

Script R - Parte 1 - Thiago Menezes

1) Importação do conjunto de dados “dataset_st” no RStudio:

```
library(readxl)
```

```
dados <- read_excel("dataset_st.xlsx")
```

```
head(dados)
```

```
> dataset_st
# A tibble: 300 x 15
  mes_total ano mes biomassa carvao eolica fotovoltaica gas hidraulica multi_combustivel_diese... nuclear
  <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
1 1 2000 1 50756. 770966. 0 0 510250. 27711265. 0 4.18e5
2 2 2000 2 11439 725440. 0 0 580009. 26849928. 0 4.00e5
3 3 2000 3 3845. 685798. 0 0 513065. 28789384. 0 4.00e5
4 4 2000 4 3600 675602. 0 0 337403. 27810599. 0 3.59e5
5 5 2000 5 4403. 725875. 0 0 503225. 28813392. 0 0
6 6 2000 6 7537. 725002. 0 0 574332. 27376412. 0 1.11e1
7 7 2000 7 5148. 607498. 0 0 540093. 27679250. 0 6.79e4
8 8 2000 8 8189. 627498. 0 0 547118. 27812268. 0 6.72e5
9 9 2000 9 18808. 397360. 0 0 500285. 27482979. 0 7.81e5
10 10 2000 10 3537. 337344. 0 0 551283. 30034719. 0 5.45e5
# i 290 more rows
# i abbreviated name: 'multi_combustivel_diesel_oleo'
# i 4 more variables: oleo_combustivel <dbl>, oleo_diesel <dbl>, outras_multi_combustivel <dbl>,
# residuos_industriais <dbl>
# i Use `print(n = ...)` to see more rows
```

2) Conversão dos dados para em um objeto tsibble:

```
install.packages("dplyr")
```

```
install.packages("tsibble")
```

```
install.packages("fabletools")
```

```
install.packages("ggplot2")
```

```
library(dplyr)
```

```
library(tsibble)
```

```
library(fabletools)
```

```
library(ggplot2)
```

```
dataset_st <- dataset_st |>
```

```
  mutate(mes = yearmonth(mes)) |>
```

```
  as_tsibble(index = mes)
```

```
dataset_st
```

```

> dataset_st
# A tsibble: 310 x 16 [1M]
   mes      co2_mt biomassa carvao eolica fotovoltaica gas hidraulica multi_combustivel_diesel_oleo nuclear
   <mt>    <dbl>    <dbl>    <dbl>    <dbl>    <dbl>    <dbl>    <dbl>    <dbl>    <dbl>
1 2000 jan    1.70    50756.  770966.    0         0  510250.  27711265.    0  418078.
2 2000 fev    1.64    11439.  725440.    0         0  580009.  26849928.    0  400043.
3 2000 mar    1.61    3845.  685798.    0         0  513065.  28789384.    0  400187.
4 2000 abr    1.46    3600.  675602.    0         0  337403.  27810599.    0  358886.
5 2000 mai    1.66    4403.  725875.    0         0  503225.  28813392.    0      0
6 2000 jun    1.67    7537.  725002.    0         0  574332.  27376412.    0    11.1
7 2000 jul    1.56    5148.  607498.    0         0  540093.  27679250.    0   67881.
8 2000 ago    1.59    8189.  627498.    0         0  547118.  27812268.    0  672391.
9 2000 set    1.30   18808.  397360.    0         0  500285.  27482979.    0  781196.
10 2000 out   1.30    3537.  337344.    0         0  551283.  30034719.    0  544916.
# i 300 more rows
# i 6 more variables: oleo_combustivel <dbl>, oleo_diesel <dbl>, grupo_befn <dbl>, grupo_cg <dbl>,
#   grupo_hidraulica <dbl>, grupo_o <dbl>
# i Use `print(n = ...)` to see more rows

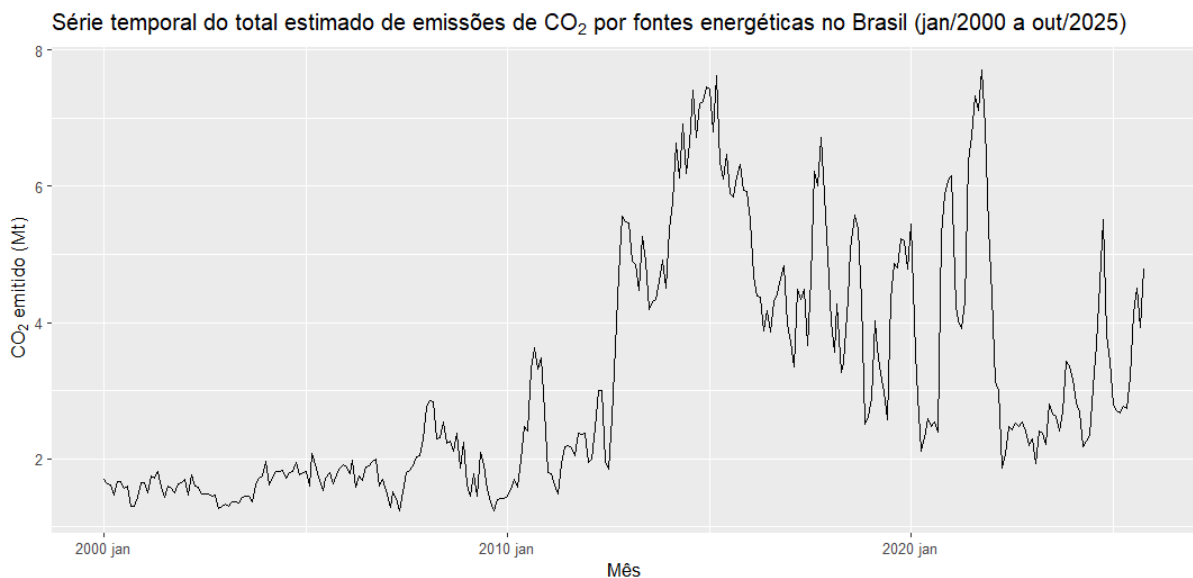
```

3) Geração do gráfico da emissão de CO2:

```

dataset_st |>
  autoplot(co2_mt) +
  labs(
    y = expression("CO"[2] * " emitido (Mt)"),
    x = "Mês",
    title = expression("Série temporal do total estimado de emissões de CO"[2] * " por fontes
energéticas no Brasil (jan/2000 a out/2025)"
  ))

```



4) Divisão dos dados em treinamento e teste:

Treino: de jan/2008 a dez/2023

Teste: de jan/2024 a out/2025

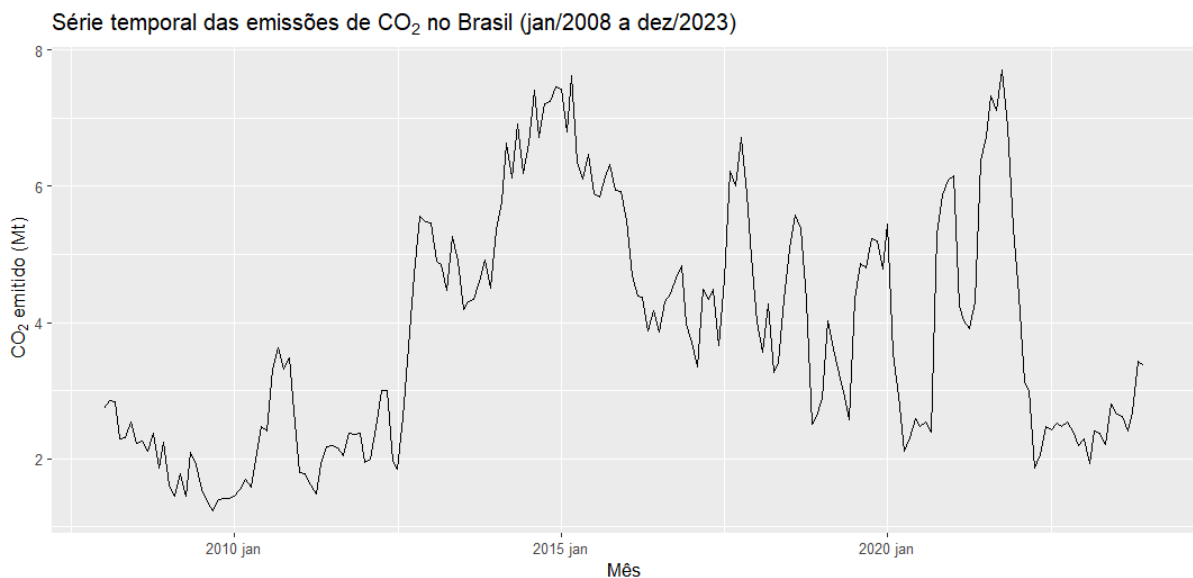
```
library(tsibble)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(feasts) # autoplot() para tsibbles
```

```
dataset_st_treino_2008_2023 <- dataset_st |>
  filter_index("2008 Jan" ~ "2023 Dec")
```

```
dataset_st_teste_2024_25 <- dataset_st |>
  filter_index("2024 Jan" ~ "2025 Oct")
```

Plotar apenas o conjunto de treino

```
dataset_st_treino_2008_2023 |>
  autoplot(co2_mt) +
  labs(
    title = expression("Série temporal das emissões de CO"[2] * " no Brasil (jan/2008 a
dez/2023)"),
    y = expression("CO"[2] * " emitido (Mt)"),
    x = "Mês"
  )
```



4) Geração de gráfico para avaliar sazonalidade:

```
library(dplyr)
library(lubridate)
library(feasts)
library(ggplot2)
```

```
dataset_st_treino_2008_2023 |>
```

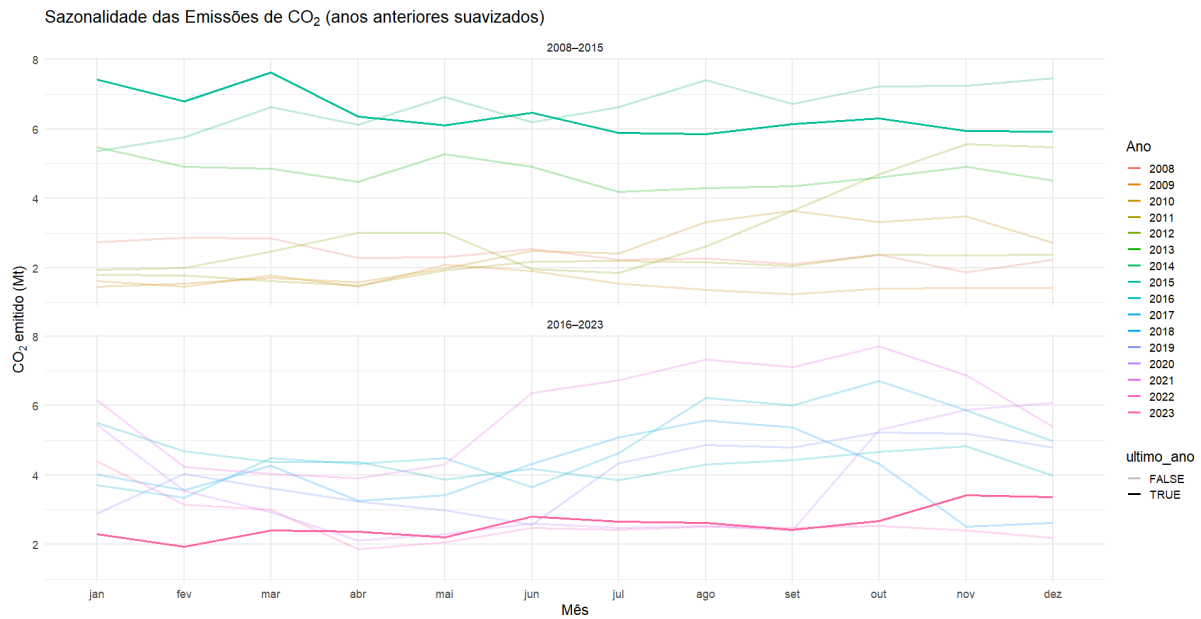
```

mutate(
  ano = year(mes),
  grupo = case_when(
    ano >= 2008 & ano <= 2015 ~ "2008–2015",
    ano >= 2016 & ano <= 2023 ~ "2016–2023",
    TRUE ~ NA_character_
  )
) |>
filter(!is.na(grupo)) |>
mutate(ano_fator = factor(ano)) |>
group_by(grupo) |>
mutate(
  ultimo_ano = (ano == max(ano)) # marca o ano mais recente em cada painel
) |>
ungroup() |>
ggplot(aes(x = month(mes, label = TRUE, abbr = TRUE), y = co2_mt,
  group = ano_fator, color = ano_fator, alpha = ultimo_ano)) +

geom_line(linewidth = 1) +

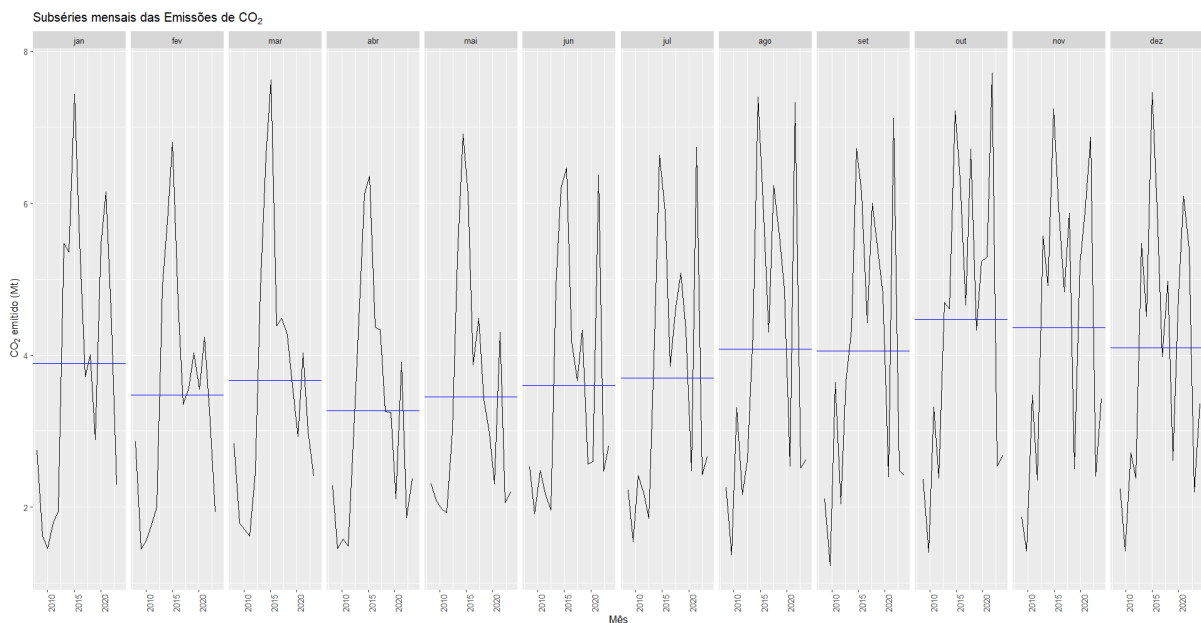
scale_alpha_manual(values = c(`FALSE` = 0.25, `TRUE` = 1)) +
labs(
  y = expression("CO"[2] * " emitido (Mt)"),
  x = "Mês",
  title = expression("Sazonalidade das Emissões de CO"[2] * " (anos anteriores
suavizados)"),
  color = "Ano"
) +
facet_wrap(~ grupo, ncol = 1, scales = "fixed") + # <-- ALTERAÇÃO AQUI
theme_minimal(base_size = 15) +
theme(legend.position = "right")

```



5) Geração de gráficos sazonais para subséries:

```
dataset_st_treino_2008_2023 |>
  gg_subseries(co2_mt) +
  labs(
    y = expression("CO"[2] * " emitido (Mt)"),
    x = "Mês",
    title = expression("Subséries mensais das Emissões de CO"[2] * ""
  ))
```



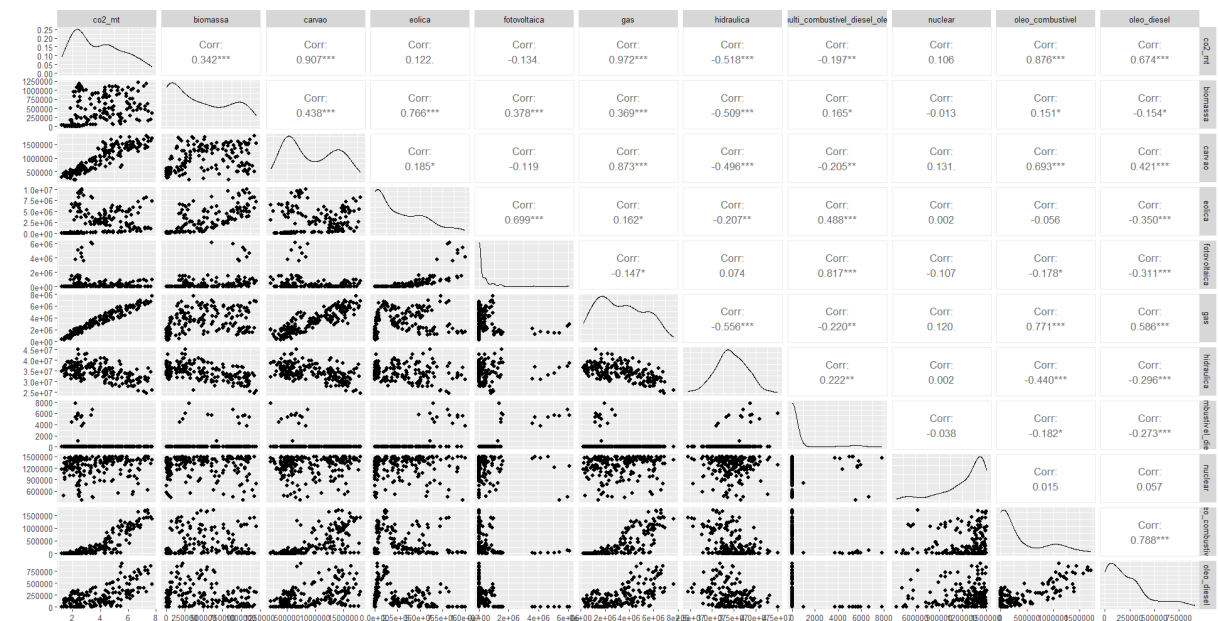
6) Gráficos de dispersão em painel:

```
library(dplyr)
library(GGally)
```

```
dataset_tbl <- tibble::as_tibble(dataset_st_treino_2008_2023)
```

```
num_cols <- dataset_tbl |> select(where(is.numeric))
```

```
num_cols |>
  tidyr::drop_na() |>
  GGally::ggpairs(progress = FALSE)
```



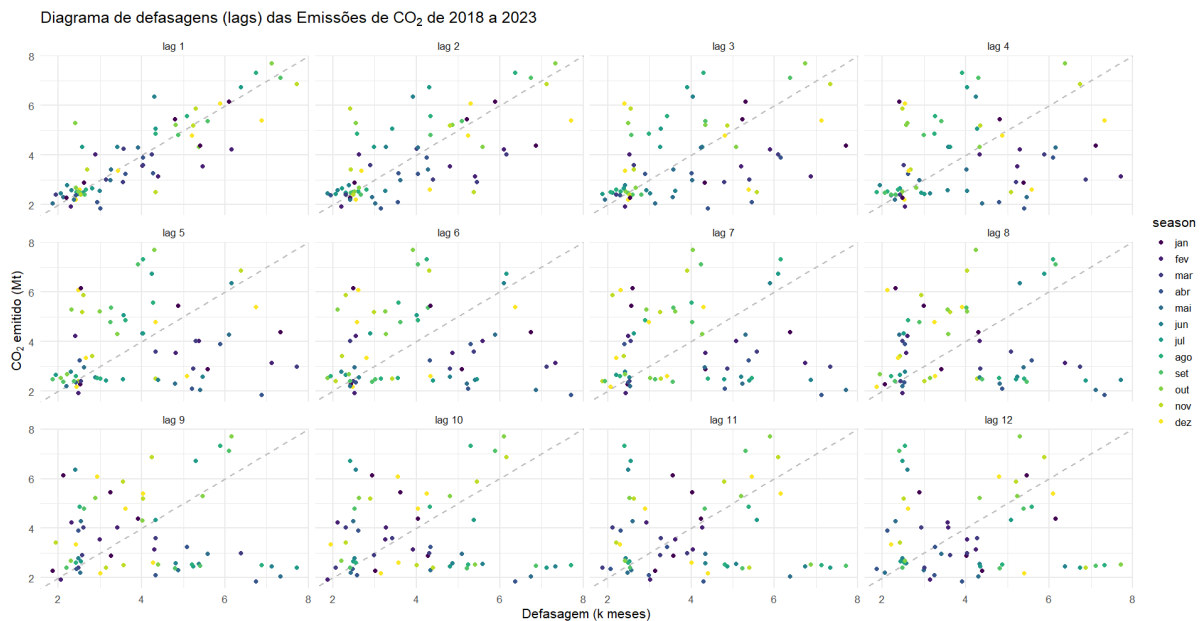
7) Gráficos para as defasagens (lags) de 2018 em diante:

```
library(lubridate)
library(feasts)
library(ggplot2)
```

```
recent_emissions <- dataset_st_treino_2008_2023 |>
  dplyr::filter(year(mes) >= 2018)
```

```
recent_emissions |>
  gg_lag(co2_mt, lags = 1:12, geom = "point") +
  labs(
    x = "Defasagem (k meses)",
    y = expression("CO"[2] * " emitido (Mt)"),
    title = expression("Diagrama de defasagens (lags) das Emissões de CO"[2] * " de 2018 a 2023")
  )
```

```
)) +  
theme_minimal(base_size = 14)
```



8) Autocorrelação - Tendência e sazonalidade em gráficos ACF e PACF:

```
library(fable)  
library(feasts)  
library(ggplot2)  
library(patchwork)
```

```
# ACF
```

```
p_acf <- dataset_st_treino_2008_2023 |>  
  ACF(co2_mt, lag_max = 36) |>  
  autoplot() +  
  labs(  
    title = expression("Autocorrelação (ACF) das Emissões de CO"[2]),  
    x = "Defasagem (meses)",  
    y = "ACF"  
  ) +  
  theme_minimal(base_size = 14)
```

```
# PACF
```

```
p_pacf <- dataset_st_treino_2008_2023 |>  
  PACF(co2_mt, lag_max = 36) |>  
  autoplot() +  
  labs(  
    title = expression("Autocorrelação Parcial (PACF) das Emissões de CO"[2]),  
    x = "Defasagem (meses)",
```

```

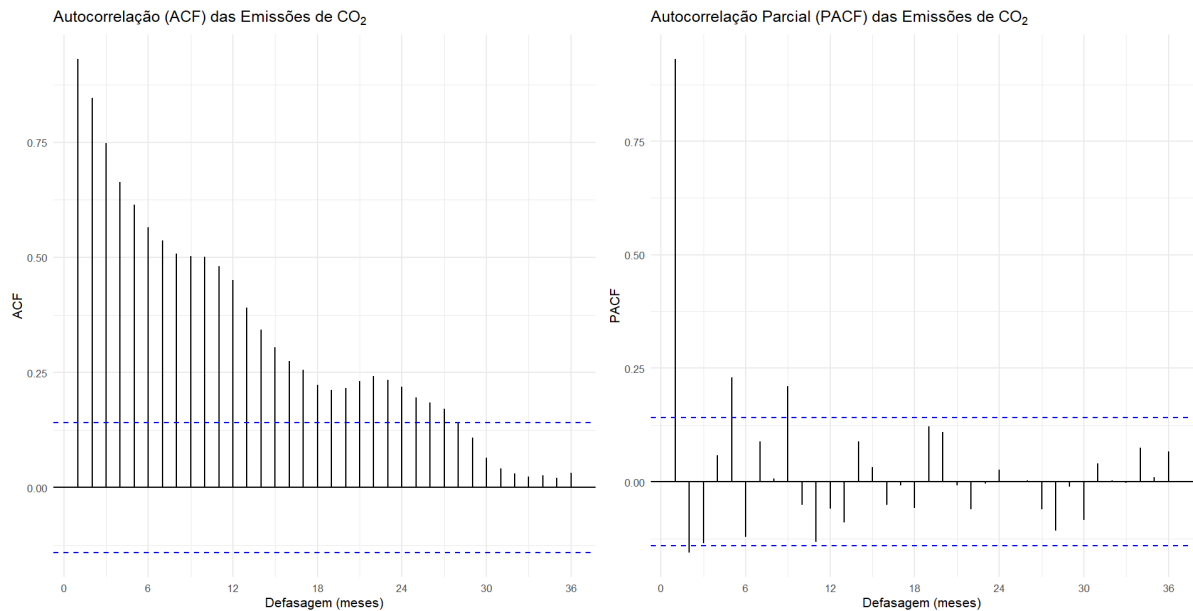
y = "PACF"
) +
theme_minimal(base_size = 14)

```

```

# Mostrar lado a lado com patchwork
p_acf | p_pacf

```



9) STL da série original:

```

library(fabletools)
library(feasts)
library(dplyr)
library(ggplot2)

```

```

# STL na SÉRIE ORIGINAL (sem Box-Cox)

```

```

dataset_st_treino_2008_2023 |>

```

```

  model(

```

```

    STL(co2_mt ~ trend(window = 12) +

```

```

        season(window = 12),

```

```

        robust = TRUE)

```

```

  ) |>

```

```

  components() |>

```

```

  autoplot() +

```

```

  labs(

```

```

    title = expression("Decomposição STL da série original de CO"[2] * " (sem
transformação)",

```

```

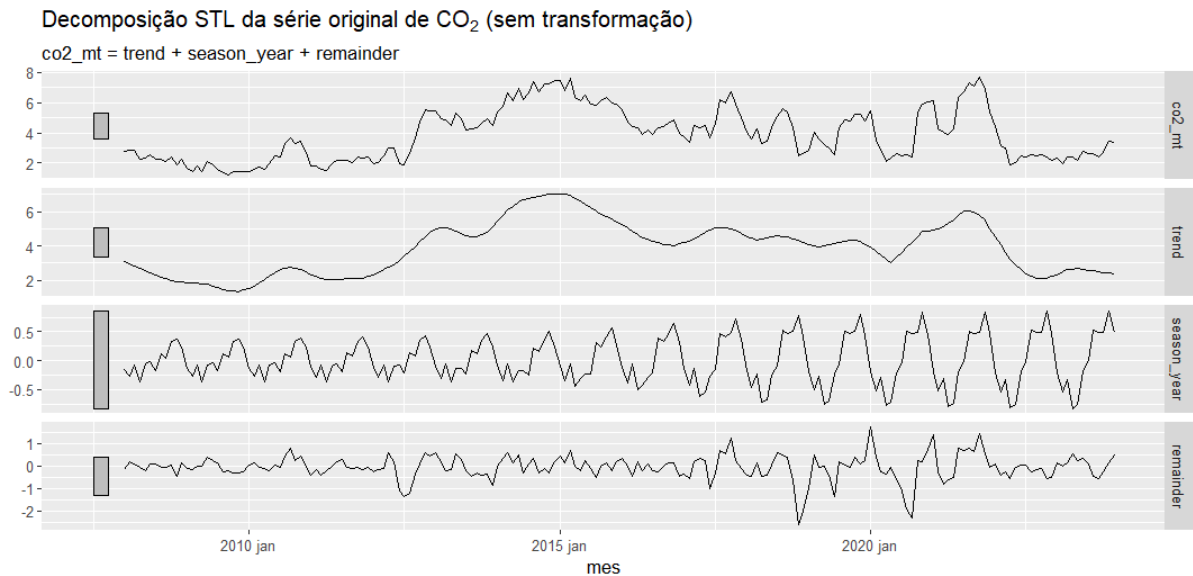
    y = ""

```

```

  ))

```

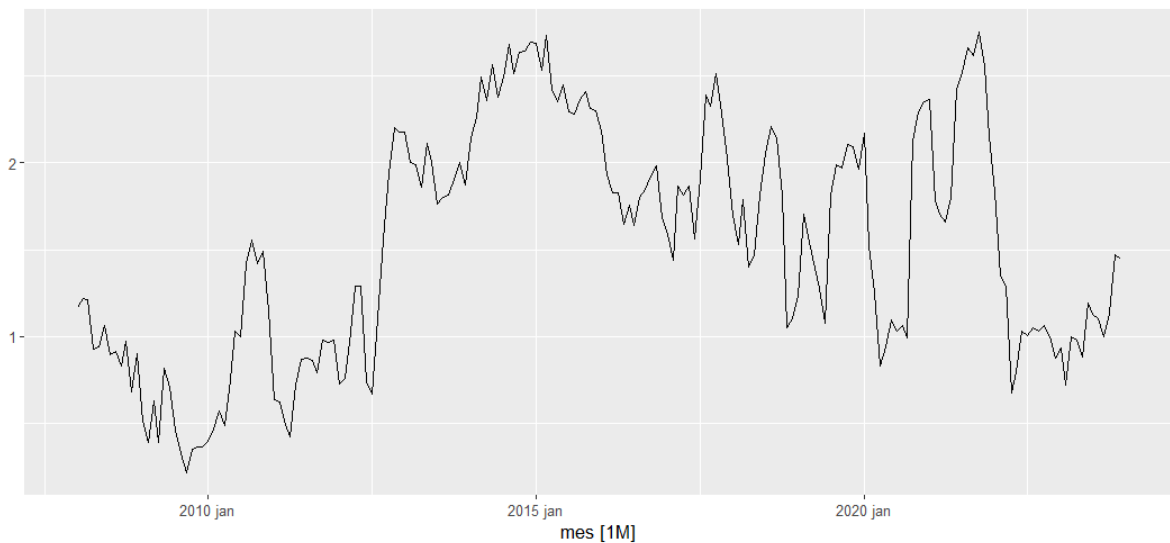


10) Transformação box-cox e ajustes:

```
library(fabletools)
library(feasts)
library(latex2exp)
library(ggplot2)

lambda <- dataset_st_treino_2008_2023 |>
  features(co2_mt, features = guerrero) |>
  pull(lambda_guerrero)
dataset_st_treino_2008_2023 |>
  autoplot(box_cox(co2_mt, lambda)) +
  labs(y = "",
       title = latex2exp::TeX(paste0(
         "Emissões de CO$_2$ transformadas com $\lambda$ = ",
         round(lambda,2))))
```

Emissões de CO₂ transformadas com $\lambda = 0.28$



```
library(dplyr)
library(tidyr)
library(fabletools)
library(feasts)
library(ggplot2)
```

1) Estima λ (Guerrero)

```
lambda <- dataset_st_treino_2008_2023 |>
  features(co2_mt, features = guerrero) |>
  pull(lambda_guerrero)
```

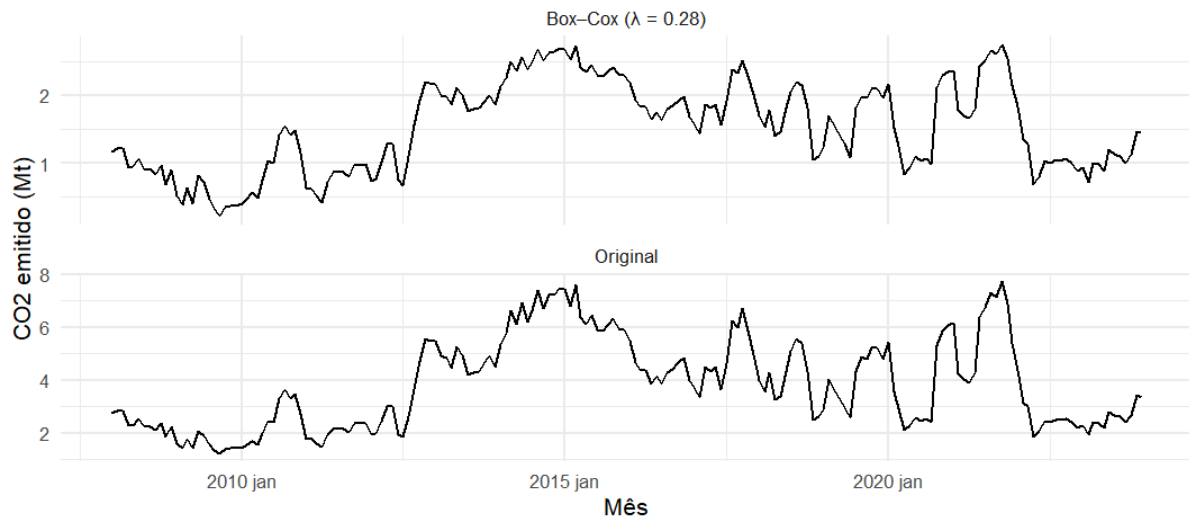
2) Cria série transformada e organiza para facetas

```
plot_df <- dataset_st_treino_2008_2023 |>
  mutate(co2_bc = box_cox(co2_mt, lambda)) |>
  pivot_longer(c(co2_mt, co2_bc),
    names_to = "serie", values_to = "valor") |>
  mutate(serie = dplyr::recode(
    serie,
    co2_mt = "Original",
    co2_bc = paste0("Box-Cox ( $\lambda =$ ", round(lambda, 2), ")")
  ))
```

3) Gráfico comparativo (painéis verticalizados)

```
ggplot(plot_df, aes(x = mes, y = valor)) +
  geom_line() +
  facet_wrap(~ serie, ncol = 1, scales = "free_y") +
  labs(
    x = "Mês",
    y = "CO2 emitido (Mt)",
    title = expression("Emissões de CO"[2] * ": antes vs. depois da transformação Box-Cox")
  ) +
  theme_minimal(base_size = 14)
```

Emissões de CO₂: antes vs. depois da transformação Box–Cox



11) STL da transformada:

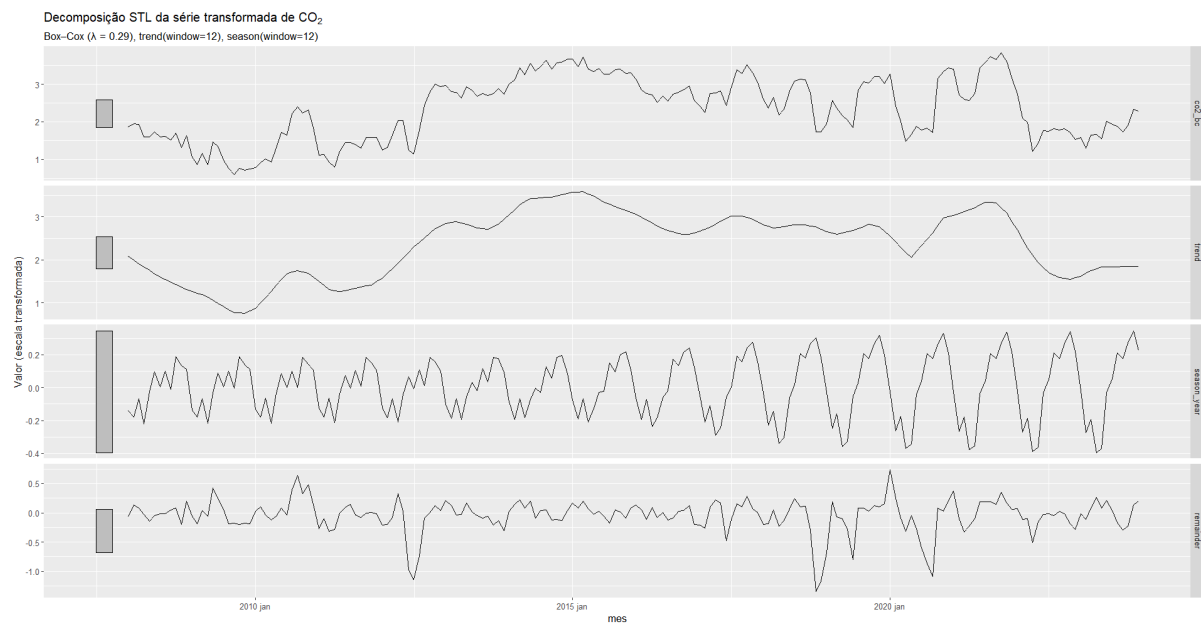
```
library(dplyr)
library(tsibble)
library(fable)
library(fabletools)
library(feasts)
library(ggplot2)
```

```
# 1) Criar a coluna transformada (co2_bc) no tsibble de treino
dataset_train_bc <- dataset_st_treino_2008_2023 |>
  mutate(co2_bc = box_cox(co2_mt, lambda))
```

```
# 2) Ajustar STL na série transformada (co2_bc)
stl_bc_mod <- dataset_train_bc |>
  model(stl = STL(co2_bc ~ trend(window = 12) + season(window = 12), robust = TRUE))
```

```
# 3) Extrair componentes
stl_bc_comp <- stl_bc_mod |> components()
```

```
# 4) Plot dos componentes na escala transformada
stl_bc_comp |>
  autoplot() +
  labs(
    title = expression("Decomposição STL da série transformada de CO"[2]),
    subtitle = paste0("Box-Cox ( $\lambda =$ ", round(lambda, 2), "), trend(window=12),
season(window=12)"),
    y = "Valor (escala transformada)"
  )
```



12) Ajuste do modelo SARIMA automático:

```
library(fable)
library(fabletools)
library(feasts)
library(tsibble)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(lubridate)
```

```
lambda_val <- lambda
```

```
dataset_original <- dataset_st_treino_2008_2023 |> as_tsibble(index = mes)
```

```
has_test <- exists("dataset_st_teste_2024_25")
```

```
if (has_test) {
  dataset_test <- dataset_st_teste_2024_25 |> as_tsibble(index = mes)
}
```

```
# ---- AJUSTE DO MODELO (Box-Cox dentro do model) ----
```

```
fit_sarima <- dataset_original |>
  model(ARIMA(box_cox(co2_mt, lambda_val)))
```

```
# relatório do modelo (parâmetros, AIC, etc.)
```

```
report(fit_sarima)
```

```
> report(fit_sarima)
Series: co2_mt
Model: ARIMA(0,1,1)(0,0,1)[12]
Transformation: box_cox(co2_mt, lambda_val)

Coefficients:
      ma1      sma1
      0.0980  0.1689
s.e.    0.0672  0.0688

sigma^2 estimated as 0.0569: log likelihood=3.56
AIC=-1.12 AICc=-1 BIC=8.63
```

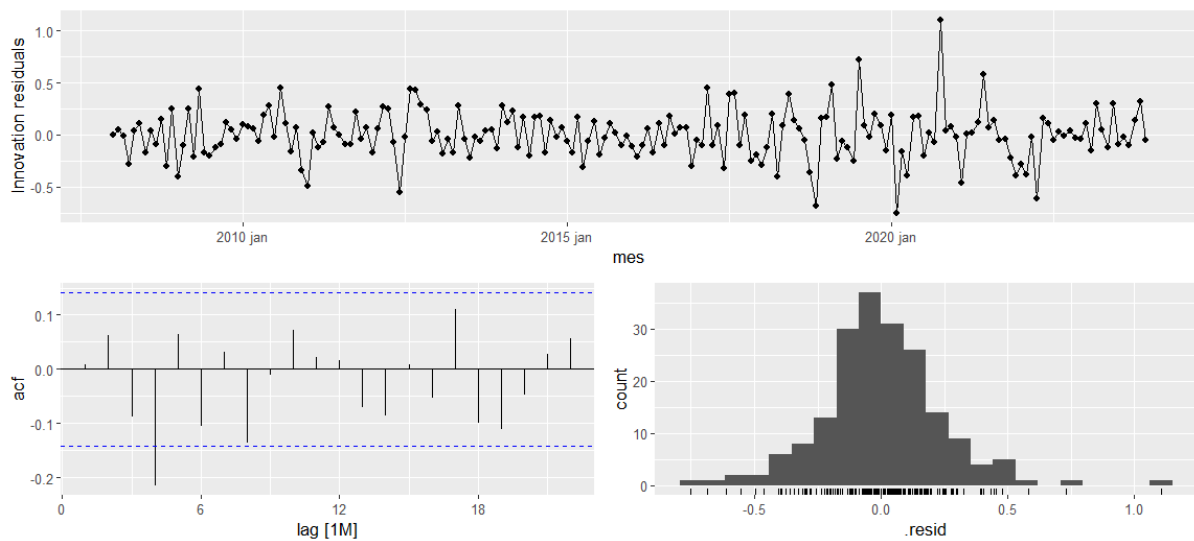
13) Diagnóstico dos Resíduos e Ljung Box:

resíduos (escala transformada — diagnóstico válido)

```
fit_sarima |> gg_tsresiduals()
```

Ljung-Box nos resíduos (lag 24)

```
fit_sarima |>
  augment() |>
  features(.innov, ljung_box, lag = 24)
```



```
+ features(.innov, ljung_box, lag = 24)
# A tibble: 1 x 3
  .model lb_stat lb_pvalue
  <chr>   <dbl>   <dbl>
1 SARIMA 33.6    0.0924
```

---- PREVISÃO (fable irá retransformar automaticamente para a escala original) ----

```
h <- if (has_test) nrow(dataset_test) else 22
```

```
fc_sarima <- fit_sarima |> forecast(h = h)
```

preview das previsões (ver colunas .mean, .lower/.upper etc.)

```
print(as_tibble(fc_sarima) %>% slice_head(n = 6))
```

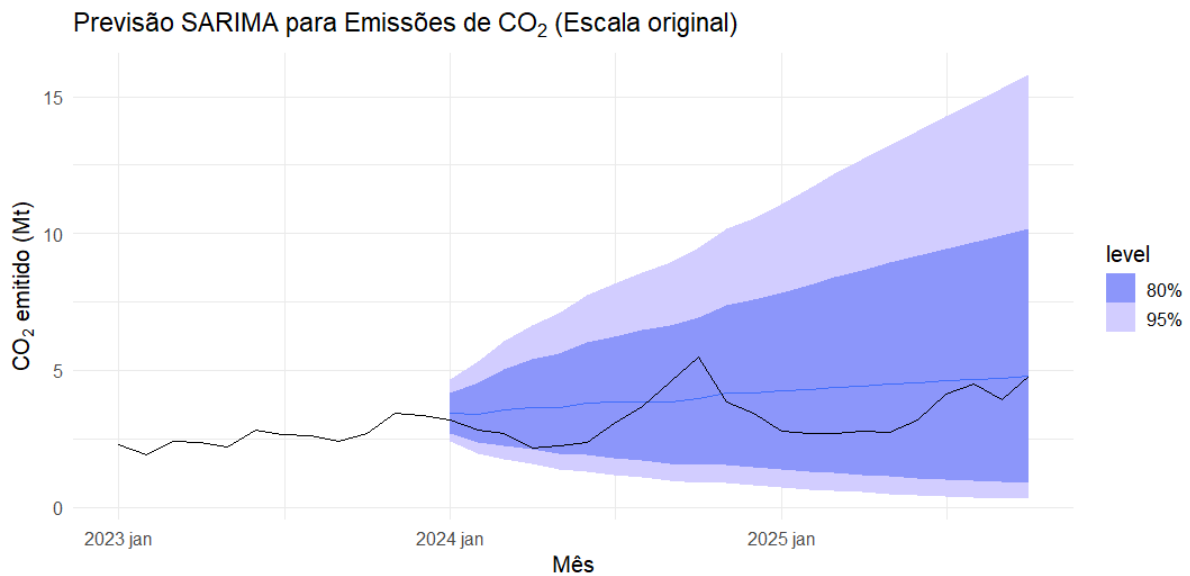
```
> print(as_tibble(fc_sarima) %>% slice_head(n = 6))
# A tibble: 6 x 4
  .model      mes      co2_mt .mean
  <chr>      <mt>      <dist> <dbl>
1 SARIMA 2024 jan t(N(1.5, 0.057)) 3.43
2 SARIMA 2024 fev t(N(1.4, 0.13)) 3.41
3 SARIMA 2024 mar t(N(1.5, 0.19)) 3.57
4 SARIMA 2024 abr t(N(1.5, 0.26)) 3.65
5 SARIMA 2024 mai t(N(1.5, 0.33)) 3.65
6 SARIMA 2024 jun t(N(1.5, 0.4)) 3.81
```

```
# ---- PLOT: previsões na escala original sobre os dados originais ----
# usa dataset_original (treino) ou dataset_full (treino + teste) para visualização
if (has_test) {
  dataset_full <- bind_rows(dataset_original, dataset_test) |> as_tsibble(index = mes)
} else {
  dataset_full <- dataset_original
}

```

```
fc_sarima |> autoplot(dataset_full |> filter_index("2023 Jan" ~ .)) +
  labs(
    title = expression("Previsão SARIMA para Emissões de CO"[2] * " (Escala original)"),
    y = expression("CO"[2] * " emitido (Mt)"),
    x = "Mês"
  ) +
  theme_minimal(base_size = 13)

```



14) Ajuste do modelo ARIMA travado:

```
library(forecast)
library(lubridate)
library(dplyr)
library(ggplot2)

lambda_val <- if (exists("lambda")) lambda else 0.28

# dataset_st_treino_2008_2023 -> treino (co2_mt)
# dataset_st_teste_2024_25 -> teste (co2_mt)

# 1) transformar treino para objeto 'ts' (freq = 12)
start_year <- year(min(dataset_st_treino_2008_2023$mes))
start_month <- month(min(dataset_st_treino_2008_2023$mes))
treino_ts <- ts(dataset_st_treino_2008_2023$co2_mt, start = c(start_year, start_month),
frequency = 12)

# 2) transformar teste para ts (para plot/accuracy)
if (exists("dataset_st_teste_2024_25")) {
  test_start_year <- year(min(dataset_st_teste_2024_25$mes))
  test_start_month <- month(min(dataset_st_teste_2024_25$mes))
  test_ts <- ts(dataset_st_teste_2024_25$co2_mt, start = c(test_start_year,
test_start_month), frequency = 12)
  h <- length(test_ts)
} else {
  test_ts <- NULL
  h <- 22
}

set.seed(123) # reprodutibilidade (buscas stepwise podem usar aleatoriedade em alguns
backends)

modelo_auto_1 <- forecast::auto.arima(
  y = treino_ts,
  start.p = 0, start.q = 0,
  max.p = 3, max.q = 3,
  start.P = 0, max.P = 2,
  seasonal = TRUE,
  D = 1, # força diferenciação sazonal como em seu python
  d = NA, # deixar auto.arima escolher d (como d=None no pmdarima)
  test = "adf", # usar ADF para escolher d, como no seu exemplo python
  stepwise = TRUE,
  trace = TRUE,
  lambda = lambda_val # aplica Box-Cox internamente; forecast() retransformará
automaticamente
)
```

```

# modelo escolhido (equivalente a model.summary() do pmdarima)
cat("\n--- auto.arima concluído ---\n")
print(summary(modelo_auto_1))

# ----- PREVISÃO (forecast) -----
fc <- forecast(modelo_auto_1, h = h, biasadj = TRUE) # biasadj ajuda ao retransformar

# mostra as primeiras previsões
print(head(fc))

# ----- PLOT: previsões + observados do teste -----
# plot base rápido
plot(fc, main = "Forecast (auto.arima) — retransformado para escala original", xlab = "Ano",
     ylab = "CO2 (Mt)")
if (!is.null(test_ts)) {
  lines(test_ts, col = "red", lwd = 1.2)
  legend("topleft", legend = c("forecast mean", "observed (test)"), col = c("blue", "red"), lty =
c(1,1))
}

> print(head(fc))
$method
[1] "ARIMA(2,0,0)(0,1,1)[12]"

$model
Series: treino_ts
ARIMA(2,0,0)(0,1,1)[12]
Box Cox transformation: lambda= 0.2785684

Coefficients:
          ar1          ar2          sma1
      1.1105   -0.1818   -0.8407
s.e.  0.0728    0.0733    0.0718

sigma^2 = 0.05389: log likelihood = 0.85
AIC=6.3   AICc=6.53   BIC=19.07

$level
[1] 80 95

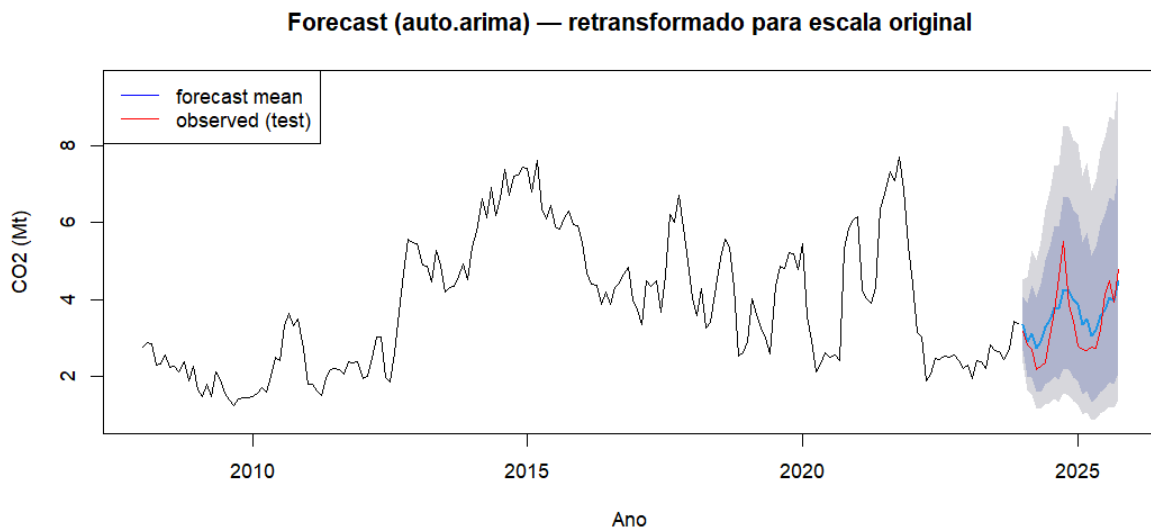
```

```
> print(summary(modelo_auto_1))
Series: treino_ts
ARIMA(2,0,0)(0,1,1)[12]
Box Cox transformation: lambda= 0.2785684

Coefficients:
          ar1          ar2          sma1
      1.1105   -0.1818   -0.8407
s.e.  0.0728    0.0733    0.0718

sigma^2 = 0.05389:  log likelihood = 0.85
AIC=6.3   AICc=6.53   BIC=19.07

Training set error measures:
              ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE
Training set 0.05096175 0.5911895 0.409598 -0.4551357 11.22122 0.2941342
              ACF1
Training set 0.005018579
```



15) Diagnóstico dos Resíduos e Ljung Box:

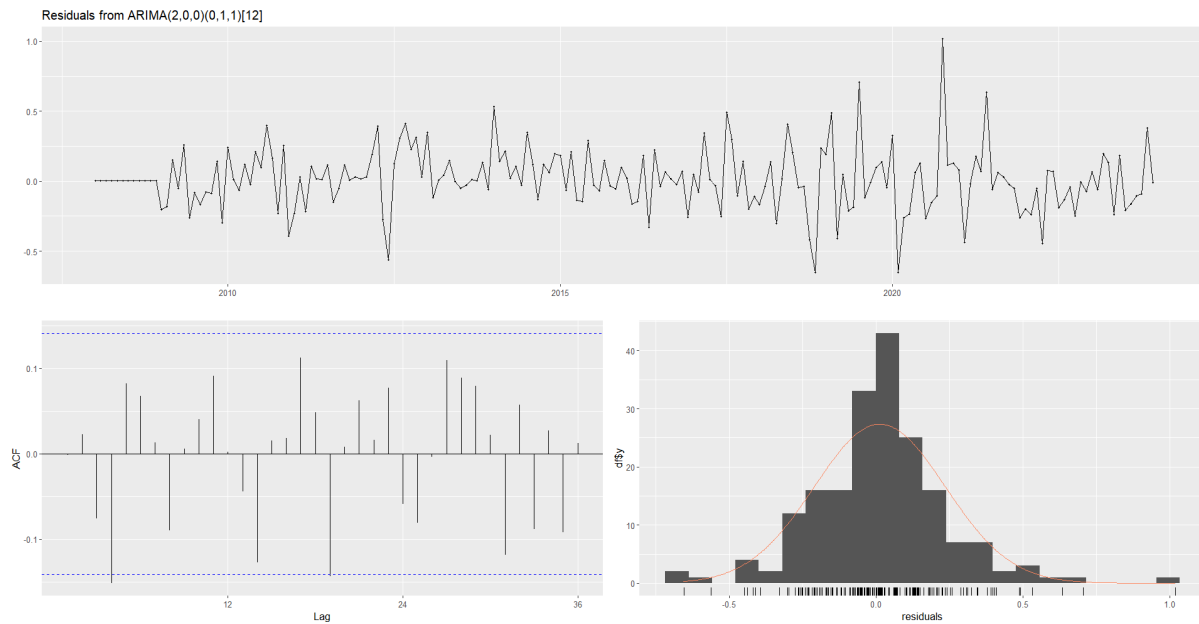
3.1) Gráficos de resíduos + Ljung-Box automático

```
forecast::checkresiduals(modelo_auto_1, lag = 24)
```

```
res <- residuals(modelo_auto_1)
```

```
k <- length(coef(modelo_auto_1)) # nº de parâmetros estimados
```

```
Box.test(res,
  lag = 24,
  type = "Ljung-Box",
  fitdf = k)
```



16) Ajuste do modelo ETS automático:

```
library(fable)
library(fabletools)
library(feasts)
library(tsibble)
library(dplyr)
library(ggplot2)
```

```
treino <- dataset_st_treino_2008_2023 |> as_tsibble(index = mes)
```

2) ajustar o melhor ETS automaticamente (seleção interna)

```
fit_ets <- treino |>
  model(ETS = ETS(co2_mt))
```

3) relatório do modelo (forma escolhida: erro/trend/season)

```
report(fit_ets)
```

```
> report(fit_ets)
Series: co2_mt
Model: ETS(M,N,M)
Smoothing parameters:
  alpha = 0.9998595
  gamma = 0.0001362892

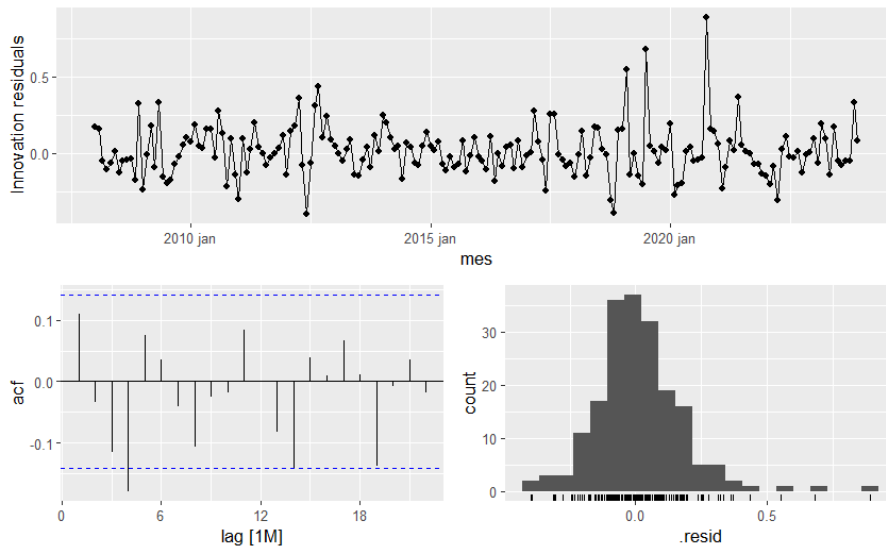
Initial states:
  l[0]    s[0]    s[-1]    s[-2]    s[-3]    s[-4]    s[-5]    s[-6]    s[-7]    s[-8]    s[-9]
2.356911 1.041572 1.149926 1.201478 1.028158 1.055936 0.985102 0.9798608 0.9056847 0.8375277 0.9317142
  s[-10]  s[-11]
0.8914993 0.9915412

sigma^2: 0.0307

      AIC      AICC      BIC
831.0673 833.7946 879.9298
```

17) Diagnóstico de resíduos e teste de Ljung-Box nos resíduos:

```
fit_ets |> gg_tsresiduals()
```



```
fit_ets |>
  augment() |>
  features(.innov, ljung_box, lag = 24)
```

```
+   augment() |>
+   features(.innov, ljung_box, lag = 24)
# A tibble: 1 × 3
  .model lb_stat lb_pvalue
  <chr>   <dbl>   <dbl>
1 ETS     30.5     0.168
```

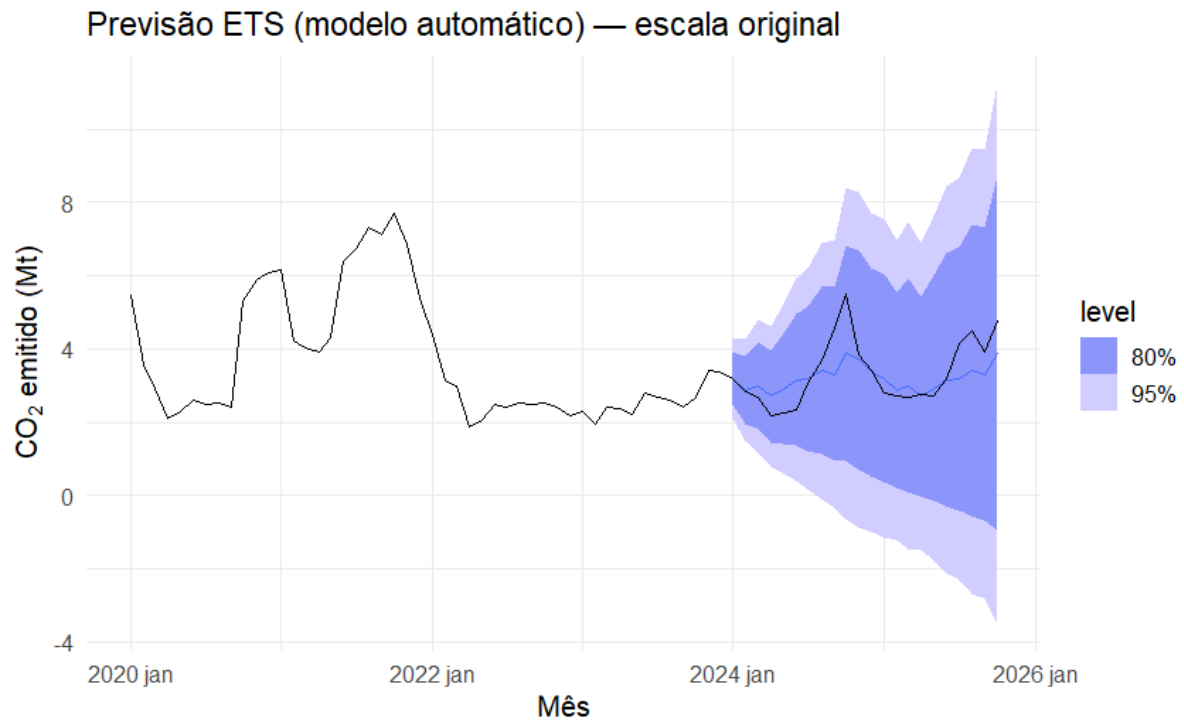
Previsão do modelo ETS

```
h <- if (exists("dataset_st_teste_2024_25")) nrow(dataset_st_teste_2024_25) else 22
fc_ets <- fit_ets |> forecast(h = h)
```

```
# 7) visualizar previsões sobre os dados (treino + teste se existir)
dataset_full <- if (exists("dataset_st_teste_2024_25")) {
  bind_rows(treino, dataset_st_teste_2024_25 |> as_tsibble(index = mes))
} else {
  treino
}
```

```
fc_ets |>
  autoplot(dataset_full |> filter_index("2020 Jan" ~ .)) +
  labs(
    title = "Previsão ETS (modelo automático) — escala original",
    y = expression("CO"[2] * " emitido (Mt)"),
    x = "Mês"
  ) +
```

```
theme_minimal(base_size = 13)
```



18) Ajuste do modelo NAIVE:

```
library(fable)
library(tsibble)

fit_naive <- dataset_st_treino_2008_2023 %>%
  model(NAIVE = NAIVE(box_cox(co2_mt, lambda)))

report(fit_naive)

fc_naive <- fit_naive %>% forecast(h = 22)

head(as_tibble(fc_naive), 6)
```

```

> report(fit_naive)
Series: co2_mt
Model: NAIVE
Transformation: box_cox(co2_mt, lambda)

sigma^2: 0.0591
>
> fc_naive <- fit_naive %>% forecast(h = 22)
>
> head(as_tibble(fc_naive), 6)
# A tibble: 6 x 4
  .model    mes      co2_mt .mean
  <chr>    <mth>    <dist> <dbl>
1 NAIVE  2024 jan  t(N(1.4, 0.059)) 3.40
2 NAIVE  2024 fev  t(N(1.4, 0.12)) 3.43
3 NAIVE  2024 mar  t(N(1.4, 0.18)) 3.47
4 NAIVE  2024 abr  t(N(1.4, 0.24)) 3.51
5 NAIVE  2024 mai  t(N(1.4, 0.29)) 3.54
6 NAIVE  2024 jun  t(N(1.4, 0.35)) 3.58

```

19) Ajuste do modelo NAIVE SAZONAL:

```

library(fable)
library(tsibble)

fit_snaive <- dataset_st_treino_2008_2023 %>%
  model(SNAIVE = SNAIVE(box_cox(co2_mt, lambda)))

report(fit_snaive)

fc_snaive <- fit_snaive %>% forecast(h = 22)

head(as_tibble(fc_snaive), 6)

```

```

> report(fit_snaive)
Series: co2_mt
Model: SNAIVE
Transformation: box_cox(co2_mt, lambda)

sigma^2: 0.4499
>
> fc_snaive <- fit_snaive %>% forecast(h = 22)
>
> head(as_tibble(fc_snaive), 6)
# A tibble: 6 x 4
  .model    mes      co2_mt .mean
  <chr>    <mth>    <dist> <dbl>
1 SNAIVE  2024 jan  t(N(0.93, 0.45)) 2.53
2 SNAIVE  2024 fev  t(N(0.72, 0.45)) 2.15
3 SNAIVE  2024 mar  t(N(1, 0.45)) 2.65
4 SNAIVE  2024 abr  t(N(0.98, 0.45)) 2.61
5 SNAIVE  2024 mai  t(N(0.88, 0.45)) 2.43
6 SNAIVE  2024 jun  t(N(1.2, 0.45)) 3.06

```

20) Ajuste do modelo MEAN:

```

library(fable)

```

```
library(tsibble)

fit_mean <- dataset_st_treino_2008_2023 %>%
  model(MEAN = MEAN(box_cox(co2_mt, lambda)))

report(fit_mean)

fc_mean <- fit_mean %>% forecast(h = 22)

head(as_tibble(fc_mean), 6)
```

```
<
> report(fit_mean)
Series: co2_mt
Model: MEAN
Transformation: box_cox(co2_mt, lambda)

Mean: 1.5232
sigma^2: 0.4461
>
> fc_mean <- fit_mean %>% forecast(h = 22)
>
> head(as_tibble(fc_mean), 6)
# A tibble: 6 x 4
  .model      mes      co2_mt .mean
  <chr>      <mth>      <dist> <dbl>
1 MEAN    2024 jan t(N(1.5, 0.45)) 3.84
2 MEAN    2024 fev t(N(1.5, 0.45)) 3.84
3 MEAN    2024 mar t(N(1.5, 0.45)) 3.84
4 MEAN    2024 abr t(N(1.5, 0.45)) 3.84
5 MEAN    2024 mai t(N(1.5, 0.45)) 3.84
6 MEAN    2024 jun t(N(1.5, 0.45)) 3.84
```

21) Geração do gráfico gráfico dos 3 modelos (NAIVE, NAIVE SAZONAL e MEAN):

```
library(fable)
library(fabletools)
library(tsibble)
library(ggplot2)
library(dplyr)
library(lubridate)

dataset_train <- dataset_st_treino_2008_2023 %>%
  mutate(mes = yearmonth(mes)) %>%
  as_tsibble(index = mes)

dataset_test <- dataset_st_teste_2024_25 %>%
  mutate(mes = yearmonth(mes)) %>%
  as_tsibble(index = mes)

dataset_full <- bind_rows(dataset_train, dataset_test) %>%
  as_tsibble(index = mes)

# ==== 2) Ajustar os 3 modelos transformados ====
```

```

fit_naive <- dataset_train %>%
  model(NAIVE = NAIVE(box_cox(co2_mt, lambda)))

fit_snaive <- dataset_train %>%
  model(SNAIVE = SNAIVE(box_cox(co2_mt, lambda)))

fit_mean <- dataset_train %>%
  model(MEAN = MEAN(box_cox(co2_mt, lambda)))

# ==== 3) Fazer previsões retransformadas para a escala original ====

h <- nrow(dataset_test)

fc_naive <- fit_naive %>% forecast(new_data = dataset_test)
fc_snaive <- fit_snaive %>% forecast(new_data = dataset_test)
fc_mean <- fit_mean %>% forecast(new_data = dataset_test)

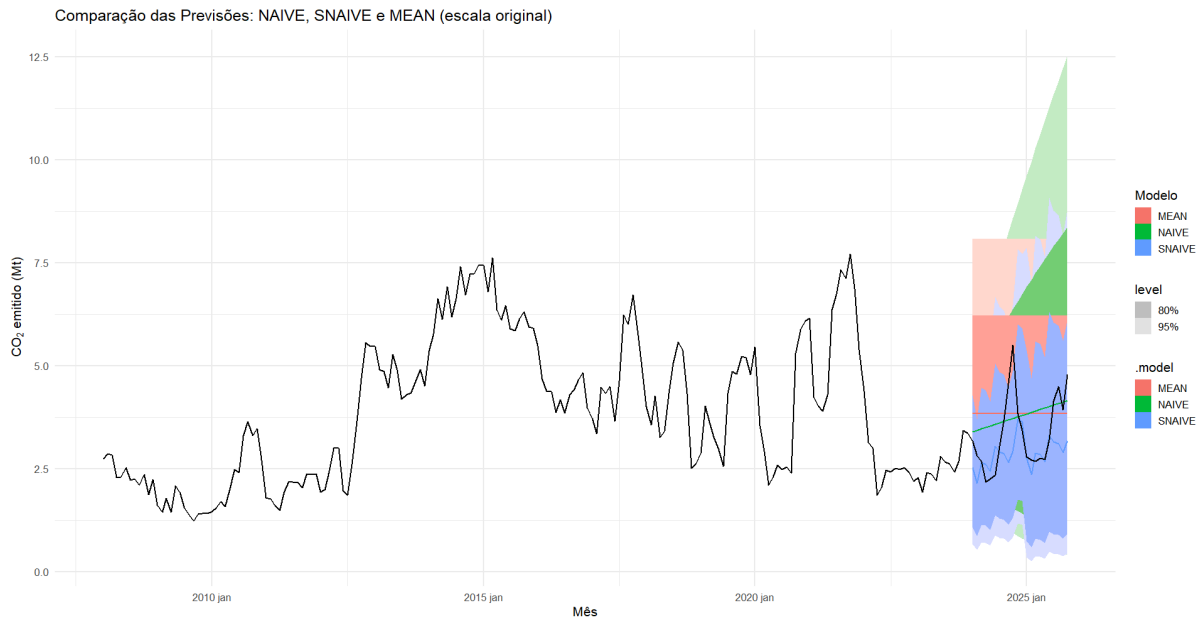
# ==== 4) Unir previsões em um único objeto ====

fc_all <- bind_rows(
  fc_naive %>% mutate(modelo = "NAIVE"),
  fc_snaive %>% mutate(modelo = "SNAIVE"),
  fc_mean %>% mutate(modelo = "MEAN")
)

# ==== 5) Plot: valores reais + previsões ====

fc_all %>%
  autoplot(dataset_full) +
  labs(
    title = "Comparação das Previsões: NAIVE, SNAIVE e MEAN (escala original)",
    y = expression("CO"[2] * " emitido (Mt)"),
    x = "Mês",
    colour = "Modelo"
  ) +
  theme_minimal(base_size = 14)

```



22) Cálculo das Métricas:

```
library(dplyr)
library(tsibble)
library(fable)
library(fabletools)
```

```
# garantir índices coerentes (yearmonth)
dataset_train <- dataset_st_treino_2008_2023 %>% mutate(mes = yearmonth(mes)) %>%
as_tsibble(index = mes)
dataset_test <- dataset_st_teste_2024_25 %>% mutate(mes = yearmonth(mes)) %>%
as_tsibble(index = mes)
```

```
# ajustar todos os modelos em um só passo (Box–Cox dentro dos modelos)
```

```
all_models <- dataset_train %>%
  model(
    ARIMA_auto = ARIMA(box_cox(co2_mt, lambda)),
    ARIMA_trav = ARIMA(box_cox(co2_mt, lambda) ~ pdq(2,0,0) + PDQ(0,1,1)),
    ETS_model = ETS(box_cox(co2_mt, lambda)),
    NAIVE = NAIVE(box_cox(co2_mt, lambda)),
    SNAIVE = SNAIVE(box_cox(co2_mt, lambda)),
    MEAN = MEAN(box_cox(co2_mt, lambda)),
  )
```

```
# previsões alinhadas com o conjunto de teste
```

```
fc_all <- all_models %>% forecast(new_data = dataset_test)
```

```
# acurácia (compara previsões com observados do dataset_test)
```

```
metrics <- accuracy(fc_all, dataset_test)
```

```
# mostrar métricas ordenadas por RMSE
metrics %>% as_tibble() %>% arrange(RMSE) %>% print()
```

```
> metrics %>% as_tibble() %>% arrange(RMSE) %>% print()
# A tibble: 6 x 10
  .model      .type      ME  RMSE  MAE  MPE  MAPE  MASE  RMSSE  ACF1
  <chr>      <chr>    <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
1 ARIMA_trav Test   -0.215 0.596 0.509 -10.3  16.4   NaN   NaN  0.528
2 NAIVE      Test   -0.426 0.918 0.781 -19.3  26.4   NaN   NaN  0.668
3 ETS_model  Test   -0.428 0.919 0.781 -19.3  26.5   NaN   NaN  0.667
4 SNAIVE     Test    0.474 0.937 0.650  9.84  17.0   NaN   NaN  0.531
5 MEAN       Test   -0.491 1.01  0.888 -22.2  30.3   NaN   NaN  0.688
6 ARIMA_auto Test   -0.764 1.12  0.970 -29.5  33.4   NaN   NaN  0.667
```

23) Gráfico de previsão de todos os modelos:

```
library(dplyr); library(tsibble); library(ggplot2); library(fabletools)
```

```
# 1) garantir índices coerentes
```

```
dataset_train <- dataset_train %>% mutate(mes = yearmonth(mes)) %>% as_tsibble(index = mes)
```

```
dataset_test <- dataset_test %>% mutate(mes = yearmonth(mes)) %>% as_tsibble(index = mes)
```

```
# 2) criar dataset_full (treino + teste) e escolher janela para plot
```

```
dataset_full <- bind_rows(dataset_train, dataset_test) %>% as_tsibble(index = mes)
```

```
start_plot <- "2023 Jan" # ajustar conforme quizer
```

```
# 3) Plot único: observados + previsões de todos os modelos (fc_all)
```

```
# autoplot pinta cada modelo (col = .model) e mostra intervalos
```

```
fc_all %>%
```

```
autoplot(dataset_full %>% filter_index(start_plot ~ .)) +
```

```
labs(
```

```
  title = "Comparação: Observado vs Previsões (todos os modelos)",
```

```
  subtitle = "Linhas = previsão pontual (.mean). Bandas = intervalos de previsão",
```

```
  y = expression("CO"[2] * " emitido (Mt)"),
```

```
  x = "Mês",
```

```
  colour = "Modelo"
```

```
) +
```

```
theme_minimal(base_size = 13)
```

Comparação: Observado vs Previsões (todos os modelos)
Linhas = previsão pontual (.mean). Bandas = intervalos de previsão

