



Lucas Aguiar de Araujo Pereira

Paridade do poder de compra da moeda:
uma análise utilizando taxas de câmbio real
diárias construídas a partir de microdados de
preços

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção de grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Macroeconomia e Finanças do
Departamento de Economia do Centro de Ciências
Sociais da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Carlos Viana de Carvalho

Rio de Janeiro
Maio de 2022



Lucas Aguiar de Araujo Pereira

Paridade do poder de compra da moeda:
uma análise utilizando taxas de câmbio real
diárias construídas a partir de microdados de
preços

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção de grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Macroeconomia e Finanças do
Departamento de Economia do Centro de Ciências
Sociais da PUC-Rio. Aprovado pela Comissão
Examinadora abaixo assinada.

Prof. Carlos Viana de Carvalho

Departamento de Economia – PUC-Rio

Prof. Márcio Gomes Pinto Garcia

Departamento de Economia – PUC-Rio

Prof. Emerson Fernandes Marçal

Fundação Getúlio Vargas – FGV

Rio de Janeiro, 27 de maio de 2022

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

Lucas Aguiar de Araujo Pereira

Graduou-se em Economia pela Universidade Federal Fluminense (UFF).

Ficha Catalográfica

Pereira, Lucas Aguiar de Araujo

Paridade do poder de compra da moeda : uma análise utilizando taxas de câmbio real diárias construídas a partir de microdados de preços / Lucas Aguiar de Araujo Pereira ; orientador: Carlos Viana de Carvalho. – 2022.

67 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Economia, 2022.

Inclui bibliografia

1. Economia – Teses. 2. Estratégia de trading. 3. Paridade poder de compra. 4. Taxa de câmbio. I. Carvalho, Carlos Viana de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Economia. III. Título.

CDD: 330

Agradecimentos

A Deus, pelos dons da vida, do amor e do conhecimento

Ao meu orientador, Carlos Viana, por toda a paciência e suporte ao longo da confecção deste trabalho.

À Lara, por todo o amor e compreensão, principalmente nos momentos mais difíceis.

À minha família, que talvez mesmo sem saber sempre foi minha maior fonte de inspiração e força.

Aos professores do Departamento de Economia da PUC-Rio pelos cursos ministrados e admirável dedicação.

Aos meus colegas Bernardo, Marcos e Rodrigo, pelo apoio de sempre. Sem vocês esta experiência não teria sido a mesma.

Resumo

Pereira, Lucas Aguiar de Araujo; Carvalho, Carlos Viana de. **Paridade do poder de compra da moeda: uma análise utilizando taxas de câmbio real diárias construídas a partir de microdados de preços**. Rio de Janeiro, 2022. 67p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A paridade do poder de compra da moeda (“PPP”), uma das teorias mais discutidas no meio acadêmico, sustenta que a taxa de câmbio nominal entre duas moedas deve ser igual à relação dos níveis de preços agregados entre os dois países, de modo que uma unidade de moeda de um país terá o mesmo poder de compra em um país estrangeiro. O objetivo deste trabalho é investigar a validade da teoria de PPP e a inovação que trazemos para a literatura é a aplicação desta teoria para o desenvolvimento de uma estratégia quantitativa de compra/venda de pares de moedas utilizando as séries diárias de preços calculadas pela PriceStats. Os resultados encontrados aqui sugerem que, apesar de identificarmos uma relação entre o diferencial de inflação e movimentos da taxa de câmbio nominal nas séries do PriceStats, observamos um desempenho quantitativo pior das nossas estratégias de investimento em moedas baseadas no modelo de Paridade do Poder de Compra da Moeda (PPP) vis à vis outros modelos padrão dentro da literatura financeira. Por outro lado, para pares específicos de moedas, encontramos números interessantes quando baseamos nossa estratégia nos modelos de PPP, observando Hit Ratio superior a 50% e retorno acumulado positivo da estratégia.

Palavras-chave

Estratégia de Trading; Paridade Poder de Compra; Taxa de Câmbio.

Abstract

Pereira, Lucas Aguiar de Araujo; Carvalho, Carlos Viana de (Advisor). **Currency purchasing power parity: an analysis using daily real exchange rates constructed from prices microdata**. Rio de Janeiro, 2022. 67p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Purchasing power parity (“PPP”), one of the most consolidated theories in academia, holds that the nominal exchange rate between two currencies must be equal to the ratio of aggregate price levels between the two countries, so that a currency unit of one country will have the same purchasing power in a foreign country. The objective of this work is to investigate the validity of the PPP theory and the innovation that we bring to the literature is using this theory to develop a quantitative strategy to buy/sell currency pairs using the daily price series calculated by PriceStats. The results found here suggest that, despite identifying a relationship between the inflation differential and nominal exchange rate movements in the Price Stats series, we observe a worse quantitative performance of our currency investment strategies based on the Power Parity model of Purchase vis a vis the standard models within the financial literature. On the other hand, for specific currency pairs, we found interesting numbers when we based our strategy on PPP models, observing a Hit Ratio above 50% and a positive cumulative return of the strategy, results very similar to those found for the reference models already mentioned within the financial literature.

Keywords

Trading Strategies, Purchasing Power Parity, Foreign Exchange Rate Models.

Sumário

1. Introdução	10
2. Revisão Literatura PPP	13
3. Dados e Metodologia	16
3.1. Introdução	16
3.2. Dados.....	17
3.3. Estacionariedade e Meia Vida	20
3.4. Modelo PPP	21
3.5. Estratégia de Investimento.....	24
4. Resultados	27
5. Conclusão	43
6. Referências bibliográficas	44
7. Apêndice	46

Lista de figuras

Figura 1: [Taxa de câmbio real e seus componentes].....	19
Figura 2: [Coeficiente de Informação vs Proporção dos Sinais].....	25
Figura 3: [Coeficiente de Informação vs Janela de Retorno]	25
Figura 4: [Resultados Modelo PPP AUD].....	28
Figura 5: [Resultados Modelo PPP BRL]	29
Figura 6: [Resultados Modelo PPP CNH]	30
Figura 7: [Resultados Modelo PPP EUR].....	31
Figura 8: [Resultados Modelo PPP GBP].....	32
Figura 9: [Resultados Modelo PPP JPY].....	33
Figura 10: [Resultados Modelo PPP ZAR]	34
Figura 11: [Resultados Modelo Alternativo AUD]	35
Figura 12: [Resultados Modelo Alternativo BRL].....	36
Figura 13: [Resultados Modelo Alternativo CNH].....	37
Figura 14: [Resultados Modelo Alternativo EUR]	38
Figura 15: [Resultados Modelo Alternativo GBP]	39
Figura 16: [Resultados Modelo Alternativo JPY]	40
Figura 17: [Resultados Modelo Alternativo ZAR]	41
Figura 18: [Comparação Estratégia Long & Short].....	42

Lista de tabelas

Tabela 1: [Meia Vida Taxa de Câmbio Real].....	21
Tabela 2: [Resultados Modelo VECM]	24
Tabela 3: [Informações e Coeficientes Modelo VECM].....	24

1. Introdução

A taxa de câmbio é um elemento central nas discussões de política econômica e prever seu comportamento é do interesse de *policymakers* e investidores. Na década de 80, Meese e Rogoff (1983) já apontavam para as dificuldades que diversos modelos empíricos enfrentavam na previsão da taxa de câmbio. Desde então, mesmo com todas as inovações teóricas e empíricas, a dificuldade de previsão dessa variável ainda é tema de muito debate entre os economistas.

A paridade do poder de compra (“PPP”), uma das teorias mais conhecidas no meio acadêmico, é surpreendentemente simples e sustenta que a taxa de câmbio nominal entre duas moedas deve ser igual à relação dos níveis de preços agregados entre os dois países, de modo que uma unidade de moeda de um país terá o mesmo poder de compra em um país estrangeiro (ver Taylor and Taylor 2004).

A ideia de que a paridade do poder de compra pode valer por causa da arbitragem de bens está relacionada com a chamada Lei do Preço Único, que sustenta que o preço de um bem comercializado internacionalmente deve ser o mesmo em qualquer lugar do mundo uma vez que esse preço é expresso em moeda comum, caso contrário, os agentes econômicos poderiam fazer uma arbitragem ao enviar as mercadorias de locais em que o preço é baixo para locais outros locais onde o preço é alto.

Possíveis objeções a essa linha de raciocínio são imediatas. A presença de custos de transação - talvez decorrentes de custos de transporte, impostos, tarifas e barreiras não tarifárias - induziriam a uma violação da Lei do Preço Único. Engel e Rogers (1996), por exemplo, analisaram os diferenciais de preços entre bens semelhantes em cidades nos Estados Unidos e Canadá e relataram evidências nessa direção. Além disso, nem todas as mercadorias são comercializadas entre todos os países, e o peso associado a bens semelhantes em índices de preços nacionais agregados serão diferentes. Países distintos também tendem a produzir bens que são diferenciados entre si e não perfeitamente substituíveis.

Apesar dessas objeções, existe algum consenso de que a teoria de PPP das taxas de câmbio se manterá pelo menos aproximadamente por causa da possibilidade de arbitragem internacional de mercadorias, principalmente a sua versão relativa, a qual afirma que a variação da taxa de câmbio durante um determinado período apenas compensa a diferença nas taxas de inflação entre os países.

Mais recentemente, Cavallo, Neiman e Rigobon (2019) mostraram que o *pass-through* do diferencial de inflação para a taxa de câmbio nominal se aproxima de 75% quando utilizadas séries de preços diárias construídas a partir da coleta de preços online. Sendo assim, a convergência do câmbio real para o seu nível de equilíbrio de PPP seria bem mais rápida do que o estipulado pela literatura.

O objetivo deste trabalho é investigar a validade da teoria de PPP e a inovação que trazemos para a literatura é a aplicação desta teoria para o desenvolvimento de uma estratégia quantitativa de compra/venda de pares de moedas utilizando as séries diárias de preços calculadas pela PriceStats. Seguindo a mesma linha metodológica do “Billions Prices Project”¹ do economista de Harvard Alberto Cavallo, a PriceStats coleta diariamente preços online de mais de 30.000 produtos usando técnicas de *scraping* e constrói as séries do nível de preços de alta frequência e câmbio real para diversos países. Com essa inovação, busco contornar uma das principais objeções à teoria de PPP, que é a não comparabilidade entre as diversas séries de preços e seus impactos na hora de calcular o diferencial de inflação entre dois países.

Partindo dos modelos padrão da literatura financeira utilizados para estimar o valor “justo” de pares de moedas² – onde a taxa de câmbio depende, dentre outros fatores, do diferencial de juros, diferencial de crescimento e termos de troca - crio uma adaptação onde o único regressor é a relação entre o índice de preços de dois países, fixo seu coeficiente em uma unidade e utilizo o resíduo dessa regressão para

¹ O Billion Prices Project foi um projeto acadêmico do MIT e Harvard que usou preços coletados de centenas de varejistas online em todo o mundo diariamente para realizar pesquisas em macroeconomia e economia internacional. Foi fundada em 2008 por Alberto Cavallo e Roberto Rigobon, e permaneceu ativo até 2016.

² Ver JP Morgan (2021).

a geração de sinais de compra e venda de pares de moedas baseado no valor “justo” estipulado por esse modelo de “paridade do poder de compra”.

A ideia aqui é que todo o diferencial de inflação entre os dois países seria refletido na taxa de câmbio nominal, de forma que a taxa de câmbio real entre eles permaneceria estável. Depois de gerado o sinal pelo modelo, crio uma estratégia onde a operação de compra ou venda de determinada moeda é carregada por uma janela fixa e acumulo os retornos gerados em cada operação para avaliar a eficácia dessa estratégia de PPP.

Os resultados encontrados aqui sugerem que, apesar de identificarmos uma relação entre o diferencial de inflação e movimentos da taxa de câmbio nominal nas séries do Price Stats, observamos um desempenho quantitativo pior das nossas estratégias de investimento em moedas baseadas no modelo de Paridade do Poder de Compra da Moeda (PPP) vis à vis aos modelos padrão dentro da literatura financeira.

Por outro lado, para pares específicos de moedas (AUDUSD, EURUSD, GBPUSD, JPYUSD), ainda encontramos números interessantes quando baseamos nossa estratégia nos modelos de PPP, observando Hit Ratio superior a 50% e retorno acumulado positivo da estratégia, resultados muito similares aos encontrados para os modelos de referência já citados dentro da literatura financeira.

Além desta introdução, o trabalho é composto da seguinte forma: o Capítulo 2, que apresenta uma revisão da literatura de PPP, o Capítulo 3, que apresenta os dados utilizados e a metodologia, o Capítulo 4, que retrata os resultados obtidos e o Capítulo 5 conclui.

2. Revisão Literatura PPP

Uma vasta literatura estuda as diferenças internacionais de preços, a lei absoluta e relativa do Preço Único (“LPU”), o repasse incompleto da taxa de câmbio e o comportamento da taxa de câmbio real. Esses tópicos estão intimamente relacionados, mas as limitações de dados normalmente implicam que eles sejam estudados isoladamente.

Um fato bem estabelecido na literatura³ é que os preços relativos em moeda local não são fortemente correlacionados com o valor nominal da taxa de câmbio. Isto acaba tornando a taxa de câmbio real volátil e persistente, fato rotulado de “PPP Puzzle” por Rogoff (1996). A visão tradicional de que isso era causado pelo preço dos bens não comercializáveis e efeitos do tipo Balassa-Samuelson⁴ foi contestada pelos resultados encontrados em Engel (1999), que mostrou que a taxa de câmbio real de bens *tradeables* construídas com o Índice de Preços ao Consumidor podem ser tão voláteis e persistentes quanto as taxas de câmbio real de bens *non-tradeables*.

Quando medido na fronteira, o ajuste dos preços relativos tem se mostrado maior.

Conforme exposto em Burstein e Gopinath (2011), o repasse nos preços ao consumidor é uniformemente baixo e bem abaixo do repasse em preços fronteiriços para cada país. Para os EUA, por exemplo, o *pass-through* seria pelo menos duas vezes mais alto em preços fronteiriços em comparação aos preços medidos pelo Índice de Preços ao Consumidor.

Assim, novas pesquisas surgiram para investigar os fatores limitantes para o ajuste no mercado de varejo. Várias explicações foram propostas, incluindo a ideia de que os mercados de varejo são segmentados por altos custos de transporte e distribuição (Burstein et al. (2003)), que os markups do varejo diferem no tempo e espaço (Atkeson e Burstein (2008)), e que as medidas existentes de preços relativos podem conter vieses decorrentes da agregação setorial (Imbs et al. (2005)),

³ Burstein e Gopinath (2011) fazem uma boa revisão da literatura.

⁴ Efeitos do tipo Balassa-Samuelson.

agregação temporal (Taylor (2001)), ou a desconsideração da entrada e saída de mercadorias (Nakamura e Steinsson (2012)).

Apesar dos avanços, grandes desafios empíricos persistem e prejudicam a formação de um novo consenso sobre o repasse da taxa de câmbio nominal e o comportamento da taxa de câmbio real. Dentre os problemas, vale destacar que a maior parte da literatura se baseia em Índices de Preços ao Consumidor (“IPCs”) que não são desenhados para comparações internacionais. Em particular, os IPCs impedem quaisquer comparações dos níveis de preços, sendo construídos pelos departamentos nacionais de estatística, que utilizam diferentes metodologias e cestas de bens.

Uma vertente mais nova da literatura utiliza microdados de preços obtidos diretamente de varejistas e provedores online, na tentativa de contornar as dificuldades elencadas acima e construir séries de preços mais fidedignos. Exemplos podem ser encontrados em Crucini e Shintani (2008) e Cavallo et.al (2014, 2015). Apesar desses esforços, ainda é difícil mapear um amplo conjunto de produtos similares que abranjam o mercado consumidor e sejam vendidos simultaneamente em uma grande variedade de países, com preços coletados de forma consistente e frequência relativamente alta.

Mais recentemente, Cavallo, Neiman e Rigobon (2019) reexaminaram a teoria de PPP a partir de uma nova base de dados de preços, usando técnicas de *web-scraping* e combinando a metodologia de construção dos Índices de Preços ao Consumidor com microdados de alta frequência.

Os preços de mais de 30.000 variedades individuais de produtos foram coletados com frequência diária e combinados em 350 categorias, permitindo a construção das séries de preços de bens *tradeables* e taxa de câmbio real para um grupo de 9 países. Diferente do consenso da literatura, Cavallo et all (2019) identificam uma relação contemporânea e negativa entre os preços relativos em moeda local e a taxa de câmbio, e quantificam um *pass-through* de cerca de 75%, que se compara com 30% se utilizadas as séries de preços dos institutos locais de estatística.

No geral, seus resultados sugerem que o choques na taxa de câmbio real são menos persistentes que o anteriormente previsto e tendem a apresentar um comportamento de retorno à média.

3. Dados e Metodologia

3.1. Introdução

Diversos modelos são utilizados pelos participantes do mercado financeiro para tentar prever a taxa de câmbio e desenvolver estratégias de compra/venda de moedas. Entre a classe de modelos mais comum está a dos modelos de regressão linear.⁵

Nesses modelos, busca-se regredir a taxa de câmbio contra variáveis financeiras e macroeconômicas, levando-se em consideração que vários fatores afetam o comportamento da taxa de câmbio, como por exemplo, o diferencial de juros, os termos de troca, as condições financeiras globais, entre outros. Um modelo nesse formato é apresentado abaixo:

$$\ln(EUR/USD)_t = \beta_0 + \beta_1 DIF_1Y1Y_t + \beta_2 VOL_SPX_t + \beta_3 DIF_5Y_t$$

onde,

$\ln(EUR/USD)_t$: Log do preço da taxa spot de câmbio

dif_1Y1Y_t : Diferencial de forwards interest rates

Vol_SPX_t : Volatilidade S&P 500

DIF_5Y_t : Diferença entre juros soberano de 5 anos da Alemanha e média dos juros dos títulos soberanos de 5 anos de Espanha, Itália, Portugal e Irlanda

A pergunta a qual esses modelos buscam responder é: dada a relação dos últimos “n” períodos entre a cotação do par e as variáveis do modelo, qual deveria ser a cotação da taxa câmbio hoje, considerando os valores das variáveis hoje?

Apesar desses modelos serem tradicionalmente denominados de modelos de “*fair value*”, estes são análogos à uma estratégia de *pairs trading*, apostando que desvios entre a cotação do par e as variáveis do modelo serão corrigidos. Sua

⁵ Em JP Morgan (2021) pode ser encontrada uma boa referência desse tipo de modelo.

eficácia, por conseguinte, depende da relação entre a cotação do par e as variáveis do modelo terem sido e continuarem sendo estável no horizonte de interesse.

Partindo desses modelos base, o presente trabalho busca duas mudanças e aperfeiçoamentos principais:

I. ao invés da utilização de diversas variáveis como regressores, avalio os resultados de regressões entre a taxa de câmbio nominal e os preços relativos entre os países, utilizando para isso as séries diárias do nível de preços calculadas pela PriceStats. Considerando a validade da teoria relativa de PPP, um país que apresenta inflação relativa mais alta experimentará ao mesmo tempo uma correspondente depreciação de sua moeda. Logo, faz sentido esperar que o câmbio nominal reaja a mudanças nos preços relativos, restabelecendo o equilíbrio da taxa de câmbio real, conforme visto em Cavallo, Neiman e Rigobon (2019).

II. após uma análise de robustez dos modelos empregados, criamos uma estratégia de operações com moedas baseada nos resíduos dessas regressões de PPP.

3.2. Dados

Uma parte central deste trabalho é o acesso aos dados disponibilizados pelo PriceStats. Aqui utilizamos séries da taxa de câmbio real (“TCRs”) e de preços relativos fornecidas pela empresa desde 2008⁶ para seis países (Austrália, Brasil, China, Zona do Euro, Japão, África do Sul e Reino Unido).

Utilizando preços online, a PriceStats calcula o custo relativo de uma cesta de produtos idênticos em cada país versus os Estados Unidos na construção de suas séries de câmbio real, que possuem duas vantagens principais: (i) as TCRs são construídas a partir de uma cesta comum de aproximadamente 250 mercadorias combinadas entre os países, incluindo alimentos, eletrônicos e combustíveis (a maioria das visualizações de TCR são baseadas em um único item ou usam índices de preços que são baseados em diferentes cestas), e (ii) as séries são de alta

⁶ A data de início dos dados pode variar de país para país. Na Austrália, as séries estão disponíveis desde 2008, 2010 na China e Reino Unido (UK), 2011 no Brasil e Japão, 2012 na África do Sul e 2014 na Zona do Euro.

frequência (valores diários) e atualizadas mensalmente (outros TCRs são atualizados com intervalo de seis meses a cinco anos).

No painel abaixo, apresento alguns exemplos das séries utilizadas nesse estudo. Na primeira coluna, aparece a taxa de câmbio real estimada para cada um dos países. Esta taxa mede o custo em dólares americanos de uma cesta de bens idênticos no país em relação aos Estados Unidos. Quando a TCR é superior a 1, isso significa que as mercadorias em questão são mais caras neste relativamente aos Estados Unidos, e vice-versa quando a TCR é inferior a 1.

A segunda coluna apresenta os dois componentes separados da taxa de câmbio real (TCR): (i) a taxa de câmbio nominal (E), e (ii) os níveis de preços relativos entre os países ($P_{\text{País}}/P_{\text{US}}$).

Conforme discutido em capítulos anteriores, a teoria de PPP sugere que quando a TCR está fora do seu nível de equilíbrio, haverá uma pressão tanto na taxa de câmbio nominal (E) quanto nos preços relativos para se ajustarem. Por exemplo, se a TCR histórica média for 1.2 e subitamente subir para 1.5, podemos esperar uma depreciação da taxa de câmbio nominal de 20%, uma queda nos preços relativos em 20%, ou uma combinação de ambos que somem 20%.

A partir de uma análise visual, podemos ver que os dados da PriceStats indicam uma certa estabilidade ou convergência à média da taxa de câmbio real, onde ajustes dos preços relativos (ou câmbio nominal) são acompanhados de ajustes na taxa de câmbio nominal (ou preços relativos).

No caso da Austrália (primeiro gráfico do painel), por exemplo, podemos ver que desde 2014 o câmbio real se situa em um nível médio entre 1.1 e 1.2 e que os movimentos da taxa de câmbio nominal e preços relativos parecem se compensar em várias janelas.



Figura 1: [Taxa de câmbio real e seus componentes]

3.3. Estacionariedade e Meia Vida

Esse comportamento de reversão à média ou o que denominamos como a estacionariedade da taxa de câmbio real sempre foi tema de muita discussão no meio acadêmico (ver Taylor and Taylor (2004)). A não estacionariedade observada nas séries de câmbio real inclusive serviu como argumento para invalidar a Teoria de Paridade do Poder de Compra da Moeda (ver Rogoff 1996).

Neste trabalho, utilizo testes econométricos para validar a evidência visual comentada anteriormente e verificar se as séries de câmbio real do Price Stats são estacionárias e assim se, de fato, possuem um comportamento de reversão à média.

Utilizando o teste de Dickey Fuller Aumentado (ADF)⁷, constatamos que para três (AUD, ZAR e GBP) das seis séries de câmbio real utilizadas aqui rejeitamos a hipótese nula de não estacionariedade ao nível de 5% de significância. Entretanto, o fato de rejeitarmos a estacionariedade em algumas das séries parece associado ao horizonte mais curto de disponibilidade, já que o AUD (Dólar Australiano) e GBP (Libra Esterlina) são as duas séries com maior histórico do Price Stats. Logo, é importante salientarmos que para as duas séries de câmbio real com histórico mais longo, os teste econométricos utilizados comprovam o comportamento de reversão à média da taxa de câmbio real e sugerem alguma aderência dos dados a teoria de PPP.

Dadas as evidências de reversão à média da taxa de câmbio real, outra pergunta crucial para a evolução deste trabalho é a velocidade com a qual essa convergência acontece após choques. Em Cavallo (2015), podemos observar que a convergência da taxa de câmbio real medida através de preços online do Price Stats ocorre de forma significativamente mais veloz do que o anteriormente previsto na literatura (ver Taylor and Taylor (2004)), podendo acontecer em menos de um mês em alguns casos. Utilizando valores mais atualizados para as séries do Price Stats⁸, estimamos a meia vida de choques nas taxas de câmbio real. A partir dos resultados, podemos observar um prazo de convergência também significativamente menor do

⁷ Resultados e detalhes dos testes realizados estão dispostos no Apêndice.

⁸ Utilizamos toda a série disponível até o período pré pandemia, que definimos como 31/12/2019.

que o reportado na literatura, ainda que os valores sejam mais altos dos que os reportados por Cavallo (2015).⁹

Meia Vida de choques na Taxa de Câmbio Real do Price Stats (dias)

	Cavallo (2015)	Estimado
Australia	92	116
Brasil	58	500
China	204	411
Africa do Sul	27	130
Reino Unido	73	103

Tabela 1: [Meia Vida Taxa de Câmbio Real]

De qualquer forma, a partir da análise acima temos evidências que apontam na direção da validade da teoria de PPP e que mostram uma velocidade de convergência da taxa de câmbio real a um certo nível de equilíbrio em um horizonte significativamente curto.

3.4. Modelo PPP

Como comentado na seção anterior, o processo de ajuste da taxa de câmbio real em direção ao seu nível de equilíbrio pode se dar através de movimentos na taxa de câmbio nominal, nos preços relativos ou ambos. Em Beckman (2013), Nam (2011) e Iwatsubo (2005) encontramos evidências de que a maior parte do ajuste da taxa de câmbio real acontece através de movimentos na taxa de câmbio nominal.

Essas evidências, somadas ao comportamento de reversão à média e alta velocidade de convergência da taxa de câmbio real, sugerem que a taxa de câmbio nominal reagiria a movimentos dos preços relativos de forma a trazer a taxa de câmbio real de volta para o seu equilíbrio. Sendo assim, estas variáveis poderiam ser relacionadas através da seguinte equação:

⁹ Para calcularmos a Meia Vida da taxa de câmbio real usamos a seguinte fórmula: $-\log(2)/\log(\text{abs}(\beta))$, onde β é o coeficiente de um modelo AR1 estimado para cada série.

$$e_t = \beta_{0,T} + \beta_{1,T}pr_t + ut \quad (1)$$

onde,

e_t : câmbio nominal em log

pr_t : preços relativos em log

Tendo em vista a validade da hipótese relativa da Paridade do Poder de Compra, o coeficiente β_1 deveria igualar -1,¹⁰ o que corresponderia a um *pass-through* completo dos preços relativos para a taxa de câmbio nominal.

Nosso interesse aqui é desenvolver uma estratégia de negociação de moedas baseada no resíduo dessa regressão, considerando que qualquer desvio positivo ou negativo desse resíduo tende a ser absorvido pela taxa de câmbio nominal ao longo do tempo.

Como a relação entre essas variáveis pode não ser estável ao longo de todo o período de análise (dada a possibilidade de quebras estruturais), estimo essa regressão em janelas móveis de 6 meses e crio uma série temporal para o resíduo. Janelas alternativas (3M, 12M) não mostraram resultados significativamente diferentes.

Para validar a ideia de que esses resíduos nos ajudam a prever o comportamento futuro da taxa de câmbio, estimo um modelo de correção de erro no formato abaixo e avalio o sinal e significância do coeficiente α_1 .

$$\Delta e_t = \alpha_0 + \alpha_1 \hat{u}_{t-1} + \alpha_2 \Delta e_{t-1} + \alpha_3 \Delta pr_{t-1} + \xi_t$$

Os resultados do modelo estão dispostos abaixo e, a partir da tabela final, podemos observar que a maior parte dos coeficientes estimados apresentam o sinal esperado, ainda que nenhum deles apresente significância estatística. Ainda que esse resultado seja inconveniente, seguimos adiante com a nossa análise, buscando critérios quantitativos para a utilização ou não do modelo em questão.

¹⁰ No Apêndice apresento os resultados da regressão com e sem a restrição de $\beta_1 = -1$.

Resultados AUD (Lag_ERRO é a variável ligada ao α_1)

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	6.77e-06	0.000	0.055	0.956	-0.000	0.000
lag_ERRO	-0.2449	0.193	-1.268	0.205	-0.624	0.134
lag_diff_FX	0.2162	0.192	1.125	0.261	-0.161	0.593
lag_diff_CPI	0.2394	0.198	1.210	0.226	-0.149	0.627

Resultados BRL

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-0.0004	0.000	-1.938	0.053	-0.001	4.77e-06
lag_ERRO	-0.1556	0.268	-0.581	0.561	-0.680	0.369
lag_diff_FX	0.0888	0.266	0.334	0.739	-0.433	0.611
lag_diff_CPI	0.1778	0.293	0.607	0.544	-0.396	0.752

Resultados CNH

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-2.395e-06	4.72e-05	-0.051	0.960	-9.5e-05	9.03e-05
lag_ERRO	-0.1368	0.110	-1.247	0.212	-0.352	0.078
lag_diff_FX	0.1073	0.110	0.974	0.330	-0.109	0.323
lag_diff_CPI	0.1481	0.110	1.347	0.178	-0.068	0.364

Resultados EUR

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-4.652e-05	0.000	-0.387	0.698	-0.000	0.000
lag_ERRO	-0.1839	0.325	-0.566	0.572	-0.821	0.453
lag_diff_FX	0.1715	0.323	0.531	0.595	-0.462	0.805
lag_diff_CPI	0.1909	0.337	0.567	0.571	-0.469	0.851

Resultados JPY

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-0.0001	0.000	-1.131	0.258	-0.000	9.27e-05
lag_ERRO	-0.1758	0.197	-0.894	0.372	-0.562	0.210
lag_diff_FX	0.1621	0.196	0.827	0.408	-0.222	0.546
lag_diff_CPI	0.2067	0.203	1.019	0.308	-0.191	0.604

Resultados ZAR

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-0.0002	0.000	-1.108	0.268	-0.001	0.000
lag_ERRO	0.1945	0.294	0.661	0.509	-0.383	0.772
lag_diff_FX	-0.1940	0.293	-0.662	0.508	-0.769	0.381
lag_diff_CPI	-0.1672	0.308	-0.543	0.587	-0.771	0.436

Resultados GBP

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-5.898e-05	0.000	-0.557	0.578	-0.000	0.000
lag_ERRO	0.3135	0.262	1.196	0.232	-0.200	0.827
lag_diff_FX	-0.2865	0.261	-1.097	0.273	-0.799	0.226
lag_diff_CPI	-0.3506	0.267	-1.311	0.190	-0.875	0.174

Tabela 2: [Resultados Modelo VECM]

País	Moeda	Ticker	α_1	P-valor
Austrália	AUD	AUDUSD	-0.2449	0.200
Brasil	BRL	BRLUSD	-0.1556	0.561
China	CNH	CNHUSD	-0.1368	0.212
Zona do Euro	EUR	EURUSD	-0.1839	0.572
Japão	JPY	JPYUSD	-0.1758	0.372
Africa do Sul	ZAR	ZARUSD	0.1945	0.509
Reino Unido	GBP	GBPUSD	0.3135	0.190

Tabela 3: [Informações e Coeficientes Modelo VECM]

3.5. Estratégia de Investimento

Conforme explicitado na introdução, o interesse final desse trabalho é desenvolver um modelo quantitativo de negociação de pares de moedas baseado na hipótese de PPP.

Usando os resíduos do modelo estimado na seção anterior,¹¹ criamos um algoritmo de sinais que gera ordens de compra e venda de pares de moedas, ignorando os custos de transação.

Primeiramente, a partir de uma análise dos resíduos do modelo estimado na seção anterior, notamos que só começamos a observar alguma informação sobre o retorno futuro da taxa de câmbio quando filtramos apenas os desvios mais extremos.

¹¹ Resultados da estimação estão dispostos no apêndice.

Além disso, as informações relevantes contidas nos desvios dos pares em relação ao valor previsto pelo modelo são dissipadas dentro de uma janela de um mês.



Figura 2: [Coeficiente de Informação vs Proporção dos Sinais]

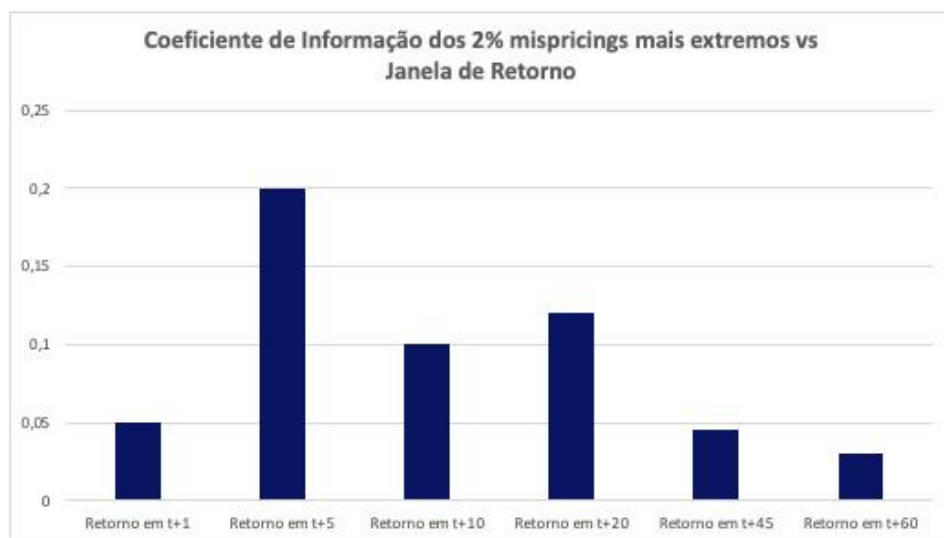


Figura 3: [Coeficiente de Informação vs Janela de Retorno]

Levando em conta essas características, utilizamos uma estratégia de negociação baseada na geração de sinais a partir de um limiar para o tamanho do resíduo da regressão de PPP.

Inicialmente, fixamos o limiar em 2 desvios padrão, ou seja, sempre que os resíduos da regressão fossem superiores a esse nível, seriam gerados sinais de compra (resíduo negativo) ou venda (resíduo positivo).

Posteriormente, desenvolvemos um novo limiar otimizado, calculando para cada dia o limiar que teria maximizado nos últimos dois anos o retorno anualizado de segurar a posição comprada ou vendida por 5 dias. Os limiares são calculados individualmente para cada par e diferem para os sinais de compra e venda. Além disso, dado que os resíduos não nulos podem ser persistentes, se temos um sinal hoje para um determinado par, ignoramos os sinais que ocorrerem para esse mesmo par ao decorrer dos próximos 5 dias.

Nesse sentido, indaga-se se qual seria a estratégia uma vez batido o limiar. Fizemos uma regressão dos resíduos do modelo de PPP contra retorno em 5 dias, 10 dias, 20 dias, 30 dias. O resultado indicou uma significância estatística dos *mispricing* para o retorno na janela de 5 dias.

Na seção seguinte apresentaremos os resultados considerando o que foi exposto acima.

4. Resultados

Nesta seção apresento os resultados do nosso modelo de trading de moedas baseado na teoria da paridade do poder de compra da moeda (PPP). Em cada painel abaixo apresentamos as séries históricas da taxa de câmbio nominal de determinado país conjuntamente aos sinais de compra (sinal verde, moeda de referência aprecia quando seu valor nominal sobe) e venda (sinal vermelho, moeda de referência deprecia quando seu valor nominal cai) gerados pelo nosso modelo. Além disso, também estão expostos o resultado acumulado da estratégia para cada par de moeda e os resíduos da regressão estimada para cada par com o seu respectivo intervalo de geração de sinal.

No caso do Dólar Australiano (AUD), por exemplo, podemos notar (figura abaixo) que o Hit Ratio da estratégia é superior a 50% e o resultado acumulado em todo o período para o qual as séries estão disponíveis é positivo. Os sinais de compra e venda da moeda (AUDUSD) estão dispostos sobre a linha da cotação do par e são gerados quando o resíduo da regressão de PPP rompe o intervalo ótimo estimado ao longo do tempo.

Apesar do bom desempenho do modelo para o AUDUSD, os gráficos abaixo mostram que para apenas 4 dos 7 pares de moedas observamos um hit ratio maior que 50% e resultado acumulado positivo da estratégia.

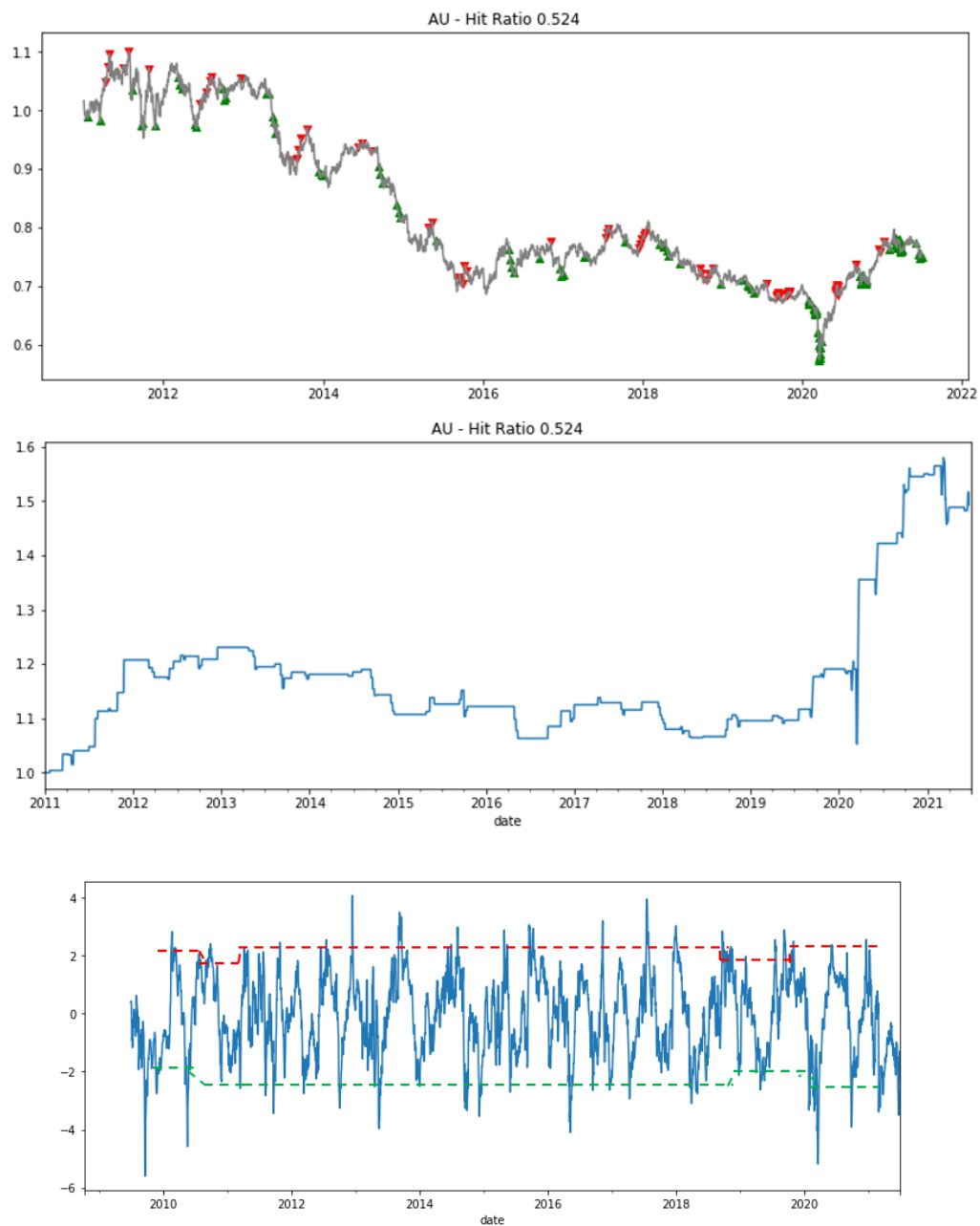


Figura 4: [Resultados Modelo PPP AUD]

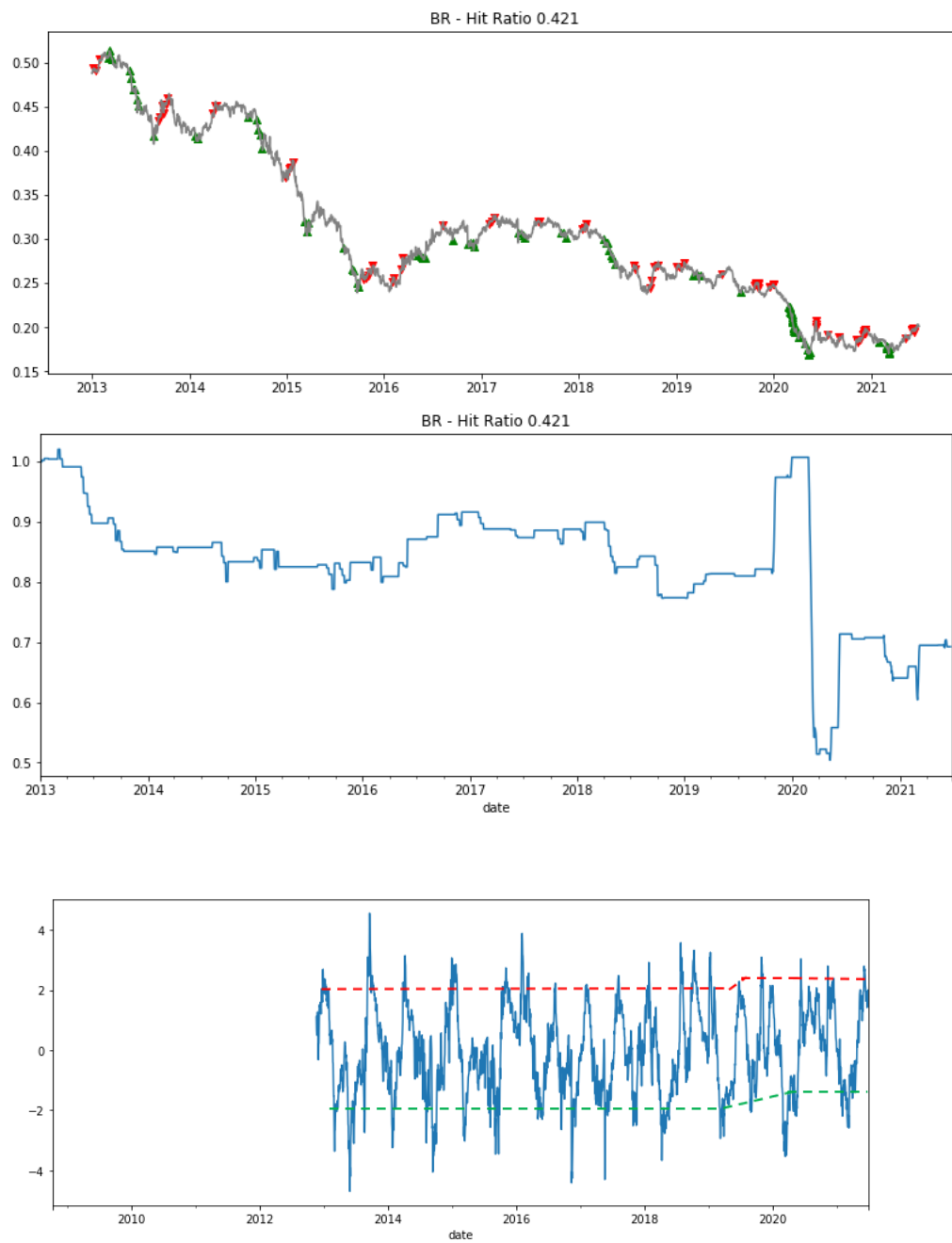


Figura 5: [Resultados Modelo PPP BRL]

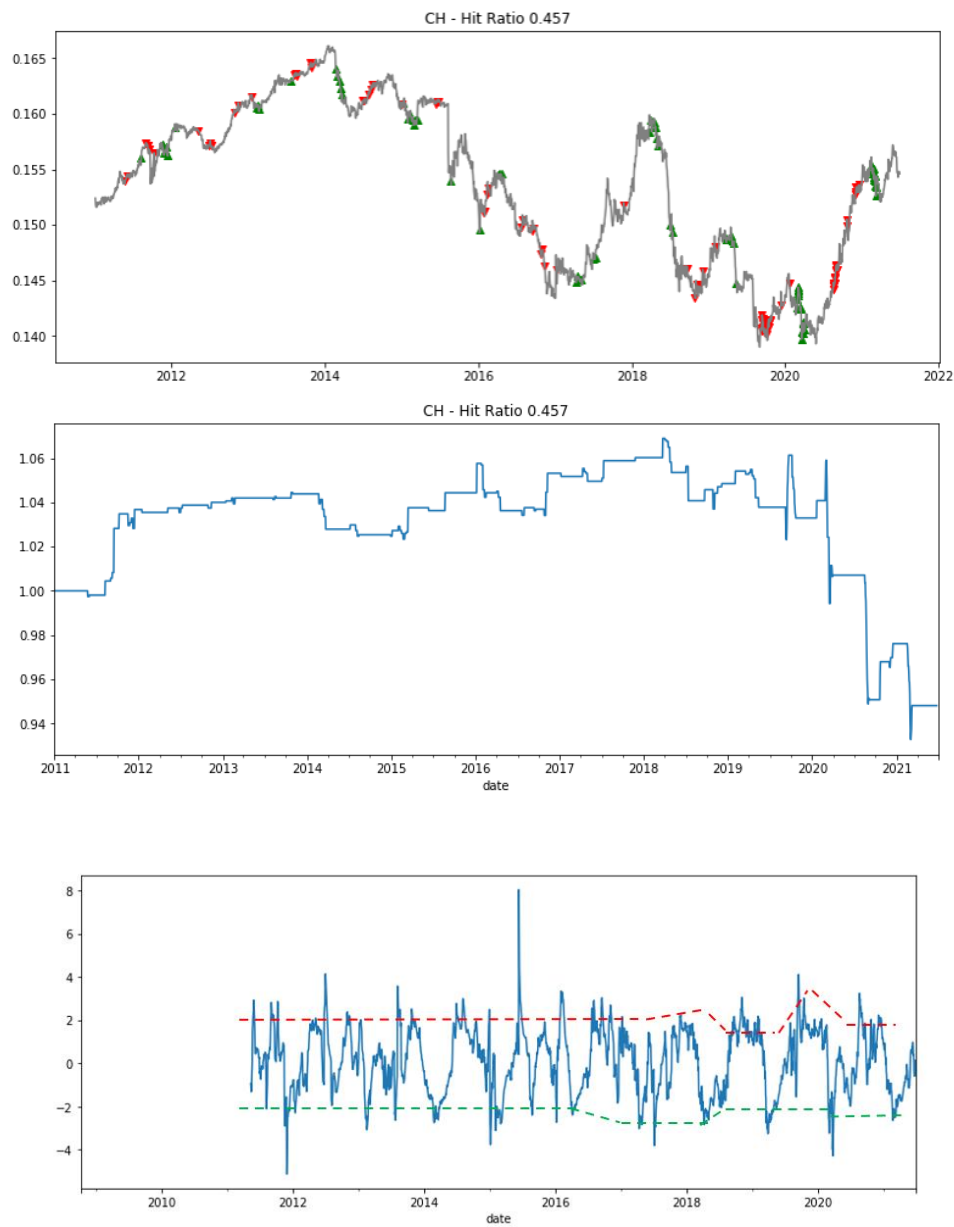


Figura 6: [Resultados Modelo PPP CNH]

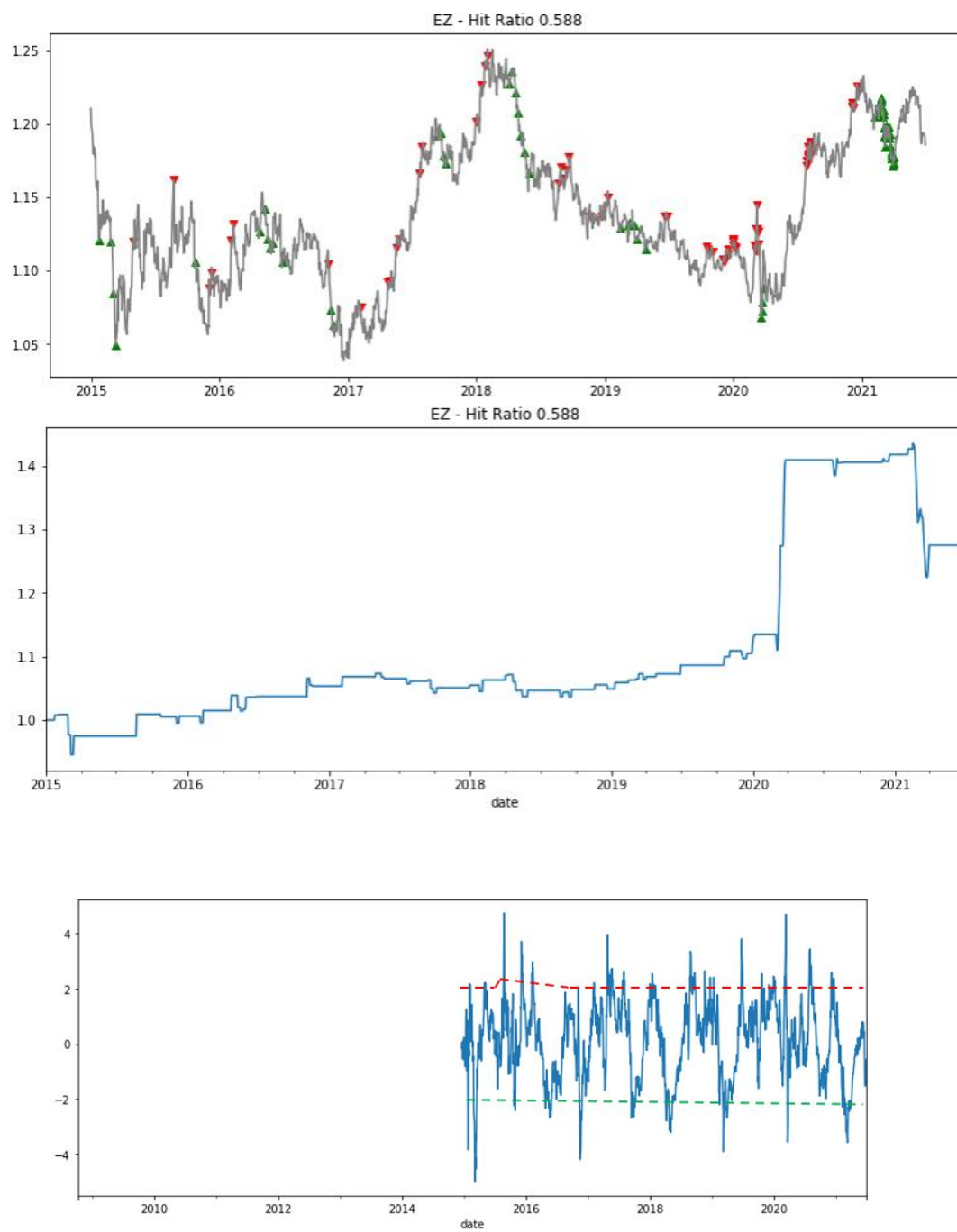


Figura 7: [Resultados Modelo PPP EUR]

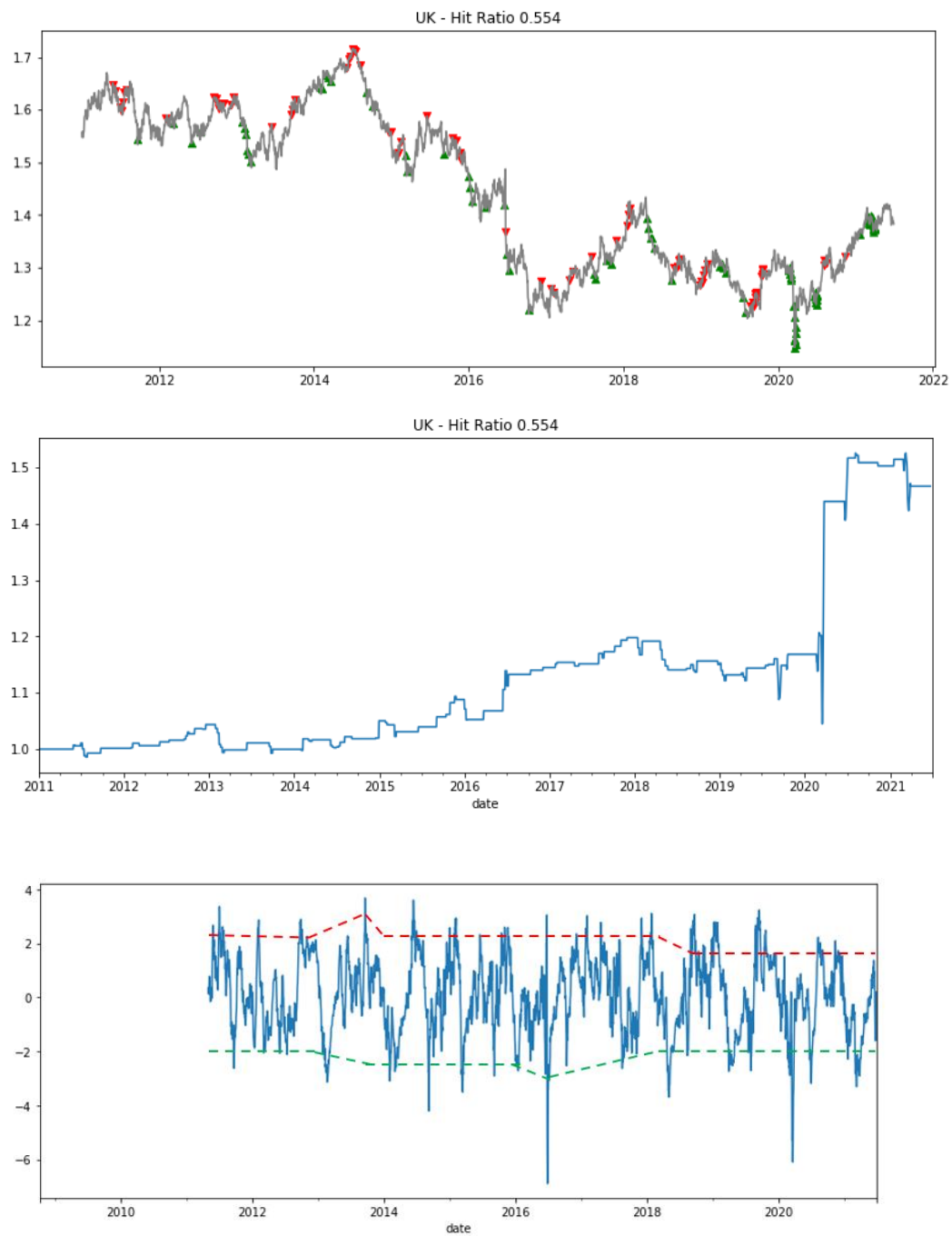


Figura 8: [Resultados Modelo PPP GBP]



Figura 9: [Resultados Modelo PPP JPY]



Figura 10: [Resultados Modelo PPP ZAR]

Ao mesmo tempo, quando rodamos o mesmo modelo de regressão linear em uma versão alternativa que é referência dentro da literatura financeira¹² e adotamos nossa estratégia de sinais, encontramos resultados relativamente parecidos, com hit

¹² Inclui entre os regressores o diferencial de juros, a relação dos termos de troca, o índice de volatilidade VIX como medida das condições financeiras globais e a relação entre o valor de mercado da bolsa de valores, ver JP Morgan (2021).

ratio acima de 50% e resultados acumulados positivos para apenas 4 dos 7 pares estudados.

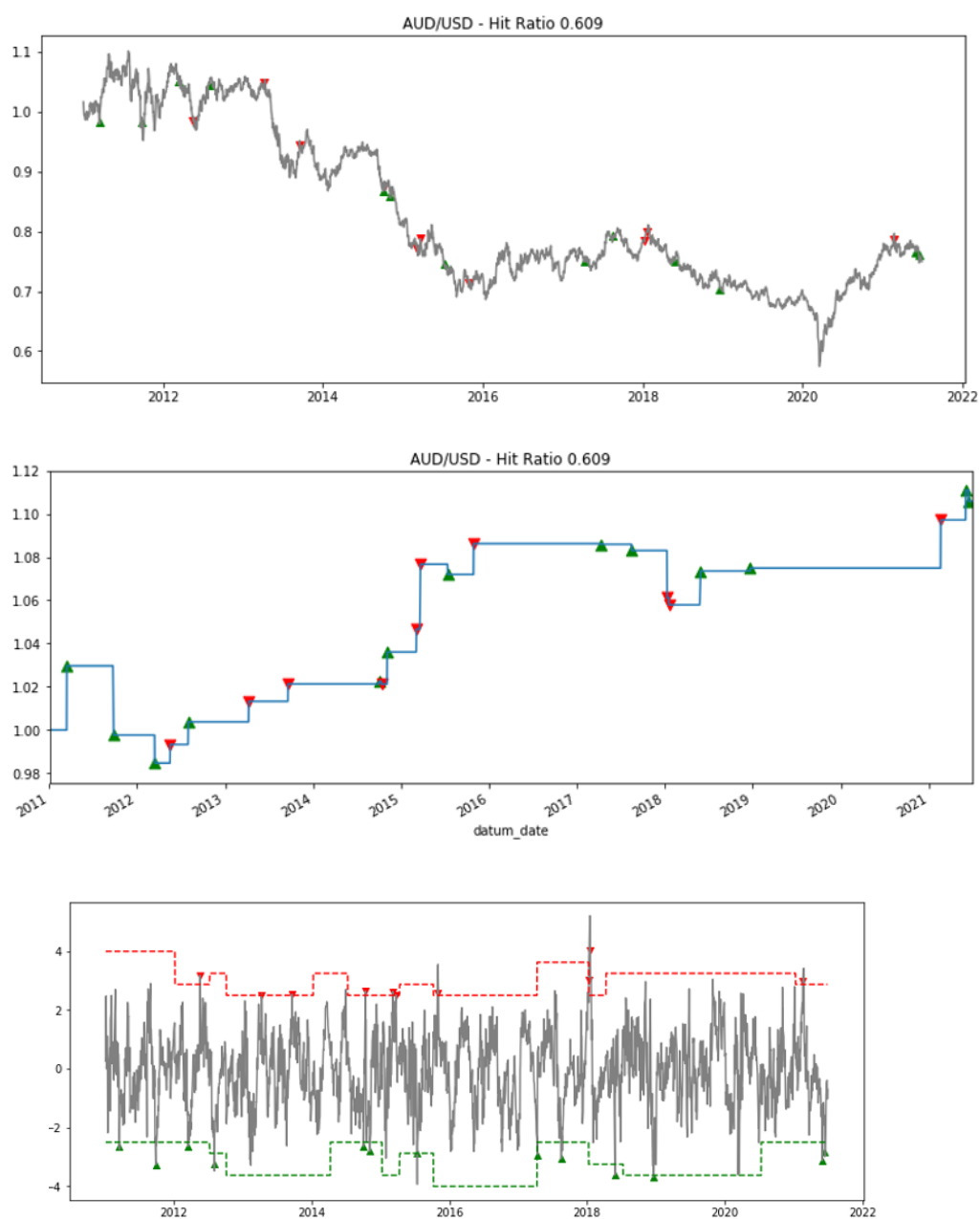


Figura 11: [Resultados Modelo Alternativo AUD]

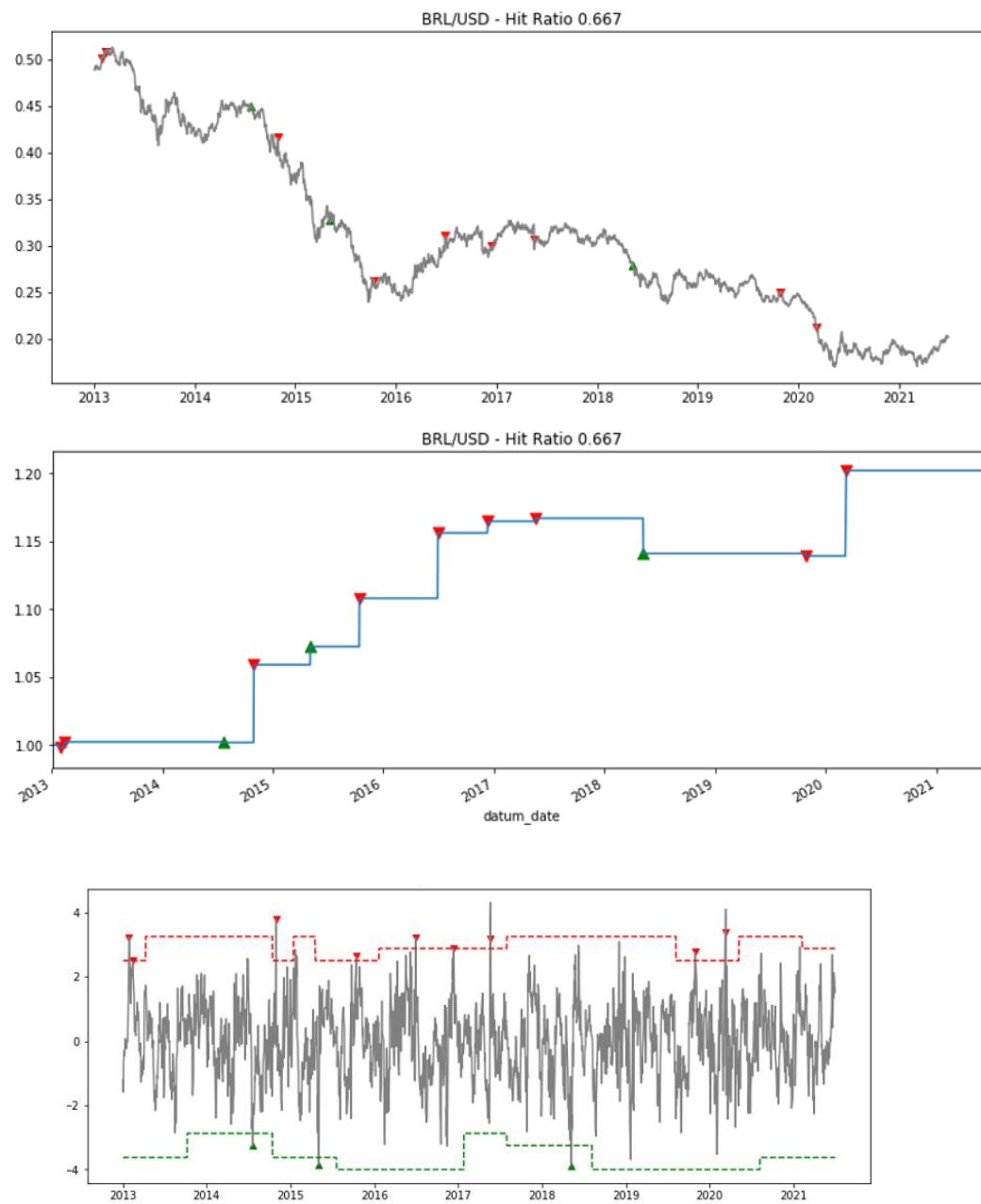


Figura 12: [Resultados Modelo Alternativo BRL]

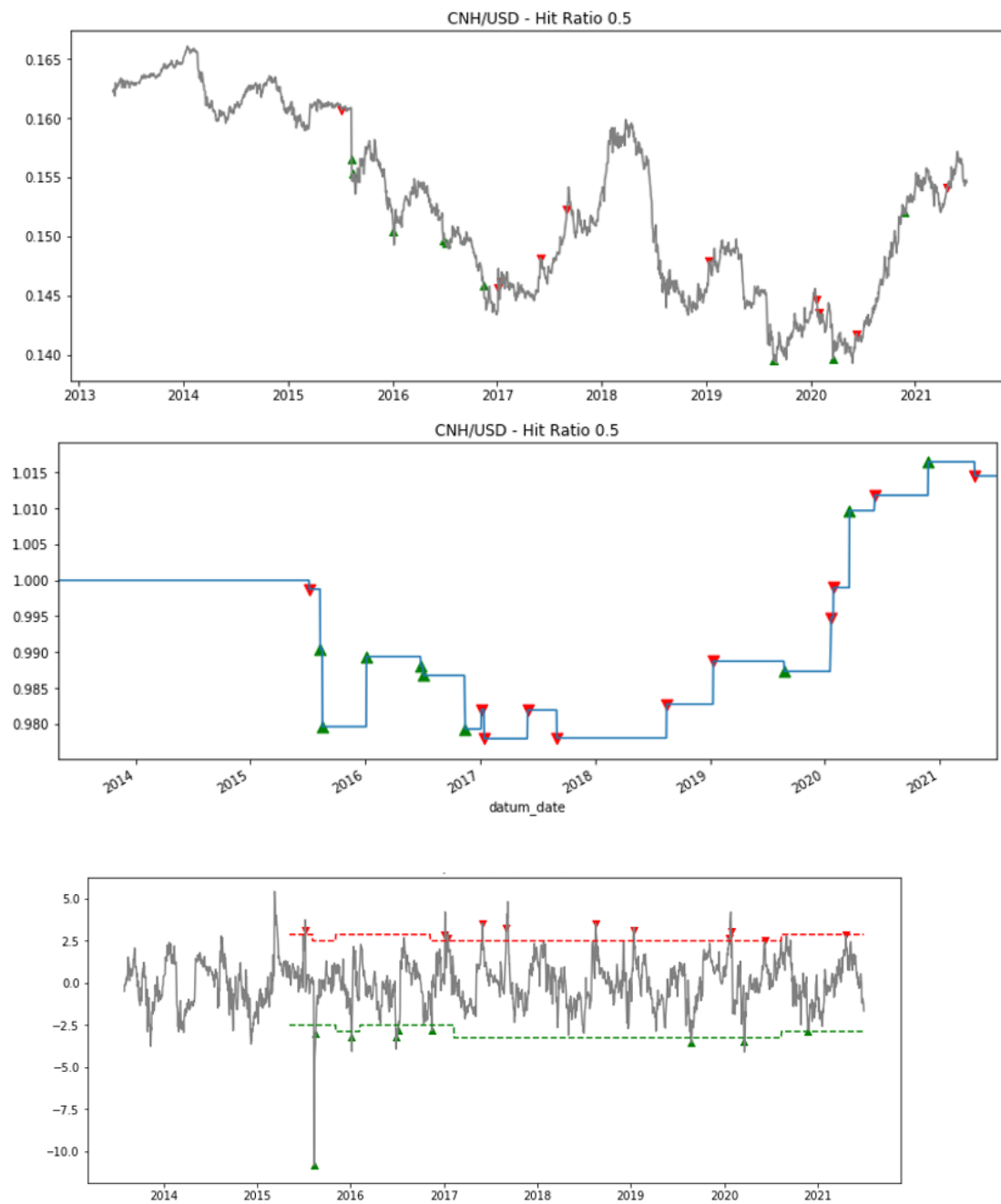


Figura 13: [Resultados Modelo Alternativo CNH]

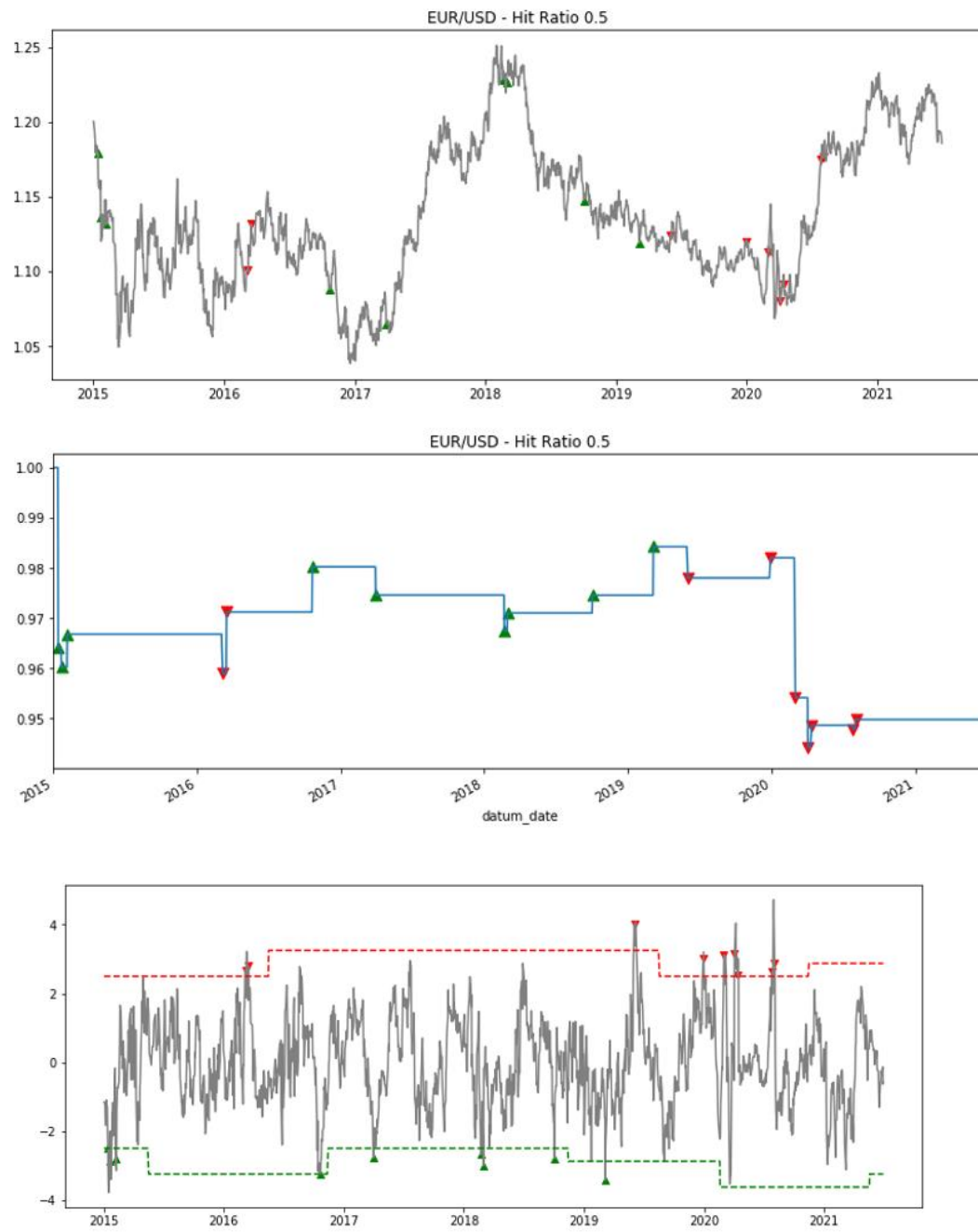


Figura 14: [Resultados Modelo Alternativo EUR]

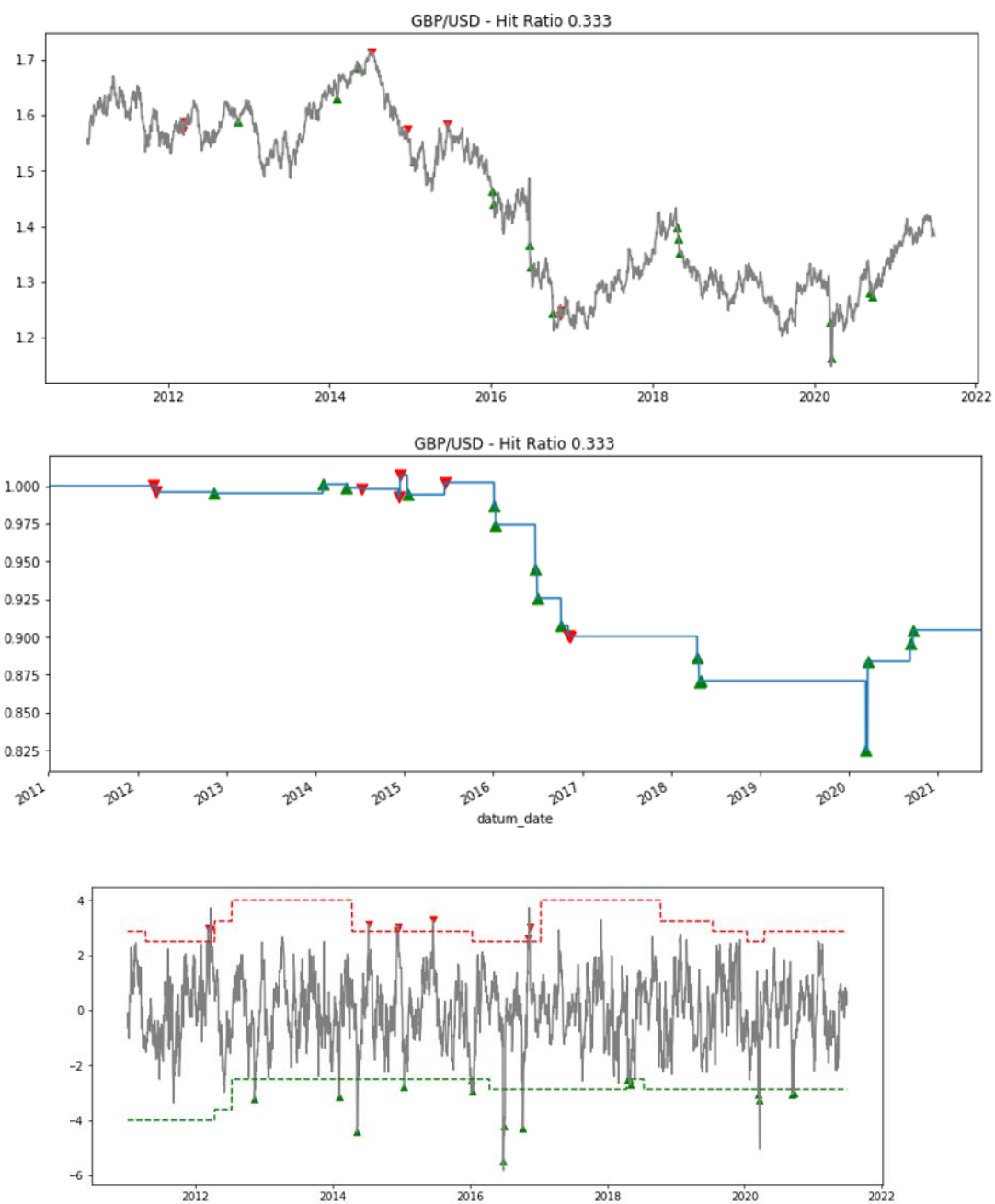


Figura 15: [Resultados Modelo Alternativo GBP]

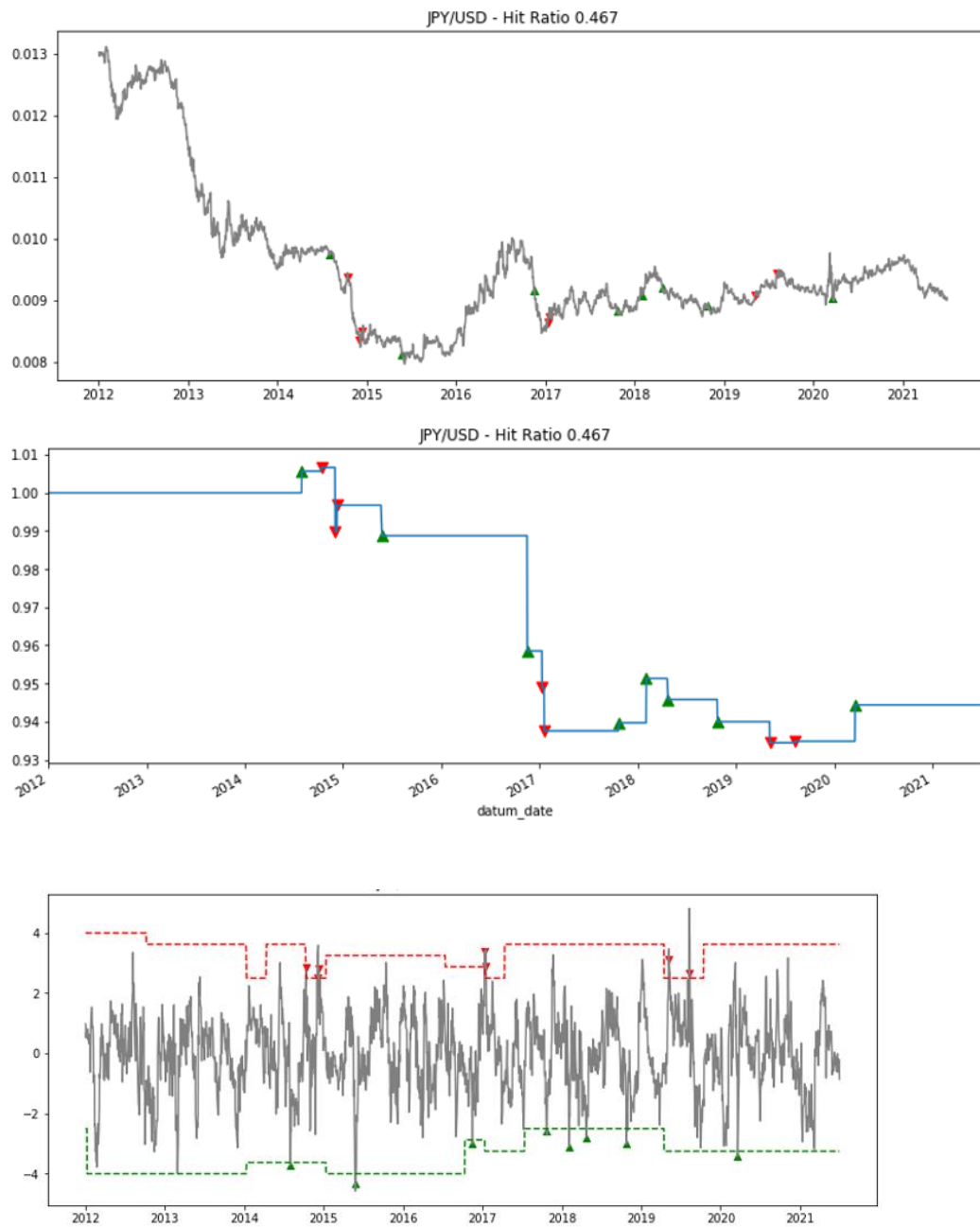


Figura 16: [Resultados Modelo Alternativo JPY]

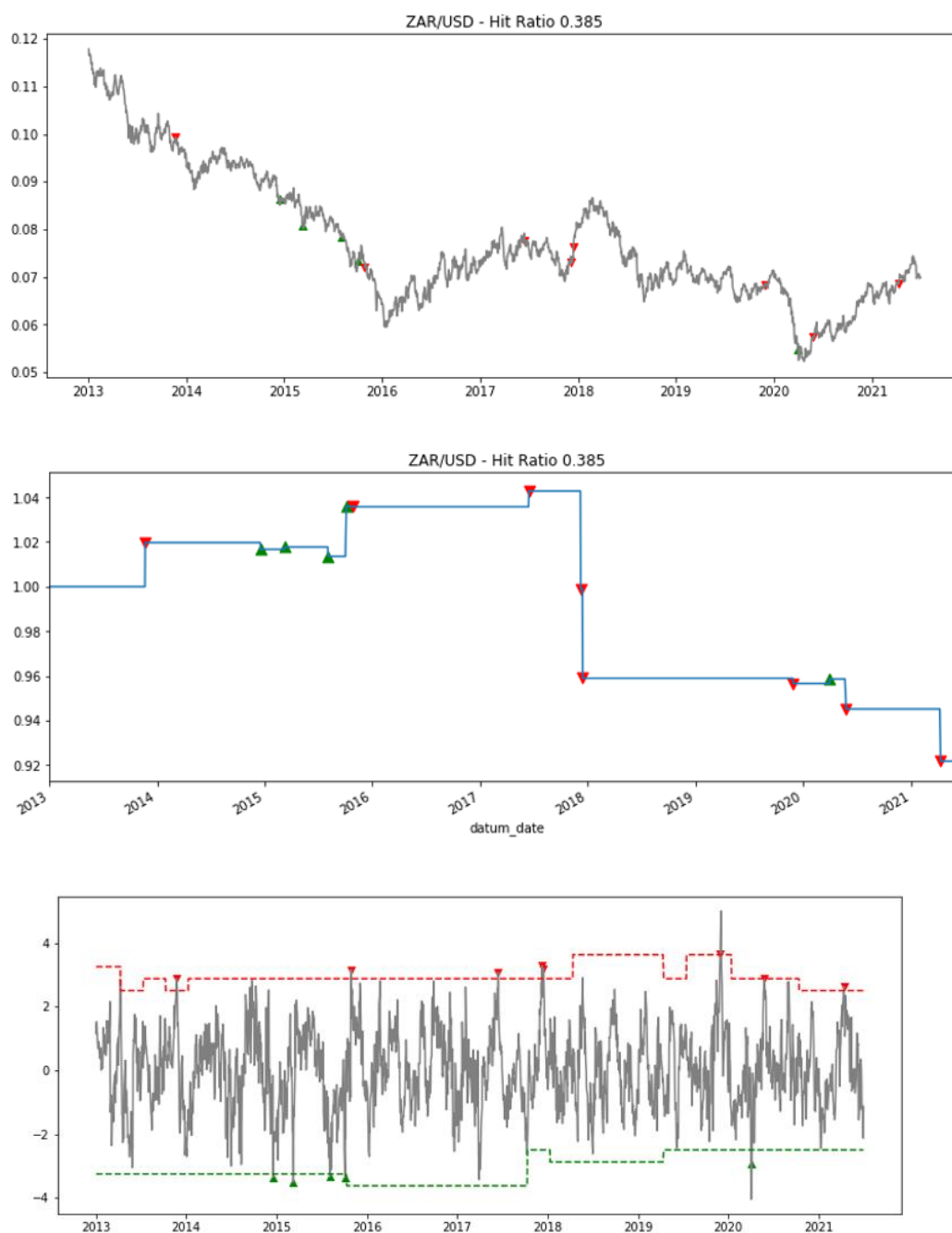


Figura 17: [Resultados Modelo Alternativo ZAR]

Dada a similaridade dos resultados encontrados, rodo uma estratégia de investimento alternativa utilizando os mesmos modelos descritos nas sessões anteriores, só que agora no formato *Long & Short*. Nessa nova estratégia, a cada dia compramos a moeda sinalizada como mais barata (através dos resíduos da regressão) por cada modelo e vendemos a moeda sinalizada como a mais cara. Esse

portfólio diário com dois pares diferentes de moedas é carregado pelo prazo de 5 dias e acumulamos o retorno para uma mesma janela máxima que depende da disponibilidade dos dados utilizados.

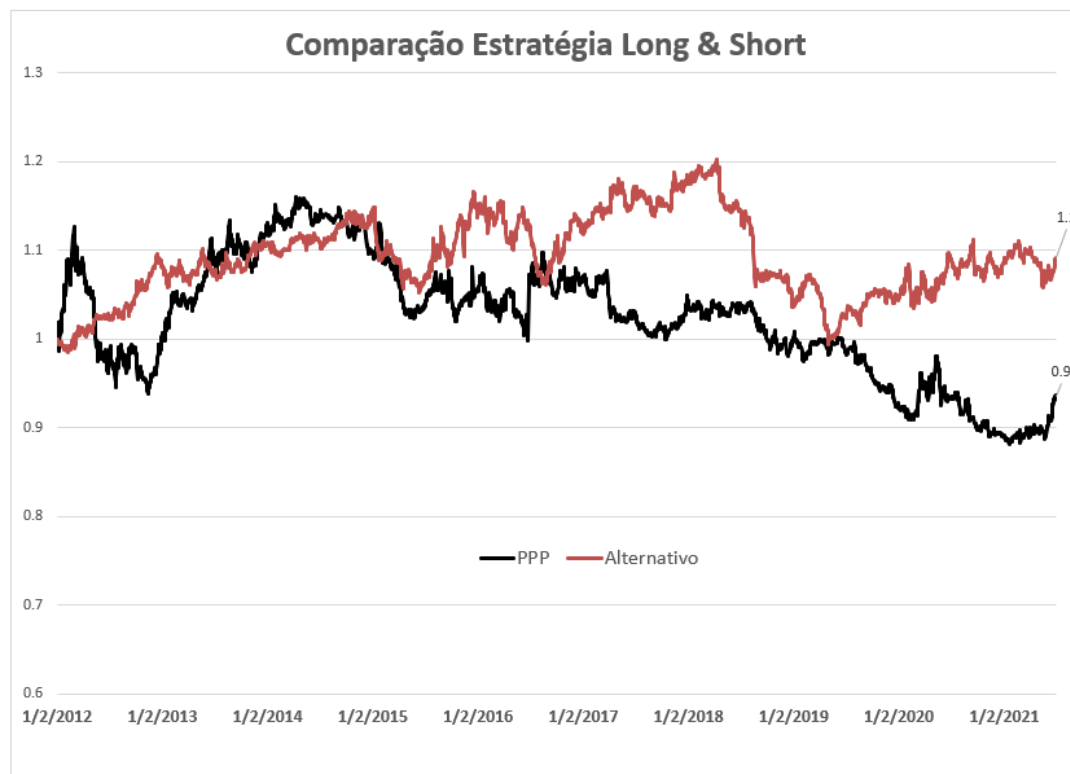


Figura 18: [Comparação Estratégia Long & Short]

Como podemos observar, na estratégia *Long & Short* o modelo alternativo mostra-se mais vencedor, com retorno acumulado positivo de ~10%, enquanto o modelo de PPP acumula um retorno negativo de mesma magnitude. Além disso, praticamente ao longo de toda a janela de análise o modelo alternativo performa melhor que o modelo de PPP. Vale frisar que os resultados não mudam de forma significativa quando alteramos a janela de 5 dias entre o início e fim de cada operação de moedas.

5. Conclusão

A baixa aderência das taxas de câmbio nominal à hipótese de PPP é usualmente atribuída a falhas no processo de estimação e limitações nas bases de dados empregadas. Dentre os problemas mais comuns, vale destacar que parte relevante dos estudos se baseia em Índices de Preços ao Consumidor (IPCs) que não são desenhados para comparações internacionais. Em particular, os IPCs tradicionais impedem quaisquer comparações dos níveis de preço, sendo construídos por diferentes departamentos nacionais de estatística, que utilizam metodologias e cestas de bens distintas.

Seguindo uma vertente mais nova da literatura¹³ e utilizando as séries de preço do PriceStats (que são comparáveis internacionalmente conforme mencionado em sessões anteriores), busco contornar essas questões e investigar a aplicabilidade da hipótese de PPP para a construção de uma estratégia de investimento em moedas. Apesar de identificarmos uma relação entre o diferencial de inflação e movimentos da taxa de câmbio nominal nas séries do Price Stats, observamos um desempenho quantitativo pior das nossas estratégias de investimento em moedas baseadas no modelo de Paridade do Poder de Compra da Moeda (PPP) vis à vis os modelos padrão dentro da literatura financeira.

Por outro lado, para pares específicos de moedas (AUDUSD, EURUSD, GBPUSD, JPYUSD), encontramos resultados interessantes quando baseamos nossa estratégia nos modelos de PPP, observando Hit Ratio superior a 50% e retorno acumulado positivo da estratégia, resultados muito similares aos encontrados para os modelos de referência já citados dentro da literatura financeira.

Para frente, aprimoramentos interessantes nessa análise seriam o desenvolvimento de novas estratégias de negociação baseadas nesse modelo e a extensão dessa análise para um conjunto maior de moedas, buscando entender se existe alguma espécie de clusterização de moedas para as quais a estratégia de investimento baseada no modelo de PPP pode ser superior à estratégias baseadas em modelos alternativos.

¹³ Ver Cavallo, Neiman e Rigobon (2019).

6. Referências bibliográficas

ATKESON, Andrew; BURSTEIN, Ariel. *Pricing-to-Market, Trade Costs, and International Relative Prices*. American Economic Review, 98(5):1998-2031.

BECKMANN, Joscha. *Nonlinear adjustment, purchasing power parity and the role of nominal exchange rates and prices*. The North American Journal Of Economics and Finance, Volume 24, January 2013, Pages 176-190.

BURSTEIN, Ariel; EICHENBAUM, Martin; REBELO, Sergio. *Large Devaluations and the Real Exchange Rate*. Journal of Political Economy, Volume 113, No. 4 (August 2005), pp. 742-784 (43 pages).

BURSTEIN, Ariel; GOPINATH, Gita. *International prices and exchange rates*. Technical Report, National Bureau of Economic Research 2013.

CAVALLO, Alberto et al. *Brent and Tang, Gaoyan, Tariff Passthrough at the Border and at the Store: Evidence from US Trade Policy*. University of Chicago, Becker Friedman Institute for Economics Working Paper No. 2019-24.

CAVALLO, Alberto. *PPPs and Exchange Rates: Evidence from Online Data in Seven Countries*. Inspier, April 2015.

CAVALLO, Alberto; NEIMAN, Brent; RIGOBON, Roberto. *Currency Unions, Product Introductions, and the Real Exchange Rate*. The Quarterly Journal of Economics, 2014, 129 (2), 529–595.

CAVALLO, Alberto; NEIMAN, Brent; RIGOBON, Roberto. *Real Exchange Rate Behavior: New Evidence from Matched Retail Goods*. Harvard Business School Working Paper, No. 20-040, January 2019.

CAVALLO, Alberto; NEIMAN, Brent; RIGOBON, Roberto. *The Price Impact of Joining a Currency Union: Evidence from Latvia*. IMF Economic Review 63, no. 2 (September 2015): 281–297.

CHANDAN, Meera. *Daily FX fair value regressions*, JP Morgan, 2021.

ENGEL, Charles; ROGERS, J. H. *How large is the border*. American Economic Review, v. 86, n. 1112, p. 25, 1996.

IWATSUBO, Kentaro et al. *Adjustment Speeds of Nominal Exchange Rates and Prices toward Purchasing Power Parity*. Hitotsubashi University, Center for Economic Institutions Working Paper Series, No. 2005-11.

MEESE, Richard A. *Kenneth Rogoff* Journal of International Economics, Volume 14, Issues 1–2, 1983, February 1983, Pages 3-24.

NAKAMURA, Emi; STEINSSON, Jón. *Five Facts about Prices: A Reevaluation of Menu Cost Models*. *Quarterly Journal of Economics*, 2008, 123 (4), 1415–1464.

NAM, Deokwoo. The Roles of Nominal Exchange Rate and Relative Price Adjustments in PPP Reversion. *Journal of Money, Credit and Banking*, June 2011, Vol. 43, No. 4 (June 2011), pp. 775-785.

TAYLOR, Alan M.; TAYLOR, Mark P. The Purchasing Power Parity Debate. *Journal of Economic Perspective*, Volume 18, Number 4, Fall 2004, Pages 135–158.

TAYLOR, Alan, *Potential Pitfalls for the Purchasing-Power-Parity Puzzle? Sampling and Specification Biases in Mean-Reversion Tests of the Law of One Price*, *Econometrica*, 2001, 69 (2), 473–498.

7. Apêndice

Resultados Testes ADF

Augmented Dickey-Fuller Test

data: rer\$aud

Dickey-Fuller = -4.6935, Lag order = 14, p-value = 0.01

alternative hypothesis: stationary

Augmented Dickey-Fuller Test

data: rer\$brl

Dickey-Fuller = -2.5991, Lag order = 12, p-value = 0.3247

alternative hypothesis: stationary

Augmented Dickey-Fuller Test

data: rer\$cnh

Dickey-Fuller = -2.4042, Lag order = 13, p-value = 0.4072

alternative hypothesis: stationary

Augmented Dickey-Fuller Test

data: rer\$eur

Dickey-Fuller = -2.5308, Lag order = 11, p-value = 0.3536

alternative hypothesis: stationary

Augmented Dickey-Fuller Test

data: rer\$jpy

Dickey-Fuller = -1.6782, Lag order = 13, p-value = 0.7146

alternative hypothesis: stationary

Augmented Dickey-Fuller Test

data: rer\$zar

Dickey-Fuller = -3.5855, Lag order = 12, p-value = 0.03406

alternative hypothesis: stationary

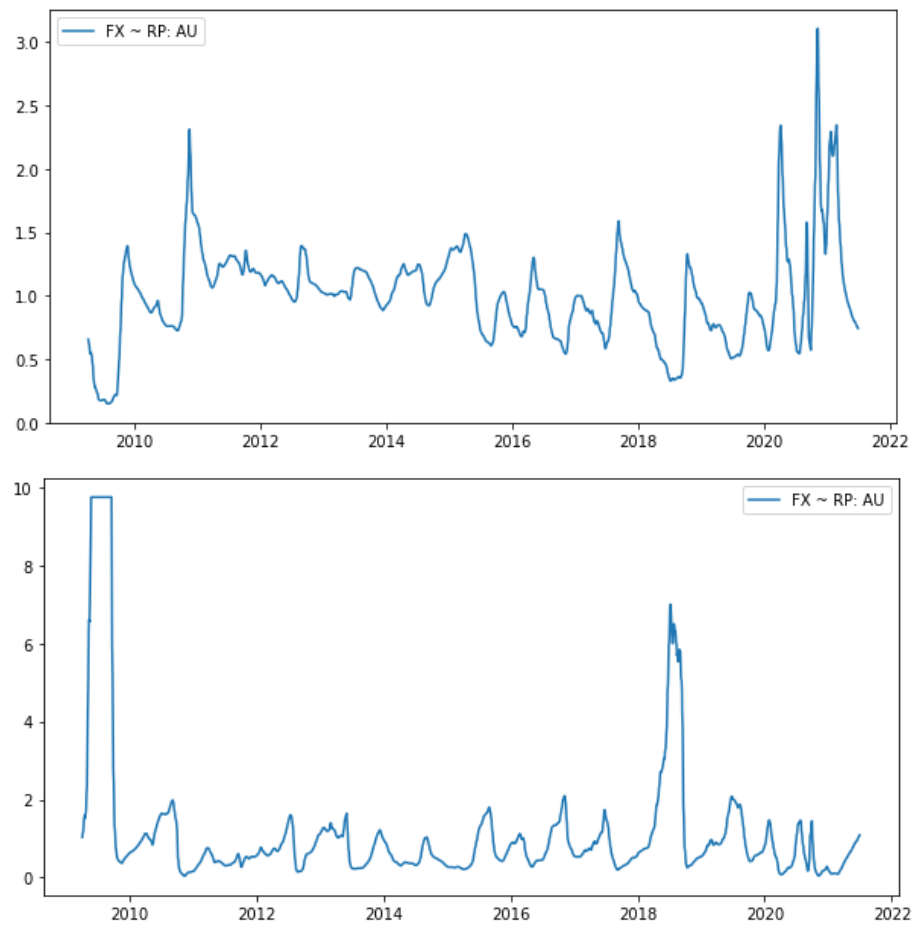
Augmented Dickey-Fuller Test

data: rer\$gbp

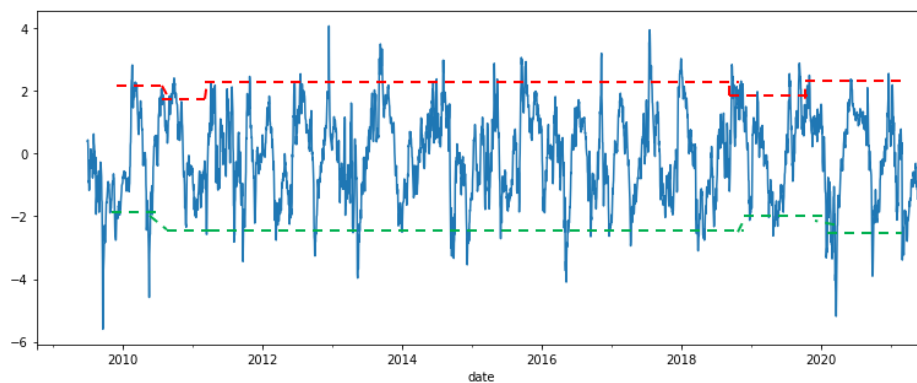
Dickey-Fuller = -2.9147, Lag order = 13, p-value = 0.0611

alternative hypothesis: stationary

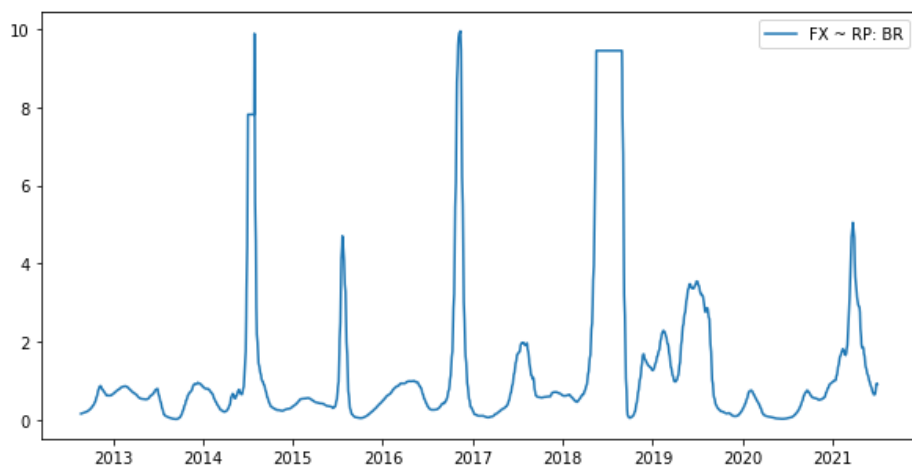
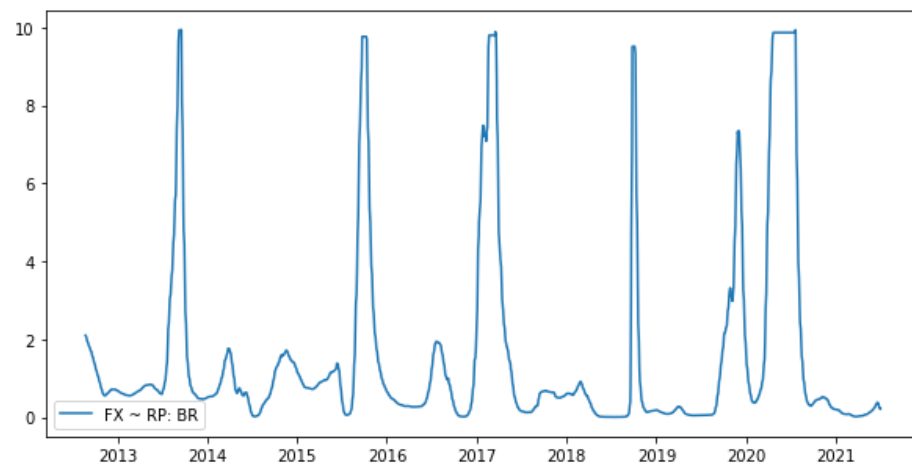
Modelo PPP AUD sem restrição no B_1 (B_0, B_1)



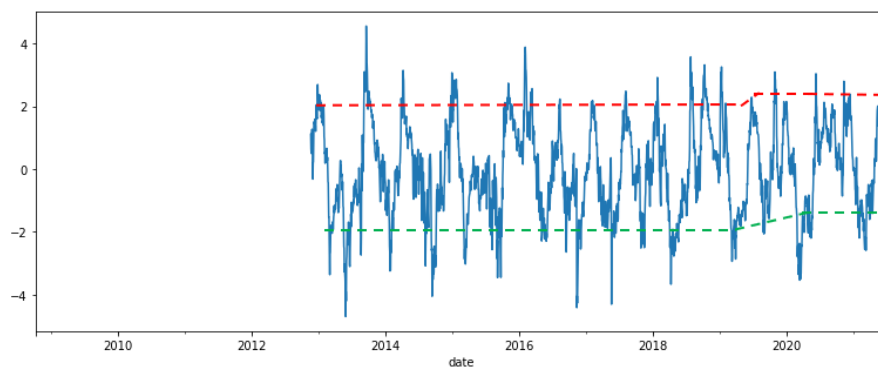
Modelo PPP AUD com restrição no B_1 (resíduo e threshold para geração de sinais)



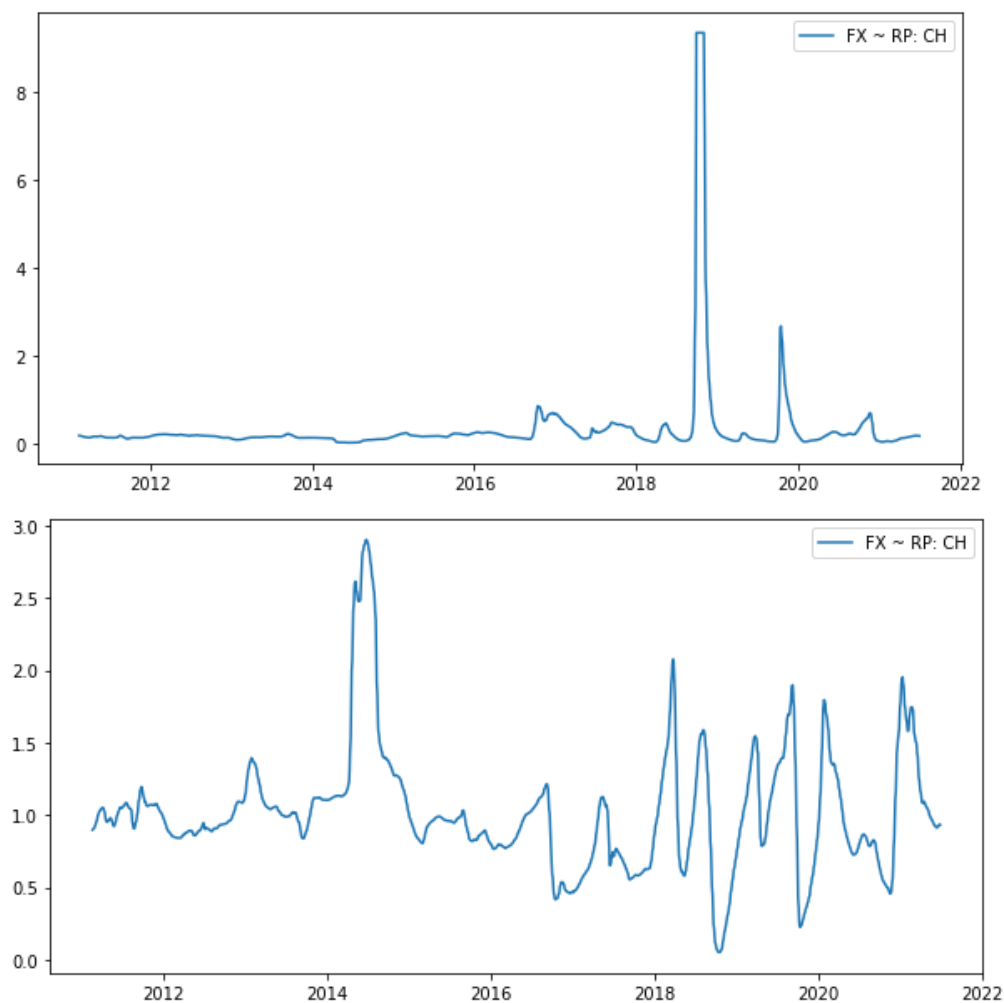
Modelo PPP BRL sem restrição no B_1 (B_0, B_1)



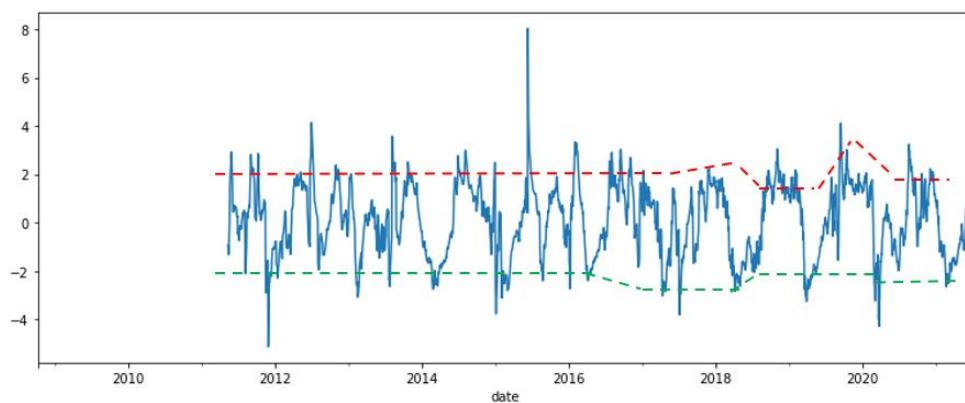
Modelo Price Stats BRL com restrição no B_1 (resíduo e threshold para geração de sinais)



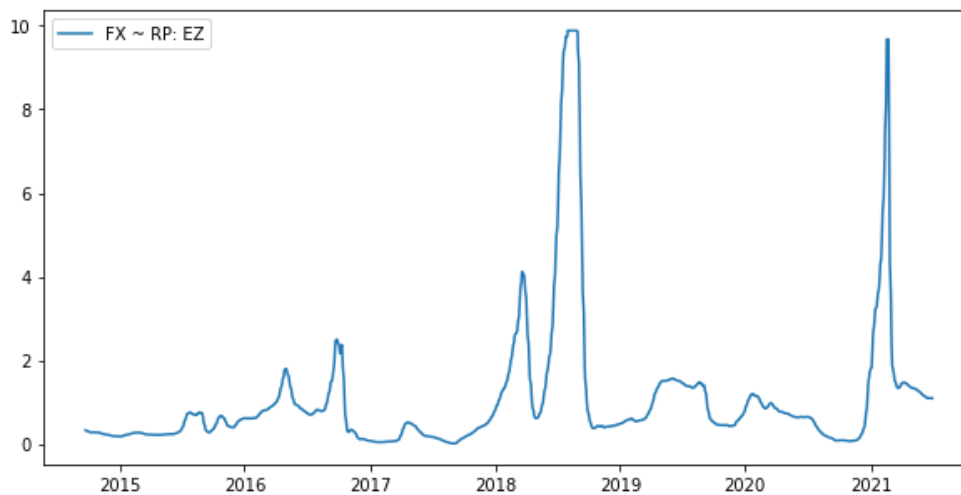
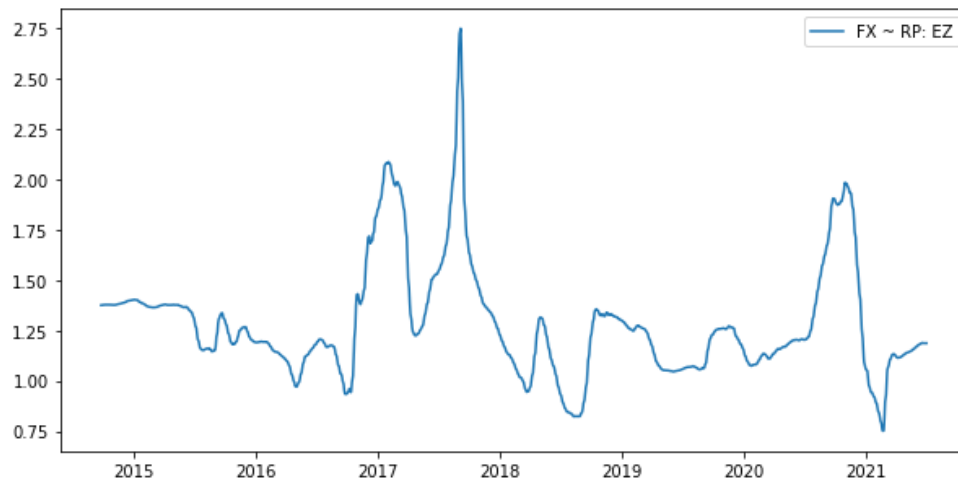
Modelo PPP CNH sem restrição no B_1 (B_0, B_1)



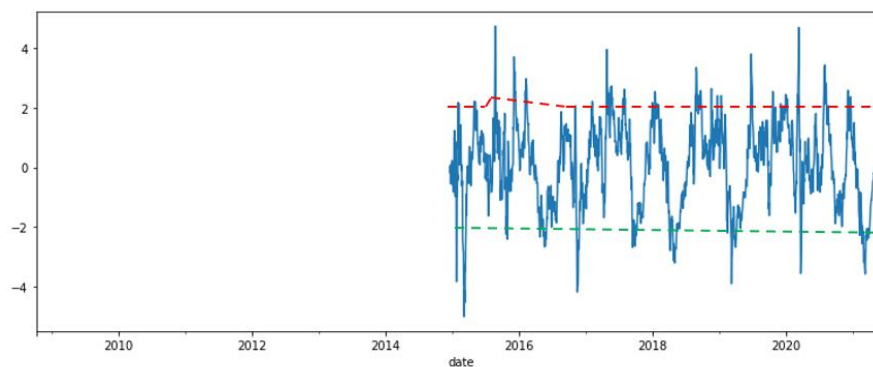
Modelo PPP CNH com restrição no B_1 (resíduo e threshold para geração de sinais)



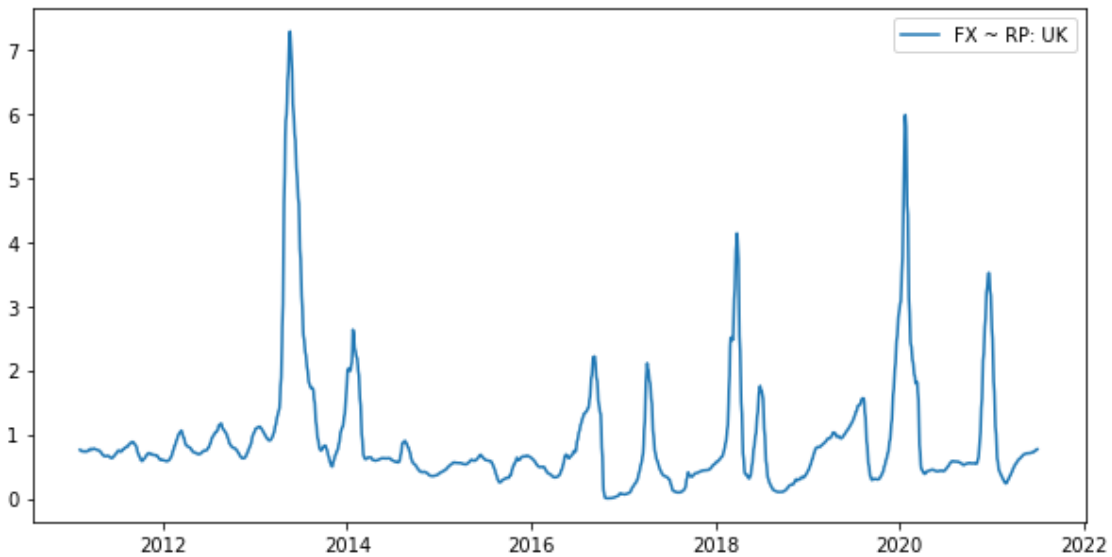
Modelo PPP EUR sem restrição no B_1 (B_0, B_1)



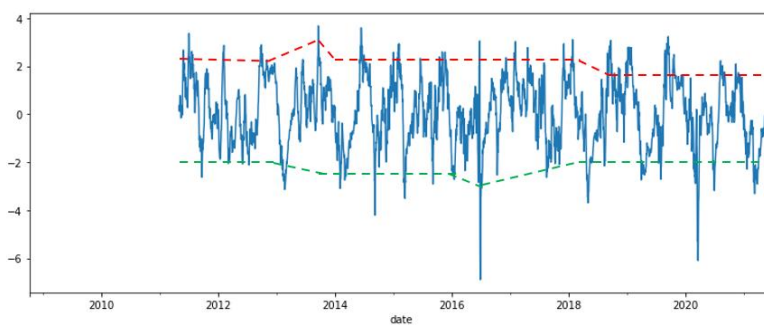
Modelo PPP EUR com restrição no B_1 (resíduo e threshold para geração de sinais)



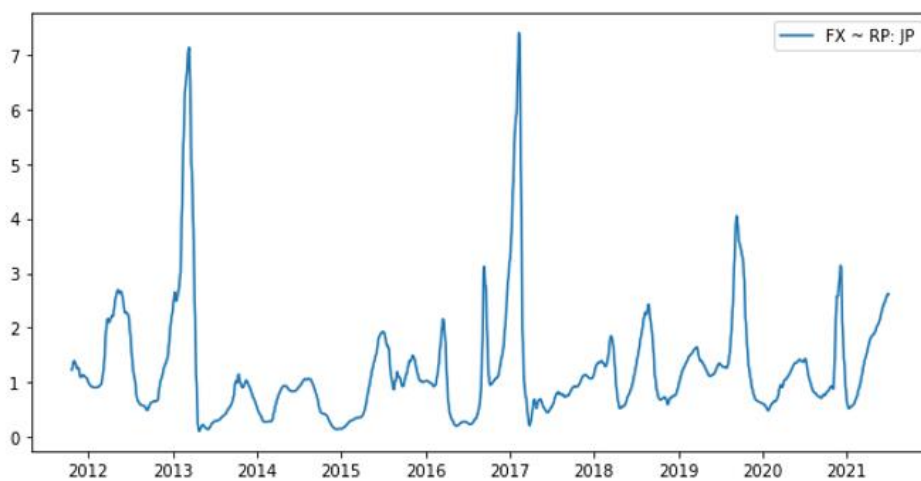
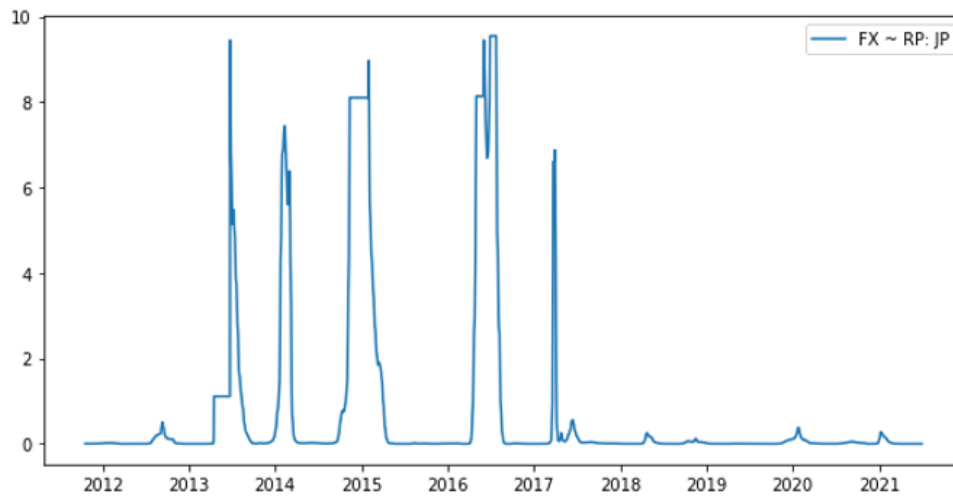
Modelo PPP GBP sem restrição no B_1 (B_0, B_1)



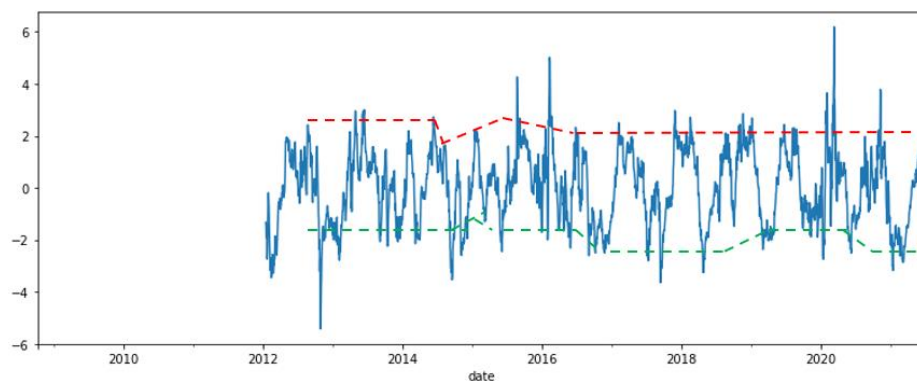
Modelo PPP GBP com restrição no B_1 (resíduo e threshold para geração de sinais)



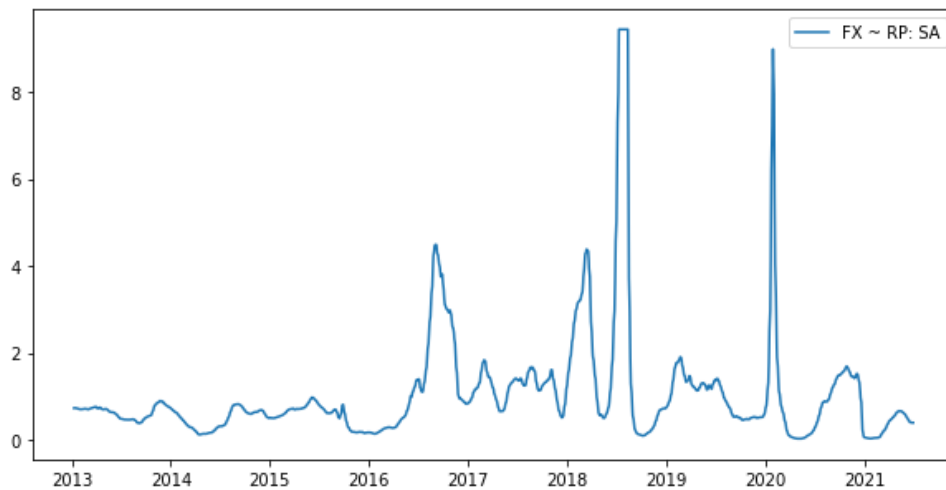
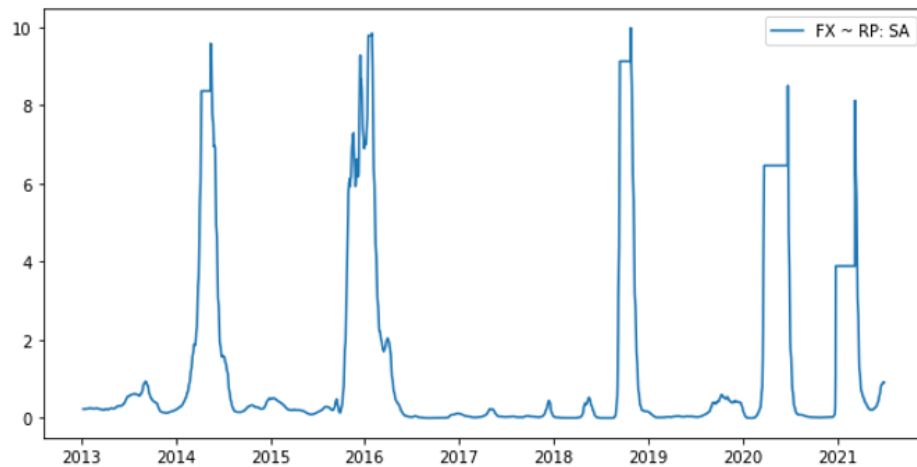
Modelo PPP JPY sem restrição no B_1 (B_0, B_1)



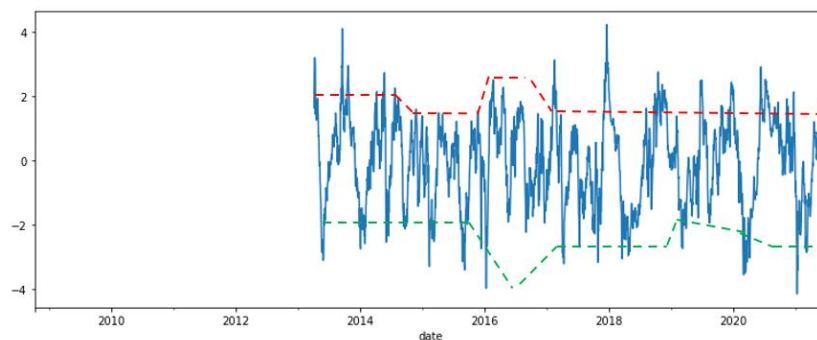
Modelo PPP JPY com restrição no B_1 (resíduo e threshold para geração de sinais)



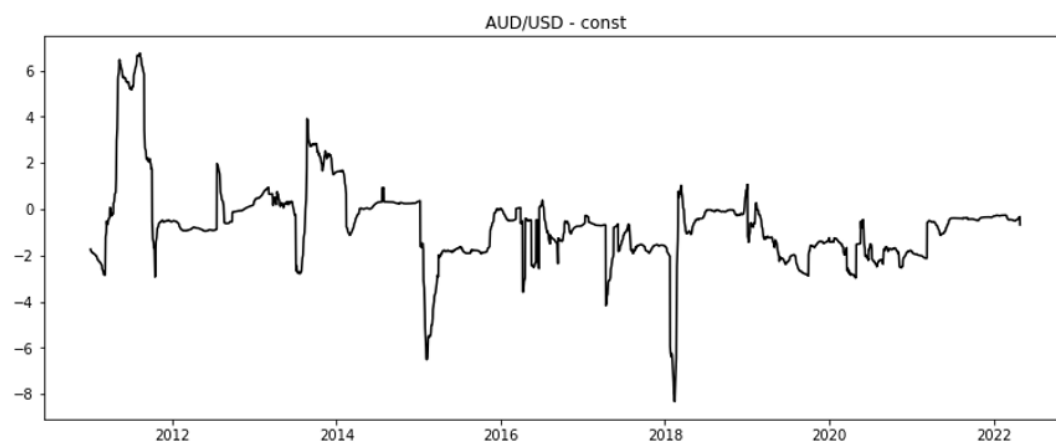
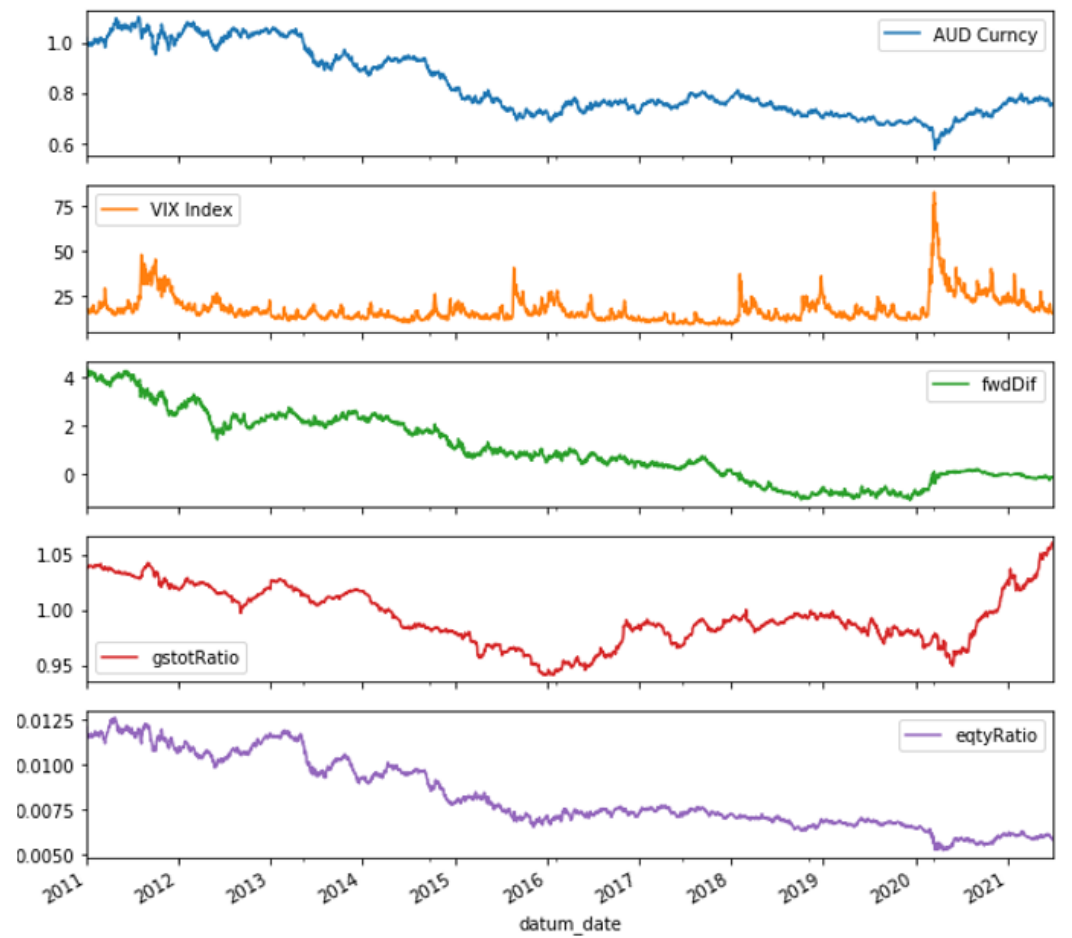
Modelo PPP ZAR sem restrição no B_1 (B_0, B_1)

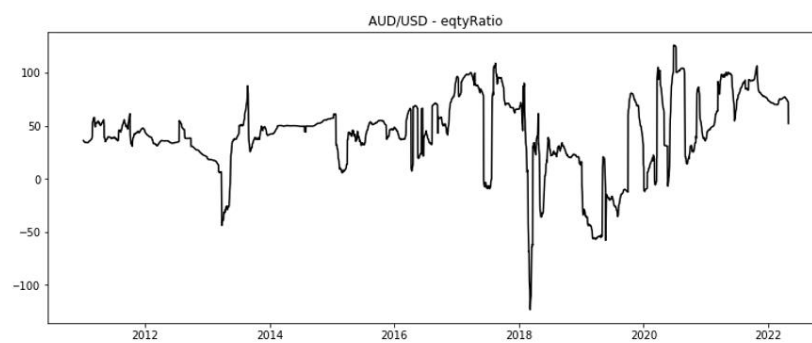
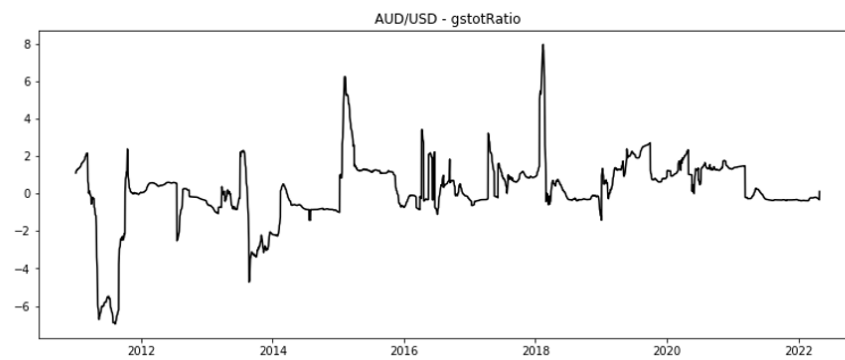
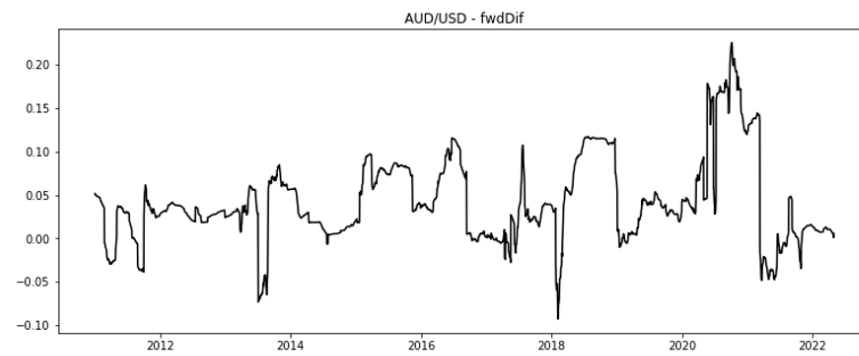
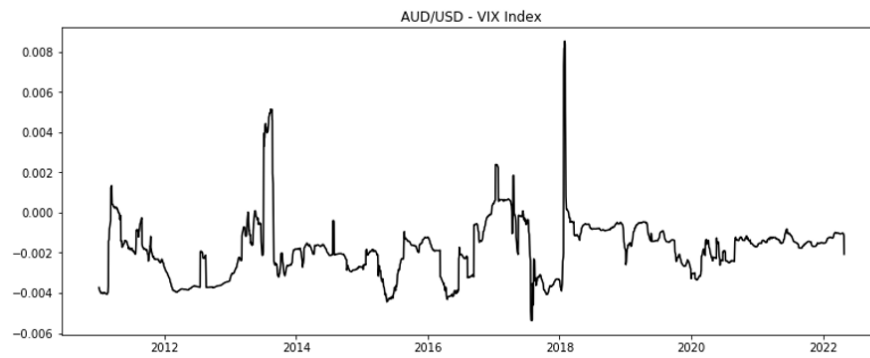


Modelo PPP ZAR com restrição no B_1 (resíduo e threshold para geração de sinais)

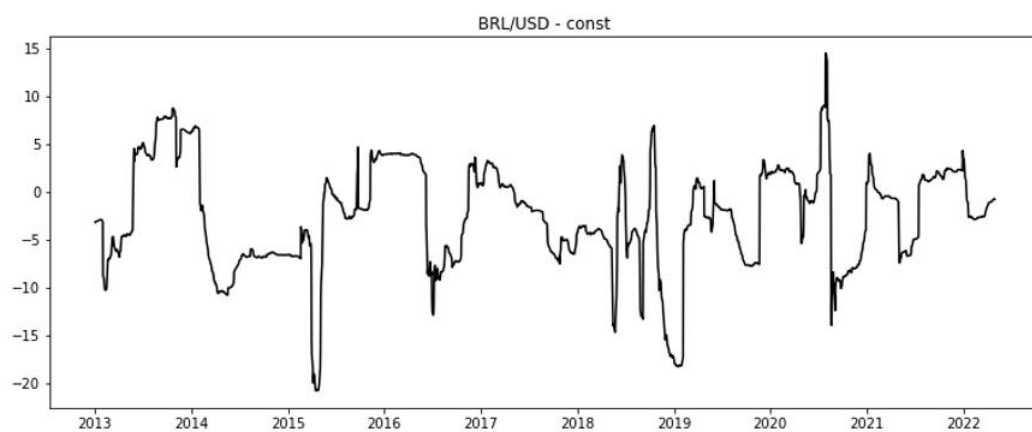
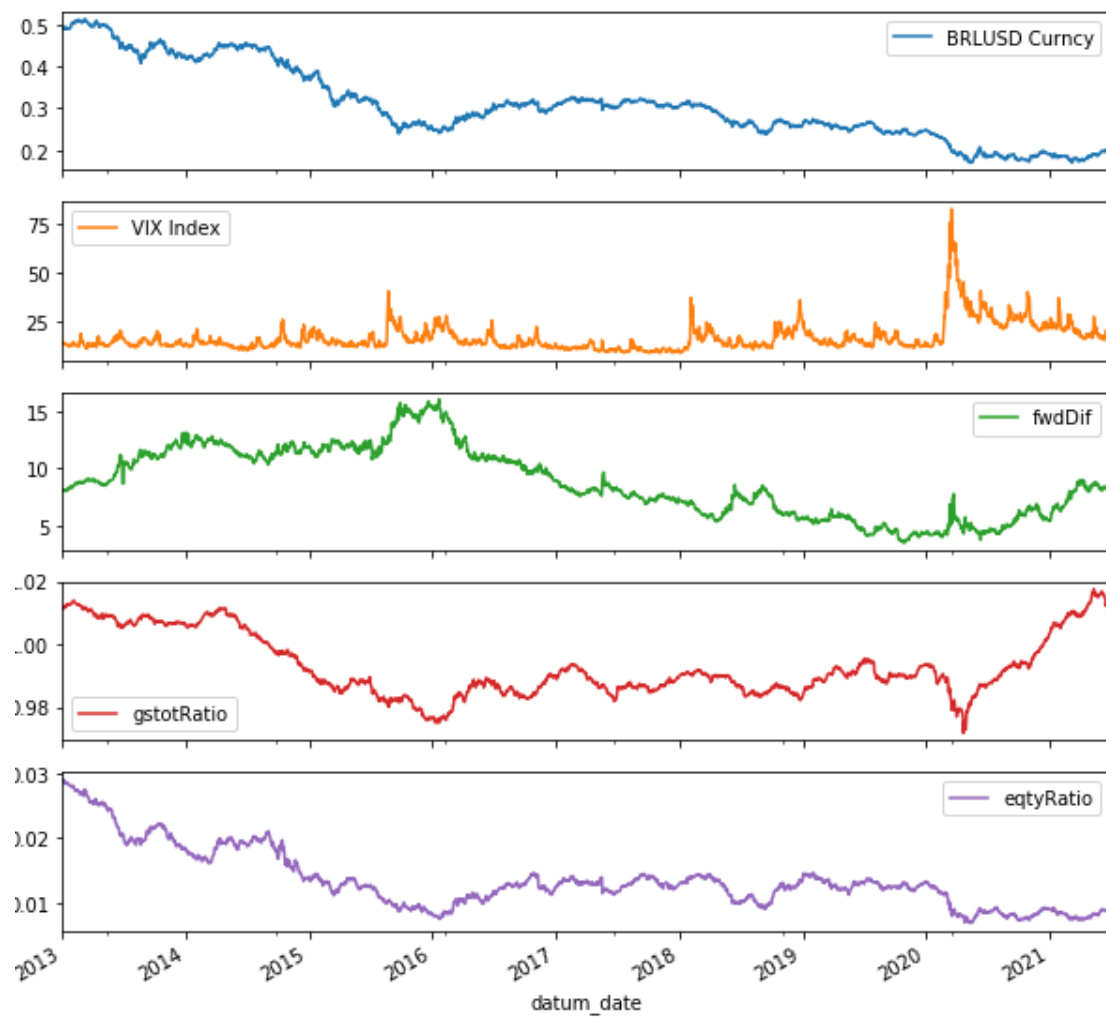


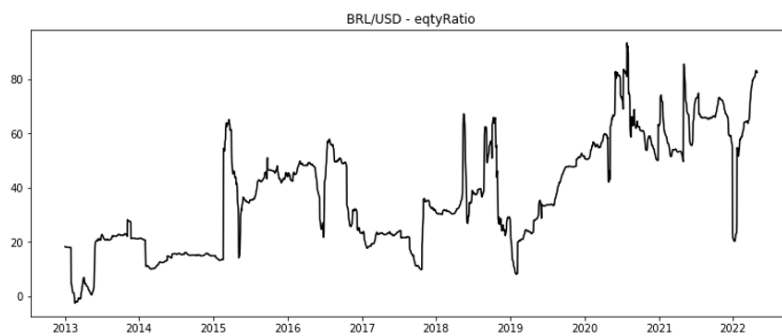
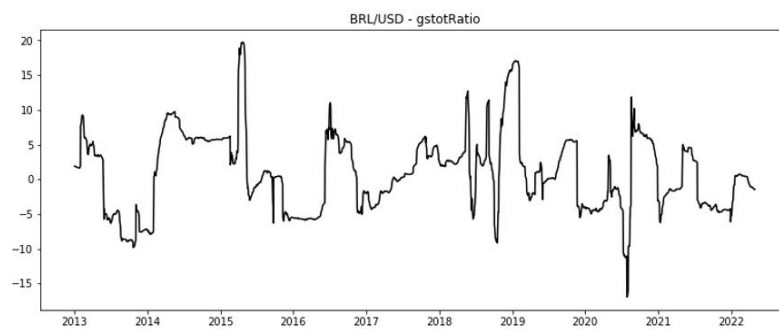
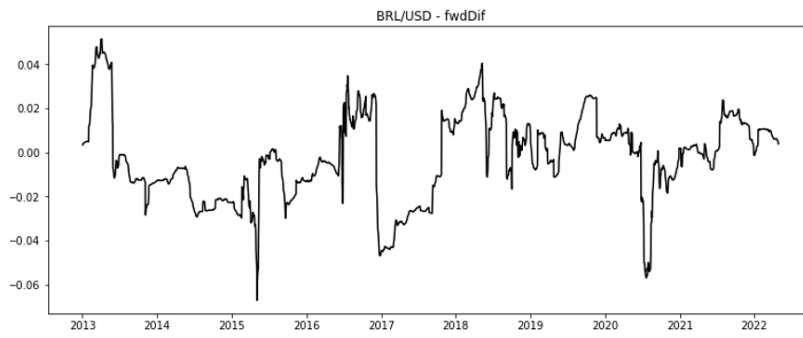
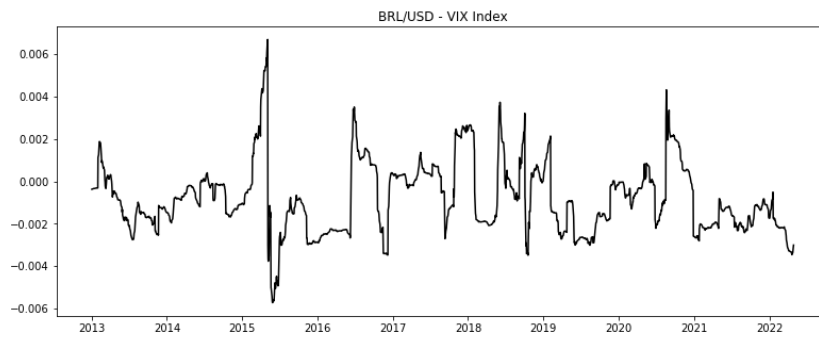
Modelo Alternativo AUD



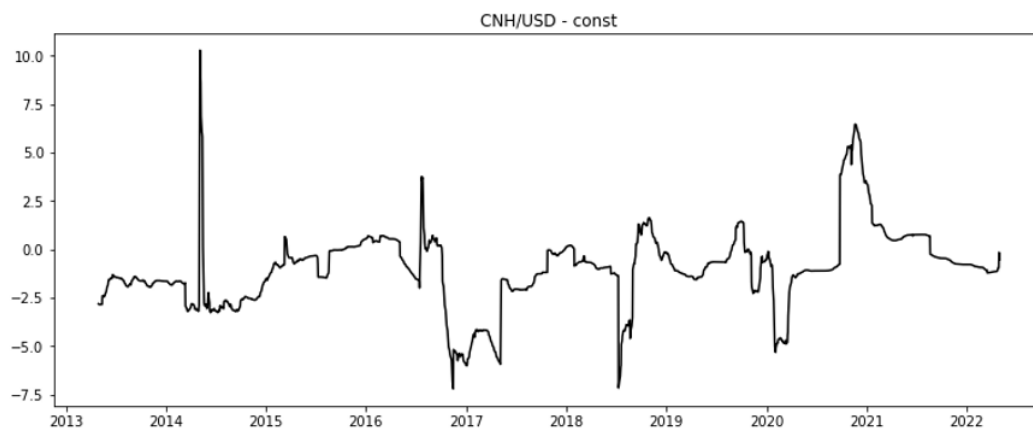
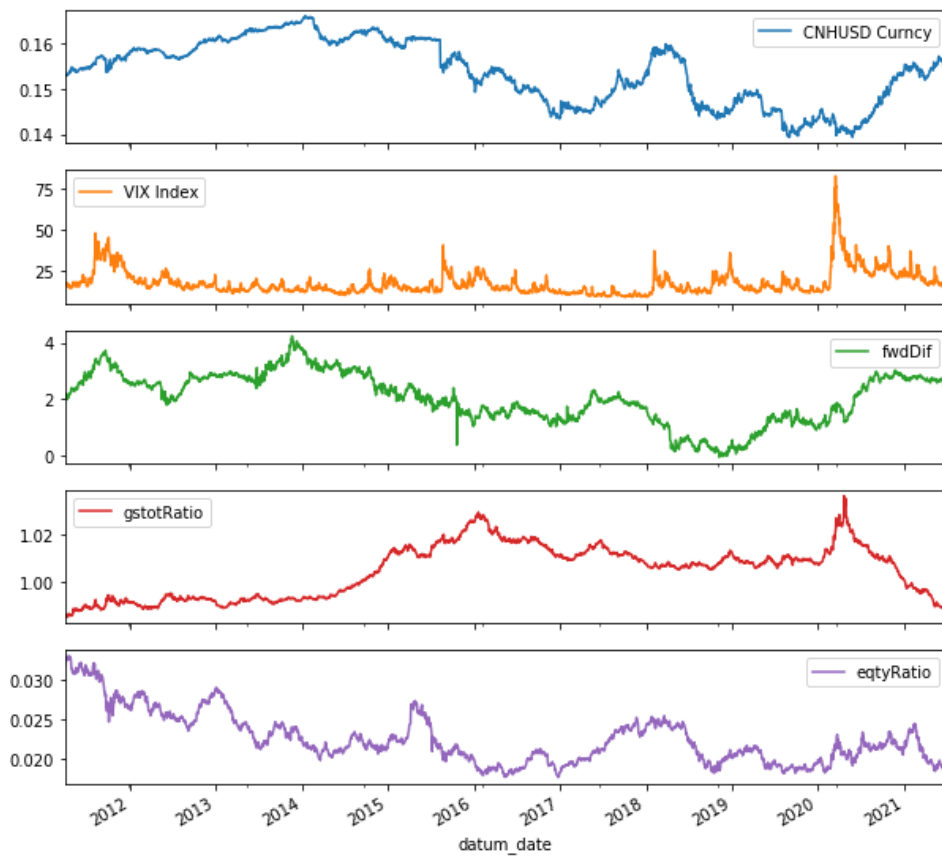


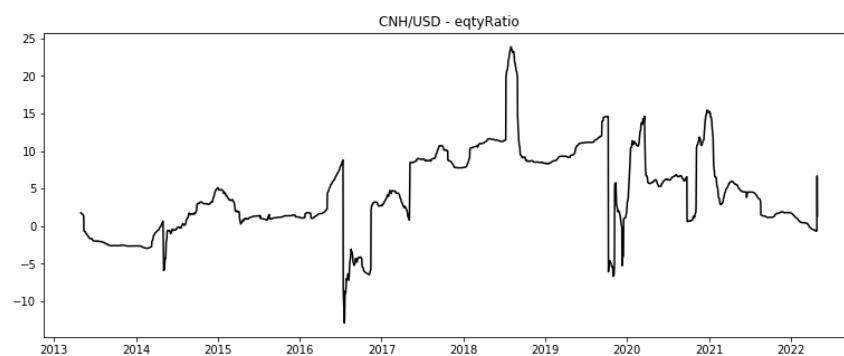
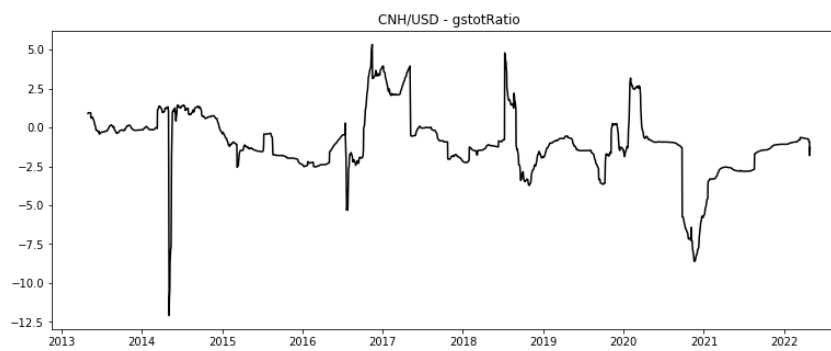
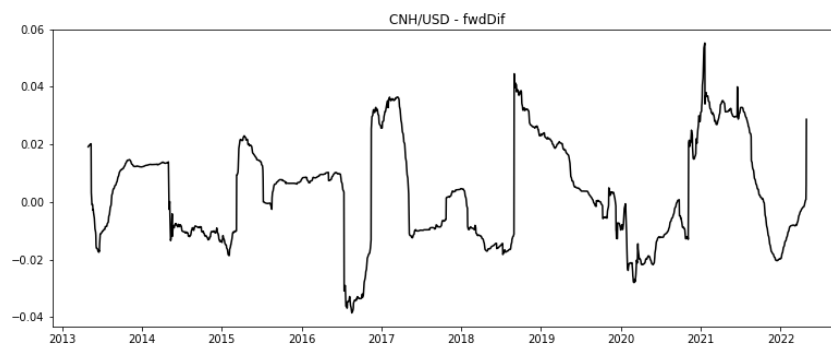
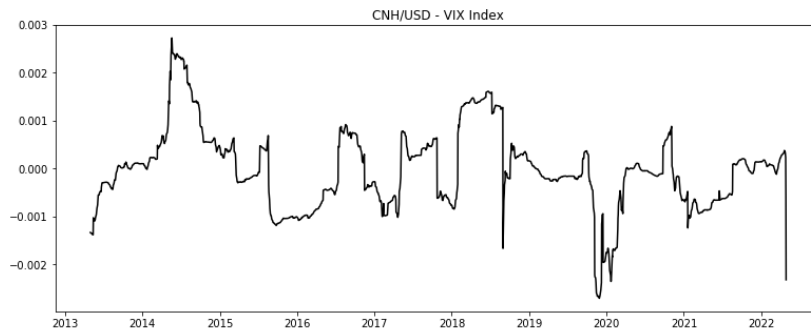
Modelo Alternativo BRL



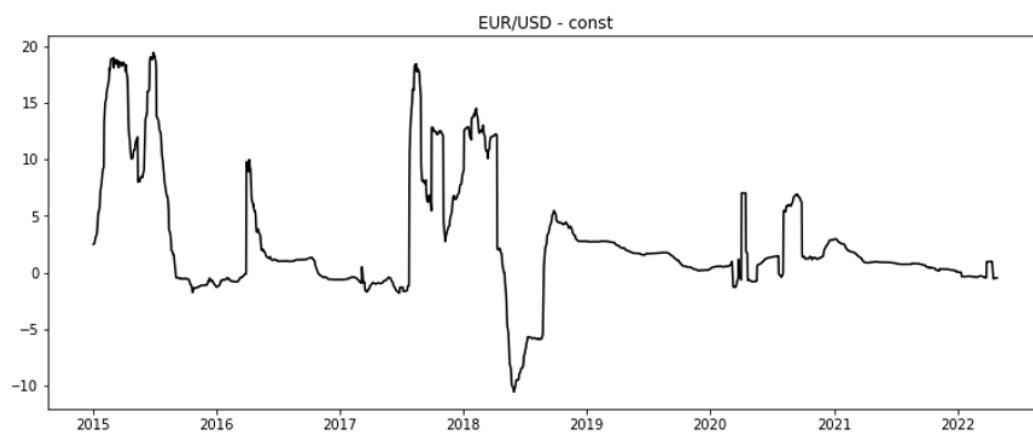
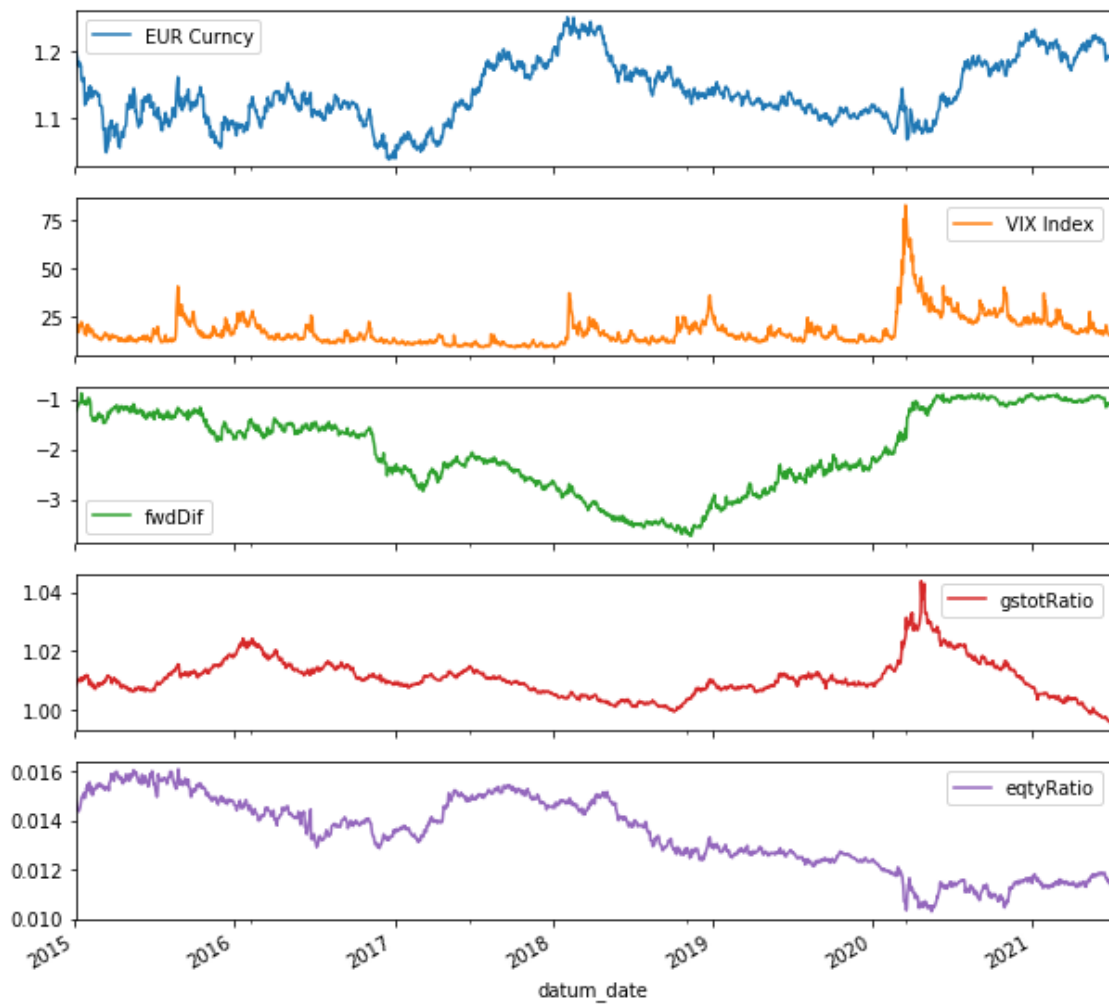


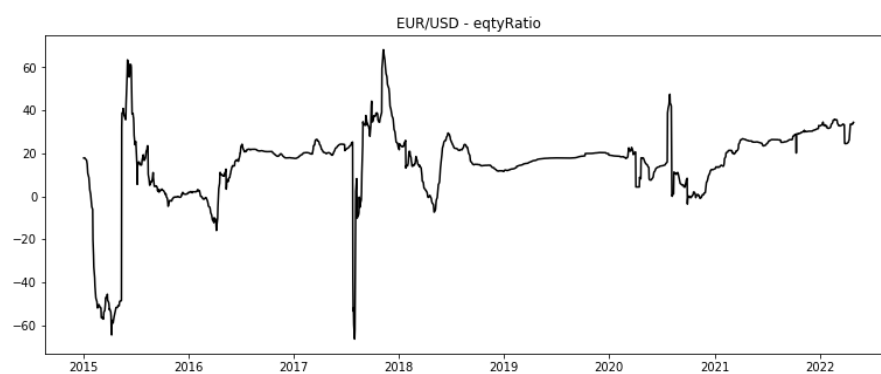
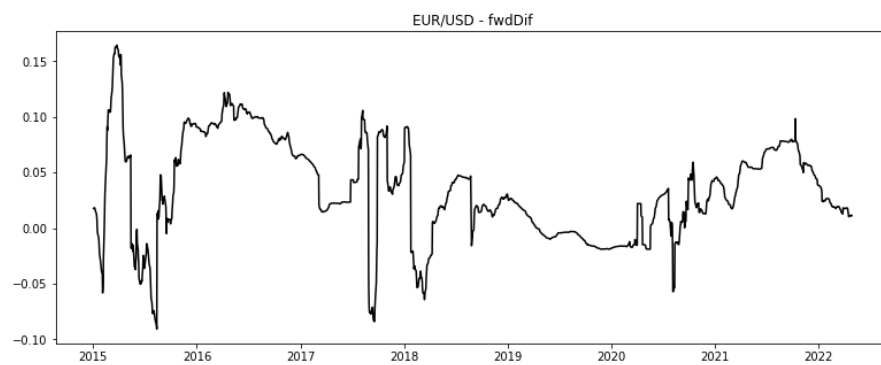
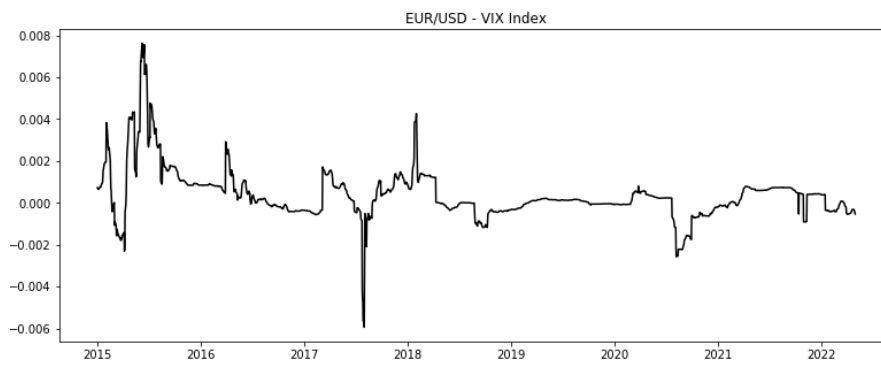
Modelo Alternativo CNH



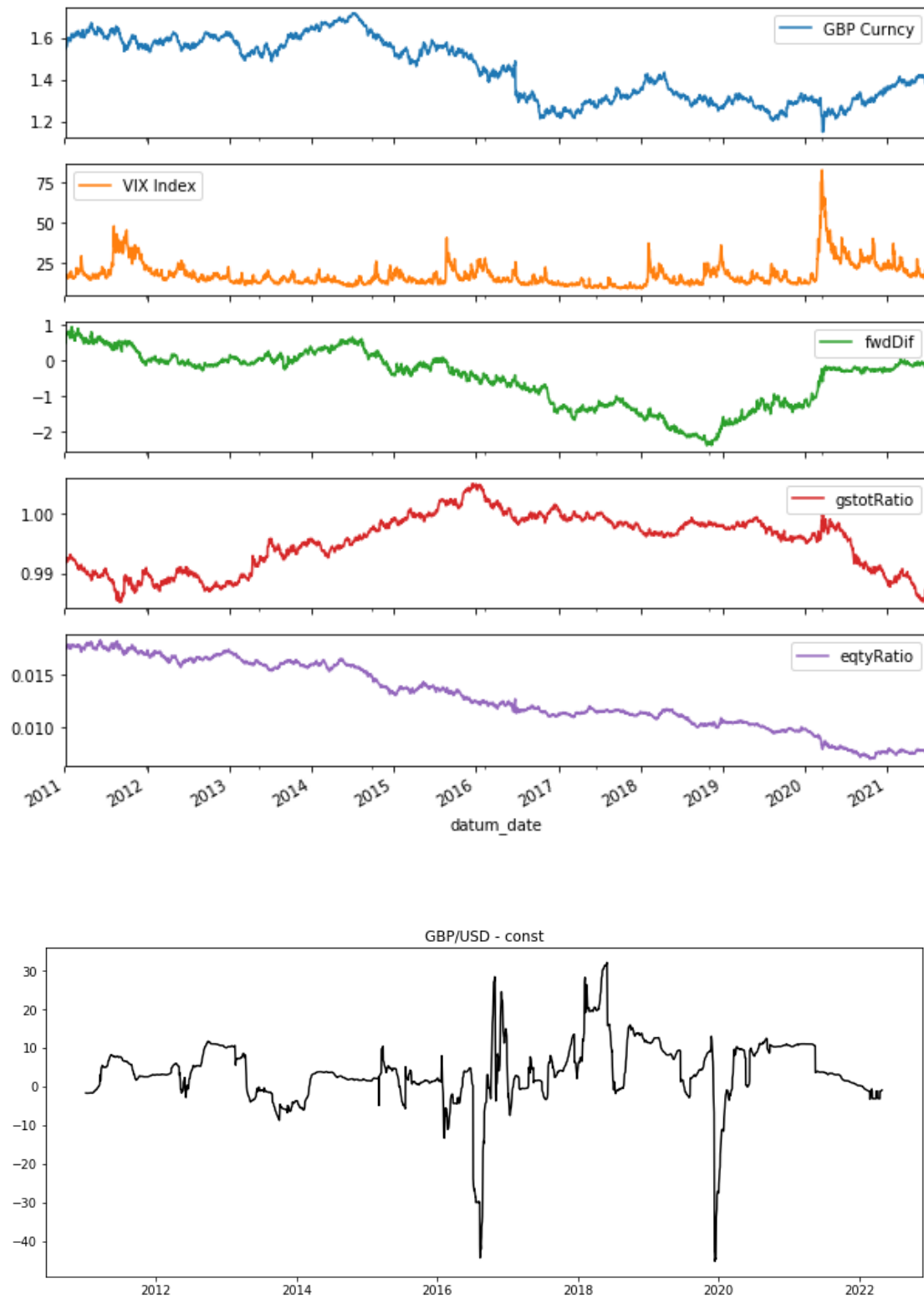


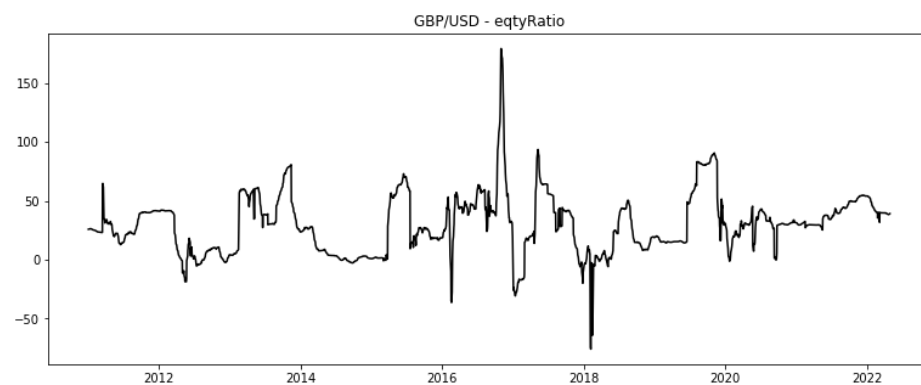
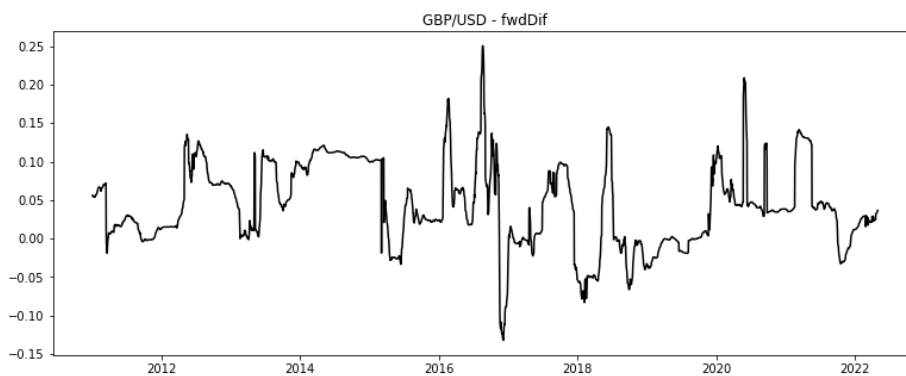
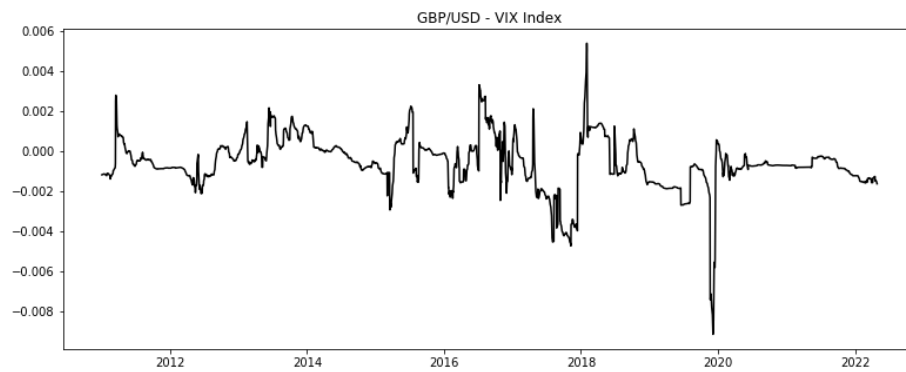
Modelo Alternativo EUR



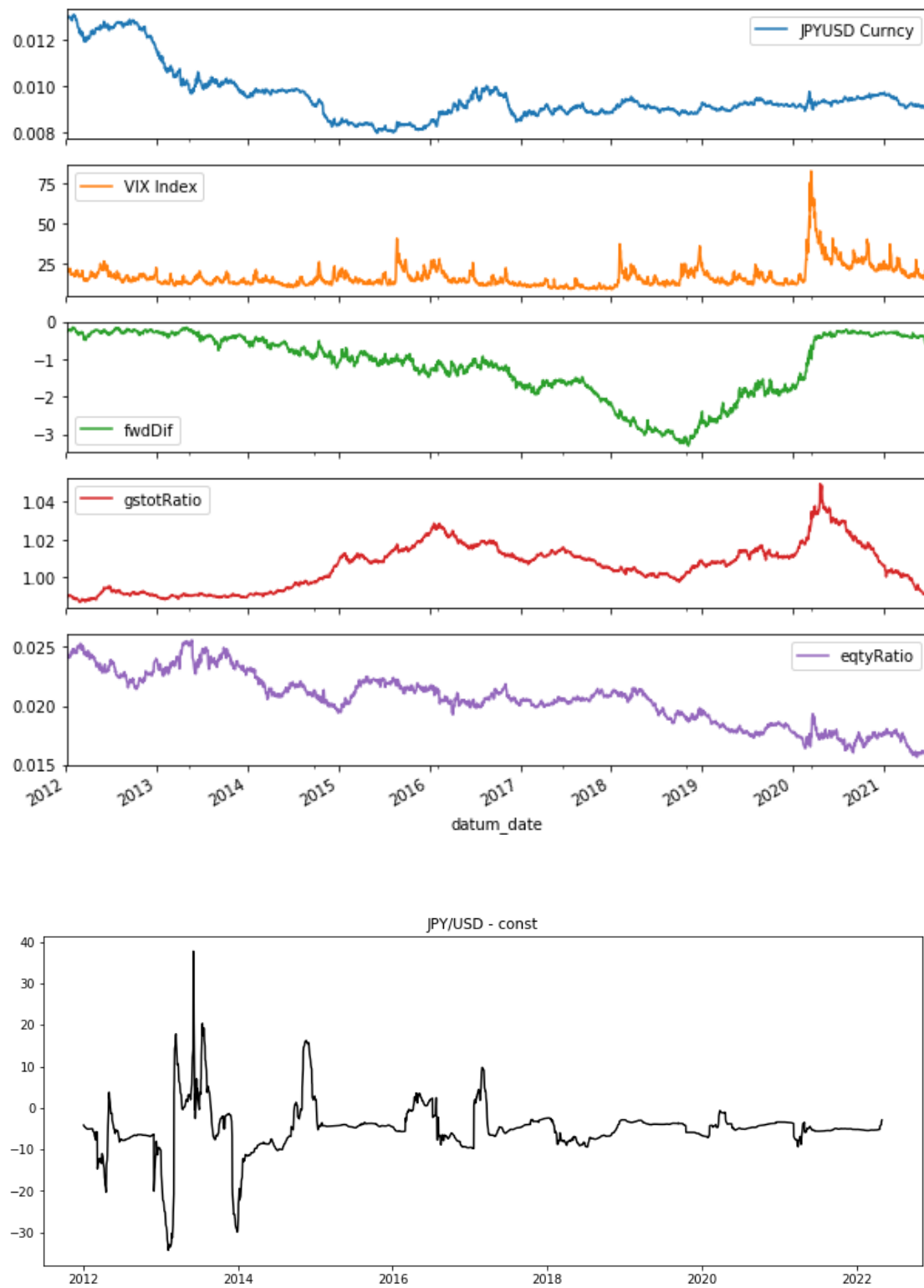


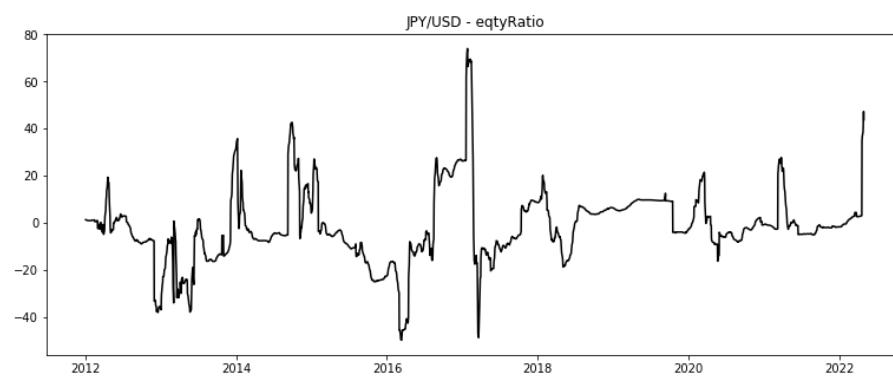
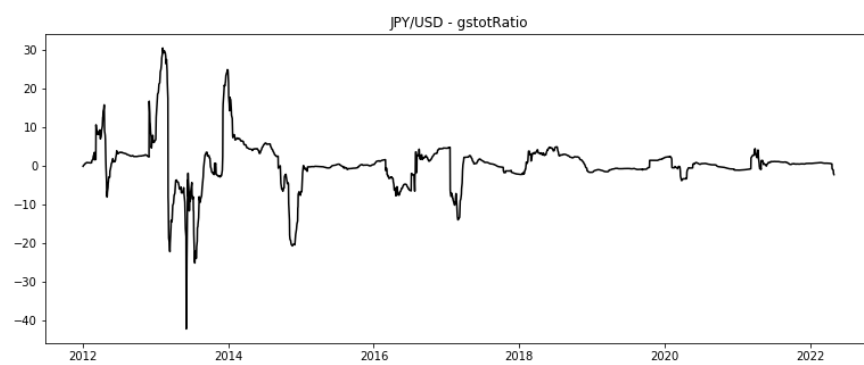
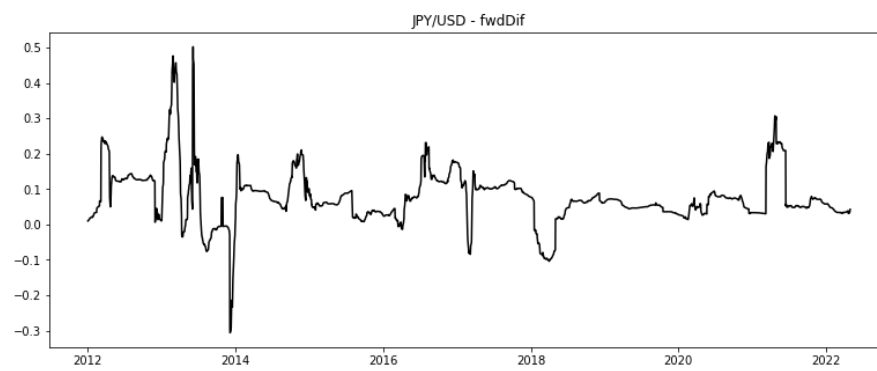
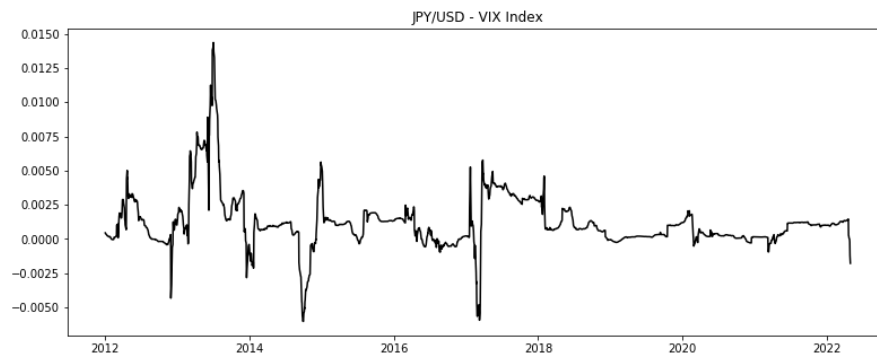
Modelo Alternativo GBP





Modelo Alternativo JPY





Modelo Alternativo ZAR

