoques reguladores e melhorar a rentabilidade na cadeia

¹ Soma-se a isso também, como fatores explicativos para uma menor relação do preço etanol/gasolina, a alta produtividade do setor sucroalcooleiro paulista e o fato do estado ter a menor alíquota de ICMS sobre o etanol hidratado, significativamente menor que a média dos demais entes federativos.

produtiva.

O presente trabalho tem como objetivo verificar a estrutura de transmissão de preço do produtor de etanol hidratado para o distribuidor, levando em consideração o preço do seu principal insumo, a cana-de-açúcar, e a transmissão de preço do distribuidor para os postos que atuam no varejo, contemplando o preço praticado pelos produtores, com o intuito final de analisar e comparar esses padrões.

O trabalho é estruturado em seis seções. A primeira consiste nesta breve introdução, a segunda apresentará uma breve discussão a respeito do setor sucroalcooleiro e a comercialização de etanol, no Brasil, a terceira trata da metodologia usada nesse artigo, a quarta apresenta os dados utilizados, a quinta dedica-se aos resultados obtidos através da metodologia de séries temporais e, por fim, a sexta destina-se a conclusões e considerações finais.

2. O SETOR SUCROALCOOLEIRO E A ESTRUTURA DE COMERCIALIZAÇÃO DO ETANOL COMBUSTÍVEL

O setor sucroalcooleiro brasileiro é, historicamente, marcado pela influência das diretrizes governamentais. De 1933 a 1990, o setor era controlado, diretamente, pelo Instituto do Açúcar e Alcool (IAA), responsável por fixar os preços, as cotas de produção e de comercialização e o percentual de etanol na mistura com a gasolina, assegurando o equilíbrio do mercado, entre as safras de cana de açúcar. Já o mercado de distribuição de combustíveis era regulado pelo governo federal, através dos Ministérios da Fazenda (MF) e de Minas e Energia (MME) (VIAN, 2006, p. 20-22).

O exemplo mais significativo da intervenção governamental no setor sucroalcooleiro foi a criação do Programa Nacional do Alcool, mais conhecido como Proálcool, em 1975, cujo objetivo foi a expansão da produção de etanol anidro para adição à gasolina.

O programa foi lançado como resposta ao Primeiro Choque do Petróleo, que expôs a fragilidade do modelo energético brasileiro, altamente dependente de importações de petróleo para atender sua estrutura industrial e o seu setor de transportes. Segundo Ometto (1998), o Brasil chegou a importar cerca de 80% de todo o petróleo consumido e, entre 1973 e 1974, seus custos subiram de US\$ 600 milhões para US\$ 2 bilhões, gerando fortes impactos inflacionários e déficits no balanço de pagamentos.

Paralelamente, a indústria sucroalcooleira do país apresentava capacidade ociosa para a produção de etanol, ao mesmo tempo em que enfrentava baixos preços do açúcar no mercado mundial (SILVA, 2010).

Em 1979, o Proálcool adentrava nova fase, em resposta ao Segundo Choque do Petróleo e à grande oferta de etanol anidro no mercado nacional. Nesse sentido, o programa passou a ter como objetivo principal o desenvolvimento de veículos movidos a etanol hidratado. Como suporte, o governo garantiu que a demanda do consumidor se direcionasse para o etanol hidratado, em

detrimento da gasolina, a partir do controle dos preços dos combustíveis² (DOLNIKOFF, 2008, p. 67).

Durante as décadas de 1970 e 1980, os biocombustíveis ganharam muita projeção internacional não apenas com as preocupações sobre a segurança do suprimento dos combustíveis trazidas pelos dois choques do petróleo, mas também com a ascensão da questão ambiental na agenda política internacional, mais especificamente os riscos do aquecimento global e os questionamentos acerca de sua antropogenia, assuntos cada vez mais debatidos pela comunidade científica e pela sociedade civil.

Nesse contexto, os biocombustíveis, suportados por políticas governamentais, a exemplo do Proálcool, poderiam desempenhar papel crescente na redução das emissões dos gases causadores do efeito estufa (GEE), especialmente no setor de transporte.

O Proálcool começou a perder força na segunda metade da década de 1980, devido a um conjunto de condições adversas, como a queda do preço internacional do petróleo, com o contrachoque, a expansão da produção nacional de petróleo e o aumento do preço internacional do açúcar (GIERSDORF, 2013, p. 17-18).

Além disso, o governo brasileiro, limitado a novos compromissos financeiros devido à crise da dívida, hiperinflação, recessão e aumento da pobreza, reduziu o suporte ao Proálcool, pondo fim às linhas de crédito e aos subsídios ao setor (GIERSDORF, 2013, p. 17-18).

Em 1986, o Brasil passou a importar etanol para o suprimento da demanda. Em 1989, uma quebra de safra reduziu ainda mais a oferta de etanol, gerando uma redução do anidro adicionado à gasolina de 18% para 13%, além de aumento dos preços e uso dos estoques reguladores, chegando a uma crise de abastecimento, que minou a confiança dos consumidores no Proálcool (RODRIGUES, 2012, p. 7).

Vale destacar que o programa já enfrentava grave crise de legitimidade devido aos altos subsídios destinados a produção de etanol, à acumulação de dívidas pelas usinas, às evasões fiscais e os problemas sociais dos trabalhadores nas plantações de cana (GIERSDORF, 2013, p. 17-18).

O fim do Proálcool levou os fabricantes de automóveis a retomarem a produção de carros à gasolina (RODRIGUES, 2012, p. 7) e, posteriormente, ao sucateamento da frota a álcool, reduzindo fortemente o consumo de hidratado no país (PINTO JUNIOR, 2007, p. 313).

Em 1993, numa tentativa de resgatar o mercado de etanol anidro, o governo instituiu a mistura obrigatória de 22% de anidro à gasolina, conquistando um lento crescimento da demanda, ao longo daquela década (DOLNIKOFF, 2008, p.78).

Na década de 1990, a desregulamentação da economia começou a ser implementada em vários setores produtivos no Brasil, incluindo o mercado de combustíveis. A Medida Provisória nº 151, de 15 de março de 1990, estabeleceu a extinção do IAA, e sua

² Dado que o consumo relativo dos dois combustíveis é diferente, devido ao menor poder calorífico do etanol frente à gasolina, o consumidor apenas terá vantagem financeira ao abastecer com etanol hidratado quando seu preço for inferior a 70% do preço da gasolina.

atribuições passaram para a Secretaria de Desenvolvimento Regional da Presidência da República (GIERSDORF, 2013, p. 18-19).

Em 1997, são criadas três organizações governamentais que, dentre outras pertinências, passaram a gerir a indústria de combustíveis e o setor sucroalcooleiro: o Conselho Nacional de Política Energética (CNPQ), responsável por estabelecer as diretrizes da política energética brasileira; a Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis, responsável por regular o mercado de combustíveis; e o Conselho Interministerial do Açúcar e Álcool (CIMA), representando uma nova arena central de decisão sobre a formulação de políticas públicas para o setor sucroalcooleiro, articulando os interesses de todos os ministérios envolvidos com o setor, bem como dos grupos de agentes econômicos que possuem acesso direto ao conselho (GIERSDORF, 2013, p. 18-19).

Diante disso, os produtores de açúcar e álcool se uniram em associações para melhorar sua representação no processo de transição e participar das decisões políticas. A União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA) é, atualmente, o maior grupo de lobby da classe, reunindo a antiga Associação das Indústrias de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (AIAA) e outras associações do setor (GIERSDORF, 2013, p. 18-19).

Com a desregulamentação, a entrada de novos atores, principalmente, distribuidoras de pequeno porte e revendedoras sem contrato exclusivo com qualquer distribuidora (postos de bandeira branca) promoveu aumento da competição no setor sucroalcooleiro.

Já a formação de preços ganhava nova dinâmica, em toda a cadeia produtiva, sendo gradativamente determinada pelas forças de mercado³. Segundo Giersdorf (2010, p. 19), tal liberalização representou a mudança do paradigma da atuação estatal no setor de forte controle para atividades limitadas de regulação.

A liberalização, no entanto, facilitou a ocorrência de práticas irregulares, como adulteração de combustíveis, contrabando e sonegação de impostos. Ainda, as atividades de controle dos órgãos federais e estaduais tem conseguido reduzir as fraudes (PINTO; SILVA, 2004, p. 2-3).

Encerrado o processo de liberalização em 2002, o setor sucroalcooleiro vem sendo regulado por medidas

governamentais que buscam promover a atividade econômica. Do lado da oferta, o crédito subsidiado permanece sendo um apoio governamental muito importante ao setor. Bancos de desenvolvimento federais, regionais e estaduais são envolvidos no financiamento das atividades de etanol.

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) corresponde a principal fonte de crédito, financiando programas diversos, como o FINEM, para a modernização agrícola; o FINAME, para aquisição de maquinário nacional; e o Moderinfra, de apoio ao desenvolvimento da agricultura irrigada (GIERSDORF, 2013, p. 20).

Do lado da demanda, a deliberação da quota de álcool anidro na gasolina pode ser considerada o instrumento político mais importante para influenciar a compra de etanol, no Brasil. Desde 2006, a participação do anidro na gasolina era fixada entre 20% e 25%; mais recentemente, a Medida Provisória 532/2011 alterou o piso da mistura para 18% de anidro, numa tentativa de reduzir o consumo de etanol e cortar a influência do seu preço mais alto na gasolina. Ainda, a medida não se concretizou, até o momento, pois a redução desacompanhada de aumento da produção nacional de etanol implicará em aumento das importações de gasolina.

Outra ferramenta de estímulo à demanda de etanol é a tributação diferenciada sobre os combustíveis, realizada tanto pelo governo federal, como pelos governos estaduais. Um exemplo é a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE Combustíveis), imposto cobrado sobre a importação e a comercialização de combustíveis para financiar projetos ambientais relacionados à indústria de petróleo e gás e projetos de infraestrutura para o setor de transporte, que não tem incidência sobre o etanol, seja anidro ou hidratado (GIERSDORF, 2013, p. 22).

Já o Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) incide sobre as gasolinas A (pura) e C (com anidro) em 25%, na maioria dos estados, enquanto o etanol anidro não é taxado. O ICMS também incide sobre o etanol hidratado em 25%, na maioria dos estados; porém vale ressaltar que 57% do total desse combustível é consumido em São Paulo, onde a taxa média ponderada do ICMS foi de 16%, em 2008 (GIERSDORF, 2013, p. 24).

Recentemente, o governo lançou um pacto de estímulos ao mercado de etanol, eliminando tributos federais que ainda incidiam sobre o combustível. Dessa forma, foi zerada a taxa de R\$ 0,12 por litro dos impostos sociais PIS/COFINS (VIEGAS, 2013).

O regime tributário também é diferenciado para os carros *flex-fuel*, capazes de utilizar como combustível tanto a gasolina C, como o etanol hidratado, ou qualquer mistura de ambos. A carga fiscal favorável aos carros *flex* é um instrumento utilizado pelo governo desde o Proálcool e implica no enquadramento desses veículos na categoria “IPI reduzido” (Imposto de Produtos Industrializados reduzido).

Lançada em 2003, a tecnologia *flex-fuel* permite ao consumidor escolher, a partir dos preços relativos, qual combustível utilizar (gasolina ou etanol), além de reduzir os riscos de ruptura de abastecimento. Com grande aceitação do público, a frota *flex* cresceu rapidamente e, hoje em dia, representa quase a totalidade dos veículos de

³ Portaria MME nº 258, de 29 de julho de 1993: revogou algumas exigências que impediam participação de distribuidoras de pequeno porte.

Portaria do MME nº 362, de 03 de novembro de 1993: autorizou participação dos postos de bandeira branca.

Portaria do Ministério da Fazenda (MF) nº 59/96, de 29 de março de 1996: liberou preços de venda das distribuidoras e dos revendedores para a gasolina e o álcool hidratado, menos em alguns municípios da região norte supridos pelo modal fluvial.

Portaria MF nº 294/96, de 13 de dezembro de 1996: liberou preços de venda do álcool anidro nas unidades produtoras, a partir de 01 de maio de 1997.

Portaria MF/MME nº 292/96, de 16 de dezembro de 1996: liberou preços de venda das distribuidoras e dos revendedores para a gasolina e o álcool hidratado nos estados Tocantins, Mato Grosso, Porto Velho, Manaus e Belém.

Portaria MF nº 275, de 16 de outubro de 1998: liberou preços de venda do etanol hidratado nas unidades produtoras.

Portaria MF/MME nº 28/99, de 9 de março de 1999: liberou os preços nos postos de gasolina C e hidratado ao consumidor em todo território nacional.

passeio novos vendidos, no país.

A disseminação dos carros *flex* se demonstrou uma condição favorável para a retomada da produção de etanol em volumes expressivos. De 2005 a 2009, mais de cem plantas produtoras foram instaladas no país, e o governo retomou o financiamento para o aumento da produção de etanol, via BNDES (RODRIGUES, 2012, p. 10-11).

Em 2008, o Brasil passa a enfrentar um desequilíbrio estrutural entre oferta e demanda, no setor sucroalcooleiro. Após a crise de 2008, houve um forte aumento da demanda potencial de etanol; em contrapartida, a oferta vem apresentando declínios, com a queda da produtividade agrícola. Segundo Almeida e Viegas (2011), isso se deve aos baixos investimentos na expansão da capacidade produtiva da indústria de etanol, problemas financeiros dos agentes privados e queda da rentabilidade da produção de etanol.

O problema estrutural foi agravado por questões conjunturais, como o aumento do preço do açúcar no mercado internacional e fenômenos climáticos, tais como excesso de chuva e estiagem, que provocaram a quebra das safras 2009/2010 e 2010/2011, respectivamente (ALMEIDA; VIEGAS, 2011).

O mercado de etanol hidratado foi fortemente afetado. A redução da oferta e aumento dos preços para acima de 70% do preço da gasolina vem comprometendo a competitividade desse combustível, em muitos estados brasileiros, e locando em questão a retomada do mercado do etanol hidratado. Soma-se aos pontos destacados, o fato dos produtores de etanol priorizarem o atendimento dos seus contratos de longo prazo, geralmente de etanol anidro para a mistura na gasolina e para exportação, em detrimento do hidratado (ALMEIDA; VIEGAS, 2011).

A volatilidade da oferta do hidratado, por sua vez, impacta a demanda de gasolina. Desde 2010, o consumo de gasolina cresceu 16% ao ano, enquanto o de etanol hidratado decresceu na mesma taxa. Em 2012, foram importados 3,7 bilhões de litros de gasolina A, 12% da demanda brasileira, uma taxa não observada desde a década de 1970 (LOSEKANN; HAYDT, 2013).

Para atender as distorções do mercado do derivado de petróleo, a Petrobras tem atuado na importação e na exportação de grandes volumes de gasolina, além de manter o preço desse combustível de acordo com diretrizes governamentais, sem representar adequadamente seus custos de produção, o que implica em prejuízos para a empresa.

Apesar do impacto sobre o mercado do hidratado, o preço do etanol anidro foi o mais afetado pela crise. Como o etanol anidro é um produto complementar à gasolina, a sua demanda é mais inelástica, frente às variações dos preços. Dessa forma, o preço do etanol anidro se mantém alto, influenciando o preço da gasolina com impactos inflacionários significativos (ALMEIDA; VIEGAS, 2011).

Diante desse cenário, o governo tem aumentado o seu intervencionismo no setor sucroalcooleiro. Como já destacado, em 2011, o governo reduziu o piso da mistura da gasolina C de 20% para 18% de etanol anidro e promoveu a desoneração tributária. Além disso, foram aprovados a intervenção branca na fixação dos preços, no mercado final, através da redução do preço por parte da BR distribuidora; o aumento dos investimentos da

Petrobras na produção de etanol; e linhas de financiamento do BNDES a juros baixos (ALMEIDA; VIEGAS, 2011) (VIEGAS, 2013).

A estrutura atual de comercialização do mercado de etanol é determinada pela Resolução ANP nº 43, de 22 de dezembro de 2009, que estipula que o fornecedor somente pode comercializar com outro fornecedor e distribuidor, autorizados pela ANP, além do mercado externo (ANP, 2009).

As distribuidoras, por sua vez, apenas podem comprar o produto de fornecedor, de outro distribuidor e do mercado externo; e vender para outros distribuidores, revendedores varejistas autorizados pela ANP, Transportador-Revendedor-Retalhista (TRR) e consumidores finais de grande porte, o seja, aqueles que tem equipamento fixo, como gerador de energia elétrica, ou ponto de abastecimento, atendendo à legislação vigente (ANP, 1999).

Resumidamente, a cadeia do etanol combustível é, composta pela produção, distribuição e revenda.

Os fornecedores de etanol combustível são definidos como produtores localizados em território nacional, cooperativas de produtores, empresas comercializadoras, agente operador, ou importador, não podendo nunca exercer as atividades de distribuição ou revenda varejista de combustíveis líquidos (ANP, 2009).

Os agentes que são produtores correspondem às usinas com destilarias anexas, que produzem tanto açúcar como etanol, e às destilarias autônomas, que produzem apenas etanol. Hodiernamente, existem cerca de 434 unidades produtoras de etanol, no Brasil. A grande maioria se encontra localizada na região Centro-Sul, especialmente em São Paulo, o maior estado produtor.

Apesar do grande número de produtores, não existe ainda uma situação de competição perfeita do lado da oferta de etanol. Os principais grupos de usinas no Brasil são a Cosan e a Coopersucar, sendo o primeiro um grupo industrial e o segundo uma cooperativa de produtores e um dos principais grupos de comercialização da região Centro-Sul.

O desenvolvimento de grupos de comercialização compostos por produtores é um fenômeno comum ao setor. Outras quatro grandes empresas de comercialização da região Centro-Sul são: a Sociedade Corretora de Alcool (SCA), a Crystalsev, a Bioagência e a CPA Trading. Os produtores sustentam essa organização concentrada da comercialização como forma de obterem maior poder de barganha, frente às grandes distribuidoras. Com isso, pode-se concluir que, na prática, os produtores de etanol se encontram estruturados num oligopólio com franja competitiva (DOLNIKOFF, 2008, p.108).

Além da associação de diferentes empresas, verificam-se também movimentos de integração vertical entre produtores e distribuidoras de etanol. Em 2008, o grupo COSAN comprou os ativos da distribuidora Exxon Mobil, no Brasil, e passou a ser dona de uma rede de distribuição composta de mais de 1.500 postos. Em 2010, a Cosan assinou uma *joint venture* com a distribuidora Shell e criou a Raízen, no ano seguinte. Dessa forma, a Cosan se destaca como a primeira empresa brasileira de produção de etanol a investir fortemente na estratégia de comercialização de combustíveis fósseis e de etanol

(GIERSDORF, 2013, p.54).

O segundo segmento de comercialização do etanol é o da distribuição, caracterizado pelo seu alto grau de concentração. Em 2013, as três maiores empresas distribuidoras (CR3), controlaram 57% do mercado de distribuição, sendo essas: BR, com 20,5%; Raízen, com 19%; e Ipiranga, 17,6% (VIEGAS, 2013).

Apesar da presença das grandes distribuidoras, a comercialização, nesse segmento, é altamente concorrida. As empresas distribuidoras se esforçam para comprar o etanol em condições favoráveis e estabelecem, a seu critério, a infraestrutura, a logística e os preços de venda mais adequados.

Os custos logísticos, em especial, são muito determinativos sobre os preços dos combustíveis e podem representar perdas de competitividade significativas às distribuidoras. Nesse sentido, fatores como a localização das usinas produtoras implicam em diferenciais logísticos entre as distribuidoras e refletem nos preços dos produtos comercializados. Assim, se a usina apresentar boa localização em relação à distribuidora compradora, há um “prêmio” sobre o preço do etanol, chamado Esalq positivo; se a usina apresentar desvantagens, como localização mais distante, ocorre um “desconto”, chamado de Esalq negativo. As derivações podem ser equacionadas como uma porcentagem do preço original ou como um valor fixo (DOLNIKOFF, 2008, p. 95).

Vale destacar que a infraestrutura de transporte de etanol, no Brasil, é altamente concentrada no modal rodoviário, enquanto os dutos ainda são pouco significativos, especialmente se tratando das novas regiões produtoras do Centro-Sul e do atendimento da crescente demanda internacional (GIERSDORF, 2013, p. 55).

No segmento da revenda, os postos de abastecimento de combustíveis atendem diretamente automobilistas e caminhoneiros e podem ser vinculados a uma distribuidora, ou serem revendedores “bandeira branca”. O último já chega a 39,1% dos postos do país (DOLNIKOFF, 2008, p. 59).

Já o Transportador Revendedor Retalhista (TRR) é o agente responsável por atender pequenas empresas consumidoras e produtores rurais.

Os grandes consumidores são consumidores finais que tem equipamento fixo, como gerador de energia elétrica, ou ponto de abastecimento localizado em seu domicílio, que atenda à legislação vigente (ANP, 1999), e podem adquirir combustível diretamente das distribuidoras.

Por fim, o mercado externo é abastecido pelos *pools* de comercialização, por usinas independentes e pelas *trading companies*. As últimas não agem apenas como articuladoras e podem adquirir combustíveis para revender.

Segundo Dolnikoff (2008, p. 110), a governança nas relações de comercialização entre produtores e distribuidores se dá, principalmente, a partir de um mix de mercado *spot* e contratos.

O mercado *spot* é mais utilizado nas transações de etanol hidratado, correspondendo a cerca de 60% a 70% do volume comercializado. Já para o etanol anidro, esse mercado corresponde apenas à faixa de 20% a 30% do volume comercializado (DOLNIKOFF, 2008, p. 103).

As pequenas distribuidoras são os agentes mais atuantes no mercado *spot*. Especialmente em São Paulo,

essas empresas, dedicadas ao atendimento dos postos de bandeira branca, conseguem, por vezes, comprar o etanol a preços mais baixos do que as suas grandes concorrentes (GIERSDORF, 2013, p.55).

O restante do etanol é comercializado na forma de contratos de fornecimento com as distribuidoras. Tradicionalmente, as grandes distribuidoras compram etanol utilizando contratos de perfil padronizado, apresentando o volume de etanol a ser comercializado mensalmente, a frequência de entrega, o período de validade e o cálculo do preço. O último é baseado em um preço fixo, mas que deriva de acordo com o indicador Esalq, em cada negociação.

Além disso, os contratos, geralmente, apresentam prazo de um ano, atrelado ao ano-safra ou ao ano civil, e cláusulas que permitem a sua renovação; há também contratos que chegam a três anos. É comum que as distribuidoras prefiram contratos de curto prazo, a fim de evitar riscos associados à variação dos preços dos produtos (DOLNIKOFF, 2008, p. 96).

A partir de 2010, o etanol hidratado também passou a ser comercializado por meio de contratos futuros, na BM&FBOVESPA. Esses contratos são responsáveis por uma parcela muito pequena do volume de etanol comercializado no Brasil, e acredita-se que a regulamentação da comercialização esteja impedindo que haja um grande número de participantes no mercado, o que é condição básica para a liquidez necessária ao mercado futuro (SOUZA, 2011, p. 46). Desse modo, a maior parte da venda de etanol se dá por meio dos acordos bilaterais entre produtores e distribuidoras.

Uma vez que as distribuidoras são muito avessas ao risco, os estoques de regularização da demanda ficam a cargo dos produtores. Dada a estrutura de comercialização dos combustíveis, não há incentivo econômico para os distribuidores formarem seus próprios estoques, além daqueles normais de giro do produto, pois ocorrendo escassez do produto ou um choque de preços que diminua a demanda, o combustível fóssil alternativo será ofertado (BRESSAN FILHO, 2009, p. 8).

Portanto, se infere que, na cadeia de comercialização do etanol, o lado da oferta é mais relevante, haja visto que “em condições normais, é preciso colher a cana e processar a matéria prima sem levar em conta o comportamento da demanda e dos preços dos produtos finais” (BRESSAN FILHO, 2009, p. 7).

3. METODOLOGIA

Nesta seção será feita uma revisão do arcabouço teórico, no qual se apoiam os modelos desenvolvidos no presente trabalho.

3.1. Modelo ARIMA

A ideia por trás dos modelos lineares de séries temporais é que estas são geradas a partir de um filtro linear cuja entrada é uma série de ruídos brancos, isto é, um processo de geração de números aleatórios.

Boa parte dos modelos da família Box e Jenkins pressupõe a estacionariedade das séries. As séries econômicas são, em geral, não estacionárias, mas se tornam estacionárias quando diferenciadas (MORETTIN;

TOLOI, 1981 p. 229). Uma série é dita estacionária quando a sua média e a sua variância são constantes e a autocorrelação entre dois pontos da série depende somente da distância entre eles, e não do período de tempo (SILVEIRA, 2004, p. 35). Desse modo, uma série estacionária apresenta as seguintes condições:

$$E(X_t) = E(X_{t-1}) = \mu \quad (1)$$

$$E[(X_t - \mu)^2] = E[(X_{t-1} - \mu)^2] = \sigma^2 \quad (2)$$

$$E[(X_t - \mu)(X_{t-k} - \mu)] = \gamma_k \quad (3)$$

Onde μ é a média, σ^2 a variância e γ_k a covariância e todas são finitas.

A diferenciação de uma série é dada por:

$$W_t = \Delta X = X_t - X_{t-1} \quad (4)$$

A diferenciação em termos do operador de defasagem B^d é dada por:

$$\nabla^d X_t = (1 - B)^d X_t \quad (5)$$

Onde d indica a ordem de diferenciação.

A diferenciação sazonal é expressa por:

$$\nabla_s^D X_t = (1 - B^s)^D X_t \quad (6)$$

Onde s indica o período de diferenciação, e D , a ordem de diferenciação.

A estacionariedade de uma série pode ser vista através de um teste de raiz unitária. Uma série é dita não estacionária, se e somente se, possuir raiz unitária. No presente artigo, será utilizado o Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), que verifica a hipótese de existência de raiz unitária. O ADF retorna um valor para uma probabilidade de existência de raiz unitária. Para valores críticos menores que os indicados por níveis de confiança inferiores a 10%, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, aceita-se que a série é estacionária. O ADF é definido pela equação:

$$\Delta X_t = \alpha_0 + \gamma X_{t-1} + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \quad (7)$$

Onde Δ é o operador de primeira diferença, α_0 é um termo constante, γ representa o coeficiente de teste da presença/ausência de raiz unitária, ΔX_{t-i} é a própria variável diferenciada, p é a ordem do modelo autorregressivo e ε_t é um ruído branco.

Sendo a série $W_t = \nabla^d X_t$ estacionária, ela pode ser representada por um modelo ARMA (p,q), tal que:

$$\phi_p(B)W_t = \theta_q(B)a_t \quad (8)$$

Por conseguinte, X_t é uma integral de W_t . Diz-se que X_t segue um modelo autorregressivo integrado de médias móveis (ARIMA) de ordem (p, d,q), tal que:

$$\Phi_p(B)\nabla^d X_t = \theta_q(B)a_t \quad (9)$$

Na prática se observa que, via de regra, uma modelagem ARIMA (p,d,q) adequada não excede o valor de dois para p, d e q (MONTGOMERY;

JOHNSON; GARDINER, 1990, p. 258).

Após a verificação de estacionariedade da série, os passos seguintes são a identificação do modelo ARIMA, isto é, determinar os valores de p , d e q . A grandeza de d será especificada pelo número de diferenciações necessárias para tornar a série estacionária. A ordem de p e q será definida, inicialmente, pela análise dos correlogramas da função de autocorrelação (ACF) e da função de autocorrelação parcial (PACF).

A ACF mede a relação entre as observações separadas por uma dada distância, assim para uma série estacionária o valor da ACF dependerá apenas da distância entre as observações. A ACF é definida por:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2} = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t)(X_{t+k})}{\sum_{t=1}^N X_t^2}; \quad k = 1,2,3, \dots, N-1 \quad (10)$$

Onde N é o número de observações.

A PACF (denotada por ϕ_{kk}) é um modo de calcular a correlação entre X_t e X_{t-k} , removendo-se o efeito das observações entre elas. Assim, a PACF para uma série normalmente distribuída é definida como $\phi_{kk} = Corr(X_t, X_{t-k}/X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-k+1})$. Pode-se mostrar que, para uma série estacionária, ϕ_{kk} satisfaz as equações de Yule-Walker e, desse modo, o cálculo da PACF é dado por:

$$\rho_j = \phi_{k1}\rho_{j-1} + \phi_{k2}\rho_{j-2} + \dots + \phi_{kk}\rho_{j-p}; j = 1,2, \dots, k \quad (11)$$

O padrão da ACF e da PACF irá dizer quais ordens de p e q melhor descrevem a série. Existe uma série de regras para a identificação de p e q . Basicamente, para modelos ARMA (p,q) tem-se que a ACF apresenta picos nas defasagens até p e, após, um caimento abrupto, enquanto a PACF tem picos até q e uma queda rápida após.

Através da ACF e PACF podem ser identificados alguns modelos possíveis para descrever a série. A escolha entre modelos distintos se dá pela análise dos critérios de Akaike (AIC) e Schwartz (BIC). O modelo que tiver os menores valores desses critérios é o mais adequado, sendo o AIC mais relevante.

O penúltimo passo é a estimação dos coeficientes autorregressivos (AR) e/ou de médias móveis (MA) do modelo. O último passo da construção do modelo ARIMA é o diagnóstico do modelo. Nesta etapa verifica-se se há autocorrelação entre os resíduos do modelo. Não havendo, conclui-se que o modelo é adequado.

3.2. Modelos de Função de Transferência

A premissa básica por trás da modelagem de funções de transferências é que a relação entre duas séries X e Y esteja sujeita a algum tipo de inércia, isto é, ocorrências que afetam os resultados persistem no tempo. Posto de outra forma, os valores de Y_t são impactados pela regressora X_t , bem como por suas defasagens, $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-i}$. (ALVES, 2006, p. 13).

Dada duas séries estacionárias x_t e y_t , uma função de transferência pode ser descrita por:

$$y_t = v_0 + v_1 x_{t-1} + v_2 x_{t-2} + \dots + \varepsilon_t \quad (12)$$

⁴ O operador de defasagem (ou *backward-shift operator*) é definido por: $B^j X_t = X_{t-j}$.

ou

$$y_t = v(B)x_t + \varepsilon_t \quad (13)$$

Onde:

$$v(B) = v_0 + v_1B + v_2B^2 + \dots \quad (14)$$

B é o operador autorregressivo dado por: $B^j X_t = X_{t-j}$, $v(B)$ é conhecido como a função de transferência do filtro, e os coeficientes v_k são chamados de *função de resposta ao impulso* do sistema. Em sistemas estáveis, a soma do operador $v(B)$ converge para $|B| \leq 1$, isto é, uma variação incremental finita na série explicativa x_t resulta em variação incremental finita na variável y_t (MONTGOMERY, JOHNSON, GARDINER, 1990, p. 297).

A soma dos coeficientes v_k corresponde ao impulso da série de entrada sobre a de saída, “representando a variação total y_t para uma variação unitária em x_t ” (SILVEIRA, 2004, p. 37), dado pela equação (15):

$$\sum_{k=0}^{\infty} v_k = g \quad (15)$$

A equação (13) pode não representar adequadamente a relação entre as séries, uma vez que o operador $v(B)$ pode ter um número muito grande, ou mesmo infinito, de termos. Além disso, uma perturbação em X_t pode não ser imediatamente sentida em Y_t , demorando certo período (b) para que as mudanças na série explicativa sejam refletidas na série dependente (MONTGOMERY, JOHNSON, GARDINER, 1990, p. 298).

A formulação da equação (13) mais parcimoniosa e que leva em consideração o efeito defasado da série X_t é dada por:

$$Y_t = \frac{\omega_s(B)}{\delta_r(B)} X_{t-b} + \varepsilon_t \quad (16)$$

Onde:

$$\omega_s(B) = (\omega_0 - \omega_1B - \omega_2B^2 - \dots - \omega_sB^s) \quad (17)$$

$$\delta_r(B) = (1 - \delta_1B - \delta_2B^2 - \dots - \delta_rB^r) \quad (18)$$

Comparando as formulações (13) e (16) se observa que o operador $v(B)$ pode ser obtido através da razão entre outros dois operadores finitos, um de médias móveis $\omega_s(B)$ e um autorregressivo $\delta_r(B)$:

$$v(B) = \frac{\omega_s(B)}{\delta_r(B)} B^b \quad (19)$$

Portanto,

$$(1 - \delta_1B - \delta_2B^2 - \dots - \delta_rB^r)(v_0 + v_1B + v_2B^2 + \dots) = (\omega_0 - \omega_1B - \omega_2B^2 - \dots - \omega_sB^s)B^b$$

As raízes características $\omega_s(B) = 0$ e $\delta_r(B) = 0$ precisam estar fora do círculo unitário, o que garante que $v(B)$ seja convergente e, conseqüentemente, o sistema seja estável (SILVEIRA, 2004, p. 37).

As características das respostas impulsivas são diretamente refletidas na escolha de r , b e s (MONTGOMERY; JOHNSON; GARDINER, 1990, p. 299). O primeiro é fator de arrasto da série explicativa sobre a explicada, o segundo identifica a defasagem (*delay*) temporal do impacto de X sobre Y , e o terceiro

identifica a quantidade de lags significativos, excetuando-se b (MARGARIDO; KATO; UENO,1994, p. 142). Os valores de r , b e s serão definidos através da análise da função de correlação cruzada, processo este que será melhor detalhado na seção 3.4.

Na função de transferência, o fator $\delta_r(B)$ irá determinar a “memória” do modelo, ou o ajustamento de longo prazo, ao passo que o fator $\omega_s(B)$ representa os impactos de curto prazo (MARGARIDO; KATO; UENO,1994, p. 142).

Na equação (16), Y_t nunca seguirá exatamente o padrão descrito pela função de transferência, isto é, existem outras perturbações que podem influenciar o sistema que não estão explícitas (MONTGOMERY; JOHNSON; GARDINER, 1990, p. 302). Ao invés de considerar ε_t um ruído branco, Box e Jenkins (1976) permite considerar um componente de erro n_t com correlação serial⁵. Assumindo-se que essa perturbação pode ser modelada por um ARIMA (p, d, q), tem-se:

$$\phi_p(B)\nabla^d n_t = \theta_q(B)\varepsilon_t \quad (20)$$

Onde ε_t é um ruído branco.

Diferenciando-se as séries individualmente, o modelo de função de transferência pode ser sumarizado pelo ARMA(p, q) (SILVEIRA, 2004, p. 38):

$$y_t = \frac{\omega_s(B)}{\delta_r(B)} x_{t-b} + \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)} e_t \quad (21)$$

3.3. Função de Correlação Cruzada

A Função de Correlação Cruzada (CCF) é uma forma de mensurar a relação entre uma variável X explicativa e uma dependente Y . As autocorrelações entre as duas variáveis devem ser removidas antes do cálculo da CCF, uma vez que essa é afetada por aquelas. Isto implica que a CCF não irá representar adequadamente a real relação entre X e Y , se as séries não forem estacionárias ou tiverem autocorrelações (SILVEIRA, 2004, p. 42).

As equações (22) e (25) definem a função de covariância cruzada de x_t e y_t e a função de correlação cruzada de X_t e Y_t , respectivamente.

$$\gamma_{xy}(k) = E[(x_t - \mu_x)(y_{t+k} - \mu_y)] \quad (22)$$

Onde,

$$\mu_x = E\{X\} \quad (23)$$

$$\mu_y = E\{Y\} \quad (24)$$

$$\rho_{xy}(k) = \frac{\gamma_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (25)$$

Onde,

$$\sigma_x = \sqrt{\text{var}(X_t)} \quad (26)$$

⁵ No presente trabalho, assume-se, por simplificação, que o componente ε_t da função de transferência é um ruído branco, pois o foco é identificar o padrão de transmissão de preços do produtor, levando em conta o insumo cana, e a transmissão de preços das distribuidoras *vis-à-vis* o preço pelo qual pagam ao produtor.

$$\sigma_y = \sqrt{\text{var}(Y_t)} \quad (27)$$

São necessárias ao menos $N = 50$ observações para produzir uma estimativa satisfatória da CCF (MONTGOMERY; JOHNSON; GARDINER, 1990, p. 303). Observa-se que, em geral, a função de autocorrelação cruzada não é simétrica, isto é, $\rho_{xy}(k) \neq \rho_{yx}(-k)$.

O desvio padrão para a CCF de duas séries de ruídos brancos é dado pela equação:

$$DP[r_{xy}(k)] = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (28)$$

Em uma distribuição t , para um intervalo de confiança de 95%, serão significativos os valores da CCF, tais que:

$$|r_{xy}(k)| \geq \frac{1.96}{\sqrt{N}} \quad (29)$$

Sendo $(y_i, x_i); i = 1, 2, \dots, N$ observações do processo bivariado (Y_t, X_t) .

A CCF(k) representa a relação entre a série explicativa X no momento t e série explicada Y no instante $t + k$, desse modo a CCF(k) indica a correlação entre os valores de X e os valores futuros de Y , quando $k > 0$. No caso em que $k < 0$, a CCF(k) aponta a correlação entre X e os valores passados de Y .

3.4. Identificação da Função de Transferência

Antes de se calcular a CCF, deve-se remover as autocorrelações das séries. Neste trabalho, optou-se pelo método habitualmente usado para a remoção de autocorrelações das séries e recomendado por Box e Jenkins (1976), que consiste em cinco etapas.

No primeiro passo, diferenciam-se as séries até se atingir a estacionariedade de ambas. Cumpre ressaltar que as ordens das diferenciações não precisam ser idênticas. Desse modo, se obtém:

$$w_t = (1 - B)^d X_t \quad (30)$$

$$z_t = (1 - B)^{d'} Y_t \quad (31)$$

No segundo passo, se constrói um modelo ARIMA para a série diferenciada w_t , tal que:

$$w_t = \frac{\theta(B)}{\phi(B)} \alpha_t \quad (32)$$

No terceiro passo, usa-se o inverso do modelo para se filtrar w_t e se obter os resíduos α_t :

$$\alpha_t = \frac{\phi(B)}{\theta(B)} w_t \quad (33)$$

No quarto passo, utiliza-se o mesmo inverso para filtrar z_t e se chegar a série pré-branqueada ϑ_t :

$$\beta_t = \frac{\phi(B)}{\theta(B)} z_t \quad (34)$$

Por último, se faz a correlação cruzada de α_t e β_t .

Estas séries conservam as informações relevantes da estrutura de inter-relacionamento entre X_t e Y_t e eliminam o intra-relacionamento dentro de cada série.

Em boa parte das aplicações r e s não excedem o valor de dois (MONTGOMERY; JOHNSON; GARDINER, 1990, p. 300).

O valor assumido por r será zero, um ou dois, se o gráfico da CCF, a partir do lag $s + b + 1$, apresentar um corte brusco, decaimento exponencial ou forma senoide amortecida, respectivamente. Isto porque $v_k; k \geq s + b + 1$ satisfaz a equação de diferenças $v_k = \delta_1 v_{k-1} + \delta_2 v_{k-2} + \dots + \delta_r v_{k-r}$.

4. DADOS

Serão usadas três séries temporais mensais, a do preço da tonelada de cana do Instituto de Economia Agrícola (IEA)⁶, a do indicador de preço do etanol hidratado combustível para o estado de São Paulo do CEPEA/Esalq⁷ e do preço do etanol praticado pelas distribuidoras fornecido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

O CEPEA/Esalq disponibiliza dados mensais para os estados de Alagoas, Paraíba, Pernambuco e São Paulo. Esse último é o único que tem mais de 100 observações, tornando-o o mais adequado à metodologia de séries temporais. A série do estado começa em novembro de 2002. Em virtude disso, optou-se por utilizar na análise os dados de janeiro de 2003 até setembro de 2014 para todas as séries.

Há que se ressaltar que a periodicidade semanal seria a mais indicada, por refletir melhor as flutuações de preços, porém a mensal foi escolhida como forma de compatibilizar as séries, pois não se tem disponível os dados de preço da tonelada de cana com frequência hebdomadária.

5. RESULTADOS

Pela metodologia apresentada anteriormente, será necessário se estimar um modelo ARIMA para o preço da tonelada de cana-de-açúcar e um para o preço do produtor de etanol. O primeiro servirá para prebranquear a série de preços do produtor. A série de preços da distribuidora será prebranqueada com o segundo modelo.

A fim de melhor expor os resultados e de se seguir a sequência lógica da metodologia, optou-se nesta seção por apresentar, primeiro, a elaboração da função de transferência de preço do etanol vendido pelo produtor e, em seguida, construir a função de transferência de preço das distribuidoras.

5.1. Função de Transferência do Produtor

Inicialmente, foi feita a modelagem da série de cana-de-açúcar, a fim de se obter um modelo ARIMA para

⁶ O IEA é o braço econômico da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), a qual é ligada a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

⁷ Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) ligada a Universidade de São Paulo (USP).

prebranquear a série de preço do etanol do produtor. A primeira etapa da análise de séries temporais é a visualização gráfica da série para averiguar a existência de estacionariedade. A **Figura 1** mostra a preço da tonelada de cana-de-açúcar, entre 2003 e setembro de 2014.

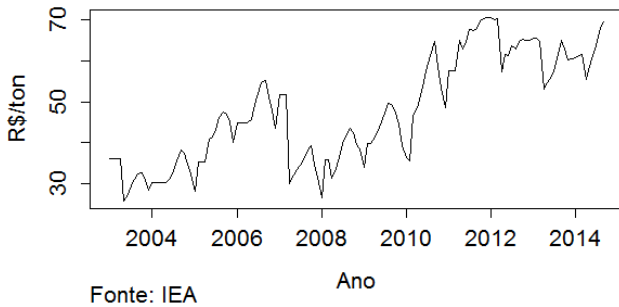


Figura 1. Preço médio recebido pelos produtores de cana-de-açúcar

Visualmente, observa-se que a série não apresenta estacionariedade. O teste de Dickey-Fuller Aumentado forneceu um p-valor de 40%, e a **Figura 2** mostra a ACF e a PACF da série de cana, o que confirma a inexistência de estacionariedade.

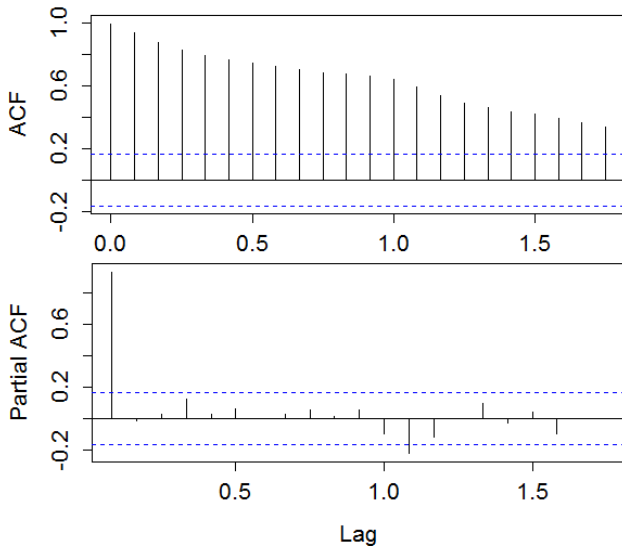


Figura 2. ACF e PACF da série de cana-de-açúcar

Em seguida, foi feita a diferenciação da série de cana para se obter a sua estacionariedade. A **Figura 3** mostra a ACF e a PACF da primeira diferenciação. O lag 12 é significativo nas duas funções, o que sugere que há sazonalidade na série.

O teste de Dickey-Fuller Aumentado para a série diferenciada apenas sazonalmente apresentou um p-valor ligeiramente superior a 40%, o que levou a primeira diferenciação da série. O mesmo teste para a série com duas diferenças forneceu um p-valor de 1%, o que mostra a estacionariedade da série.

A **Figura 4** ilustra o resultado da ACF e da PACF da primeira diferença da série diferenciada sazonalmente em 12 meses. Percebe-se significância no primeiro e no décimo segundo lag da ACF. A PACF tem os mesmos lags significantes da ACF, além dos lags 24, 36 e 48,

comprovando a sazonalidade da série. Por esses resultados, fica claro que o modelo SARIMA é o mais adequado para a modelagem da série de cana-de-açúcar. Este é um resultado esperado, devido a sazonalidade intrínseca à produção agrícola.

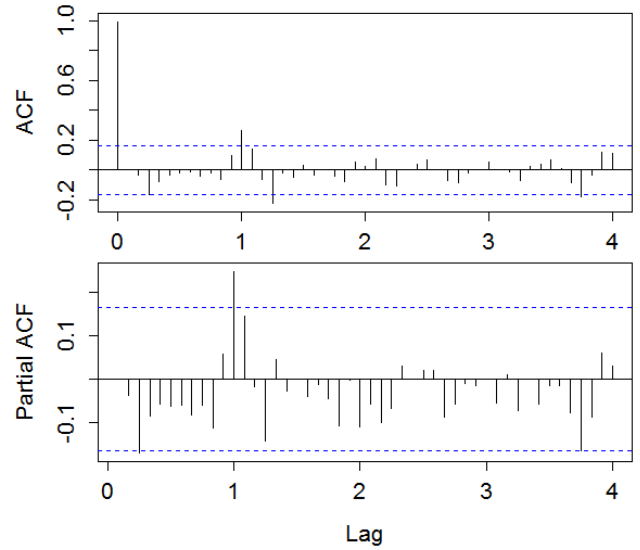


Figura 3. ACF e PACF da série de cana-de-açúcar com uma diferenciação

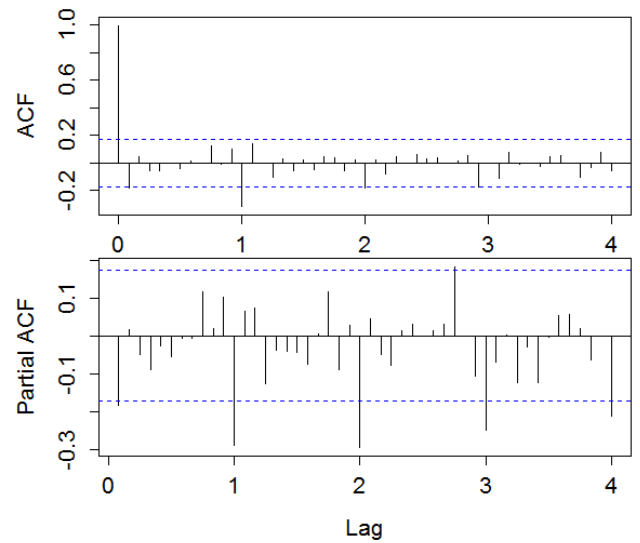


Figura 4. ACF e PACF da primeira diferença da série de cana-de-açúcar diferenciada sazonalmente

A análise dos correlogramas aponta para a existência de um processo SMA(1) puro, visto que há significância nos lags 12, 24, 36 e 48 da PACF e um decaimento abrupto a partir do lag 12 na ACF. Soma-se a isso o fato das autocorrelações nos períodos sazonais serem negativas.

A **Figura 4** também sugere a assinatura de um processo MA(1), pois há um corte abrupto após o primeiro lag da ACF, além dele ser negativamente correlacionado. Em princípio, um componente AR(1) é sugerido quando o primeiro lag da PACF é positivamente correlacionado e, após, há um corte abrupto. No caso, o primeiro lag da PACF é negativamente correlacionado.

Desse modo, foram testados dois modelos: um

SARIMA $(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ e outro SARIMA $(1,1,0)(0,1,1)_{12}$ ⁸⁸. A **Tabela 1** mostra os valores dos critérios AIC e BIC para os referidos modelos. A pesar do exposto no parágrafo anterior, o modelo SARIMA $(1,1,0)(0,1,1)_{12}$ exibiu valores ligeiramente inferiores dos critérios de Akaike e Schwartz e por isso ele foi selecionado.

Tabela 1. Sumário dos critérios de escolha dos modelos.

	$(1,1,0)x(0,1,1)_{12}$	$(0,1,1)x(0,1,1)_{12}$
AIC	717.37	717.44
BIC	725.92	725.99

Pelas **Figuras 5 e 6**, conclui-se que os resíduos do modelo tem distribuição normal e pela **Figura 7** que eles não apresentam autocorrelação.

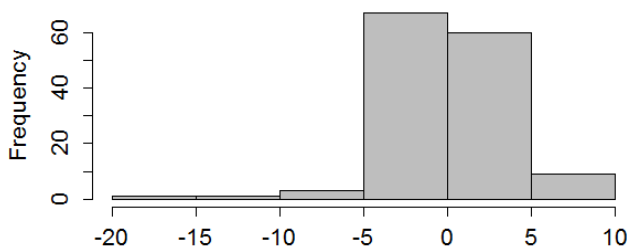


Figura 5. Histograma dos resíduos do modelo SARIMA da cana-de-açúcar

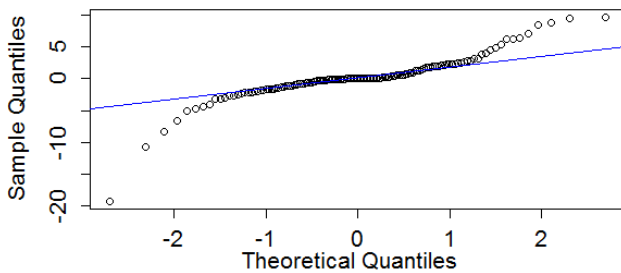


Figura 6. Normal Q-Q Plot dos resíduos do modelo SARIMA da cana-de-açúcar

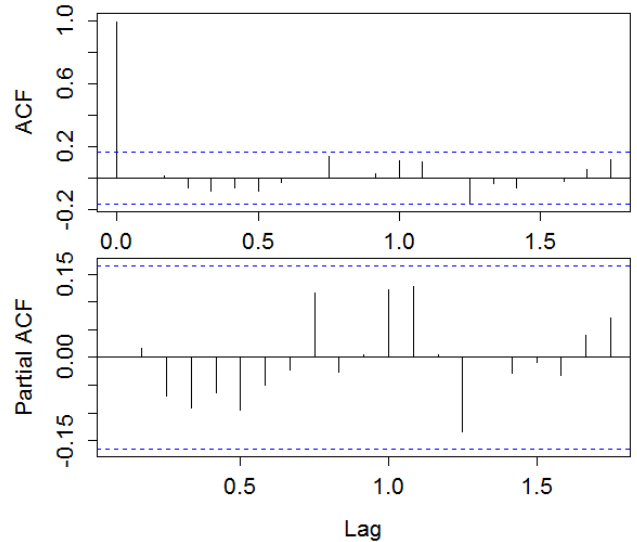


Figura 7. ACF e PACF dos resíduos do modelo SARIMA da cana-de-açúcar

A **Figura 8** ilustra o ajuste do modelo SARIMA $(1,1,0)(0,1,1)_{12}$ (em vermelho), cuja aderência à série de preço de cana-de-açúcar original é bastante satisfatória.

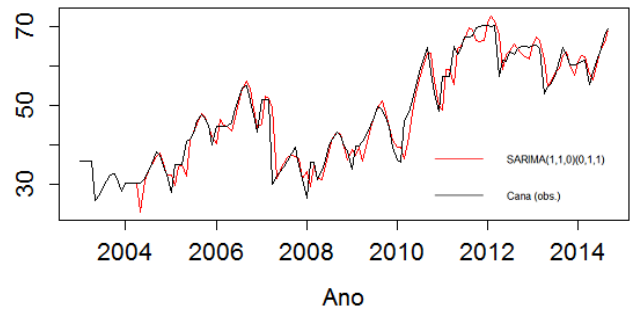


Figura 8. Ajuste do modelo SARIMA escolhido à série de cana original

Os coeficientes AR(1) e SMA(1) calculados foram -0.1081 e -1.000, respectivamente. A equação geral do modelo SARIMA da cana-de-açúcar em termos do operador B é dada por:

$$\Phi_1(B)\nabla_{12}^1\nabla^1 C_t = \theta_1(B^{12})a_t^c \quad (35)$$

Onde C_t é o preço de venda do produtor.

Desenvolvendo-se a equação (35) e adicionando-se os coeficientes AR(1) e SMA(1), chega-se a equação do modelo da cana-de-açúcar:

$$C_t = C_{t-1} + C_{t-12} - C_{t-13} - 0.1081C_{t-1} + 0.1081C_{t-2} - C_{t-13} + 0.1081C_{t-14} + a_t - a_{t-12}$$

A **Figura 9** mostra a série de preços do etanol hidratado vendido pelo produtor, no estado de São Paulo, entre janeiro de 2003 e setembro de 2014. A análise gráfica sugere que não há estacionariedade na série.

⁸⁸ Na realidade, outras combinações de sobre parametrização foram testadas, inclusive com componentes SAR(1). Todos se mostraram com critérios AIC e BIC piores.

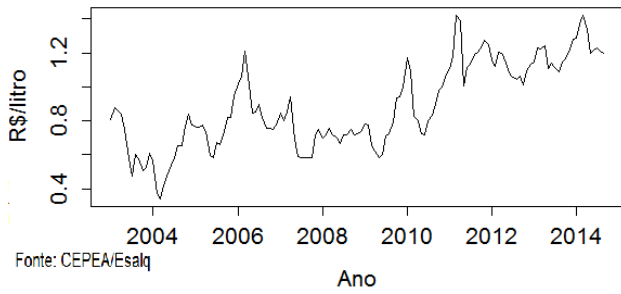


Figura 9. Série de preços médios mensais do etanol hidratado vendido pelo produtor

O valor do teste de Dickey-Fuller Aumentado foi -2.0573 para um p-valor de 53%. A ACF e a PACF também apresentam padrão de não estacionariedade, como mostra a **Figura 10**, portanto a série foi diferenciada uma vez. O ADF para a série com uma diferença é -4.352 para um p-valor de 1%. Assim, ao contrário da série de cana, a série do preço de etanol do produtor atingiu a estacionariedade com apenas uma diferenciação. A **Figura 11** exibe a ACF e a PACF da primeira diferença da série de preços do produtor, confirmando a estacionariedade da série diferenciada.

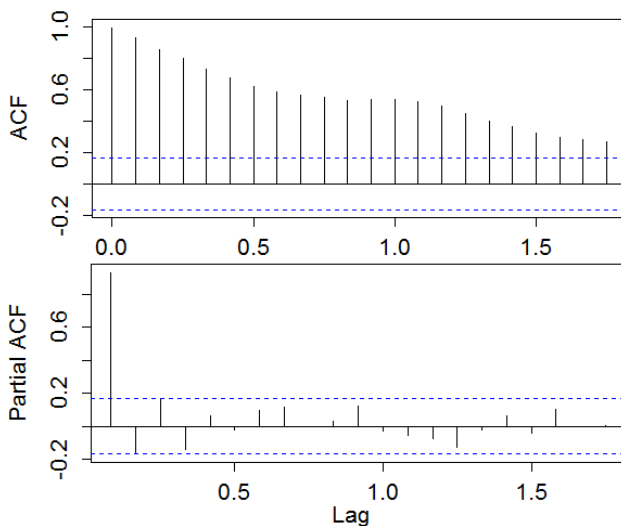


Figura 10. ACF e PACF da série de preço do etanol do produtor

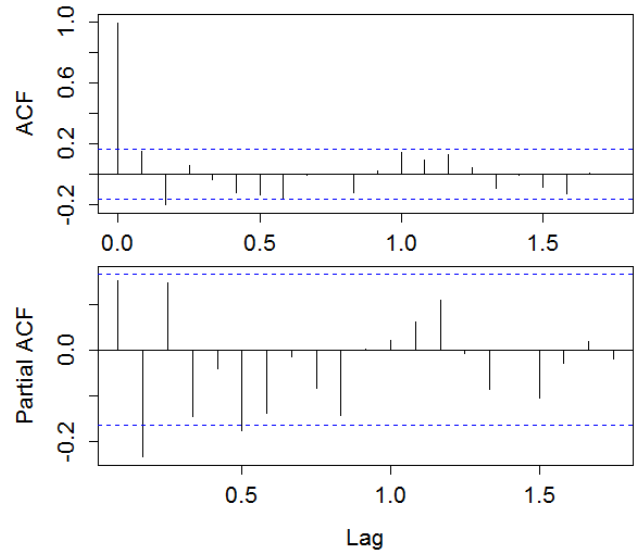


Figura 11. ACF e PACF da primeira diferença da série de preço do etanol do produtor

A partir da equação (35), fez-se a prefiltragem da série de preços do produtor. Desse modo, obteve-se os resíduos necessários para o cálculo da CCF:

$$a_t^p = \frac{\phi_1(B)}{\theta_1(B^{12})} p_t \quad (36)$$

Onde, $p_t = \nabla_{12}^1 \nabla^1 P_t$, isto é, a primeira diferença da série de preços do etanol do produtor diferenciada sazonalmente. Apesar da série de preços do produtor alcançar a estacionariedade com apenas uma diferença e mesmo não sendo necessária a mesma ordem de diferenciação das séries para o cálculo da CCF, se fez esta opção para manter o padrão utilizado no modelo SARIMA (1,1,0)(0,1,1)₁₂ e melhor comparar as séries de resíduos.

A **Figura 12** mostra a CCF dos resíduos a_t^p da equação (36) e a_t^c da equação (35). Observa-se que somente o lag 2 é significativo e que a forma da função é de senoide amortecida, variando entre -0.1 e 0.1. Portanto, a função de transferência do produtor tem $r = 2$, $b = 1$ e $s = 1$.

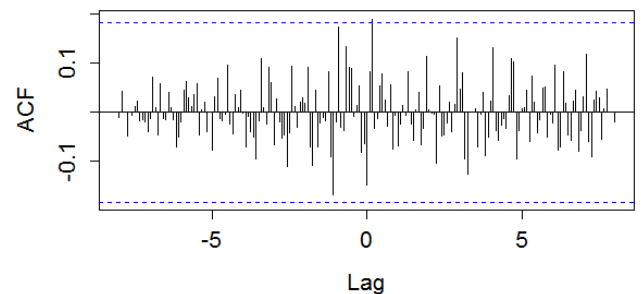


Figura 12. CCF do resíduo do modelo SARIMA e da série de preços do produtor prebranqueada

Consequentemente, a função de transferência do produtor é dada por:

$$P_t = \frac{(\omega_0 - \omega_1 B)}{(1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2)} C_{t-1} + n_t \quad (37)$$

ou

$$P_t = \delta_1 P_{t-1} + \delta_2 P_{t-2} + \omega_0 C_{t-1} - \omega_1 C_{t-2} + n_t \quad (38)$$

5.2. Função de Transferência das Distribuidoras

É necessário agora estimar o modelo ARIMA para o preço do etanol vendido pelo produtor. Para tanto, deve-se analisar a **Figura 11**. Como visto anteriormente, a série de preços do produtor atinge a estacionariedade com uma diferenciação. A ACF da série mostra apenas o lag 2 significativo e negativamente correlacionado e, após, um decaimento abrupto, o que sugere um MA(2). A PACF também mostra significância no lag 2, porém com um decaimento gradual. A **Tabela 2** mostra os valores do critério AIC dos modelos testados.

Tabela 2. Valor do critério AIC dos modelos ARIMA testados

ARIMA	AIC	BIC
(0,1,1)	-298.6	-292.72
(1,1,1)	-304.34	-295.52
(2,1,1)	-304.45	-292.68
(0,1,2)	-306.24	-297.42
(1,1,2)	-304.28	-292.51
(2,1,2)	-306.44	-291.73

O modelo de menor AIC foi o ARIMA (2,1,2). Há que se ter cuidado com a utilização de múltiplos termos AR e MA no mesmo modelo, uma vez que um componente pode anular o efeito do outro. Uma forma de se identificar este tipo de problema é ver se os coeficientes AR e MA possuem raiz unitária, isto é, se a soma deles é próxima ou igual a 1. A **Tabela 3** mostra os valores dos coeficientes do modelo ARIMA (2,1,2). Pode se observar que o somatório dos componentes AR é menor que 0.7, e o dos componentes MA é ligeiramente inferior a -0.86.

Tabela 3. Valor dos coeficientes do modelo ARIMA (2,1,2)

Φ_1	Φ_2	θ_1	θ_2
0.4222	0.2746	-0.1989	-0.6620

A análise dos resíduos do modelo ARIMA (2,1,2) mostra que estes são ruído branco. A **Figura 13** mostra os resíduos tem distribuição normal e a **Figura 15** que não existem correlações entre eles.

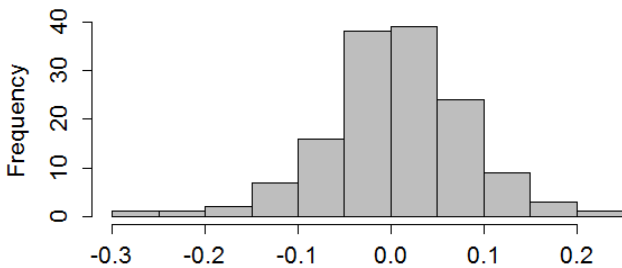


Figura 13. Histograma dos resíduos do modelo ARIMA(2,1,2)

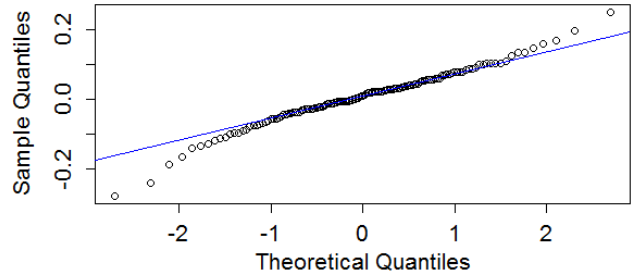


Figura 14. Normal Q-Q Plot dos resíduos do modelo ARIMA (2,1,2)

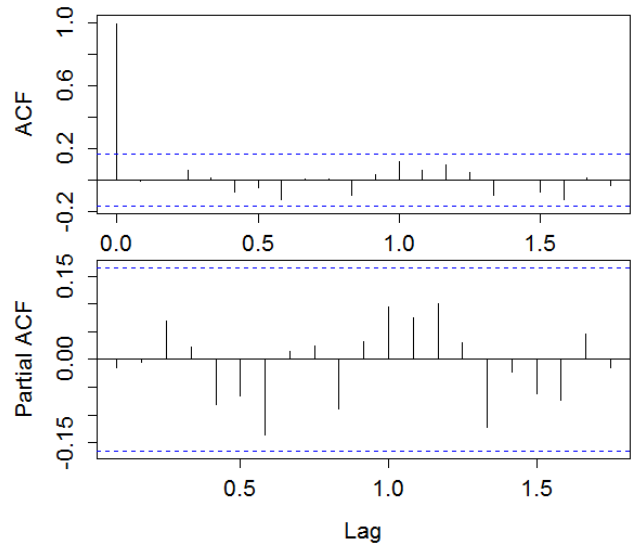


Figura 15. ACF e PACF dos resíduos do modelo ARIMA (2,1,2)

A **Figura 16** mostra o ajuste do modelo ARIMA (2,1,2) à série de preços do produtor, indicando que há uma boa aderência do modelo à série observada.

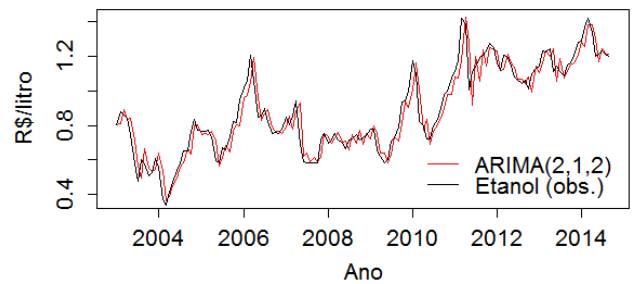
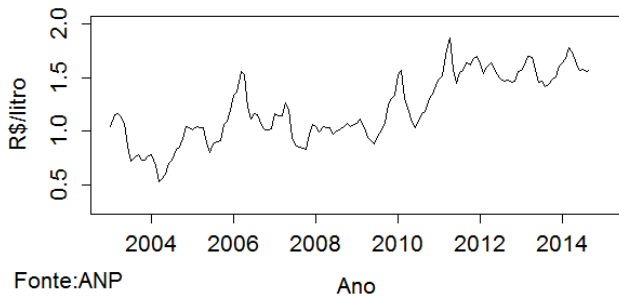


Figura 16. Ajuste do modelo ARIMA (2,1,2) a série de preços de etanol do produtor

Pelo exposto acima, optou-se pelo modelo ARIMA (2,1,2) para prebranquear a série de preços das distribuidoras. Assim, a fórmula geral do modelo para a série de preços de etanol do produtor é:

$$\Phi_2(B)\nabla^1 P_t = \theta_2(B)a_t^p \quad (39)$$

A **Figura 17** mostra a média mensal de preços de revenda das distribuidoras, entre janeiro de 2003 e setembro de 2014, em São Paulo. Graficamente, observa-se que a série não é estacionária.



Fonte: ANP

Figura 17. Média mensal de preços de revenda das distribuidoras em São Paulo

O valor do ADF da série foi -2.281 para um p-valor de 0.4595. A ACF e a PACF da série também indicam que não há estacionariedade, como mostra a **Figura 19**.

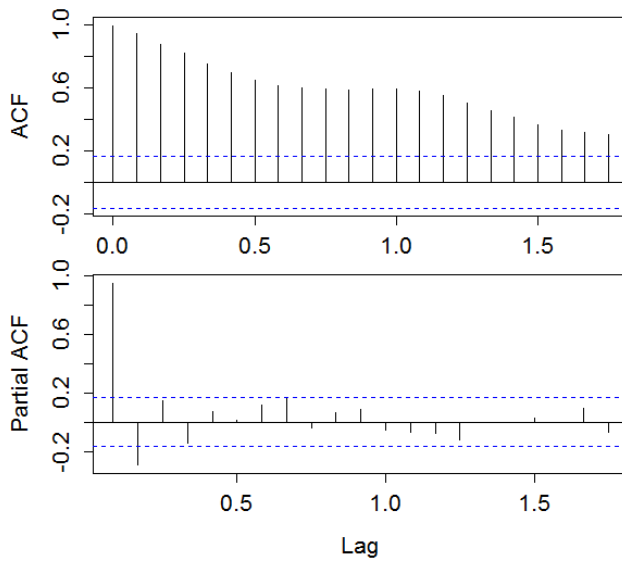


Figura 10. ACF e PACF da série de preço médios de revenda das distribuidoras, em São Paulo

Conseqüentemente, foi feita a primeira diferença da série. O resultado foi um ADF de -4.1011 para um p-valor de 1%, portanto atingiu-se a estacionariedade com apenas uma diferenciação. A **Figura 11** mostra o correlograma da ACF e da PACF da série diferenciada.

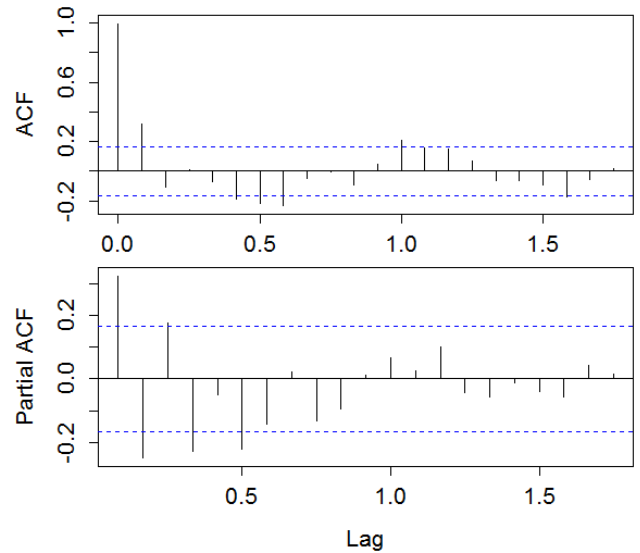


Figura 11. ACF e PACF da série de preço médios de revenda das distribuidoras diferenciada

O passo seguinte é fazer o prebranqueamento da série de preços médios das distribuidoras com o inverso do modelo ARIMA (2,1,2). Como a série de preços das distribuidoras atingiu a estacionariedade com a primeira diferença, obtém-se a série prefiltrada a partir da equação:

$$a_t^d = \frac{\phi_2(B)}{\theta_2(B)} d_t \quad (40)$$

Onde $d_t = \nabla^1 D_t$, ou seja, a primeira diferença da série de preços médios das distribuidoras.

A **Figura 12** apresenta o gráfico da CCF entre a série prefiltrada a_t^d e os resíduos (a_t^p) do modelo ARIMA (2,1,2). Observa-se significância nos lags 0 (zero) e 1 e um decaimento abrupto no lag 2. Desse modo, a função de transferência de preços das distribuidoras tem $r = 0$, $b = 0$ e $s = 1$.

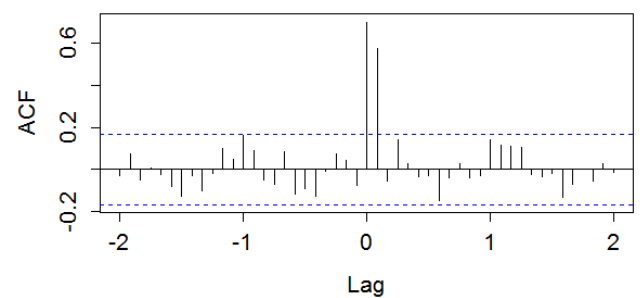


Figura 12. CCF da série de preços médios das distribuidoras prebranqueada com os resíduos do ARIMA (2,1,2)

A função de transferência das distribuidoras é dada por:

$$D_t = (\omega_0 - \omega_1 B) P_t + n_t \quad (41)$$

ou

$$D_t = \omega_0 P_t - \omega_1 P_{t-1} + n_t \quad (42)$$

6. CONCLUSÃO

O resultado das funções de transferência mostra que há um padrão bastante distinto na transmissão de preços do produtor de etanol e do distribuidor.

O primeiro, como mostra a equação (38), tem uma defasagem temporal de influência da série de entrada de um período ($b = 1$), isto é, o valor do preço da tonelada de cana-de-açúcar demora um mês para ser repassado para o preço do etanol vendido pelo produtor. Além disso, o preço da cana de dois períodos anteriores tem efeito sobre o preço do produtor ($s + 1 = 2$). A função de transferência ainda tem uma parte autorrelacionada ($r = 2$). Por exemplo, o preço do etanol do produtor no mês março é, em parte, reflexo do preço da tonelada de cana-de-açúcar nos meses de janeiro e fevereiro e do preço do próprio etanol nesses mesmos meses.

O segundo, expresso na equação (42), indica que o preço da distribuidora é melhor explicado pelo preço do produtor de etanol, uma vez que $r = 0$, ou seja, o preço da distribuidora não é determinado pela sua demanda, ou dito de outra forma, pela demanda dos consumidores no âmbito da distribuição, mas pelo preço de oferta do produtor de etanol. Ademais, o efeito da série de entrada dura por dois meses. Como o valor de b é zero, a transmissão de preços é instantânea. Por exemplo, o preço da distribuidora, em março, é função do preço do produtor em março e fevereiro.

Isto sugere que, de fato, seria o produtor o agente da cadeia de comercialização mais exposto aos riscos da flutuação de preços, já que ele demoraria um período para ajustar os preços, enquanto as distribuidoras o fazem de forma automática. Essas circunstâncias também podem revelar certo poder de mercado das distribuidoras frente aos produtores, uma vez que estes não conseguiriam repassar de forma tão ágil as variações de preço do seu insumo produtivo. Com efeito, pode-se concluir que as funções de transferência elaboradas no presente trabalho coadunam com as hipóteses da literatura existente sobre a comercialização de etanol hidratado.

7. REFERÊNCIAS

[1] Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 1999. Portaria ANP Nº 29, de 09 de Fevereiro de 1999, Estabelece a regulamentação da atividade de distribuição de combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível, bio-diesel, mistura óleo diesel/biodiesel especificada ou autorizada pela ANP e outros combustíveis automotivos. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

[2] _____, 2009. *Resolução ANP Nº 43, de 22 de dezembro de 2009*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

[3] _____. Boletim anual de preços de petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional. ANP, 2014.

[4] Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2013. Conab, 2013.

[5] G. Box and G. Jenkins, Time series analysis forecasting and control. San Francisco, California: Holden-Day, Inc., 1970, p. 553

[6] A. Bressan Filho. Os fundamentos da crise do setor sucroalcooleiro no Brasil. CONAB, 2009.

[7] F. Dolnikoff. Contratos de Etanol Carburante e a Racionalidade Econômica da Relação Entre Usinas e Distribuidoras de Combustível no Brasil. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde.../The_Final_Cut.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2014.

[8] M. A. Margarido, H. T. Kato, L. H. Ueno. Análise de transmissão de preços do mercado de tomate no estado de São Paulo. Agricultura em São Paulo, v.41, n.3, 1994

[9] D. C. Montgomery, L. A. Johnson and J. S. Gardiner, Forecasting & time series. New York, New York: McGraw-Hill, Inc., 1990, p. 375

[10] B. V. Moura. O papel do açúcar e da gasolina na determinação dos preços de etanol no Brasil. [MSc Thesis]. Rio de Janeiro, RJ: Federal University of Rio de Janeiro, 2014.

[11] P. A. Morettin, C. M. Tolo, Modelos de previsão de séries temporais. IMPA, 1981.

[12] novaCana. Distribuição das usinas de etanol no Brasil. Disponível em: <<http://www.novacana.com/usina/distribuicao-usinas-etanol-brasil/>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

[13] M. R. Pinto; E. C. D. Silva, 2004. O Brilho da Bandeira Branca: concorrência no mercado de combustíveis no Brasil. XXXII Encontro Nacional de Economia. João Pessoa, 2004. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro_2004.htm>. Acesso em: 30 dez. 2014.

[14] B. R. Rodrigues. Estoques reguladores de etanol combustível frente a introdução dos veículos flex fuel na frota nacional [MSc Thesis]. Rio de Janeiro, RJ: Federal University of Rio de Janeiro, 2012.

[15] R. R. de Souza. Proposta de Criação de um Mercado Global de Etanol. Tese de Doutorado apresentada a COPPE da Faculdade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, out. 2011. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/raquel_souz_a.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2014.

[16] L.D.O., Silva. Sustentabilidade do Etanol Brasileiro: Uma Proposta de Princípio e de Critérios, Dissertação de M.Sc., Programa de Planejamento Energético, UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

[17] J. G. S., Ometto. O Álcool Combustível e o Desenvolvimento Sustentado. São Paulo, PIC editorial, 1998.

[18] C. A. F., Vian. Complexo Agroindustrial Canavieiro. Série Pesquisa no. P-58. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Piracicaba, Esalq/USP, 2006. Disponível em:

V Encontro Latinoamericano de Economía de la Energía, 2015

<<http://economia.esalq.usp.br/pesq/pesq-58.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2015.

[19] H. Q. Pinto Junior., (org). Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

[20] E. L. F. Almeida.; T. Viegas. Crise de oferta no mercado de etanol: conjuntural ou estrutural?. Blog Infopetro, 2011. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2011/05/30/crise-de-oferta-no-mercado-do-etanol-conjuntural-ou-estrutural/>>. Acesso em: 28 jan. 2015.

[22] J. Giersdorf, Politics and Economics of Ethanol and Biodiesel Production and Consumption in Brazil. DBFZ Report N. 15, Leipzig, 2013.

[23] T. Viegas, Por que os estímulos federais não satisfazem os produtores de etanol?. Blog Infopetro, 2013. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2013/04/29/por-que-os-estimulos-federais-nao-satisfazem-os-produtores-de-etanol/>>. Acesso em: 28 jan. 2015.

[24] L. Losekann; G. Haydt, Projeção da importação brasileira de gasolina: cenários e impactos. Blog Infopetro, 2013. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2013/03/11/projecao-da-importacao-brasileira-de-gasolina-cenarios-e-impactos/>>. Acesso em: 28 jan. 2015.