

**INSTITUTO FEDERAL EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO**  
**CAMPUS SÃO PAULO**  
**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E TURISMO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE**  
**SISTEMAS**

**PAULO EDUARDO MARTINS**

**RAISSA SANTOS LAGES**

**ESTATÍSTICA E PROBABILIDADE: ANÁLISE DE DADOS DA VACINAÇÃO CONTRA O**  
**CORONAVÍRUS E DOS ÓBITOS NA ARGENTINA**

**SÃO PAULO**

**2024**

## **Sumário**

<b>Sumário das Tabelas.....</b>	<b>1</b>
<b>Sumário das Imagens.....</b>	<b>2</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>3</b>
Contexto.....	3
Objetivo.....	4
<b>Metodologia.....</b>	<b>5</b>
Fontes.....	5
Descrição dos Dados.....	5
Preparação e tratamento dos dados.....	6
<b>Análise Exploratória dos Dados.....</b>	<b>7</b>
População da Argentina em 2021 por faixa etária.....	7
Vacinação Global.....	8
Vacinação por Faixa Etária na Argentina.....	9
Vacinação da População Geral na Argentina.....	11
Correlação entre Vacinação e a População da Argentina.....	13
Inferências Acerca da População e Cobertura de Vacinação por Faixa Etária.....	15
Óbitos por COVID-19 na Argentina e no Mundo.....	17
Correlação entre a Taxa de Vacinação e a Taxa de Mortalidade na Argentina.....	19
<b>Conclusões.....</b>	<b>21</b>
Resumo da Análise.....	21
Conclusões finais.....	21
<b>Referências.....</b>	<b>22</b>

## **Sumário das Tabelas**

Tabela 1 - População da Argentina em 2021 por Faixa Etária.....	8
Tabela 2 - Datas médias, medianas, mínimas e máximas da vacinação por faixa etária na Argentina.....	10
Tabela 3 - Pessoas Vacinadas em 2021 por Faixa Etária na Argentina.....	14
Tabela 4 - Valores das probabilidades marginais e condicionais.....	16

## Sumário das Imagens

Imagem 1 - Distribuição da População por Faixa Etária na Argentina.....	8
Imagem 2 - Boxplot do Início das Vacinações por País.....	9
Imagem 3 - Evolução da Vacinação por Faixa Etária na Argentina.....	12
Imagem 4 - Evolução da Vacinação Total na Argentina.....	13
Imagem 5 - Taxa de Variação Mensal da Vacinação na Argentina.....	14
Imagem 7 - Comparação da Distribuição da Vacinação e da População por Faixa Etária....	17
Imagem 8 - Gráfico Q-Q Normal da Distribuição da Vacinação em 2021.....	17
Imagem 9 - Gráfico Q-Q Normal da Distribuição da População em 2021.....	18
Imagem 10 - Evolução das Mortes por COVID-19 na Argentina.....	19
Imagem 11 - Boxplot do número total de mortes dos países até 2024.....	19
Imagem 12 - Comparação entre as Taxas Mensais de Vacinação e Mortalidade.....	20
Imagem 13 - Modelo de Regressão Linear das Taxas de Vacinação e Mortalidade.....	21

## Introdução

### Contexto

Os primeiros casos de um novo tipo de coronavírus foram identificados na cidade de Wuhan, na República Popular da China, no final de 2019. Inicialmente, os sintomas causados foram inadvertidamente confundidos como pneumonia, contudo, a Organização Mundial da Saúde (OMS) logo fora alertada sobre o alto crescimento de casos num curto período de tempo naquela região.

Até então, seis tipos de coronavírus humanos haviam sido identificados na história. O sétimo, posteriormente conhecido por SARS-CoV-2, foi oficializado e divulgado pelas autoridades chinesas no dia 7 de janeiro de 2020.

Rapidamente, o vírus foi se espalhando para outros países e, em março de 2020, a doença causada pelo novo vírus, nomeada de COVID-19, foi declarada como uma pandemia global pela OMS. Enquanto os casos aumentavam e a doença mostrava a sua letalidade, ainda com efeitos colaterais desconhecidos a longo prazo, o desenvolvimento de vacinas, medicações e tratamentos que demonstrassem eficácia no tratamento contra os sintomas tornaram-se uma busca cada vez maior.

O perfil da Argentina no contexto pandêmico apresenta um desenvolvimento particular, pois os números de casos da doença, bem como os de óbito, apresentaram um crescimento lento e constante, segundo Oscar Cingolani. Outros países, como Estados Unidos e Brasil, por outro lado, apresentaram picos preocupantes. Ainda com a progressão casual, a Argentina ocupou o 12º lugar de países com maior número de mortes confirmadas pela doença em outubro de 2020.

Inúmeras políticas públicas foram adotadas pelo governo para restringir a disseminação do vírus, como suspensão de voos, quarentena obrigatória, adesão ao uso de máscaras e restrição do transporte público. Inicialmente, essas ações mostraram-se eficientes na contenção do vírus, o que evitou a superlotação do aparelho de saúde do país, enfatizando o acolhimento de pacientes sintomáticos que precisavam de cuidados médicos. Contudo, segundo Márcia Carmo em uma reportagem escrita para a BBC, o fato do vírus ter se espalhado ao interior do país, o cansaço da população em relação ao confinamento e a falta de precaução foram motivos que agravaram lentamente o número de casos durante a pandemia.

Como a vacinação foi combinada a outras medidas supracitadas, mensurar o impacto exclusivo da imunização na redução da quantidade de óbitos torna-se uma tarefa difícil. Entretanto, um estudo realizado pela epidemiologista Brechje de Gier concluiu que a vacinação reduziu altamente as taxas de mortalidade causadas pela COVID-19. Dessa forma, o presente estudo busca explorar a relação entre a vacinação e o número de óbito na Argentina.

## Objetivo

Este estudo tem como objetivo principal investigar a evolução da vacinação contra a COVID-19 na Argentina ao longo dos anos, considerando cada faixa etária e a distribuição populacional. Além disso, busca compreender a distribuição da vacinação entre diferentes faixas etárias para identificar padrões e variações significativas.

Outro foco central do estudo é explorar as disparidades na taxa de óbitos por COVID-19 na Argentina em comparação com o restante do mundo ao longo do tempo.

Os objetivos específicos incluem:

- Calcular a probabilidade de vacinação para cada faixa etária, considerando a estrutura demográfica da população argentina.
- Investigar a correlação entre os níveis de vacinação e as taxas de mortalidade por COVID-19, utilizando análises estatísticas para examinar possíveis associações entre esses dois indicadores.
- Estimar e analisar as correlações temporais entre as taxas de vacinação e as taxas de mortalidade, visando identificar padrões e tendências que possam fornecer indícios sobre a eficácia das campanhas de vacinação na mitigação da mortalidade relacionada à COVID-19.
- Desenvolver visualizações dos dados de vacinação e mortalidade, com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, destacar padrões emergentes e comunicar os achados da pesquisa.
- Descobrir se as distribuições da vacinação e da população em 2021 na Argentina assemelham-se a uma distribuição normal.
- Concluir se existem evidências estatísticas para comparar a distribuição da vacinação argentina com a da população por faixa etária.

## Metodologia

### Fontes

Os dados utilizados nas análises foram disponibilizados pela equipe do Our World in Data. O repositório contém conjuntos de dados relacionados à pandemia de COVID-19, compilados e mantidos pela equipe mencionada. Esses dados são fornecidos em formato CSV (Comma-separated values) e são regularmente atualizados com informações globais e nacionais sobre casos confirmados, óbitos, testes realizados, vacinação e outras métricas relevantes à pandemia.

É importante ressaltar que as informações não são geradas pela Our World in Data, mas sim extraídas, compiladas e centralizadas a partir dos painéis oficiais da Organização Mundial da Saúde (OMS). A OMS é a fonte primária dos dados relacionados a mortes e vacinações, sendo que o Our World in Data atua como um repositório centralizador e facilitador de acesso a essas informações fundamentais para análises e estudos epidemiológicos.

### Descrição dos Dados

Para o presente estudo, foram utilizadas três bases de dados, que foram analisadas de maneira individual e correlacionadas. Os valores sobre a vacinação e mortalidade estão normalizados em observações por centena e por milhão de habitantes, respectivamente. A escolha de dados nessas características favoreceram a comparação entre países e entre ambos os dados, sem necessidade de obter a população total para posterior normalização.

A primeira base, denominada "total\_deaths\_per\_million.csv", possui 248 colunas. Entre elas, destaca-se a coluna 'Date', que representa a data para a qual os dados foram registrados. Além disso, a coluna 'World' indica o número total de mortes por milhão de habitantes em escala global para cada data específica. As demais colunas referem-se a países e continentes ao redor do mundo, cada uma fornecendo dados correspondentes às mortes por milhão específicas dessas regiões.

Os valores das mortes, indicados de maneira cumulativa a cada dia, foram trazidos a cada milhão de habitantes das respectivas localidades observadas.

A segunda base, "vaccinations-by-age-group.csv", traz seis colunas, sendo a localização, data, faixa etária, número de pessoas vacinadas, número de pessoas completamente vacinadas e número de pessoas com dose adicional. Os dados relativos à vacinação estão contabilizados a cada cem habitantes e também são cumulativos. Além disso, a quantidade total de países é bastante reduzida, sendo 38 ao todo.

Por fim, a terceira base, "population-by-age-group.csv", traz o número total de habitantes dos países entre 1950 até 2021, apresentando a população dividida em cinco faixas etárias: 0 a 4, 5 a 14, 15 a 24, 25 a 64 e acima de 65 anos.

## Preparação e tratamento dos dados

Os dados de vacinações foram normalizados para que fossem relativos a milhões em vez de centenas de habitantes, servindo ao propósito de comparação, com renomeação correspondente das colunas. Manteve-se apenas a coluna de pessoas vacinadas por milhão, já que a análise de doses adicionais e cobertura total da vacinação não foi o foco.

Além disso, as colunas de localização e faixa etária foram convertidas para variáveis categóricas.

As colunas de datas foram tratadas no formato Date em todos os subconjuntos das tabelas que foram criados posteriormente para uma análise mais específica, uma vez que permite uma melhor manipulação dessas informações dentro do contexto de visualização desses dados.

Houve a necessidade da redistribuição de faixas etárias, com o objetivo de adaptar os dados de vacinação para que correspondam às faixas etárias disponíveis na base de dados populacional. Isso garante uma análise consistente e precisa, facilitando a comparação e a interpretação dos resultados.

Foram filtrados os dados de vacinação para o mês de dezembro de 2021, focando em capturar o número total de pessoas vacinadas até essa data. As faixas etárias originais nos dados de vacinação foram identificadas, variando desde 3-11 anos até mais de 100 anos.

Para ajustar os dados de vacinação às faixas etárias da base populacional, foi desenvolvida uma função para redistribuir os vacinados. Essa função calcula a média de pessoas vacinadas por cada ano dentro de uma faixa etária. Por exemplo, se uma faixa etária é de 10 anos, o número total de vacinados é dividido por 10 para obter a média anual.

As novas faixas etárias foram definidas para corresponder àquelas na base de dados populacional: 0-4, 5-14, 15-24, 25-64 e 65+. Para cada nova faixa etária, a média de vacinados por idade foi usada para recalcular o total de vacinados na faixa etária correspondente. Por exemplo, para a faixa 65+, foi calculada a média dos vacinados nas faixas originais de 70-79, 80-89, 90-99 e 100+, ajustada para o número de anos em cada faixa.

Os valores recalculados foram combinados para obter um total ajustado de vacinados em cada nova faixa etária. Pesos foram aplicados para garantir que a média final fosse representativa, considerando a distribuição populacional e a densidade de vacinados em cada subfaixa.

Para faixas etárias com subfaixas diferentes (por exemplo, 25-64 e 65+), as médias ponderadas foram calculadas para refletir a distribuição populacional e os dados de vacinação. Isso envolveu combinar os valores das subfaixas com pesos proporcionais à sua representatividade na faixa etária total.



## Análise Exploratória dos Dados

### População da Argentina em 2021 por faixa etária

Em 2021, a população da Argentina apresentou uma distribuição heterogênea por faixa etária. De acordo com os dados disponíveis, a maior parte da população estava concentrada na faixa etária de 25 a 64 anos, com uma estimativa média de aproximadamente 22,4 milhões de pessoas. Esta faixa foi seguida pela população de 15 a 24 anos, com uma média de cerca de 6,97 milhões de indivíduos.

As faixas etárias mais jovens, de 5 a 14 anos e de 0 a 4 anos, apresentaram estimativas médias de população em torno de 7,24 milhões e 3,33 milhões, respectivamente.

Por fim, a faixa etária de 65 anos ou mais foi a menor em termos de números absolutos, com uma média de aproximadamente 5,35 milhões de pessoas.

Conclui-se que a população total em 2021 era de 45.276.790 milhões de argentinos, o que permite calcular o valor relativo de cada faixa.

Valores	0 - 4	5 - 14	15 - 24	25 - 64	65+
Absolutos	3.332.743	7.242.438	6.965.561	22.383.468	5.352.580
Relativos	7,36%	16%	15,38%	49,44%	11,82%

*Tabela 1 - População da Argentina em 2021 por Faixa Etária*



*Imagem 1 - Distribuição da População por Faixa Etária na Argentina*

## Vacinação Global

A data do primeiro dia de vacinação por país reflete o início dos esforços para imunizar suas populações contra a COVID-19.. A maior parte dos países cujos dados foram disponibilizados iniciaram a vacinação no início do ano de 2021, contudo, existem exceções para os dois extremos. O país com a primeira vacinação observada foi o Canadá, no dia 19/12/2020. Em contrapartida, a Romênia iniciou a sua vacinação quase cinco meses depois, em 28/05/2021.

Os países incluídos no boxplot começaram seu programa de vacinação dentro de um período relativamente curto, entre os dias 01/01/2021 e 08/01/2021. Isso sugere que esses países iniciaram suas campanhas de vacinação em um intervalo de tempo próximo, indicando uma certa uniformidade na resposta inicial à pandemia.

A mediana das datas de início da vacinação para os países representados no boxplot é 08/01/2021. Isso significa que metade dos países começaram a vacinação antes dessa data e metade depois, proporcionando uma visão geral do momento médio em que os esforços de vacinação foram iniciados.

Os países que são considerados outliers neste contexto (Romênia, Austrália, Jersey, Uruguai, Hong Kong, Japão e Peru) iniciaram sua vacinação em datas que se destacam significativamente em relação à maioria dos países representados no boxplot. Isso pode indicar uma resposta mais rápida ou mais lenta desses países no início da vacinação, comparado ao grupo principal analisado.

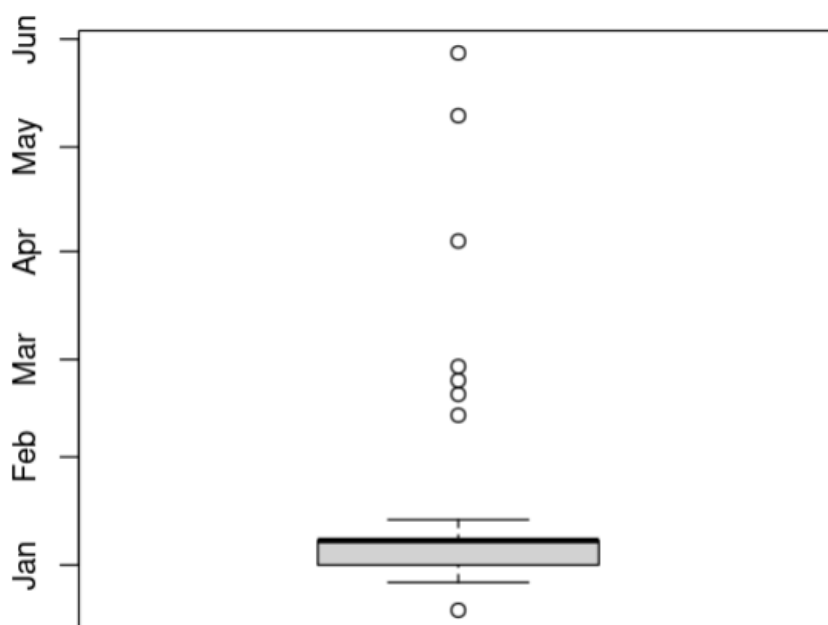


Imagem 2 - Boxplot do Início das Vacinações por País

## Vacinação por Faixa Etária na Argentina

A campanha de vacinação na Argentina não teve um foco inicial limitado apenas nas populações mais idosas, de forma que as primeiras aplicações foram em pessoas entre 18 a 69 anos. Isso é evidente pelo fato de que as datas mínimas para as faixas etárias de 18-29, 30-39, 40-49, 50-59 e 60-69 são todas em 2020-12-29.

A data média de vacinação entre os grupos é bem próxima, com desvio padrão de aproximadamente 33 dias, indicando uma alta consistência no calendário de vacinação. Isso mostra uma distribuição uniforme das vacinas ao longo do tempo, sem grandes atrasos ou antecipações significativas entre os grupos etários.

A mediana revela que metade da população em cada grupo foi vacinada até julho de 2022, exceto as faixas mais jovens entre 3 a 17 anos, com mediana posterior, uma vez que as aplicações iniciais deram-se apenas entre setembro e outubro de 2022. Nesse caso, ela é igual à média, pois há registros diários, mesmo com ausência de vacinação.

A data mais recente da atualização da base, em todos os grupos, conta como dia 28/01/2024, indicando que a vacinação segue até o presente momento. Entretanto, isso também indica que não houve uma cobertura completa da população ainda em período pandêmico.

Faixa Etária	Média	Mediana	Data mínima	Data máxima
3-11	26/10/2022	26/10/2022	24/07/2021	28/01/2024
12-17	15/09/2022	15/09/2022	04/05/2021	28/01/2024
18-29	14/07/2022	14/07/2022	29/12/2020	28/01/2024
30-39	14/07/2022	14/07/2022	29/12/2020	28/01/2024
40-49	14/07/2022	14/07/2022	29/12/2020	28/01/2024
50-59	14/07/2022	14/07/2022	29/12/2020	28/01/2024
60-69	14/07/2022	14/07/2022	29/12/2020	28/01/2024
70-79	24/07/2022	24/07/2022	18/01/2021	28/01/2024
80-89	26/07/2022	26/07/2022	22/01/2021	28/01/2024
90-99	26/07/2022	26/07/2022	22/01/2021	28/01/2024
100+	19/07/2022	19/07/2022	07/01/2021	28/01/2024

*Tabela 2 - Datas médias, medianas, mínimas e máximas da vacinação por faixa etária na Argentina*

O gráfico das vacinações por faixa etária revela detalhes importantes sobre o perfil da vacinação na Argentina. O gráfico fornecido apresenta a evolução da vacinação por faixa

etária na Argentina, destacando o progresso da campanha de vacinação ao longo do tempo. O eixo X representa o período de tempo, de janeiro de 2021 a janeiro de 2023, enquanto o eixo Y mostra o número de pessoas vacinadas por milhão.

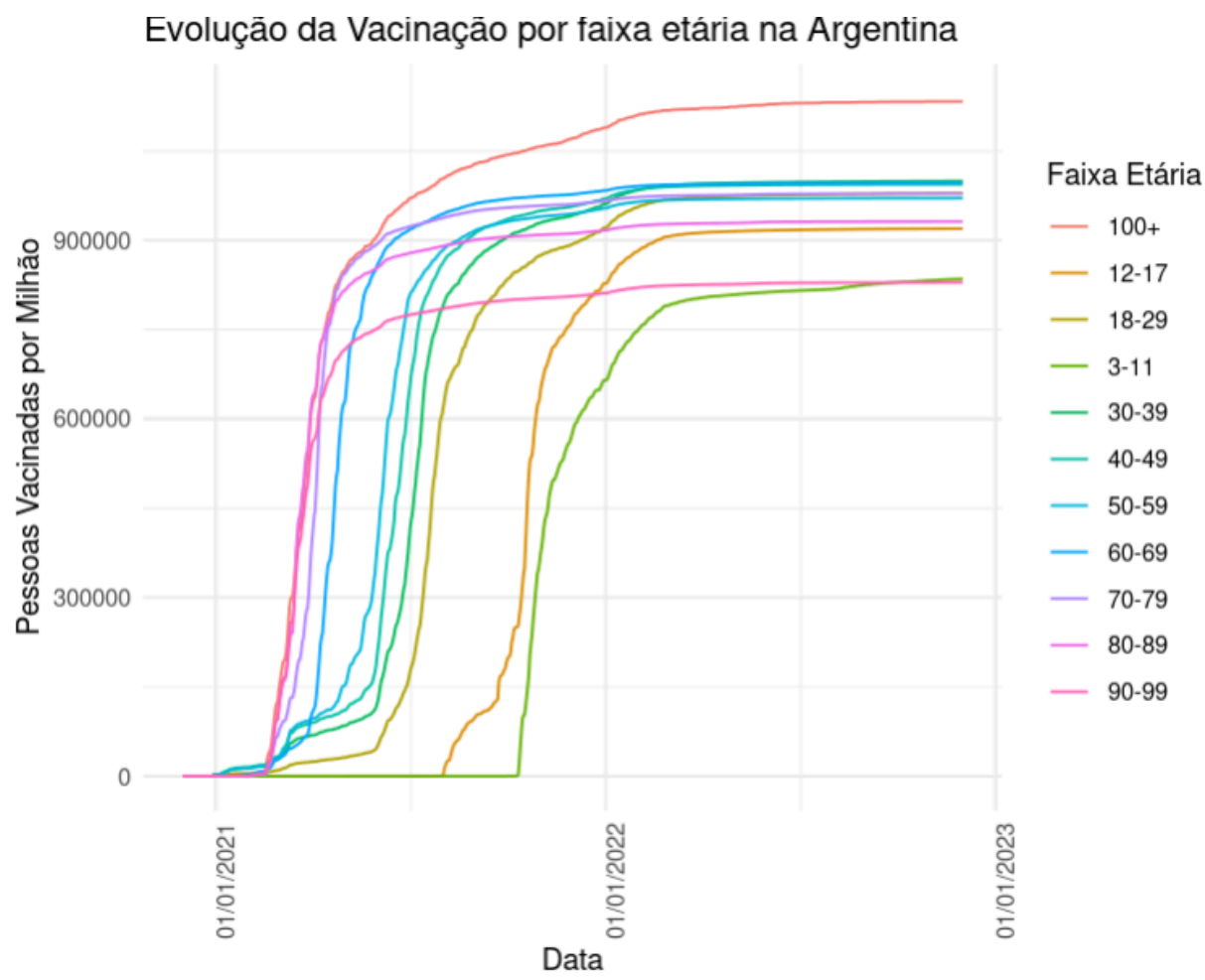
Observa-se que as faixas etárias de 18-29, 30-39, 40-49, 50-59 e 60-69 anos iniciaram a vacinação quase simultaneamente no começo de 2021, refletido pelo aumento rápido e paralelo das curvas dessas faixas etárias.

As faixas etárias de 70-79, 80-89 e 90-99 anos começaram a vacinação logo após os grupos de 18-69 anos, rapidamente alcançando altas taxas de cobertura vacinal. Por outro lado, as faixas etárias de 3-11 e 12-17 anos iniciaram a vacinação significativamente mais tarde. A vacinação dos adolescentes de 12-17 anos começou em meados de 2021, enquanto a vacinação das crianças de 3-11 anos iniciou ainda mais tarde, refletido pelo aumento mais tardio das curvas dessas faixas etárias.

Embora a vacinação não tenha iniciado exclusivamente com os idosos, percebe-se uma maior inclinação na curva de pessoas entre 60 anos até mais de 100, o que pode mostrar esforços maiores para atingir maiores coberturas vacinais em grupos mais vulneráveis à doença. A aplicação de ao menos uma dose em adultos entre 18 a 59 anos segue de maneira gradual, até que aumenta consideravelmente antes de junho de 2021.

Até o início de 2022, a maioria das faixas atingiram altas taxas de vacinação, com aproximadamente 900.000 pessoas vacinadas por milhão ou mais. A faixa etária de 12-17 anos mostra um padrão uniforme de vacinação, alcançando rapidamente uma alta cobertura após o início da campanha. A faixa etária de 3-11 anos, no entanto, teve um progresso mais lento e menos pronunciado, indicando desafios adicionais na vacinação desse grupo.

Até o presente momento, não houve cobertura de acima de 90% para pessoas entre 90 a 99 anos, e é notável que a vacinação progrediu de maneira bastante rápida nesse grupo, mas estabilizou ainda na metade de 2021.

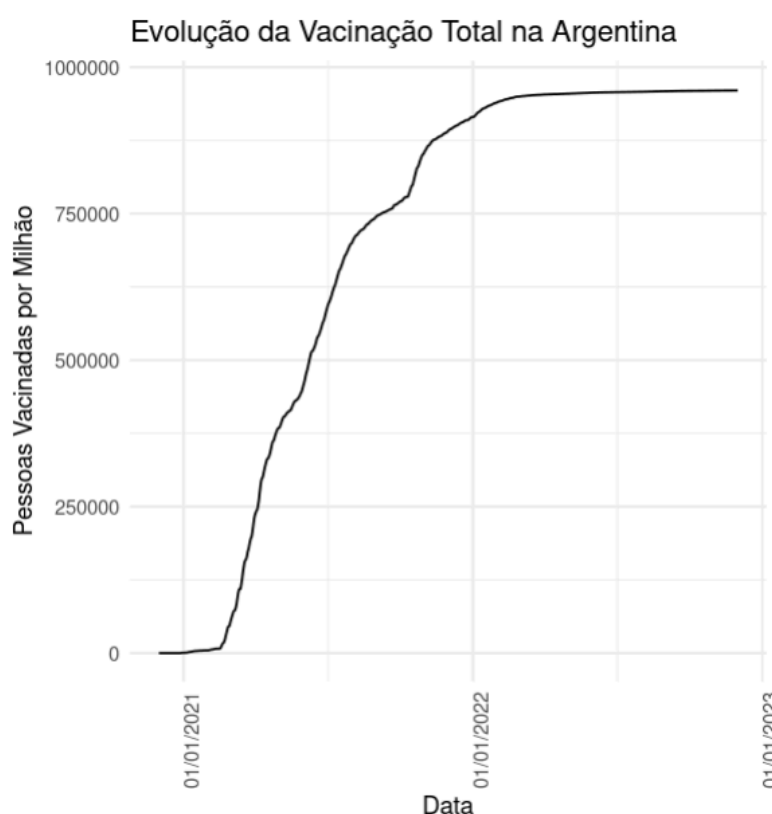


*Imagem 3 - Evolução da Vacinação por Faixa Etária na Argentina*

#### Vacinação da População Geral na Argentina

Os dados mais recentes sobre a vacinação revelam que mais de 90% da população recebeu a vacinação completa, embora o início tenha sido um pouco lento devido ao atraso na inclusão de certos grupos. Ao longo de 2022, a taxa de vacinação por milhão de pessoas tem mostrado uma estabilidade, indicando um progresso constante desde os primeiros meses do ano.

A obtenção desses valores foi calculada a partir da média diária da vacinação por faixa etária. Dessa forma, o declínio no segundo semestre de 2021 coincide com o período em que houve uma estabilização geral na vacinação de adultos, aumentando novamente pelo início da aplicação de vacinas nas crianças e adolescentes.



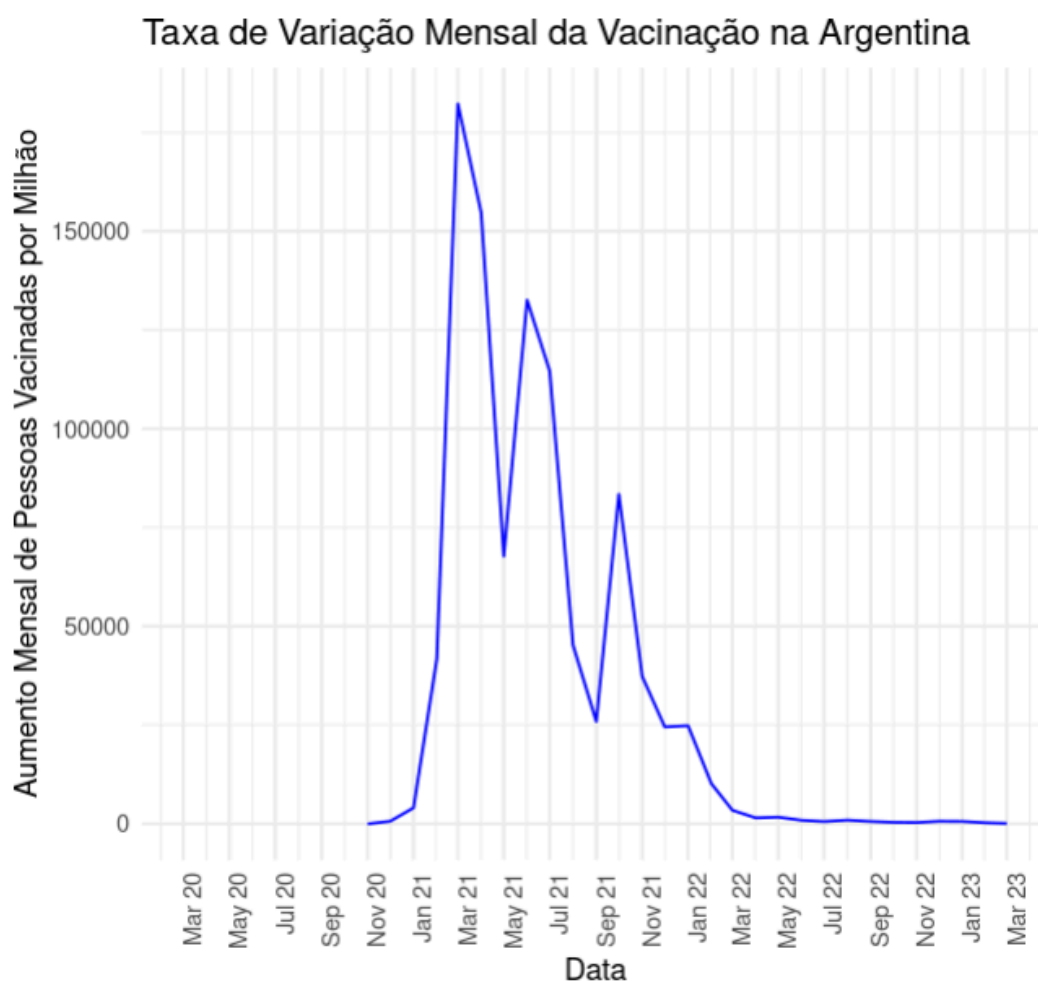
*Imagem 4 - Evolução da Vacinação Total na Argentina*

O gráfico mostra a "Taxa de Variação Mensal da Vacinação na Argentina" de março de 2020 a março de 2023. O eixo y representa o aumento mensal de pessoas vacinadas por milhão, enquanto o eixo x representa o tempo em meses.

Inicialmente, até dezembro de 2020, a taxa de vacinação foi muito baixa ou praticamente inexistente, uma vez que foi quando os primeiros grupos passaram a receber as doses. A partir de dezembro, observa-se um aumento acentuado na taxa de vacinação, que atingiu seu pico em março de 2021, com o maior crescimento mensal do período. Este aumento coincide com o início das campanhas de vacinação em muitos países, incluindo a Argentina.

Após o pico, a taxa de vacinação começa a diminuir, com algumas flutuações, mas mantém uma tendência de queda até janeiro de 2022. Depois disso, a taxa se estabiliza em níveis relativamente baixos, continuando assim até o final do período observado, em março de 2023. Esse período corresponde ao período em que a vacinação da população passou a crescer de forma constante, o que implica na pouca variação do número de vacinações entre os meses.

Esse comportamento reflete o esforço inicial para vacinar a população rapidamente, seguido por um declínio à medida que a maioria das pessoas foi vacinada e a demanda por novas vacinas diminuiu. As flutuações ao longo do tempo podem estar associadas a campanhas de reforço ou a novas variantes do vírus, que incentivaram mais rodadas de vacinação.



*Imagem 5 - Taxa de Variação Mensal da Vacinação na Argentina*

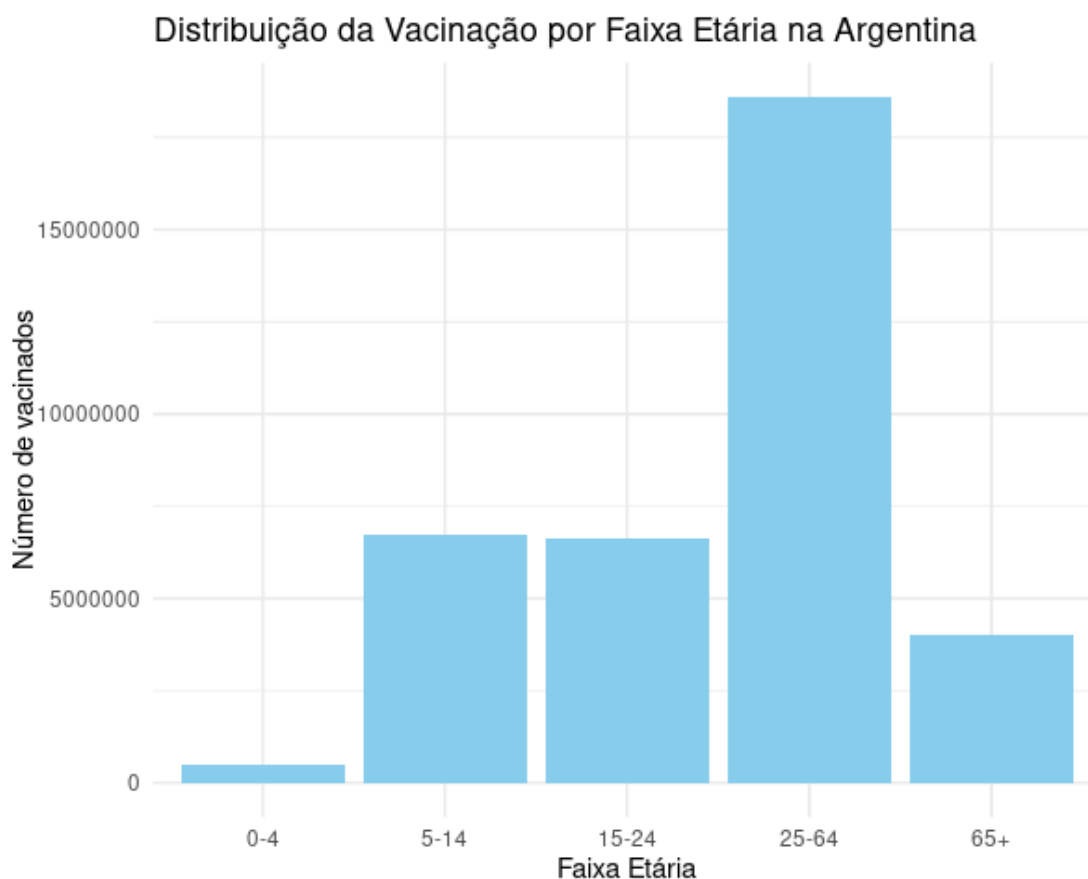
### Correlação entre Vacinação e a População da Argentina

Ao analisar a população da Argentina em conjunto com os dados de vacinação contra COVID-19, foi necessário realizar uma redistribuição das faixas etárias na base de vacinação para alinhá-las com a estrutura demográfica do país. Essa adaptação foi crucial para garantir que os números refletissem de maneira precisa a cobertura vacinal em diferentes grupos etários, facilitando uma análise mais precisa e detalhada dos impactos da campanha de imunização.

Como os dados da população limitam-se a 2021, o foco nessa etapa é analisar como cada faixa etária redistribuída relaciona-se com sua respectiva faixa etária demográfica.

Valores	0 - 4	5 - 14	15 - 24	25 - 64	65+
Absolutos	492.357	6.741.020	6.623.088	18.586.999	3.991.910
Relativos	14,77%	93,08%	95,08%	83,04%	74,58%

*Tabela 3 - Pessoas Vacinadas em 2021 por Faixa Etária na Argentina*



*Imagem 6 - Distribuição da Vacinação por Faixa Etária na Argentina*

Embora a visualização gráfica possa indicar que existe um predomínio de vacinação entre pessoas de 25 a 64 anos, já que é a faixa etária mais numerosa, a análise dos números relativos mostram que é a terceira com maior adesão à vacina, com 83,04% de pessoas vacinadas. Logo, fica atrás dos jovens entre 15 a 24 anos, com 95,08% e, por fim, das crianças e adolescentes entre 5 a 14 anos, com 93,08% de pessoas imunizadas.

Em quarto lugar, encontram-se os idosos acima de 65 anos, com cobertura de 74,58% e, por fim, crianças de 0 a 4 anos com 14,77%. Este último número pode ser justificado pois não há dados de vacinação de bebês de 0 a 2 anos, que podem tanto representar um número expressivo na faixa etária quanto na população vacinada entre crianças até os 4 anos. Assim, pode haver uma pequena distorção na veracidade desses dados e no quão representativo eles realmente são.

Os números relativos também indicam a probabilidade de encontrar alguém vacinado em cada faixa etária, igualmente obtidos através da aplicação do Teorema de Bayes. Os valores obtidos, bem como as variáveis utilizadas, estão descritos na tabela “Valores das probabilidades marginais e condicionais”.



Variável	Valor	Descrição da Probabilidade
$P(V)$	91,48%	Alguém da população total ser vacinado.
$P(65 +)$	11,82%	Alguém da população ter mais de 65 anos.
$P(65 +   V)$	9,64%	Alguém ter mais de 65 anos, dado que é vacinado.
$P(V   65 +) = \frac{P(65+   V) * P(V)}{P(65+)}$	<b>74,58%</b>	<b>Alguém ser vacinado, dado que tem mais de 65 anos.</b>
$P(25 - 64)$	49,44%	Alguém da população ter entre 25 a 64 anos.
$P(25 - 64   V)$	44,88%	Alguém ter entre 25 a 64 anos, dado que é vacinado.
$P(V   25 - 64) = \frac{P(25-64   V) * P(V)}{P(25-64)}$	<b>83,04%</b>	<b>Alguém ser vacinado, dado que tem entre 25 a 64 anos.</b>
$P(15 - 24)$	15,38%	Alguém da população ter entre 15 a 24 anos.
$P(15 - 24   V)$	15,99%	Alguém ter entre 15 a 24 anos, dado que é vacinado.
$P(V   15 - 24) = \frac{P(15-24   V) * P(V)}{P(15-24)}$	<b>95,08%</b>	<b>Alguém ser vacinado, dado que tem entre 15 a 24 anos.</b>
$P(5 - 14)$	16%	Alguém da população ter entre 5 a 14 anos.
$P(5 - 14   V)$	16,28%	Alguém ter entre 5 a 14 anos, dado que é vacinado.
$P(V   5 - 14) = \frac{P(5-14   V) * P(V)}{P(5-14)}$	<b>93,08%</b>	<b>Alguém ser vacinado, dado que tem entre 5 a 14 anos.</b>
$P(0 - 4)$	7,36%	Alguém da população ter entre 0 a 4 anos.
$P(0 - 4   V)$	1,19%	Alguém ter entre 0 a 4 anos, dado que é vacinado.
$P(V   0 - 4) = \frac{P(0-4   V) * P(V)}{P(0-4)}$	<b>14,77%</b>	<b>Alguém ser vacinado, dado que tem entre 0 a 4 anos.</b>

*Tabela 4 - Valores das probabilidades marginais e condicionais*

## Inferências Acerca da População e Cobertura de Vacinação por Faixa Etária

A distribuição da vacinação por faixa etária na Argentina assemelha-se à distribuição da população por faixa etária, tanto visualmente quanto o percentual de cobertura vacinal por idade. Portanto, assume-se como hipótese nula  $H_0$  que ambas as distribuições são semelhantes e seguem disposição normal.

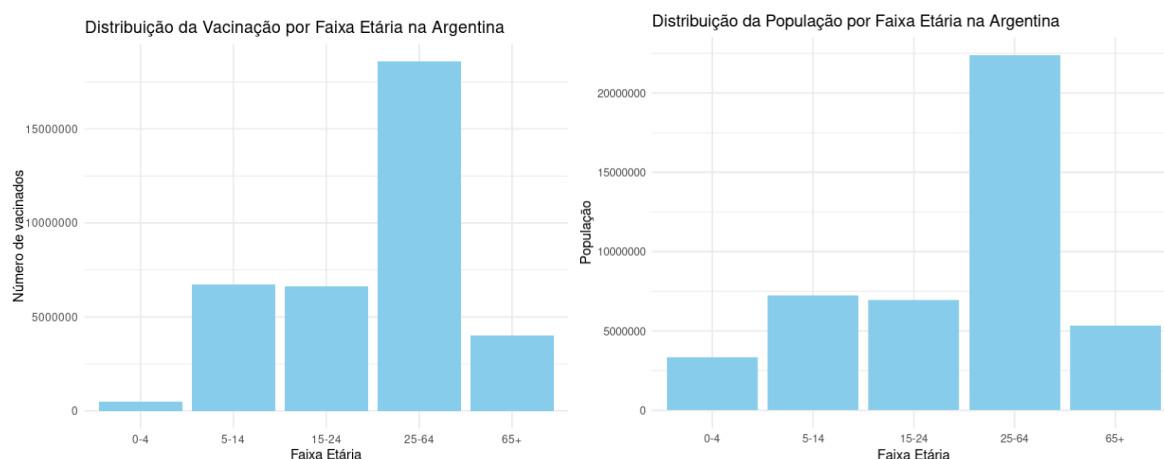


Imagem 7 - Comparação da Distribuição da Vacinação e da População por Faixa Etária

Ao testar a normalidade dos dados através do teste de Shapiro, entretanto, mostra-se que uma das distribuições não é Gaussiana. A frequência de vacinações resultou num p-valor igual a 0,2597 e, portanto, por ser maior que 0,05 é possível assumir a normalidade dessa distribuição.

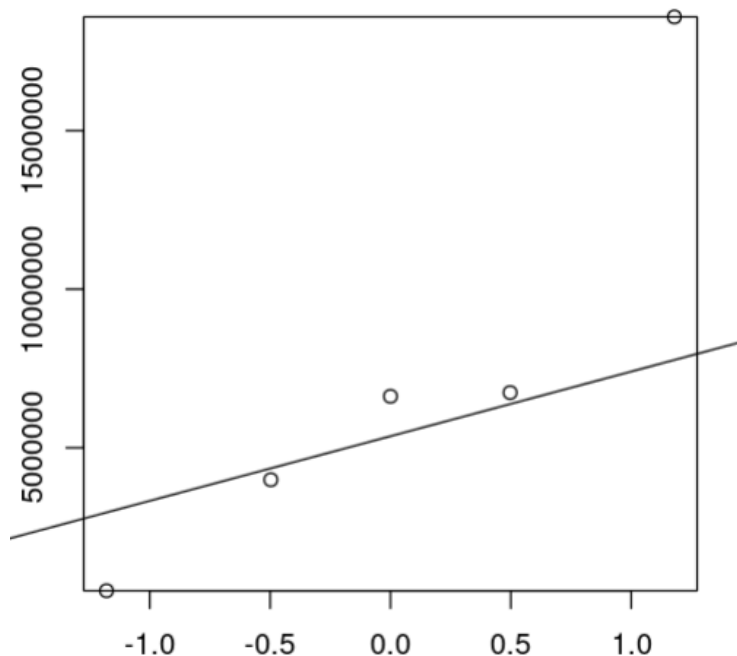
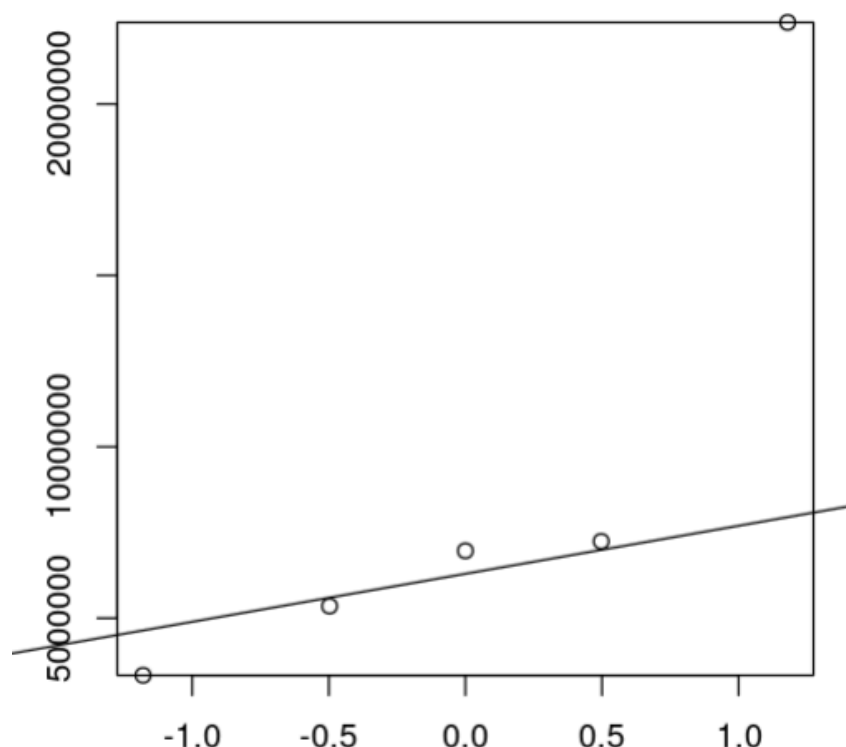


Imagem 8 - Gráfico Q-Q Normal da Distribuição da Vacinação em 2021

De maneira oposta, o mesmo teste foi aplicado à distribuição etária da população argentina. Entretanto, o p-valor encontrado no teste de Shapiro foi de 0,02535 e, assim, a diferença

para com uma distribuição normal é estatisticamente significativa. Conclui-se que a hipótese nula é negada nessa situação e, portanto, essa distribuição não é normal.



*Imagem 9 - Gráfico Q-Q Normal da Distribuição da População em 2021*

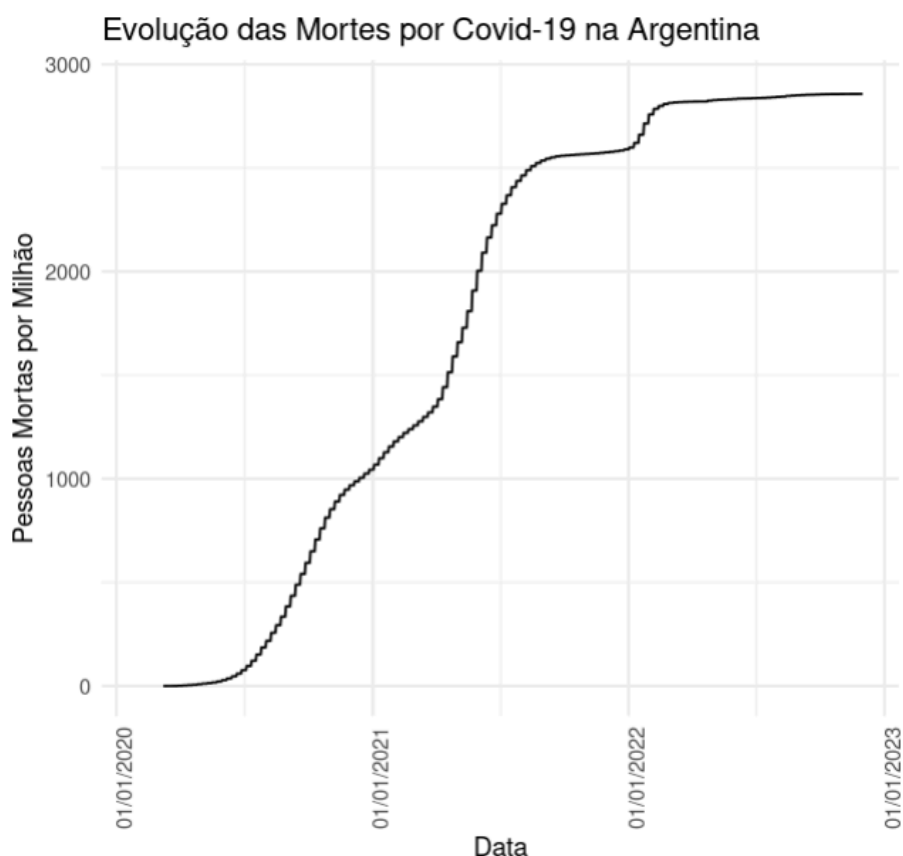
Ao observar os valores da proporção de pessoas vacinadas em cada faixa etária, assume-se como hipótese inicial de que eles são próximos. Isto é, o valor de pessoas vacinadas em relação à população por idade não é significativamente diferente por faixa etária.

Como trata-se de uma amostra pequena, de apenas cinco faixas etárias, o teste de Kruskal-Wallis foi escolhido para validar se as amostras de ambos os grupos partem da mesma distribuição. Nesse contexto, o p-valor da proporção de vacinados por faixa etária foi igual a 0,406, impossibilitando a negação da hipótese nula de que as proporções de vacinação são estatisticamente diferentes entre si.

### Óbitos por COVID-19 na Argentina e no Mundo

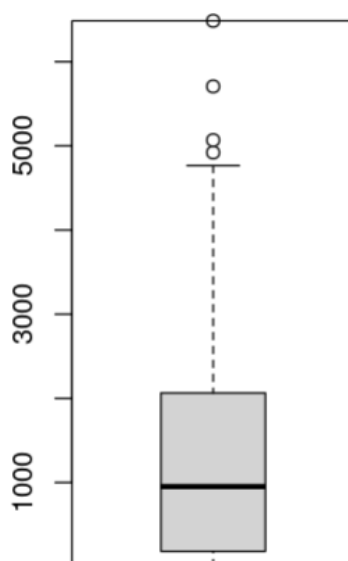
A primeira morte na Argentina aconteceu no dia 08/03/2023, sendo que progrediu de tal forma que levou aproximadamente um ano para que o país atingisse a marca de mil óbitos por milhão de habitantes no início de 2021, acelerando bastante no segundo semestre de 2020.

Em 2021, o número de mortes duplicou em menos de seis meses, quando a vacinação já havia iniciado no país, até que desacelerou no segundo semestre do ano. No início de 2022, as mortes voltaram a aumentar, embora o número tenha estabilizado a partir disso.



*Imagem 10 - Evolução das Mortes por COVID-19 na Argentina*

Falando em números absolutos, foram 117.225 mortes no total ao fim de 2021. No final de 2024, o país ficou em 29º dos países com maior número de mortes por milhão, com 2.875,392 óbitos registrados pela doença. Esse número encontra-se acima do terceiro quartil (2063,994), isto é, a Argentina apresentou número de mortes por milhão superior a 75% dos locais registrados, removendo continentes e agrupamentos de caráter geopolítico da análise.

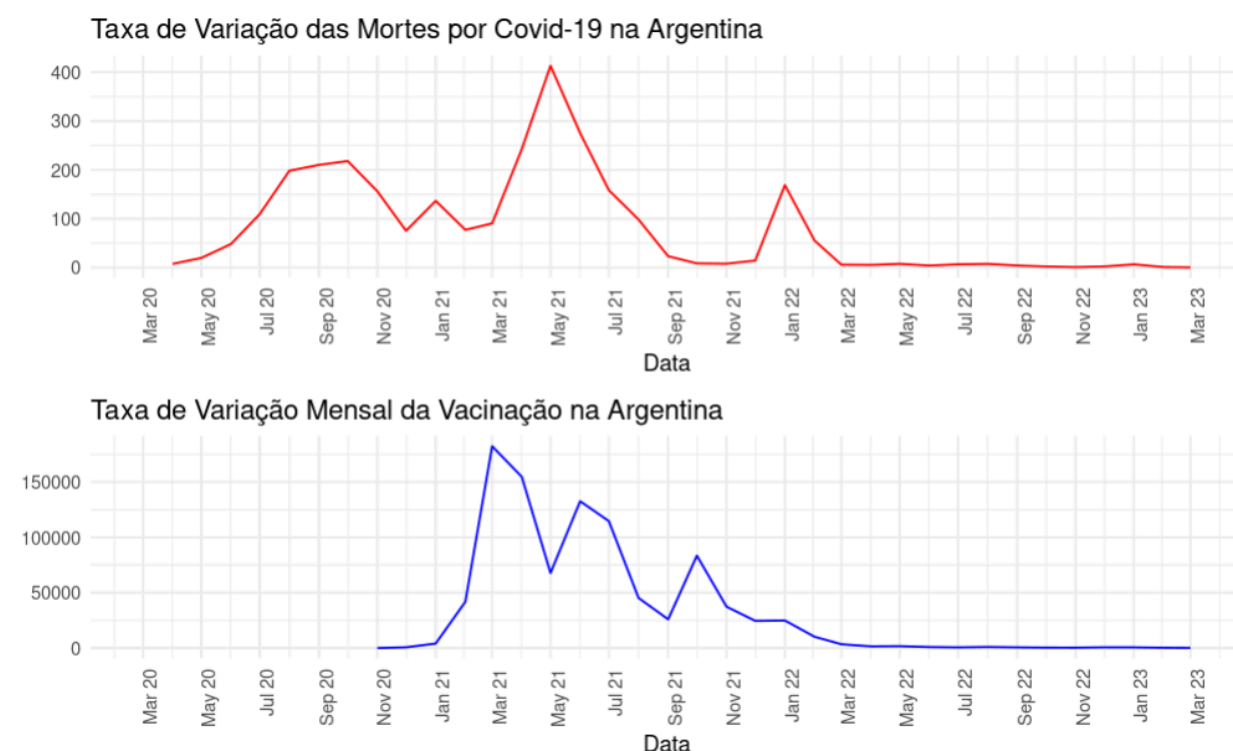


*Imagem 11 - Boxplot do número total de mortes dos países até 2024*

Os quatro maiores outliers correspondem ao Peru, Bulgária, Bósnia e Herzegovina e Hungária, respectivamente, sendo o primeiro com um valor de mortes 3,14x maior que a Argentina.

### Correlação entre a Taxa de Vacinação e a Taxa de Mortalidade na Argentina

Quando a comparação entre a taxa de mortalidade e a taxa de vacinação total na Argentina é feita, nota-se padrões que se correlacionam ao longo do período de março de 2020 (quando a primeira morte foi observada) a março de 2023, três anos depois.

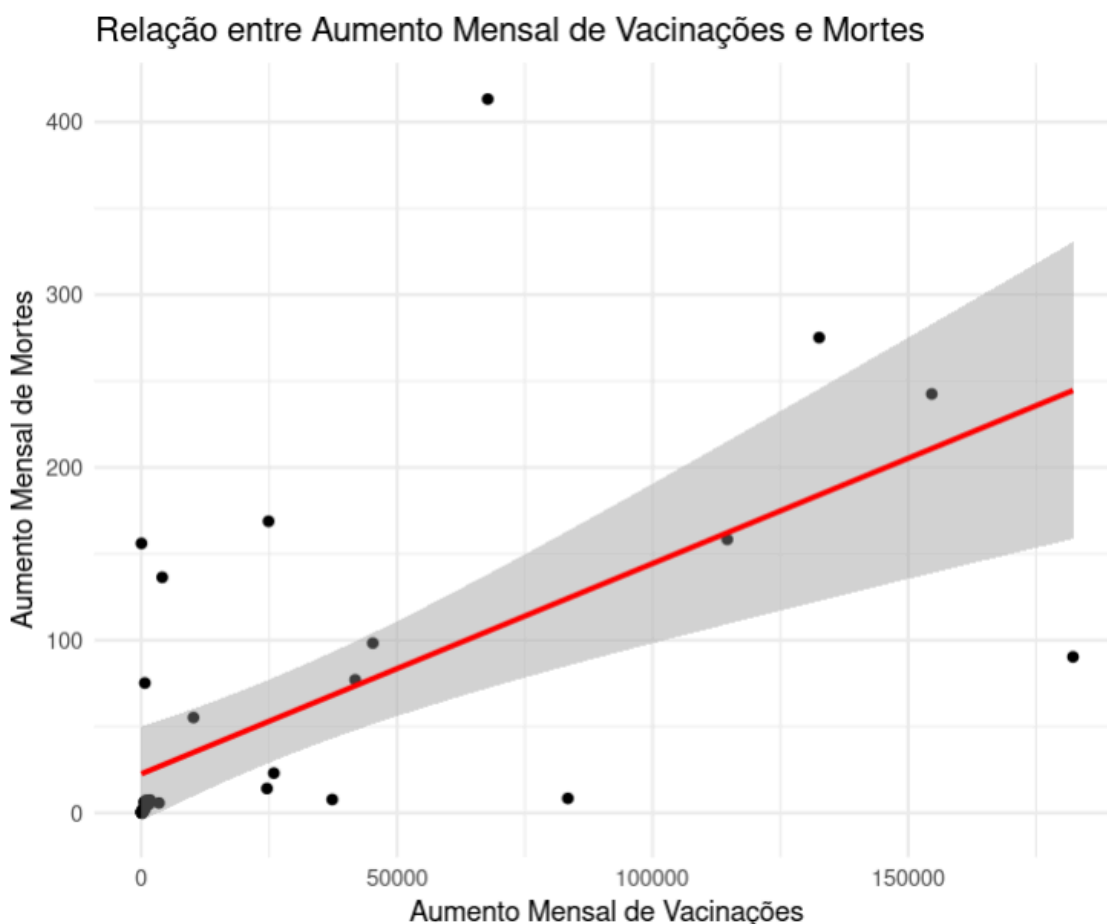


*Imagem 12 - Comparação entre as Taxas Mensais de Vacinação e Mortalidade*

Após o início das vacinações, o primeiro pico observado foi em março de 2021, com um imediato e brusco declínio em abril e maio. De maneira inversamente proporcional, nesse mesmo período houve um crescimento no número de mortes, chegando ao ápice de variação de 400 mortes por milhão entre março e maio.

Com o crescimento das vacinações após maio, nota-se um declínio nas taxas mensais de mortes, que caíram até dezembro de 2021, quando houve um segundo pico após as vacinações, com um aumento de quase 150 óbitos por milhão. Por outro lado, as vacinações, que iam caindo desde outubro, passaram a ser constantes entre dezembro e janeiro.

Apesar de apresentarem uma inclinação contrária em certos momentos, o perfil de ambas as taxas assimila-se em outros, exibindo crescimento e declínios juntos. Elas apresentam um coeficiente de correlação de Pearson de 0,61, mostrando que cresceram juntas.



*Imagem 13 - Modelo de Regressão Linear das Taxas de Vacinação e Mortalidade*

O modelo de regressão linear das taxas mostra que para cada aumento de uma unidade no número de vacinações mensais, o aumento esperado no número de mortes mensais é de aproximadamente 0.001217. Este coeficiente é altamente significativo, com p-valor igual a 0.0000338, sugerindo uma correlação positiva significativa entre as variáveis. No entanto, é importante notar que o R-quadrado é de 37,55%, o que significa que uma parte substancial da variação no aumento mensal de mortes não é explicada pelo aumento mensal de vacinações.

O decréscimo das taxas de vacinação corresponde ao mesmo período em que a vacinação total estabilizou, ou seja, quando mais de 90% da população já havia se vacinado. A diminuição concomitante das taxas de mortalidade pode ser uma resposta positiva à cobertura vacinal quase completa no país.

Além disso, uma outra explicação para o crescimento conjunto de ambas as taxas pode ser justificado à adesão maior à vacinação em momentos de agravamento dos óbitos, seja pelo aparecimento de novas variantes do vírus ou por flexibilização das outras medidas de controle adotadas pelo governo.

## Conclusões

### Resumo da Análise

A análise examina a correlação entre a taxa de vacinação e a taxa de mortalidade por COVID-19 na Argentina ao longo de três anos, de março de 2020 a março de 2023. Os dados utilizados foram fornecidos pela equipe do Our World in Data, compilados a partir de fontes oficiais da Organização Mundial da Saúde (OMS).

A vacinação iniciou-se lentamente a partir de dezembro de 2020, evoluindo gradualmente até estabilizar a partir de 2022. Mais de 90% da população argentina recebeu a vacinação completa, com uma distribuição variada entre diferentes faixas etárias. A faixa etária de 15 a 24 anos apresentou a maior taxa de vacinação relativa, seguida pelas crianças de 5 a 14 anos e os adultos de 25 a 64 anos. Ainda assim, o teste de Kruskal-Wallis indica que as proporções são estatisticamente semelhantes entre os diferentes grupos.

Em 2021, o número de mortes por COVID-19 aumentou rapidamente até o meio do ano, quando a vacinação já estava em andamento, seguido por uma desaceleração na segunda metade do ano. No início de 2022, as mortes voltaram a aumentar, mas estabilizaram a partir de então.

A análise revelou uma correlação positiva entre as taxas de vacinação e mortalidade, com um coeficiente de correlação de Pearson de 0.61, indicando que, em geral, ambas cresceram juntas em certos períodos. Picos de vacinação foram seguidos por picos de mortalidade, e vice-versa, sugerindo um comportamento inversamente proporcional em certos momentos, mas também apresentando tendências de crescimento e declínio simultâneos em outros.

O modelo de regressão linear indicou uma relação significativa entre o aumento mensal de vacinações e o aumento mensal de mortes. O coeficiente da vacinação foi positivo e significativo, sugerindo que aumentos na vacinação estavam associados a aumentos nas mortes naquele período específico. No entanto, essa correlação pode ser influenciada por outros fatores não analisados no modelo, como a implementação de medidas de controle, novas variantes do vírus, e o comportamento da população. Assim, não é possível assumir que as mortes são geradas por vacinas.

### Conclusões finais

Evidencia-se uma correlação complexa entre a vacinação e a mortalidade por COVID-19 na Argentina. Embora a vacinação tenha sido crucial para controlar a pandemia, os dados indicam que aumentos na vacinação coincidiram com períodos de alta mortalidade, o que pode ser explicado por diversos fatores, incluindo surtos de variantes mais agressivas e flutuações na adesão a outras medidas de controle. Portanto, é essencial considerar um contexto mais amplo ao interpretar os resultados, e não atribuir causalidade direta apenas à relação observada entre vacinação e mortes.

## Referências

BBC News Brasil. **Como Argentina passou de elogiada a um dos países com mais casos de covid-19 no mundo.** [s.d.]. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese>.

BRECHJE DE GIER et al. **Effect of COVID-19 vaccination on mortality by COVID-19 and on mortality by other causes, the Netherlands, January 2021- January 2022.** Vaccine, 1 jun. 2023.

European Medicines Agency. **Update on treatments and vaccines against COVID-19 under development.** Disponível em: <https://www.ema.europa.eu/en/news>.

Organização Mundial de Saúde. **Organização Mundial de Saúde declara pandemia do novo Coronavírus.** Disponível em: <https://www.unasus.gov.br/noticia>.

Organização Pan-Americana da Saúde. **Histórico da pandemia de COVID-19 - OPAS/OMS.** Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19>.

ROSER, M.; RITCHIE, H. **Coronavirus Disease (COVID-19).** Our World in Data, v. 1, n. 1, 4 mar. 2020.

THE WORLD BANK. **The Economic Impacts of the COVID-19 Crisis.** Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2022/brief/chapter-1-introduction-the-economic-impacts-of-the-covid-19-crisis>.