

# **Minimização do total de óbitos por Covid- 19 na cidade de Belo Horizonte**

- Antonio Anunciação**
- Hebert Costa**

**Engenharia de Sistemas – Pesquisa Operacional**  
**Universidade Federal de Minas Gerais**

# O problema:

- Dada uma quantidade de doses de vacinas disponíveis, qual a melhor estratégia de vacinação para minimizar o impacto do Covid-19?

# O Covid-19:

- A letalidade do covid-19 é intrinsecamente relacionada ao estado de saúde do paciente, se este carrega alguma doença crônica, se tem idade avançada e etc...

# Fatores determinantes na letalidade

- Comorbidades:
  - Câncer
  - Diabetes
  - Doenças Cardíacas
  - Doenças Respiratórias Crônicas
  - Hipertensão
- Idade avançada

# Modelo:

$$f^*(X) = \min f(X) \qquad f(X) = \sum_i f_i(X_i)$$

$f(X)$ : Total de óbitos

$f_i(X_i)$ : Total de óbitos por faixa etária

$X_i$ : Total de pessoas vacinadas por faixa etária

# Modelo:

$$f_i(X_i) = \gamma_i(Q_i - X_i)$$

$$\gamma_i = a_i A + b_i B + c_i C + d_i D + e_i E + F_i$$

Restrições: 
$$\begin{cases} \sum_i X_i \leq V_T \\ X_i \geq 0 \\ X_i \leq Q_i \\ X_i \in \mathbb{Z} \end{cases}$$

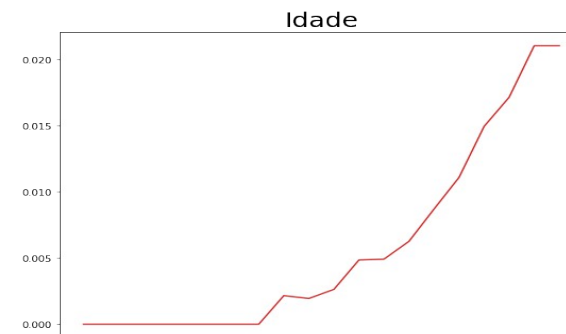
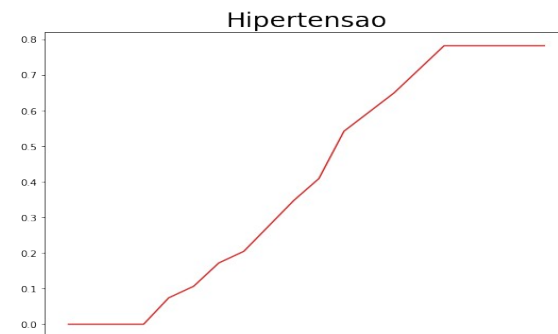
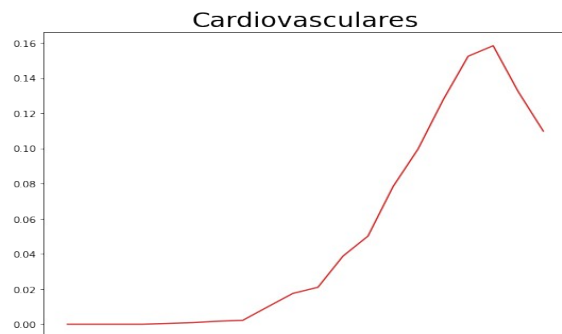
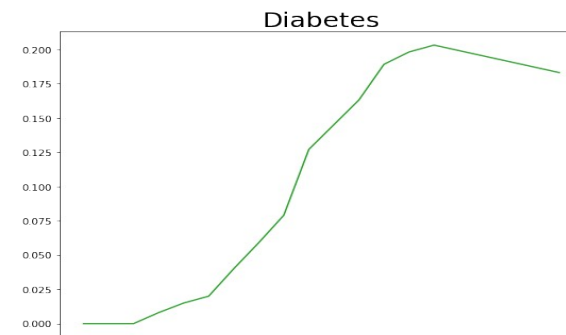
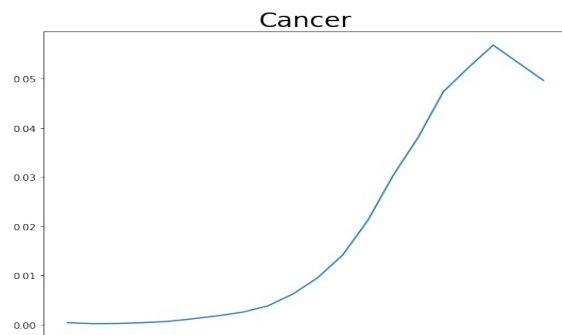
$V_T$ : Quantidade total de vacinas disponíveis

$Q_i$ : Quantidade total de pessoas por faixa etária

# Letalidade por cormobidades:

<b>A</b>	Câncer	0.076
<b>B</b>	Doenças Respiratórias	0.080
<b>C</b>	Diabetes	0.092
<b>D</b>	Doenças Cardiovasculares	0.132
<b>E</b>	Hipertensão	0.084

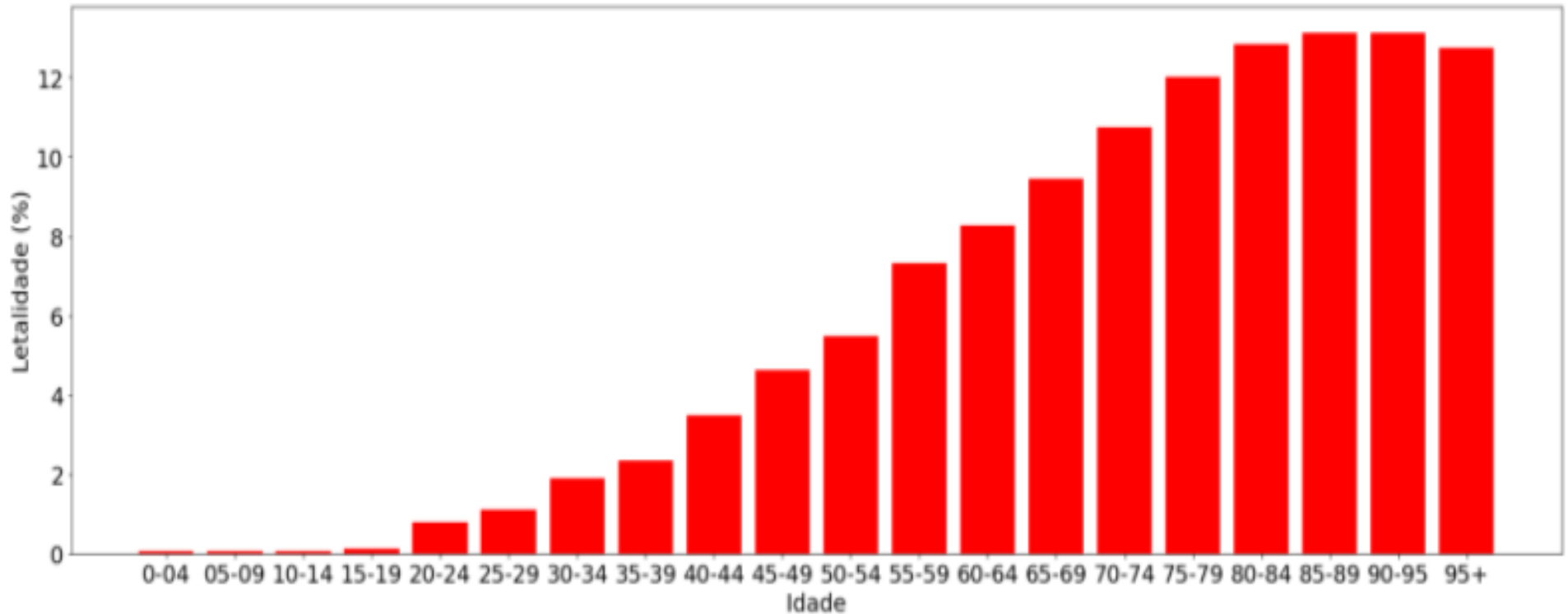
# Incidencias das comorbidades:



Fonte nas referencias

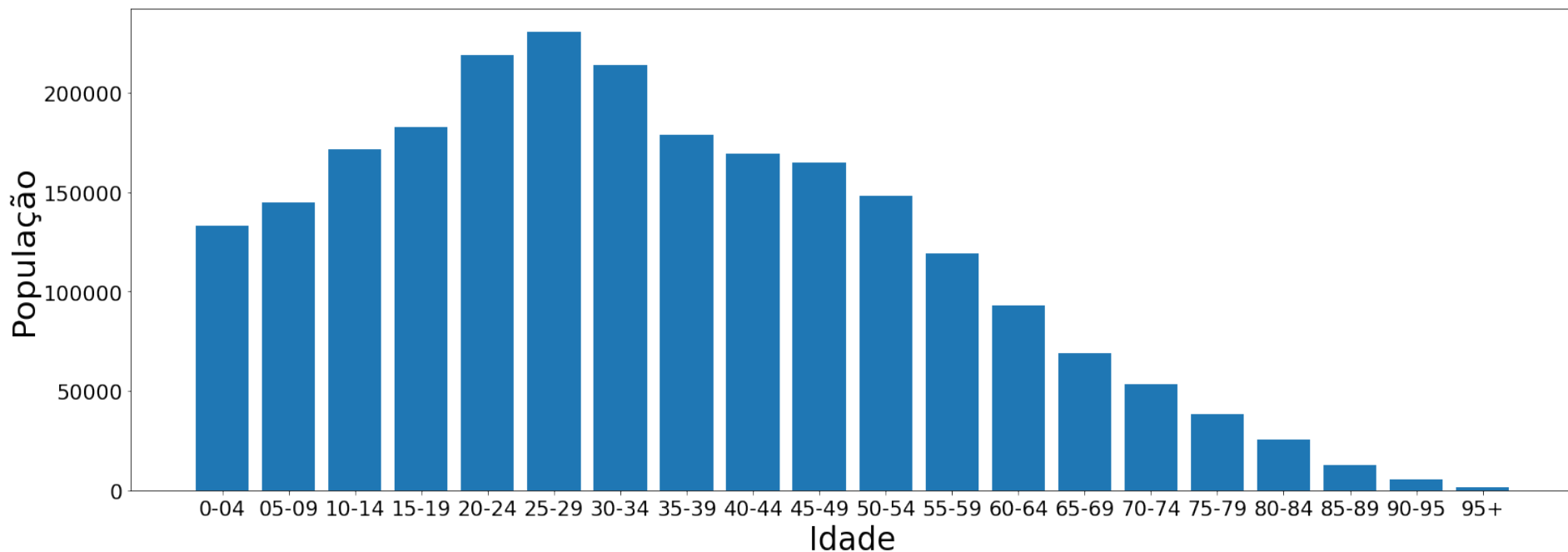


# $\gamma_i$ - Letalidade por faixa etária



# População de Belo Horizonte:

Distribuição da idade por faixa etária



Dados: Censo 2010

# Metodologia:

- Problema:
  - Programação Linear Inteira (PLI)
- Solução:
  - Branch and Cut via cplex (python)

# Modelo cplex:

```
1 # Definindo a função objetiva:
2 def objFunction(x):
3     y = 0
4     for i in range(0, len(populacao)):
5         alpha = np.dot(incidencia[i,], comorbidade.transpose())
6         y = y + alpha*(populacao[i]-x[i])
7     return y
```

- Função Objetiva

```
1 # Definindo as equações de restrições
2 modelo.add_constraint(sum(x) <= max_vacina)
3 for i in range(0, len(populacao)):
4     modelo.add_constraint(x[i] >= 0)
5     modelo.add_constraint(x[i] <= populacao[i])
```

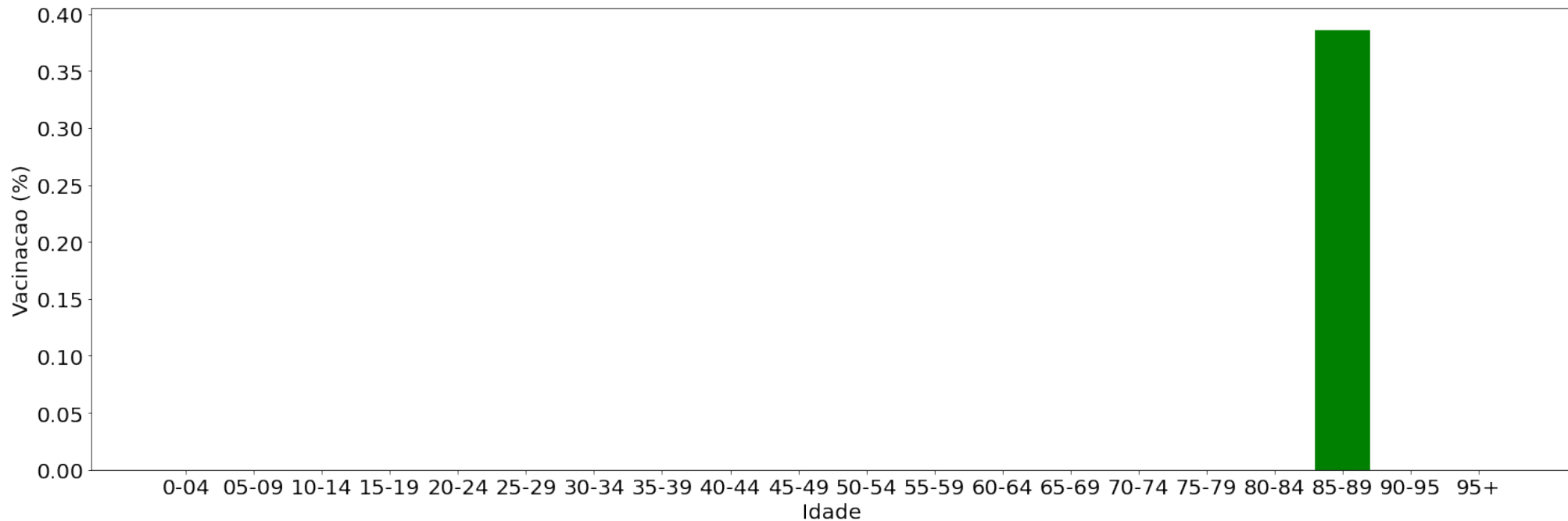
- Restrições

```
1 # Modelo:
2 modelo.minimize(objFunction(x))
```

- Minimização da Função Objetiva

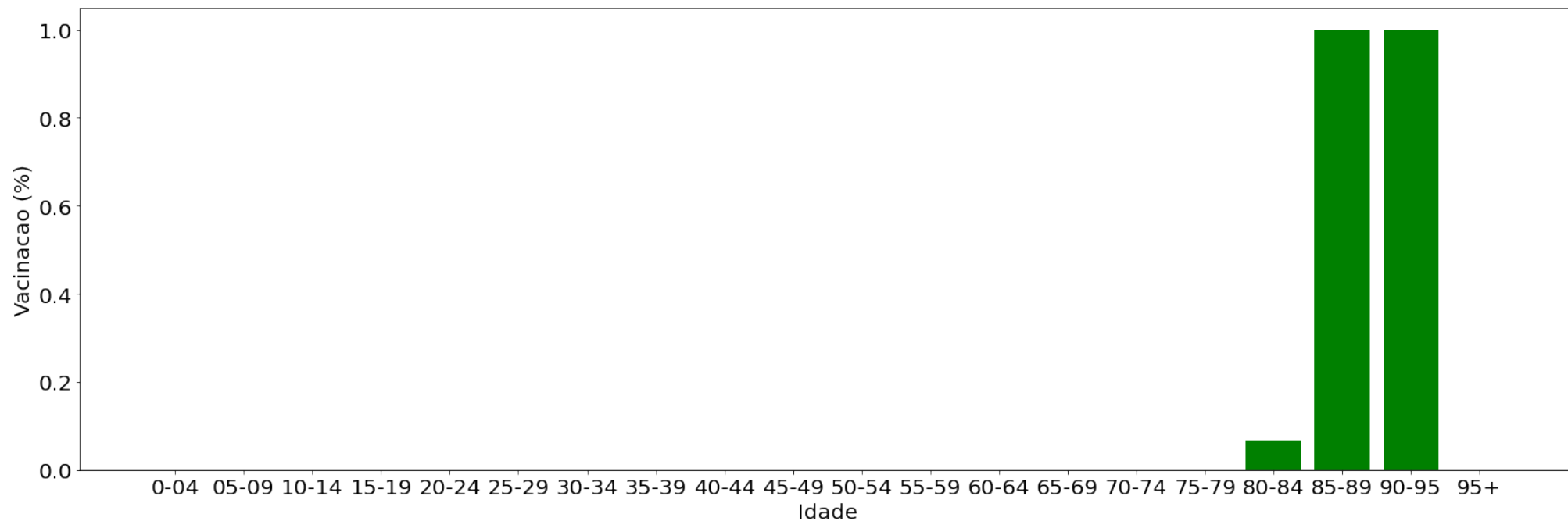
# Resultados:

Doses:5000, 73009 mortos.



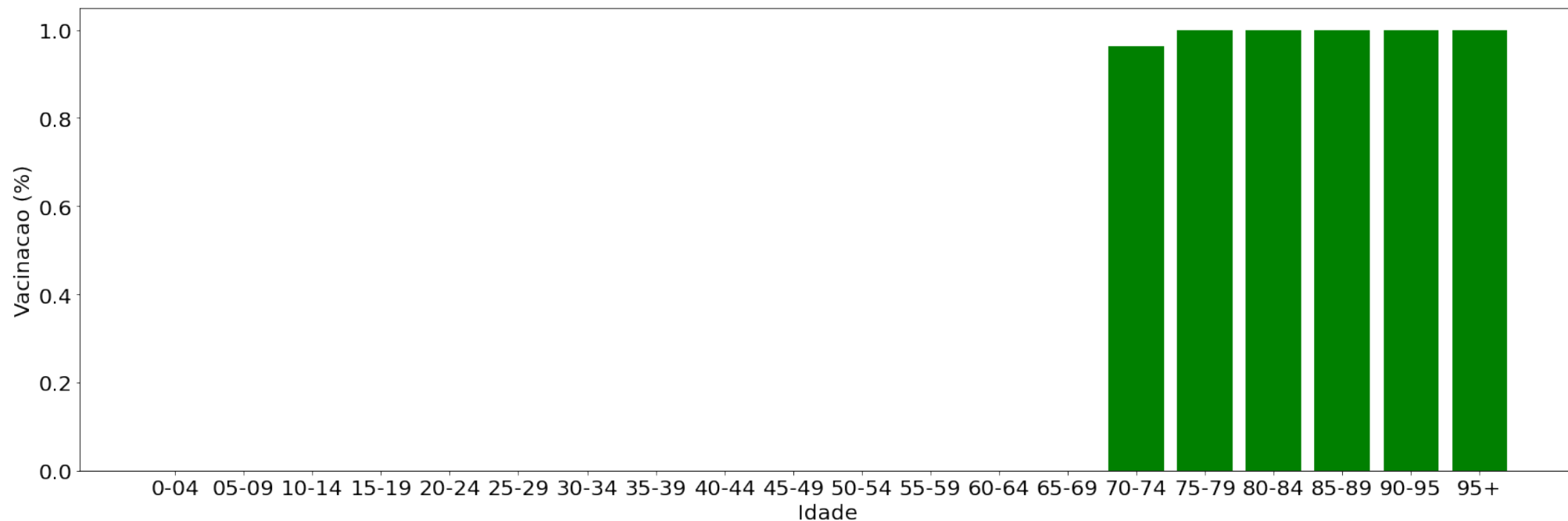
# Resultados:

Doses:20000, 71045 mortos.



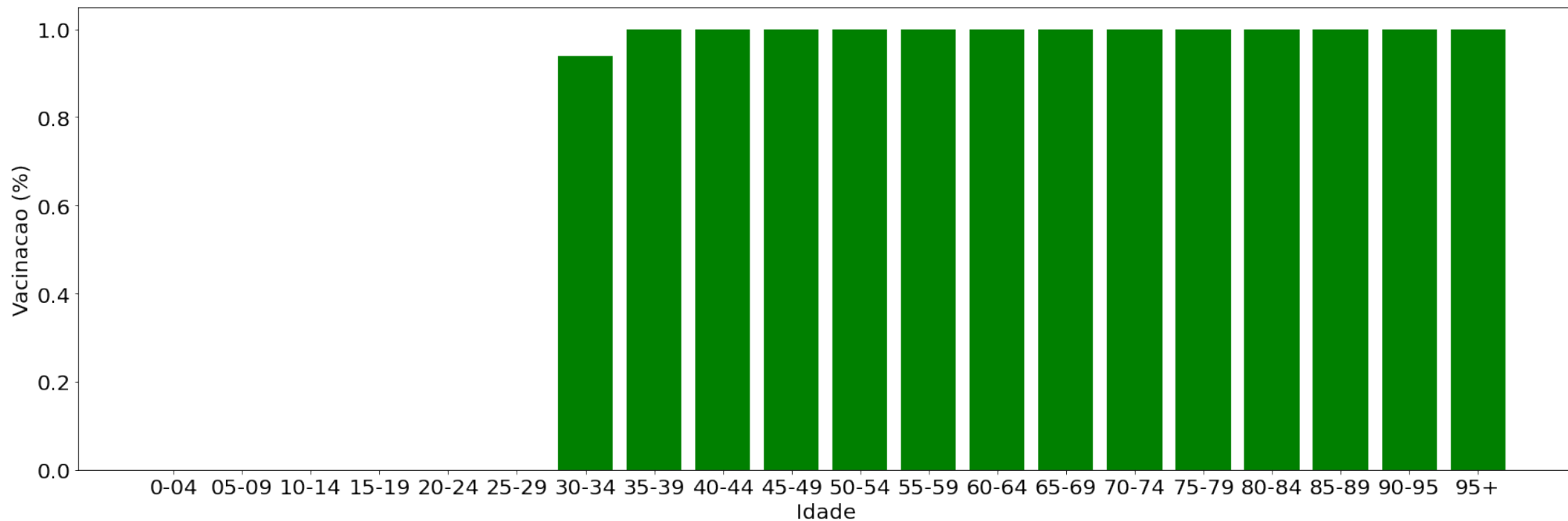
# Resultados:

Doses:135000, 57667 mortos.



# Resultados:

Doses:1280000, 4929 mortos.





# Discussão:

- O que os resultados nos mostram?
  - *Com base nos resultados do modelo podemos inferir que a estratégia de vacinação por grupos de idade é a mais eficiente para minimizar as perdas pelo Covid-19.*
  - *O modelo nos mostra que existe um grupo prioritário dentro da faixa etária 85-89 anos dentre os mais idosos.*
  - *O modelo também mostra que para grupos infantis existe aquelas que apresentam maior fragilidade a doença, que são as da faixa etária de 0 a 9 anos, onde a maior incidência de problemas respiratórios na infância, embora esse risco seja extremamente baixo,, ainda sim dentro dos grupos infantis é o de maior risco.*

# Discussão:

- O que pode ser melhorado?
  - *Fazendo uma comparação entre as taxas de letalidades apresentadas pelo modelo, e as taxas reais indicadas nas referencias do trabalho, o modelo sobredimensiona a letalidade para algumas faixas etárias, principalmente as adultas. Isso se deve as correlações entre as taxas de incidencias das comorbidades por idade, ou seja, em geral quem apresenta alguma das comorbidades tendem a apresentar outras.*
  - *Usar um modelo estatístico que leve em consideração as correlações entre as taxas de incidencias de cada uma das comorbidades para o calculo da taxa de letalidade.*

# Referencias:

- covid-19: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>
- Cardiovascular\_disease: <https://www.cureus.com/articles/36728-global-epidemiology-of-ischemic-heart-disease-results-from-the-global-burden-of-disease-study>
- Chronic\_respiratory\_disease: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-790X2020000100421](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2020000100421)
- Diabetes: <https://www.diabetesresearchclinicalpractice.com/action/showPdf?pii=S0168-8227%2819%2931230-6>
- hypertension: [https://www.researchgate.net/publication/292678578\\_Hypertension\\_and\\_Aging](https://www.researchgate.net/publication/292678578_Hypertension_and_Aging)
- Cancer: <https://www.cancerresearchuk.org/health-professional/cancer-statistics/incidence/age#heading-Zero>
- Jupyter: <https://github.com/antonioanunciacao/Pesquisa-Operacional>