

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DE COMPUTAÇÃO

PROJETO FINAL - SME0808 - SÉRIES TEMPORAIS E APRENDIZADO DINÂMICO

Prof. Dr. Ricardo Ehlers

Aline Fernanda da Conceição - 9437275
Andrey Inácio Paulino - 10818741
Gabriel Jesus - 10844226

São Carlos
Dezembro de 2021

Sumário

1	Introdução	2
2	Metodologia	2
2.1	Análise descritiva dos dados e pré-processamento	2
2.2	Modelo Markov Regime Switching	4
3	Resultados	4
4	Conclusão	8
5	Código em R	8

1 Introdução

O projeto tem como finalidade aplicar algumas das técnicas desenvolvidas durante o semestre a partir de uma análise de séries temporais utilizando alguns dos modelos estudados.

Para isso, selecionamos alguns artigos da área de economia onde os dados a serem trabalhados fossem mais acessíveis. Entre eles o de Rodrigues e Mori (2015) [2] em que foi desenvolvido uma série de transformações para análise de variáveis que afetam diretamente a política monetária, além de estimar qual é a função de reação do Banco Central para uma economia aberta utilizando o modelo escolhido para nossa análise.

No Brasil, grande parte do Produto Interno Bruto(PIB) é dependente das exportações de commodities. Cerca de 26% do PIB é vindo do agronegócio e 48% das exportações tem ligação com o setor [1].

Desse modo, a análise de elementos que possam impactar diretamente o crescimento do país é de grande relevância para entender o movimento do mercado, ainda mais se tratando de uma economia aberta com grande parte do seu produto dependente das exportações. Assim, escolhemos como uma variável de influência no PIB a taxa de câmbio.

Logo, o objetivo deste projeto é analisar o comportamento de uma série temporal da taxa de câmbio e do PIB do Brasil entre os anos de 2000 e 2021 usando o modelo de mistura Markov Switching.

O conjunto de dados utilizado foi retirado do pacote rbcbr do software R. Esse pacote faz interface dos serviços web do Banco Central do Brasil para fornecer dados formatados na estrutura de dados do R e baixar dados monetários do site do Banco Central do Brasil.

2 Metodologia

2.1 Análise descritiva dos dados e pré-processamento

A realização de uma análise descritiva dos dados pode indicar diversos comportamentos das séries e mostrar aspectos interessantes do problema a ser estudado.

Verificou-se que a série de PIB mensal além de uma tendência de crescimento para o período analisado. Além disso, existe sazonalidade anual na série.

Portanto, para o pré processamento, foi realizado teste de raiz unitária e verificamos que a série foi estacionária após a suavização da sazonalidade e da tendência. Não foi necessário realizar a primeira diferença para que fosse estacionária.

Assim como realizado para o PIB, foram realizadas as mesmas verificações para a série referente à taxa de câmbio.

Verificou-se sazonalidade e após a suavização a série foi estacionária sem que fosse preciso realizar a primeira diferença.

Abaixo é possível verificar os gráficos mencionados:

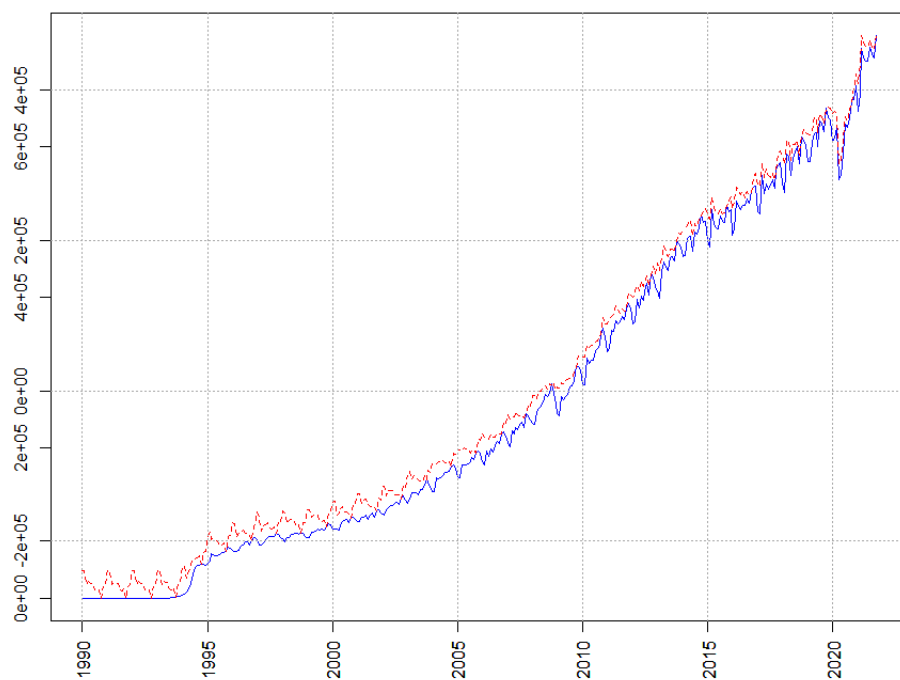


Figura 1: Gráfico da série temporal do PIB comparando a série com sazonalidade em vermelho e sem a sazonalidade em azul

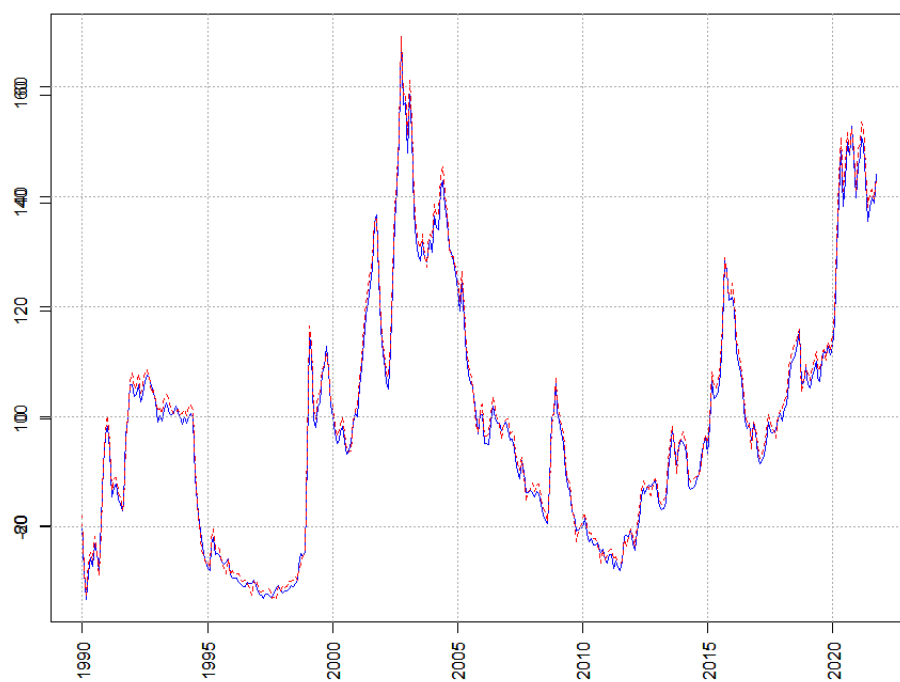


Figura 2: Gráfico da série temporal da taxa de câmbio comparando a série com sazonalidade em vermelho e sem a sazonalidade em azul

2.2 Modelo Markov Regime Switching

Com o foco de analisar as taxas de câmbio e PIB durante o passar dos anos de janeiro de 2000 até outubro de 2021 será utilizado o modelo Markov Regime Switching. O modelo estimado é constituído por:

$$y_t = \phi_1^{S_t} y_{t-1} + \phi_2^{S_t} y_{t-2} + \varepsilon_t$$

Onde S_t é um processo de Markov com k estados e $\varepsilon_t \sim N(0, v_{S_t})$

O modelo tem como objetivo permitir comportamentos distintos em estados da natureza diferentes enquanto se estima a ocorrência de transição de um estado para outro. Nesse modelo, a especificação dentro de cada regime é linear e as probabilidades de transição que governam os movimentos de um regime para outro são estimadas seguindo uma estrutura markoviana, tendo como resultado um modelo de séries de tempo não linear.

Em um modelo Markov Regime Switching, a mudança entre regimes tem uma certa probabilidade. O modelo tem dois regimes, que são estimados a partir dos dados. O procedimento de estimação classifica cada observação como pertencente a um determinado regime.

Como temos um processo Markov Switching para S_t de dois estados, com probabilidades de transição constantes $p_{ij} = Pr(S_t = m | S_{t-1} = n)$. Para o processo markoviano de dois estados, a matriz de probabilidades de transição é dada por:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix}$$

A estimação do modelo é utilizada a distribuição conjunta de y_t e S_t condicionada a informação passada:

$$f(y_t S_t | Y_{t-1}) = f(y_t | S_t, Y_{t-1}) f(S_t | Y_{t-1})$$

A função de log-verossimilhança do modelo com dois regimes é dada por:

$$\ln L = \sum_{t=1}^T \ln \left(\sum_{m=1}^2 f(y_t | S_t, Y_{t-1}) Pr(S_t = m | Y_{t-1}) \right)$$

3 Resultados

Após o pré processamento e verificação da estacionariedade das séries estudadas, foi realizado o modelo de Markov Regime Switching como segue abaixo:

```

1
2 Markov Switching Model
3
4 Call: msmFit(object = md, k = 2, sw = rep(TRUE, 3))
5
6      AIC      BIC    logLik
7 8090.667 8130.231 -4041.334
8
9 Coefficients:
10
11 Regime 1
12 -----
13      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
14 (Intercept) (S)  2695.64    7061.87   0.3817 0.702684
15 hpcambio (S)   -2308.28     717.01  -3.2193 0.001285 **
16 ---
17 Signif. codes:  0    ***    0.001    **    0.01    *    0.05    .    0.1    1
18
19 Residual standard error: 24945.15
20 Multiple R-squared: 0.3506
21
22 Standardized Residuals:

```

```

23      Min      Q1      Med      Q3      Max
24 -49949.1351 -449.0910 -150.4117  316.3829  68249.4323
25
26 Regime 2
27 -----
28      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
29 (Intercept) (S)  596.926    473.222  1.2614  0.20716
30 hpcambio(S)    -96.156     57.526 -1.6715  0.09462 .
31 ---
32 Signif. codes:  0      ***      0.001      **      0.01      *      0.05      .      0.1      1
33
34 Residual standard error: 8582.036
35 Multiple R-squared:  0.008225
36
37 Standardized Residuals:
38      Min      Q1      Med      Q3      Max
39 -20670.7339 -5981.9400  110.5881  4868.1782  21158.2377
40
41 Transition probabilities:
42      Regime 1      Regime 2
43 Regime 1  0.896169  0.006276997
44 Regime 2  0.103831  0.993723003

```

Utilizamos 2 regimes para construir o modelo e a biblioteca "MSwM" do software R, o custo computacional foi baixo e conseguimos rodar o programa sem problemas.

No regime 1, considerando um nível de significância $\alpha = 5\%$, temos que a covariável hpcambio é significativa e o coeficiente de determinação R^2 de aproximadamente 35%, logo o modelo explica 35% da variabilidade dos dados. O coeficiente estimado da covariável câmbio foi de -2308,28, portanto o câmbio tem um relação negativa com o PIB.

No regime 2, temos um coeficiente de determinação muito baixo e a covariável câmbio não foi significativa. E finalmente, a matriz de probabilidades de transição tem valores altos na diagonal principal que indicam que é difícil mudar de regime para regime.

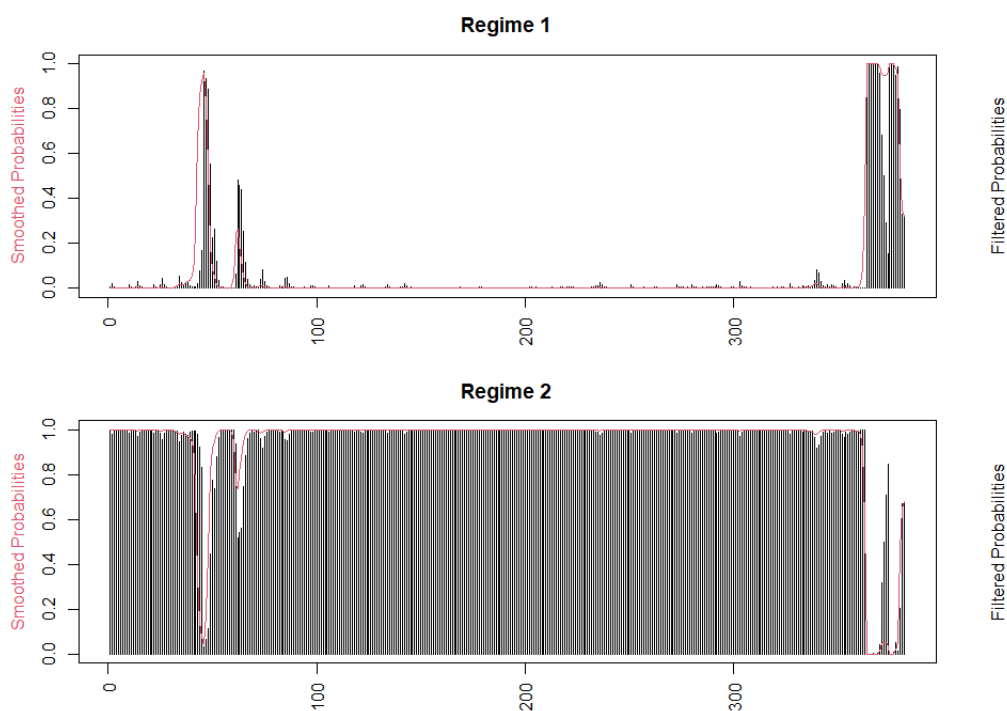


Figura 3: Gráfico comparando o regime 1 com o regime 2

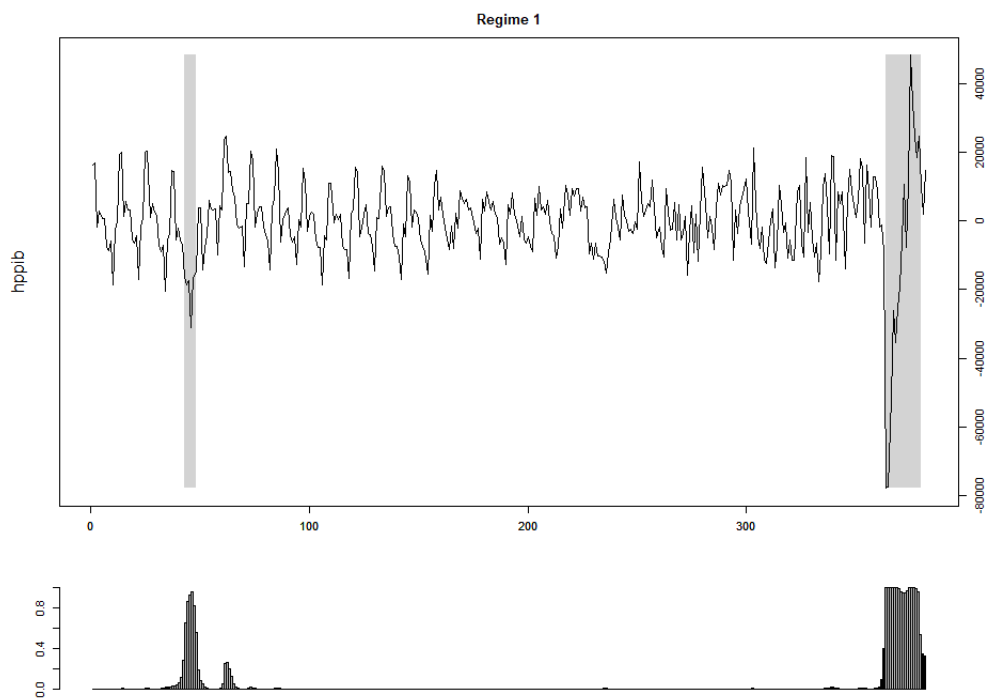


Figura 4: Gráfico regime 1

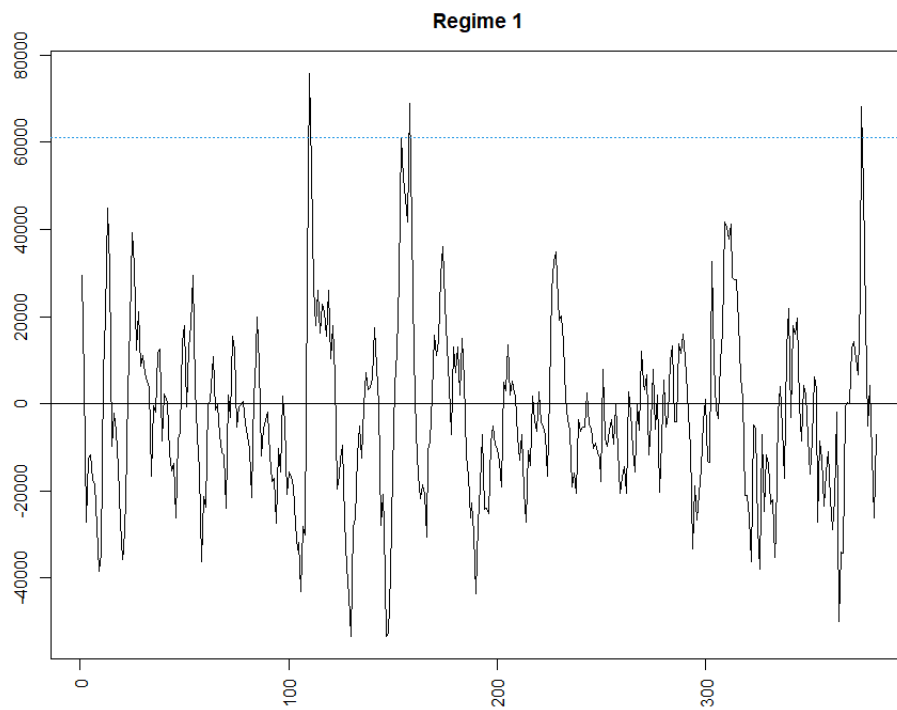


Figura 5: Gráfico de resíduos em relação aos valores ajustados

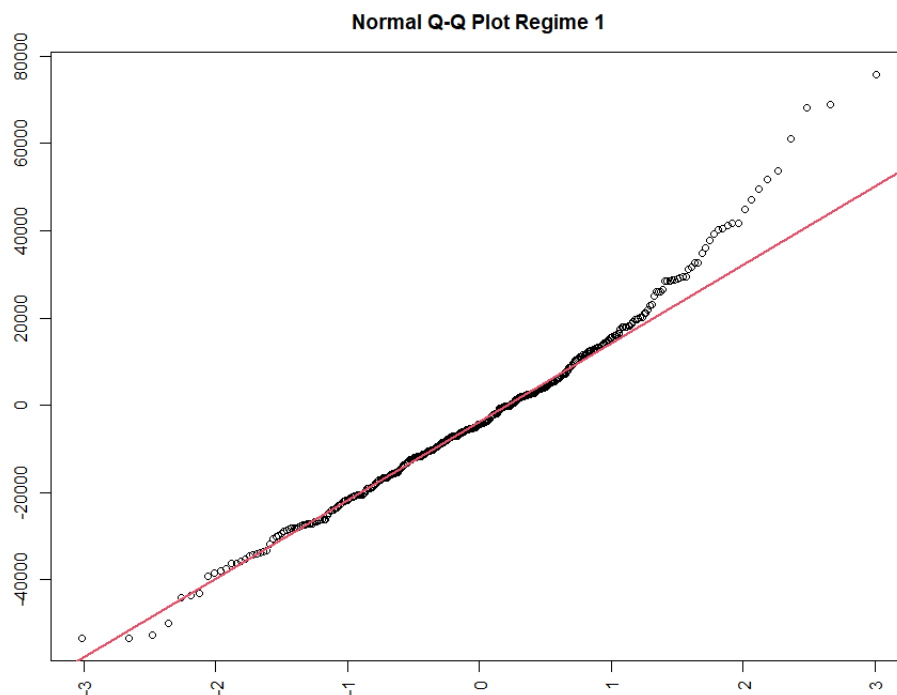


Figura 6: Gráfico Q-Q normal do regime 1

Um gráfico quantile-quantile (Gráfico Q-Q) permite relacionar a distribuição de um conjunto de dados com o de outro conjunto de dados nesse caso o conjunto de dados normal e a partir dele podemos notar uma grande semelhança entre as distribuições.

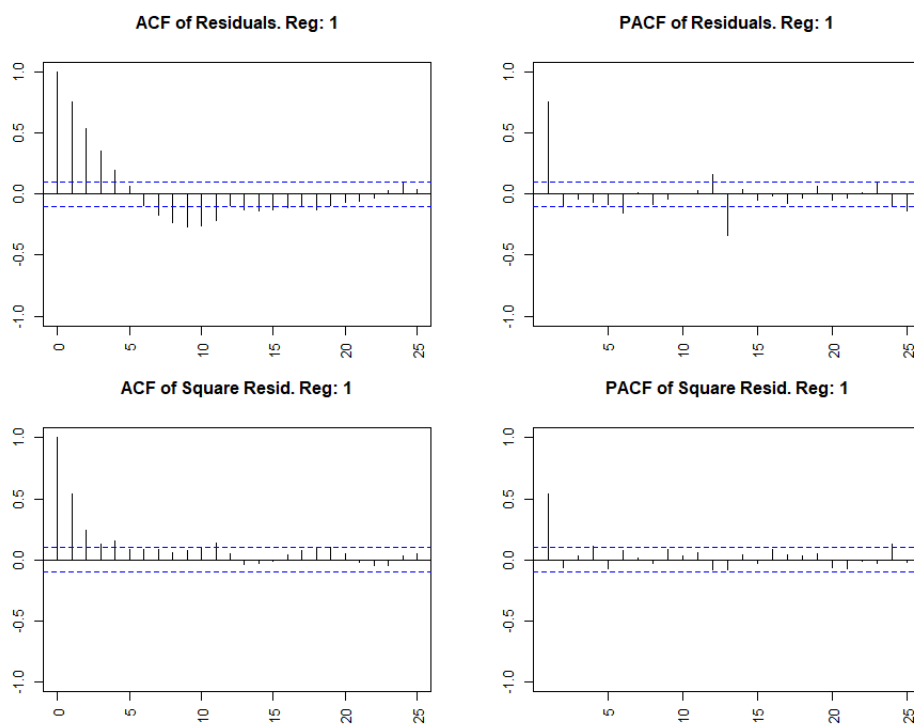


Figura 7: Gráfico do ACF / PACF de resíduos e ACF / PACF de resíduos quadrados do regime 1

4 Conclusão

Para realização deste trabalho foi realizado as etapas de pesquisa para definir as variáveis, análise descritiva, pré-processamento das séries para teste de estacionariedade, definição do modelo e avaliação dos resultados.

A partir do modelo desenvolvido, os resultados encontrados foram como esperados em relação à influência da taxa de câmbio no PIB brasileiro. O que se confirmou no diagnóstico a partir dos gráficos do modelo de Markov Switching em que o regime foi adequado confirmando a influência do câmbio no PIB. Assim, existe uma relação negativa entre taxa de câmbio e PIB, portanto uma desvalorização cambial possuem efeito positivo no crescimento segundo relatório sobre câmbio no Brasil [3].

Essa é uma questão que deve ser bem mais desenvolvida e trabalhada como proposta de trabalho futuro, visto que na literatura econômica a relação entre câmbio e crescimento econômico é algo bem mais complexo que envolve outras variáveis já que os impactos da taxa de câmbio pode variar de acordo com a questão do índice de preços, de atividade econômica, relação de exportações e etc.

Já na questão de metodologia, pode-se testar outros modelos para essas mesmas variáveis a fim de comparação, utilizando claro a referência da literatura especializada.

As principais dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do trabalho foi encontrar variáveis que fossem balanceadas para que pudéssemos desenvolver algo próximo às referências encontradas sem precisar realizar várias transformações ou estimações de índices sem o devido conhecimento mais aprofundado do problema econômico.

Já em relação à programação e convergência do modelo a principal dificuldade encontradas foi encontrar uma biblioteca no R que conseguisse realizar todas as operações que nós necessitamos.

5 Código em R

Código 1

```
1 #Importando as bibliotecas
2 library(WDI)
3 library(tsdyn)
4 library(MSwM)
5 library(urca)
6 library(forecast)
7 library(seasonal)
8
9 #Obtendo os dados
10 devtools::install_github('wilsonfreitas/rbcb')
11
12 test <- rbcb::get_series(c(PIB = 4380))
13 test1 <- rbcb::get_series(c(CAMBIO = 11752))
14
15 test1 <- test1[-c(1:24),]
16
17 #Transformando os dados para s rie temporal
18 PIB <- test$PIB
19 PIB <- ts(PIB, start=c(1990,1), end=c(2021,10), frequency=12)
20 CAMBIO <- test1$CAMBIO
21 CAMBIO <- ts(CAMBIO, start=c(1990,1), end=c(2021,10), frequency=12)
22
23 #Retirando a sazonalidade do pib
24 Q <- ordered(cycle(PIB))
25 pib.reg <- lm(PIB~Q)
26 summary(pib.reg)
27 pib.des <- ts(resid(pib.reg),
28               start = c(1990,1), freq=12)
29
30 par(mfrow=c(1,1))
31 plot(PIB, main='', xlab='Ano', ylab='', col='blue', bty='l')
32 par(new=TRUE)
33 plot(pib.des, col='red', lty=2)
```

```

34 legend('topleft', axes=F, ann=F, c('PIB', 'PIB dessazonalizado'), col=c('blue', 'red'), lty
    =1:2, bty='n')
35 grid(col='darkgrey')
36
37 #Retirando a tendncia do pib
38 filtrohp <- function(y, lambda){
39   id <- diag(length(y))
40   d <- diff(id, d=2)
41   tendhp <- solve(id+lambda*crossprod(d), y)
42   tendhp
43 }
44
45 lambda <- 14400
46 tendencia <- filtrohp(pib.des, lambda)
47 hppib <- pib.des - tendencia
48
49 #testando a estacionaridade do pib
50 ur.kpss(hppib)
51
52 #Retirando a sazonalidade do Cambio
53 Q2 <- ordered(cycle(CAMBIO))
54 cambio.reg <- lm(CAMBIO~Q2)
55 summary(cambio.reg)
56 cambio.des <- ts(resid(cambio.reg),
57   start = c(1990,1), freq=12)
58
59 par(mfrow=c(1,1))
60 plot(CAMBIO, main='', xlab='Ano', ylab='', col='blue', bty='l')
61 par(new=TRUE)
62 plot(cambio.des, col='red', lty=2)
63 legend('topleft', axes=F, ann=F, c('CAMBIO', 'CAMBIO dessazonalizado'), col=c('blue', 'red')
    , lty=1:2, bty='n')
64 grid(col='darkgrey')
65
66 #Retirando a tendncia do cambio
67 tendencia2 <- filtrohp(cambio.des, lambda)
68 hpcambio <- cambio.des - tendencia2
69
70 #Testando a estacionaridade do cambio
71 ur.kpss(hpcambio)
72
73 #Modelo linear do pib com o cambio
74 md <- lm(hppib ~ hpcambio)
75
76 summary(md)
77
78 #Modelo Markov Switching
79 markov = msmFit(md, k = 2, sw = rep(TRUE, 3))
80
81 summary(markov)
82
83 par(mar=c(3,3,3,3))
84 plotProb(markov, which=1)
85
86 plotProb(markov, which=2)
87
88 #Diagnostico para Markov switching
89 par(mar=c(3,3,3,3))
90 plotDiag(markov, regime=1, which=1)
91
92 plotDiag(markov, regime=1, which=2)
93
94 plotDiag(markov, regime=1, which=3)

```

Referências

- [1] UOL Economia. Ciclo de commodities já causa mais problemas do que benefícios ao Brasil, apesar de ser potência agro. <https://economia.uol.com.br/noticias/rfi/2021/09/22/ciclo-de-commodities-ja-causa-mais-problemas-do-que-beneficios-brasil-apesar-de-htm>, 2021.
- [2] W. G.; MORI R. RODRIGUES. Mudanças de regimes na função de reação do banco central do brasil: Uma abordagem utilizando markov regime switching. *Anais de congresso - 43º ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA*, 2015.
- [3] L.; Toneto Junior, R.; Nakabashi. Estudos sobre a taxa de câmbio no brasil. *Relatório Final apresentado ao DEPECON-FIESP*, 2013.