Especialização em *Data Science* e Estatística Aplicada

Módulo IV - Análise de Séries Temporais

Prof. Dr. Eder Angelo Milani

Goiânia, 2025

IME
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
FEN
FACULDADE DE ENFERMAGEM
UFG
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

Conteúdo Programático

- Principais conceitos de séries temporais. (Aula 1)
- Funções de autocovariância e de autocorrelação. (Aula 1)
- Definição e estimação da tendência e da sazonalidade. (Aulas 2 e 3)
- Métodos de suavização. (Aulas 3 e 4)
- Modelagem Box-Jenkins: modelos AR, MA, ARMA, ARIMA e SARIMA. (Aulas 4, 5 e 6)
- Análise de séries temporais interrompidas.

Conteúdo - Aula 6

1. Análise de séries temporais interrompidas
   - Introdução
   - Avaliando intervenções
   - Aplicação

Introdução

Segundo Schaffer *et al.* (2021), delineamentos de estudos do tipo antes e depois são frequentemente utilizados para quantificar o impacto de intervenções de saúde em nível populacional, sobre os processos de cuidado e os desfechos de saúde em nível populacional. Eles se baseiam no “experimento natural” resultante da implementação de intervenções, dividindo o tempo em períodos “pré-intervenção” e “pós-intervenção”.

No entanto, estudos observacionais que se baseiam em um pequeno número de medições pré e pós-intervenção são propensos a vieses, pois não levam em conta tendências subjacentes preexistentes de curto e longo prazo (Soumerai e Majumdar, 2015). Em contraste, a análise de séries temporais interrompidas (do inglês *interrupted time series* - ITS) - também chamada de “análise de intervenção” - é mais robusta, pois controla essas questões ao rastrear longitudinalmente o resultado antes e depois de uma intervenção.

Introdução

A análise de intervenção fornece uma estrutura para avaliar o efeito de uma intervenção em uma série temporal em estudo. Supõe-se que a intervenção afeta o processo alterando a função média ou a tendência de uma série temporal. As intervenções podem ser naturais ou provocadas pelo homem.

Por exemplo, alguns níveis populacionais de animais caíram para um nível muito baixo em um determinado ano devido a condições climáticas extremas naquele ano. Pode-se então esperar que o nível populacional anual pós-intervenção seja diferente daquele no período pré-intervenção.

Introdução

Outro exemplo é o aumento do limite de velocidade de 105 km/h para 112 km/h em uma rodovia interestadual. Isso pode tornar a condução na rodovia mais perigosa. Por outro lado, os motoristas podem permanecer na rodovia por um período menor devido à velocidade mais alta, de modo que o efeito líquido da alteração do limite de velocidade não é claro.

O efeito do aumento do limite de velocidade pode ser estudado analisando a função média de alguns dados de séries temporais de acidentes; por exemplo, o número trimestral de acidentes de carro fatais em algum trecho de uma rodovia interestadual.

Introdução

Em resumo, por uma *intervenção* entendemos a ocorrência de algum tipo de evento em dado instante de tempo T, conhecido a *priori*. Tal ocorrência pode manifestar-se por um intervalo de tempo subsequente e que afeta temporariamente, ou permanentemente, a série em estudo. A análise de intervenção tem por objetivo avaliar o impacto de tal evento no comportamento da série.

Avaliando intervenções

O objetivo da análise ITS, quando utilizada para avaliar intervenções, é estimar o impacto da implementação da intervenção sobre um determinado desfecho, ou, em outras palavras, o "efeito da intervenção". Embora haja uma ampla variedade de impactos que podem ser observados, aqui nos concentraremos em três tipos principais: degrau (do inglês *step change*), impulso (do inglês *pulse*) e rampa (do inglês *ramp*). Se usarmos T_0 para representar o momento inicial da intervenção, estes são resumidos como:

Avaliando intervenções

- **degrau**: uma mudança repentina e sustentada em que a série temporal é deslocada para cima ou para baixo em um determinado valor imediatamente após a intervenção. A variável de mudança de nível assume o valor 0 antes do início da intervenção e 1 depois, sendo representada matematicamente por

$$S_t = \begin{cases} 0, & \text{se } t < T_0 \\ 1, & \text{se } t \geq T_0 \end{cases}$$

Avaliando intervenções

- **impulso**: uma mudança repentina e temporária que é observada por um ou mais pontos no tempo imediatamente após a intervenção e depois retorna ao nível inicial. A variável impulso assume o valor 1 na data da intervenção e 0 nos demais casos, sendo dada por

$$P_t = \begin{cases} 0, & \text{se } t \neq T_0 \\ 1, & \text{se } t = T_0 \end{cases}$$

Avaliando intervenções

- **rampa**: uma mudança na inclinação que ocorre imediatamente após a intervenção. A variável rampa assume o valor 0 antes do início da intervenção, vale 1 no instante da intervenção e aumenta em 1 a cada instante após a intervenção, sendo dada por

$$R_t = \begin{cases} 0, & \text{se } t < T_0 \\ t - T_0 + 1, & \text{se } t \geq T_0 \end{cases}$$

Avaliando intervenções

Idealmente, a forma potencial do impacto da intervenção deve ser definida previamente por uma hipótese. A forma depende de vários fatores, incluindo a natureza da intervenção, se é temporária ou contínua, e o resultado específico que está sendo avaliado.

Por exemplo, em Schaffer *et al.* (2015), foi avaliado o impacto da mídia negativa em torno do uso de medicamentos estatinas (são um tipo de medicamento prescrito que ajuda a reduzir os níveis de colesterol LDL - o “colesterol ruim” - no sangue) e descobriram que esse evento temporário resultou tanto em um aumento temporário na descontinuação de estatinas (um “impulso”) quanto em uma diminuição sustentada na dispensação de estatinas (um mudança de “degrau”).

Para algumas intervenções, a mudança é melhor representada por uma combinação de variáveis de impacto; por exemplo, é comum que haja tanto uma mudança gradual quanto uma mudança na inclinação (rampa).

Avaliando intervenções

Se houver vários modelos potenciais, o critério de informação de Akaike (AIC) e/ou o critério de informação Bayesiano (BIC) podem ser usados para selecionar a combinação mais apropriada de variáveis de impacto.

Também é importante considerar se mudanças podem ocorrer antes da implementação da intervenção; por exemplo, quando foi anunciado que haveria maiores restrições à prescrição de *alprazolam* na Austrália, a prescrição desse medicamento começou a declinar em antecipação a essa mudança (Schaffer *et al.*, 2016).

Por fim, em alguns casos, pode-se suspeitar que o impacto seja atrasado em uma ou mais unidades de tempo. Recomendamos pré-especificar um período de tempo razoável no qual se espera que o impacto seja observado com base no conhecimento do conteúdo ou em pesquisas anteriores para evitar associações espúrias.

Funções de transferência

As funções de transferência descrevem a relação entre a intervenção e a série de resultados Y_t. Elas modificam a relação entre as entradas (degrau, impulso e rampa) e a série temporal para modelar relações mais complexas, como mudanças graduais de nível, ou um impulso que decai gradualmente ao longo do tempo, e também podem incorporar efeitos defasados.

A forma geral da função de transferência é $\frac{\omega(B)}{\delta(B)}$, ou

$$Y_t = \mu + \frac{\omega_0 + \omega_1 B + \omega_2 B^2 + \ldots + \omega_h B^h}{1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \ldots - \delta_r B^r} X_t + \epsilon_t,$$

sendo que B é o operador passado.

Funções de transferência

Na função de transferência, ω_0 representa o valor inicial do impacto da intervenção no instante da intervenção (T), δ é a taxa de decaimento, X_t é a variável de intervenção (degrau, impulso ou rampa). Os valores de h e r devem ser especificados pelo pesquisador; h descreve quando o efeito acontece, enquanto r representa o padrão do decaimento.

Estatísticas de ajuste do modelo (como AIC e BIC) podem ajudar a determinar a forma mais apropriada para a função de transferência, bem como o momento do evento (ou seja, se o impacto foi atrasado e, em caso afirmativo, em quanto tempo).

A seguir detalhamos os cenários mais comuns, usando as variáveis indicadoras de intervenção descritas acima, com $h = 0$, e $r = 0$ ou $r = 1$.

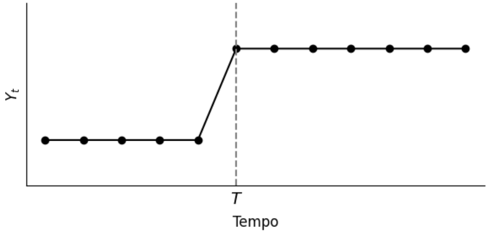
Função degrau: $S_t = \begin{cases} 0, & \text{se } t < T_0 \\ 1, & \text{se } t \geq T_0 \end{cases}$

Valores para h **e** r: $h = 0$ e $r = 0$

Função de transferência: ω_0

Interpretação: A série temporal aumenta em ω_0 imediatamente após a intervenção, e permanece nesse novo nível durante todo o período do estudo.

Forma da resposta:



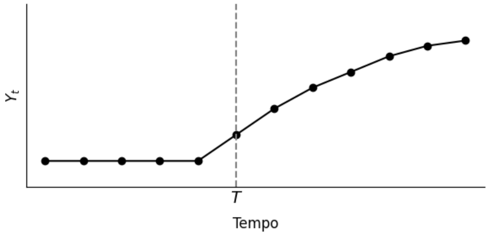
Função degrau: $S_t = \begin{cases} 0, & \text{se } t < T_0 \\ 1, & \text{se } t \geq T_0 \end{cases}$

Valores para h **e** r: $h = 0$ e $r = 1$

Função de transferência: $\frac{\omega_0}{1-\delta_1 B}$, para $|\delta_1| < 1$

Interpretação: A série temporal aumenta em ω_0 imediatamente após a intervenção, e aumenta em $\omega_0\delta_1^k$ a cada ponto no tempo subsequente até atingir um novo nível, calculado por $\frac{\omega_0}{1-\delta_1}$

Forma da resposta:



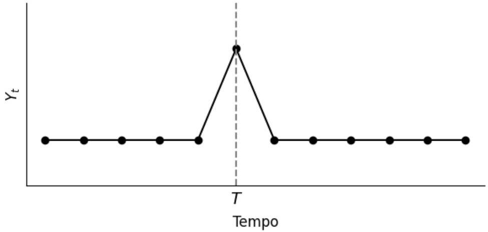
Função impulso: $P_t = \begin{cases} 0, & \text{se } t \neq T_0 \\ 1, & \text{se } t = T_0 \end{cases}$

Valores para h **e** r: $h = 0$ e $r = 0$

Função de transferência: ω_0

Interpretação: A série temporal aumenta em ω_0 imediatamente após a intervenção e retorna à linha de base (nível inicial) imediatamente depois.

Forma da resposta:



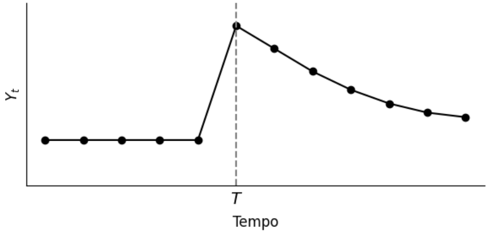
Função impulso: $P_t = \begin{cases} 0, & \text{se } t \neq T_0 \\ 1, & \text{se } t = T_0 \end{cases}$

Valores para h **e** r: $h = 0$ e $r = 1$

Função de transferência: $\frac{\omega_0}{1-\delta_1 B}$, para $|\delta_1| < 1$

Interpretação: A série temporal aumenta em ω_0 no momento da intervenção, e decai por $(1 - \delta_1)$ a cada ponto no tempo subsequente.

Forma da resposta:



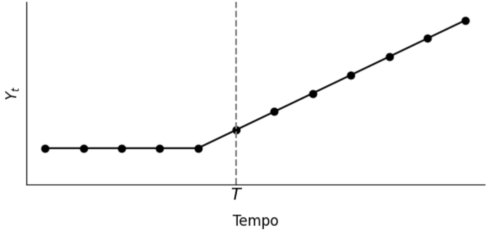
Função rampa: $R_t = \begin{cases} 0, & \text{se } t < T \\ t - T + 1, & \text{se } t \geq T \end{cases}$

Valores para h **e** r: $h = 0$ e $r = 0$

Função de transferência: ω_0

Interpretação: A série temporal aumenta em ω_0 a cada ponto no tempo.

Forma da resposta:



Aplicação

Aplicação retirada do artigo: Schaffer, A. L., Dobbins, T. A., Pearson, S. A. (2021). *Interrupted time series analysis using autoregressive integrated moving average (ARIMA) models: a guide for evaluating large-scale health interventions.* BMC medical research methodology, 21, 1-12.

Obs.: A dispensação é o ato farmacêutico de distribuir um ou mais medicamentos a um paciente, geralmente como resposta à apresentação de uma prescrição elaborada por um profissional autorizado.

Aplicação

Na Austrália, antes de 1º de janeiro de 2014, novas prescrições para a menor dosagem de comprimido de quetiapina (25 mg) - a quetiapina serve para tratar distúrbios psíquicos, promovendo a estabilização do humor - podiam incluir até 5 recargas (ou reabastecimentos), o que significava que os pacientes poderiam ter suas prescrições reabastecidas até 5 vezes antes de retornar ao médico para uma nova receita. No entanto, devido às crescentes preocupações sobre a prescrição inadequada, após 1º de janeiro de 2014, novas prescrições para esta dosagem de comprimido não puderam mais incluir recargas.

Nosso desfecho principal foi o número de dispensações mensais de 25 mg de quetiapina, das quais tínhamos 48 meses de observações (janeiro de 2011 a dezembro de 2014).

Aplicação

Além disso, na Austrália, as reivindicações de dispensação de medicamentos apresentam uma sazonalidade anual significativa. Os medicamentos são subsidiados para cidadãos e residentes elegíveis através do Esquema de Benefícios Farmacêuticos (PBS), com as pessoas pagando uma coparticipação pelo custo de seus medicamentos, enquanto o restante é subsidiado. Se o total de custos de coparticipação de uma pessoa (ou família) atingir o "limiar da Rede de Segurança" para o ano civil, ela se torna elegível para uma coparticipação reduzida pelo restante daquele ano. Assim, há um incentivo para que as pessoas atinjam sua "Rede de Segurança" e consequentemente recarreguem seus medicamentos com mais frequência no final do ano. Logo, observamos um aumento nas prescrições no final do ano, seguido por uma diminuição em janeiro.

Aplicação

Para a mudança na dispensação de 25mg de quetiapina, devido à natureza da intervenção, postulamos que haveria uma queda imediata nas dispensações pós-intervenção (mudança de degrau – *step change*), bem como uma mudança na inclinação (rampa – *ramp*). Assim, incluímos variáveis representando ambos os tipos de impactos em nosso modelo. Para ambos os impactos, $h = 0$ e $r = 0$.

Aplicação

Aplicação no *software* R.

Especialização em *Data Science* e Estatística Aplicada

Módulo IV - Análise de Séries Temporais

Prof. Dr. Eder Angelo Milani

edermilani@ufg.br

IME
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA

FEN
FACULDADE DE ENFERMAGEM

UFG
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS