

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS**

**ARACELI HUBERT RIBEIRO**

**EPIDEMIOLOGIA ECONÔMICA: TEORIA E EVIDÊNCIAS**

**Porto Alegre**

**2021**

**ARACELI HUBERT RIBEIRO**

**EPIDEMIOLOGIA ECONÔMICA: TEORIA E EVIDÊNCIAS**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Giácomo Balbinotto Neto.

**Porto Alegre**

**2021**

### CIP - Catalogação na Publicação

Ribeiro, Araceli Hubert  
Epidemiologia Econômica: Teoria e Evidências /  
Araceli Hubert Ribeiro. -- 2021.  
98 f.  
Orientador: Giacomio Balbinotto Neto.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade  
de Ciências Econômicas, Curso de Ciências Econômicas,  
Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Economia da saúde. 2. Epidemiologia econômica.  
3. Políticas públicas de saúde. 4. Vacinação. 5.  
Elasticidade-prevalência. I. Neto, Giacomio Balbinotto,  
orient. II. Título.

**ARACELI HUBERT RIBEIRO**

**EPIDEMIOLOGIA ECONÔMICA: TEORIA E EVIDÊNCIAS**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Economia.

Aprovada em: Porto Alegre, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2021.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Giácomo Balbinotto Neto – Orientador  
UFRGS

---

Prof. Dr. Sérgio Marley Modesto Monteiro  
UFRGS

---

Prof. Dr. Cristiano Aguiar de Oliveira  
FURG

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao professor Dr. Giácomo Balbinotto Neto, pela orientação ao longo deste trabalho, pela compreensão e paciência com as adversidades que surgiram ao longo deste ano e por toda a atenção e ajuda prestada nas nossas diversas reuniões.

Agradeço também a minha mãe, professora Dra. Tania Maria Hubert Ribeiro que sempre acreditou em mim e moldou a minha formação como ser humano e como estudante, a pessoa que mais investiu na minha educação e sempre me incentivou a continuar estudando. Apesar de todos os seus desafios pessoais, sempre foi presente e me ajudou quando mais precisei.

Agradeço a toda minha família e amigos pelo suporte e auxílio dado ao longo deste período, e ao meu namorado, Julian Eschenröder, que me incentivou a sempre dar o meu melhor, mesmo nos momentos mais difíceis.

## RESUMO

As doenças infecciosas representam um problema de saúde pública que atinge todos os países em graus diferentes. O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão teórica e empírica da epidemiologia econômica buscando analisar as suas implicações para a saúde pública e as suas diferenças para a epidemiologia tradicional. A epidemiologia econômica é a abordagem econômica de doenças infecciosas que abrange aspectos como o comportamento humano e a sua dinâmica dentro de uma epidemia. Esta abordagem surgiu com o contexto da epidemia da AIDS na década de 1980, buscando encontrar explicações para a dinâmica da doença na sociedade. Através da análise teórica e das evidências empíricas apresentadas na literatura, o trabalho pretende identificar a importância da abordagem econômica para doenças infecciosas e as suas principais contribuições. Foi visto ao longo do trabalho que a análise econômica tem muito a contribuir para a melhoria da condução das epidemias através da introdução de aspectos não considerados pela epidemiologia tradicional nos modelos epidemiológicos e na formulação de políticas. Ademais, a epidemiologia econômica, busca também ilustrar o poder da análise econômica para iluminar o comportamento não mercado. De acordo com as evidências encontradas, concluiu-se que o comportamento humano é essencial para a análise de doenças infecciosas, pois ele altera a trajetória de uma epidemia conforme ela é observada pelos indivíduos e se modifica com a intervenção de políticas públicas, fazendo necessária a análise deste *feedback* para a formulação de políticas públicas ótimas. O trabalho apresenta que a maneira e o grau que os indivíduos respondem a prevalência de uma doença infecciosa serve como um guia para a aplicação apropriada de políticas públicas. As evidências sugerem que a elasticidade-prevalência é positiva, contrapondo a abordagem tradicional da epidemiologia onde a elasticidade-prevalência é considerada igual a zero. A elasticidade-prevalência positiva implica que os indivíduos demandam autoproteção, apresentando uma mudança comportamental, de acordo com a percepção de uma maior prevalência de doenças infecciosas na população.

**Classificação no JEL:** I12. I18. I19.

**Palavras-Chave:** Economia da Saúde. Epidemiologia Econômica. Economia das Doenças Infecciosas. Políticas Públicas de Saúde. Vacinação. Elasticidade Prevalência.

## **ABSTRACT**

Infectious diseases are a public health problem that affects all countries to varying degrees. The objective of this work is to carry out a theoretical and empirical review of economic epidemiology seeking to analyze its implications for public health and its differences for traditional epidemiology. Economic epidemiology is the economic approach to infectious diseases that analyzes human behavior and its dynamics within an epidemic. This approach emerged in the context of the AIDS epidemic in the 1980s, seeking to find explanations for the dynamics of the disease in the society. Through theoretical analysis and empirical evidence presented in the literature, the work aims to identify the relevance of the economic approach to infectious diseases and their main contributions. It was seen throughout the work that economic analysis has much to contribute to improving the management of epidemics through the introduction of aspects not considered by traditional epidemiology in epidemiological models and in the formulation of policies. Furthermore, economic epidemiology also seeks to illustrate the power of economic analysis to illuminate non-market behavior. According to the evidence found, it was concluded that human behavior is essential for the analysis of infectious diseases, as it alters the trajectory of an epidemic as it is observed by individuals and changes with the intervention of public policies, making necessary the analysis of this feedback for the formulation of optimal public policies. The work shows that the way and the degree to which individuals respond to the prevalence of an infectious disease serves as a guide for the appropriate application of public policies. Evidence suggests that prevalence elasticity is positive, contrasting the traditional approach to epidemiology where prevalence elasticity is considered to be equal to zero. The positive prevalence elasticity implies that individuals demand self-protection, presenting a behavioral change according to their perception of a higher prevalence of infectious diseases in the population.

**JEL Classification:** I12. I18. I19.

**Keywords:** Health Economics. Economic Epidemiology. Economics of Infectious Diseases. Public Health Policies. Vaccination. Prevalence Elasticity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Taxa de incidência global de malária, tuberculose e HIV/AIDS.....	20
Figura 2: Percentual de pessoas com tuberculose e seus domicílios enfrentando custos catastróficos.....	21
Figura 3: Mortes causadas por doenças evitáveis por vacina no Brasil (2017).....	23
Figura 4: Prevalência, novos casos e mortes por HIV/AIDS, Brasil, 1990 – 2017.....	23
Figura 5: Custo epidemiológico e econômico de doenças com gravidade variante.....	33
Figura 6: Relação recíproca entre autoproteção e prevalência da doença.....	34
Figura 7: Taxa de risco e de prevalência estimadas para HIV na cidade de São Francisco, 1983 – 1992.....	38
Figura 8: Subsídio Pigouviano para vacinação contra a gripe.....	40
Figura 9: Modelo espacial SIR.....	44
Figura 10: versão alterada da figura 6, incluindo o efeito da vacina.....	48
Figura 11: Concordância média de que os sujeitos foram vacinados para proteger outros jogadores.....	55
Figura 12: Demanda conjunta por sexo de risco.....	61
Figura 13: Predição epidemiológica versus predição econômica da incidência da AIDS – transversal.....	63
Figura 14: Predição epidemiológica versus predição econômica da incidência da AIDS - série temporal.....	64
Figura 15: Taxas de uso de preservativos por estado e quartil de prevalência de HIV.....	67
Figura 16: Taxas diferenciais de vacinação contra o sarampo por prevalência em todo o estado para bebês nascidos em 1986.....	74
Figura 17: Taxas diferenciais de vacinação contra o sarampo por prevalência em todo o estado para bebês nascidos em 1989.....	75
Figura 18: Total mensal de mortes por 100 mil habitantes em no estado de São Paulo (janeiro de 1917 - dezembro de 1919).....	81
Figura 19: Novos casos diários confirmados de COVID-19 por milhão de pessoas – Estados Unidos(A), Reino Unido(B), Israel(C), Portugal(D), Alemanha(E) e Brasil(F).....	83
Figura 20: Relação recíproca entre autoproteção e prevalência da doença.....	84
Figura 21: Fronteira - economia vs. vidas perdidas.....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores da elasticidade-prevalência .....	36
Tabela 2: Exemplificação de um jogo 2x2 .....	50
Tabela 3: Exposição do dilema do prisioneiro .....	51
Tabela 4: Os indivíduos acreditam que as máscaras protegem apenas outros e não conferem autoproteção .....	52
Tabela 5: Os indivíduos acreditam que as máscaras só protegem quem as utilizam .....	53
Tabela 6: Estimativas de risco proporcional para a covariável de prevalência com variação no tempo.....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIDS	.....	Acquired immunodeficiency syndrome (síndrome da imunodeficiência adquirida)
EP	.....	Elasticidade-prevalência
HIV	.....	Human immunodeficiency virus (vírus da imunodeficiência humana)
INFs	.....	Intervenções não farmacêuticas
MMR	.....	Measles, mumps and rubella (sarampo, caxumba e rubéola)
SIR	.....	Suscetíveis, Infectados e recuperados
WHO	.....	World Health Organization (Organização Mundial da Saúde)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 EPIDEMIOLOGIA ECONÔMICA</b> .....	26
2.1 O CASAMENTO ENTRE ECONOMIA E EPIDEMIOLOGIA .....	26
2.2 ELASTICIDADE PREVALÊNCIA .....	34
2.3 VACINAÇÃO .....	38
2.4 MODELO SIR .....	42
2.5 DECISÕES ESTRATÉGICAS E DOENÇAS INFECCIOSAS .....	48
<b>3 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS E APLICAÇÕES</b> .....	57
3.1 A EPIDEMIA DA AIDS .....	57
<b>3.1.1 Modelagem do comportamento sexual de risco</b> .....	58
<b>3.1.2 Principais diferenças entre predições econômicas e epidemiológicas</b> .....	62
<b>3.1.3 Estudos de casos para a AIDS</b> .....	65
3.2 A EPIDEMIA DO SARAMPO .....	70
<b>3.2.1 Modelo</b> .....	71
<b>3.2.2 Dados e implicações para subsídios</b> .....	73
3.3 ASPECTOS HISTÓRICOS DA PANDEMIA DA GRIPE ESPANHOLA .....	78
3.4 ANÁLISE DOS DADOS DA PANDEMIA DA COVID-19 .....	81
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	87
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	91
<b>APÊNDICE A</b> .....	95

# 1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é o de realizar uma revisão teórica e empírica sobre um novo campo da economia da saúde, a epidemiologia econômica, a qual busca estudar as doenças infecciosas com o intuito de avaliar epidemias com base no comportamento humano e nos custos diretos e indiretos destas doenças.

O trabalho se propõe a apresentar uma revisão teórica e empírica da literatura, especialmente estudos econométricos e algumas evidências empíricas sobre epidemiologia econômica. Serão estudados ao longo do trabalho os principais fundamentos desta área que, apesar de estar em sua infância, mostrou ter muito o que contribuir para a melhoria da saúde pública através de suas análises e implicações para a formulação de políticas de saúde pública. Para explicar a evolução das doenças infecciosas e epidemias na sociedade, visando a melhor gestão da saúde pública, serão apresentadas questões complementares ao longo do trabalho, como: o que é epidemiologia; o que é epidemiologia econômica, quais seus principais pressupostos e implicações; quais são as evidências empíricas dos principais estudos conduzidos até o momento? Quais são os custos sociais e privados de uma epidemia? Em que medida uma epidemia é autolimitante através de mudanças voluntárias no comportamento? Os modelos epidemiológicos tradicionais levam em conta os incentivos privados para fazer aquelas mudanças? Qual o valor e as implicações da elasticidade-prevalência das diversas epidemias? Por que o valor da elasticidade prevalência é importante para a formulação de políticas públicas em saúde no combate a epidemias? Qual o papel das vacinas no combate a epidemias? O que podemos aprender com as experiências históricas sobre as pandemias, especialmente com a de 1918? Como os modelos de epidemiologia econômica podem ajudar a explicar as ondas de incidência de uma epidemia como a da COVID-19? Haveria muito mais questões a se tratar sobre o tema, contudo, neste trabalho iremos nos limitar a alguns aspectos, especialmente aqueles relacionados aos aspectos microeconômicos, embora os aspectos macroeconômicos sejam igualmente importantes, mas aqui, serão deixados de lado, podendo ser tratados em um trabalho futuro. Uma breve exemplificação dos aspectos macroeconômicos se encontra no apêndice do trabalho.

Ao longo do trabalho será avaliada a utilidade dos modelos econômicos aplicados a doenças infecciosas e como eles podem auxiliar na gestão e na formulação de políticas de saúde

pública, especialmente para o entendimento da evolução da prevalência<sup>1</sup> e incidência<sup>2</sup> deste tipo de doença.

A relação entre epidemiologia e economia se torna mais clara com o esclarecimento de certos conceitos que mostram como estas duas áreas podem se complementar e tornar o estudo de epidemias mais direcionado e assertivo.

De acordo com Bonita *et al.*, (2010), uma doença infecciosa (ou transmissível) pode ser definida como:

“(...) aquela causada pela transmissão de um agente patogênico específico para um hospedeiro suscetível. Agentes infecciosos podem ser transmitidos para humanos diretamente, de outros humanos ou animais infectados, ou indiretamente, através de vetores, partículas aéreas ou outros veículos. Os vetores são insetos ou animais que carregam o agente infeccioso de pessoa para pessoa. Veículos são objetos ou elementos contaminados (tais como, roupas, talheres, água, leite, alimentos, sangue, plasma, soluções parenterais ou instrumentos cirúrgicos).” (Bonita *et al.*, 2010, p. 117).

É importante diferenciar as doenças infecciosas das contagiosas:

“Doenças contagiosas são aquelas que podem ser transmitidas pelo toque, contato direto entre os seres humanos, sem a necessidade de um vetor ou veículo interveniente. A malária é, portanto, uma doença transmissível, mas não contagiosa, enquanto o sarampo e a sífilis são tanto transmissíveis quanto contagiosas.” (Bonita *et al.*, 2010, p. 117).

Ademais, de acordo com os autores, a área da medicina conhecida como epidemiologia pode ser definida como:

“(...) o estudo da distribuição e dos determinantes de estados ou eventos relacionados à saúde em populações específicas, e sua aplicação na prevenção e controle dos problemas de saúde.” (Bonita *et al.*, 2010, p. 2).

Desta forma, a epidemiologia econômica é a relação entre o comportamento preventivo e a prevalência da doença, focada nas causas econômicas e consequências epidemiológicas da disseminação de doenças infecciosas que afetam a saúde pública. Ou seja, o comportamento econômico dos indivíduos afeta o curso de uma doença infecciosa em uma população, podendo trazer consequências indesejadas no nível individual e coletivo. Desta maneira, a economia utiliza conceitos pouco explorados pela abordagem clássica de doenças infecciosas dentro do campo epidemiológico (Perrings *et al.*, 2014).

---

<sup>1</sup> A prevalência é a proporção ou porcentagem de uma população infectada por uma doença em um dado período, considerando novos casos e casos já existentes (Bhattacharya *et al.*, 2013).

<sup>2</sup> A incidência de uma doença é uma medida da ocorrência de novos casos durante um período especificado em uma população em risco de ter a doença (Bhattacharya *et al.*, 2013).

As doenças infecciosas merecem um estudo a parte da economia de saúde pública, isto se dá devido a uma característica única das doenças infecciosas que as tornam particularmente difíceis de analisar: o fato de elas serem transmitidas de pessoa para pessoa. Com isto, o comportamento individual se torna central dentro da epidemiologia econômica, especialmente pelo fato de que as escolhas individuais feitas sobre tratamento e prevenção impactam outros indivíduos. Em diversas situações há uma discrepância entre escolhas consideradas ótimas pelo indivíduo e as escolhas consideradas ótimas em nível coletivo. O impacto das escolhas individuais em outros é um conceito muito utilizado na economia, conhecido como externalidade<sup>3</sup>. Devido a esse conceito tão central na economia do bem-estar, a abordagem econômica tem o potencial de contribuir muito para a compreensão de como o comportamento humano afeta as doenças infecciosas e qual é o papel governamental no controle destas doenças (Hauck, 2018).

A epidemiologia econômica se apoia no comportamento racional das pessoas que busca maximizar o bem-estar individual com base em incentivos, restrições e informações que chegam a elas. A importância dada a dinâmica do comportamento humano dentro de uma epidemia traz novas explicações para o entendimento de doenças infecciosas. Esta abordagem econômica será estudada ao longo do trabalho, visando mostrar a relevância deste novo campo de estudo que aproxima estas duas áreas. Como destacaram Phillipson e Posner (1993, p.7), a epidemiologia econômica, busca também ilustrar o poder da análise econômica para iluminar o comportamento não mercado, que é um pouco afastado dos objetos de análise convencional da economia. Segundo Phillipson e Posner (1993, p.8), os modelos epidemiológicos padrões, de um modo geral, exageravam em suas previsões sobre o crescimento das doenças contagiosas, tais como a AIDS, a qual é transmitida principalmente através do comportamento voluntário. Assim, a economia pode ser utilizada para aumentar o poder preditivo e explanatório de tais modelos. O principal ponto e crítica aos modelos epidemiológicos convencionais, ainda segundo Phillipson e Posner (1993, p.9), é que os modelos falhavam em não considerar a importância dos incentivos na modelagem das respostas privadas tanto com relação as doenças comunicáveis, como com relação aos programas que buscam controlá-las. A razão disto, segundo os autores, por exemplo, com relação a AIDS, era a falha em reconhecer que o aumento na prevalência de uma doença é (com certas qualificações) o equivalente a um aumento no

---

<sup>3</sup> Externalidades são efeitos colaterais de decisões sobre aqueles que não participaram delas. Quando indivíduos não contabilizam os efeitos de suas ações, sobre outros indivíduos, surge a manifestação de externalidades e desta forma se cria uma justificativa para a intervenção governamental (Gersovitz e Hammer, 2003).

preço do comportamento que cria o risco de contrair a doença, induzindo a uma resposta comportamental que iria limitar uma maior disseminação da mesma.

O estudo das epidemias contagiosas, segundo Phillipson e Posner (1993, p.5), está baseado no pressuposto de que o mercado para atividades que criam o risco de contrair uma doença infecciosa (como o contato com uma pessoa infectada) é muito semelhante a outros mercados que os economistas estudam. Aqui, as trocas de contato são referidas no sentido econômico padrão na qual uma atividade como sendo mutuamente benéfica para as pessoas nela engajadas. Assim, no caso das doenças contagiosas, é assumido, também, que as pessoas iriam tomar medidas ótimas para se ajustar ao risco da infecção, especialmente a prevalência da doença, como veremos no capítulo 2.

A área da epidemiologia econômica começou a ser desenvolvida juntamente com a pandemia de HIV/AIDS, na década de 1980, quando uma dimensão econômica foi adicionada aos modelos epidemiológicos clássicos utilizados para traçar o curso de um surto viral. Como o HIV se espalha principalmente por meio de relações sexuais, as decisões das pessoas em relação ao contato sexual têm um impacto claro na propagação do HIV, assim como na propagação de outras doenças. Os indivíduos tomam diversas decisões que podem impactar a propagação de doenças, como por exemplo, o quão frequentemente lavam as mãos, se evitam sair de casa, se evitam o contato com pessoas possivelmente infectadas, se se testam para determinadas doenças, dentre outros. A forma que os agentes tomam decisões são das mais diversas. A modelagem destes comportamentos, que são tratados como centrais dentro da epidemiologia econômica, tem o papel de auxiliar as autoridades de saúde pública a alterar o curso de uma epidemia, impondo, por exemplo, restrições para os indivíduos com o intuito de reduzir os custos econômicos, sociais e sanitários durante uma epidemia. Dentro da epidemiologia econômica a taxa de transmissão do vírus é tratada como uma variável endógena, variável no tempo (McAdams, 2020).

Segundo Phillipson e Posner (1993, p.3), a ideia que uma doença contagiosa pudesse ser abordada do ponto de vista econômico havia recebido pouca atenção. Assim, a abordagem econômica das doenças contagiosas, busca examinar as respostas públicas e privadas referentes a doenças contagiosas, de um ponto de vista da teoria econômica, enfatizando as respostas do comportamento humano a mudanças nos incentivos. Isto significa, segundo eles, por exemplo, tratar as escolhas individuais como sendo uma decisão racional no sentido de que os indivíduos respondem aos incentivos, neste caso, a prevalência da doença. Além disso, a epidemiologia econômica pode ser usada para prever e avaliar os efeitos das políticas públicas referentes,

por exemplo, a AIDS, tais como subsídios para pesquisa médica, educação com relação a AIDS, distribuição subsidiada de preservativos etc.

Este ponto com relação ao comportamento racional merece ser mais detalhado. Aqui seguimos a argumentação de Phillipson e Posner (1993, p. 1-10). Assim, para melhor compreendermos a epidemiologia econômica, parece ser plausível assumirmos que a “escolha racional”, na análise econômica não implica necessariamente um comportamento consciente, deliberado ou informado. Na maioria das versões, segundo eles, uma escolha é racional se ela maximizar a utilidade esperada, onde a utilidade diz respeito ao bem-estar subjetivo do indivíduo, e esperado, devido a presença da incerteza, a qual faz com que a escolha possa ser possivelmente ruim. Segundo eles, a racionalidade implicaria que os meios se adequariam aos fins (*suiting means to ends*), quaisquer que sejam estes fins. Assim, devemos ter claro, segundo os autores, que a teoria econômica da escolha racional, seria uma fonte de explicações e predições referentes ao comportamento, que incluiria o comportamento com relação aos perigos de uma doença contagiosa.

O pressuposto da racionalidade para a epidemiologia econômica, segundo Phillipson e Posner (1993, p. 9) implica na escolha baseada na melhor estimativa da natureza, magnitude e probabilidade das consequências das alternativas entre as quais um indivíduo pode escolher na tentativa de maximizar sua utilidade. Ainda segundo eles, os epidemiologistas, por exemplo, na predição do crescimento futuro ou no declínio de uma doença, abstraem o elemento de vontade (*volitional element*) – qual seja, a decisão de se engajar ou não num comportamento potencialmente transmissível, que os economistas, por sua vez, esperam que venha a ter um aspecto central no crescimento ou declínio até uma vacina ou cura ser desenvolvida. Assim, o modelo econômico das epidemiologias, chamado também de modelo de epidemia racional, implica estimativas menos alarmantes com relação ao futuro do crescimento das doenças contagiosas, do que posto pelos modelos epidemiológicos, dado que um crescente risco de infecção levaria aos indivíduos racionais a substituir as atividades ariscadas, fazendo então, com que a doença fosse autolimitante.

As doenças infecciosas são um grande motivo de preocupação dentro da saúde pública por estarem entre as dez maiores causas de mortes no mundo. O impacto e a sobrecarga que elas geram nos sistemas de saúde, especialmente de países pobres, apenas reforça a necessidade de encontrar maneiras rápidas e eficientes para controlar as epidemias. A sobrecarga dos sistemas de saúde acontece, normalmente, devido ao grande número de indivíduos afetados e

às dificuldades em providenciar prevenção adequada, diagnóstico e outros cuidados de saúde (WHO, 2018 a).

A maioria dos países afetados por doenças infecciosas, especialmente as comunicáveis, ainda encontram dificuldades para controlar as epidemias. Em 2017, por exemplo, foi estimado que 10 milhões de pessoas contraíram tuberculose (WHO, 2018 b) e mais de 9 milhões de pessoas com HIV não sabem que estão infectadas e, por isso, não estão recebendo tratamento (WHO, 2019). A última estimativa feita sobre o custo de doenças, como HIV e tuberculose, revela que elas não estão diminuindo suficientemente rápido e os números continuam altos, como apresentado nas figuras 1 e 4.

Ainda que doenças infecciosas representem um grande desafio nos países mais pobres, elas também são prevalentes em muitos países de renda média. Terminar com epidemias requer mudanças nos sistemas de saúde, mas também necessita alcançar além do setor da saúde para, assim, lidar com a gestão dos fatores de risco e determinantes das doenças (WHO, 2018 a). Doenças infecciosas são uma das maiores causas de mortalidade e morbidade no mundo, e mesmo assim, tentativas de quantificar o custo epidemiológico e econômico de certas doenças, que afetam significativamente países pobres, ainda é difícil. Os dados de efetividade e custo-efetividade de intervenções em epidemias são limitados (Worrall *et al.*, 2004).

A necessidade de um agente infectante e um hospedeiro humano para ocorrer uma infecção são princípios básicos da epidemiologia que já estão há muito tempo consolidados. Porém, apenas recentemente foi dada a devida atenção ao comportamento do hospedeiro como sendo crucial para o processo. Por exemplo, a demanda de prevenção da pessoa não infectada pode afetar a sua tomada de decisão referente a fatores de localização geográfica, meio social e informações de saúde, bem como a demanda por bens e serviços preventivos. A teoria econômica mostra como esses comportamentos econômicos podem alterar o curso da epidemia enquanto ela ocorre. Os economistas usam os princípios econômicos para enriquecer a sua compreensão (Folland *et al.*, 1994).

A epidemiologia por si só é o estudo do padrão de propagação de doenças (patologias). Como explicado anteriormente, a contribuição da economia para a epidemiologia se dá no reconhecimento que as pessoas mudam seu comportamento em resposta a possibilidade de contrair uma patologia. A compreensão de como as pessoas reagem à propagação de uma doença contagiosa auxilia a fazer estimativas mais precisas dos custos de uma doença, a prever o seu possível padrão de propagação, e a criar políticas que limitem efetivamente o sofrimento

que uma doença causa em todos os seus sentidos. Quando a tendência de proteção individual é ignorada, as políticas públicas adotadas para combater doenças se tornam menos eficazes do que antecipado (Bhattacharya *et al.*, 2013).

Como visto anteriormente, a epidemiologia econômica surge inicialmente como um foco da relação entre comportamento preventivo dos indivíduos (entendidos estes como sendo agentes racionais) e prevalência de doenças. Mais recentemente, foi discutida no que se refere às causas econômicas e consequências epidemiológicas do número e tipo de contato com outros indivíduos que as pessoas fazem. Isto é, os fatores econômicos por trás do contato de risco entre pessoas e de decisões que fazem parte do mecanismo de transmissão de doenças. Esta abordagem provê, então, um maior entendimento da dinâmica de doenças epidêmicas e um conjunto de formas de gestão de doenças que tem como alvo o contato ou a probabilidade do contato levar a infecções (Perrings *et al.*, 2014). Com isso, a alta mortalidade causada por doenças infecciosas assegura que pesquisas na área possam providenciar uma melhor compreensão na forma como doenças se espalham e a maneira que indivíduos e instituições podem controlá-las. Neste contexto, deduz-se que a economia tem um papel importante na decisão de melhores métodos para combater epidemias. A importância se dá pela compreensão dos padrões de ocorrência de doenças infecciosas e a avaliação de intervenções públicas no contexto de uma sociedade com indivíduos que fazem o melhor que podem dadas as suas restrições (Philipson, 2000).

Assim, a importância do estudo se dá em função da aplicação abrangente que conecta diversas áreas, como saúde, economia, alocação de recursos, epidemiologia e saúde pública. O estudo procura entender a maneira como os recursos podem ser corretamente utilizados para promover tanto a saúde pública quanto a questão custo-benefício para a sociedade. A importância não se dá somente na questão da saúde pública de um modo mais geral, analisando outros custos, mas também, a aplicação direta dos modelos que buscam explicar a evolução de doenças como HIV/AIDS, febre amarela, sarampo e no momento atual a Covid-19, bem como outras doenças infecciosas que afetam a saúde pública. Desta forma, é importante avaliar quais são as abordagens mais adequadas e pertinentes para lidar com doenças e como o curso delas é definido pelo comportamento da população, para assim, compreender os benefícios de certas ferramentas para o estudo de tais doenças.

Apesar de doenças infecciosas representarem uma grande parte da causa de mortalidade no mundo inteiro, não existe uma quantidade considerável de pesquisas analisando as doenças infecciosas sob uma perspectiva econômica. Contudo, a avaliação de medidas de saúde pública

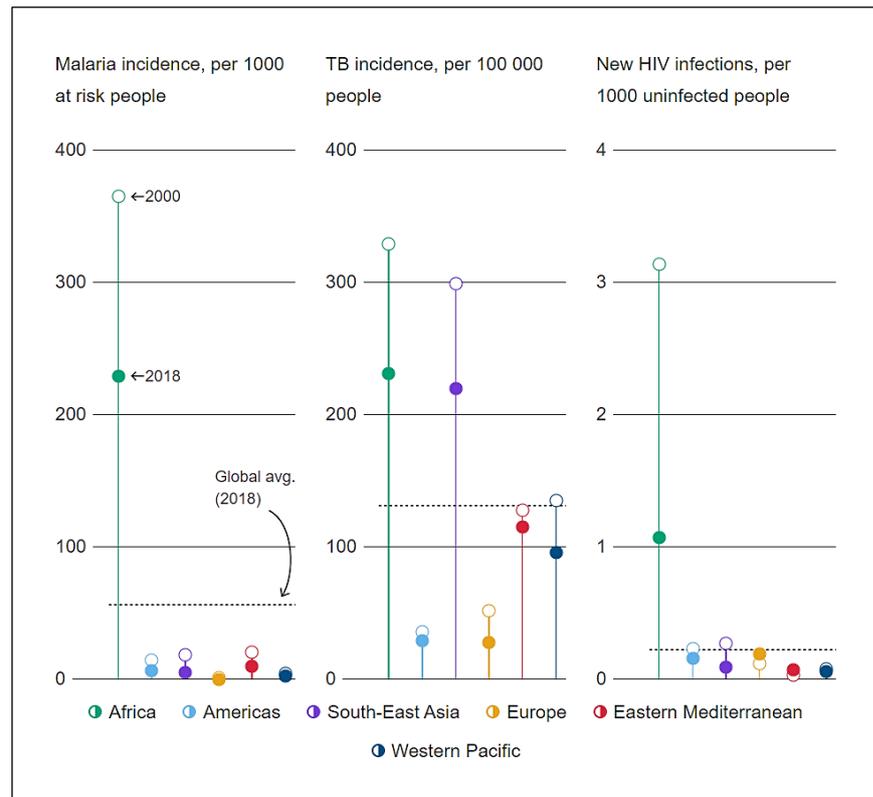
sob um ponto de vista econômico é particularmente importante, já que análises econômicas separam os efeitos de políticas públicas das decisões privadas (Philipson, 2000).

Para contextualizar melhor o papel das doenças infecciosas na sociedade quanto aos aspectos econômicos e de saúde pública, serão apresentados alguns fatos estilizados relacionado ao tema deste trabalho. Desta forma pode-se ver mais claramente como a epidemiologia econômica pode ser inserida nesse contexto e para quais questões procura contribuir.

#### **a) Fato 1: Doenças infecciosas entre as maiores causas de morte no mundo**

Doenças infecciosas como Malária, Tuberculose e AIDS/HIV estão há anos dentro da lista de maiores causas de morte no mundo. Dentre todos os continentes, o africano é o que mais sofre com estas doenças de uma forma desproporcional. Apesar dos grandes avanços no combate ao HIV, o declínio do número de casos não é suficientemente rápido para acabar com a epidemia até o ano de 2030 e atingir o objetivo de Desenvolvimento Sustentável da Organização Mundial da Saúde. Ainda são necessárias intervenções, principalmente em populações de alto risco, que são marginalizadas e discriminadas, contabilizando 54% de novas infecções por HIV no ano de 2018. A tuberculose, por exemplo, é a líder em causa de morte por um único agente infeccioso desde 2007, quando ultrapassou a AIDS. Intervenções contra malária auxiliaram na redução da sua incidência de 81 casos por 1000 populações em risco para 57 casos num intervalo de dezoito anos, porém não houve mais progresso desde 2014 (WHO, 2020a; WHO, 2020b).

Figura 1: Taxa de incidência global de malária, tuberculose e HIV/AIDS



Fonte: WHO World Health Statistics 2020.

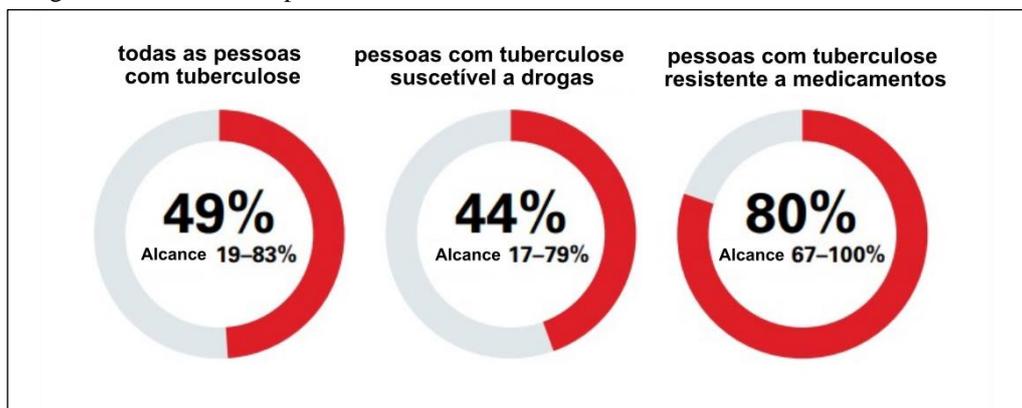
Pode-se ver na Figura 1 como a incidência destas doenças é extremamente elevada no continente africano, comparativamente a outros continentes, mesmo mostrando uma diminuição desde os anos 2000. Desta forma, se justifica a preocupação em buscar maneiras eficientes de combater tais patologias em um ritmo mais acelerado, especialmente em populações mais pobres onde não existem tantos recursos e que sofrem há décadas com epidemias de doenças graves.

#### **b) Fato 2: Aumento nos gastos com saúde decorrentes de doenças contagiosas**

Desde o ano de 2015, 17 países participaram de uma pesquisa de custos enfrentados por pacientes com tuberculose. Em média, 49% das pessoas com tuberculose tiveram um custo médio considerado catastrófico relacionado ao tratamento da doença e suas consequências (>20% da renda anual por casa), com valor mínimo de 19% e máximo de 83% nos 17 países. A epidemia da tuberculose é fortemente influenciada pelo desenvolvimento social e econômico. O objetivo global de diminuir o número de mortes por tuberculose em 90% até 2030 somente será possível se todos que desenvolverem a doença tiverem acesso a tratamento de saúde de

alta qualidade. Apesar de melhoras no índice de cobertura de serviços, a proporção geral da população que enfrenta riscos catastróficos em saúde aumentou nos últimos anos, de 9,4% em 2010 para 12,7% (927 milhões de pessoas) em 2015. Os países na categoria mais alta de gastos catastróficos com saúde ( $\geq 15\%$  da população geral) incluem aqueles que se classificam em primeiro (Índia) e em terceiro (China) em termos de seu número total de casos de tuberculose, bem como cinco outros países com altas taxas de tuberculose: Bangladesh, Brasil, Camboja, Nigéria e Serra Leoa (WHO, 2020a; WHO, 2020b).

Figura 2: Percentual de pessoas com tuberculose e seus domicílios enfrentando custos catastróficos



Fonte: WHO World Health Statistics 2020.

Com base em 17 pesquisas nacionais concluídas desde 2015. O número no centro de cada círculo é o número médio acumulado em todas as pesquisas; a faixa é o valor mínimo e máximo nos 17 países.

### c) Fato 3: Dificuldade no controle de epidemias

Apesar de doenças infecciosas serem uma das maiores causas de mortes no mundo, especialmente em países em desenvolvimento, a última doença infecciosa a ser erradicada foi a varíola em 1980 (Geoffard e Philipson, 1997).

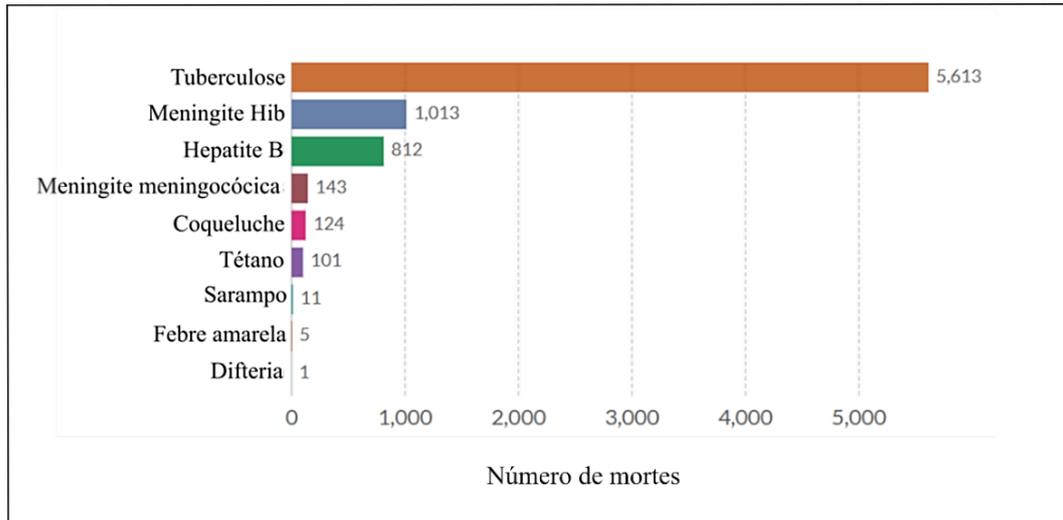
A erradicação requer uma grande cooperação internacional. Alguns países podem estar inclinados a eliminar a doença dentro de suas fronteiras, se forem assegurados que todos os outros países farão o mesmo. A questão do financiamento internacional também é importante neste caso, dado que o problema de *free-ride*<sup>4</sup> pode ocorrer com países preferindo ser financiados do que financiar. Se a erradicação falhar, o dinheiro investido é desperdiçado. Se tiver êxito, todos irão receber o lucro (Hauck, 2018).

<sup>4</sup> Uma pessoa é considerada *free-rider* quando consome um bem público e se recusa a pagar, ou seja, não contribui, pois, assume que outros o farão. Somente o governo tem o poder de obrigar o consumidor a pagar para o problema de *free-ride* não ocorrer (Folland *et al.*, 1994).

Do lado epidemiológico e organizacional há vários princípios-chave inerentes a uma campanha de erradicação ou eliminação: a necessidade de intervir em todos os lugares em que a doença ocorre, não importa o quão remotamente localizados ou de difícil acesso sejam; a importância de monitorar a doença-alvo e a extensão das intervenções de perto; a necessidade de flexibilidade e urgência em resposta ao monitoramento contínuo e pesquisa operacional; e a necessidade de um foco intenso no objetivo de interromper a transmissão da doença-alvo, mesmo quando os custos por caso aumentam drasticamente à medida que o número de casos diminui. Diversos obstáculos são enfrentados no combate a epidemias, as dificuldades comuns enfrentadas por tais campanhas incluem insegurança política esporádica ou generalizada em áreas onde a doença é endêmica, financiamento inadequado ou atrasado e os desafios de motivar funcionários, profissionais de saúde e populações afetadas (Hopkins, 2013).

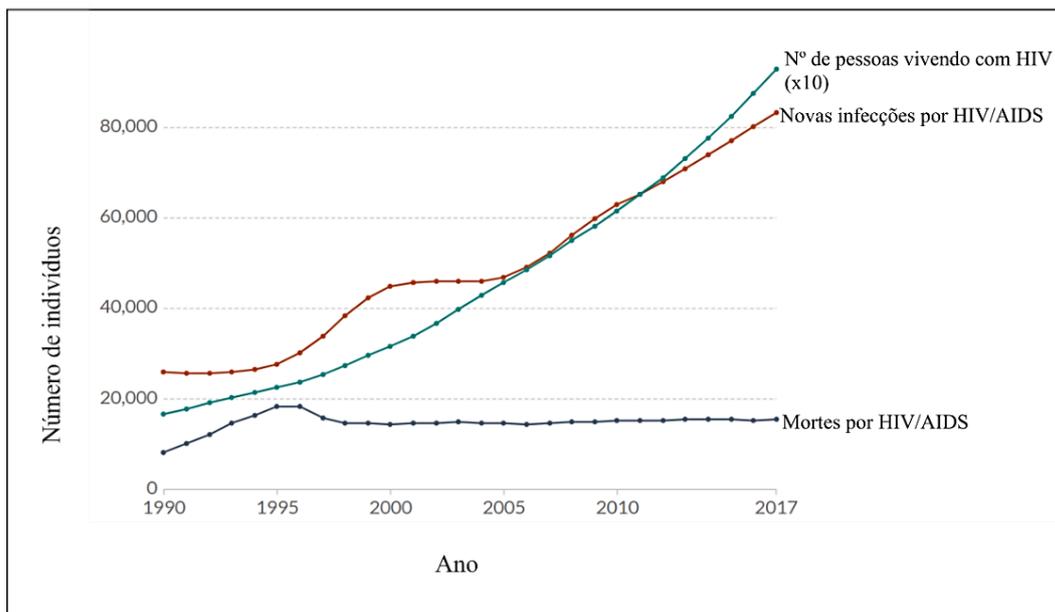
O Brasil é um exemplo de país que apresenta ainda altos níveis de incidência anual por HIV/AIDS, apesar de todos os esforços governamentais no combate à epidemia. Pode-se verificar na figura 3 e 4 como as doenças infecciosas ainda representam uma quantidade significativa de mortes no Brasil, mesmo entre as doenças preveníveis por vacina. Analisando é possível ver que apesar do número de mortes por HIV/AIDS estar estagnado no Brasil, ainda representa uma quantidade preocupante, especialmente se for observado que o número de novas infecções está aumentando consideravelmente a cada ano. Ainda, o número de pessoas vivendo com HIV/AIDS também está em constante aumento devido a utilização de antirretrovirais cada vez mais eficazes, porém fazendo com que os gastos financeiros com tais medicamentos seja alto no Brasil. Assim, através dos dados expostos, é possível analisar que o controle epidemiológico se mostra insuficiente no Brasil, fazendo com que doenças infecciosas ainda sejam um motivo de altos custos sociais e financeiros para o país.

Figura 3: Mortes causadas por doenças evitáveis por vacina no Brasil (2017)



Fonte: Adaptação de IHME, (2018).

Figura 4: Prevalência, novos casos e mortes por HIV/AIDS, Brasil, 1990 – 2017



Fonte: Adaptação de IHME, (2018).

Para caberem todas as medidas dentro da figura, o número total de pessoas vivendo com HIV foi dividido por 10.

Ademais, qualquer avaliação de uma política de erradicação de doenças dependerá crucialmente da maneira como as externalidades são consideradas. Isso ocorre porque um dos principais benefícios de um programa de erradicação é a eliminação dos custos de prevenção de doenças no futuro. Para a população atual, a erradicação nunca é ideal, já que os custos

marginais da vacinação eventualmente superam os benefícios de novas reduções na prevalência da doença, criando, assim, mais um empecilho (Philipson, 2000).

A partir dos fatos apresentados, pode-se visualizar melhor o contexto em que o trabalho se insere. Analisando o primeiro fato, fica claro a participação das doenças infecciosas dentro das dez maiores causas de morte no mundo, fazendo com que seja uma grande preocupação, especialmente em países em desenvolvimento, onde o combate a estas doenças está sendo intensificado, mas não em um ritmo suficientemente rápido para que diminuam consideravelmente em um futuro próximo.

O segundo fato estilizado põe em evidência os elevados custos que doenças infecciosas impõem sobre famílias, demonstrando de fato o quão custosas essas patologias podem se tornar, fazendo com que muitos indivíduos tenham gastos catastróficos com o tratamento. Desta maneira, a disparidade socioeconômica também acaba por transparecer, já que muitas doenças infecciosas estão fortemente atreladas ao subdesenvolvimento e a pobreza.

O terceiro e último fato está relacionado a questões de saúde pública, a dificuldade em controlar epidemias e as diversas dimensões que tornam a eliminação e a erradicação muitas vezes inviáveis, tanto pelo lado epidemiológico quanto pelo organizacional. A combinação de forças deve ser sincronizada e os altos custos aceitos, em um nível global, para que as epidemias encontrem um fim.

Desta forma, o trabalho será composto por mais três capítulos, além desta introdução. No capítulo a seguir serão vistos os conceitos e principais pressupostos da epidemiologia econômica que contribuem para diversas questões dentro da saúde pública, como: a relevância da utilização do conceito de racionalidade dentro dos modelos epidemiológicos; como a percepção da prevalência de doenças infecciosas altera o comportamento humano; como podemos analisar as doenças infecciosas utilizando conceitos da economia; e subsídios e políticas públicas para vacinação.

No terceiro capítulo, serão estudadas, mais a fundo, evidências empíricas acerca de doenças infecciosas que foram analisadas dentro da ótica da epidemiologia econômica, pelos principais autores da área. Os conceitos então explicados no segundo capítulo serão melhor exemplificados e aplicados dentro das evidências que serão apresentadas.

A conclusão será apresentada no quarto e último capítulo, ilustrando as considerações finais do estudo e tendo como base as informações e os argumentos apresentados nos capítulos anteriores.

De modo evidente, não serão abordados todos os aspectos da epidemiologia econômica ao longo do trabalho, especialmente por ser um assunto que atualmente ganhou muita visibilidade decorrente da pandemia da Covid-19 e, por isso, muitos aspectos novos estão sendo ainda pesquisados no momento. O foco do trabalho é introduzir o tema e mostrar aspectos relevantes para pesquisas futuras. O trabalho se propõe a discutir os aspectos microeconômicos envolvendo a teoria da epidemiologia econômica, ou seja, questões que envolvem comportamento racional, responsividade (elasticidade) a prevalência de doenças e externalidades de vacinação. Também serão discutidos alguns aspectos históricos no que diz respeito a epidemias e suas evidências empíricas, para que possamos fazer previsões eficientes do futuro com base no estudo do passado.

Finalizando esta introdução, iremos ver nos próximos dois capítulos, como nos alertam Phillipson e Posner (1993, p. 223-224), que a epidemiologia econômica pode melhorar as predições e prescrições dos profissionais médicos e de saúde pública, o que inclui os epidemiologistas. A epidemiologia econômica melhora as hipóteses testáveis bem como propõe novas visões que parecem contraintuitivas. O que iremos ver a seguir é apenas um resumo que busca mostrar, que a perspectiva econômica da dinâmica das doenças contagiosas é relevante para doenças como a AIDS, sarampo e atualmente para a COVID-19, procurando evidenciar o poder da análise econômica para explicar um fenômeno social que ocorre fora dos mercados. Ou seja, a análise econômica das epidemias importa, e seria um erro não as levar em conta, tanto por epidemiologistas como por formuladores de políticas de saúde pública.

## 2 EPIDEMIOLOGIA ECONÔMICA

O objetivo deste capítulo será definir como a epidemiologia é vista dentro da economia e dos seus princípios. Para isso serão apresentados conceitos de epidemiologia e economia e questões envolvendo a economia comportamental aplicada a epidemiologia visando uma melhor compreensão do tema e, também, expondo a importância dos objetivos que podem ser atingidos com o trabalho em conjunto pelas duas áreas. Estas definições serão apresentadas para explicitar de forma mais clara a importância dos conceitos econômicos quando utilizados dentro da epidemiologia e como eles podem beneficiar o desenvolvimento de ações ao combate de doenças infecciosas.

### 2.1 O CASAMENTO ENTRE ECONOMIA E EPIDEMIOLOGIA

De acordo com McAdams (2020), Bhattacharya et al., (2013), Folland *et al.*, (1994) e Philipson (2000), uma epidemia analisada através da abordagem econômica é definida como aquela cuja propagação através da população é gerada pelo comportamento endógeno dos agentes (indivíduos). O comportamento humano, como visto anteriormente, é um dos temas centrais da epidemiologia econômica, especialmente o que diz respeito a racionalidade por trás deste comportamento.

O termo comportamento racional nem sempre fica claro, fazendo com que seja erroneamente associado a certas definições. De acordo com Becker (1962), para muitos, a palavra racional sugeriria relação com a área da psicologia ou, até mesmo, um comportamento que era considerado irreal, afinal o ser humano não compreende todas as consequências de todas as atitudes que toma, e, às vezes, nem todos os motivos envolvidos na sua decisão. Porém, o termo comportamento racional apenas implica uma maximização da utilidade do indivíduo, ou seja, o ser humano agindo de forma racional tenta maximizar seu bem-estar através das ferramentas que tem. Por “racionais”, os economistas querem dizer que, ao pesar as escolhas, os indivíduos usam todas as informações relevantes disponíveis e pesam os benefícios e custos de escolhas específicas com base nessas informações. A racionalidade não exige que uma pessoa seja onisciente, capaz de prever com precisão os resultados de cada escolha (Sloan e Hsieh, 2012). Ademais, a maximização de utilidade de um indivíduo implica que o comportamento altruísta seja ineficaz, ou seja, quando um indivíduo toma uma decisão, ele não

considera os efeitos da sua escolha em outros, aumentando as externalidades negativas. Isto explicaria o motivo da prevenção ser baixa se a sua provisão é deixada para mercados privados. Em outras palavras, os indivíduos somente consideram os benefícios privados, e não os sociais, os quais são considerados ótimos. A diferença entre benefício social e privado depende das características da doença e das suas intervenções (Hauck, 2018).

É reconhecido que a abordagem econômica pressupõe um comportamento de maximização mais explícita e extensiva do que outras abordagens, seja a função de utilidade ou riqueza da família, empresa, sindicato ou agência governamental que é maximizada. Além disso, a abordagem econômica pressupõe a existência de mercados que, com vários graus de eficiência, coordenam as ações de diferentes participantes - indivíduos, empresas e até mesmo nações - de modo que seu comportamento se torne mutuamente consistente (Becker, 1976).

As preferências dos indivíduos, muito tratadas dentro da economia comportamental, não se referem a bens e serviços de mercado, como laranjas, automóveis ou cuidados médicos, mas a objetos de escolha que são produzidos por cada um utilizando bens e serviços de mercado e outros insumos. Essas preferências são definidas sobre aspectos fundamentais da vida, como saúde, prestígio, benevolência ou inveja, que nem sempre têm uma relação estável com bens e serviços de mercado (Becker, 1976).

Todo comportamento humano pode ser visto como envolvendo participantes que maximizam sua utilidade a partir de um conjunto de preferências e acumulam uma quantidade ótima de informações e outros insumos em uma variedade de mercados. Se esse argumento estiver correto, a abordagem econômica fornece uma estrutura unificada para a compreensão do comportamento que há muito tem sido buscado (Becker, 1976).

Como explicado anteriormente, a premissa de escolha racional auxilia na compreensão de como pessoas respondem a doenças infecciosas. Os indivíduos maximizam seu bem-estar escolhendo níveis de prevenção e terapia referentes as suas restrições individuais. A combinação do pressuposto da racionalidade com os modelos epidemiológicos tradicionais, proporciona, então, uma orientação qualitativa no planejamento de políticas públicas. A tomada de decisão individual altera a taxa de infecção de uma doença, produzindo, desta maneira, um sistema de *feedback* simultâneo. Com a introdução do comportamento individual na análise de doenças infecciosas surge uma importante pergunta: O comportamento individual é o mais desejável com base em critérios sociais?

Uma maneira de responder esta pergunta é avaliando o impacto da tomada de decisão individual sobre terceiras partes. Quando indivíduos não contabilizam os efeitos de suas ações sobre outros indivíduos, sejam negativas, sejam positivas, surge a manifestação de *externalidades* e desta forma se cria uma justificativa para a intervenção governamental. Para a economia, as epidemias e doenças infecciosas são manifestações típicas do conceito de externalidade. As externalidades têm um papel importante dentro da economia da saúde pública, especialmente como e porque ocorrem e o que pode ser feito em relação a elas. Tanto prevenção de doenças quanto terapia, tais como as vacinas, envolvem externalidades. Neste sentido, um pacote de políticas públicas precisa avaliar se as diferenças entre incentivos individuais e sociais para a prevenção de doenças é o mesmo entre incentivos individuais e sociais para adotar terapias. Um pacote de políticas ótimo coordena regras para prevenção e terapia de acordo com o curso que a epidemia toma (Gersovitz e Hammer, 2003).

De acordo com Gersovitz e Hammer (2004), podem ser identificados dois tipos de externalidades relativas a doenças infecciosas. A primeira externalidade se dá com a infecção de uma pessoa para a outra (um efeito em cascata) podendo ser denominada de externalidade de infecção pura. Esta externalidade surge se um indivíduo, ao escolher seus próprios níveis de esforços terapêuticos e preventivos, não levar em conta os custos incorridos por outros que serão infectados como uma consequência da sua infecciosidade. A segunda externalidade é a de prevenção pura que surge como consequência das ações preventivas de um indivíduo que pode afetar diretamente a probabilidade que outras pessoas se infectem, mesmo se a ação preventiva não prevenir a infecção do indivíduo que está tomando precauções. Normalmente, esta segunda externalidade está mais voltada para doenças infecciosas que tenham um vetor da doença.

Para avaliar o valor das intervenções governamentais, é necessário prever os custos e benefícios das intervenções para população alvo e dos indiretamente afetados por elas. Isto implica estimar a extensão da externalidade, já que sem esta estimação, o benefício da política pública pode ser subestimado e fazer com que as intervenções não sejam implementadas. As externalidades podem ser difíceis de quantificar, dado que elas variam de acordo as características epidemiológicas de cada doença, do grupo populacional que ela afeta, e do padrão de transmissão. As intervenções podem acabar implicando em externalidades negativas se elas forem apenas substitutas, ou seja, compensações de risco podem tornar as intervenções preventivas ineficazes quando a demanda por intervenções preventivas diminui com a implementação de outra intervenção. Em outras palavras, as intervenções públicas podem fazer

com que ocorra um *crowd-out*<sup>5</sup>, interferindo negativamente no empenho que os indivíduos têm com a prevenção privada. Isto pode se tornar um grande problema para a saúde pública quando novos métodos de prevenção são parcialmente eficazes, como, por exemplo, com a associação entre uma vacina apenas parcialmente eficaz contra o HIV e o comportamento sexual de risco (Hauck, 2018).

A informação também tem um papel importante considerando como os indivíduos reagem a epidemias e na sua tomada de decisão em relação a prevenção e terapia. O controle de epidemias é, muitas vezes, impedido pela informação incompleta. Pessoas suscetíveis podem melhorar suas chances de evitar uma doença se tiverem a informação correta sobre como evitar infecções. O comportamento humano é baseado em atitudes, crenças, opiniões e consciência sobre as características de uma patologia. Todos estes fatores podem mudar com o tempo, tanto em indivíduos quanto na população como um todo (Funk *et al.* 2010). Um tipo de informação é denominado de informação *geral*, ela se refere ao conhecimento sobre a existência da doença, como é transmitida, quais as opções de tratamento e prevenção que existem e quais seus custos. De acordo com Gersovitz e Hammer (2003), a informação geral somente é relevante com o surgimento de uma doença nova, como foi o HIV/AIDS nos anos 1980. Se o conhecimento de tais informações já está disseminado, a sua repetição não trará mudanças comportamentais significativas. De acordo com os autores, considerando o comportamento racional, intervenções só serão efetivas se afetarem as restrições individuais. Outro tipo de informação é *específico do indivíduo* e do seu ambiente imediato, incluindo informações sobre o seu próprio estado de saúde, se as pessoas com quem convive representam um risco de infecção, e a presença, ou não, de parasitas no solo e na água, no caso de doenças transmissíveis por vetores.

Considerando o comportamento humano crucial para como uma patologia se dissemina, a *fonte* de informação e o *tipo* (gênero, natureza) de informação que os indivíduos dispõem sobre uma doença também afetam a dinâmica desta disseminação. A *fonte* de informação pode vir tanto de jornais (global) quanto do que pode ser chamado de informação de boca a boca (local), ou seja, a *fonte* de informação que os indivíduos se baseiam é a informação publicamente disponível, já o *tipo* de informação pode ser dividido entre baseadas em *crença* e as baseadas na *prevalência* da doença. As baseadas em crença não são conectadas com a dinâmica temporal da doença, diferentemente da prevalência, por exemplo, a crença de que

---

<sup>5</sup> *Crowd-out* é referido na literatura como o impacto do envolvimento do governo no setor privado, quando ocorre a substituição do privado pelo público (Folland *et al.*, 1994). Neste caso, as intervenções públicas fazem com que as decisões privadas dos indivíduos sejam suprimidas.

vacinação pode causar autismo, levando então, a não vacinação de crianças, mesmo existindo evidências de que autismo e vacinação não estão correlacionados (Funk *et al.*, 2010). Estas classificações relacionadas a informação representam um papel fundamental na compreensão de como as pessoas podem alterar seu comportamento, sendo uma ferramenta importante na tomada de decisões individuais e, também, dentro das políticas públicas, podendo proporcionar um grande auxílio na formulação de políticas visando a alteração de respostas individuais através da disseminação de informação relevante através dos canais corretos.

Os agentes naturalmente se diferenciam em diversas maneiras que impactam a transmissão de uma doença. De uma perspectiva econômica, uma forma de heterogeneidade é a informação, especialmente informação sobre a epidemia; sobre a própria saúde que cria opções sobre tratamento e controle; e informação sobre o *status* de saúde de outros indivíduos, fazendo com que as pessoas tenham o poder de evitar contato com possíveis indivíduos doentes (McAdams (2020)).

Este comportamento dinâmico de uma epidemia é determinado em parte pela biologia, incluindo mecanismos de infecção; em parte por comportamento individual; e em parte por ações governamentais. Governos também se deparam com restrições que são as mesmas enfrentadas pelos indivíduos. Ademais, governos enfrentam uma restrição adicional que são as escolhas individuais da população que são condicionadas pelas suas próprias restrições e objetivos. Muitas escolhas tomadas por indivíduos são resultados de um *tradeoff*<sup>6</sup>, ou seja, muitas vezes é preferível para um indivíduo consumir outros bens e serviços, que aumentem seu bem-estar, do que aumentar os gastos com saúde. O contato de pessoa para pessoa afeta as dinâmicas das doenças humanas. Pessoas valorizam contatos, então estão dispostas a aceitar riscos para ganhar benefícios relacionados ao contato. Os custos e benefícios que configuram os *tradeoffs* de comportamento e, conseqüentemente, o curso da epidemia estão na maioria das vezes apenas implicitamente incorporados em modelos epidemiológicos. Resultados de pesquisas indicam que a inclusão de comportamento modifica significativamente o curso predito de epidemias e que esta inclusão tem implicações nos parâmetros estimativos e na interpretação de políticas públicas (Fenichel *et al.*, 2011).

É improvável que o contato entre indivíduos se interrompa totalmente, sendo preferível, no nível individual, equilibrar os benefícios incrementais esperados e os custos de contatos

---

<sup>6</sup> Toda a decisão feita implica um trade-off, ou seja, a escolha de uma opção em detrimento de outra (Folland *et al.*, 1994).

adicionais. No contexto de doenças infecciosas, a avaliação de uma epidemia não pode ser baseada somente em taxas de infecção sem considerar que o comportamento de “risco”, em certas atividades que possam levar a infecção, também possui valor para os indivíduos (Gersovitz e Hammer 2003; Fenichel *et al.*, 2011). Apesar da existência de comportamento considerado arriscado em relação a doenças, especialmente quando se trata de doenças sexualmente transmissíveis, existe o princípio comportamental de que quanto mais custosa é a exposição a doenças, mais os indivíduos demandam por autoproteção, agindo por interesse pessoal. Consequentemente, eles estão dispostos a desistir de atividades desejáveis e aceitar medidas custosas para evitar consequências ainda mais dispendiosas de doenças (Bhattacharya *et al.*, 2013).

Uma analogia bastante interessante é a explicação de como funciona a resposta a doenças infecciosas pensando nelas como um imposto. Estar doente representa uma perda de tempo produtivo e custos, mesmo que não sejam representados por perdas financeiras. De acordo com Bhattacharya *et al.*, (2013), ao contrário de um imposto que todos pagam com certeza, a doença apenas afeta diretamente os que ficam doentes. Porém, como qualquer imposto, pessoas aceitam atividades custosas para evitar pagá-lo. Por exemplo, se alguém consome comidas não saudáveis regularmente, como *fast food*, esta pessoa tem maiores chances de sofrer um infarto. Comer *fast food* é análogo a receber renda e ter um infarto é análogo a pagar imposto de renda. O quanto mais *fast food* é consumido, mais chances existem de ter que pagar o imposto que é representado pelas chances de infarto aumentadas; quanto mais renda a pessoa recebe, maior é o imposto que ela paga. Quanto mais dinheiro a pessoa recebe, maior é quantidade de imposto que ela deve pagar, portanto, cada *fast food* incremental resulta em uma maior expectativa de custos com um possível infarto durante a vida da pessoa.

A exposição a diversos tipos de doenças pode ser vista como um bem sendo taxado. O bem pode ser se alimentar com alimentos não saudáveis, negligenciar vacinações, viajar para regiões com doenças como malária, ou evitar o uso de preservativos. O quanto mais o bem é consumido, maior é a chance de ter uma doença e maior o imposto da doença a ser pago. Para evitar pagar este imposto, a pessoa pode substituir o hábito não saudável de comer *fast food* regularmente por comer comidas saudáveis. Esta mudança comportamental para evitar ter um infarto, ou contrair alguma doença é semelhante a diminuir o imposto pago. Porém, esta mudança comportamental para evitar contrair alguma doença também tem custos. Um indivíduo poderia trabalhar menos para, assim, pagar um imposto de renda não tão alto, porém, estaria recebendo um salário menor. Esta mudança comportamental de atividades desejadas

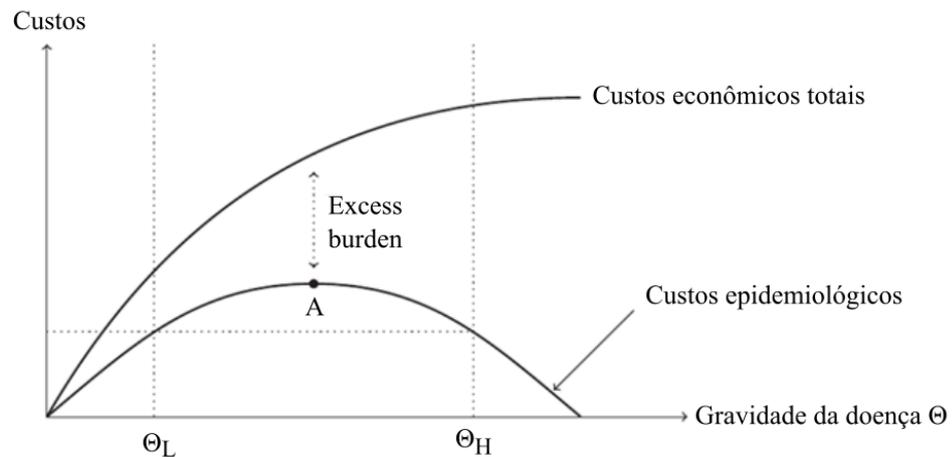
para menos desejadas como uma tentativa de evitar doenças será abordada a seguir (Bhattacharya *et al.*, 2013).

Para avaliarmos o impacto de doenças e como elas evoluem, utiliza-se deste princípio da busca por autopreservação dentro da literatura de epidemiologia econômica. Este tipo de mudança comportamental onde o indivíduo renuncia a atividades prazerosas buscando a proteção da sua integridade física é conceituado de “*excess burden of disease*”. Ele pode ser traduzido como custo, peso, “fardo” extra da doença, porém não é um custo direto e, assim, não é contabilizado como parte dos custos de uma doença nas contas públicas, apesar de poder ser maior ou tão significativo quanto um custo direto, pois ele direciona as decisões dos agentes econômicos (Bhattacharya *et al.*, 2013).

Epidemias são, potencialmente, custosas em diversas maneiras. Pessoas que contraem doenças se defrontam com custos diretos, assim como as que conseguiram evitá-las. As epidemias interagem diretamente com a produção de bens e serviços, com o crescimento econômico e a renda per capita. É possível estimar o custo de doenças para a sociedade como o produto da prevalência vezes o custo por doença (tratamento e rendimento perdido), baseado na gravidade da doença. Entretanto, esta visão epidemiológica negligencia, de acordo com Philipson (1995), o custo do comportamento para evitar doenças, ou seja, o “*excess burden*”, que é fundamental para a epidemiologia econômica.

Na figura 5 pode-se ver a relação entre os custos e a gravidade das doenças. O custo epidemiológico é definido como o custo direto de uma doença, ele consiste em consequências financeiras e não financeiras associadas a doença, assim como perda salarial e sofrimento físico. Já o custo econômico total é a soma do “*excess burden*” com o custo epidemiológico, ambos dependem da severidade e da contagiosidade da patologia (Bhattacharya *et al.*, 2013).

Figura 5: Custo epidemiológico e econômico de doenças com gravidade variante



Fonte: Adaptação de Philipson (2000 p.40) e Bhattacharya *et al.*, (2013, p.451).

De acordo com o gráfico, o custo epidemiológico e o “*excess burden*” variam de acordo com a severidade da doença. O eixo horizontal representa a gravidade da doença e o vertical, os custos. Como exemplo podemos considerar uma doença (gripe) de baixo custo L com gravidade ( $\Theta_L$ ), e uma doença (ebola) de alto custo H com severidade  $\Theta_H > \Theta_L$ . Considerando que a gripe, por exemplo, é mais comum que o ebola, mas o custo epidemiológico da gripe é menor que o do ebola, ambas patologias compartilham dos mesmos custos diretos, já que o ebola é uma doença grave, mas com poucos casos anualmente. Como a gripe (L) não induz muita autoproteção devido a sua menor gravidade, seu “*excess burden*” é menor do que do ebola (H) que induz uma alta busca por autoproteção.

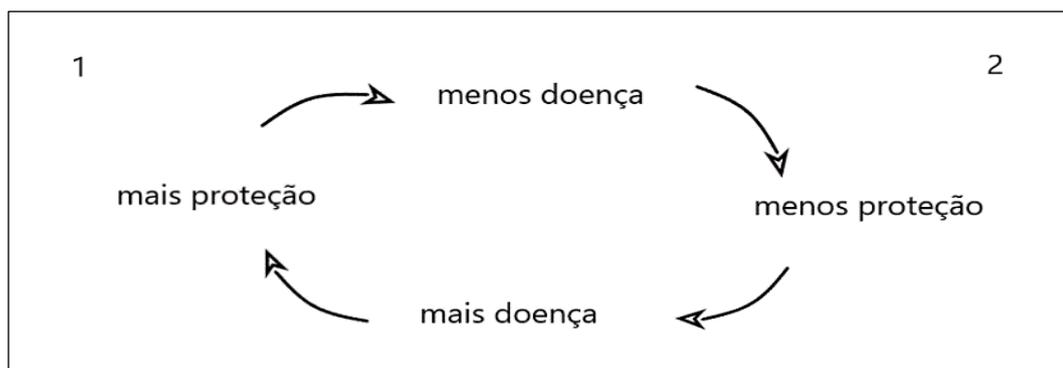
Assim sendo, esta seção procurou apresentar a maneira como o comportamento individual baseado em informações e incentivos se destaca na literatura da epidemiologia econômica. Foi evidenciado, também, a importância dos diferentes custos que as doenças infecciosas representam para os indivíduos e como eles são percebidos e importantes na tomada de decisão. A seguir será introduzido o conceito de elasticidade prevalência, o qual pode ser considerado o ponto chave da epidemiologia econômica e uma ferramenta de expressiva relevância na análise de epidemias.

## 2.2 ELASTICIDADE PREVALÊNCIA

Nesta seção será dada a continuidade da análise do comportamento individual, o qual é extremamente relevante para a análise da epidemiologia econômica e como ele pode afetar a trajetória das doenças infecciosas. Um ponto importante na análise da epidemiologia econômica é o seu individualismo metodológico. Isto implica que a análise toma como ponto de partida o comportamento maximizador do indivíduo. Contudo, isto não quer dizer que o aspecto social não seja relevante.

Com a figura 5 pode-se ver como a gravidade de uma doença afeta a resposta comportamental dos indivíduos. Porém, as doenças infecciosas despertam, também, a autoproteção não somente pela sua gravidade, mas também, pelo seu crescimento na sociedade e padrão de propagação. A epidemiologia econômica considera a possibilidade de a demanda por autoproteção contra uma doença ser sensível a prevalência da doença que, como explicado anteriormente, é a proporção da população acometida por uma doença específica em um determinado período. Desta maneira, haveria uma relação recíproca entre autoproteção e a prevalência da doença, criando, assim, um *loop* de resposta como podemos ver na figura 6. A compreensão desta relação auxilia a identificação destes períodos durante o curso de uma epidemia e a resposta subsequente que os indivíduos possam vir a ter em relação à doença.

Figura 6: Relação recíproca entre autoproteção e prevalência da doença



Fonte: Adaptação de Bhattacharya *et al.*, (2013 p.453).  
 (1) autoproteção limita o crescimento da doença;  
 (2) baixa taxa de prevalência acarreta menos autoproteção.

Esta abordagem difere da abordagem epidemiológica tradicional onde uma maior proteção acarreta um menor crescimento da doença, terminando a relação sem considerar que ela funcionaria como um ciclo e, portanto, não considera a resposta comportamental dos

indivíduos que cria esse *loop* de resposta à prevalência da doença. A análise epidemiológica tradicional certamente discute como vários padrões de comportamento afetam a ocorrência da doença, porém ela não analisa as implicações de como o comportamento se modifica em resposta aos novos incentivos criados pelo crescimento de uma doença, nem analisa os efeitos dessas mudanças nas medidas de saúde pública (Bhattacharya *et al.*, 2013).

Sob o ponto de vista econômico, se uma doença se tornar mais disseminada na população, a demanda por proteção privada (individual) aumenta em resposta. Os meios, pelos quais as medidas preventivas aumentam em resposta ao surto da doença, podem diferir entre as doenças. Por exemplo, para doenças evitáveis por vacina, estes meios podem representar o número de vacinações adicionais induzidas por cada nova infecção, enquanto para doenças sexualmente transmissíveis pode representar o aumento na correspondência de parceiros sexuais que têm o mesmo *status* de infecção (Philipson, 2000). A responsividade ou sensibilidade a algo é referido na economia como elasticidade, que é definida como o percentual de alteração em uma determinada variável, dada uma variação percentual em outra.

Este tipo de comportamento pode ter duas implicações: o crescimento de doenças infecciosas é autolimitado, uma vez que induz o comportamento preventivo; e, já que o declínio de uma doença desencoraja prevenção, esforços públicos tornam progressivamente mais difícil a erradicação de doenças infecciosas, fazendo com que campanhas de vacinação, por exemplo, sejam autolimitadas (Bhattacharya *et al.*, 2013). De acordo com Philipson (2000), se qualquer campanha for bem-sucedida, a prevalência da doença diminui e, conseqüentemente, a população diminui a sua demanda por autoproteção. Este *feedback* ocorre apenas se as pessoas responderem à prevalência.

A sensibilidade à prevalência é chamada de *elasticidade prevalência da demanda privada por prevenção contra doenças* (elasticidade prevalência). Como mencionado anteriormente, muitos modelos epidemiológicos não consideram que a demanda por proteção reaja a prevalência da doença, e com isso, acabam assumindo, mesmo que implicitamente, que a elasticidade-prevalência é igual a zero (Bhattacharya *et al.*, 2013). Este ponto será aprofundado nos parágrafos a seguir.

Folland *et al.*, (1994), explica mais detalhadamente a questão de intervenções serem ou não autolimitantes, e como isso pode ser identificado. O autor utiliza a equação 1 para apresentar a maneira que a autoproteção está relacionada com a prevalência:

$E_p$  = elasticidade prevalência da demanda privada por prevenção

$$E_p = \frac{\% \text{ mudança na demanda por proteção privada}}{\% \text{ mudança na prevalência da doença}} \quad (1)$$

Se  $E_p$  é baixo, zero, ou perto de zero, as pessoas demandarão pouca prevenção, resultando, desta forma, em maior prevalência futura. Ao contrário, se  $E_p$  é alto, muito maior que zero, então será demandada uma quantidade maior por prevenção, como, por exemplo, vacinas. Assim, existirá uma baixa prevalência futura. Estas demandas por prevenção, de acordo com o autor, alteram a taxa de prevalência da doença.

Tabela 1: Valores da elasticidade-prevalência

Valores da $E_p$	Demanda por prevenção	Implicações
$E_p = 0$ (abordagem tradicional)	Pouca prevenção	Maior prevalência futura
$E_p$ próximo de 0	Pouca prevenção	Maior prevalência futura
$E_p$ baixo	Pouca prevenção	Maior prevalência futura
$E_p$ alto	Maior prevenção	Baixa prevalência futura
$E_p$ muito maior que 0	Maior prevenção	Baixa prevalência futura
$E_p > 1$ (abordagem econômica)	Maior prevenção (ex: demanda por vacina)	Baixa prevalência futura

Fonte: Elaboração própria.

A elasticidade-prevalência é considerada uma grande contribuição da epidemiologia econômica para a compreensão da propagação de doenças infecciosas. Como explicado anteriormente, a demanda por autoproteção varia de acordo com a prevalência da doença na população, presumindo uma elasticidade-prevalência positiva, ao contrário da visão epidemiológica que assume uma elasticidade-prevalência zero. Além da prevalência, os indivíduos também reagem a outras medidas se percebidas como ameaças como, por exemplo, a taxa de mortalidade (Folland *et al.*, 1994).

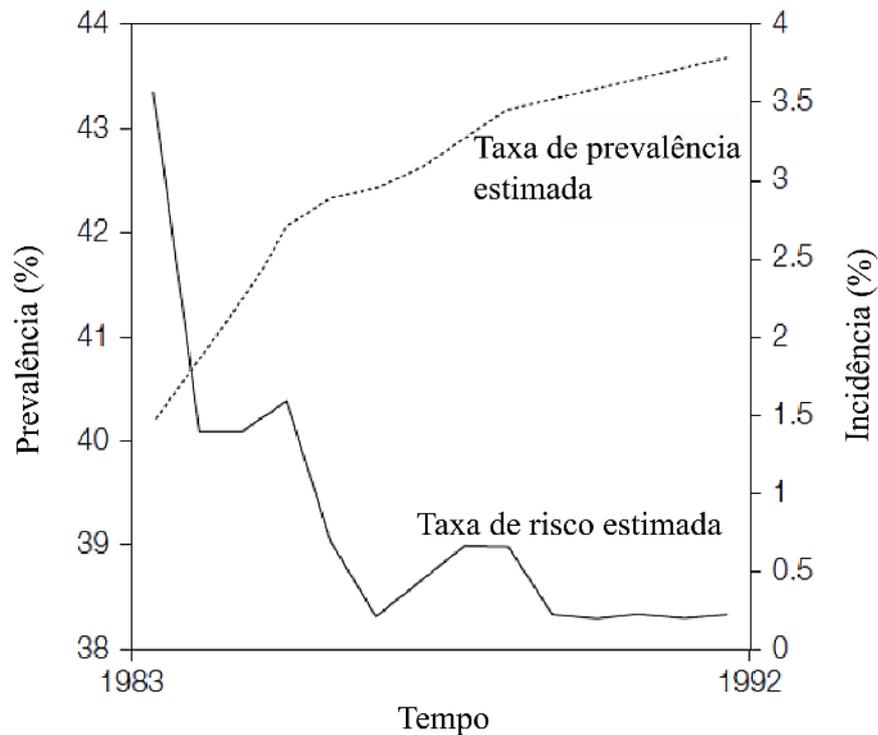
De acordo com modelos epidemiológicos, com a elasticidade-prevalência igual a zero, significa que com o aumento da prevalência de uma doença na população, a incidência também cresce, pois os indivíduos não são sensíveis ao surto da doença. Porém, se a elasticidade-

prevalência for considerada positiva, enquanto uma doença se propaga, pessoas não infectadas buscam se proteger. Com isso, é possível que a incidência irá permanecer estável ou declinar enquanto a prevalência aumenta (Bhattacharya *et al.*, 2013).

Na epidemiologia matemática padrão, essa taxa de risco é uma função crescente da prevalência. Em outras palavras, quanto maior for a fração de pessoas infectadas na população, maior será a fração de pessoas não infectadas que serão infectadas no próximo período. Isto ocorre porque quanto mais casos de infecção, maior a chance de um indivíduo que ainda é suscetível encontrar um indivíduo infectado. Este é o caso para uma ampla variedade de modelos epidemiológicos, uma vez que todos compartilham a característica de que a demanda por exposição não responde à prevalência (Geoffard e Philipson, 1996).

A elasticidade-prevalência positiva assume, de acordo com a teoria da epidemiologia econômica, uma relação inversa entre prevalência e incidência. Pode-se verificar esta relação em epidemias passadas, como no caso do HIV nos Estados Unidos, mais precisamente, na cidade de São Francisco que na década de 1980 representava 12,5% dos casos de HIV nos Estados Unidos. Conforme se pode observar, a figura 7 ilustra uma evidencia indireta para elasticidade-prevalência positiva. Outros fatores podem ter levado a uma incidência decrescente, como, por exemplo, conhecimento do modo de transmissão do HIV e informação sobre estratégias de autoproteção (Bhattacharya *et al.*, 2013; Geoffard e Philipson, 1996).

Figura 7: Taxa de risco e de prevalência estimadas para HIV na cidade de São Francisco, 1983 – 1992



Fonte: Adaptação de Geoffard e Philipson (1996 p.608).

Com isto, vemos que a elasticidade prevalência é um dos pontos fundamentais para as análises econômicas dentro do campo da epidemiologia econômica. Ela serve como base para compreendermos o comportamento racional e estratégico e estará presente ao longo do trabalho, tendo o seu conceito revisado e exemplificado. A seguir será apresentado como a vacinação é vista dentro da epidemiologia econômica.

### 2.3 VACINAÇÃO

Seguindo a linha de raciocínio das sessões anteriores, será visto como a intervenção governamental pode ocorrer para tentar alcançar o benefício social ótimo e como o custo e o benefício da vacinação são vistos pelos indivíduos do ponto de vista da economia.

É possível observar que o aumento da demanda por autoproteção devido a uma alta prevalência implicará em uma diminuição da patologia no futuro. Porém, conseqüentemente, com a diminuição da prevalência, a mudança comportamental volta a alterar a prevalência e incidência de doenças, podendo assim, ser analisada uma comunicação entre o comportamento individual e a prevalência de uma doença. No controle de doenças infecciosas há duas forças

que competem entre si e determinam a prevalência das doenças: a imunidade de rebanho e a responsividade da demanda por vacina à taxa de prevalência, assuntos que serão tratados a seguir (Bhattacharya *et al.*, 2013).

De acordo com Folland *et al.*, (1994, p.535), a resposta individual a doenças pode tornar uma epidemia autolimitante dependendo da gravidade e forma de propagação da doença. Entretanto, isto não significa que epidemias não devam ser motivos de preocupação, já que diversas doenças necessitam de intervenção para serem controladas. Somente a vacina para varíola mostrou tamanha eficácia no controle da epidemia. Diversas outras doenças, apesar de possuírem vacina, ainda são motivos de epidemias em certas partes do mundo. A poliomielite, por exemplo, é uma doença que foi altamente controlada com a vacinação na década de cinquenta, porém ainda mostra altos índices em certas regiões da África Central e na Índia. A erradicação completa nem sempre é um objetivo desejável. Justamente devido a este *feedback* que ocorre entre comportamento individual e prevalência de uma patologia, os benefícios da vacinação podem cair abaixo de qualquer preço de vacinação. O sucesso da vacinação, ironicamente, causa futuras vacinações a não apresentarem benefícios suficientes para cobrirem seus custos. Vacinações privadas se mostram ainda menos eficazes, a razão é que a vacinação de pagamento privado tenderá a subestimar o benefício externo da imunização (aqueles imunizados ganham imunidade para si próprios, mas também beneficiam os outros), uma vez que a demanda privada por vacinas está relacionada à disposição para pagar. Com isso, a taxa de vacinação com ausência de intervenção pública sempre será abaixo de níveis sociais ótimos (Danzon e Nicholson, 2012; Bhattacharya *et al.*, 2013). Na realidade, o objetivo mais plausível da intervenção governamental é melhorar o bem-estar reduzindo a prevalência de endemia em vez de alcançar a erradicação, uma vez que a erradicação pode ser muito cara em relação aos seus benefícios (Sadique, 2006).

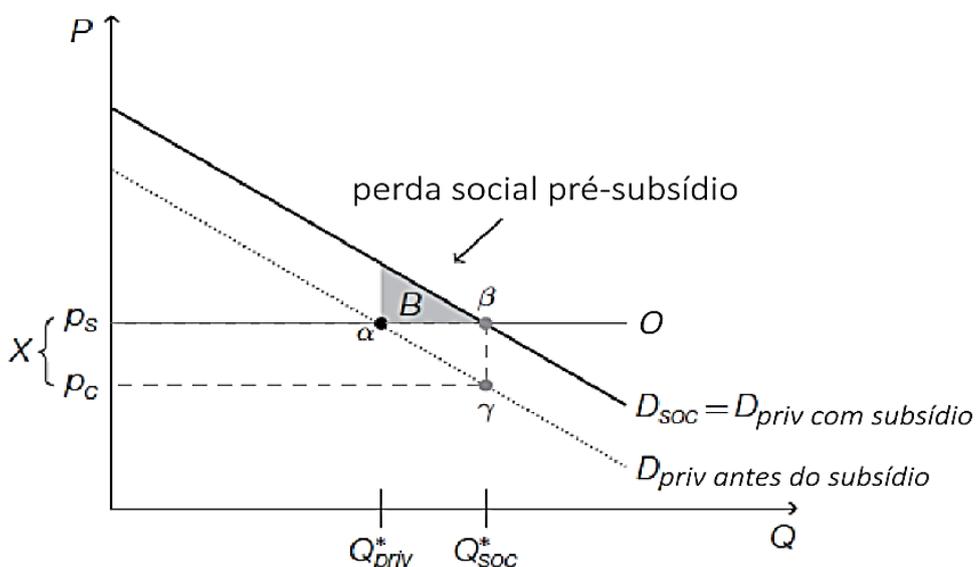
Como visto, doenças contagiosas impõem danos à população infectada e à suscetível. Benefícios sociais oriundos de uma vacinação são maiores que benefícios privados, ou seja, um mercado privado por si só, não irá atingir níveis ótimos de vacinação. Em termos econômicos, cada caso de doença contagiosas impõem uma externalidade negativa em pessoas que estão expostas, assim como cada vacinação confere uma externalidade positiva através da *imunidade de rebanho* - a imunidade que atinge as pessoas não vacinadas quando outras pessoas são vacinadas. Ao não se tornarem portadores de doenças, os vacinados reduzem o risco para outras pessoas. Quando a imunidade de rebanho é atingida, a demanda por vacina é igual a zero, isto acontece, pois, a probabilidade de contrair a doença é baixa. Abaixo deste nível de imunidade

de rebanho, a demanda individual por vacina pode ser modelada como uma forma de autoproteção, ou seja, é considerado apenas o benefício e custo privado para maximizar a sua utilidade, o ganho de utilidade reflete benefícios pecuniários e não-pecuniários (Danzon e Nicholson, 2012; Bhattacharya *et al.*, 2013).

Se cada pessoa considera apenas os benefícios privados da vacinação, vacinações seriam desvalorizadas e a quantidade de vacinas compradas seria menor do que a quantidade ótima. Desta forma, surgem os subsídios e impostos *Pigouvianos*, sendo estratégias de taxação de externalidades negativas e subsidiação de externalidades positivas para que assim as externalidades sejam “internalizadas”, fazendo com que as pessoas tratem custos e benefícios sociais como se fossem privados. As taxações de externalidades negativas fazem com que indivíduos se deparem com preços que reflitam o custo social total de suas ações, e o subsídio a bens que tenham externalidades positivas, encoraja seu consumo (Bhattacharya *et al.*, 2013).

Uma forma de exemplificar como funcionam subsídios e impostos *Pigouvianos* é através do gráfico de oferta e demanda de vacina para gripe apresentado por Batthacharya *et al.*, (2013). A Figura 8 mostra a oferta  $O$  de vacinas, a curva da demanda privada  $D_{priv}$ , e a curva para demanda social  $D_{soc}$ . Sem nenhuma intervenção, a quantidade demandada é  $Q_{priv}$  e o preço de mercado é  $p_s$ . Pode-se ver que o benefício social marginal excede o custo social marginal para cada vacinação até o ponto  $\beta$ . Portanto, consumir qualquer quantidade menor que  $Q_{soc}$  é socialmente ineficiente. Para atingir o  $Q_{soc}$ , o preço das vacinas precisa cair.

Figura 8: Subsídio Pigouviano para vacinação contra a gripe



Fonte: Adaptação de Batthacharya *et al.*, (2013, p.434).

Para a unidade de vacinação  $Q_{soc}$ , o consumidor só ganha  $p_c$  no benefício privado (ponto  $\gamma$ ), então ele só está disposto a pagar  $p_c$  por isso. Em  $p_c$ , os consumidores exigem a quantidade socialmente ideal de vacinas. Mas, uma vez que a produção dessa unidade  $Q^{soc}$  custa  $p_s$  aos fornecedores de vacina, estes não aceitarão nada menos do que  $p_s$  (ponto  $\beta$ ).

Assim, para obter o nível socialmente ótimo de vacinações, o governo deve fornecer a diferença entre o preço máximo de disposição a pagar do consumidor  $p_c$  e o preço mínimo de disposição de venda do fornecedor  $p_s$ . Essa diferença  $X = p_s - p_c$  é o subsídio Pigouviano ótimo para esse mercado.

Em um mercado perfeitamente competitivo, todos os consumidores pagam o mesmo preço pela vacina. Portanto, se as vacinas  $Q_{soc}$  forem vendidas, cada consumidor pagará um  $p_c$  do próprio bolso. Da mesma forma, o fornecedor recebe  $p_s$  por vacina. Assim, o subsídio total é igual ao subsídio por transação  $X = p_s - p_c$  multiplicado pelo número de vacinas adquiridas  $Q_{soc}$ :

$$\text{Subsídio total} = Q_{soc} \times X = Q_{soc} (p_s - p_c) \quad (2)$$

Os subsídios *Pigouvianos* podem não ser os mais adequados em algumas situações. Teoricamente, após um subsídio ou imposto *Pigouviano* ser aplicado, o mercado apresenta benefícios e custos privados alinhados com os benefícios e custos sociais, desta forma, os consumidores fazem escolhas ótimas no nível social. Porém, a estratégia *Pigouviana* pode não ser ideal quando o tamanho da externalidade for desconhecido ou difícil de mensurar. Se um imposto ou subsídio *Pigouviano* é muito grande, pode induzir mais perda social do que tentou amenizar e acabar por deixar mercados mais ineficientes do que antes (Batthacharya *et al.*, 2013; Danzon e Nicholson, 2012).

É importante observar que as doenças infecciosas são uma fonte de externalidade negativa que cria um caso potencial de intervenção pública da forma regulatória (punitiva) e em forma de subsídio. Desta forma, o governo tem o poder de impor certas medidas para propositalmente modificar o comportamento dos indivíduos. Porém, algumas doenças infecciosas não têm a possibilidade da vacina ou de uma cura, e, com isso, apresentam um perigo muito grande para a sociedade em questões de saúde pública, assim como a AIDS. Ela impõe custos pecuniários e não pecuniários à pessoa infectada, ao governo e às pessoas que podem contrair a doença deste indivíduo. Devido à falta de vacina e de uma cura para doenças graves como a AIDS são necessários outros incentivo à mudança comportamental. Existem dois

tipos de subsídio de grande peso para doenças como a AIDS, que não serão diretamente tratados no trabalho, que consistem na educação sobre o assunto e o subsídio de bens e serviços como preservativos, agulhas limpas e testes de HIV (Philipson e Posner, 1993).

Desta forma podemos ver que a vacinação é um ponto importante na discussão sobre doenças infecciosas, porém ela nem sempre é uma opção, fazendo com que o incentivo à mudança comportamental através de outros meios seja significativamente importante.

A seguir será ilustrado um modelo muito utilizado na literatura da epidemiologia econômica. Algumas variações do modelo referente às diferentes dinâmicas de doenças infecciosas serão brevemente expostas.

## 2.4 MODELO SIR

A dinâmica epidemiológica de uma infecção depende de como o vírus interage com o sistema imunológico da pessoa doente. Diversas vezes, uma doença confere imunidade para o resto da vida depois de contraída, porém ela também pode voltar a infectar se ocorrerem mutações, ou se o sistema imunológico não responder a infecção em primeiro lugar. Devido a diversas dinâmicas que a infecção pode apresentar, não existe um modelo único para uma epidemia. O que pode ser encontrado na literatura são diversos modelos que de acordo com McAdams (2020), podem ser classificados como “modelos *SI-X*”. O *S* no modelo representa pessoas *suscetíveis* a contrair uma doença, o *I* representa os *infectados* pela doença e o *X* as diversas outras possibilidades de continuação do modelo. Podemos encontrar na literatura modelos onde existe o grupo *C* de “*carriage*” que representam o grupo de *transmissores assintomáticos* da doença. Também há a possibilidade de se criar subgrupos para os suscetíveis, os *vacinados* e os *não vacinados*, ou seja, há uma gama de possibilidades de modelos a serem apresentados e discutidos, além de diferentes abordagens dependendo da dinâmica própria da doença e como ela evolui.

Será apresentado a seguir o modelo SIR, o mais facilmente encontrado e utilizado na literatura sobre o assunto, o qual divide a população em três grupos. Outras variações do modelo não serão discutidas.

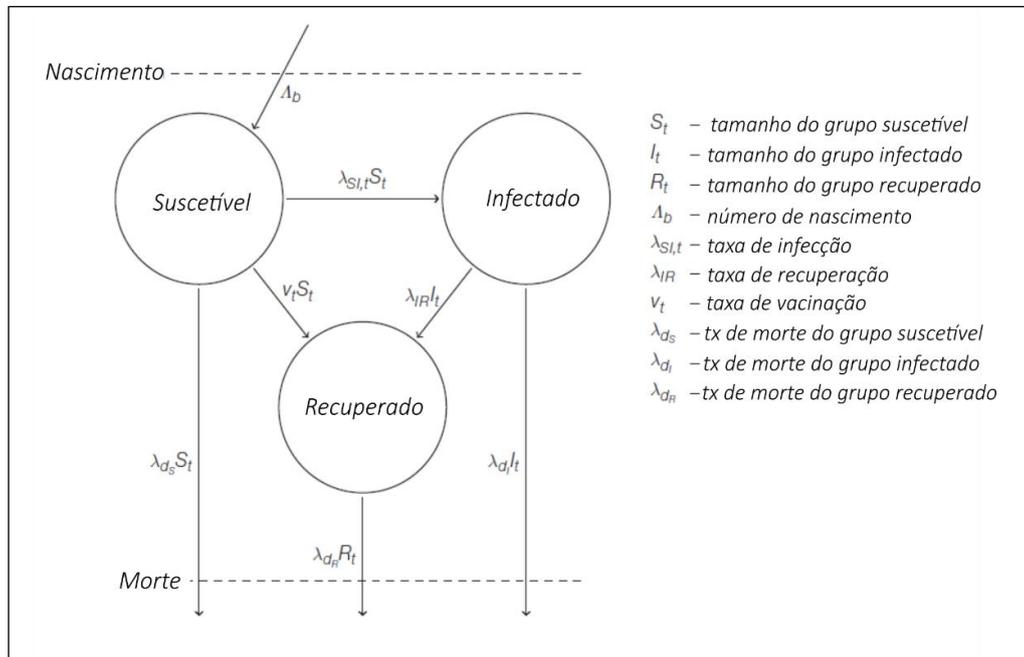
Nesta seção será apresentado o modelo epidemiológico básico conhecido como SIR, utilizado para a análise de doenças infecciosas. O exemplo a seguir foi baseado no estudo feito

por Batthacharya *et al.*, (2013), onde o modelo é utilizado para avaliar a efetividade de subsídios para vacinação, dando, assim, continuidade sobre as implicações da epidemiologia econômica com relação à vacinação, visando apresentar a relevância do assunto para o estudo de doenças infecciosas.

De acordo com Folland *et al.*, (1994, p. 533), este modelo foi originalmente desenvolvido por Kermack e McKendrick (1927) e reinterpretado matematicamente por Hethcote (2000). O modelo SIR modela como uma doença infecciosa evolui com o tempo. Modelos deste tipo auxiliam a compreensão de quando uma população está no seu estado mais vulnerável, quando uma epidemia está em seu pico e quando seus efeitos podem vir a diminuir. Este modelo também é utilizado para auxiliar a mensuração dos efeitos da vacinação e intervenções de saúde pública, como subsídios. Ademais, o modelo SIR proporciona uma estrutura para analisar a relação recíproca entre prevalência e autoproteção, apresentadas nas sessões anteriores (Folland *et al.*, 1994; Bhattacharya *et al.*, 2013).

No modelo SIR, os membros de uma população são classificados em três grupos: suscetíveis, infectados e recuperados, com tamanho  $S_t$ ,  $I_t$  e  $R_t$  no tempo  $t$ .  $S_t$ ,  $I_t$  e  $R_t$  oscilam entre si com o passar do tempo. Membros da população suscetível  $S$  adoecem e ingressam no grupo de infectados  $I$  com a taxa de infecção  $\lambda SI$ . Analogamente, o doente se recupera e passa do grupo infectado  $I$  para o grupo  $R$  recuperado na taxa de recuperação  $\lambda IR$ . Nesta versão do modelo, bebês  $Ab$  nascem a cada período, e membros de todos os três grupos morrem em suas respectivas taxas  $\lambda dS$ ,  $\lambda dI$  e  $\lambda dR$ . Por último, a taxa de vacinação  $v$  reflete o movimento do grupo suscetível  $S$  para o grupo recuperado  $R$ .

Figura 9: Modelo espacial SIR



Fonte: Adaptação Bhattacharya *et al.*, (2013, p.454)

Nesta versão do modelo SIR, os infectados nunca retornam para os suscetíveis, já que não existe caminho do infectados e recuperados de volta para o grupo dos suscetíveis. Essa premissa é utilizada para modelar doenças que conferem imunidade como a varicela, difteria e coqueluche.

A demanda para vacinação depende diretamente do seu preço. Se a elasticidade-prevalência da demanda por vacina é diferente de zero, então, a taxa de vacinação também depende da prevalência da doença, como visto anteriormente a vacinação pode ser modelada como busca por autoproteção. Consequentemente, a taxa de vacinação  $v$ , apresentada no modelo SIR, é modelada como a função do preço da vacinação  $p$  e da prevalência da doença  $I_t$ :

$$V_t = v(p, I_t) \quad (3)$$

Se o efeito da prevalência na taxa de vacinação é alto, a demanda por vacinação é elástica em relação a prevalência (sensível), independentemente de quão sensível ao preço seja. Os efeitos da prevalência e do preço na taxa de vacinação movem-se em direções opostas. A demanda aumenta com a prevalência, porém diminui com o preço. O modelo SIR tem a capacidade de auxiliar a visualização de como uma mudança no preço da vacina altera o número total de pessoas infectadas, enquanto leva em consideração o efeito da elasticidade-prevalência. Deve-se levar em conta também o quão infecciosa uma doença é. Portanto, dentro do modelo

SIR, a taxa de infecção  $\lambda SI_t$  é o produto de uma constante de infectividade  $\beta$  e o número de pessoas infectadas  $I_t$ :

$$\lambda SI_t = \beta I_t \quad (4)$$

O modelo apresenta transições entre as categorias populacionais que devem ser explicitadas através de equações. Estas equações de transição mostram como o tamanho de cada população se modifica com o passar do tempo, levando em consideração todas as vias de entrada e saída. Por exemplo, para encontrar a mudança no tamanho da população suscetível  $S$  no tempo  $t$ ,  $dS/dt$ , todos os fluxos de entrada (apenas a taxa de natalidade, neste caso) são somados e todos os fluxos de saída (infecção, vacinação e morte) são subtraídos:

$$\frac{dS}{dt} = \underbrace{\Lambda_b}_{\text{nascimento}} - \underbrace{\lambda_{SI_t} S_t}_{\text{infecção}} - \underbrace{\nu S_t}_{\text{vacinação}} - \underbrace{\lambda_{d_S} S_t}_{\text{morte}} \quad (5)$$

$$= \Lambda_b - \beta I_t \times S_t - \nu_t \times S_t - \lambda_{d_S} S_t \quad (6)$$

Visando a otimização de políticas públicas, a análise das categorias em um estado estacionário se torna mais interessante. Isto ocorre porque mudanças em políticas, como, por exemplo, subsídios para vacinação, frequentemente tem como alvo a diminuição do estado estacionário da população infectada. Já que o tamanho das populações não muda com o tempo, as derivadas de cada categoria a respeito do tempo são iguais a zero. No estado estacionário ( $S^*$ ,  $I^*$ ,  $R^*$ ), a mudança de estado entre as categorias ainda ocorre, porém, o número de pessoas em cada categoria não flutua:

$$\frac{dS^*}{dt} = \frac{dI^*}{dt} = \frac{dR^*}{dt} = 0 \quad (7)$$

Do ponto de vista das políticas públicas, o ponto fundamental é encontrar o número de pessoas infectadas no estado estacionário ( $I^*$ ). Para isso, é necessário encontrar o número de pessoas suscetíveis no estado estacionário:

$$\frac{dI^*}{dt} = \beta I^* \times S^* - \lambda_{IR} I^* - \lambda_{dI} I^* = 0 \quad (8)$$

Todos os três termos de  $dI^*/dt$  compartilham  $I^*$  como um fator. Considerando  $I^* \neq 0$ , ele pode ser cancelado da equação:

$$S^* = \frac{\lambda_{IR} + \lambda_{dI}}{\beta} \quad (9)$$

Com isso, vemos que o número de pessoas suscetíveis no estado estacionário ( $S^*$ ) é inversamente proporcional a infectividade da doença  $\beta$ , e diretamente proporcional a taxa a qual os indivíduos saem da categoria de infectados. Ou seja, se a infectividade é alta, a população suscetível tem altas probabilidades de ser infectada, e, se os infectados não permanecem infectados por muito tempo, a suas chances de infectarem outros é baixa. Podemos ver que  $S^*$  não depende do preço da vacinação, porém isso não significa que o preço não tenha impacto no curso da epidemia, já que o preço afeta o número de pessoas na população infectada no estado estacionário.

Com isso, a taxa de vacinação  $v_t$  é uma função do preço da vacina  $p$  e da prevalência da doença  $I_t$ :

$$v_t = v(p, I_t) \quad (10)$$

O modelo SIR pode prever quando subsídios a vacinação podem ser uma ferramenta útil, ou não, para controlar doenças infecciosas. Encontrar o número de pessoas infectadas no estado estacionário não é tão simples quanto encontrar o número de pessoas suscetíveis. Portanto, se mostra mais simples derivar uma expressão para o efeito do preço da vacina no tamanho da população infectada no estado estacionário, revelando o quão efetivo um subsídio pode ser:

$$\frac{dI^*}{dp} = - \frac{\frac{dv}{dp}}{\frac{dv}{dI^*} + \beta} \quad (11)$$

A equação anterior depende, portanto, da infectividade da doença  $\beta$ ; do impacto da prevalência na taxa de vacinação, que está relacionada a elasticidade-prevalência  $dv/dI^*$ ; e o efeito do preço da vacina na taxa de vacinação  $dv/dp$ . Já que o parâmetro  $\beta$  é sempre positivo,  $dv/dI^*$  é positivo, e  $dv/dp$  é negativo,  $dI^*/dp$  deve ser positivo. Isto significa que os subsídios

de vacinação podem ser eficazes em reduzir o número de indivíduos infectados no estado estacionário:

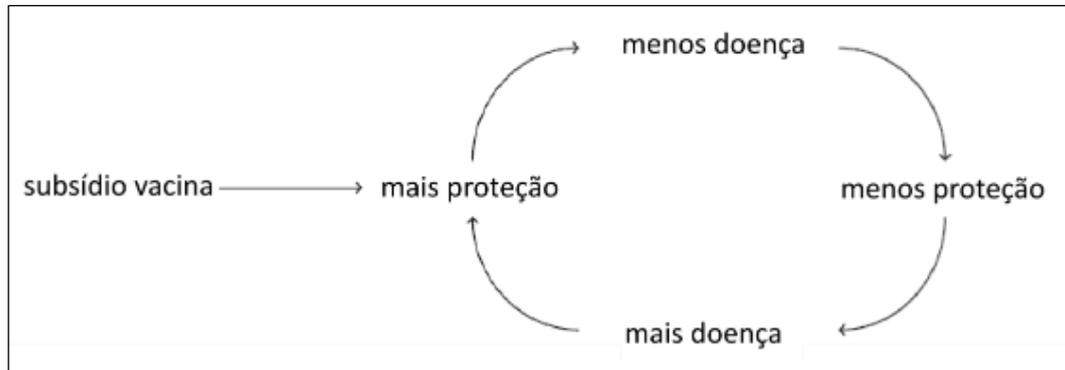
$$\frac{dI^*}{dp} = -\frac{\frac{dv}{dp}}{\frac{dv}{dI^*} + \beta} > 0 \quad (12)$$

Com isso, pode-se perceber que os subsídios para vacinação apresentam maior probabilidade de serem eficazes quando:

- a) **A demanda por vacina é elástica ao preço:** se o efeito do preço na demanda por vacina é alto, então o subsídio para vacinação tem grandes chances de aumentar a demanda para vacina substancialmente;
- b) **A infectividade é baixa:** um parâmetro de infectividade baixo  $\beta$ , aumenta  $dI^*/dp$ . Se a infectividade é baixa, poucas pessoas são infectadas e muitas são suscetíveis. Como resultado, o mercado para vacinas é maior, e, com isso, os subsídios têm a capacidade de alcançar mais pessoas.
- c) **Elasticidade prevalência é baixa:** Um  $dv/dI$  baixo, aumenta  $dI^*/dp$ . Um subsídio de preço para a vacina reduz a prevalência da doença no estado estacionário. Se a elasticidade-prevalência é alta, a redução na prevalência devido ao subsídio para vacinação desencadeia um *feedback* maior ainda que acaba por reduzir a demanda pela vacina.

Em outros termos, a existência de um efeito de *feedback* negativo, causado pela demanda por autoproteção individual, mitiga o efeito de um subsídio ao preço da vacina sobre a prevalência de doenças. Um subsídio de preço aumenta a demanda pela vacina, mas seu próprio sucesso em limitar a prevalência tem como consequência a diminuição da demanda por autoproteção. O subsídio reduz a prevalência da doença no estado estacionário, mas não como se não houvesse efeito de *feedback*. Pode-se observar na figura 10 como o subsídio para vacinação altera a relação entre autoproteção e prevalência da doença.

Figura 10: versão alterada da figura 6, incluindo o efeito da vacina



Fonte: Adaptação de Bhattacharya *et al.*, (2013, p.458).

Desta forma, pode-se ver a importância de avaliar as políticas públicas e a sua real efetividade, através da utilização de modelos que auxiliam a compreensão de como os subsídios, por exemplo, podem afetar a dinâmica da doença dependendo do comportamento humano.

## 2.5 DECISÕES ESTRATÉGICAS E DOENÇAS INFECCIOSAS

Doenças infecciosas e respostas comportamentais podem ser modeladas com o objetivo de melhorar o controle de uma epidemia, além de tomar melhores decisões sobre custos de vacinação e sobre a quantidade de vacinas obrigatórias. Ademais, o uso de modelos pode auxiliar no investimento para informar o público sobre as ameaças das doenças infecciosas. Alguns fatores importantes na modelagem de epidemias são o número de infectados, de vacinados e a sua distribuição na população, o custo de estar infectado, o custo de se vacinar e a taxa de transmissão da doença. Existem diversos modelos que podem ser utilizados para doenças infecciosas. Um dos métodos utilizados são os jogos espaciais, onde é possível capturar a escolha com base nas preferências do indivíduo em populações de jogadores que interagem com base nos seus *payoffs*<sup>7</sup>, onde cada indivíduo busca maximizar a sua utilidade baseada em uma função de custo (Soltanolkottabi *et al.*, 2020).

<sup>7</sup> Podemos descrever as preferências de um tomador de decisão especificando, para cada par possível de ações, a ação que o tomador de decisão prefere, ou observar que o tomador de decisão é indiferente entre as ações. Podemos representar as preferências por uma função de *payoff*, que associa um número a cada ação de tal forma que ações com números mais altos sejam preferidas. Com isso, o *payoff* pode ser assimilado a um ganho, ou uma recompensa relacionada às suas escolhas (Osborne, 2002).

A teoria dos jogos é uma área da matemática aplicada que pode ser utilizada em diversos campos, inclusive na saúde a fim de atingir soluções práticas para desafios contemporâneos. Ela oferece soluções tangíveis através de ferramentas para analisar situações as quais indivíduos tomam decisões interdependentes. Esta interdependência faz com que jogadores considerem as possíveis decisões de outros jogadores para formularem as suas próprias decisões. Um jogo descreve a decisão ótima dos jogadores que podem apresentar interesses similares, opostos ou convergentes de alguma forma, além de também descrever os resultados destas decisões (Malhotra, 2012). Alguns pontos essenciais na teoria dos jogos são:

- a) Os jogadores são os tomadores de decisão; e um jogador pode ser tanto um indivíduo como um grupo de pessoas (população, instituição etc.).
- b) Estratégias são o curso de ação dos jogadores.
- c) As recompensas ou pagamentos são o rendimento (lucro) dos jogadores. Estas recompensas são, normalmente, objetivamente compreendidas por cada jogador.

A teoria dos jogos é interessante do ponto de vista da saúde pública quando as ações de indivíduos, ou de grupos, afetam a saúde de outros. É possível que estratégias de grupos, ou de indivíduos, em prol de melhorias, levem a resultados inferiores para grande parte da população, assim, qualquer cenário de tomada de decisões pode ser investigado dentro da teoria dos jogos. A modelagem de problemas de políticas públicas pode ser analisada sob essa abordagem assim como outras questões envolvendo políticas públicas (Malhotra, 2012).

Para esclarecer como a dinâmica da teoria dos jogos funciona, vemos, na tabela 2, o exemplo de um jogo. Uma vez que uma estratégia é definida, podemos começar a analisar jogos simultâneos simples. Suponha que haja dois jogadores envolvidos em alguma interação e que cada jogador tenha duas estratégias à sua disposição. Temos os jogadores 1 e 2 e as estratégias  $x_1$  e  $y_1$  para o *jogador 1*, e  $x_2$  e  $y_2$  para o *jogador 2*:

---

Os resultados são consequências das decisões tomadas pelos jogadores e das regras do jogo. Estes resultados podem ser traduzidos em recompensa que é o *payoff*. Uma recompensa é alguma preferência sobre os resultados. Em economia essas recompensas são expostas em termos de utilidade (Tassier, 2013).

Tabela 2: Exemplificação de um jogo 2x2

		Jogador 2	
		$x_2$	$y_2$
Jogador 1	$x_1$	a,a	b,c
	$y_1$	c,b	d,d

Fonte: Adaptação de Tassier (2013, p.80)

Cada jogador escolhe uma estratégia  $x_i$  ou  $y_i$  sem ter o conhecimento do que o outro jogador escolheu. Uma vez que as estratégias são escolhidas, um efeito dos resultados do jogo e *payoffs* são atribuídos com base nos números da matriz correspondente ao resultado. Seguiremos a convenção de que o primeiro *payoff* listado em uma matriz é o *payoff* para o jogador 1 e o segundo *payoff* na caixa é o *payoff* para o jogador 2. Por exemplo, se o jogador 1 escolhe a estratégia  $y_1$  e o jogador 2 escolhe a estratégia  $y_2$ , então isto resulta nos ganhos (*payoffs*) na matriz inferior direita ( $d,d$ ). Nesse caso, cada jogador recebe um *payoff* de utilidade  $d$ , onde  $d$  é algum número. Por outro lado, se o jogador 1 escolhe a estratégia  $x_1$  e o jogador 2 escolhe a estratégia  $y_2$ , então o jogador 1 recebe um *payoff* de  $b$  o jogador 2 recebe um *payoff* de  $c$ . Uma estratégia é a melhor se os ganhos recebidos forem pelo menos tão grandes quanto o jogador pode obter com qualquer outra estratégia (Tassier, 2013).

Um método comum de analisar situações estratégicas como estas é utilizar o conceito de equilíbrio de Nash. Um equilíbrio de Nash em um jogo com  $N$  jogadores ocorre quando cada jogador está jogando uma estratégia que é a melhor resposta à estratégia de todos os outros jogadores. A ideia central dentro do conceito de equilíbrio de Nash é que nenhum jogador tem um incentivo para se desviar de sua estratégia, dadas as estratégias dos outros jogadores envolvidos. Assim, é um ponto de equilíbrio no jogo (Tassier 2013).

Um jogo bastante utilizado na teoria dos jogos é o dilema do prisioneiro, a seguir será apresentado como este jogo funciona.

Neste jogo (tabela 3), consideramos que a polícia está interrogando dois prisioneiros (jogadores) que eles sabem que cometeram juntos um assalto à mão armada. A polícia não tem provas admissíveis suficientes para obter uma condenação. No entanto, eles têm evidências para encarcerar cada prisioneiro por dois anos por roubo. O policial separa os prisioneiros em celas separadas e faz a mesma oferta a cada um: se confessar (estratégia) o roubo, implicando o parceiro, e ele não, então o indivíduo interrogado vai ficar livre (recompensa) e o parceiro será

preso por dez anos. Se ambos confessarem, cada um receberá 5 anos. Se nenhum de confessar, cada um receberá dois anos pelo roubo de carro. Aqui, as punições podem ser convertidas em recompensas para cada prisioneiro como 3 (livre), 2 (2 anos de prisão), 1 (5 anos de prisão) e 0 (10 anos de prisão).

Tabela 3: Exposição do dilema do prisioneiro

		Prisioneiro B	
		<i>Confessar</i>	<i>Não confessar</i>
Prisioneiro A	<i>Confessar</i>	1,1	3,0
	<i>Não confessar</i>	0,3	2,2

Fonte: Adaptação de Malhotra, (2012).

Assumindo que ambos os prisioneiros são racionais, cada jogador avaliará as estratégias disponíveis para ele comparando seus *payoffs* para cada ação possível de seu parceiro (agora oponente no jogo). É óbvio que para o *prisioneiro A* os resultados são melhores se ele confessar, independentemente da estratégia que seu oponente escolher. Obviamente, ele iria confessar. Enquanto isso, o *prisioneiro B* avalia suas ações comparando suas recompensas e chega exatamente à mesma conclusão. No dilema do prisioneiro, portanto, a confissão domina (chamada estratégia dominante) a recusa para ambos os jogadores. Assim, ambos os jogadores irão confessar e ir para a prisão por 5 anos, nem o melhor nem o segundo melhor retorno para qualquer um deles (Malhotra, 2012).

A teoria dos jogos pode ajudar a modelar a decisão de utilizar máscaras de proteção facial. Pode-se modelar essas decisões sob diferentes suposições que reflitam as razões (embora incorretas) para não usar máscara. Muitos acreditam que as máscaras apenas protegem os outros e que não oferecem autoproteção. Se isto for considerado verdade, um indivíduo só receberia os benefícios da máscara para a sua saúde se outras pessoas ao seu redor a utilizassem. Porém, o uso da máscara também confere um certo grau de proteção para quem a utiliza (Andhavarapu, 2020).

Isso se torna um paradoxo que se assemelha ao dilema do prisioneiro. Um indivíduo com essa crença pode agir por interesse próprio e não utilizar máscara para evitar o desconforto. No entanto, é provável que haja muitos outros com essa crença que podem tomar a mesma decisão de interesse próprio. Como resultado dessa não cooperação, os dois jogadores optam

por não usar máscara e acabam sofrendo. Na tabela 4, o benefício para a saúde do outro indivíduo que usa uma máscara foi atribuído arbitrariamente um valor de 10. O custo de uso da máscara foi atribuído arbitrariamente um valor de -2. Enquanto o resultado mais eficiente é fazer com que ambos os indivíduos usem máscara (8,8), o resultado é, na verdade, (0,0). Este modelo é muito semelhante e funciona igualmente para representar o conjunto de crenças de que as máscaras só funcionam quando ambas as partes a utilizam (Andhavarapu, 2020).

Tabela 4: Os indivíduos acreditam que as máscaras protegem apenas outros e não conferem autoproteção

		Indivíduo 1	
		Com máscara	Sem máscara
Indivíduo 2	Com máscara	8,8	10,-2
	Sem máscara	-2,10	0,0

Fonte: Adaptação de Andhavarapu (2020).

Os indivíduos também podem tomar como pressuposto que as máscaras protegem apenas aqueles que as usam. Desta maneira, argumentam que devem ter a liberdade de arriscar sua própria saúde. Na tabela 5, os indivíduos que não querem utilizar máscaras acreditam claramente que os benefícios de não usar máscara (evitando o desconforto e se sentindo 'livre') superam as possíveis consequências para a saúde. Portanto, é necessário reajustar os valores que foram atribuídos. Pode-se fazer isso invalidando os valores para que o custo seja maior do que o benefício. Por exemplo, o benefício de usar uma máscara pode ser igual a 2 e o custo de usar uma máscara pode ser igual a -10 (Andhavarapu, 2020).

Com base nisso, o resultado ideal para ambos os indivíduos seria não usar máscara. Este é o resultado que fornece a maior utilidade para os indivíduos separadamente e como um grupo. No entanto, traduzir isso para o mundo real mostra que pode não ser necessariamente o caso. Embora o custo imediato de não usar máscara possa ter um impacto negativo em sua saúde, a pandemia continua a aumentar quando muitos indivíduos escolhem esse caminho. É importante reconhecer que existem outros agentes além de apenas indivíduos, como entidades públicas/privadas, que tomam decisões com base nas estatísticas da pandemia. Como resultado, nossos custos e benefícios não se limitam ao curto prazo e podemos ser surpreendidos pelo viés

atual. Isso mostra por que cooperar e usar uma máscara pode, de fato, ser o resultado de maior utilidade (Andhavarapu, 2020).

Tabela 5: Os indivíduos acreditam que as máscaras só protegem quem as utilizam

		Indivíduo 1	
		Com máscara	Sem máscara
Indivíduo 2	Com máscara	-8,-8	0,-8
	Sem máscara	-8,0	0,0

Fonte: Adaptação de Andhavarapu (2020).

Uma vez que a teoria dos jogos pode ser definida como o estudo de interações estratégicas, a escolha ou não de se vacinar pode ser utilizada dentro destas situações. Existem inúmeros incentivos e efeitos em optar pela vacinação. O incentivo mais claro é a proteção contra a infecção, porém existem custos, estes custos, pecuniários ou não, são relevantes na tomada de decisão. Mesmo que não haja custo monetário, há, no mínimo o custo do tempo de vacinação, ou seja, o tempo que o indivíduo disponibiliza para se vacinar. Da perspectiva individual, a imunidade de rebanho é mais interessante e menos custosa para um indivíduo do que se vacinar, ou seja, é melhor que outros se vacinem. Portanto, a vacinação tem todos os elementos de um jogo: benefícios e custos precisam formar uma recompensa para cada estratégia escolhida e estas recompensas da estratégia escolhida dependem do que outros fazem. Se outros se vacinam, a recompensa de um indivíduo em não se vacinar aumenta (Tassier, 2013).

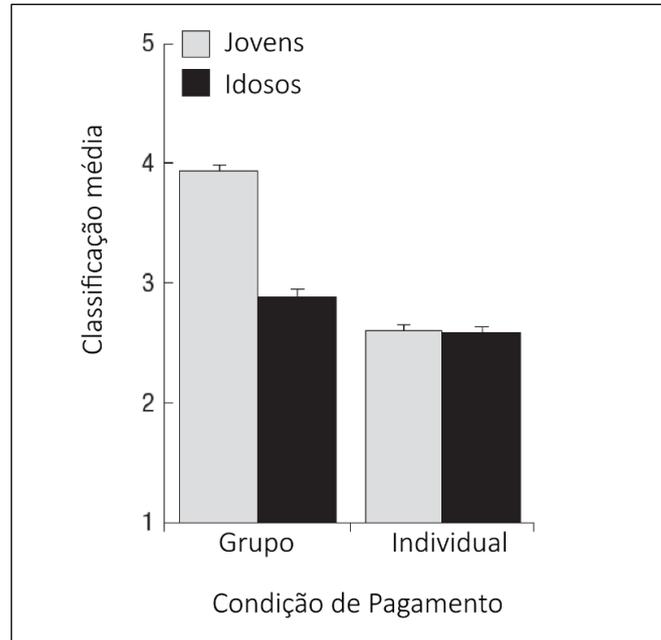
Um bom exemplo para a aplicação da teoria dos jogos na vacinação diz respeito a vacinação contra rubéola. A rubéola é uma doença que apresenta sintomas relativamente leves, e é altamente contagiosa na infância. Porém, a rubéola pode apresentar sintomas graves em fetos de grávidas que contraíram a doença, causando, assim, a síndrome da rubéola congênita, a qual pode causar surdez, atraso no desenvolvimento, problemas cardíacos e de visão. Conseqüentemente, a vacinação entre mulheres é altamente incentivada, ao contrário da vacina para homens. Enquanto a vacinação protege a pessoa vacinada, ela também aumenta a idade média de infecção dos indivíduos, ou seja, acaba por aumentar o risco da síndrome da rubéola congênita entre mulheres não vacinadas. Devido a estes fatores, foi desenvolvido um modelo utilizando a teoria dos jogos para analisar esta situação.

Um modelo epidemiológico envolvendo transmissão da doença e vacinação foi criado, e mostrou que níveis altos de vacinação para homens e mulheres é mais efetivo em diminuir o risco da síndrome da rubéola congênita e, portanto, em maximizar a utilidade média na população. A vacinação voluntária entre homens seria muito abaixo do ótimo, devido à falta de incentivos para a população masculina se vacinar. Com isso, se torna mais efetivo incluir a vacina para rubéola juntamente com a vacina para sarampo e caxumba (vacina MMR), atingindo um número maior de indivíduos do sexo masculino (Malhotra 2012).

Como as escolhas privadas afetam a saúde pública, as escolhas dos indivíduos de se vacinar ou não são extremamente importantes no controle de doenças infecciosas, como por exemplo a influenza. A população idosa é a mais afetada pela gripe comum, apresentando as maiores taxas de mortalidade entre grupos por idade e as crianças são as menos afetadas pelos sintomas da gripe, porém, são as que mais transmitem a doença. A estratégia de vacinação que tem o melhor resultado possível, estipula que os jovens deveriam arcar com os custos (custos não pecuniários) da vacinação para proteger os mais velhos, mesmo que eles sejam os menos beneficiados por essa vacinação. Esta questão é um dilema importante nas relações sociais que envolvem saúde pública. No caso da vacinação para influenza, a teoria dos jogos pode ser utilizada para prever o comportamento de indivíduos não altruístas que tomam decisões privadas. Um estudo conduzido por Chapman *et al.*, (2012) examinou as dinâmicas da vacinação da influenza através de um experimento comportamental da teoria dos jogos.

Como visto antes, a vacinação de jovens beneficia mais os idosos do que eles mesmos. A teoria dos jogos utilizado por Chapman *et al.*, (2012) tentou representar esta realidade epidemiológica. Em situações de alto risco, o resultado de epidemias é determinado pelo efeito cumulativo de ações individuais. Para atingir o resultado ótimo em nível populacional, é necessário que alguns indivíduos ajam fora do seu interesse próprio. Foi visto que existem circunstâncias onde alguns indivíduos agirão tomando o custo para si com o propósito de proteger outras pessoas no seu grupo. Pode-se esperar que pessoas jovens se vacinarão voluntariamente para prevenir a morbidade e a mortalidade entre pessoas idosas se as condições para os incentivos forem corretas, por exemplo, para uma situação de uma epidemia real o incentivo poderia ser proteger pessoas idosas dentro da família ou membros da comunidade.

Figura 11: Concordância média de que os sujeitos foram vacinados para proteger outros jogadores



Fonte: Adaptação de Chapman *et al.*, (2012).

As barras de erro mostram os erros padrão da média.

A figura está em uma escala de 5 pontos em função da condição de pagamento e da idade.

A relação entre vacinação e distanciamento social é bastante evidente. Quando não há vacina disponível para uma determinada doença infecciosa, a única solução possível para os indivíduos é manter o distanciamento social de acordo com a gravidade da doença, com os grupos de risco e com a população mais afetada. Reluga (2010) aplica a teoria dos jogos diferenciais em escala populacional. Jogos diferenciais são jogos onde estratégias dependem do tempo, ou seja, a cada ponto do tempo um jogador pode escolher uma ação diferente. O autor formula um modelo para uma epidemia representando os custos, para o indivíduo e para a comunidade, da prática de distanciamento social e da infecção.

Métodos numéricos podem ser utilizados para calcular os custos totais de uma epidemia sob comportamentos de equilíbrio em função do tempo até a vacinação em massa, após a identificação da epidemia. Os parâmetros-chave da análise são o número básico de reprodução e a eficiência básica do distanciamento social. Os resultados do estudo mostram que o distanciamento social é mais benéfico para os indivíduos quando o número básico de reprodução da doença ( $R_0$ )<sup>8</sup> é em torno de 2. O custo per capita de uma epidemia é maior para

<sup>8</sup>  $R_0$  é o número básico de reprodução de uma doença infecciosa que indica o quão contagiosa ela é. O valor do  $R_0$  indica o número de indivíduos que uma pessoa infectada irá infectar, assume-se que os outros indivíduos não estão nem infectados, nem vacinados. É um número que resulta da introdução inicial de um patógeno na população (Fenichel *et al.*, 2010).

números de reprodução básicos maiores. Quanto mais eficiente for o distanciamento social, maior será a economia do custo da epidemia per capita. Entretanto, na ausência de vacinação ou outras medidas de intervenção, o distanciamento social ideal nunca recupera mais de 30% do custo da infecção, para número de reprodução em torno de 2. Para números de reprodução maiores, o distanciamento social é menos benéfico ainda. O autor também mostra como a janela de oportunidade para o desenvolvimento de vacinas aumenta à medida que a eficiência do distanciamento e detecção social melhora. Os benefícios do distanciamento social são diminuídos pela incorporação de custos positivos da vacinação. Porém, o autor afirma que vacinação em massa em um curto período é bastante improvável, sendo mais apropriado considerar que a vacinação ocorrerá com a contínua disponibilidade de vacinas ao longo do tempo.

Com isso, fica evidente a importância da teoria dos jogos em relação a vacinação e às escolhas relacionadas aos melhores métodos de prevenção e tratamento dado a disponibilidade ou não de vacinas. Através da teoria dos jogos vemos que a relação do altruísmo, o qual traz o aspecto comportamental para a análise, com a vacinação se mostra extremamente relevante no que diz respeito aos grupos de risco de uma doença, como foi visto para o caso da influenza e da rubéola. Isto traz à tona a reflexão sobre a obrigatoriedade ou não da vacinação, e os possíveis incentivos dentro das políticas públicas para fazer uma parcela da população se vacinar em prol de outros.

O objetivo desta seção foi apenas o de ilustrar de um modo simples e didático a aplicação da teoria dos jogos a epidemiologia. Esta abordagem ao tema também tem sido denominada de epidemiologia estratégica, que é um ramo da epidemiologia econômica que adota uma abordagem da teoria dos jogos para analisar a interação entre o comportamento individual e a dinâmica da doença em toda a população. Para maiores detalhes referentes a modelos mais sofisticados os interessados podem consultar outros trabalhos como os de: Bauch e Earn (2004); Poletti *et al.*, (2012); e Tassier (2013).

Este capítulo definiu as principais contribuições da economia para a epidemiologia e teve como objetivo destacar a importância de encontrar formas mais assertivas para gerir políticas de saúde pública, através de ferramentas econômicas, envolvendo doenças infecciosas. A epidemiologia econômica demonstra ser um assunto de grande relevância atual e digno de mais pesquisa. No capítulo a seguir serão analisadas as principais evidências para doenças infecciosas específicas.

### 3 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS E APLICAÇÕES

Neste capítulo serão apresentadas mais a fundo algumas evidências empíricas relacionadas a epidemiologia econômica a fim de exemplificar a sua aplicação direta com base em dados reais, ilustrando como os conceitos desta área podem ajudar na identificação do problema e nas suas possíveis soluções. Para isto, será utilizado dados de estudos da área com o objetivo de mostrar a sua utilidade para epidemias futuras. Será analisado o peso da informação e do comportamento humano como determinantes para a interrupção de cadeias de transmissão de doenças infecciosas, além de ser trazido novamente em pauta a questão da responsividade à prevalência de doenças.

A seguir serão analisadas três doenças infecciosas que apresentam e apresentaram uma grande importância dentro da saúde pública pela sua severidade e dificuldade de controlar a sua propagação. Será analisada a AIDS, principalmente o seu impacto logo que ela surgiu na década de 1980; o sarampo, o qual apresenta um grande risco de vida para crianças; e a gripe espanhola, a grande pandemia do século passado, e seus aspectos históricos relevantes para o caso da COVID-19. Diversas outras doenças infecciosas são relevantes e apresentam danos imensos à saúde pública de diversos países, assim como a malária e a tuberculose, porém a seção a seguir tratará apenas das doenças citadas anteriormente.

#### 3.1 A EPIDEMIA DA AIDS

Para fins de esclarecimento, o termo AIDS surgiu no início da década de 1980 para definir a síndrome da imunodeficiência adquirida, uma doença causada pelo retrovírus HIV (vírus da imunodeficiência humana) que é transmitido através de contato sexual, contato com sangue ou fluidos corporais e de mãe para o filho durante a gravidez ou, até mesmo, do leite materno para a criança. A AIDS é considerada uma pandemia, ou seja, uma epidemia de nível global, que atinge especialmente países em desenvolvimento, aparecendo em grande peso no continente africano e asiático. A síndrome da imunodeficiência adquirida, quando desenvolvida, faz com que as pessoas infectadas tenham uma baixa resposta imunológica e sejam facilmente suscetíveis a desenvolver pneumonia, toxoplasmose, tuberculose, sífilis, infecções fúngicas, linfoma, sarcoma de Kaposi, meningite e outras doenças que afetam o cérebro (Folland *et al.*, 1994).

### 3.1.1 Modelagem do comportamento sexual de risco

Muitos especialistas têm como objetivo diminuir a propagação do HIV/AIDS a partir das consequências *ex post* do comportamento sexual considerado arriscado (sem proteção e de forma irresponsável). *Ex post* se entende como a avaliação de um fato, depois que ele já aconteceu, ou seja, neste caso, depois que o vírus do HIV já foi contraído. Esta maneira de analisar a AIDS e de impor políticas a partir desta visão, não considera o *ex ante*, ou seja, o que aconteceu antes da pessoa engajar em comportamentos arriscados. O *ex post* acaba não agregando o conceito de racionalidade das escolhas individuais com o objetivo de ter a utilidade individual maximizada. A forma de análise, *ex ante*, considera a maximização de utilidade dos indivíduos como o objetivo central nas políticas sociais. Se forem consideradas somente análises epidemiológicas ao tentarem predizer o crescimento futuro de uma doença infecciosa que abstraem o elemento da vontade, não abrangendo o conceito de escolha racional de ter ou não comportamentos arriscados ou com que frequência engajar nestes comportamentos, elas se tornam incompletas de um ponto de vista econômico. O valor da avaliação *ex ante* se apresenta na forma de observar a utilidade das políticas impostas com o objetivo de reduzir a propagação da AIDS. Se as políticas se mostrarem mais custosas para os indivíduos que têm maior risco de contrair a infecção do que aparentemente de contrair a doença em si, elas acabam por não serem eficazes (Philipson e Posner, 1993).

A análise da epidemia da AIDS, vista a partir de uma abordagem econômica, tem ênfase em aspectos como informação, incentivos e comportamento. Com isso, ela acaba por oferecer uma melhor explicação para os padrões revelados pelos dados, do que uma avaliação unicamente epidemiológica. Podemos ver exemplos de tais dados na seção 2.2, por exemplo.

Com o objetivo de modelar a epidemia da AIDS baseada no comportamento humano e nos aspectos *ex ante*, Philipson e Posner (1993) modelaram o comportamento sexual de risco. Utilizando a abordagem econômica da AIDS e incluindo aspectos desconsiderados pela epidemiologia, os autores procuraram mostrar a relevância desta abordagem e as diferenças para os modelos unicamente epidemiológicos. Os autores deixam claro que mudanças comportamentais são compreendidas por epidemiologistas como uma maneira de diminuir as epidemias, porém, pela falta de uma teoria de mudança comportamental, raramente tentam incorporar esta possibilidade dentro dos modelos.

A seguir serão vistos os principais aspectos abordados por Philipson e Posner (1993). Apesar do HIV ser transmitido de outras maneiras que não são o contato sexual, esta forma é a mais adequada para discutir e exemplificar a questão do pressuposto da racionalidade na epidemiologia. O que se convencionou na literatura como epidemiologia racional.

Os autores assumem que a decisão de engajar em relações sexuais de risco, ou seja, sem proteção de preservativos, como um problema de decisão racional sob incerteza. A utilidade esperada ( $EU$ ; *expected utility*) de relação sexual sem proteção para  $m$  (sexo masculino) e  $f$  (sexo feminino) é igual aos seus benefícios ( $B$ ) menos os seus custos esperados:

$$EU_m = B - C(1 - P_m)(P_f) \quad (13)$$

$$EU_f = B - C(1 - P_f)(P_m) \quad (14)$$

De acordo com os autores, o comportamento sexual arriscado só irá acontecer se  $EU_m$  e  $EU_f$  forem, ambos, positivos. Com o comportamento sexual não seguro existem custos esperados que dependem dos custos ( $C$ ) de contrair a AIDS e da probabilidade da infecção ocorrer. As equações (13) e (14) representam esta probabilidade como função de outras duas probabilidades: a probabilidade de  $m$  já estar infectado ( $P_m$ ) e a probabilidade de  $f$  já estar infectado ( $P_f$ ). Neste caso em que somente o parceiro é o infectado  $P_f = 1$  e  $P_m = 0$  na equação (13); e  $P_m = 1$  e  $P_f = 0$  na equação (14). Ambas as equações são reduzidas a:  $B - C$ . Nesta análise o benefício  $B$ , de uma relação sexual arriscada (não utilizando preservativo), é a mesma para ambos.

O custo  $C$  não considera apenas custos médicos e outros custos pecuniários, mas considera também os custos de contrair uma doença com um grande estigma social, de ter a possibilidade de uma morte prematura e complicações relacionadas a AIDS. Neste modelo, os autores consideram como ambos os parceiros não sendo altruístas, ou seja, o custo de um se tornar infectado não é um custo para o outro parceiro.

Diferentemente da explicação inicial do modelo, agora  $P$  não é igual a 1, e nem a 0, tanto  $m$  quanto  $f$  não podem transformar a probabilidade que algum deles estar infectado em uma certeza de estar ou não infectado. Com isso, a testagem para HIV não é uma opção no momento, sendo assim, excluída do modelo até este ponto.  $P_m$  e  $P_f$  são as probabilidades de  $m$  e  $f$  estarem, respectivamente, contaminados, não sendo uma probabilidade de transmissão. Para determinar a probabilidade de transmitir o vírus da AIDS e seus custos esperados do sexo não

seguro nas equações 13 e 14,  $P_m$  e  $P_f$  deveriam ser probabilidades em conjunto de que: ou  $m$  ou  $f$ , estão infectados com o vírus; e que se ou  $m$  ou  $f$  está infectado, sexo sem proteção entre eles causará a infecção no que não estava infectado. Reescrevendo às equações acima:

$$EU_m = B - C[P_{tf}(1 - P_m)P_f] \quad (15)$$

$$EU_f = B - C[P_{tm}(1 - P_f)P_m] \quad (16)$$

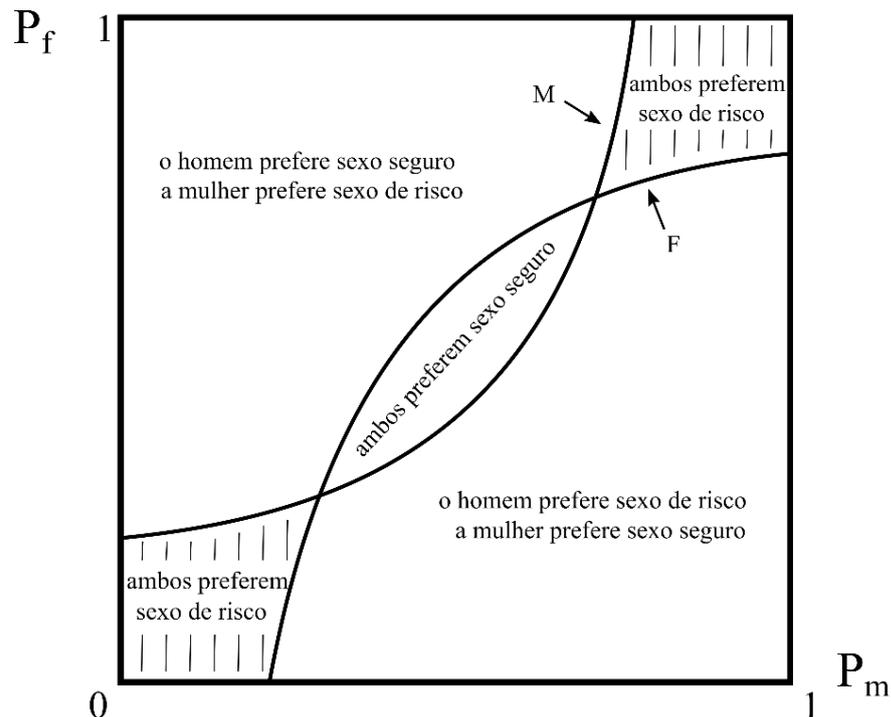
Na equação (16),  $P_{tf}$  denota a fração de sexo desprotegido entre um  $f$  positivo e um  $m$  negativo que resulta em infecção;  $P_{tm}$  é definido similarmente para o caso em que  $m$  é positivo e  $f$  negativo. Para propósitos expositivos é assumido que  $P_{tm} = P_{tf} = 1$ , mesmo que seja conhecido que o parceiro receptivo tenha mais chances de contrair HIV do que o outro.

A disposição de engajamento em uma relação sexual desprotegida é uma função crescente da probabilidade do indivíduo de já estar infectado, e uma função decrescente da probabilidade de o parceiro já estar infectado. Probabilidade de ainda não estar infectado é representada por 1 menos a probabilidade de estar infectado,  $(1 - P_m)$  e  $(1 - P_f)$ . A probabilidade de transmitir para alguém é representada por:  $(1 - P_m) P_f$  e  $(1 - P_f) P_m$ . Sendo assim, as equações (13) e (14) são representações do custo-benefício de engajar em uma relação sexual desprotegida.

Uma diferença considerável entre modelos epidemiológicos e o modelo apresentado pelos autores é a suposição de que os indivíduos escolham seus parceiros sexuais de acordo com as probabilidades de infecção. Os modelos epidemiológicos descartam esta probabilidade de escolha e assumem uma escolha aleatória. Uma relação sexual que tem o potencial de transmissão de doença ocorre apenas quando parceiros potenciais decidem se relacionar sexualmente. Esta escolha, que é guiada por incentivos, é considerada não aleatória pelo modelo estudado. Esta ênfase nos incentivos, mencionado no capítulo anterior, é a principal diferença para modelos epidemiológicos, neste caso.

As duas funções de utilidade descritas nas equações (13) e (14) geram a demanda conjunta para relações sexuais arriscadas para todas as possibilidades de infecção ( $P_m$ ,  $P_f$ ) dos dois indivíduos representados no modelo. A figura 12 representa todos os pares possíveis de probabilidade de infecção de  $m$  e  $f$ . A curva  $m$  que inicia no canto esquerdo da caixa é o lócus de pares de probabilidade em que  $m$  é indiferente entre sexo com proteção e sem proteção. A curva  $F$  é o lócus correspondente para  $f$ :

Figura 12: Demanda conjunta por sexo de risco



Fonte: Adaptação de Philipson e Posner (1993 p.38)

A relação sexual é tratada no modelo como se fosse uma troca de serviços mutualmente benéfica e é representada na figura nas regiões em que  $m$  e  $f$  derivam uma utilidade esperada positiva desta relação, que são as regiões sombreadas. No canto esquerdo, a probabilidade que  $m$  e  $f$  possam se infectar é pequena, assim, o custo esperado do sexo sem proteção, para cada indivíduo, é trivial e é superado pelos benefícios. No canto direito em que a probabilidade de ambos se infectarem é grande, o custo esperado do sexo sem proteção também é pequeno. Isto acontece, pois, as probabilidades de infecção já são altas, e com isso, o sexo de risco é apenas um pequeno aumento dentro deste risco já considerado alto de se infectar. Com isso, os benefícios superam o custo esperado. No centro do diagrama, nem  $m$  nem  $f$  estão dispostos a engajar em sexo sem proteção, enquanto que nas partes restantes, ou  $m$  ou  $f$  não está disposto e o comportamento arriscado não é escolhido, já que qualquer transação é considerada mutualmente benéfica. Portanto, a figura 12 apresenta a relação sexual de comportamento arriscado (sem proteção) como uma transação econômica em que, *ex ante*, é mutualmente benéfica para ambas as partes e *ex post*, pode acarretar problemas para um dos indivíduos.

### 3.1.2 Principais diferenças entre previsões econômicas e epidemiológicas

É necessário apresentar como o modelo descrito por Philipson e Posner (1993) se diferencia dos modelos epidemiológicos através da análise das previsões de incidência da AIDS. No início de uma epidemia, a probabilidade de ser infectado é assumida ser baixa pelos indivíduos, conseqüentemente, o comportamento arriscado cresce. Assim, a incidência da epidemia é uma função crescente da sua prevalência. Após um certo ponto, quando a prevalência cresce de maneira visível, o comportamento sexual arriscado, sem proteção, se torna cada vez mais perigoso, induzindo mais pessoas a adotarem um comportamento visando a sua autopreservação, com isso, a incidência declina, porém não cai até zero, visto que alguns indivíduos que são negativos para o vírus ainda engajam na relação sexual sem proteção.

Mudanças na incidência podem ser analisadas assumindo uma modificação na incidência entre um tipo de indivíduo ( $m$  por exemplo) como uma função da prevalência da doença entre o tipo de indivíduo com quem interage ( $f$  por exemplo):

$$I_m(P) = (1 - P_m)P_f D(P_m, P_f) \quad (17)$$

A equação  $I_m(P)$  denota a incidência entre  $m$  como uma função de  $P$ .  $(1 - P_m)$  denota a fração de indivíduos do sexo masculino que não são infectados e estão, então, em risco – denotado por  $P_f$  que representa a fração de indivíduos do sexo feminino que estão infectados.  $D(P_m, P_f)$  é a demanda conjunta por sexo sem proteção de pessoas da classe de risco  $P_m$  e  $P_f$ . Assim,  $(1 - P_m) P_f$  resulta na fração de indivíduos do sexo masculino que previamente não estavam infectados.

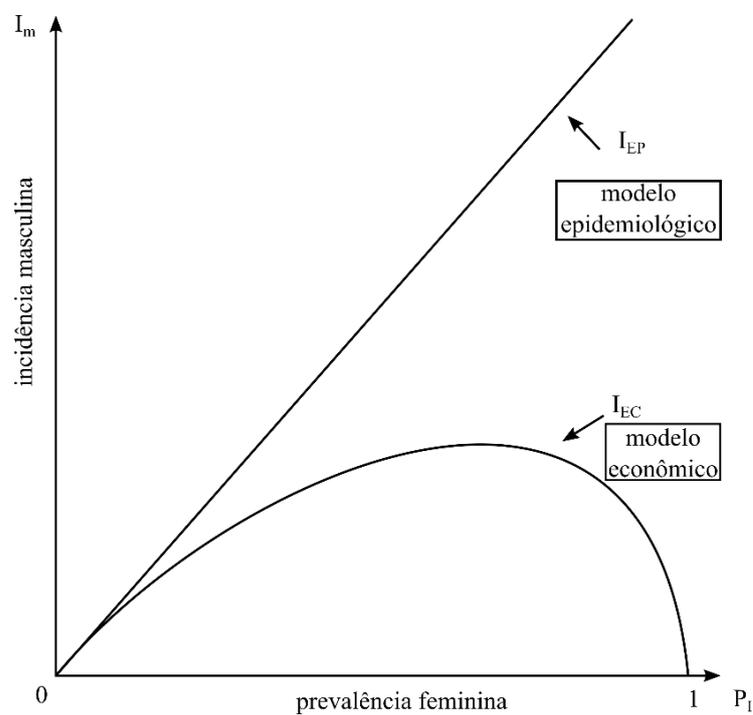
O efeito de um aumento em  $P_f$  (a prevalência do vírus dentro da população do sexo feminino) na incidência da doença no sexo masculino é obtida através da diferenciação de  $I_m$  em função de  $P_f$ :

$$\frac{\partial I_m(P)}{\partial P_f} = (1 - P_m)D(P_m, \partial P_f) + \frac{(1 - P_m)P_f \partial D(P_m, P_f)}{\partial P_f} \quad (18)$$

A relação entre as previsões econômicas e epidemiológicas é apresentada na figura 13, em que mostra como a incidência de casos de AIDS entre os indivíduos do sexo masculino é esperada que varie de acordo com a prevalência dos indivíduos do sexo feminino. A previsão epidemiológica  $I_{EP}$  é gerada pela suposição de que os membros dos dois grupos ignoram a probabilidade de infecção dos seus parceiros, conseqüentemente, a probabilidade de um

indivíduo do sexo masculino se relacionar com alguém do sexo feminino é mais alta e, com isso, a previsão epidemiológica é uma reta ascendente. Ao contrário, o modelo econômico  $I_{EC}$  faz a suposição de que os indivíduos evitarão fazer sexo sem proteção quando o preço relativo se tornar muito alto. Deste modo constata-se que o modelo epidemiológico gera taxas de incidência maiores do que as do modelo econômico, devido a inexistência de demanda pela relação sexual protegida (com uso de preservativo) no modelo epidemiológico  $I_{EP}$ :

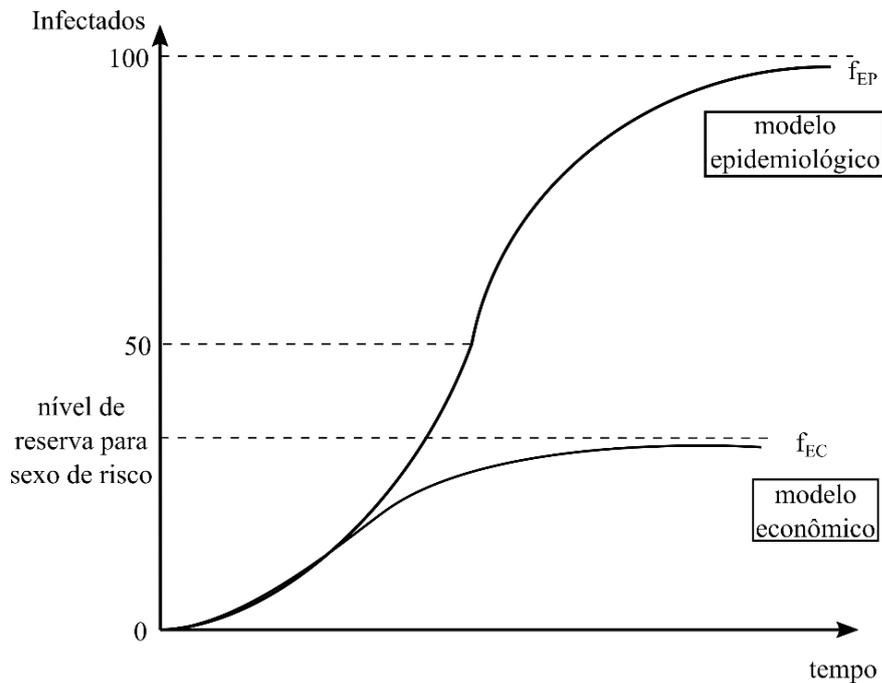
Figura 13: Predição epidemiológica versus predição econômica da incidência da AIDS – transversal



Fonte: Adaptação de Philipson e Posner (1993, p.44).

Dentro de uma previsão de série temporal, é assumido o pressuposto de uma população fechada, vemos que a região convexa da curva  $f_{EP}$  representa a taxa de crescimento crescente que a abordagem epidemiológica prediz até que metade da população esteja infectada. A região concava prediz as taxas de crescimento decrescente. A curva  $f_{EC}$  é a previsão econômica: incidência positiva até que a prevalência atinja o nível em que o indivíduo que é mais avesso ao sexo seguro se torne indiferente em relação a sexo de risco e sexo seguro (aqui  $B$  não é o mesmo para todos); acima disso não há nenhum crescimento já que sexo de risco é muito custoso para todos.

Figura 14: Predição epidemiológica versus predição econômica da incidência da AIDS - série temporal



Fonte: Adaptação de Philipson e Posner (1993, p.48).

É possível relacionar este padrão ao modelo (equações 13 e 14), imaginando um grupo de indivíduos homossexuais que não tem conhecimento sobre o *status* de infecção de potenciais parceiros sexuais. A utilidade esperada de sexo de risco para os não infectados é  $B-CP$ , onde  $P$  é a prevalência da doença na população como um todo. Quando  $P$  aumenta, é alcançado o ponto em que  $B-CP$  é negativo mesmo para as pessoas mais aversas a sexo seguro (indivíduos cujo  $B$  é o mais alto), já que  $C$  é muito maior do que  $B$ . Quando este ponto é alcançado, a doença tem sua propagação cessada.

Os autores explicam que o comportamento racional pode funcionar de uma maneira um pouco diferente da explicada até agora. Se uma epidemia perder totalmente o controle dentro de uma população, os indivíduos têm uma probabilidade tão grande de já estarem infectados e, por isso, não terem nada a perder. Desta maneira, as pessoas, de forma racional, irão abandonar quaisquer formas de precaução. Muito antes deste ponto ser atingido, o incentivo de tomar precauções quando a prevalência está baixa, pode fazer com que a propagação pare. Assim, este ponto em que todos abandonam qualquer forma de proteção nunca é atingido, como é previsto pelos modelos epidemiológicos de população fechada, onde um contínuo aumento na prevalência poderia acarretar a população inteira se tornando infectada.

### 3.1.3 Estudos de casos para a AIDS

Nesta seção serão apresentados dados referentes à epidemia da AIDS na década de 1980 que serão examinados a fim de investigar a utilidade do modelo e exemplificar sua aplicação e implicações para um caso concreto. Todos os aspectos que apoiam a abordagem econômica e todos os aspectos que desqualificam a abordagem epidemiológica não serão avaliados, devido ao grande número de dados da epidemia. Também será utilizado o caso da epidemia da AIDS no continente africano que apresenta implicações diferentes.

Para se compreender melhor a maneira em que o modelo examinado se diferencia dos epidemiológicos, é necessário entender onde os modelos epidemiológicos falham. Muitos modelos não distinguem claramente entre *encontros sexuais* e *transmissão*, já que normalmente são utilizados para doenças que se espalham pelo ar, e não doenças que são transmitidas por contato íntimo voluntário. Os modelos epidemiológicos utilizam como período para medir  $\nu$  (taxa de saída =  $1/\text{tempo de vida médio de uma pessoa infectada}$ ) e  $b$  (taxa de transmissão), o tempo que leva para um *encontro sexual*. A equação para encontrar o número de pessoas não infectadas ( $S$ ) em uma população é:

$$S = \nu/b \quad (19)$$

Supõem-se um encontro por dia, considerando a média da época de doze anos de vida restante para a pessoa infectada, e uma taxa de 2% de probabilidade de transmissão para cada encontro (aproximadamente), isso implicaria uma fração extremamente baixa de  $S$  (indivíduos não infectados):  $S_{\text{dia}} = (1/4,380) / (2/100) = 1/88$ . Isto é, apenas 1,1% da população é saudável no estado estacionário da doença.

No interesse de melhor representar a realidade, porque estamos tentando avaliar a probabilidade de que uma pessoa infectada infecte outras durante o período entre sua infecção e sua morte, vamos analisar  $\nu$  e  $b$ . Levando em conta que a doença estabiliza em torno de um milhão de infectados, uma suposição canônica, temos  $S = 0,99$ . Colocando  $\nu$  e  $b$  em formato de anos,  $\nu = 0,083$ , e se a doença está em um estado estacionário,  $S = 0,99$ , assim, a equação implica que, a probabilidade de transmissão de se manter relações sexuais de forma desprotegida com uma pessoa infectada no período de um ano, é apenas 8,4%. Este número é extremamente baixo ainda mais considerando indivíduos que apresentavam comportamento de risco nesta época, como usuários de drogas injetáveis e homossexuais do sexo masculino. Este número somente seria possível se os homossexuais que praticam sexo seguro estivessem

excluídos do modelo, porém, geralmente, os modelos epidemiológicos não consideram mudanças comportamentais como, por exemplo, a prática de sexo seguro. Desta forma, modelos epidemiológicos que ignoram mudanças comportamentais se mostram tendenciosos. Modelos puramente epidemiológicos deveriam prever acuradamente a incidência da doença que por motivos de ignorância, entre outros, não pode ser controlada por mudanças em comportamento. A AIDS era uma doença que funcionava desta maneira logo que surgiu, já que as pessoas não compreendiam a maneira de transmissão e nem exatamente o que ela causava (Philipson e Posner, 1993).

Em um estudo conduzido por Ahituv *et al.* (1996), utilizando dados sobre a população americana, foi visto que, entre 1984 e 1990, o número de casos de AIDS por cem mil habitantes cresceu a uma taxa anual de 80%. No ano de 1984 quando a prevalência da AIDS era relativamente baixa nos Estados Unidos (0,4 casos por 100 mil pessoas), a proporção de homens e mulheres que utilizavam preservativos era de apenas 7,9%. Isso é, ao longo de seis anos de propagação rápida do HIV, o uso de preservativos dobrou entre jovens adultos. Os dados recolhidos pelos autores mostram que não só o uso de preservativos aumentou como um todo, mas cresceu especialmente em grupos de alto risco de contrair HIV ou outras doenças sexualmente transmissíveis.

Os autores encontraram evidências de que a demanda por preservativos se tornou elástica à prevalência enquanto a epidemia da AIDS progredia durante os anos finais da década de 1980 nos Estados Unidos. Ademais, esta mudança comportamental devido à prevalência local foi maior entre os grupos que sofriam maior risco de infecção. Em última análise, o aumento na medida de risco utilizada (taxas de prevalência de estado de residência) foi responsável por uma parte substancial do aumento da demanda por preservativos entre jovens adultos que ocorreu ao longo da década. A adoção de preservativos como um modo de proteção foi mais responsiva, de modo estatisticamente significativo, entre homens do que mulheres, e entre pessoas solteiras se comparadas às casadas, e para aqueles que residiam em áreas urbanas. A evidência apresentada neste estudo se mostra importante para concluir, com base nas evidências empíricas, que a epidemia da AIDS apresentou um efeito de incentivo autolimitante, ou seja, com a responsividade à prevalência da AIDS através do uso de preservativo e outras mudanças comportamentais, a epidemia acabou por diminuir (Ahituv *et al.*, 1996).

Figura 15: Taxas de uso de preservativos por estado e quartil de prevalência de HIV

	Homens solteiros	Homens solteiros em áreas urbanas	Homens solteiros sexualmente ativos
<b>1984</b>			
Primeiro quartil (menor prevalência)	10.6% <sup>†</sup>	10.3%	14.5%
Segundo quartil	7.4%	4.8%	8.5%
Terceiro quartil	10.4%	8.2%	12.1%
Quarto quartil (maior prevalência)	9.2%	10.6%	12.2%
<b>1990</b>			
Primeiro quartil (menor prevalência)	21.3%	22.2%	25.3%
Segundo quartil	24.4%	24.5%	26.8%
Terceiro quartil	30.9%	33.4%	29.3%
Quarto quartil (maior prevalência)	30.5%**	32.5%**	34.1%

Fonte: Ahituv *et al.*, (1996) e Bhattacharya *et al.*, (2013 p.466).

\*\* Discrepância estatística significativa entre o primeiro e o quarto quartil no nível de 5%.

† O uso de preservativo é definido como a porcentagem de respondentes que, ao serem questionados sobre a seguinte pergunta da pesquisa: “Durante o último mês, você ou seu (parceiro / cônjuge) usou algum método contraceptivo?”, disseram ter usado preservativo.

A análise dos dados apresentados é referente a epidemia da AIDS nos Estados Unidos durante década de 1980. Nesta época, o HIV não era muito conhecido pela população e nem pela comunidade científica, tendo os seus meios de propagação desconhecidos entre os indivíduos. Esta foi uma tendência dentro do país que pode se repetir também em outros que tenham semelhanças, porém, como mencionado anteriormente o HIV não é mais uma doença desconhecida, e, conseqüentemente, a compreensão da doença, na década de 1980, fez com que os indivíduos acabassem por responder à prevalência de uma maneira correta: através do uso de preservativos para prevenir a infecção.

A epidemia da AIDS ainda existe em diversos locais. No continente africano, por exemplo, a AIDS é um grande motivo de preocupação. Porém, os problemas enfrentados pelas nações africanas, referentes a AIDS, são diferentes dos problemas enfrentados nos Estados Unidos e em épocas distintas.

A relação entre epidemias de doenças infecciosas e pobreza pode ser dramaticamente relacionada com a experiência da AIDS nos países africanos. Em situação de pobreza e extrema pobreza, os indivíduos têm menos contato com informações sobre como se prevenir e quais são os perigos do HIV/AIDS. Ademais, o peso da AIDS se torna muito maior para as pessoas pobres.

O acesso a informações corretas, como foi visto no capítulo anterior, tem um grande peso na interrupção da cadeia de transmissão do HIV e no controle do agravamento da doença. Medidas profiláticas de baixo custo não eram comumente utilizadas quando a epidemia surgiu e as suas causas não eram claras e nem conhecidas por muitos indivíduos. O preservativo de látex é uma medida de baixo custo e fácil de ser distribuído, porém foi a informação sobre o preservativo que tornou os ganhos em saúde possíveis. A política de saúde pública de propagar informação científica confiável para o combate do HIV/AIDS foi posta em prática no continente africano com o apoio das comunidades locais. A ação coletiva entre os povos africanos e o governo mostra a importância da ação governamental, já que a informação é um bem público e tem seu custo marginal de transmissão baixo quando a infraestrutura para a sua transmissão se estabelece. A venda de informação em um mercado privado não é possível, já que é economicamente inviável limitar a informação a aqueles que pagam, justificando a intervenção governamental (Folland *et al.*, 1994).

No continente africano, a medicina informal muitas vezes é responsável pelo único cuidado com a saúde que os indivíduos têm. Devido a este motivo, levar a informação correta para os povos do continente africano que dependem majoritariamente da medicina informal foi, e ainda é, uma das principais formas de combater a AIDS. O papel do governo no combate a AIDS não se mostra importante apenas na disseminação de informação. A lógica econômica implica que o preço efetivo dos comportamentos considerados arriscados deve subir e o governo é fundamental dentro desta lógica. A intervenção governamental pode reduzir o preço efetivo do comportamento sexual considerado seguro, providenciando preservativos gratuitamente, por exemplo (Folland *et al.*, 1994).

O conceito de elasticidade-prevalência pela demanda de bens e serviços preventivos torna-se crucial no caso africano. Sabe-se que, se uma elasticidade demanda por prevenção for suficientemente grande, isto irá resultar em uma resposta preventiva alta, fazendo, assim, com que a percepção de uma prevalência grande da doença possa acarretar uma diminuição de novas infecções no futuro devido ao aumento de cuidado que os indivíduos irão ter. Este aumento de cuidados tende a reduzir a incidência e a prevalência da doença.

No continente africano, os indivíduos nem sempre responderam a evidências, que mostram o crescimento da AIDS, de uma maneira que envolva cuidado preventivo, não respondendo a prevalência da AIDS. Neste caso, a elasticidade-prevalência pode ser considerada baixa, gerando uma epidemia que não cessa de crescer. Considerando os aspectos citados, a informação carrega consigo um papel de encorajamento de futura responsividade a

prevalência da AIDS, incentivando os indivíduos a adotarem um comportamento preventivo frente a doença. No continente africano, mesmo o país mais rico, a África do Sul, perdeu entre trezentas mil e quatrocentas mil pessoas para a AIDS, a cada ano por diversos anos seguidos, mostrando que, a falta de informação e obstáculos culturais, como a medicina informal, infelizmente dificultam o combate a AIDS. Com isso, a mudança comportamental, como, por exemplo, a utilização de preservativo, envolve um custo baixo que tem efeitos substanciais. A análise comportamental mostra ser um caminho adequado para o controle da AIDS em diversos locais sendo ajustada às particularidades envolvidas em cada ambiente (Folland *et al.*, 1994).

É importante frisar a necessidade de mais pesquisas que relacionem doenças infecciosas ao desenvolvimento da infraestrutura dos sistemas de saúde em países de baixa renda, como nas nações do continente africano, para assim, transformar os avanços científicos em realidade operacional (Hauck, 2018).

Nesta subseção pudemos ver a convergência entre os dados apresentados e o conceito de elasticidade-prevalência. Como foi explicado anteriormente, a AIDS não era uma doença conhecida pela população quando surgiu nos anos 1980, ou seja, não havia conhecimento sobre maneiras corretas de proteção e como ela de fato se propagava. A responsividade à prevalência da doença entre as pessoas que apresentavam comportamento de risco na época foi essencial para a diminuição da propagação da AIDS na sociedade. Desta forma, podemos ver claramente que quando os incentivos corretos foram criados, através da informação das maneiras de contágio e formas de proteção, a dinâmica da AIDS foi alterada, devido ao receio dos indivíduos de se contaminarem dada uma alta prevalência da doença. O aumento da utilização de preservativo pelos mais afetados pela epidemia, ocorreu com o aumento expressivo da doença dentro deste grupo devido a comportamentos anteriormente não considerados como arriscados.

De forma diferente podemos ver a relação da elasticidade-prevalência com a epidemia da AIDS no continente africano. A elasticidade-prevalência é considerada baixa nesta situação, o que é relacionado à falta de informação e à falta de medicina formal, com isso, a população não responde ao aumento da prevalência da doença. Logo, a intervenção governamental se insere neste caso para incentivar uma responsividade a prevalência através da disseminação de informações e da disponibilização de cuidados básicos com a saúde, promovendo a medicina formal.

Com isso, pudemos ver que os dados apresentados corroboram com a teoria da epidemiologia econômica, principalmente em relação a elasticidade-prevalência. Mostrando,

desta forma, o maior rigor da abordagem econômica devido às considerações comportamentais dentro dos modelos. Quando a elasticidade-prevalência é consideravelmente maior que zero, o papel governamental se difere do que quando ela é baixa. A importância do conceito de elasticidade-prevalência se dá na forma que o governo a utiliza para formular a magnitude das políticas públicas, ou seja, quem elas devem atingir, por quanto tempo e a forma de incentivo utilizado, como por exemplo, optar pelo subsídio a vacinação ou em formas de levar informação e, conseqüentemente, educação para as pessoas.

### 3.2 A EPIDEMIA DO SARAMPO

Nesta seção será discutida a relação entre epidemiologia econômica e a epidemia de sarampo, mais especificamente, o grau em que a ocorrência de doenças preveníveis por vacina afeta os esforços de vacinação contra estas mesmas doenças. Será examinada a epidemia de sarampo nos Estados Unidos que ocorreu na década de 1980, em que há fortes evidências de que a prevalência de sarampo no estado de residência dos indivíduos, reduziu a idade em meses da primeira dose da vacina contra sarampo em crianças. Este caso se diferencia do da AIDS pelo fato de existir uma vacina contra sarampo disponível, fazendo com que a doença apresente uma dinâmica e tentativas de controle diferentes. Será apresentada uma adaptação do estudo feito por Philipson (1996).

As epidemias criam incentivos que têm um papel muito importante na ocorrência da epidemia em si e nas medidas de saúde pública criadas para controlá-la. A elasticidade-prevalência neste caso tem importantes implicações para a formulação e implementação de políticas públicas destinadas a diminuir a prevalência da doença, como: em subsídios de preços; e programas de vacinação obrigatória.

As medidas governamentais em grande parte dos países, visam aumentar a demanda por vacina entre a população através de subsídios de preços. Programas que buscam estimular esta demanda normalmente são motivados pelo baixo fornecimento de vacinas, já que elas apresentam efeitos externos positivos (imunidade de rebanho), e pela crença de que a demanda por vacina é elástica ao preço. Porém, se a demanda por vacina é elástica a prevalência de doenças, ela limitará a elasticidade-preço. O argumento dos autores é de que um aumento de preço acarretará um aumento da prevalência e, portanto, um aumento indireto na demanda por vacinas. Desta forma, o efeito negativo causado pelo preço será compensado. Se a demanda por

vacina é altamente elástica a prevalência, a demanda será altamente inelástica ao preço, fazendo com que o preço da vacina seja uma barreira secundária na taxa de aumento de vacinações. Com isto, a elasticidade-prevalência tem uma grande importância, já que ela altera os cálculos do impacto de subsídios de preço direcionados a estimular a demanda, assim como qualquer justificativa *Pigouviana* para tais subsídios.

### 3.2.1 Modelo

Os autores utilizaram o modelo SIR explicado no capítulo anterior. Sob uma trajetória de prevalência futura  $Z_t = \{I_t, s_t \geq\}$  e preço de vacinação  $p$ , a demanda por vacinação representada pela taxa de risco de suscetibilidade para imunidade são denotados por  $h(Z_t, p)$ . Esta é a fração de indivíduos suscetíveis que são vacinados em um dado período. Considerando esta demanda, a evolução através do tempo do número de agentes em cada estado de saúde caracteriza a dinâmica particular do sarampo, e as probabilidades de transição entre dois estados de saúde são denotados por  $\lambda_{aa'}$ , ou seja, a fração da população no estado  $a$  que se desloca para o estado  $a'$ . A fração dos suscetíveis que se tornam infectados,  $\lambda_{si}$ , depende da prevalência da doença na população.  $\lambda_{si} = \beta I_t$ , onde  $I_t$  é a proporção da população total que é infectada e  $\beta$  é a probabilidade de transmissão entre suscetíveis e infectados. Se o número de agentes é grande o suficiente, o comportamento agregado pode ser aproximado pelo seguinte sistema de equações simultâneas:

$$\begin{cases} dS_t/dt = \lambda_{os} - \beta I_t S_t - (\lambda_{sd} + h(Z_t, p))S_t \\ dI_t/dt = \beta I_t S_t - (\lambda_{ir} + \lambda_{id})I_t \\ dR_t/dt = \lambda_{ir}I_t + h(Z_t, p)S_t - \lambda_{rd}R_t \end{cases} \quad (20)$$

No modelo, as taxas de nascimento foram equalizadas às de morte ( $\lambda_{os}$  e  $\lambda_{hd}$ ), com o objetivo de focar em um tamanho populacional constante, que é normalizado para 1. A mudança dos indivíduos suscetíveis se dá à entrada de recém-nascidos não vacinados,  $\lambda_{os}$ ; à saída de indivíduos devido a novas infecções,  $\lambda_{si}S_t = \beta I_t S_t$ ; e a saídas não relacionadas a doenças e vacinações  $(\lambda_{sd} + h(Z_t, p))S_t$ , onde  $h$  é a probabilidade de vacinação. A chance de vacinação aumenta com a prevalência no estado estacionário, que é referido como a elasticidade-

prevalência de demanda por vacina. Ao contrário, a taxa cai com o preço da vacinação:  $h_I \geq 0$  e  $h_p \leq 0$ .

A mudança no estoque de indivíduos infectados deve-se à entrada de novas infecções,  $\lambda_{si}S_I$ ; as saídas devido à imunidade natural na taxa  $\lambda_{ir}$ ; e saídas devido a mortes não relacionadas com doenças à taxa  $\lambda_{id}$ . Por fim, a mudança no estoque de indivíduos imunes deve-se à entrada de indivíduos em recuperação de infecções,  $\lambda_{iI}$ ; a entrada de suscetíveis vacinados,  $hS_I$ ; e saídas devido a mortes não relacionadas a doenças,  $\lambda_{rd}R$ . A função do teorema aplicada para a condição de estado estacionário (\*) para suscetibilidade pode ser mostrada abaixo:

$$\frac{\partial I^*}{\partial p} = \frac{h_p}{h_I + \beta} \quad (21)$$

Mesmo que o efeito do preço na prevalência seja positivo, este efeito é descontado pela elasticidade-prevalência, ou seja, o efeito está diminuindo em  $h_I$ . Esta interação implica que quanto maior é a elasticidade-prevalência por demanda de vacinação, menor é o efeito positivo do preço na prevalência. Isto ocorre porque quanto maior for a medida em que os indivíduos respondem às mudanças nos níveis de prevalência de doenças, maior é a resposta contrária (neutralizante) a um aumento na prevalência de doenças provocado por um aumento de preços.

Uma vez que a demanda por vacina apresenta uma sensibilidade à prevalência, ela limita a sensibilidade ao preço. Seguindo este raciocínio, a elasticidade-prevalência da demanda por vacina também limita os efeitos de prevalência dos programas públicos de estímulo à demanda, como os subsídios *pigouvianos* de preço. O efeito total na demanda, de um aumento no preço, satisfaz a equação (22):

$$\frac{dh_T}{dp} = h_I \cdot I^*_{*p} + h_p = \left( \frac{1}{1 + \frac{h_I}{\beta}} \right) \cdot h_p \quad (22)$$

Quanto maior for o efeito da prevalência na vacinação, mais o efeito do preço total é reduzido. No caso extremo de uma demanda inelástica à prevalência,  $h_I = 0$ , o efeito total colapsa ao efeito parcial do preço  $h_p$ , já que não existe um efeito neutralizante induzido pelo aumento da prevalência.

O mesmo tipo de efeito neutralizante ocorre em programas obrigatórios de vacinação. Se  $h_T(f)$  denota a chance total de vacinação quando a fração  $f$  é obrigatoriamente vacinada, temos:

$$h_T(f) = f + (1 - f)h(I(f, p), p) \quad (23)$$

Onde  $I(f, p)$  é a prevalência no estado estacionário sob um dado nível de vacinação obrigatória e preço. O efeito marginal de aumentar a cobertura obrigatória é representado por:

$$\frac{dh_T}{df} = (1 - h) + (1 - f)h_I I_f \quad (24)$$

Incluir no programa obrigatório aqueles indivíduos que de outra maneira não iriam se vacinar voluntariamente, produz um efeito direto positivo. Entretanto, há também efeitos negativos como, naqueles indivíduos que estão fora do programa, os quais tem a demanda diminuída através da redução da prevalência.

### 3.2.2 Dados e implicações para subsídios

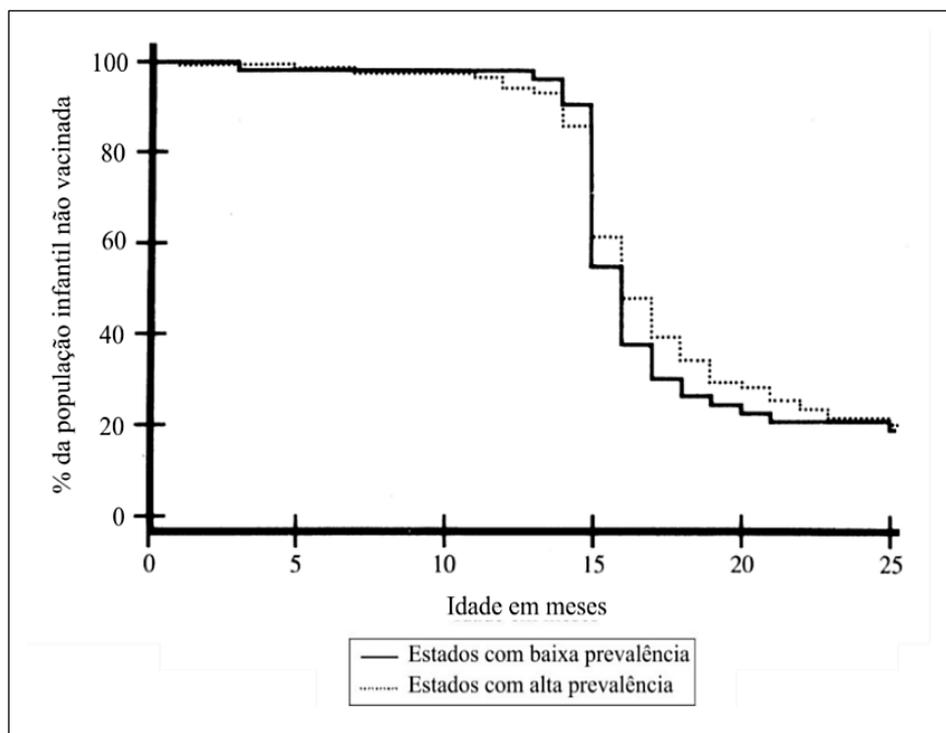
Nos anos entre 1989 e 1991, os Estados Unidos passaram por uma epidemia de sarampo. Os casos aumentaram mais de dez vezes entre o ano de 1984 e 1990, de 2,5 mil casos para 27 mil. Este aumento na prevalência gerou mudanças no incentivo à vacinação em diferentes estados em que os autores estimaram o aumento subsequente de demanda por vacinas, de acordo com a resposta a prevalência observada em cada estado. Os autores afirmam que não houve uma mudança substancial de preços das vacinas em nível nacional, porém, os subsídios foram diferentes entre estados.

Os autores analisaram a época em que ocorreu a primeira vacinação, por estado, contra sarampo, caxumba e rubéola (vacina MMR). A época recomendada para crianças serem vacinas contra sarampo é entre 12 e 15 meses de idade e a administração da segunda dose nos 72 meses de vida, ou antes da entrada na escola.

As figuras 16 e 17 mostram grupos de nascimento diferentes divididos em nascidos em 1986 e em 1989. As crianças nascidas em 1989 completaram seu primeiro aniversário no meio da epidemia, enquanto as que nasceram em 1986 completaram antes de começar a epidemia. Foram feitas subdivisões dentro dos grupos por quantidade de casos no estado de residência no quartil mais baixo e no mais alto, baseados na média de casos de sarampo para o período de

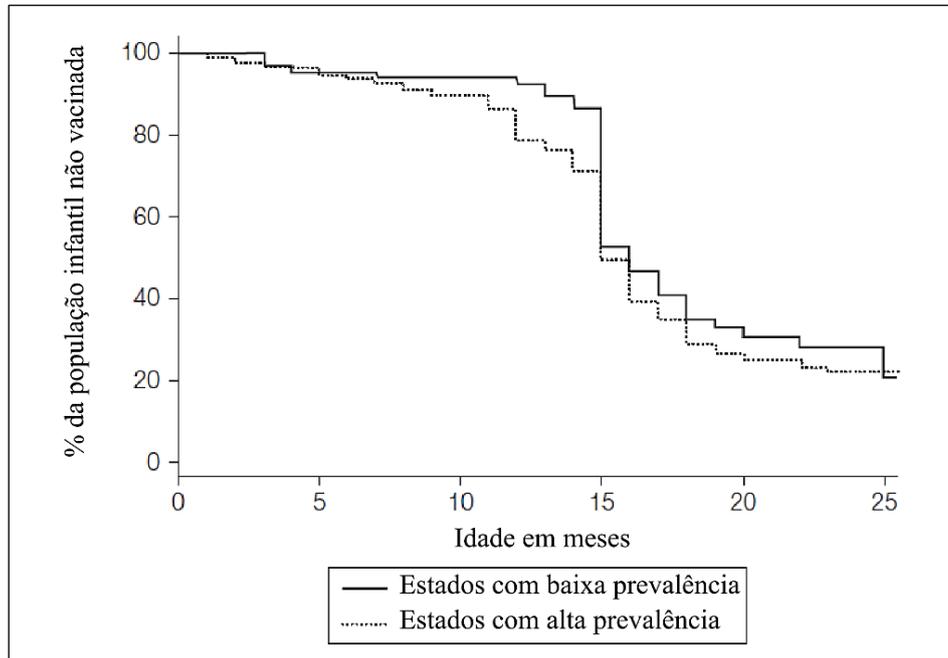
1988-90. No grupo que nasceu dois anos antes da epidemia começar, não houve diferença significativa entre as sobrevivências estimadas. Para o grupo que nasceu durante a epidemia, os indivíduos morando em estados com o maior número de casos teve um tempo de sobrevivência suscetível significativamente mais curto. Entre 12 e 15 meses de idade, as duas sobrevivências diferenciadas pela prevalência começaram a se separar uma das outras. Estes padrões sugerem que a prevalência possa ter incentivos suficientemente altos para alterar a duração da suscetibilidade.

Figura 16: Taxas diferenciais de vacinação contra o sarampo por prevalência em todo o estado para bebês nascidos em 1986



Fonte: Adaptação de Philipson (1996 p. 618).

Figura 17: Taxas diferenciais de vacinação contra o sarampo por prevalência em todo o estado para bebês nascidos em 1989



Fonte: Adaptação de Philipson (1996, p.619).

A fim de avaliar a robustez desses padrões na demanda por vacinas, várias especificações distintas de durações de demanda em nível individual e forma reduzida são estimadas como uma função de vários controles. Uma especificação é empregada, a qual, na sua forma mais geral, inclui três conjuntos de medidas: individuais, regionais e de saúde pública.

Ela especifica que, para um indivíduo não vacinado na idade  $t$ , a probabilidade de vacinação é proporcionalmente dependente de quatro conjuntos de variáveis. O primeiro é a covariante de variação de tempo; o segundo inclui medidas das características das crianças e das suas famílias; o terceiro comprime variáveis regionais do estado de residência da criança; e o quarto e último conjunto inclui as medidas de saúde pública tomadas para estimular a demanda por vacina no estado de residência da criança.

A tabela a seguir mostra a robustez das elasticidades-prevalência estimadas. Os autores encontraram que, ao longo de todas as especificações, a covariante de variação de tempo  $I_t$ , tem um grande efeito sobre a duração até a vacinação. Independente da especificação utilizada, os efeitos estimados são positivos e altamente significativos em qualquer nível padrão de significância. A covariante para variação de tempo é denotada como  $PrevMea_t$ .

Tabela 6: Estimativas de risco proporcional para a covariável de prevalência com variação no tempo

<i>Variáveis</i>	<i>Modelo 1</i>	<i>Modelo 2</i>	<i>Modelo 3</i>	<i>Modelo 4</i>	<i>Modelo 5</i>
<i>PrevMea</i>	1.822 (7.500)	1.893 (7.884)	1.887 (7.757)	1.727 (6.640)	1.574 (5.051)
<i>Educ</i>	.032 (2.756)	.028 (2.417)	.028 (2.446)	.039 (3.342)	.043 (3.615)
<i>Income</i>	.005 (2.996)	.005 (2.577)	.004 (2.120)	.004 (2.158)	.004 (2.131)
<i>Black</i>	.151 (1.293)	.114 (.974)	.114 (.976)	.109 (.938)	.177 (1.455)
<i>White</i>	.167 (1.727)	.139 (1.440)	.175 (1.800)	.210 (2.157)	.251 (2.524)
<i>Famsize</i>	-.004 (-.186)	.005 (.247)	.005 (.217)	-.026 (-1.159)	-.031 (-1.369)
<i>Famtype</i>	-.092 (-.183)	-.159 (-.317)	-.017 (-.380)	-.302 (-.600)	-.249 (-.487)
<i>Admit12</i>	-.022 (-.147)	-.024 (-.162)	-.017 (-.116)	.016 (.118)	.019 (.141)
<i>Daysadm</i>	-.049 (-1.878)	-.048 (-1.834)	-.049 (-1.856)	-.025 (-1.040)	-.022 (-.955)
<i>Mother</i>	.433 (5.189)	.434 (5.190)	.449 (5.370)	.486 (5.765)	.482 (5.695)
<i>Sex</i>	.013 (.027)	.018 (.379)	.019 (.392)	-.008 (-.157)	-.009 (-.193)
<i>Chldcare</i>		.223 (4.352)	.233 (4.540)	.068 (1.256)	.074 (1.330)
<i>Sizemsa1</i>			.128 (1.929)	.146 (2.182)	.129 (1.662)
<i>Sizemsa2</i>			.022 (.312)	.029 (.402)	.037 (.464)
<i>Sizemsa3</i>			-.131 (-1.161)	-.089 (-.795)	-.037 (-.301)
<i>Sizemsa4</i>			-.230 (-1.153)	-.233 (-1.164)	-.252 (-1.186)
<i>Born86</i>				-.024 (-.244)	-.041 (-.401)
<i>Born87</i>				-.072 (-.712)	-.091 (-.898)
<i>Born88</i>				-.035 (-.344)	-.040 (-.392)
<i>Born89</i>				-.069 (-.675)	-.060 (-.575)
<i>Born90</i>				-1.24 (-9.926)	-1.227 (-9.680)
<i>Dummies p/ estado</i>	<i>não</i>	<i>não</i>	<i>não</i>	<i>não</i>	<i>sim</i>

Fonte: Philipson (1996, p.624).

As elasticidades-prevalência estimadas implicam que ignorá-las pode levar a avaliações errôneas de políticas de saúde pública que buscam estimular a demanda por vacina. Existem discrepâncias significativas entre ignorar e não ignorar os níveis estimados da elasticidade prevalência. Utilizando o efeito total de um aumento no preço na demanda total, o fator  $\delta$  pelo qual o efeito do preço para uma demanda inelástica a prevalência ( $h_I=0$ ) é maior do que o efeito do preço para uma demanda elástica a prevalência.

$$\delta \equiv \frac{-h_p/\beta}{-h_p/(h_l + \beta)} = 1 + h_l/\beta \quad (25)$$

Concluindo, os autores investigaram que a extensão em que ocorrem doenças preveníveis por vacina, determina o grau em que vacinação contra tal doença acontece, como também o grau em que medidas de saúde pública afetam a demanda por vacinação.

As evidências apresentadas ao longo desta seção apoiam a existência de uma demanda elástica a prevalência. As limitações que a demanda impõe nos subsídios *Pigouvianos*, ou em outros subsídios devem ser sempre levadas em consideração e propor uma reavaliação de tais subsídios. Quando a demanda é elástica a prevalência, ela apresenta importantes implicações no tempo certo de aplicar programas de saúde pública, já que subsídios públicos que incentivam comportamento de autoproteção competem com o comportamento transmissivo, ou seja, se o subsídio público é aplicado tarde demais, o desincentivo privado causado pela prevalência já alterou o comportamento. Portanto, é necessária uma análise mais cuidadosa sobre os incentivos que levam a ocorrência de doenças preveníveis por vacina, e do efeito que medidas públicas têm no controle destas doenças (Philipson, 1996; Sadique, 2006).

Com isso pudemos ver uma abordagem mais direta para medir a elasticidade-prevalência, a qual envolve a comparação de diferentes regiões com diferentes níveis de prevalência no mesmo período. Pais de crianças que nasceram durante a epidemia de sarampo, em estados de alta prevalência da doença, vacinaram seus filhos mais cedo do que em estados de baixa prevalência. De acordo com as figuras apresentadas nesta seção, crianças em estados de alta prevalência tinham quatro vezes mais chance de serem vacinadas antes de completarem um ano de idade do que crianças em estados de baixa prevalência de sarampo. Apesar de ser um estudo observacional e não de experimento controlado, as vacinações em estados de baixa e alta prevalência não sofreram grandes mudanças antes da epidemia, e sim, depois. Isso sugere que a resposta durante a epidemia de sarampo foi devido a elasticidade-prevalência positiva (Philipson, 1996; Bhattacharya *et al.*, 2013).

### 3.3 ASPECTOS HISTÓRICOS DA PANDEMIA DA GRIPE ESPANHOLA

A pandemia da Gripe Espanhola entre os anos de 1918 e 1920 providencia informações historicamente relevantes que auxiliam na interpretação dos resultados encontrados para a pandemia do coronavírus. A Gripe Espanhola matou aproximadamente 2,1% da população mundial da época, ou seja, 40 milhões de pessoas (Barro *et al.*, 2020). A análise de epidemias passadas ajuda a formular políticas para atenuar os efeitos negativos de epidemias futuras. A pandemia da Gripe espanhola é a que mais apresenta semelhanças com a pandemia do coronavírus, tanto pela maneira com que ambas as doenças se propagam, quanto com a proporção que tomaram. As doenças contagiosas se espalham mais facilmente com a mobilidade da população mundial, que foi o que vimos com a gripe espanhola e com a COVID-19.

Por ser uma pandemia que ocorreu há 100 anos, não existem muitos dados sobre intervenções não farmacêuticas (INFs) para tentar conter a propagação da gripe. Porém, nos Estados Unidos, foi possível encontrar tais dados. Estes métodos não farmacêuticos podem ser: fechamento de escolas e teatros, proibição de aglomeração em locais públicos e quarentena/isolamento, por exemplo.

Uma baixa taxa cumulativa de mortes é uma maneira razoável utilizada para medir o sucesso dos métodos não farmacêuticos. Em contraste, um pico relativo mais baixo implica em um padrão mais suave, muitas vezes descrito como um “achatamento da curva”, que pode ser desejável do ponto de vista de aliviar encargos sobre o sistema de saúde, possivelmente levando a menos mortes. No entanto, para uma determinada taxa de mortalidade, se um método não farmacêutico diminuir o pico relativo, a implicação é que a intervenção atrasa as mortes, mas não as evita em última instância (Barro, 2020).

De acordo com um estudo feito por Correia *et al.*, (2020), não existem evidências de que as cidades que intervieram, mais cedo e de forma mais agressiva, tenham tido pior desempenho nos anos subsequentes a pandemia nos Estados Unidos. Isto foi medido pelo emprego e produção local e tamanho do setor bancário local. Os autores afirmam que as cidades que impuseram INFs mais agressivas tiveram um crescimento da atividade econômica a partir de 1919. Enquanto pandemias estão associadas com problemas econômicos, as intervenções podem reduzir transmissões de doenças sem agravar a desaceleração econômica induzida pela pandemia.

Diversos estudos consideram que estes métodos são determinados exogenamente, ou seja, mudanças em taxas de morte não impactam os métodos não farmacêuticos escolhidos. Porém, alguns autores consideram a probabilidade de serem endógenos (Barro *et al.*, 2020). Considerando as INFs sendo endógenas aos resultados econômicos e de saúde locais, isto implica que, por exemplo, o governo pode estar mais inclinado a intervir se a exposição histórica à gripe for maior, o que por sua vez pode estar relacionado a outros fatores, como características sociodemográficas ou geográficas.

Uma preocupação é que as intervenções refletem a qualidade das instituições, incluindo o sistema de saúde. Locais com melhores instituições podem ter um custo de intervenção menor, bem como melhores perspectivas econômicas. Estas questões podem ser abordadas estudando a variação das INFs por regiões. O estudo feito por Correia *et al.*, (2020) onde foram coletadas informações mensais sobre interrupção de negócios em cidades que conseguiram diminuir a curva de contágio através de medidas não farmacêuticas, não apresentaram grandes interrupções em atividades econômicas locais. A pandemia por si só interferiu negativamente na economia, porém intervenções públicas não exacerbaram esta interrupção das atividades econômicas (Correia *et al.*, 2020). Um aumento destes métodos citados acima reduz o pico relativo da taxa de mortalidade. Porém, se eles não forem implementados por um período longo de tempo, o objetivo de diminuir o número de mortes não é atingido e a economia sofre mais danos ainda.

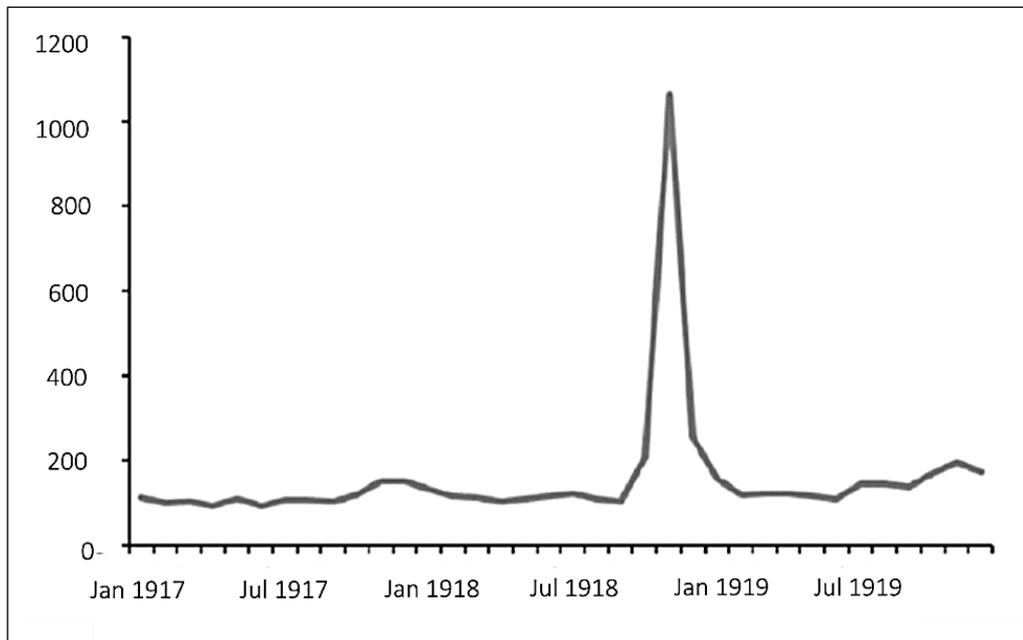
As opiniões se divergem bastante no que diz respeito ao fechamento de estabelecimentos e escolas, além de outras intervenções governamentais. Uma das dúvidas que permeia esta discussão é se as INFs apresentam custos econômicos, ou se estas intervenções para conter a propagação de uma epidemia também reduzem a severidade dos impactos na economia e como podemos analisar estes cenários. As INFs têm como objetivo reduzir as interações sociais e, com isso, reduzem a atividade econômica que depende destas interações. Mesmo assim, as atividades econômicas durante uma pandemia também são reduzidas na ausência de tais medidas, já que a força de trabalho é diminuída para reduzir o risco de infecção, e as empresas cortam investimento em resposta a crescente incerteza que o cenário traz. Ademais, enquanto o efeito direto de INF é diminuir a atividade econômica para frear a propagação de doenças, elas também mitigam o impacto original que é a pandemia em si. Contendo a pandemia, as INFs podem mitigar as disfunções econômicas relacionadas a propagação da doença. Os exatos mecanismos que através dos quais as INFs afetaram a

economia durante a gripe Espanhola, não são exatamente claros devido aos dados limitados de 1918 (Correia *et al.*, 2020).

As INFs podem ter benefícios econômicos indiretos ao abordar a raiz do problema de forma coordenada, ou seja, mitigar a pandemia pode evitar uma desaceleração econômica ainda pior. Por exemplo, Bodenstein *et al.* (2020) apresentam um modelo de dois setores em que as INFs mitigam o declínio na produção ao achatar a curva, mesmo sem reduzir significativamente a infecção cumulativa. No modelo, a produção do setor essencial à economia é menos prejudicada quando a doença e o risco de contrair um vírus em um determinado momento é menor, levando a um menor declínio geral da produção. Além disso, de acordo com Correia *et al.*, (2020), ao reduzir as taxas de infecção cumulativas, as INFs podem ter benefícios econômicos de médio prazo, reduzindo diretamente a doença e a mortalidade e reduzindo os custos associados ao aumento da morbidade.

A pandemia da Gripe Espanhola teve grande impacto no Brasil. Em São Paulo, a doença causou 5.331 mortes no período de outubro a dezembro de 1918, e infectou mais de 350 mil pessoas, referente a dois terços da população da cidade de São Paulo na época. A gripe foi tratada com descaso pelo governo brasileiro, o que gerou um impacto devastador quando chegou ao Brasil. A falta de preparo e de políticas de controle geraram efeitos negativos na produtividade, na educação e na saúde a curto e longo prazo, mais especificamente até 1940. O setor da agricultura, por exemplo, apresentou em 1920, um declínio de 21% na produção de café, 47% de declínio na produção de arroz e 25% na de milho (Guimbeau, *et al.*, 2020). Estes dados mostram a importância de políticas públicas direcionadas a atenuar as consequências negativas das epidemias que podem se estender por anos, principalmente em regiões com um sistema de saúde com baixo nível de infraestrutura apropriada para responder adequadamente a grandes demandas, como no caso brasileiro.

Figura 18: Total mensal de mortes por 100 mil habitantes em no estado de São Paulo (janeiro de 1917 - dezembro de 1919)



Fonte: Adaptação Guimbeau *et al.*, (2020).

É possível ver na figura 18 como a pandemia afetou o estado de São Paulo de uma forma extremamente rápida e agressiva. Não há sistema de saúde que consiga absorver os impactos de uma epidemia tão rapidamente, fazendo com que um número alto de mortes seja inevitável dependendo da gravidade da doença. Como resultado, vemos efeitos negativos e duradouros em diversos setores. Como nação, temos bastante a aprender com os efeitos negativos da gripe espanhola. A pandemia do novo coronavírus avançou rapidamente com a grande mobilidade entre cidades, estados e países, trazendo à tona a necessidade de respostas rápidas e eficientes. Evidências de epidemias passadas devem incentivar que intervenções já estejam prontas para diferentes cenários de doenças infecciosas, já que sabemos os efeitos negativos que elas podem trazer para a saúde e para a produção econômica.

### 3.4 ANÁLISE DOS DADOS DA PANDEMIA DA COVID-19

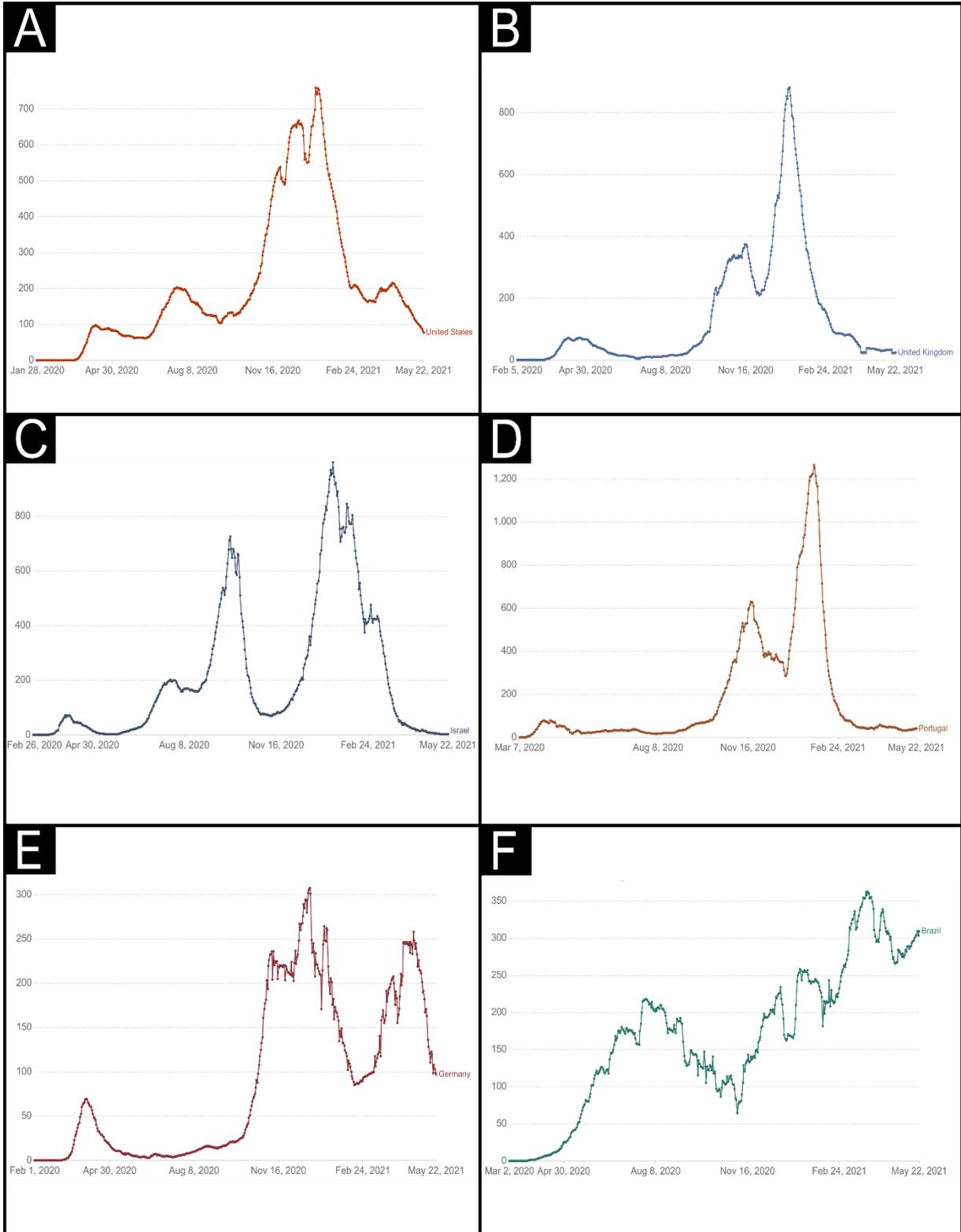
Nesta seção serão abordados dados de prevalência e vacinação do novo coronavírus em alguns países, os quais serão analisados por grupo a fim de facilitar a visualização da análise. O objetivo desta seção é relacionar os dados a uma hipótese da epidemiologia econômica que possa explicar as ondas de contágio em diferentes países. Visto que ocorreram diversos

problemas organizacionais e de logística ao longo da pandemia, é estimado que a notificação de casos esteja abaixo da quantidade real. Uma das explicações é o baixo número de testes disponíveis no início da pandemia, além da falta de confiança nos dados liberados por alguns países. Todas as figuras a seguir estão na forma linear e apresentam dados relativos ao tamanho da população em cada país.

Observando a figura 19, pode-se ver um certo padrão entre as curvas dos países nos novos casos diários, com exceção do Brasil. Este padrão é caracterizado por um pequeno pico (se comparado aos picos subsequentes) de casos confirmados no início da pandemia, uma longa estabilidade ao longo do verão europeu (vale), um pico alto no inverno e um terceiro pico subsequente. A hipótese deste padrão observado se dá a um pico inicial referente a falta de informação sobre o novo coronavírus, ou seja, os indivíduos não tinham consciência de como o vírus se espalhava, o quão rápido poderia ser propagado, o quão fácil era contraí-lo, quem fazia parte do grupo de risco de desenvolver a forma grave da doença, os métodos de prevenção, e os métodos de tratamento. Podemos relacionar o início da pandemia da COVID-19 com a pandemia da AIDS, quando a falta de informação foi um gatilho inicial para um nível de propagação alto, e uma subsequente responsividade à prevalência da doença quando ela começou a aumentar.

O receio de contrair um vírus que estava se propagando rapidamente incentivou governos e indivíduos a tomarem medidas de proteção para conter a elevada prevalência. A falta de informação, como mencionada anteriormente, fez com que o vírus encontrasse oportunidade de se propagar. Isto levou, por exemplo, a restrições mais rígidas na Europa no início da pandemia logo que a prevalência aumentou. A mobilidade elevada entre cidades, estados e países, fez com que o vírus se propagasse pelos continentes. O fechamento de fronteiras foi uma intervenção não farmacêutica utilizada para evitar a intensificação do contágio, obrigando os indivíduos a não viajarem. A diminuição da mobilidade dos indivíduos foi incentivada em diversas dimensões, como: o fechamento dos serviços chamados de não essenciais, o fechamento de escolas, a adoção do *home office* por parte de muitas empresas, toque de recolher a noite, a fiscalização nas ruas, e a aplicação de multas altas se as medidas fossem desobedecidas, incentivando assim, a mudança de comportamento dos indivíduos a fim de diminuir a prevalência do novo coronavírus.

Figura 19: Novos casos diários confirmados de COVID-19 por milhão de pessoas – Estados Unidos(A), Reino Unido(B), Israel(C), Portugal(D), Alemanha(E) e Brasil(F).



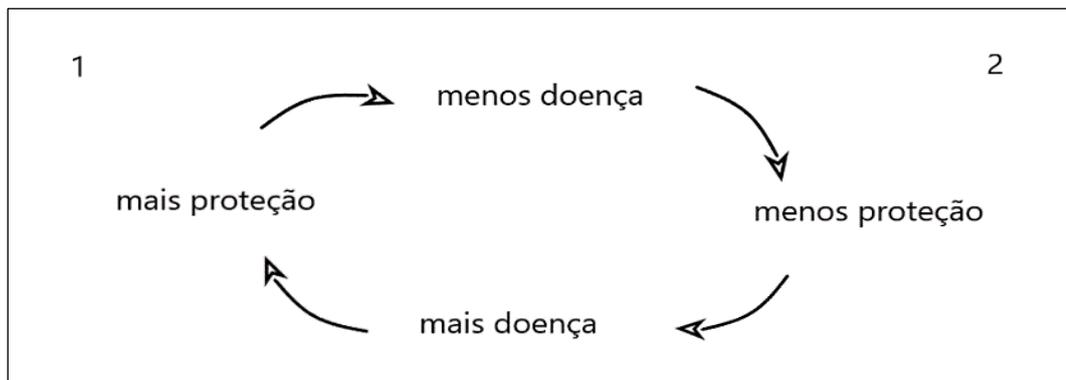
Fonte: Repositório de dados da Universidade John Hopkins.

Mostrado a média contínua de 7 dias. O número de casos confirmados é inferior ao número de casos reais, a principal razão para isso são os testes limitados.

Disponível em: <https://ourworldindata.org/coronavirus>.

Com isso, o vale longo observado inicialmente, pode ser explicado pela elasticidade-prevalência alta da pandemia quando ela iniciou. Com a reabertura do comércio e o fim de medidas protetivas mais rigorosas, devido a uma prevalência baixa de quase quatro meses, o vírus voltou a se propagar, criando, assim, um novo pico de infecções muito mais alto do que o inicial. Novamente, a prevalência elevada e acelerada resultou em um novo fechamento de estabelecimentos comerciais além de outras medidas preventivas, o que acabou por desacelerar o contágio e diminuir a prevalência. Podemos ver neste caso uma dinâmica relacionada a elasticidade-prevalência representada na figura 20.

Figura 20: Relação recíproca entre autoproteção e prevalência da doença



Fonte: Adaptação de Bhattacharya et al., (2013 p.453).

(1) autoproteção limita o crescimento da doença;

(2) baixa taxa de prevalência acarreta menos autoproteção.

De modo evidente, ocorreram vales entre todos os picos, porém, o vale mais longo, referente ao período de final de abril de 2020 e início de agosto do mesmo ano, pode ser explicado pelo comportamento dos indivíduos, os quais responderam a prevalência da doença, demandando por autoproteção no início da pandemia. Assim, estas medidas foram mais efetivas na desaceleração do contágio. Com a prevalência baixa, os indivíduos diminuíram a sua demanda por autoproteção, iniciando, assim, novamente o ciclo com picos ainda mais altos.

Uma vez que houve uma diminuição considerável de novos casos da COVID-19 em alguns países, é possível relacionar a queda de casos com a vacinação. A vacinação se tornou disponível a partir de dezembro de 2020. Israel iniciou a vacinação rapidamente logo em dezembro de 2020 atingindo 50% da população totalmente vacinada até metade de março de 2021. Com uma população de menos de 10 milhões de habitantes, Israel conseguiu acelerar o processo de vacinação. Assim, é possível ver uma queda brusca na quantidade de casos

confirmados diariamente para a COVID-19 em torno da época de vacinação em massa em Israel. O mesmo padrão pode ser visto nos Estados Unidos onde houve uma mobilização muito grande na campanha de vacinação a partir do mês de dezembro de 2020.

No caso do Brasil, pode ser vista uma estagnação na curva de casos diários confirmados, ao invés de uma queda, como visto nos outros países. A vacinação contra a COVID-19 enfrentou diversos problemas no país, desde a recusa governamental da compra de vacinas e a demora para iniciar a campanha (somente no dia 18 de janeiro de 2021). Como não houve uma vacinação em massa, a curva do Brasil caminha de lado ao invés de decair. Com isso, a chance para o surgimento de uma mutação do vírus aumenta, já que ele circula mais livremente na sociedade que está longe de uma imunidade de rebanho. Além disto, o padrão da curva no Brasil se dá diferente dos outros países observados. Isto pode ilustrar uma dificuldade de controle da pandemia desde o início até o momento presente, devido a uma falta de coordenação e organização dos formuladores de políticas públicas, não incentivando uma responsividade à prevalência por parte dos indivíduos.

Os indivíduos otimizadores são caracterizados pelo comportamento de rebanho, ou seja, as pessoas farão o que os outros estão fazendo, em vez de usar suas informações. Cada tomador de decisão analisa as decisões tomadas por outros anteriormente ao tomar sua própria decisão. Outros tomadores de decisão podem ter informações relevantes para o indivíduo que está formando a sua (Banerjee, 1992).

A fim de ilustrar a relação entre as crenças subjetivas de risco dos indivíduos e seus comportamentos de autoproteção, foi realizado um estudo durante a pandemia do novo coronavírus, nos Estados Unidos. Nos estágios iniciais da pandemia de COVID-19, minimizar as interações interpessoais por meio da redução da atividade era o comportamento protetor disponível mais eficaz para reduzir o risco de infecção. Aqueles que acreditavam ter maior risco de infecção também acreditavam que, na ausência de políticas restritivas à atividade econômica, reduziriam suas atividades em resposta à pandemia. Os resultados da análise foram consistentes com a existência de uma elasticidade-prevalência diferente de zero (Bundorf *et al.*, 2021).

Os indivíduos que vivem em áreas com maior prevalência de risco relataram uma indução de risco subjetivo mais elevada. Desta forma, foi observado que ter uma avaliação subjetiva de risco mais elevada está correlacionada com uma redução mais forte da atividade econômica. Os dois resultados juntos implicam que indivíduos em áreas com maior prevalência de risco adotam comportamentos mais preventivos e reduzem mais suas atividades econômicas.

De fato, foi encontrado que os indivíduos em áreas com maior prevalência de COVID-19 eram mais propensos a reduzir sua atividade econômica (Bundorf *et al.*, 2021).

As avaliações subjetivas de risco são determinantes importantes da atividade econômica. Os resultados da pesquisa sugerem que uma grande parte dos americanos reduziu drasticamente suas atividades fora de casa em resposta à pandemia de COVID-19 e que as percepções de risco influenciaram essas escolhas. Dado o papel crucial das crenças privadas na formação do comportamento, uma questão importante é como as crenças individuais são formadas e refletem a realidade. Os resultados indicam que ao projetar políticas que visam mudar comportamento na presença de risco, os formuladores de políticas precisam considerar como as percepções subjetivas de risco são formadas e como elas moldam o comportamento (Bundorf *et al.*, 2021).

Ademais, a pandemia do novo coronavírus é um exemplo de como precisamos considerar o comportamento racional dentro da dinâmica de uma epidemia. Principalmente no que se refere ao planejamento e formulação de políticas de saúde pública. Em momentos de epidemias a resposta rápida é crítica para evitar a propagação acelerada dos vírus e um aumento na mortalidade, além da perda econômica envolvida. A epidemiologia econômica voltou a ser estudada com o início da pandemia da COVID-19 e apresenta diversos trabalhos acadêmicos que focam na otimização de políticas públicas para uma resposta adequada à dinâmica de propagação do vírus. Algumas pesquisas referentes a pandemia do novo coronavírus podem ser encontradas nos trabalhos de: Acemoglu *et al.*, (2020b); Acemoglu *et al.*, (2020c); Alvarez *et al.*, (2020); e Avery *et al.*, (2020).

A intenção desta seção foi tentar trazer explicações sobre os resultados observados nas figuras referentes a dinâmica da pandemia no novo coronavírus, utilizando os conceitos abordados sobre epidemiologia econômica ao longo do trabalho. De maneira evidente não foram apresentados muitos países, porém a intenção da análise é indicar o potencial desta abordagem e hipótese para um posterior aprofundamento teórico e empírico.

Ademais, este capítulo abordou diversas evidências empíricas encontradas na literatura, a fim de ilustrar a abordagem econômica das doenças infecciosas e os resultados encontrados, os quais mostraram-se úteis para o entendimento da dinâmica da infecção, não somente no passado, mas, também, no presente.

## 4 CONCLUSÃO

A economia pode fazer contribuições valiosas e fundamentais para auxiliar o investimento ótimo nos sistemas de saúde, com o objetivo de tornar os cuidados com a saúde e as intervenções públicas mais efetivas (Hauck, 2018). Ao longo do trabalho foi visto como uma abordagem multidisciplinar é crucial devido a necessidade de quantificar as externalidades negativas e positivas, além de entender a dinâmica e trajetória das epidemias.

A epidemiologia não é uma ciência social, portanto, não incluiu os pressupostos comportamentais e as preferências em seus modelos. Como visto no trabalho, a abordagem econômica assume haver um efeito de *feedback*, relacionado a responsividade à prevalência, que tem a capacidade de gerar um impacto não desejável na propagação de doenças infecciosas. As preferências individuais necessitam ser incorporadas aos modelos de transmissão de doenças infecciosas, dado que a presença de externalidades implica que o comportamento individual é amplificado devido às consequências que pode ter para outros indivíduos.

A reação individual a doenças infecciosas pode ser apresentada de diversas maneiras e é dependente de diversas variáveis, fazendo com que seja difícil quantificar o comportamento humano, como pudemos ver nos capítulos anteriores, especialmente se considerarmos como as informações se disseminam rápido.

Diversas vezes, mudanças comportamentais são citadas na interpretação dos dados de epidemias para explicar quedas na taxa de transmissão, mas raramente é detalhado como essas reações podem ser quantificadas. Com isto, apesar de todas as dificuldades em quantificar o comportamento humano, algumas fontes potenciais de dados ainda precisam ser exploradas no contexto de doenças infecciosas, como: de onde os indivíduos obtêm suas informações, em qual das informações disponíveis eles confiam e como agem sobre essas informações.

Em resumo, as evidências empíricas apresentadas concluem que a abordagem da epidemiologia econômica abre novas opções para a previsão e o gerenciamento de epidemias. Ao melhorar nossa compreensão do comportamento, a abordagem está fortalecendo a capacidade de projetar o curso futuro de doenças. Foi visto que essa forma de análise ajuda a identificar as escolhas privadas que melhor atendem ao interesse público e os incentivos necessários para levar as pessoas a fazerem essas escolhas, juntamente com a avaliação da eficácia das políticas públicas existentes para controlar a propagação de doenças infecciosas.

Logo, são criadas alternativas que permitem o uso de incentivos econômicos que mudam o curso da epidemia, alterando o contato privado entre indivíduos.

Foi vista também a importância da elasticidade-prevalência no estudo de doenças infecciosas. Em resumo, modelos econômicos assumem que a demanda por prevenção é elástica à prevalência e as evidências empíricas disponíveis tendem a corroborar com esta hipótese. Porém, é importante considerar a magnitude desta elasticidade, pois, assim, ela prevê a extensão do comportamento de compensação de risco. Se a demanda for altamente elástica, é visto um declínio no percentual de prevalência que levará a um declínio percentual maior nos esforços de prevenção dos indivíduos. Consequentemente, será cada vez mais caro atingir reduções adicionais na prevalência. Estimativas precisas da magnitude da elasticidade são, portanto, cruciais para prever o efeito das escolhas individuais e a necessidade de intervenção governamental.

De acordo com a avaliação feita por Philipson (2000), a abordagem econômica produz o entendimento que as intervenções públicas geram menos benefícios do que o previsto pela teoria epidemiológica tradicional, pois incentivos privados acabam por frustrar seus efeitos, como vimos nas evidências apresentadas. As políticas públicas necessitam incentivar a resposta apropriada dos indivíduos através de métodos clássicos como vacinação, tratamento ou distanciamento social, utilizando as ferramentas oferecidas pela epidemiologia econômica.

Este trabalho teve o objetivo de mostrar como as doenças infecciosas podem ser avaliadas sob a ótica das ciências econômicas. A análise feita no trabalho não procurou diminuir a importância de outras abordagens, mas sim, ressaltar as recentes contribuições teóricas e empíricas que podem ser feitas pela economia e que não receberam ainda a devida atenção. O trabalho procurou ilustrar, com base em estudos empíricos, a importância das informações, incentivos, restrições, e custos diretos e indiretos relacionados a doenças infecciosas. Ademais, foi apresentada a incorporação dos aspectos comportamentais racionais dentro de modelos epidemiológicos, a fim de se ter uma melhor compreensão de como estes comportamentos afetam a trajetória de epidemias e, também, as políticas públicas criadas para contê-las. Todos estes pontos se mostram críticos para avaliarmos a real eficiência das políticas públicas para doenças infecciosas.

Com o avanço da pandemia do novo coronavírus, esta área está obtendo notoriedade dentro da comunidade dos economistas. Estão sendo feitos diversos esforços para entender o comportamento de diferentes populações e políticas públicas frente a pandemia e o que pode

ser feito para mudar os incentivos e restrições individuais para promover uma melhoria na saúde pública. Compreendendo o que faz as pessoas tomarem decisões referentes a doenças específicas, faz com que se abra um leque de opções e possibilidades para conter a propagação e o agravamento de doenças infecciosas, além de auxiliar o enfrentamento de novas epidemias.

A epidemiologia econômica, seus modelos, implicações e evidências empíricas ainda se encontram na fase inicial do seu desenvolvimento, não sendo ainda completamente explorados em termos de implicações e políticas públicas em saúde que afetam o bem-estar de todos os agentes envolvidos.

Algumas dificuldades são encontradas ao longo do estudo da epidemiologia econômica. A modelagem de incertezas pode se tornar difícil devido à utilização de parâmetros de modelos epidemiológicos e às estimativas de custos e benefícios de modelos econômicos. Ademais, o comportamento de autoproteção dos indivíduos relacionado a uma doença infecciosa pode ser difícil de estimar, uma vez que depende somente do autorrelato dos agentes, os quais tendem a exagerar as medidas auto protetivas tomadas. Isto se aplica especialmente a doenças sexualmente transmissíveis que, devido a normas sociais, não são bem vistas e carregam um estigma. Desta forma, os indivíduos podem passar informações erradas referente ao nível de proteção adotado (Hauck, 2018).

É importante ressaltar a falta de estudos na área da epidemiologia econômica em países pobres ou em desenvolvimento. Grande parte das pesquisas produzidas apresentam dados de países desenvolvidos, sendo que os países pobres são os que mais sofrem com epidemias de doenças infecciosas no nível de saúde pública, as quais podem acarretar graves problemas financeiros. Além disto, grande parte dos estudos realizados dentro da área focam na epidemia da AIDS, deixando de lado outras doenças com alta prevalência em países em desenvolvimento. As evidências encontradas em países mais pobres podem diferir muito das encontradas em países desenvolvidos devido à falta de informação, à falta de acesso ao sistema de saúde e à falta de recursos governamentais para implementar medidas eficientes de contenção de epidemias. Isto acaba por implicar em necessidades diferentes de intervenções das vistas em países desenvolvidos.

Dentro do trabalho não foram abordadas algumas questões como: o impacto das doenças infecciosas no desenvolvimento econômico, especialmente em países em desenvolvimento; o impacto direto das epidemias no mercado de trabalho; as consequências econômicas da resposta contínua a doenças infecciosas que não podem ser erradicadas; testagem para doenças

infecciosas que contribuem para o acesso ao tratamento; políticas de transferência condicional de dinheiro, que representam pagamentos monetários, os quais recompensam indivíduos por certos comportamentos e têm o objetivo de aumentar a demanda por prevenção ou por tratamento; entre outras questões.

Neste trabalho vimos modelos econômicos que buscam analisar o comportamento e as trajetórias de epidemias, bem como algumas evidências. Assim, esperamos ter demonstrado que a perspectiva econômica é relevante, constituindo-se de uma ferramenta útil para a literatura e para a formulação de políticas públicas com relação a epidemias.

Com a pandemia da COVID-19 vemos o quanto o comportamento humano tem o poder de alterar a trajetória de uma doença infecciosa. Isto apenas reforça a necessidade de explorarmos ainda mais o campo da epidemiologia econômica como uma forma de melhorarmos a nossa resposta a doenças infecciosas. Este tema necessita ainda ser mais detalhado e refinado teoricamente, bem como testado com base em dados reais, especialmente em países que sofrem tanto com doenças infecciosas. Este trabalho constitui-se em uma pequena, porém importante contribuição a fim de avaliarmos a evolução da epidemiologia econômica, ou seja, como surgiu, onde está agora e para onde irá nas próximas décadas. Enfim, a epidemiologia econômica constitui-se em um importante tópico de pesquisa, não somente para os economistas, mas também para os profissionais da área da saúde e formuladores de política econômica. Com a abordagem multidisciplinar que integra economia da saúde, economia comportamental, econometria, sociologia, psicologia e modelagem de doenças infecciosas, podemos enfrentar diversos desafios relacionados a doenças infecciosas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEMOGLU D, CHERNOZHUKOV V, WERNING I, WHINSTON MD. Optimal Targeted Lockdowns in a Multi-Group SIR Model. **NBER Working Paper No. 27102**, Maio 2020a. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w27102>.
- ACEMOGLU D, CHERNOZHUKOV V, WERNING I, WHINSTON MD. A multi-risk SIR model with optimally targeted lockdown. **NBER Working Paper No. 27102**, 2020b.
- ACEMOGLU D, MAKHDOUMI A, MALEKIAN A, OZDAGLAR A. Testing, voluntary social distancing, and the spread of an infection. **NBER Working Paper No. 27483**, 2020c.
- AHITUV A, HOTZ VJ e PHILIPSON T. The responsiveness of the demand for condoms to the local prevalence of AIDS. **Journal of Human Resources**, Vol. 31, No. 4, p. 869-897.
- ALVAREZ FE, ARGENTE D, LIPPI F. A simple planning problem for Covid-19 lockdown. NBER Working Paper 26981, 2020.
- ANDHAVARAPU S. Game theory can explain why you should wear a mask. The Decision Lab, 19 de agosto de 2020. Disponível em: <https://thedecisionlab.com/insights/health/game-theory-can-explain-why-you-should-wear-a-mask/>. Acesso em: 20 de maio de 2021.
- AVERY C, BOSSERT W, CLARK A, ELLISON G, ELLISON SF. Policy implications of models of the spread of coronavirus: Perspectives and opportunities for economists. NBER Working Paper 27007, 2020.
- BANERJEE AV. A simple model of herd behavior. **Quarterly Journal of Economics**, Vol. 107, No. 3, p. 797-817, 1992.
- BARRO R J. Non-pharmaceutical interventions and mortality in u.s. cities during the great influenza pandemic, 1918-1919. **NBER Working Paper No. 27049**, Abril 2020. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w27049>.
- BAUCH C, EARN D. Vaccination and the theory of games. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Vol. 101, No. 36, p. 13391-13394, Setembro 2004. Disponível em: doi: 10.1073/pnas.040382310.
- BECKER GS. Irrational Behavior and Economic Theory. **Journal of Political Economy**, Vol. 70, No. 1, p. 1-13, Fevereiro 1962. Disponível em: [www.jstor.org/stable/1827018](http://www.jstor.org/stable/1827018).
- BECKER GS. The Economic Approach to Human Behavior. Chicago: **University of Chicago Press**, 1976.
- BHATTACHARYA J, HYDE T, TU P. Health Economics. Macmillan International Higher Education, 2013.
- BODENSTEIN M., CORSETTI G, GUERRIERI L. Social distancing and supply disruptions in a pandemic. **Finance and Economics Discussion Series**, Federal Reserve Board.

BONITA R, BEAGLEHOLE R, KJELLSTRÖM T. *Epidemiologia Básica*. 2. Ed. São Paulo: Grupo Editorial Nacional, 2010.

BUNDORF *et al.* Risk perceptions and protective behaviors: Evidence from COVID-19 pandemic. **NBER Working Paper No. 2874**. Abril 2021. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w28741>.

CHAPMAN GB, LI M, VIETRI J, IBUKA Y, D THOMAS, YOON H, GALVANI AP. Using game theory to examine incentives in influenza vaccination behavior. **Psychol. Sci**, Vol. 23, No. 9, p. 1008-1015, Julho 2012.

CORREIA S, LUCK S, VERNER E. Pandemics depress the economy, public health interventions do not: Evidence from the 1918 flu. **SSRN**, Junho 2020. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3561560>.

DANZON PM, NICHOLSON S. *The Oxford Handbook of the Economics of the Biopharmaceutical Industry*. New York, USA: Oxford university press, 2012.

FENICHEL EP *et al.* Adaptive human behavior in epidemiological models. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Vol. 108, No. 15, p. 6306-6311, Abril 2011. Disponível em: doi: 10.1073/pnas.1011250108.

FOLLAND S, GOODMAN A, STANO M. *The economics of health and healthcare*. 7. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994.

FUNK S *et al.* Modelling the influence of human behavior on the spread of infectious diseases: a review. **J.R. Soc. Interface**, Vol. 7, p. 1247-1256, Maio 2010. Disponível em: doi: 10.1098/rsif.2010.0142.

GEOFFARD PY, PHILIPSON T. Rational epidemics and their public control. **International Economic Review**, Vol. 37, No. 3, p. 603-624, Agosto 1996. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2527443?seq=1>

GEOFFARD PY, PHILIPSON T. Disease Eradication: Private versus Public Vaccination. **The American Economic Review**, Vol. 87, No. 1, p. 222-230, Março 1997. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2950864>.

GERSOVITZ M, HAMMER JS. Infectious diseases, public policy, and the marriage of economics and epidemiology. **World Bank Research Observer**, Vol. 18, No 2, p. 129–157, Setembro 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/wbro/lkg011>

GERSOVITZ M, HAMMER JS. The economical control of infectious diseases. **The Economic Journal**, Vol. 114, p. 1–27, Janeiro 2004.

GUIMBEAU A, MENON N, MUSACCHIO A. The Brazilian Bombshell? The Long-Term Impact of the 1918 Influenza Pandemic the South American Way. **Working Paper 26929, National Bureau of Economic Research**, Abril 2020. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w26929>.

HAUCK K. The economics of infectious diseases. Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance. Agosto 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190625979.013.251>.

HOPKINS D. Disease eradication. **New England Journal of Medicine**. Vol. 368, No. 1, p. 54-63, Janeiro 2013. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmra1200391>.

Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Results. Seattle, United States: 2018. Disponível em: <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.

MALHOTRA VM. Role of Game theory in Public Health. **Online J Health Allied Scs**. Vol. 11, No. 2, Junho 2012. Disponível em: <http://www.ojhas.org/issue42/2012-2-1.htm>.

McADAMS D. Economic epidemiology in the wake of Covid-19. **Annual Review of Economics**, Vol. 13, Agosto 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-082120-122900>.

OSBORNE MJ. An Introduction to Game Theory. Oxford: Oxford University Press, 2002.

PERRINGS C, CASTILLO-CHAVEZ C, CHOWELL G, et al. Merging economics and epidemiology to improve the prediction and management of infectious disease. **EcoHealth**, Vol. 11, p. 464-475, Setembro 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10393-014-0963-6>

PHILIPSON T. The Welfare Loss of Disease and the Theory of Taxation. **Journal of Health Economics**, Vol. 14, p. 387-395, 1995.

PHILIPSON T. Private vaccination and public health: an empirical examination for U.S. measles. **Journal of Human Resources**, Vol. 31 No. 3, p. 611-30, 1996.

PHILIPSON T. Economic epidemiology and infectious diseases. Handbook of Health Economics, Vol. 1, p. 1761-1799. Amsterdam: Elsevier, 2000.

PHILIPSON T, POSNER RA. Private Choices and Public Health: The AIDS Epidemic in an Economic Perspective. Cambridge: Harvard University Press, 1993.

POLETTI P, AJELLI M, MERLER S. Risk perception and effectiveness of uncoordinated behavioral responses in an emerging epidemic. **Mathematical Biosciences**, Vol. 238, No. 2, p. 80-89, Agosto 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2012.04.003>.

RELUGA TC. Game Theory of Social Distancing in Response to an Epidemic. **PLoS Comput Biol**, Vol. 6, No. 5: e1000793. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000793>.

SADIQUE MZ. Individual freedom versus collective responsibility: an economic epidemiology perspective. **Emerg Themes Epidemiol**, Vol. 3, No. 12, Setembro 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1742-7622-3-12>

SLOAN F, HSIEH C. Health Economics. Cambridge, Massachusetts; London, England: MIT Press, 2012. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/j.ctt5hhc4d>.

SOLTANOLKOTTABI M, BEN-ARIEH D, WU CH. Game Theoretic Modeling of Infectious Disease Transmission with Delayed Emergence of Symptoms. **Games** 2020, Vol. 11, No. 2, Abril 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4336/11/2/20>.

TASSIER T. The Economics of Epidemiology. Berlin: Springer-Verlag, 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Ending the epidemics of high impact communicable diseases. 2018 a. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/ending-the-epidemics-of-high-impact-communicable-diseases>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global tuberculosis report. 2018b. Disponível em: [https://www.who.int/tb/publications/global\\_report/en/](https://www.who.int/tb/publications/global_report/en/).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. HIV/AIDS factsheet. 2019. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. World health statistics 2020: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization, 2020 a. Disponível em: <https://www.who.int/data/gho/publications/world-health-statistics>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global tuberculosis report 2020. Geneva: World Health Organization, 2020 b. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240013131>.

WORRALL E, RIETVELD A, DELACO C. The burden of malaria epidemics and cost-effectiveness of intervention in epidemic situations in Africa. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, Vol. 71, No. 2, p. 136-140, Agosto 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2004.71.136>.

## APÊNDICE A

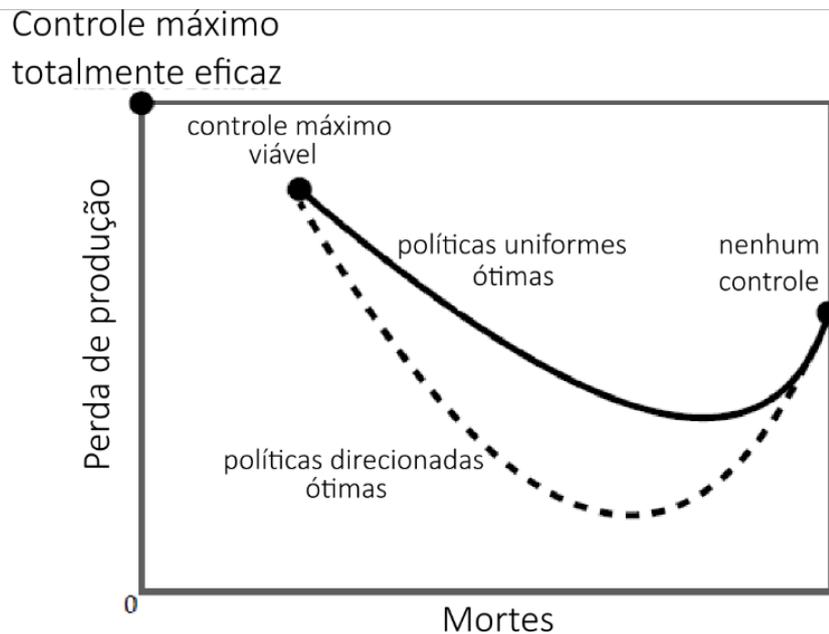
### OTIMIZAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS NA PANDEMIA DA COVID-19

Nesta seção serão apresentados alguns fatos relacionados a políticas públicas envolvendo métodos não-farmacêuticos para conter a pandemia do novo coronavírus. A pandemia do novo coronavírus é recente, mas resultou em diversos trabalhos acadêmicos que estão sendo modificados com o passar dos meses. Com novos dados e com mais conhecimento sobre como a doença age e quais suas implicações para a saúde, faz-se necessária a pesquisa sobre o tema em todas as áreas em que ele toca. Este caso se diferencia dos apresentados anteriormente, pelo fato da COVID-19 ser uma doença em fase recente de descobertas no que diz respeito a melhor maneiras de direcionar políticas públicas. Será utilizado, principalmente, análises feitas no ano de 2020 no artigo de Acemoglu *et al.*, (2020a).

A importância de direcionar as políticas públicas de acordo com grupos tem um importante papel dentro da análise econômica destas políticas. Normalmente, em epidemias, o risco de se infectar e desenvolver complicações varia dentro de grupos demográficos. O custo de impedir atividades econômicas de funcionarem através de *lockdowns* também é tipicamente heterogêneo dentro da população. A pandemia da COVID-19 não é exceção para este tipo de análise. De acordo com Acemoglu *et al.*, (2020a) muitos governos tentaram realizar um *trade-off* que consiste em aceitar uma certa taxa de mortalidade para a economia não entrar em completa recessão, ou aceitar uma queda na economia, priorizando poupar vidas. Um dos problemas de formular políticas desta maneira é a uniformização da população que faz com que seja uma escolha difícil de se fazer e que independente de qual seja a escolha, ela não é ótima. Os autores afirmam que esta política de *trade-off* pode ser aperfeiçoada com políticas direcionadas que separam a população em grupos e aplicam regras diferentes para cada um.

Para fazer isso, o foco dos autores é entre a perda econômica e a perda de vidas, que representa o *trade-off* mencionado para os formuladores de políticas e é representado pela curva sólida na figura a seguir. A fronteira é inclinada para cima após um certo ponto, indicando que a ausência de quaisquer políticas de mitigação levará a maiores perdas econômicas e a mais vidas perdidas. Isso ocorre porque os danos econômicos incluem a perda de produtividade devido a doenças e as contribuições de produtividade perdidas daqueles que morrem por causa do vírus.

Figura 21: Fronteira - economia vs. vidas perdidas



Fonte: Adaptação de Acemoglu *et al.*, (2020a).

A linha pontilhada para políticas direcionadas está muito mais próxima do ponto ideal representado pela origem do que a fronteira de políticas uniformes. A figura 16 ajuda a entender o motivo de políticas propriamente direcionadas poderem salvar um número significativo de vidas. Movendo horizontalmente da fronteira de política uniforme até a fronteira de política direcionada, a perda econômica se mantém igual, porém as fatalidades são substancialmente reduzidas. De acordo com os autores maioria dos ganhos com políticas direcionadas podem ser atingidos sem precisar recorrer a políticas complicadas. É preferível introduzir políticas semi-direcionadas que isolem o grupo de maior risco dentro da população e dentro de todos os grupos de risco, que seria o grupo de idosos (acima de 65 anos), e tratar o resto igualmente.

O modelo utilizado pelos autores também permite uma maior opção de políticas. Uma delas é a implementação de regras e leis que interrompam o contato do grupo mais vulnerável com outros grupos. Estes tipos de política têm a sua performance quase igual a uma totalmente direcionada que separa a população em diversos grupos e podem ser muito eficazes se forem utilizadas como complemento de políticas de *lockdown* direcionadas. Distanciamento de grupos tem a capacidade de se aproximar mais da realidade dos *lockdowns*. O distanciamento do grupo de risco dos restantes permite resultados melhores na saúde pública e, também, *lockdowns* mais curtos.

Nesta seção não será explicitado o longo desenvolvimento do modelo apresentado pelos autores, será apresentado somente os resultados para fim de discussão, não se pretende esgotar o assunto, mas sim criar um incentivo. Com isto, o modelo será brevemente descrito para fins de melhor visualização dos grupos e da equação básica utilizada.

### Breve descrição do modelo utilizado (MG-SIR)

Os autores analisam vários grupos (*multi-group*) através do modelo SIR definido em tempo contínuo  $t \in [0, \infty)$ . Os indivíduos são divididos em grupos de risco  $j = 1, \dots, J$  com  $N_j$  membros iniciais. A população total é normalizada para a unidade de modo que  $\sum_j N_j = 1$ . Em qualquer tempo  $t$ , indivíduos no grupo  $j$  são subdivididos dentro de suscetíveis ( $S$ ), infectados ( $I$ ), recuperados ( $R$ ) e mortos ( $M$ ), diferentemente do modelo SIR apresentado no capítulo 2 onde não eram incluídos os mortos.

$$S_j(t) + I_j(t) + R_j(t) + M_j(t) = N_j \quad (26)$$

Os indivíduos se movem do suscetível ao infectado, para então se recuperarem ou morrerem. Escreve-se  $S(t) = \{S_j(t)\}_j$  e similarmente para  $I(t)$ ,  $R(t)$  e  $M(t)$ . Grupos interagem entre si e uns com os outros.

$$\text{novas infecções} = \beta SI \quad (27)$$

$$\text{novas infecções no grupo } j = \beta S_j \frac{\sum_k \rho_{jk} I_k}{(\sum_k \rho_{jk} (S_k + I_k + R_k))^{2-\alpha}} \quad (28)$$

Na equação acima,  $\{\rho_{jk}\}$  são parâmetros que controlam a taxa de contato entre os grupos  $j$  e  $k$ . Aqui,  $\alpha \in [1, 2]$  nos permite controlar os retornos de escala: quando  $\alpha = 1$  temos retornos constantes: infecções dobram se  $S$ ,  $I$  e  $R$  dobram; quando  $\alpha = 2$  obtemos a especificação quadrática (de segundo grau) que, com um único grupo, se resume ao modelo SIR canônico – na sua forma mais simples. O modelo foi desenvolvido, complementando e estendendo esta equação básica para incluir testagem, isolamento, *lockdowns*, capacidade hospitalar, a chegada de vacinação e outras considerações.

## Políticas ótimas e resultados

No artigo, os autores focam no que eles definem como fronteiras de políticas públicas. Isto ocorre pois não existe um consenso entre governantes, cidadãos e acadêmicos sobre o valor exato que se pode dar a vida relativa a objetivos sociais e econômicos. As fronteiras neste caso funcionam como um arranjo de opções ótimas de políticas públicas e providenciam um melhor senso da gama de melhorias que estas políticas de segmentação em grupos de risco pode fornecer. O resultado principal dos autores foi que direcionar políticas públicas em grupos traz benefícios tanto para as vidas salvas quanto para a diminuição de danos na economia. Importante ressaltar que muitos destes benefícios podem ser atingidos com políticas de semi direcionamento, ou seja, que considera as pessoas acima de 65 anos como um grupo, e todo o resto da população como outro ao invés de segmentar os jovens das pessoas de meia idade. Este *trade-off* enfrentado pelas forças públicas pode ser aprimorado com a imposição de *lockdowns* de faixa etárias diferentes que apresentem riscos diferentes de contrair a doença. Seria preferível impor um lockdown no grupo de pessoas mais velhas e tratar o resto da população uniformemente (Acemoglu *et al.*, 2020a).

A COVID-19 afeta mais a saúde de pessoas idosas e de pessoas com certas doenças crônicas como hipertensão e diabetes, que são muito comuns. Obviamente, com o avanço do coronavírus e a sua mutação, os grupos de risco mudam de proporção. A aplicação destas políticas de distanciamento segmentado tem o poder de diminuir as probabilidades de uma mutação ocorrer já que diminui a propagação do vírus. Os vírus mutam quanto mais se espalham livremente em uma população. Ademais, com o decorrer da pandemia e com a mudança de grupos de risco e suas proporções de infectados dentro da população, apenas reforça mais ainda a necessidade de políticas públicas direcionadas a grupos de riscos diferentes.