

**ANDRÉ CARNEIRO ROCHA**

**UM MODELO DE REDE DE SOLIDARIEDADE  
BASEADO EM TEORIA DE JOGOS**

São Paulo  
2023

**ANDRÉ CARNEIRO ROCHA**

**UM MODELO DE REDE DE SOLIDARIEDADE  
BASEADO EM TEORIA DE JOGOS**

**Versão Corrigida**

Dissertação de mestrado apresentada à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do Título de Mestre  
em Ciências.

São Paulo  
2023

**ANDRÉ CARNEIRO ROCHA**

**UM MODELO DE REDE DE SOLIDARIEDADE  
BASEADO EM TEORIA DE JOGOS**

**Versão Corrigida**

Dissertação de mestrado apresentada à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do Título de Mestre  
em Ciências.

Área de Concentração:  
Engenharia de Sistemas

Orientador:  
Dr. Luiz Henrique Alves Monteiro

São Paulo  
2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

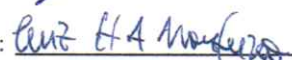
Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 03 de outubro de 2023

Assinatura do autor:



Assinatura do orientador:



#### Catálogo-na-publicação

Rocha, André Carneiro

Um modelo de rede de solidariedade baseado em teoria de jogos / A. C.

Rocha -- versão corr. -- São Paulo, 2023.

64 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle.

1.Redes Sociais 2.Solidariedade 3.Teoria dos Grafos 4.Teoria dos Jogos  
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle II.t.

À minha mãe, que me ensinou tudo  
que sei sobre solidariedade, desde  
então pautando minhas ações em  
um eterno jogo do bem.

# AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha noiva, Aurora Vitória Rodrigues Sotelo, pelo apoio e compreensão inestimáveis para que eu pudesse alcançar meus objetivos, fazendo o possível e o impossível quando necessário.

Agradeço à minha família: mãe, Glória Jean Carneiro Rodrigues Rocha, pai, Carlos Manoel de Souza Rocha, e irmã, Vitória Carneiro Rocha, por todo o apoio incondicional nas minhas decisões e por estarem por perto sempre que precisei.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Luiz Henrique Alves Monteiro, por acreditar no meu potencial, pelas aulas e pelos ensinamentos durante nossas boas conversas.

Agradeço ao meu amigo, Adeilton Luís de Souza Silva, pelo apoio quase que irrestrito e de costumeira boa vontade na minha jornada acadêmica.

*“Se o desonesto soubesse as vantagens  
de ser honesto, ele seria honesto, ao  
menos por desonestidade”*

-- Sócrates

# RESUMO

Na contemporaneidade, a rápida evolução tecnológica, sobretudo nos âmbitos da comunicação e informação, foi decisiva para que a população pudesse se conectar, mesmo que a grandes distâncias. Uma notícia, ora novidade por um considerável período de tempo, agora emerge de maneira ágil a toda uma sociedade globalizada e digitalizada em questão de minutos. Felizmente, o mesmo ocorre com súplicas por ajuda e movimentos sociais em prol de determinadas causas, atingindo um maior número de pessoas em menos tempo. É nesse cenário que o debate acerca da solidariedade encontra precedentes valiosos e, sendo muito estudada no âmbito comportamental, abre possibilidade para investigar como esse tema reage aliado à teoria de jogos. No presente trabalho, são apresentados resultados de simulações a partir de um modelo de jogo espacial e iterado de solidariedade. Nesse jogo, uma população de 4096 indivíduos é representada por um grafo conexo e essa população interage durante 200 passos de tempo. Há dois tipos de participantes distribuídos pela rede. O primeiro é solidário e pratica caridade movido apenas por suas convicções pessoais, em que sua ação é definida tanto pela chance de encontrar alguém precisando de ajuda quanto pela disponibilidade de recursos ou tempo para fazê-la. Já o segundo pratica caridade visando reconhecimento social e recompensas para si mesmo. Dessa forma, ele pondera os ganhos que seus vizinhos receberam por terem praticado ou não a caridade, imitando a ação do vizinho que mais foi recompensado. Na literatura, essa estratégia é chamada de imitadora (em inglês, “*copycat*”). Portanto, enquanto o primeiro tipo age de acordo com uma lei probabilista, o segundo age de maneira determinista. Mostra-se que a presença de indivíduos que agem exclusivamente por interesse é benéfica para que se obtenha um maior número de doadores ao final da simulação. Ainda, se valendo do método dos mínimos quadrados, pretende-se escrever analiticamente a média de doadores em função dos parâmetros do jogo proposto. São apresentados também questionamentos acerca da filosofia da solidariedade, os quais são discutidos com base nos resultados. Algumas hipóteses são levantadas para guiar trabalhos futuros nessa temática.

**Palavras-Chave** - caridade, *copycat*, método dos mínimos quadrados, solidariedade, teoria de grafos, teoria de jogos.



# ABSTRACT

In contemporary society, the rapid technological evolution, particularly in the fields of communication and information, has been decisive in connecting people, even across great distances. News, once considered novel for a significant period of time, now quickly emerges to a globally interconnected and digital society within minutes. Fortunately, the same is also true when requests for help and social movements in favor of certain causes are needed, soon reaching a greater number of people in less time. In this scenario, the debate surrounding solidarity finds valuable precedents and, given its extensive study in behavioral contexts, opens up possibilities for investigating how this theme interacts with game theory. In the present work, simulation results are presented based on an spatial iterated solidarity game model. In this game, a population of 4096 individuals is represented by a connected graph, evolving over 200 time steps. Two types of participants are distributed throughout the network. The first type is solidary and supportive, practicing charity driven solely by their personal convictions, where their actions are determined by the chance of encountering someone in need and their availability of resources or time to assist. The second type practices charity with the aim of social recognition and rewards for themselves. Thus, they consider the gains their neighbors have received from practicing or abstaining from charity, imitating the actions of the most rewarded neighbor. In the literature, this strategy is referred to as “copycat”. Therefore, while the first type acts according to probabilistic laws, the second type acts deterministically. It is shown that the presence of self-interested individuals has a positive impact on the network’s ability to acquire a greater number of donors at the end of the simulation. Additionally, by employing the method of least squares, the aim is to analytically express the average number of donors as a function of the proposed game’s parameters. Furthermore, questions about the philosophy of solidarity are presented and discussed based on the results. Some hypotheses are proposed to guide future research on this topic.

**Keywords** - charity, copycat, game theory, graph theory, least squares method, solidarity.

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Número de ONGs internacionais ao longo das últimas décadas . . . . .	9
2.2	Jogo do dilema do prisioneiro . . . . .	10
2.3	Jogo da corrida armamentista . . . . .	11
3.1	Distribuição espacial dos nós no presente trabalho . . . . .	16
3.2	Vizinhança de Moore de raio unitário . . . . .	17
3.3	Jogo de solidariedade proposto . . . . .	20
3.4	Fluxograma do algoritmo proposto . . . . .	21
4.1	Média de doadores em função da variação de $\mathbf{p}$ . . . . .	27
4.2	Média de doadores em função da variação de $\mathbf{q}$ . . . . .	29
4.3	Média de doadores em função da variação de $\mathbf{X}$ . . . . .	32
4.4	Média de doadores em função da variação de $\mathbf{Y}$ . . . . .	33
4.5	Média de doadores em função de $\mathbf{p}$ e das recompensas $\mathbf{X}$ e $\mathbf{Y}$ . . . . .	35
4.6	Média de doadores em função de $\mathbf{q}$ e das recompensas $\mathbf{X}$ e $\mathbf{Y}$ . . . . .	36
4.7	Média de doadores em função de $\mathbf{p}$ e $\mathbf{q}$ . . . . .	37
4.8	Média de doadores em função da variação de $\mathbf{Y}$ (caso particular) . . . . .	40
4.9	Média de doadores em função da variação de $\mathbf{Y}$ e $\mathbf{q}$ (caso particular) . . . . .	41
4.10	Média de doadores em função da variação de $\mathbf{Y}$ e $\mathbf{p}$ (caso particular) . . . . .	42

## LISTA DE TABELAS

4.1	Dados em função da variação de $\mathbf{p}$ para $\mathbf{q} = 50\%$ . . . . .	27
4.2	Dados em função da variação de $\mathbf{q}$ para $\mathbf{p} = 50\%$ . . . . .	30
4.3	Dados em função da variação de $\mathbf{X}$ para $\mathbf{p}$ e $\mathbf{q} = 50\%$ . . . . .	32
4.4	Dados em função da variação de $\mathbf{Y}$ para $\mathbf{p}$ e $\mathbf{q} = 50\%$ . . . . .	33
4.5	Dados em função da variação de $\mathbf{Y}$ para $\mathbf{p}$ e $\mathbf{q} = 50\%$ (caso particular) . .	40

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivo e contribuições . . . . .	3
1.2	Justificativa e motivação . . . . .	4
1.3	Estrutura da dissertação . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Revisão da literatura</b>	<b>6</b>
2.1	Altruísmo, caridade, filantropia e solidariedade . . . . .	6
2.2	A solidariedade no comportamento humano . . . . .	7
2.3	Breve introdução à teoria de jogos . . . . .	9
2.4	Teoria de jogos em aplicações sociais . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Material e métodos</b>	<b>16</b>
3.1	Estrutura da rede . . . . .	16
3.2	Parâmetros do jogo . . . . .	17
3.3	Dinâmica da rede . . . . .	20
3.4	Metodologia de análise dos resultados . . . . .	22
3.5	Questões orientativas para discussão . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Resultados e discussão</b>	<b>26</b>
4.1	Variação individual de parâmetros . . . . .	26
4.1.1	Variação da probabilidade $p$ . . . . .	26
4.1.2	Variação da probabilidade $q$ . . . . .	29
4.1.3	Variação das recompensas $X$ e $Y$ . . . . .	31
4.2	Análise bivariada . . . . .	34
4.2.1	Variação da probabilidade $p$ e das recompensas $X$ e $Y$ . . . . .	35
4.2.2	Variação da probabilidade $q$ e das recompensas $X$ e $Y$ . . . . .	36
4.2.3	Variação das probabilidades $p$ e $q$ . . . . .	36
4.3	Expressão analítica . . . . .	38
4.4	Caso particular . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Conclusão e escopo futuro</b>	<b>44</b>
	<b>Referências</b>	<b>46</b>

# 1 INTRODUÇÃO

NA história da humanidade, as relações entre os indivíduos foram pautadas ora por intensos conflitos étnicos, territoriais e por recursos, ora por alianças e pactos de não-agressão. Essa dualidade bastante proeminente entre conflito e paz (Roser et al., 2016) evidencia uma linha tênue que alavanca questionamentos sobre os limites das aspirações e dos anseios de uma sociedade nada igualitária. Nesse contexto, em que disparidades ostensivas entre os indivíduos podem incorrer em situações ótimas para uns e desfavoráveis para outros (Banting e Kymlicka, 2017), o discurso sobre solidariedade e cooperação mútua se mostra interessante e, em alguns cenários, quase que institucionalmente necessário para o bem-estar coletivo (Buchanan, 1987; Clark, 2012).

Uma vez que a concentração de renda se faz presente, sobretudo em países como o Brasil (Godoi, 2022), alguns grupos se mobilizam para ajudar as parcelas mais pobres da sociedade por meio de instituições de caridade ou filantropia (Bekkers e Wiepking, 2011; Bremner, 1994). Essa concentração de renda e desigualdade podem se agravar em períodos de crise, o que pode comprometer até mesmo a democracia em si (Bodea, Houle e Kim, 2021). Frente a isso, não é incomum testemunhar o fomento de polarização no âmbito político (Voorheis, McCarty e Shor, 2015), além de engendrar ações violentas entre grupos de opiniões políticas diversas (Bartusevičius, 2014) e, em alguns casos, estimular a prática da corrupção (You e Sanjeev, 2005). Uma das possíveis soluções seria o Estado traçar um plano de governo que incluísse, dentre outras medidas, uma política para mitigar a desigualdade social, especialmente sobre uma taxaçoão mais justa e ampliar o acesso à educação (Bodea, Houle e Kim, 2021).

Outro fator que pode amenizar a desigualdade em uma sociedade, ao menos um pouco, aparece quando o setor privado se vale de ações filantrópicas. A combinação entre empresas e filantropia pode ser muito bem-vinda, pois ao mesmo tempo que promove a reputação de determinada marca, também provê algum tipo de auxílio a quem mais precisa. Dessa forma, pode existir uma correlação entre o desempenho econômico de uma empresa e a prática da filantropia estratégica (Lu, Liang e Wang, 2020; Wang e Qian, 2011; Zulfiquar, 2016).

Toda a temática de exercer o bem ao próximo encontra aliados importantes nos adventos tecnológicos da era da informação e do mundo globalizado, graças, sobretudo, à

facilidade com que os indivíduos têm na comunicação e na troca de experiências entre si. Uma súplica por auxílio frente a uma calamidade pública (Barro, Ursua e Weng, 2022), um desastre natural (Chakravarty, 2018) ou uma guerra (Garry e Checchi, 2019), agora pode ser dispersada a inúmeras regiões em poucos cliques (Chen, 2021), ao passo que, em épocas anteriores, a comunicação era paulatina e sem a mínima garantia de eficácia (Perry, Taylor e Doerfel, 2003).

É nesse cenário que a população pode facilmente compartilhar seus feitos em redes sociais digitais aos seus incontáveis seguidores, com a intenção de angariar “curtidas”, visualizações e acessos ao seu perfil para os mais diversos fins. Dentre os objetivos mais corriqueiros, tem-se o reconhecimento e enaltecimento do ego, arrecadação de fundos a determinada causa e promoção de uma marca ou um produto (Ghaisani, Handayani e Munajat, 2017).

Essa facilidade também pode ser usada, no entanto, para punir o comportamento de uma pessoa, seja ela uma personalidade pública ou não. É a chamada “cultura do cancelamento” (Balbino et al., 2022), que teve início na internet em 2017 (Brasileiro e Azevedo, 2020), podendo transformar o ambiente digital em verdadeiros tribunais e, seus usuários, em juízes a favor de suas próprias convicções e réguas morais. Importante lembrar, porém, que a internet não é uma terra sem lei, uma vez que existem aparatos jurídicos para acarretar penalidades aos infratores, comumente em episódios de racismo ou preconceitos de qualquer sorte (Balbino et al., 2022).

São em notórios acontecimentos que se evidenciam as características, as vantagens e as desvantagens que uma comunicação rápida e assertiva pode proporcionar (Meier, 2015). Um pedido de ajuda pode se difundir digitalmente de maneira rápida, em uma espécie de competição por audiência, na qual o ganhador leva a fama e as benesses sociais por ter vencido a disputa, ainda que imaginária. Esse embate parece ter uma motivação fútil, porém, no jogo da solidariedade, a ponta que recebe a doação é beneficiada. Logo, ainda que o verdadeiro propósito possa ser supérfluo, é útil.

Um dos pontos a ser investigado no presente trabalho é o impacto que a ação caridosa de uma pessoa pode gerar quando testemunhada por um colega inserido na mesma rede social. É esperado que, ao contemplar a complexidade das relações humanas e suas nuances, seja possível traçar um padrão comportamental para elencar, em alguns grupos, as diferentes atitudes a respeito de filantropia e de solidariedade. Dessa forma, pode-se elaborar uma tipificação dos participantes dessa rede, com base nas ações que cada indivíduo tomará.

Para tanto, a presente pesquisa se vale da teoria de jogos, frequentemente utilizada como uma eficiente ferramenta para estudar comportamentos de cooperação entre

indivíduos (Cooper et al., 1996; Li et al., 2010; Schimit e Monteiro, 2011). Nessa estrutura, cada um dos indivíduos, aqui chamados “jogadores”, escolhe uma dentre as ações possíveis de serem tomadas diante de uma determinada situação. A combinação das escolhas de cada indivíduo define qual recompensa cada jogador receberá (Monteiro, 2014). No contexto deste trabalho, a situação imposta é a de se deparar com uma causa que há demanda por caridade, como um indivíduo suplicando por doação de alimentos para sua família. Cabe ao jogador, então, escolher se realiza uma boa ação ou não. Esse jogo transcorre em uma população em que seus indivíduos estão completamente conectados entre si, a ser explicado no capítulo 3.

Seja uma rede social digital, isto é, uma rede em que usuários seguem outros usuários. Nesse contexto, alguns questionamentos sobre esse assunto podem ser levantados. Por exemplo: existe, de fato, vantagem em compartilhar uma ação filantrópica, que não para mérito próprio? A divulgação de determinada ação caridosa induz outras pessoas a realizar a mesma boa ação em busca do reconhecimento que essa pessoa tenha obtido? A pessoa ou instituição, que é alvo da ação de caridade, é beneficiada de alguma forma com essa divulgação ou isso acarreta algum prejuízo? Seria benéfico punir uma pessoa de maneira exemplar em vez de instruí-la publicamente sobre algum tema? Essas e outras questões são objeto de estudo e de discussão no decorrer do presente trabalho.

## 1.1 Objetivo e contribuições

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo de jogo de solidariedade em uma rede social, com base na teoria de jogos, em que os jogadores podem escolher entre ser um doador ou não. Esse jogo é espacial, já que transcorre num reticulado bidimensional, em que cada célula do reticulado corresponde a um indivíduo. Ainda, esse jogo é iterado, de modo que a cada passo de tempo os indivíduos decidem se doam ou não. A ação de cada indivíduo pode afetar as ações de seus vizinhos. Aqui, determina-se, por meio de simulação numérica, como o número de doadores evolui com o passar do tempo. Esse número é função das recompensas associadas às ações disponíveis aos indivíduos. Há, ainda, dois tipos de doadores: os que doam ou não, independentemente do que seus vizinhos fazem, e os que doam ou não em função das atitudes dos vizinhos.

De posse das análises supracitadas, espera-se que esta pesquisa possa contribuir nesse e em outros temas relacionados a estudos sobre a dinâmica de sistemas complexos, sendo possível traçar estimativas comportamentais acerca de estratégias que promovam cooperação e prática de caridade entre indivíduos.

## 1.2 Justificativa e motivação

A partir do problema de pesquisa levantado, emerge a motivação central desta pesquisa. O estudo da solidariedade e cooperação mútua em sociedades se torna fundamental em um contexto no qual as redes sociais digitais desempenham um papel cada vez mais significativo na interação humana. Entre outros aspectos, essa interação é pautada na disseminação de informações, sobretudo quando essa disseminação é capaz de influenciar indivíduos na tomada de decisões no cotidiano.

Diante das dualidades presentes na história da humanidade, que oscilam entre conflito e paz, e das disparidades das condições econômicas e culturais observadas em uma sociedade, a discussão acerca da presente temática se torna ainda mais relevante. Nesse sentido, investigar como as ações de caridade são influenciadas e disseminadas nas redes sociais pode proporcionar resultados importantes para o fomento de uma cultura de cooperação social.

A convergência dos avanços tecnológicos da era da informação com o comportamento humano, seja em ações caridosas, seja na prática do “cancelamento”, revela um cenário complexo. A avaliação dos resultados obtidos ao divulgar ações caridosas nas redes sociais se torna essencial para prever os impactos, positivos ou negativos, decorrentes da divulgação desse tipo de ação. Como tais práticas podem motivar outros indivíduos a participarem? Ainda, como é afetada a percepção daqueles que são alvo dessas ações?

Nesse contexto, a teoria de jogos se apresenta como uma ferramenta adequada para analisar as interações sociais e os comportamentos individuais frente a uma oportunidade de ser solidário. Por meio do modelo a ser apresentado no capítulo 3, espera ser possível elencar, em determinados grupos, as diferentes atitudes em relação a comportamentos solidários. O que define um grupo, no presente estudo, são as condições impostas pelos parâmetros, aqui configurados ao início da simulação.

Assim, a presente pesquisa visa investigar como a solidariedade e a cooperação são afetadas pela interação em redes sociais. Compreender os fatores motivadores e os padrões emergentes dessas ações pode fornecer diretrizes para o desenvolvimento de estratégias que incentivem práticas humanitárias e promovam o bem-estar coletivo.

Além disso, considerando o contexto atual em que os debates sobre regulamentação dos meios digitais estão sob holofotes da mídia, esta pesquisa é oportuna para a discussão sobre as possíveis consequências da exposição pública de ações solidárias, tanto no âmbito social quanto jurídico.



Portanto, o estudo proposto busca orientar tomadas de decisão acerca das interações em redes sociais, frente a eventos aleatórios em que há oportunidade de apresentar uma ação caridosa. Espera-se avaliar os impactos da divulgação pública dessas ações e como isso afeta a dinâmica de cooperação social em um mundo cada vez mais conectado e digitalizado. Ao investigar essas questões, esta pesquisa se justifica por cooperar com o desenvolvimento de estratégias que promovam uma cultura solidária na era da informação.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

O capítulo 2 do presente trabalho apresenta uma revisão da bibliografia, explorando a relação entre o comportamento humano e os conceitos de caridade, altruísmo, filantropia e solidariedade no decorrer das eras. Além disso, introduz a teoria de jogos e a contextualiza em aplicações sociais. O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para a elaboração desta pesquisa, isto é, a estrutura da rede social considerada, em termos de topologia e número de nós, as ações disponíveis a cada jogador e as respectivas recompensas. Descreve-se também a dinâmica do jogo, que define como cada participante agirá frente a um determinado evento. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos e as discussões pertinentes a cada caso estudado. Na conclusão, ainda serão apresentados alguns tópicos para servir de ponto de partida para pesquisas futuras acerca do tema.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

*“Entendo que solidariedade é enxergar no próximo as lágrimas nunca choradas e as angústias nunca verbalizadas.”*

-- Augusto Cury

Este capítulo almeja conceituar os termos empregados para as diferentes manifestações de atitudes que visam ajudar outros participantes de uma rede social, digital ou não. Ademais, pretende identificar padrões comportamentais que se baseiem em ações solidárias durante a história da humanidade, trazendo à realidade algumas situações que foram possíveis de serem modeladas por meio da teoria de jogos, além de contextualizar essa teoria em aplicações sociais.

### 2.1 Altruísmo, caridade, filantropia e solidariedade

O altruísmo, a caridade, a filantropia e a solidariedade possuem conceitos relacionados. Cada um deles possui a mesma base de sentimento de cuidado para com o próximo. No entanto, é importante identificar as diferenças sutis que existem entre seus significados, contextualizando-os com o cenário proposto e estudado no presente trabalho.

O altruísmo, investigado como uma possível estratégia evolutiva da sociedade humana (Hoffman, 1981), carece de precisão em seu significado, mas pode ser comumente caracterizado como o sentimento e a motivação de um indivíduo em colocar o benefício de outrem antes de seu próprio (Kerr, Godfrey-Smith e Feldman, 2004). O comportamento altruísta está intimamente atrelado ao conceito de recompensa (Fehr e Fischbacher, 2003), podendo ser o único motor para que uma pessoa pratique uma boa ação ou apenas um bônus em decorrência desse comportamento. Esse conceito será explicado na seção 2.4 e contextualizado no capítulo 3, na seção 3.2.

Por sua vez, a caridade está relacionada à tomada voluntária de uma boa ação imediata, que irá prestar algum tipo de auxílio que beneficiará outra pessoa (Kumar e Chakrabarti, 2023). Trata-se de ações que podem ser tomadas no cotidiano, como doar comida a uma pessoa faminta ou dedicar tempo para acalmar um enfermo na iminência do suicídio. A caridade, no contexto do presente trabalho, é tratada como a ação de realizar uma atitude positiva.

É interessante notar, portanto, que um indivíduo pode escolher ser caridoso, não necessariamente sendo altruísta. Isso se verifica no senso comum de altruísmo identificado por Kerr, Godfrey-Smith e Feldman (2004), pois esse indivíduo pode não estar agindo motivado pelo verdadeiro sentimento de ajudar o próximo, mas visando algum benefício próprio em decorrência de sua ação. Dessa forma, os anseios e necessidades do outro indivíduo não seriam a real prioridade, ainda que seja possível testemunhar uma boa ação nesse contexto.

Em contrapartida, a caridade pode não ser suficiente para resolver problemas sistêmicos de uma sociedade. O nome, então, passa a ser filantropia, e geralmente é associado a movimentos com pautas que beneficiam amplamente a sociedade e que precisam de recursos, sejam pautas estruturais, como saneamento básico, educação e segurança, sejam pautas sociais, como igualdade de gênero, diversidade sexual e combate ao racismo (Sulek, 2010). Tal qual a caridade, a participação em processos filantrópicos pode ser motivada por altruísmo ou não.

Por fim, para tentar definir solidariedade, é necessário se atentar a alguns pontos. A sua história remonta a épocas antigas, mas foi na Idade Contemporânea que a discussão acerca da etimologia da palavra e de seu sentido se difundiu (Wildt, 1999). Ainda, solidariedade remete a sentimentos de unidade, fraternidade e luta contra a desigualdade, em qualquer âmbito. No entanto, não há unanimidade em seu significado (Thalos, 2012); tampouco há unanimidade na ideia de ser necessária para a sociedade ou a necessidade de ser regulamentada por um órgão ou uma instituição pública, visto que seu entendimento se entrelaça com questões políticas (Morgan e Pulignano, 2020; Weber, 2007) e religiosas (Davis, 2014; Mustofa, 2019).

No contexto do presente trabalho, a solidariedade é definida como o sentimento de fraternidade e união entre os indivíduos de uma população, como apontado por Thalos (2012). A partir disso, a seção 2.2 contextualiza a solidariedade no comportamento humano, para então servir de base para o modelo proposto no capítulo 3.

## **2.2 A solidariedade no comportamento humano**

Os seres humanos são dotados de inteligência (Stein, 1997). Em face disso, é esperado que indivíduos de uma mesma população tenham suas particularidades, crenças e formas distintas de pensar. É curioso constatar que, em uma sociedade, indivíduos com mentalidades tão diferentes sejam agrupados sob um mesmo sistema. Por que isso acontece? Há algum benefício oculto?

Essa premissa, que rege as discrepâncias no modo de agir dos indivíduos de uma mesma população, faz um paralelo importante com a tipificação dos participantes da rede proposta neste trabalho, indicada e descrita no capítulo 3, e discutida a partir dos resultados obtidos, os quais são apresentados no capítulo 4.

Enquanto uns são capazes de praticar caridade e ser solidários naturalmente, guiados unicamente por um sentimento de fraternidade, outros precisam ponderar seus ganhos ou enfrentar verdadeiros embates políticos para exercer a caridade. O fato é: a partir de um ponto de vista social e moral, a cultura solidária não precisa estar envolta de significados complexos ou difíceis. A solidariedade pode ser guiada tão somente por empatia, como para ajudar vítimas de um acidente natural (Wildt, 1999) ou de uma pandemia, como a de COVID-19 (Neumayr et al., 2021).

É importante lembrar, porém, que ser solidário não é faculdade exclusiva de seres humanos (Komter, 2010), como já observado por Mazzolini e Celani (2020) ao relatarem estratégias de sobrevivência e divisão de recursos por animais não-humanos. Eles alegam que a solidariedade pode ser vista como uma estratégia a ser aprendida e aplicada à sociedade, pois se mostra favorável a longo prazo. Da mesma forma, humanos também podem ser solidários com outros seres vivos que não sejam, de fato, racionais. É o caso de pessoas que se unem para arrecadar alimentos e medicamentos para animais de abrigos ou para tutores sem condições financeiras (Hettinger, 2010), sob orientação de uma organização filantrópica ou não.

Aproveitando para explorar a temática de organizações, aquelas chamadas “não governamentais” (ONGs) são classificadas como sem fins lucrativos, sendo integrantes do terceiro setor da economia. As ONGs são uma das principais protagonistas midiáticas na filantropia, muito graças à participação em meios digitais. Nesse contexto, Huang (2022) relata o levantamento de fundos se valendo de campanhas via internet, e Moretti (2021) discorre sobre os chamados *crowdfundings*, uma maneira eficiente de arrecadar dinheiro a partir de um grande número de pessoas.

Nesse cenário de rápida difusão de informação, as ONGs cresceram consideravelmente nas últimas décadas (Goff e Bam, 2020), justamente devido ao seu grande alcance, ao investimento de outros órgãos (públicos e privados) e ao volume considerável de doações feitas pela população. Essa é uma das principais formas que esse tipo de organização conta para se manter financeiramente estável, enquanto promove diversas ações beneficentes.

No Brasil, há instituições que agem como alicerces na luta contra desigualdades sociais, como é o caso, por exemplo, da ONG Amigos do Bem, atuante no sertão nordestino e promovendo acesso à educação, trabalho, saneamento básico e alimentação àqueles que não contam com o menor vislumbre de uma vida melhor. São 130 povoados preteridos

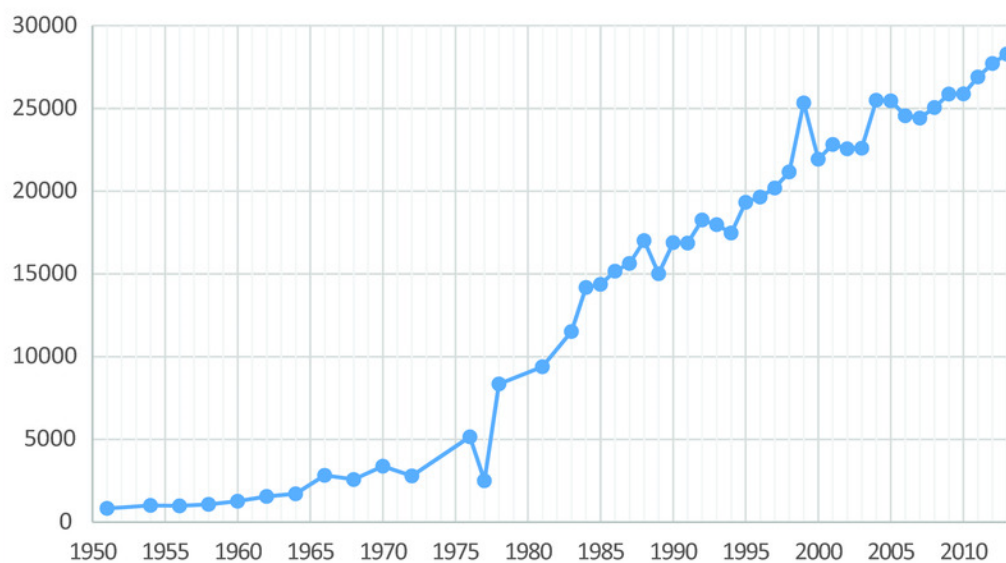
pela administração pública e pelo setor privado naquela região (Varella, 2020).

Outro exemplo, agora com foco à causa animal, é a Associação Humanitária de Proteção e Bem-Estar Animal (ARCA), que age para dirimir injustiças e proporcionar conforto a outras espécies que não a humana, promovendo campanhas solidárias de procedimentos veterinários e de adoção responsável, e pressionando instituições e entidades pelo fim do uso de animais no entretenimento (ARCA, 2022).

Diversos outros exemplos de ONGs, voluntários e filantropos anônimos, pelas mais variadas causas, podem ser encontrados no Brasil e no mundo. Em face desse movimento crescente de ações solidárias, o presente trabalho pretende propor alguns questionamentos sobre as vantagens de praticar ou não a solidariedade por integrantes de uma rede, que aqui pode representar um bairro, uma cidade, ou um país.

A Figura 2.1 ilustra o crescimento no número de ONGs internacionais desde 1950.

Figura 2.1. Número de ONGs internacionais ao longo das últimas décadas



Fonte: Aldashev e Navarra (2018) [adaptado]

## 2.3 Breve introdução à teoria de jogos

Considerando o que foi apresentado até o momento, sobretudo o movimento pendular de paz e conflito entre as nações e pessoas durante a história e a adoção de práticas solidárias no dia a dia, pode-se entender que os indivíduos sempre estiveram jogando, cada qual com seu objetivo. A palavra “jogo” aqui não é empregada em seu sentido recreativo, por vezes jocoso, mas em uma percepção que visa estudar o comportamento humano para tomada de decisões lógicas a partir de uma estratégia bem definida.

Ao trabalhar com teoria de jogos, é necessário entender dois preceitos fundamentais: os jogadores são racionais, isto é, visam maximizar seus ganhos, e eles apresentam comportamento estratégico, o que significa que eles sabem que os oponentes ou parceiros também estão sendo racionais e maximizando seus ganhos (Monteiro, 2014; Schecter e Gintis, 2016). Ainda, é comum se deparar com a chamada “tabela de recompensas”. Essa tabela concatena as informações dos jogadores, seu escopo de escolhas possíveis e as recompensas em cada caso, para cada jogador.

A fim de contextualizar e ilustrar como a teoria de jogos opera, pode-se citar o clássico jogo do “dilema do prisioneiro” (Axelrod, 1980; Nowak et al., 2003; Pfeiffer et al., 2005; Wang et al., 2021). Nesse jogo, dois comparsas, J1 e J2, são interrogados em salas diferentes e sem contato entre si. Eles devem escolher entre as ações **c**, para cooperar com o companheiro de crime, não o denunciando, e **d**, para delatá-lo à polícia. Assume-se que, caso ambos cooperem, eles ficam presos apenas um ano cada um; caso um deles coopere e o outro não, o que cooperou fica preso 20 anos, enquanto que o que delatou é liberado; caso ambos se delatem, os dois ficam presos 15 anos cada um. Essa é uma forma tentadora para coibir a cooperação mútua, visto que, por estarem separados, ficam apreensivos sobre qual será a decisão do outro.

A Figura 2.2 ilustra a tabela de recompensas do dilema do prisioneiro acima mencionado. O par de números em cada célula expressa as recompensas (os anos de prisão) de J1 e J2, respectivamente. Percebe-se, ainda, que o termo “recompensa” não é necessariamente algo a se almejar, pois pode assumir valores negativos. Dessa forma, os jogadores do dilema do prisioneiro escolhem suas ações visando a recompensa com menor valor, em módulo.

Figura 2.2. Jogo do dilema do prisioneiro

		<b>J2</b>	
		c	d
<b>J1</b>	c	-1, -1	-20, 0
	d	0, -20	-15, -15

Fonte: Monteiro (2014)

Os jogadores, sendo racionais, pretendem maximizar seus ganhos. Sob essa óptica, a ação de delatar é estritamente dominante, pois, caso o companheiro coopere, sair livre é melhor que ficar preso, mesmo que seja por apenas um ano, e caso seu companheiro

delate, ficar 15 anos preso é melhor do que 20. O dilema do prisioneiro mostra que a ação dominante pode não levar à melhor recompensa para ambos os jogadores simultaneamente. É evidente que se os dois escolherem delatar será muito pior que se ambos cooperarem, pois ficar preso por 15 anos é absolutamente mais oneroso que ficar preso apenas por um ano. Nesse jogo, ser egoísta (pensar apenas na sua própria recompensa) e delatar se torna a pior escolha; entretanto, caso os dois ajam racionalmente, essa é a escolha esperada, já que os jogadores têm comportamento estratégico. A melhor escolha para ambos (a que resultaria em menos anos de prisão) acaba não sendo a escolha racionalmente lógica.

A teoria de jogos, portanto, tem sido utilizada para situações mais diversas possíveis. O dilema do prisioneiro, ainda que seja um exemplo clássico, não demonstra, completamente, a complexidade e potencial dessa ferramenta. A sua origem remonta ao término da Segunda Guerra Mundial (Monteiro, 2014), em que a Guerra Fria estabelecia um clima de tensão no planeta por conta da corrida armamentista entre as duas maiores potências até então. De um lado, os Estados Unidos da América (EUA) e, do outro, a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Esse contexto poderia eclodir em uma guerra nuclear, oferecendo sérios riscos ao planeta. A teoria de jogos era considerada uma arma secreta dos EUA (Monteiro, 2014), pois poderia modelar e prever as melhores escolhas a se tomar visando a maior recompensa; nesse caso, sofrer menos perdas decorrentes de uma guerra com armas nucleares. A Figura 2.3 sugere uma possível tabela de recompensas para esse jogo, onde os jogadores podem optar entre as ações **f**, para fabricar bombas atômicas, e **d**, para ser favorável ao desarmamento.

Figura 2.3. Jogo da corrida armamentista

		URSS	
		f	d
EUA	f	2, 2	4, 1
	d	1, 4	3, 3

Fonte: Plous (1993) [adaptado]

As recompensas retratadas na Figura 2.3 representam os ganhos inerentes a cada escolha. Nesse caso, um número maior denota uma vantagem em termos de dominação global no contexto da Guerra Fria. Percebe-se que esse jogo se trata de um caso particular do dilema do prisioneiro (Plous, 1985), pois a maior recompensa é concedida ao jogador que fabrica bombas enquanto o adversário se desarma. Reiterando a racionalidade dos jogadores na tomada de decisões estratégicas, visando a maior recompensa, se o adversário

fabrica bombas, é melhor fabricar também, pois é melhor receber 2 do que 1. Ainda, se o adversário não fabricar, a melhor escolha continua sendo fabricá-las, pois é melhor receber 4 do que 3.

Estendendo a interpretação desse dilema para a realidade, pode-se imaginar que a melhor escolha individual não é a melhor escolha para ambos concomitantemente, tal qual no dilema do prisioneiro. Ora, mais armamentos nucleares aumentam a tensão e a possibilidade de catástrofe para a humanidade, caso uma guerra ecloda. No entanto, três considerações estratégicas podem ser destacadas nesse cenário (Balsgaard, 2016): primeiramente, o medo de “ficar para trás” em uma corrida armamentista, caso o adversário esteja fabricando armas; em seguida, a possibilidade de se tornar coercitivamente hegemônico, gerando uma vantagem temporária ou permanente sobre outros países; e, por último, o medo em iniciar uma corrida armamentista, caso o adversário nem estivesse preocupado com isso originalmente. Nota-se, dessa forma, que o jogo em questão traz à luz questionamentos complexos que extrapolam recompensas escalares, não raramente esbarrando em tópicos intangíveis.

É nessa complexidade e versatilidade que a teoria de jogos se faz presente nos mais diversos campos de estudo, como Biologia, Computação, Economia e Engenharia (Monteiro, 2014). Ademais, várias estratégias foram propostas por diferentes autores, sobretudo para jogos iterados. Nesse tipo de jogo, são estabelecidos  $n$  passos de tempo, isto é, o jogo é jogado  $n$  vezes em sequência. Essa condição abre espaço para regras das mais diversas para o comportamento dos jogadores, uma vez que a ação do outro jogador em um passo de tempo anterior possa influenciar a escolha atual. Para citar alguns exemplos de estratégias, pode-se considerar o jogo do “dilema do prisioneiro iterado”, se valendo da tabela de recompensas da Figura 2.2. A fim de ser possível estimar qual estratégia se sairia melhor nesse cenário, R. Axelrod, um cientista político estadunidense, realizou três torneios computacionais entre as décadas de 80 e 90 (Monteiro, 2014), reunindo estratégias submetidas por outros cientistas para que competissem entre si (Rapoport, Seale e Colman, 2015). Outras competições foram realizadas posteriormente, em que novas estratégias eram submetidas. Ao longo desses torneios, algumas estratégias ficaram famosas, por exemplo: “*tit-for-tat*” (TFT), “*win-stay, loose-shift*” (WSLS) e “*copycat*”.

A estratégia TFT, submetida por A. Rapoport nos três torneios promovidos por R. Axelrod (Monteiro, 2014; Simpson, 2016), pode ser entendida como “olho-por-olho”, em que a primeira ação é cooperar (jogar **c**), mas a partir da segunda iteração, o jogador escolhe a ação que seu adversário escolheu no passo de tempo anterior. Percebe-se que, nessa estratégia, o jogador tenta agir de maneira cooperativa a princípio, mas não coopera mais caso se sinta traído. No entanto, caso o adversário passe a cooperar, ele volta a



cooperar também. Frente a outras 13 estratégias no primeiro torneio e a outras 62 nos torneios subsequentes, essa foi a campeã em todos os embates (Monteiro, 2014).

Por sua vez, a estratégia WSLs teve sua estreia em um torneio promovido por M.A. Nowak e K. Sigmund (Monteiro, 2014; Nowak e Sigmund, 1993), em que o jogo do dilema do prisioneiro iterado estaria corrompido por ruído. Nesse cenário, a estratégia WSLs se baseia em repetir a ação escolhida na iteração anterior, caso a recompensa tenha sido boa (0 ou -1 de acordo com a Figura 2.2), mas troca de ação caso tenha recebido alguma recompensa ruim (-15 ou -20). O ruído em questão consistia na troca de algumas ações aleatoriamente com o decorrer dos passos de tempo da simulação. Sob o ruído imposto a esse torneio, a estratégia WSLs superou a TFT (Nowak e Sigmund, 1993). Esse resultado implica que WSLs é tolerante a falhas, uma vez que foi testada em ambiente ruidoso (Monteiro, 2014). Comparando a eventos testemunhados no cotidiano, entende-se como possíveis ruídos uma falha de comunicação ou um boato, de modo que um jogador recebe a informação que foi traído, mas na realidade o adversário havia cooperado, e vice-versa.

Por fim, em 1992, M.A. Nowak e R.M. May introduziram torneios computacionais a partir de um modelo espacial para o jogo do dilema do prisioneiro iterado (Monteiro, 2014; Nowak e May, 1992). Nesse modelo, os  $N$  indivíduos da rede estão homogeneamente distribuídos pelo espaço. O reticulado resultante pode ser representado por um grafo totalmente conectado (Monteiro, 2014). Cada nó desse grafo (indivíduo) está conectado aos oito nós adjacentes (vizinhos), formando uma matriz  $3 \times 3$ . Cada indivíduo, então, joga o dilema do prisioneiro iterado com cada um dos oito indivíduos adjacentes, somando as recompensas obtidas em cada confronto. Nesse contexto, a estratégia *copycat* (que pode ser traduzida como “imitadora”) foi apresentada e se baseia em postular ao jogador que imite a ação tomada pelo vizinho que recebeu a maior soma de recompensas na iteração anterior. Dessa forma, o jogador age de maneira determinista. Essa estratégia já foi utilizada na literatura (Liu et al., 2020; Mesak e Calloway, 1999; Nowak e May, 1992; Rocha e Monteiro, 2023) e pode ser uma boa aproximação sobre o comportamento de indivíduos egoístas ou que agem visando a melhor recompensa, sem se importarem com danos ou custos.

Diversos outros jogos e estratégias têm sido propostos graças à versatilidade que a teoria de jogos pode oferecer às mais variadas áreas de estudo e pesquisa.

## 2.4 Teoria de jogos em aplicações sociais

Como já verificado, a teoria de jogos pode ser utilizada para modelar o comportamento de indivíduos ou de redes inteiras, representando sociedades no mundo real. Não obstante, devido à sua usabilidade, ela pode ser usada em aplicações políticas e bélicas, como visto na seção 2.3, mas também em temas diversos. Alguns exemplos encontrados na literatura podem ser negociação e estratégia de mercado entre empresas (Caves, 1994; Gimpel et al., 2020), análise de cadeia de suprimentos na indústria (Cachon e Netessine, 2006; Ghosh et al., 2021) e resolução de méritos diversos em casamentos (Hafalir, 2008; Lundberg e Pollak, 1994; 2003).

O presente trabalho, porém, visa analisar como a teoria de jogos pode estar atrelada, especificamente, a fenômenos de altruísmo, caridade, filantropia e, sobretudo, solidariedade. Em um contexto como esse, seria no mínimo inusitado utilizar os termos “oponente” e “ganhos”, uma vez que a intenção primordial de ser solidário é ser fraterno e ajudar o próximo que está em situação desfavorável. Como, então, se pode estipular um jogo entre duas pessoas nesse tema?

Muito se especula sobre os anseios do ser humano em praticar a caridade e compartilhar do sentimento solidário, além da própria origem desse sentimento e sua verdadeira finalidade. De um ponto de vista da teoria de jogos, é certo que uma ação positiva traz uma recompensa não só a quem a recebe, mas também a quem a pratica. Essa recompensa não necessariamente é financeira, nem causa perdas a outro jogador; em certos cenários, é evidente a possibilidade de ambos saírem absolutamente satisfeitos. Um exemplo disso ocorre quando dois voluntários trabalham juntos em uma mesma causa filantrópica. No entanto, nessa circunstância, é possível que sejam despertados sentimentos que não estritamente solidários e altruístas. É nessa margem que os anseios por reconhecimento social podem se tornar mais atrativos a alguns jogadores.

Seja por um motivo ou por outro, os jogadores estão cooperando para ajudar uma causa que precisa de auxílio. Assim, o jogo da solidariedade proposto no presente trabalho é um jogo de cooperação entre dois indivíduos pertencentes a uma sociedade. Pode-se citar outro tipo de cooperação como no caso de participantes de um sistema elétrico de potência (Churkin et al., 2021), desde a geração até a distribuição nos centros urbanos. Na realidade, diversos autores se valeram da teoria de jogos como ferramenta para tentar explicar a origem e manutenção de comportamentos cooperativos (Büchner, Coricelli e Greiner, 2007; Cooper et al., 1996; Li et al., 2010; Schimit e Monteiro, 2011). Isso é positivo, pois pode-se considerar uma doação como um caso particular de cooperação. Conforme já relatado, essa não é uma característica exclusiva de seres humanos (Mazzolini

e Celani, 2020), podendo ser encontrada em morcegos e primatas (Komter, 2010), além de peixes (Arnold e Taborsky, 2010).

Portanto, há um vasto horizonte de possibilidades, tanto na sociedade quanto no meio ambiente, para se analisar como a teoria de jogos age frente a eventos solidários. Em se tratando de cooperação no meio ambiente, o horizonte ainda pode ser expandido ao analisar cooperação sob o ponto de vista da Ecologia (McNickle e Dybzinski, 2013; Riechert e Hammerstein, 1983).

Komter (2010), levantando questionamentos sobre egoísmo, tema bastante citado em trabalhos acerca de solidariedade e teoria de jogos, pressupõe que teorias já consolidadas, como a seleção natural de Charles Darwin, podem incorrer em práticas egoístas; nesse caso, em prol da sobrevivência da própria espécie. Na Idade Contemporânea, o egoísmo pode ser usado também para descrever o comportamento humano (Mueller, 1986), principalmente em uma sociedade em que a ganância se faz presente.

Em um mundo de recursos limitados e crescente ocupação populacional, é natural que ONGs, para se manterem financeiramente estáveis, desenvolvam estratégias para que uma causa receba mais atenção e recursos que outra, ainda que ambas possam ter a mesma importância em um senso comum. Esse é um exemplo claro de competição. Em contrapartida, pode ser que a melhor estratégia seja ser cooperativo em alguns casos, isto é, uma ONG cooperar com outra ONG ou com uma entidade pública ou privada (Muggy e Stamm, 2014).

Como Albert (2007) revela, há uma predisposição em ajudar mais aqueles que ajudam de volta, isto é, pessoas são mais caridosas com quem é mais caridoso. Não necessariamente essa caridade é direcionada ao mesmo indivíduo ou entidade, mas pode ser motivada apenas por ter sido testemunha de um ato caridoso (Martin e Randal, 2008). Abre-se, assim, um horizonte de possibilidades, em que um tema específico é objeto deste trabalho: até que ponto as ações caridosas são guiadas por reputação e não pelo sentimento solidário?

De acordo com Wang et al. (2021) e Tonin e Vlassopoulos (2013), as recompensas inerentes à solidariedade muito podem estar atreladas ao ego e ao reconhecimento. Entretanto, nem todos os doadores agem impulsionados pela fama e pela recompensa social. As recompensas de alguns podem ser apenas a realização pessoal de ter feito o bem à outra pessoa ou animal. No capítulo 3 deste trabalho, são exploradas as diferenças dos resultados de uma rede composta exclusivamente por esses dois tipos de indivíduos; ou seja, doadores que apenas doam por verdadeira solidariedade e doadores que doam devido a uma pressão social ou visando recompensas para si.

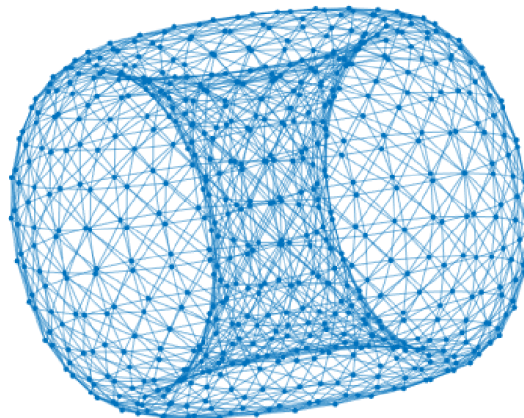
## 3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo, apresenta-se o modelo de jogo proposto. Esse modelo foi desenvolvido em ambiente computacional, a partir de um algoritmo para a geração da rede social, definição dos parâmetros e implementação da dinâmica de evolução temporal. Além disso, são apresentadas as métricas para analisar os resultados, reportados no capítulo 4.

### 3.1 Estrutura da rede

A rede considerada apresenta uma topologia de acoplamento regular entre seus indivíduos. São considerados 4096 nós, distribuídos regularmente em um reticulado bidimensional de dimensões  $64 \times 64$ . A matriz de adjacências  $[\mathbf{X}_A]$  desse grafo tem dimensões  $4096 \times 4096$ . O grafo resultante de  $[\mathbf{X}_A]$  é conexo, pois todos os nós estão conectados aos seus vizinhos imediatos. Assim, há caminho possível entre qualquer par de nós. Ainda, as bordas superior e inferior estão conectadas, assim como as bordas direita e esquerda. Portanto, a distribuição espacial desse grafo assume uma estrutura toroidal, ilustrada na Figura 3.1.

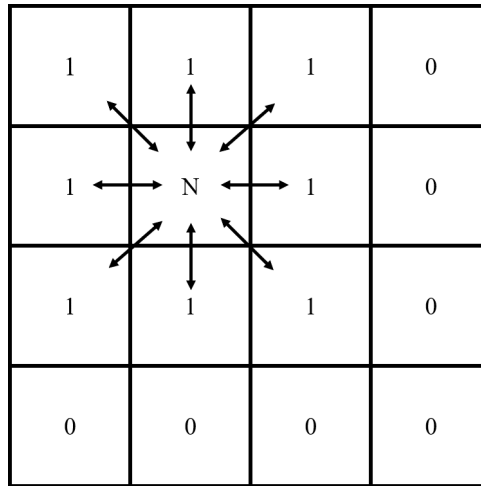
Figura 3.1. Distribuição espacial dos nós no presente trabalho



Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

A interação entre os nós é feita a partir da vizinhança de Moore de raio unitário, isto é, em um reticulado bidimensional, os vizinhos de um nó são aqueles dispostos tanto ortogonalmente quanto nas diagonais. Em outras palavras, a vizinhança de Moore de raio unitário é a matriz quadrada de dimensão  $3 \times 3$  que possui o nó em questão como centro (Wolfram, 1994), como ilustrado na Figura 3.2. Apesar de simples, essa vizinhança tem sido usada, por exemplo, em estudos epidemiológicos (Schimit, 2010).

Figura 3.2. Vizinhança de Moore de raio unitário



Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

A célula considerada no reticulado da Figura 3.2, representada pela letra N, interage somente com as células que contêm a flecha e o número um. As células que contêm o número zero não são levadas em consideração para N na dinâmica da rede.

## 3.2 Parâmetros do jogo

O jogo proposto conta com a divisão da população de 4096 nós em dois tipos, a saber:

- Tipo 1, doravante referenciado como T1;
- Tipo 2, doravante referenciado como T2.

Indivíduos T1 são solidários e praticam boas ações, independentemente da opinião de um observador vizinho; isto é, a caridade lhes é intrínseca e natural. Em contrapartida, indivíduos T2 ponderam os ganhos relativos ao praticar uma boa ação, em função da ação e do julgamento de seus vizinhos. A motivação é entender como a dinâmica de ações é

afetada, especialmente por haver indivíduos que fazem boas ações naturalmente e outros que as fazem por pressão social ou em busca de uma recompensa própria.

As ações do jogo proposto, para os dois tipos de jogadores, são **D** e **ND**, isto é, doar e não doar, respectivamente. As recompensas de T1 são:

- **Y**, caso ele doe (**D**);
- **X**, caso ele não doe (**ND**).

Já as recompensas de T2 são:

- **R**, caso ele doe e um jogador vizinho também;
- **S**, caso ele não doe e um jogador vizinho doe;
- **T**, caso ele doe e um jogador vizinho não;
- **P**, caso nenhum dos dois jogadores doe.

Ainda, considera-se que:

$$\mathbf{T} > \mathbf{R} > \mathbf{P} > \mathbf{S} \quad (3.1)$$

$$\mathbf{X} = \mathbf{S} \quad (3.2)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{R} \quad (3.3)$$

De acordo com (3.1), a recompensa **T** é a maior de todas, pois quando T2 doa e seu vizinho não, ele se sente realizado e superior, uma vez que está preocupado com a pressão social e com os louros de sua boa ação para sua imagem e reconhecimento social. Dessa forma, esse indivíduo T2 pode acabar pressionando um vizinho, que também seja T2, a doar. Aqui, assume-se que se ele tem preocupações em ser julgado, muito provavelmente ele também julga o próximo.

Ainda analisando (3.1), a recompensa **R**, que é atribuída ao jogador T2 caso ele doe e o vizinho também, é menor que a recompensa **T**, pois, em sua concepção, ele não está fazendo mais do que a obrigação por uma questão de pressão social. Por sua vez, **R** é maior que a recompensa **P**, fruto de uma ação em que nenhum dos dois jogadores doa; nesse caso, se nenhum dos dois jogadores pratica uma boa ação, não há reconhecimento ou constrangimento social nem para um nem para outro. Portanto, entende-se que é melhor a situação em que os dois vizinhos pratiquem uma boa ação (**D**), do que se nenhum

deles o fizer. A pior recompensa é o caso em que T2 não doa e o vizinho doa, pois isso potencializa em T2 o sentimento de que está sendo julgado e não cumpriu com o que era esperado socialmente.

As letras **T**, **R**, **P** e **S** são comumente usadas como as recompensas do dilema do prisioneiro (Monteiro, 2014). Nesse dilema, **T** é a recompensa de quem delata e não é delatado; **R** é a recompensa por cooperação mútua; **P** é a recompensa por delação mútua e **S** é a recompensa por não delatar e ser delatado. No dilema do prisioneiro, a relação (3.1) vale, como pode ser visto na Figura 2.2, no caso em que  $\mathbf{T} = 0$ ,  $\mathbf{R} = -1$ ,  $\mathbf{P} = -15$  e  $\mathbf{S} = -20$ . Ainda, fazendo um paralelo entre o modelo proposto e o dilema do prisioneiro, a ação **c** (cooperar), no referido dilema, equivale a **D** (doar) no jogo da solidariedade, e a ação **d** (delatar) equivale a **ND** (não doar) no jogo aqui proposto. Note, entretanto, que no dilema do prisioneiro só há um tipo de jogador, enquanto que no presente modelo há dois tipos (T1 e T2).

No caso de T1, uma vez que ele não se preocupa com a opinião ou a pressão que seus vizinhos exercem sobre ele, há apenas duas recompensas: **X**, caso ele não doe, e **Y**, caso ele doe. Considere que T1 receba a mesma recompensa que T2 recebe quando escolhe **ND** e seu vizinho escolhe **D**, como descrito pela equação (3.2). Se T1 é independente de opiniões e julgamentos, ele doa por uma convicção pessoal do que é benéfico para sua comunidade, e, caso não seja possível doar naquele momento, seja por falta de disponibilidade de recursos ou qualquer outro motivo, ele se sente mal por não ter cumprido com o que acha certo. De maneira análoga, como descrito pela equação (3.3), a recompensa **Y** que T1 recebe é a mesma que T2 recebe quando escolhe **D** e seu vizinho também. Essa lógica se baseia no pressuposto de que, enquanto T1 ficou satisfeito por ter doado, T2 também ficou satisfeito por ter cumprido o que a sua vizinhança estaria pautando como correto para não ser julgado.

De posse das relações (3.1) a (3.3), elencam-se os seguintes valores das recompensas:

$$\mathbf{X} = \mathbf{S} \in [-5; -0, 5] \quad (3.4)$$

$$\mathbf{P} = 0 \quad (3.5)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{R} \in [0, 5; 5] \quad (3.6)$$

$$\mathbf{T} = 6 \quad (3.7)$$

Na simulação realizada, as recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  são variáveis, em momentos distintos, a fim de avaliar o impacto decorrido dessa variação no número de doadores ao final da simulação. A recompensa  $\mathbf{Y}$  inicia em 0,5 e varia até 5, com passo de 0,5, enquanto que a recompensa  $\mathbf{X}$  inicia em  $-5$  e varia até  $-0,5$ , também com passo de 0,5. Dessa forma, pode-se investigar a influência desses parâmetros no resultado da simulação sem ferir a lógica de que a recompensa  $\mathbf{T}$ , exclusiva de jogadores T2, sempre será a maior e mais cobiçada de todas, valendo 6. A recompensa  $\mathbf{P}$  vale zero, sendo tratada aqui como indiferente, uma vez que dois vizinhos T2 pratiquem uma boa ação, eles estarão apenas cumprindo com o dever imposto pela sociedade (de acordo com seu modo de pensar).

A Figura 3.3 ilustra o jogo proposto, em sua forma normal (como uma tabela de recompensas).

Figura 3.3. Jogo de solidariedade proposto

		<b>T2</b>	
		D	ND
<b>T1</b>	D	Y, Y	Y, X
	ND	X, T	X, P

Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

### 3.3 Dinâmica da rede

A simulação se inicia definindo o papel de cada participante da rede, isto é, se cada indivíduo é T1 ou T2. A probabilidade de um indivíduo ser T1 é dada por  $\mathbf{p}$ , iniciando em 10% e variando até 100%, com passo de 10%. Portanto, a probabilidade de um indivíduo ser T2 é de  $1 - \mathbf{p}$ . Os indivíduos da rede são imutáveis no decorrer do tempo, isto é, um indivíduo sorteado para ser T1 continua sendo T1 até o final da simulação. A mesma regra vale para indivíduos T2.

Após definida a identidade de cada participante, a probabilidade  $\mathbf{q}$ , iniciando em 10% e variando até 100%, com passo de 10%, é o parâmetro utilizado para definir como cada jogador T1 agir, sendo que  $\mathbf{q}$  é a probabilidade de T1 jogar **D**. De maneira análoga, a probabilidade de um indivíduo T1 escolher **ND** é de  $1 - \mathbf{q}$ . Uma vez que a ação desse tipo de jogador não depende da ação dos vizinhos, por ser independente, esse parâmetro se faz necessário em cada passo de tempo a fim de determinar a ação de T1.

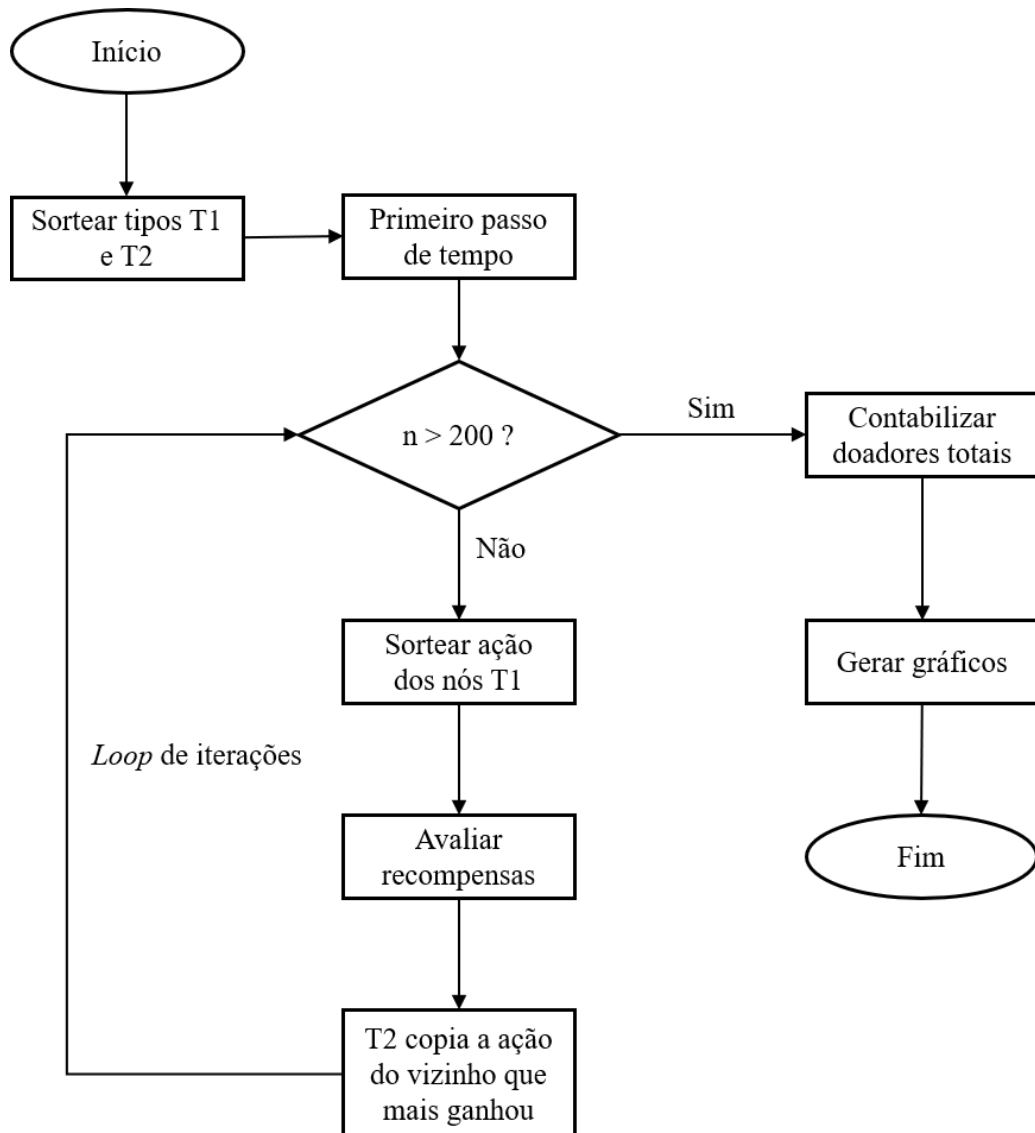
Resta, por fim, definir como os jogadores T2 agem. A estratégia escolhida para



o presente trabalho foi a de *copycat* (Monteiro, 2014), que consiste no jogador copiar a ação de seu vizinho que recebeu a maior recompensa. Como o jogador T2 deseja receber a maior recompensa para si, sem se preocupar em ter feito a melhor ação para o próximo, uma estratégia adequada para tal é justamente avaliar o que cada vizinho recebeu e copiar a ação do vizinho que recebeu a maior recompensa no passo de tempo anterior. Portanto, entende-se que indivíduos T1 agem de acordo com uma lei probabilista, enquanto que indivíduos T2 se valem de uma lei determinista (Rocha e Monteiro, 2023).

A Figura 3.4 apresenta o fluxograma do algoritmo proposto. A simulação processa a rotina de iterações durante  $n$  passos de tempo. Esse parâmetro vale 200 passos no presente trabalho.

Figura 3.4. Fluxograma do algoritmo proposto



Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

### 3.4 Metodologia de análise dos resultados

Antes de analisar os resultados, é pertinente fazer algumas considerações. Os resultados das simulações com população de 4096 indivíduos não apresentaram diferenças significativas em relação às simulações com 1024 indivíduos, o que sugere que, para redes com  $2^{10}$  nós ou mais, o tamanho absoluto da população não afeta a relação entre a porcentagem de doadores e os valores dos parâmetros do modelo.

O *hardware* utilizado para as simulações possui *clock* de 2,20 GHz e 16 GB de memória RAM, realizando as simulações aqui apresentadas em 42 horas para 4096 nós (para redes de 1024 nós, essas simulações consomem cerca de em 2 horas). Note que uma rede de 1024 ou 4096 indivíduos, apesar de “pequena”, pode representar uma situação do mundo real como, por exemplo, sócios que convivem em um clube ou membros de uma organização sem fins lucrativos.

Após 200 passos de tempo, obtêm-se duas matrizes, que representam as ações e as recompensas de cada um dos 4096 jogadores, em cada passo de tempo, para cada combinação de valores das probabilidades  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q}$ , além dos diferentes valores das recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$ .

De posse dessas matrizes, é possível calcular o número de doadores ao final da simulação para cada combinação de valores de  $\mathbf{p}$ ,  $\mathbf{q}$ ,  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$ , a fim de verificar o impacto que cada parâmetro apresenta, bem como se há uma estabilização nesse número total de doadores. Em cada um dos cenários estipulados, são obtidas curvas referentes à média de doadores ao final da simulação, em função da variação de um único parâmetro, mantendo os demais constantes.

O primeiro parâmetro a ter o valor variado é a probabilidade  $\mathbf{p}$ , mantendo os valores das recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  constantes, respectivamente, em  $-2,5$  e  $2,5$ . Quanto à probabilidade  $\mathbf{q}$ , três curvas são geradas, a primeira para  $\mathbf{q} = 10\%$ , a segunda para  $\mathbf{q} = 50\%$  e a terceira para  $\mathbf{q} = 90\%$ . A motivação é avaliar como o valor de  $\mathbf{q}$  atua em conjunto com a proporção de indivíduos T1, verdadeiramente solidários.

Na sequência, varia-se  $\mathbf{q}$ , e agora  $\mathbf{p}$  assume os valores de 10%, 50% e 90% para gerar três curvas distintas e avaliar como a probabilidade  $\mathbf{p}$  impacta a média de doadores da simulação, quando da variação de  $\mathbf{q}$ . Por último, as recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  são analisadas mantendo  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q}$  constantes em seu valor intermediário, isto é, 50%.

Com isso, busca-se avaliar separadamente o impacto que cada parâmetro traz à dinâmica da rede. Os resultados de cada um desses casos de estudo são disponibilizados em tabelas para uma melhor visualização e posterior discussão dos resultados.

São gerados gráficos da média do número de doadores em função do parâmetro

variado no referido bloco, podendo ser a probabilidade  $\mathbf{p}$ , a probabilidade  $\mathbf{q}$  e as recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$ , verificando se há convergência para algum valor médio. No cálculo dessa média, são desconsideradas as primeiras 50 iterações e calculam-se o número médio de doadores e o respectivo desvio-padrão nos últimos 150 passos de tempo, assumindo que seja tempo suficiente para o número de doadores estabilizar em torno de um valor médio hipotético.

A coleção dos dados é submetida ao método do coeficiente de correlação de Pearson (CCP), que historicamente foi o primeiro método formal para aferir correlações e é ainda um dos mais utilizados (Zhou et al., 2016), a fim de averiguar a associação monotônica entre duas variáveis quaisquer; isto é, em que o gráfico se mantém com uma única tendência. Nesse método, calcula-se o coeficiente adimensional  $r$  a partir da equação (3.8) dada por:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{\mu}_x}{\sigma_x} \right) \left( \frac{y_i - \bar{\mu}_y}{\sigma_y} \right) \quad (3.8)$$

sendo  $n$  o número de amostras (no presente estudo, se trata dos últimos 150 passos de tempo),  $x_i$  é o valor da  $i$ -ésima amostra da variável  $x$ , que é a primeira variável analisada,  $\bar{\mu}_x$  e  $\sigma_x$  são a média aritmética e desvio-padrão de  $x$ , respectivamente. Analogamente, o mesmo vale para a segunda variável analisada, ou seja,  $y$ .

Pretende-se verificar se a associação de alguma das variáveis ao número de doadores ao final das simulações apresenta correlação fraca, forte ou se não há correlação (valores de  $r$  próximos ou iguais a zero). O sinal do valor de  $r$  também denota outra característica fundamental: se a relação monotônica entre as duas variáveis possui uma correlação positiva ou negativa (Sedgwick, 2012). Ainda que os limiares para interpretar uma correlação como forte ou fraca seja objeto de discussão e estudo no meio científico (Schober, Boer e Schwarte, 2018), no presente trabalho é adotada a classificação forte para valores de  $r$ , em módulo, superiores a 0,80, médio para valores de 0,50 a 0,80 e fraco para valores inferiores a 0,50. Importante ressaltar, porém, que o valor de  $r$  ser estatisticamente relevante não está diretamente atrelado à sua magnitude (Akoglu, 2018), uma vez que  $r$  ser próximo de zero denotaria uma correlação quase nula, podendo ser um resultado bastante útil para discussão.

Após a discussão de cada caso de estudo, analisando a correlação de cada variável e do número de doadores ao final das simulações, são gerados gráficos tridimensionais para ser possível uma análise bivariada do jogo proposto. Nessa análise, visualiza-se especialmente a média de doadores em função de duas variáveis, como as probabilidades  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q}$  simultaneamente ou como alguma dessas probabilidades em conjunto de alguma das

recompensas,  $\mathbf{X}$  ou  $\mathbf{Y}$ . Ao término da análise gráfica, recorre-se ao método dos mínimos quadrados (Wolberg, 2006) para ser possível estimar uma relação matemática entre as variáveis que mais apresentarem impacto no número de doadores ao final da simulação.

Um caso particular é discutido na seção 4.4, em que a recompensa  $\mathbf{Y}$  é variada de 1 a 10; assim, é explorado o impacto que essa variável causaria caso tivesse, em dado instante, o mesmo peso que a recompensa  $\mathbf{T}$  e, posteriormente, um valor ainda mais alto.

### 3.5 Questões orientativas para discussão

A virtude em foco aqui é a de ser capaz de ajudar outro indivíduo, em todas as suas manifestações, como destacado ao longo da seção 2.1: a solidariedade, que imbuí os seres humanos com sentimentos de fraternidade, a caridade, que age prontamente para beneficiar outras pessoas e animais em ações e gestos, o altruísmo, que coloca as necessidades do outro acima das de si próprio, e a filantropia, que procura resolver ou amenizar problemas de ordem sistêmica.

Frente aos conceitos supracitados, conjectura-se a possibilidade de que uma sociedade com forte apelo filantrópico seja composta tanto de pessoas verdadeiramente altruístas e solidárias quanto de pessoas que agem por benefício próprio. Pode ser natural imaginar que esse apelo seja fortalecido por propaganda midiática, presença em redes sociais digitais e outros canais. De uma forma ou de outra, seja qual for a motivação, é verdade dizer que todas as pessoas envolvidas nos processos filantrópicos estão exercendo caridade em algum momento. A outra ponta, que recebe a ação benevolente, apenas tem a ganhar com isso.

No sentido da lógica exposta, o presente trabalho assume ser mais próspera a rede quanto maior for a média de doadores ao final da simulação. A fim de se obter um direcionamento quanto às condições ótimas que levam uma rede a prosperar, as variações das probabilidades  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q}$  e das recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  se mostram interessantes.

A variação de  $\mathbf{p}$  é necessária para averiguar se o número de indivíduos T1 é determinante para o sucesso da rede. Necessariamente, a maioria dos indivíduos de uma rede deve ser naturalmente solidária para que ela seja próspera?

Por sua vez, a variação de  $\mathbf{q}$  é necessária para estimar o impacto que doações de indivíduos T1 geram na rede, em termos de número de doadores. Para que a rede atinja números expressivos de doadores, é necessário que haja muitas demonstrações públicas de caridade, de modo a induzir observadores T2 a fazerem o mesmo?

Nesse sentido, após a análise da variação dessas duas probabilidades, podem-se

gerar dois gráficos tridimensionais da média de doadores em função de  $\mathbf{p}$  e de  $\mathbf{q}$ : um variando a recompensa  $\mathbf{X}$  e outro, a recompensa  $\mathbf{Y}$ . Dessa forma, alguns questionamentos acerca desses resultados emergem naturalmente. O que é mais adequado para a rede ter sucesso: um maior número de pessoas naturalmente solidárias que doam esporadicamente ou um menor grupo desses indivíduos que doa com uma frequência muito alta? Ainda, ao comparar a variação das recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$ , o que é mais benéfico: uma punição cada vez mais rígida para quem comete uma falha (neste caso, não doar), ou uma recompensa melhor para quem é caridoso? Em outras palavras, linchamentos são a melhor escolha? É positivo cultuar e adorar alguém apenas por ter praticado uma boa ação?

No jogo proposto, o valor doado em si não é levado em conta e não afeta as recompensas dos jogadores. Por simplicidade, assume-se que, quanto maior o número de doações, maior o valor do total doado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados no presente capítulo foram obtidos a partir da simulação, conforme descrito na seção 3.4. Primeiramente, na seção 4.1, é averiguado o impacto que a variação de apenas um parâmetro provoca na média de doadores ao final da simulação. Em cada caso, são mantidos os demais parâmetros constantes em valores apropriados.

Na seção 4.2, é realizada uma análise bivariada, para verificar o comportamento do número de doadores quando dois parâmetros são variados simultaneamente, mantendo os demais constantes. Os resultados dessa análise são ilustrados em gráficos tridimensionais para cada caso (subseções de 4.2.1 a 4.2.3), acompanhados da respectiva discussão.

Por fim, a seção 4.3 ilustra como a média de doadores se comporta durante os 200 passos de tempo da simulação. Ainda, encontra-se uma expressão analítica por meio do método dos mínimos quadrados para representar o comportamento da rede em função dos parâmetros que mais impactaram na média de doadores ao final da simulação. Parte desses resultados já foram publicados (Rocha e Monteiro, 2023).

### 4.1 Variação individual de parâmetros

A presente seção visa identificar o impacto que a variação de apenas um parâmetro causa na rede e na média de doadores ao término da simulação.

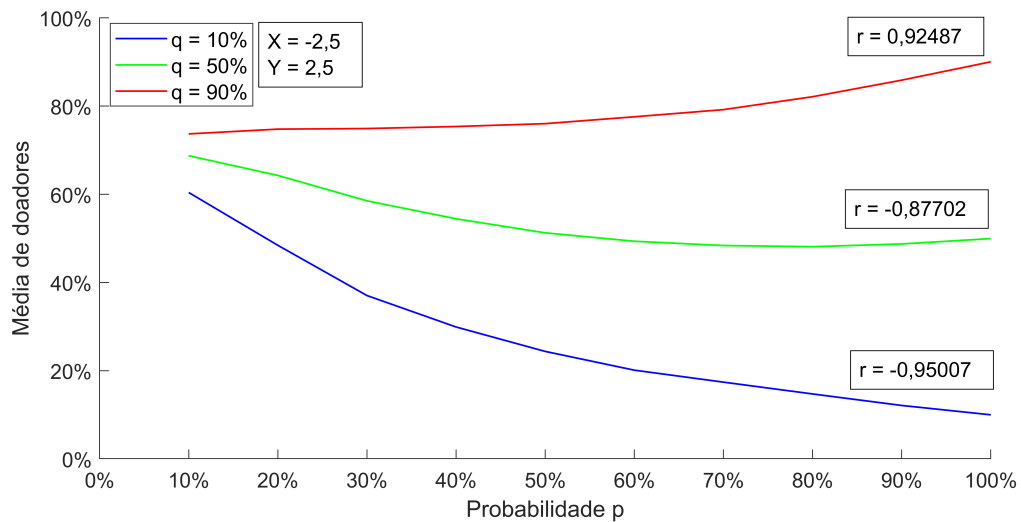
#### 4.1.1 Variação da probabilidade $p$

Nesse primeiro caso, a probabilidade  $p$  foi variada de 10 a 100%, com passo de 10%. A Figura 4.1 ilustra as curvas da média do número de doadores em função da variação de  $p$  para três valores de probabilidade  $q$ : a curva azul para  $q = 10\%$ , a verde para  $q = 50\%$  e a vermelha para  $q = 90\%$ . Para os três casos, as recompensas  $X$  e  $Y$  se mantiveram constantes em  $-2,5$  e  $2,5$ , respectivamente. A Tabela 4.1 relaciona a média de doadores ao respectivo desvio-padrão para cada valor de  $p$ , para  $q$  em seu valor médio de 50%.

Pela análise das curvas e do CCP obtido para cada valor de  $q$ , verifica-se uma

correlação muito forte entre a média de doadores e a variação da probabilidade  $\mathbf{p}$ . O CCP para  $\mathbf{q} = 10\%$  equivale a cerca de 0,95 e sentido negativo. Já para  $\mathbf{q} = 50\%$ , o CCP vale aproximadamente 0,88 e permanece com sentido negativo. Por último, considerando  $\mathbf{q} = 90\%$ , o CCP tem sentido positivo, valendo cerca de 0,92, como pode ser analisado na Figura 4.1.

Figura 4.1. Média de doadores em função da variação de  $\mathbf{p}$



Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Tabela 4.1. Dados em função da variação de  $\mathbf{p}$  para  $\mathbf{q} = 50\%$

Probabilidade $\mathbf{p}$ (%)	Média de doadores $[\bar{\mu}_p]$ (%)	Desvio-padrão $[\sigma_p]$ (%)
10	69	7,2
20	64	4,9
30	59	3,5
40	54	2,5
50	51	2,0
60	49	1,5
70	48	1,3
80	48	0,96
90	49	0,87
100	50	0,69

Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Para  $\mathbf{q} = 90\%$ , como é esperado de um comportamento probabilístico, característico de indivíduos T1, a média de doadores  $\bar{\mu}_p$  é tão maior quanto maior é o valor de  $\mathbf{p}$ . Em outras palavras, em uma rede composta totalmente por indivíduos T1, a média de doadores teórica ao final da simulação converge para o valor da probabilidade  $\mathbf{q}$ , sendo essa a probabilidade que um indivíduo desse tipo realiza uma boa ação. Essa ideia é reforçada analisando a Tabela 4.1, mais especificamente o desvio-padrão  $\sigma_p$ , que tende a ser inversamente proporcional ao aumento da probabilidade  $\mathbf{p}$ .

Ao lembrar que indivíduos T1 são aqueles que doam independentemente da opinião dos demais, fica claro que o número de doadores ao final fica diretamente atrelado ao valor da probabilidade  $\mathbf{q}$ , que nesse caso foi mantido em 50%.

Analogamente, para uma rede com probabilidade  $\mathbf{q}$  baixa (10%), ilustrada pela curva azul da Figura 4.1, uma presença forte de indivíduos T1 ( $\mathbf{p}$  alto) se torna um problema para o sucesso da rede.

Esses resultados são interessantes, pois podem ser levantadas algumas questões bastante significativas sobre a dinâmica da rede e da temática da solidariedade que a cerca. A primeira questão é de que uma sociedade majoritariamente composta por indivíduos T1 talvez não seja a mais efetiva para dispersar o auxílio solidário a quem precisa; logo, a presença de indivíduos T2, ainda que pratiquem ações filantrópicas apenas por ego, fama ou visando alguma notoriedade, é benéfica para a entidade que recebe essas ações, pois isso corresponde a um maior número de doadores, na média ( $\bar{\mu}_p$ ). Em um paralelo próximo à realidade, em um cenário de calamidade, aqueles que divulgam suas ações solidárias podem difundir atenção à mesma causa, para que indivíduos que também busquem reconhecimento tomem as mesmas ações.

Outra questão a ser apontada é de que a maior probabilidade de indivíduos T1 torna o padrão comportamental da rede mais uniforme, visto que o desvio-padrão  $\sigma_p$ , destacado na terceira coluna da Tabela 4.1, é tão menor quanto maior é a probabilidade  $\mathbf{p}$ . Logo, para uma mesma probabilidade  $\mathbf{q}$ , se torna mais previsível o comportamento de toda a população que adota postura característica de T1, visto que é puramente probabilista.

Por fim, analisando uma rede com baixa probabilidade de indivíduos solidários praticarem uma boa ação ( $\mathbf{q}$  baixo), conclui-se que é mais benéfico para a população, em termos de média de doadores, que haja um menor número de indivíduos T1. Em outras palavras, se  $\mathbf{q}$  é baixo, é melhor que  $\mathbf{p}$  também seja. Dessa forma, pode-se concluir que um menor número de indivíduos, ou organizações, pode influenciar uma maior parcela da população a exercer caridade. Esse resultado é corroborado pelo CCP ser forte e negativo nessa situação.



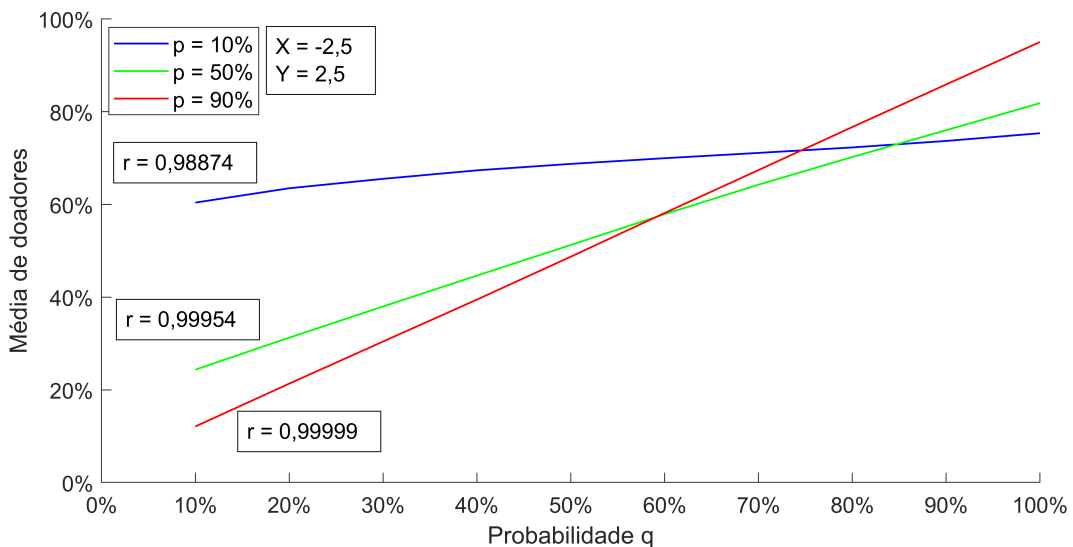
### 4.1.2 Variação da probabilidade $q$

Para o segundo caso analisado, varia-se a probabilidade  $q$ , começando em 10% e variando, com passo de 10%, até 100%. Para tanto, as recompensas  $X$  e  $Y$  foram mantidas constantes em  $-2,5$  e  $2,5$ , respectivamente. A Figura 4.2 ilustra a dependência da probabilidade  $q$  em função de três valores de probabilidade  $p$ , a saber: a curva azul para  $p = 10\%$ , a verde para  $p = 50\%$  e a vermelha para  $p = 90\%$ . A Tabela 4.2 relaciona a média de doadores ao respectivo desvio-padrão para cada  $q$ , considerando  $p = 50\%$ .

Pela análise das curvas e do CCP obtido para cada valor de  $p$ , verifica-se uma correlação muito forte entre a média de doadores e a variação da probabilidade  $q$ . Os valores de CCP se mantiveram entre 0,98 a 1, todos com sentido positivo, obtendo o maior valor para  $p$  alto (90%), como esperado pelo comportamento probabilista de T1.

Ainda que os valores de CCP obtidos na Figura 4.1 sejam muito altos e próximos de 1, a Figura 4.2 ilustra que a dependência da média de doadores  $\bar{\mu}_q$  em função de  $q$  é ligeiramente maior que aquela observada em função de  $p$ . Esse resultado é coerente, visto que a probabilidade  $q$  pretende simular uma situação real (e uma limitação material) para a benevolência intrínseca de indivíduos T1.

Figura 4.2. Média de doadores em função da variação de  $q$



Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Quanto maiores forem os recursos materiais de T1, maior será a chance de ser realizada uma boa ação, visto que não ponderariam esforços para tal. Por “recursos materiais”, não somente se enquadram recursos financeiros, mas também as chances de encontro desse indivíduo com uma causa ou alguém precisando de ajuda imaterial. Valida-

se, portanto, que a probabilidade  $\mathbf{q}$  seja uma expectativa de testemunhar uma boa ação em uma rede.

Tomando como base uma rede ideal, sumariamente composta por indivíduos solidários (T1), isto é,  $\mathbf{p} \approx 100\%$ , conjectura-se que a média de doadores tende a 100% quando sua disposição de doar for suficientemente alta ( $\mathbf{q} \approx 100\%$ ). No entanto, por ser uma hipótese ideal para o sucesso da rede, essa pode não ser uma boa aproximação de uma situação real. Essa ideia é corroborada pelos resultados compilados na Tabela 4.2, em que o desvio-padrão  $\sigma_q$ , aqui tratado como um erro estatístico na média final de doadores, aumenta conforme  $\mathbf{q}$  tende a 100%.

Tabela 4.2. Dados em função da variação de  $\mathbf{q}$  para  $\mathbf{p} = 50\%$

Probabilidade $\mathbf{q}$ (%)	Média de doadores $[\bar{\mu}_q]$ (%)	Desvio-padrão $[\sigma_q]$ (%)
10	24	1,8
20	31	1,7
30	38	1,8
40	45	1,9
50	51	2,0
60	58	2,0
70	64	2,1
80	70	2,2
90	76	2,2
100	82	2,7

Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Para tanto, em situações reais, pode-se considerar um  $\mathbf{p}$  baixo, como ilustrado pela curva azul da Figura 4.2, em que uma população seria composta por uma minoria verdadeiramente solidária. Nesse caso, pode-se afirmar que a rede se torna menos dependente de eventos aleatórios e o comportamento determinista é mais presente, pois uma maior parcela da população é composta por T2. Esse resultado é bastante interessante, pois é contraintuitivo. Denota-se, portanto, que uma rede mais próspera não é aquela com maior número de indivíduos solidários, mas aquela composta por uma maioria que pratica caridade visando reconhecimento próprio. Evidentemente, essa conclusão é válida para os valores de recompensas usados nas simulações relatadas.

Analogamente ao exposto na seção 4.1.1, em que um  $\mathbf{p}$  alto só é benéfico frente a

um  $\mathbf{q}$  alto, na presente análise verifica-se que a probabilidade  $\mathbf{q}$  baixa pode ser suficiente para que a rede apresente mais da metade da população exercendo caridade, desde que a população T1 seja minoria. Conseqüentemente, reitera-se que as ações de uma minoria T1, regidas por  $\mathbf{q}$ , são de suma importância e suficientes para que uma maioria de jogadores T2 se sintam pressionados a agir de maneira solidária. Novamente, constata-se que  $\mathbf{p}$  baixo é benéfico, desde que  $\mathbf{q}$  também seja.

Considerando situações reais, enquanto algumas pessoas ou instituições tomam boas ações exclusivamente pelo espírito altruísta, outras as fazem justamente por detectarem esse movimento solidário à sua volta e, ou se sentem pressionados socialmente, ou desejam aproveitar o momento para fazer sua parte visando a recompensa que receberão.

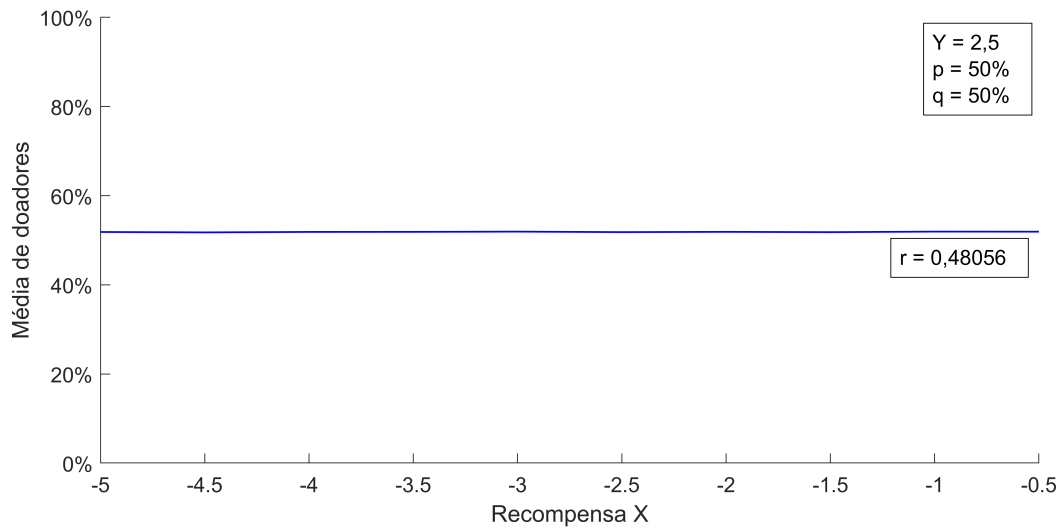
De uma forma ou de outra, o resultado é melhor para quem está recebendo a ajuda, pois há um maior número de indivíduos sensibilizados a praticar ações caridosas. É uma premissa que vale o debate para definir até que ponto a presença de indivíduos “desonestamente” solidários são necessários em um meio social desigual.

### 4.1.3 Variação das recompensas $\mathbf{X}$ e $\mathbf{Y}$

As recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  são avaliadas concomitantemente, visto que ambas são variáveis atreladas ao resultado de um indivíduo praticar, ou não, uma ação caridosa. Para tanto, são mantidas constantes as probabilidades  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q}$  em 50%. Para  $\mathbf{X}$ , o seu valor varia de  $-5$  a  $-0,5$ , com passos de  $0,5$ , enquanto que  $\mathbf{Y}$  inicia em  $0,5$  e atinge um valor máximo de  $5$ , com o mesmo passo de  $0,5$ . Nesses casos, ambas as probabilidades  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q}$  foram mantidas constantes em 50%.

A Figura 4.3 ilustra a curva da média do número de doadores em função da variação de  $\mathbf{X}$ , enquanto que a Tabela 4.3 relaciona a média de doadores ao respectivo desvio padrão para cada valor dessa recompensa. Por sua vez, a Figura 4.4 ilustra a curva correspondente à variação da recompensa  $\mathbf{Y}$ , e a Tabela 4.4 relaciona os resultados para essa situação.

Analisando as curvas resultantes, ilustradas nas Figuras 4.3 e 4.4, o CCP obtido em ambos os casos foi fraco. No caso da variação da recompensa  $\mathbf{X}$ , o coeficiente  $r$  obtido foi de aproximadamente  $0,48$  com sentido positivo, enquanto que para variação da recompensa  $\mathbf{Y}$ ,  $r \approx 0,40$  com sentido negativo. Pelos resultados compilados nas Tabelas 4.3 e 4.4, percebe-se que as médias  $\bar{\mu}_X$  e  $\bar{\mu}_Y$  se mantiveram constantes em 52% e 51%, respectivamente. O desvio-padrão de cada caso ficou em torno de 2% durante toda a simulação. Analisando as tabelas, o CCP obtido deveria ser nulo, uma vez que os valores para média de doadores não oscilaram. A explicação para os coeficientes obtidos nas curvas das Figuras 4.3 e 4.4 se dá nas flutuações de casas decimais presentes nos resultados.

Figura 4.3. Média de doadores em função da variação de  $\mathbf{X}$ 

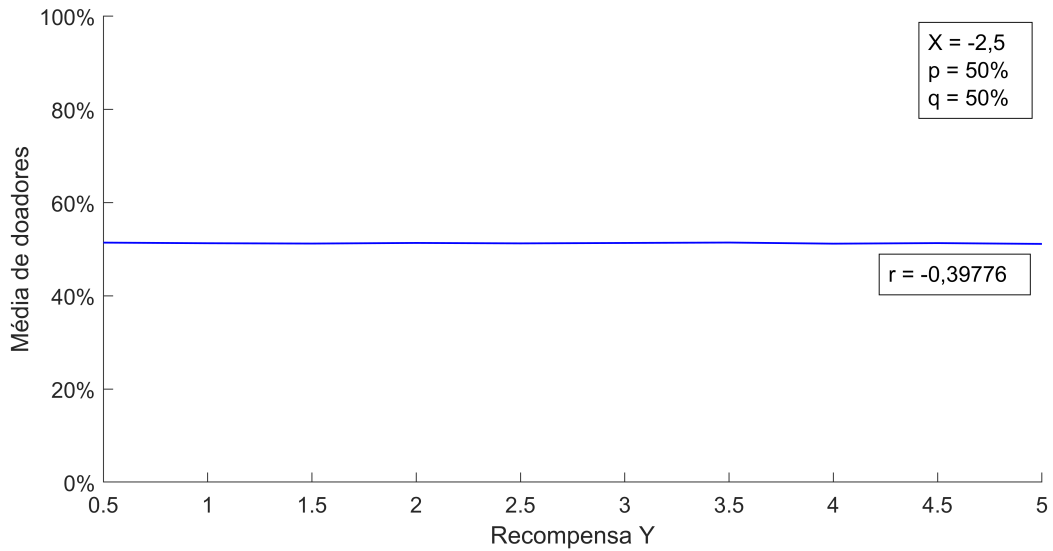
Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Tabela 4.3. Dados em função da variação de  $\mathbf{X}$  para  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q} = 50\%$ 

Recompensa $\mathbf{X}$	Média de doadores $[\bar{\mu}_X]$ (%)	Desvio-padrão $[\sigma_X]$ (%)
-5	52	2,1
-4,5	52	2,2
-4	52	2,1
-3,5	52	2,1
-3	52	2,1
-2,5	52	2,1
-2	52	2,1
-1,5	52	2,1
-1	52	2,1
-0,5	52	2,1

Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Como exposto na seção 3.2, a recompensa  $\mathbf{X}$  é característica de indivíduos T1 quando eles não praticam uma boa ação, isto é, jogam **ND** com probabilidade  $1 - \mathbf{q}$ . Ainda,  $\mathbf{X} = \mathbf{S}$ , recompensa dada a jogadores T2 quando, por sua vez, jogam **ND** e o jogador adjacente, seu vizinho, escolhe **D**. Verifica-se, portanto, que  $\mathbf{X}$ , para T2, se mostra como uma punição por um comportamento socialmente inadequado. Já para T1, revela ser um sentimento negativo intrínseco por não ter agido de maneira solidária.

Figura 4.4. Média de doadores em função da variação de  $\mathbf{Y}$ 

Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Tabela 4.4. Dados em função da variação de  $\mathbf{Y}$  para  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q} = 50\%$ 

Recompensa $\mathbf{X}$	Média de doadores $[\bar{\mu}_Y]$ (%)	Desvio-padrão $[\sigma_Y]$ (%)
0,5	51	2,0
1	51	2,0
1,5	51	2,0
2	51	2,0
2,5	51	2,0
3	51	1,9
3,5	51	2,0
4	51	2,0
4,5	51	2,0
5	51	2,0

Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Se valendo do mesmo preceito supracitado, a recompensa  $\mathbf{Y}$  é a recompensa garantida para T1 quando ele joga  $\mathbf{D}$ , com probabilidade  $\mathbf{q}$ . Esse mesmo valor é atribuído a T2 quando ele e seu vizinho escolhem  $\mathbf{D}$  no mesmo passo de tempo. Os resultados mostram que a variação das recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  não afetam a média de doadores de maneira significativa. Algumas considerações acerca dessa conclusão podem ser feitas.

A primeira consideração que se depreende desse resultado se baseia na dinâmica da rede explorada na seção 3.2. Como já ressaltado, o comportamento de indivíduos T1 é probabilista e de T2, determinista. Sendo assim, T1 age sem visar as recompensas que obterá a partir de suas escolhas. Para ele, receber  $\mathbf{X}$  ou  $\mathbf{Y}$  não é empecilho nem motivação para direcionar sua ação no passo de tempo seguinte. De maneira análoga, a recompensa  $\mathbf{Y}$ , para T2, não é atrativa, uma vez que sua maior ambição é a recompensa  $\mathbf{T}$ , quando ele pratica uma boa ação e, seu vizinho, não. A recompensa  $\mathbf{Y}$  figura, portanto, como um prêmio de consolação para T2, não impactando na média de doadores caso esse prêmio seja maior ou menor, pois ainda será menor que  $\mathbf{T}$ . Ademais,  $\mathbf{X}$  é algo a ser evitado em qualquer situação, pois em todas as hipóteses estudadas até aqui é sempre a pior recompensa.

A partir dessa consideração, entende-se que a variação da recompensa  $\mathbf{Y}$  não mostrou influência no total de doadores da rede, mesmo que as ações de T2 sejam movidas pela contabilização das recompensas dos vizinhos à sua volta, na supracitada estratégia *copycat* adotada para este trabalho. O fato de  $\mathbf{Y}$ , mesmo em seu valor máximo, não ter impactado na dinâmica da rede, pode denotar que os indivíduos T2 não se contentam com esse tipo de recompensa, pois ainda que seja maior que as recompensas  $\mathbf{P}$  e  $\mathbf{S}$ , ainda é menor que a recompensa  $\mathbf{T}$ , a qual ele certamente visa. O complicador para T2, na rede e na estratégia consideradas, está no fato de que suas recompensas dependem de quantos vizinhos na sua vizinhança de Moore também doaram, o que torna relativamente rara a ocorrência de uma recompensa  $\mathbf{T}$  após curto intervalo de tempo, pois as ações caridosas se tornam um comportamento tendencioso na rede. Essa tendência é benéfica para quem recebe as ações e corrobora, no presente contexto, para o sucesso da rede.

Dessa forma, reitera-se a característica gananciosa do jogador T2, ao passo de não alterar suas ações mesmo com um incentivo da rede de aumentar suas recompensas ao doar, caso o jogador vizinho também doe. Para ele, o ideal é ser o único condecorado com o reconhecimento de ser solidário, mesmo que uma boa recompensa lhe seja oferecida por tomar uma ação caridosa para com o próximo.

## 4.2 Análise bivariada

De posse dos dados e do CCP para cada caso de estudo discutido, faz-se oportuna a análise gráfica de como a média de doadores é afetada variando, concomitantemente, dois parâmetros. Esse tipo de análise pode evidenciar se há alguma disparidade nos resultados expostos nas tabelas, bem como corroborar as discussões de cada caso.

Assim, foram gerados cinco gráficos tridimensionais do número de doadores: em função da probabilidade  $\mathbf{p}$  e de cada recompensa, da probabilidade  $\mathbf{q}$  e de cada recompensa, e, por último, das probabilidades  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q}$ . Os parâmetros não variados em cada caso foram fixados em seus valores intermediários, de maneira semelhante ao que foi realizado nas seções anteriores, a saber:  $\mathbf{p} = 50\%$ ,  $\mathbf{q} = 50\%$ ,  $\mathbf{X} = -2,5$  e  $\mathbf{Y} = 2,5$ .

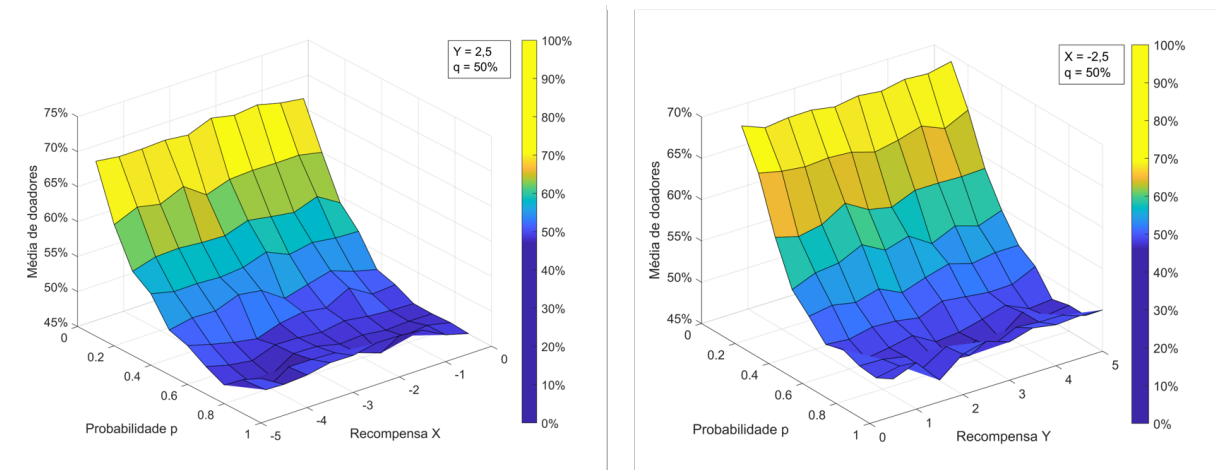
Em síntese e retomando o que foi discutido nas seções de 4.1.1 a 4.1.3, variando isoladamente cada parâmetro, a probabilidade  $\mathbf{q}$  apresentou a mais forte correlação entre as observadas, seguida pela probabilidade  $\mathbf{p}$ . As recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  não apresentaram correlação significativa entre suas variações e a média de doadores ao final da simulação.

Espera-se, portanto, que o gráfico da variação concomitante das probabilidades  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q}$  revele alguma informação útil para o presente estudo.

#### 4.2.1 Variação da probabilidade $\mathbf{p}$ e das recompensas $\mathbf{X}$ e $\mathbf{Y}$

A Figura 4.5 ilustra a variação da média de doadores em dois gráficos. À esquerda, em função da variação da probabilidade  $\mathbf{p}$  e da recompensa  $\mathbf{X}$  e, à direita, em função de  $\mathbf{p}$  e da recompensa  $\mathbf{Y}$ .

Figura 4.5. Média de doadores em função de  $\mathbf{p}$  e das recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$



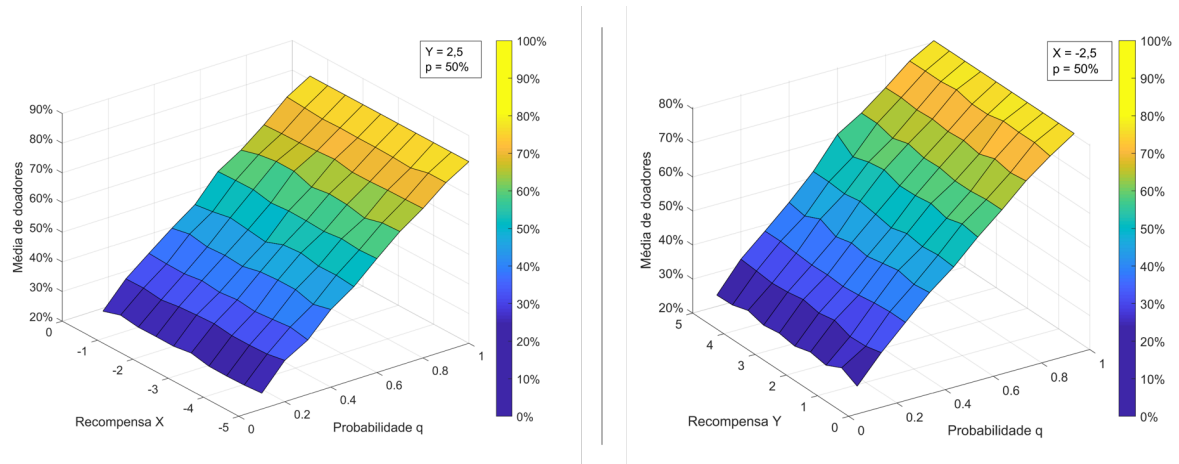
Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

A variação das recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  não apresentaram impacto significativo na média de doadores, assim como ilustrado nas Figuras 4.3 e 4.4. Nos dois casos da Figura 4.5, percebe-se um aumento no número de doadores inversamente proporcional ao aumento da probabilidade  $\mathbf{p}$ , para  $\mathbf{q}$  fixo em 50%. Esse resultado é esperado, frente ao CCP obtido de aproximadamente 0,88 com sentido negativo, ilustrado na Figura 4.1.

## 4.2.2 Variação da probabilidade $q$ e das recompensas $X$ e $Y$

De maneira análoga ao exposto na seção 4.2.1, a Figura 4.6 ilustra a variação da média de doadores em dois gráficos. À esquerda, em função da variação da probabilidade  $q$  e da recompensa  $X$  e, à direita, em função de  $q$  e da recompensa  $Y$ .

Figura 4.6. Média de doadores em função de  $q$  e das recompensas  $X$  e  $Y$



Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Novamente, observa-se que a variação das recompensas não impacta de maneira significativa o número de doadores ao final da simulação. Para a probabilidade  $p = 50\%$ , a média de indivíduos que praticam caridade é diretamente proporcional à probabilidade  $q$ , como esperado pelos resultados obtidos na seção 4.1.2. De acordo com o coeficiente calculado e seu sentido positivo, ilustrado na Figura 4.2, a correlação observada é praticamente absoluta, constatando um comportamento linear entre a variação de  $q$  e a média de doadores, se assemelhando a uma função de primeiro grau. Observa-se, portanto, uma superfície mais lisa do que aquela ilustrada pela Figura 4.5, quando da variação de  $p$ .

## 4.2.3 Variação das probabilidades $p$ e $q$

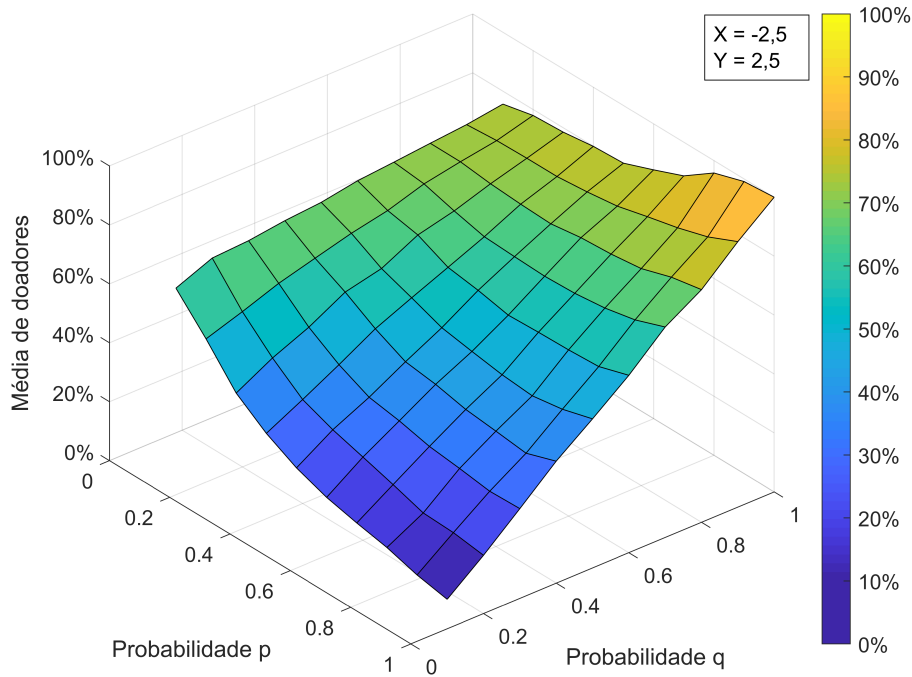
Por fim, a Figura 4.7 pretende elucidar graficamente como as probabilidades  $p$  e  $q$  interagem entre si.

Uma vez que foi excluída da análise a variação das recompensas  $X$  e  $Y$ , que não apresentaram correlação significativa com a média de doadores, foi possível observar um comportamento interessante da população nas extremidades da superfície, conforme ilustrado na Figura 4.7. Nota-se uma relativa uniformidade no número de doadores, mesmo com  $q$  variando, quando a probabilidade  $p$ , de existir indivíduos T1, é baixa; a mesma



uniformidade se mostra presente na variação de  $p$ , quando é alta a probabilidade  $q$ , isto é, a chance de indivíduos T1 praticarem uma boa ação. Essa análise abre espaço para duas deduções que fazem paralelo com a realidade, descritas a seguir.

Figura 4.7. Média de doadores em função de  $p$  e  $q$



Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Em um primeiro momento, analisando  $p$  baixo e  $q$  variando, pode-se entender que uma população que tenha relativamente poucos indivíduos T1 já é suficiente para promover um grande movimento de doadores na rede, mesmo que com a mínima probabilidade de praticarem uma boa ação, que neste trabalho iniciou em  $q = 10\%$ . Logo, uma população majoritariamente egoísta ou “solidariamente desonesta” se mostra curiosamente efetiva para praticar boas ações e ajudar em causas sociais, mesmo que não seja pelo puro sentimento de empatia.

Essa efetividade vale também para situações em que a probabilidade  $q$  de indivíduos T1 doarem seja alta, mesmo que  $p$  varie. Pode-se inferir que, a partir dessa constatação, uma população em que indivíduos naturalmente solidários tenham muito anseio por ajudar o próximo ( $q$  alto) é suficiente para elevar o número médio de doadores a uma quantidade significativa. Nessa condição, a variação da probabilidade  $p$  não tem o mesmo impacto observado quando  $q$  é baixo.

Em ambos os cenários, entende-se que somente a presença de mais ou menos indivíduos T2 na rede não é definitiva para definir uma sociedade como favorável a quem precisa de ajuda ou não, pois depende da visibilidade e da probabilidade de indivíduos T1 praticarem uma boa ação para sensibilizar seus vizinhos, seja pelo motivo genuinamente solidário ou não. Analogamente, a probabilidade de indivíduos T1 doarem não é definitiva, por si só, para inferir que a rede seja solidária. É necessário, portanto, que haja uma razoável concentração de indivíduos T2, influenciáveis que são, para que haja um satisfatório número de doadores para o sucesso da rede.

Essas são as possíveis interpretações para as duas situações ilustradas pela Figura 4.7, podendo servir de ponto de partida para outras análises em um escopo futuro, aplicadas às mais diversas situações.

### 4.3 Expressão analítica

Conforme analisado nas seções anteriores, assume-se que as recompensas  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  podem ser descartadas para o desenvolvimento de uma expressão analítica para a média de doadores  $\bar{\mu}$  ao final da simulação. Para tanto, essa média pode ser escrita em termos das probabilidades  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q}$  (Rocha e Monteiro, 2023), como sugere a equação (4.1).

$$\bar{\mu}(p, q) \approx pq + (1 - p)pqH(p, q) \quad (4.1)$$

Nessa expressão, o primeiro termo, representado por  $pq$ , corresponde à média percentual de indivíduos T1 que praticam caridade, isto é, jogam  $\mathbf{D}$ ; já o segundo termo, dado por  $(1 - p)pqH(p, q)$ , é uma aproximação para a média de indivíduos T2 que também escolhem fazer uma boa ação. Como já explicado, a probabilidade  $p$  é a chance de um indivíduo ser sorteado como T1, enquanto que seu complementar, dado por  $(1 - p)$ , é a chance de um integrante da rede ser T2. Portanto, a probabilidade de um indivíduo T2 escolher  $\mathbf{D}$  é  $pqH(p, q)$ , evidenciando que essa probabilidade é nula para  $p = 0$  ou  $q = 0$ . Ainda, a função de ajuste  $H(p, q)$  é descrita como:

$$H(p, q) = \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \alpha_{ij} p^i q^j \quad (4.2)$$

sendo que as constantes  $i$  e  $j$  determinam a ordem da função polinomial e  $\alpha_{ij}$  são os coeficientes do polinômio. Os coeficientes podem ser calculados pelo método dos mínimos quadrados, conforme exposto na seção 3.4.

Para avaliar a função de ajuste proposta em (4.2), tomou-se  $I = 2$  e  $J = 1$ . A partir dos resultados apresentados na seção 4.1.1, mais especificamente nas curvas da Figura 4.1, o método dos mínimos quadrados resulta na expressão polinomial dada por:

$$H(p, q) = 60 - 51q - 136p + 66pq + 76p^2 \quad (4.3)$$

Dessa forma, tomando o caso em que as probabilidades  $\mathbf{p} = 50\%$  e  $\mathbf{q} = 50\%$ , a partir da equação (4.3), tem-se  $H(0, 5; 0, 5) = 2$ . De posse desse resultado, retornando à equação (4.1), a média de doadores  $\bar{\mu}(0, 5; 0, 5) \approx 0,50$ , o que é bastante próximo dos resultados obtidos na simulação promovida, na qual a média foi de 51%.

## 4.4 Caso particular

Um caso particular para o presente modelo chama atenção ao ser analisado. O que aconteceria caso a condição que indivíduos T2 mais almejam perca a relevância? Em outras palavras, e se a recompensa  $\mathbf{T}$  não for a maior possível na dinâmica proposta?

Foi verificado, nos resultados discutidos na seção 4.1.3, que a variação da recompensa  $\mathbf{Y}$  não impacta de maneira significativa na média de doadores ao final da simulação, apresentando uma correlação fraca. Discutiu-se, então, que  $\mathbf{Y}$  é irrelevante para indivíduos T1 e é desinteressante para indivíduos T2, pois não passa de um mera obrigação social, em vez de um verdadeiro prêmio, representado pela recompensa  $\mathbf{T}$ .

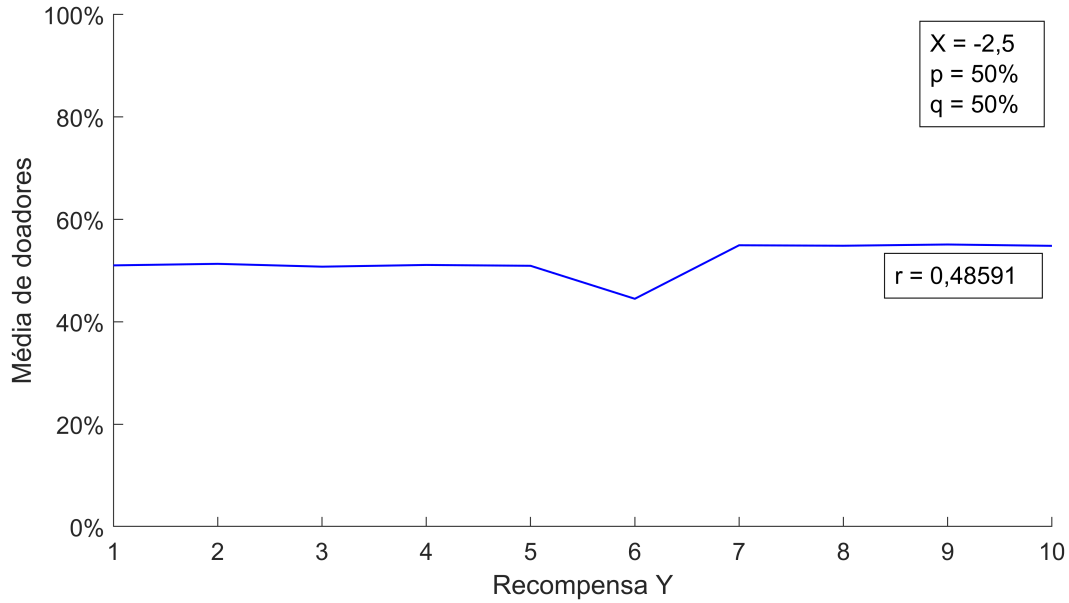
A variação desse parâmetro proposta na seção 3.2, isto é, de 0,5 a 5, não aborda a hipótese em que  $\mathbf{Y}$  se iguala ou até ultrapassa a importância da recompensa  $\mathbf{T}$  para indivíduos T2. A presente análise visa identificar se existe algum benefício ou malefício não identificados nos casos discutidos até aqui.

A recompensa  $\mathbf{Y}$  para o caso em questão é agora variada de 1 a 10, com passo unitário. A Figura 4.8 ilustra a curva resultante da média de doadores em função do novo intervalo de  $\mathbf{Y}$ . Por sua vez, a Tabela 4.5 relaciona os valores da média  $\bar{\mu}'_{\mathbf{Y}}$  e do seu respectivo desvio-padrão  $\sigma'_{\mathbf{Y}}$  em cada caso. Tanto na Figura 4.8 quanto na Tabela 4.5, a recompensa  $\mathbf{X}$  foi mantida em  $-2,5$  e as probabilidades  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q}$  foram fixadas em 50%.

Observando os resultados, percebe-se que quando  $\mathbf{Y} = \mathbf{T}$  há um decréscimo na média de doadores. A justificativa por trás desse comportamento pode estar atrelada ao desinteresse despertado em indivíduos T2 em praticar boas ações, visto que não existe mais a possibilidade de receber uma recompensa maior que  $\mathbf{Y}$  nessa hipótese. Se jogadores T2 já não possuem o incentivo de saírem melhores que seus vizinhos, a solidariedade acaba por ser suprimida. Isso se verifica na natureza egoísta de T2, apenas praticando boas

ações visando algum prêmio.

Figura 4.8. Média de doadores em função da variação de  $\mathbf{Y}$  (caso particular)



Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Tabela 4.5. Dados em função da variação de  $\mathbf{Y}$  para  $\mathbf{p}$  e  $\mathbf{q} = 50\%$  (caso particular)

Recompensa $\mathbf{Y}$	Média de doadores $[\bar{\mu}'_{\mathbf{Y}}]$ (%)	Desvio-padrão $[\sigma'_{\mathbf{Y}}]$ (%)
1	51	2,3
2	51	2,3
3	51	2,2
4	51	2,3
5	51	2,2
6	44	2,1
7	55	2,6
8	55	2,5
9	55	2,8
10	55	2,7

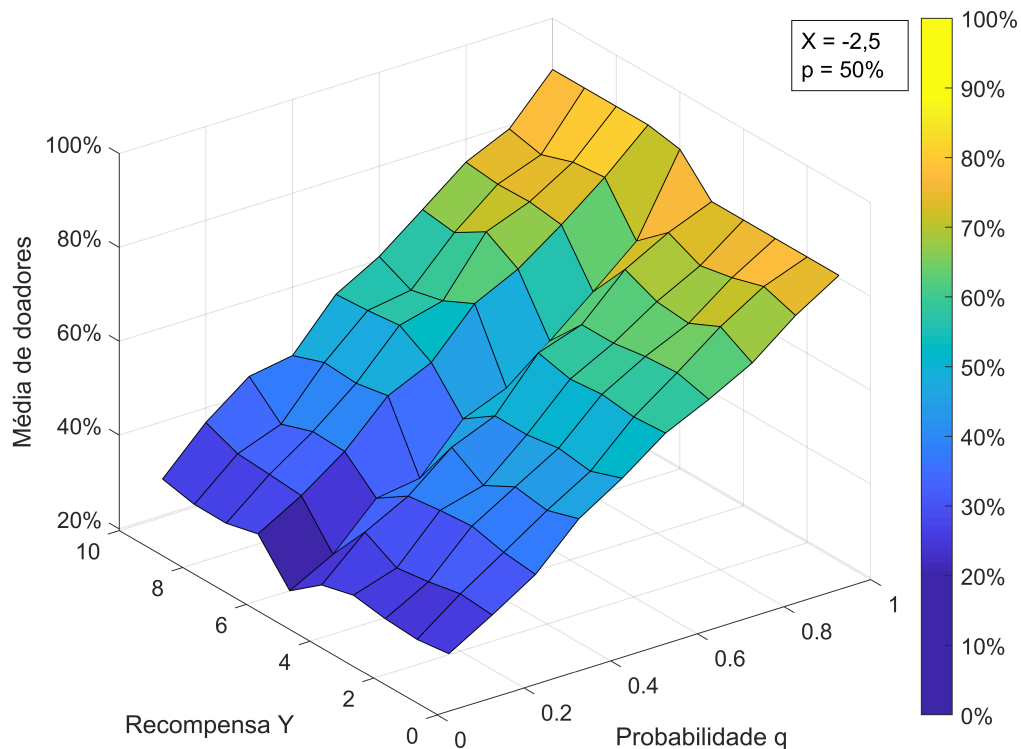
Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Até o momento, foi constatado na seção 4.1.3 que a média de doadores  $\bar{\mu}'_{\mathbf{Y}}$  não é alterada de maneira significativa por  $\mathbf{Y}$  quando menor que  $\mathbf{T}$ . Aqui, observou-se uma diminuição em  $\bar{\mu}'_{\mathbf{Y}}$  de 51 para 44% quando  $\mathbf{Y} = \mathbf{T}$ , conforme relatado na Tabela 4.5.

Outro ponto interessante pode ser observado quando  $Y > T$ . Nesse caso, a média de doadores foi maior que aquela observada no início da simulação, atingindo 55%. Assim como ilustrado na Figura 4.8, mesmo com essa alteração, o CCP se manteve coerente com os resultados obtidos anteriormente, equivalendo a cerca de 0,49, estando no limiar de uma correlação fraca para média, no contexto do presente trabalho.

É importante lembrar, porém, que os resultados contidos na curva e na tabela expostas são para uma rede em que cerca de metade da população é T2 ( $p = 50\%$ ). Não obstante, a probabilidade  $q$  de indivíduos T1 escolherem  $D$ , e instigarem seus vizinhos a tomarem a mesma atitude, é de 50%. A fim de ser possível analisar como  $Y$  age frente a diferentes valores de  $p$  e de  $q$ , pode-se valer dos gráficos tridimensionais já empregados na seção 4.2. Dessa forma, as Figuras 4.9 e 4.10 ilustram a média de doadores em função não somente da recompensa  $Y$ , mas concomitante à variação de  $p$  e de  $q$ .

Figura 4.9. Média de doadores em função da variação de  $Y$  e  $q$  (caso particular)



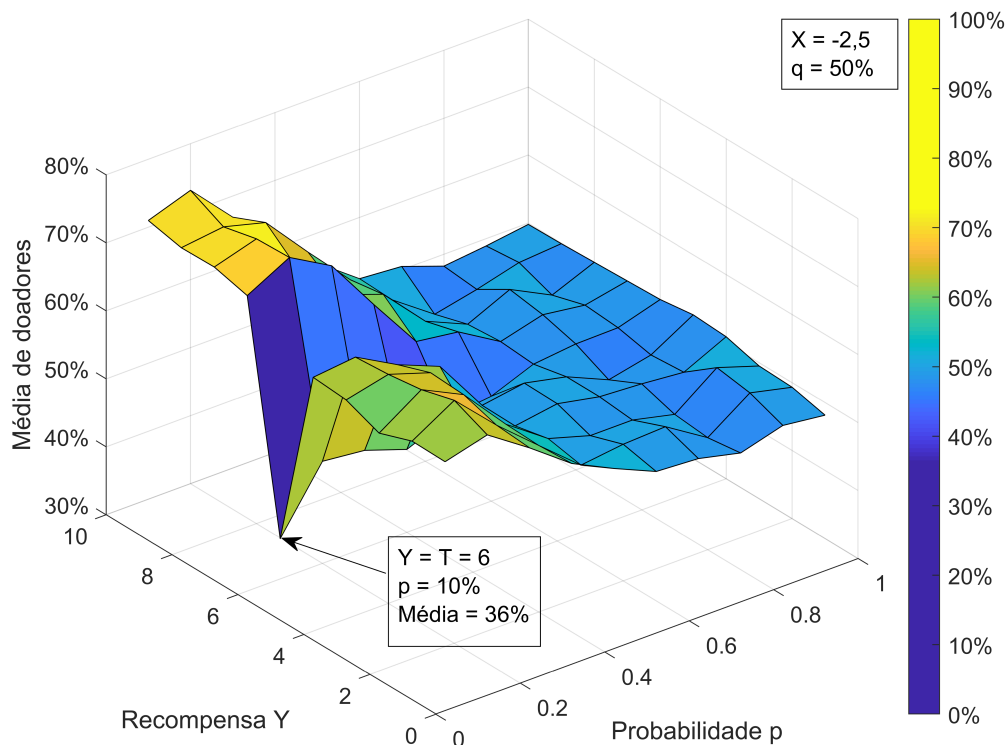
Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

De acordo com a Figura 4.9, uma vez que a probabilidade  $q$  apresentou a mais forte correlação entre as hipóteses, com sentido positivo e CCP maior que 0,98 em todos os casos apresentados (Figura 4.2), confirma-se que o gráfico resultante da variação de  $Y$

e  $q$  apresenta um comportamento linear para valores de  $Y$  diferentes de  $T$ .

O maior impacto de  $Y$ , no intervalo considerado no presente caso particular, aparece quando se analisa sua variação em conjunto com a variação da probabilidade  $p$ . Conforme ilustra a Figura 4.10, observa-se uma queda substancial na média de doadores para  $Y = T$  e  $p = 10\%$ , ponto destacado pela flecha.

Figura 4.10. Média de doadores em função da variação de  $Y$  e  $p$  (caso particular)



Fonte: Resultados originais da pesquisa (2023)

Considerando  $q$  fixo em 50%, é esperado que uma probabilidade  $p$  baixa seja mais benéfica, visto que uma minoria verdadeiramente solidária ( $T_1$ ) possa influenciar uma grande população  $T_2$  e colaborar para o aumento da média de doadores. Isso se verifica pelo CCP forte de cerca de 0,88 e sentido negativo com o aumento de  $p$ , ilustrado na Figura 4.1.

Como melhor visualizado na Figura 4.10, a situação em que  $p$  é baixo significa uma grande maioria de indivíduos  $T_2$  na rede, portanto, quando  $Y = T$ , há uma queda expressiva no número de doadores, atingindo cerca de 36% da população. Pode-se inferir, então, que a rede se torna mais vulnerável ao desinteresse de  $T_2$  em praticar uma boa ação. Em um cenário otimista, em que a hipótese de  $Y$  ser maior que  $T$  seja aceita

pela população T2, um resultado positivo aparece: a média de doadores atinge patamares maiores, se mantendo entre 70 e 75% da população. Um paralelo com a realidade poderia ser traçado frente a esse resultado e é explicado a seguir.

De acordo com as regras definidas no capítulo 3, os integrantes da rede são imutáveis e, após serem sorteados como determinado tipo, assim permanecem até o final da simulação. No jogo aqui proposto, os indivíduos não têm a possibilidade de mudarem seu comportamento por influência externa ou convicções pessoais. Considerando o anseio de indivíduos T2 por um maior prestígio e reconhecimento em detrimento de seus vizinhos, é evidente que a recompensa **Y** não seja a mais interessante. Ao mesmo tempo, caso **Y** seja maior que **T**, a lógica proposta seria ferida, forçando que T2 aceite compartilhar os louros do reconhecimento com seu vizinho. No entanto, em uma sociedade sumariamente egoísta (**p** baixo), seria benéfico e ético, portanto, forçar competições em prol da caridade? Dessa forma, os competidores já teriam realizado a caridade, antes de saber quem seria o vencedor agraciado com recompensas **Y** ou **T**. Nesse contexto e considerando que os jogadores são racionais, participar certamente é melhor que não participar; em outras palavras, é melhor que receber **P** ou correr o risco de receber **X**.

Por fim, ainda se valendo da Figura 4.10, percebe-se que para  $p \geq 70\%$ , a variação de **Y** não gera impacto significativo na média de doadores, nem sendo maior ou igual a **T**. Isso reitera o comportamento probabilista da rede, em evidência quando a maioria da população é T1.

## 5 CONCLUSÃO E ESCOPO FUTURO

No presente trabalho, foi proposto um modelo de rede de solidariedade baseado em teoria de jogos. A partir da descrição do modelo no capítulo 3 e dos resultados apresentados e discutidos no capítulo 4, pôde-se verificar que o trabalho traça um padrão comportamental em uma rede composta tanto por indivíduos solidários (T1) quanto interesseiros (T2). A metodologia proposta foi capaz de simular a dinâmica entre um comportamento probabilista e um determinista.

Os principais resultados obtidos no presente trabalho são:

- Quanto maior a chance de um indivíduo solidário praticar caridade, maior é a média de doadores presentes na rede;
- Uma sociedade composta exclusivamente por indivíduos verdadeiramente solidários não é a melhor estratégia para o bem-estar coletivo, pois uma ação solidária tem menos impacto social caso ninguém se interesse pelo reconhecimento obtido por meio da caridade;
- Em tempos de crise econômica ou calamidade pública, indivíduos solidários que agem apenas por convicção pessoal podem não promover ações efetivas, pois a probabilidade de praticar caridade pode ser baixa;
- Caso a probabilidade de um indivíduo solidário praticar caridade for baixa, por qualquer razão, é benéfico que a maioria dos integrantes da rede haja por interesse em recompensas;
- Se uma maioria interesseira testemunha ações caridosas de poucos indivíduos solidários, essa situação é suficiente para que mais da metade da população pratique caridade;
- A presença de indivíduos que praticam caridade visando reconhecimento social pode alavancar recursos para determinada causa, na medida em que outros indivíduos que buscam reconhecimento se sintam pressionados a agir da mesma forma;
- Se torna indiferente aumentar ou diminuir a recompensa de um indivíduo que pratica caridade, seja ele solidário ou interesseiro, quando uma recompensa absolutamente maior está em jogo;
- De maneira análoga, se torna indiferente punir exemplarmente um indivíduo que não tenha agido de acordo com a pressão social a ele imposta;



- Se a maior recompensa possível for concedida a um indivíduo interesseiro quando tanto ele quanto seu vizinho realizarem uma boa ação, espera-se que a média de doadores diminua, pois essa situação não lhe é mais interessante.

Em termos de escopo futuro, podem ser destacadas algumas possibilidades para trabalhos a partir dos resultados aqui descritos, a saber:

- Verificar como a dinâmica do jogo se apresenta quando da participação de um terceiro tipo de indivíduo, com sua própria regra de ações, por exemplo, um híbrido de T1 e T2;
- Simular duas redes interagentes, de modo que um indivíduo de uma dessas redes pratica caridade para com um indivíduo da outra rede, e vice-versa;
- Analisar como a média de doadores se comporta quando indivíduos solidários doam a partir de uma lei temporal;
- Investigar o presente modelo para vizinhanças de Moore com raios maiores que um;
- Implementar redes mundo-pequeno (Oliveira e Monteiro, 2003), aleatória (Szolnoki e Perc, 2009) e livre de escala (Du et al., 2009) ao mesmo jogo proposto neste trabalho;
- Aplicar a dinâmica proposta neste trabalho em um caso prático, a partir de uma coleção de dados real, a fim de validar a expressão analítica apresentada.

Ainda, algumas questões são aqui apresentadas para corroborar a motivação filosófica acerca do tema, inerente à prática da solidariedade. O que é melhor para a sociedade: uma população abastada porém interesseira, ou uma população solidária com poucas chances e recursos de praticar atos benevolentes? A moralidade e a ética perdem espaço para a praticidade em prol de quem tanto necessita de ajuda? Quem recebe a caridade, geralmente, tem possibilidade para refletir se a ação recebida foi honesta? Uma vez que o conceito e referências de caridade já são conhecidos, é necessário que efetivamente existam indivíduos verdadeiramente solidários? Seria ético e moral que a caridade e a filantropia fossem praticadas que não pelo aspecto solidário e, muitas vezes, altruísta?

## REFERÊNCIAS

- ARCA. Histórico. 2022. Disponível em: <https://arcabrasil.org.br/historico/>.
- Akoglu, H. User's guide to correlation coefficients. **Turkish Journal of Emergency Medicine**, v. 18, p. 91–93, 2018.
- Albert, M. Are we nice(r) to nice(r) people?—an experimental analysis. **Experimental Economics**, v. 10, p. 53–69, 2007.
- Aldashev, G.; Navarra, C. Development ngos: basic facts. **Annals of Public and Cooperative Economics**, v. 89, p. 125–155, 2018.
- Arnold, C.; Taborsky, B. Social experience in early ontogeny has lasting effects on social skills in cooperatively breeding cichlids. **Animal Behaviour**, v. 79, p. 621–630, 2010.
- Axelrod, R. More effective choice in the prisoner's dilemma. **Journal of Conflict Resolution**, v. 24, p. 379–403, 1980.
- Balbino, M. L. C. et al. A cultura do cancelamento. **Scientia Generalis**, v. 2, p. 85–85, 2022.
- Balsgaard, A. A. Arms races and war: A game theoretic analysis. 2016. Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/233446/1/phd-182.pdf>.
- Banting, K. G.; Kymlicka, W. **The Strains of Commitment: The Political Sources of Solidarity in Diverse Societies**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2017.
- Barro, R. J.; Ursua, J. F.; Weng, J. Macroeconomics of the great influenza pandemic, 1918–1920. **Research in Economics**, v. 76, p. 21–29, 2022.
- Bartusevičius, H. The inequality–conflict nexus re-examined: Income, education and popular rebellions. **Journal of Peace Research**, v. 51, p. 35–50, 2014.
- Bekkers, R.; Wiepking, P. A literature review of empirical studies of philanthropy: Eight mechanisms that drive charitable giving. **Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly**, v. 40, p. 924–973, 2011.
- Bodea, C.; Houle, C.; Kim, H. Do financial crises increase income inequality? **World Development**, v. 147, 2021.
- Brasileiro, F. S.; Azevedo, J. V. de. Novas práticas de linchamento virtual: fachadas erradas e cancelamento de pessoas na cultura digital. **Revista Latinoamericana de Ciencias de la Comunicación**, v. 19, p. 85–85, 2020.

- Bremner, R. H. **Giving: Charity and Philanthropy in History**. 1. ed. Nova York: Routledge, 1994.
- Buchanan, A. Justice and charity. **Ethics**, v. 97, p. 558–575, 1987.
- Büchner, S.; Coricelli, G.; Greiner, B. Self-centered and other-regarding behavior in the solidarity game. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 62, p. 293–303, 2007.
- Cachon, G. P.; Netessine, S. Game theory in supply chain analysis. In: **Models, Methods, and Applications for Innovative Decision Making**. Catonsville: INFORMS, 2006. cap. 8, p. 200–233.
- Caves, R. E. Game theory, industrial organization, and business strategy. **International Journal of the Economics of Business**, v. 1, p. 11–14, 1994.
- Chakravarty, A. K. Humanitarian response to hurricane disasters: Coordinating flood-risk mitigation with fundraising and relief operations. **Naval Research Logistics (NRL)**, v. 65, p. 275–288, 2018.
- Chen, Y. Internet philanthropy reshapes social connections. In: **Internet Philanthropy in China**. Singapura: Springer, 2021. cap. 11, p. 327–330.
- Churkin, A. et al. Review of cooperative game theory applications in power system expansion planning. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 145, p. 111056, 2021.
- Clark, M. J. The complex but necessary union of charity and justice: Insights from the vincentine tradition for contemporary catholic social teaching. **Vincentine Heritage Journal**, v. 31, p. 25–39, 2012.
- Cooper, R. et al. Cooperation without reputation: Experimental evidence from prisoner's dilemma games. **Games and Economic Behavior**, v. 12, p. 187–218, 1996.
- Davis, A. J. The social and religious meanings of charity in medieval europe. **History Compass**, v. 12, p. 935–950, 2014.
- Du, W. B. et al. Evolutionary games on scale-free networks with a preferential selection mechanism. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 388, p. 4509–4514, 2009.
- Fehr, E.; Fischbacher, U. The nature of human altruism. **Nature**, v. 425, p. 785–791, 2003.
- Garry, S.; Checchi, F. Armed conflict and public health: into the 21st century. **Journal of Public Health**, v. 42, p. e287–e298, 2019.
- Ghaisani, A.; Handayani, P.; Munajat, Q. Users' motivation in sharing information on

social media. **Procedia Computer Science**, v. 124, p. 530–535, 2017.

Ghosh, P. K. et al. Supply chain coordination model for green product with different payment strategies: A game theoretic approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 290, p. 125734, 2021.

Gimpel, H. et al. When does it pay off to integrate sustainability in the business model? – a game-theoretic analysis. **Electron Markets**, v. 30, p. 699–716, 2020.

Godoi, M. S. de. Concentração de renda e riqueza e mobilidade social: A persistente recusa da política tributária brasileira a reduzir a desigualdade. **Revista de Informação Legislativa (RIL)**, v. 59, p. 61–74, 2022.

Goff, R.; Bam, W. Identifying tools to aid in the management of donations across ngos. **2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**, p. 1–8, 2020.

Hafalir, I. E. Stability of marriage with externalities. **International Journal of Game Theory**, v. 37, p. 353–369, 2008.

Hettinger, J. Banking on generosity to feed hungry animals: in hard times, pet food pantries supply a lifeline. **Animal Sheltering**, v. 1, p. 7–8, 2010.

Hoffman, M. L. Is altruism part of human nature? **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 40, p. 121–137, 1981.

Huang, S. Ngo as sympathy vendor or public advocate? a case study of ngos' participation in internet fundraising campaigns in china. **VOLUNTAS: International Journal of Voluntary and Nonprofit Organizations**, v. 33, p. 1–13, 2022.

Kerr, B.; Godfrey-Smith, P.; Feldman, M. W. What is altruism? **Trends in Ecology Evolution**, v. 19, p. 135–140, 2004.

Komter, A. The evolutionary origins of human generosity. **International Sociology**, v. 25, p. 443–464, 2010.

Kumar, A.; Chakrabarti, S. Charity donor behavior: A systematic literature review and research agenda. **Journal of Nonprofit & Public Sector Marketing**, v. 35, p. 1–46, 2023.

Li, Y. et al. Cooperation and charity in spatial public goods game under different strategy update rules. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 389, p. 1090–1098, 2010.

Liu, Y. et al. Does the conformity save us when information advantage fails? **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 549, p. 124499, 2020.

Lu, J.; Liang, X.; Wang, H. Geographical influences on the relationship between

- corporate philanthropy and corporate financial performance. **Regional Studies**, v. 54, p. 660–676, 2020.
- Lundberg, S.; Pollak, R. A. Noncooperative bargaining models of marriage. **The American Economic Review**, v. 84, p. 132–137, 1994.
- Lundberg, S.; Pollak, R. A. Efficiency in marriage. **Review of Economics of the Household**, v. 1, p. 153–167, 2003.
- Martin, R.; Randal, J. How is donation behaviour affected by the donations of others? **Journal of Economic Behavior Organization**, v. 67, p. 228–238, 2008.
- Mazzolini, A.; Celani, A. Generosity, selfishness and exploitation as optimal greedy strategies for resource sharing. **Journal of Theoretical Biology**, v. 485, 2020.
- McNickle, G. G.; Dybzinski, R. Game theory and plant ecology. **Ecology Letters**, v. 16, p. 545–555, 2013.
- Meier, P. **Digital Humanitarians: How Big Data Is Changing the Face of Humanitarian Response**. 1. ed. Reino Unido: Routledge, 2015.
- Mesak, H. I.; Calloway, J. A. Hybrid subgames and copycat games in a pulsing model of advertising competition. **Journal of the Operational Research Society**, v. 50, p. 837–849, 1999.
- Monteiro, L. H. A. **Sistemas Dinâmicos Complexos**. 2. ed. São Paulo, Brasil: Livraria da Física, 2014.
- Moretti, F. Crowdfunding: A new type of solidarity for the digital era. In: **Multidisciplinary Approaches to Crowdfunding Platforms**. Hershey: IGI Global, 2021. cap. 4, p. 84–108.
- Morgan, G.; Pulignano, V. Solidarity at work: Concepts, levels and challenges. **Work, Employment and Society**, v. 34, p. 18–34, 2020.
- Mueller, D. Rational egoism versus adaptive egoism as fundamental postulate for a descriptive theory of human behavior. **Public Choice**, v. 51, p. 3–23, 1986.
- Muggy, L.; Stamm, J. H. Game theory applications in humanitarian operations: a review. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, v. 4, p. 4–23, 2014.
- Mustofa, F. Religion, identity and solidarity: Emile durkheim’s perspective. **Jurnal Penelitian**, v. 16, p. 65–78, 2019.
- Neumayr, M. et al. **Generosity in Times of Crisis: Helping Behaviors During the COVID-19 Pandemic in Germany**. 1. ed. Austria: Global Generosity Research, 2021.

- Nowak, M.; May, R. Evolutionary games and spatial chaos. **Nature**, v. 359, p. 826–829, 1992.
- Nowak, M. et al. Emergence of cooperation and evolutionary stability in finite populations. **Nature**, v. 428, p. 646–650, 2003.
- Nowak, M.; Sigmund, K. A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the prisoner’s dilemma game. **Nature**, v. 364, p. 56–58, 1993.
- Oliveira, R.; Monteiro, L. H. A. Clustering in coupled maps on small-world networks. In: **Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks**. Portland: IEEE, 2003. p. 337–340.
- Perry, D. C.; Taylor, M.; Doerfel, M. L. Internet-based communication in crisis management. **Management Communication Quarterly**, v. 17, p. 206–232, 2003.
- Pfeiffer, T. et al. Evolution of cooperation by generalized reciprocity. **Proceedings: Biological Sciences**, v. 272, p. 1115–1120, 2005.
- Plous, S. Perceptual illusions and military realities: The nuclear arms race. **Journal of Conflict Resolution**, v. 29, p. 363–389, 1985.
- Plous, S. The nuclear arms race: Prisoner’s dilemma or perceptual dilemma? **Journal of Peace Research**, v. 30, p. 163–179, 1993.
- Rapoport, A.; Seale, D. A.; Colman, A. M. Is tit-for-tat the answer? on the conclusions drawn from axelrod’s tournaments. **PLOS ONE**, v. 10, p. 1–11, 2015.
- Riechert, S. E.; Hammerstein, P. Game theory in the ecological context. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 14, p. 377–409, 1983.
- Rocha, A. C.; Monteiro, L. H. A. On the spread of charitable behavior in a social network: a model based on game theory. **Networks and Heterogeneous Media**, v. 18, p. 842–854, 2023.
- Roser, M. et al. War and peace. 2016. Disponível em: <https://ourworldindata.org/war-and-peace>.
- Schecter, S.; Gintis, H. **Game Theory in Action: an Introduction to Classical and Evolutionary Models**. 1. ed. Princeton: Princeton University Press, 2016.
- Schimit, P. H. T. **Modelagem e Controle de Propagação de Epidemias Usando Autômatos Celulares e Teoria de Jogos**. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2010.
- Schimit, P. H. T.; Monteiro, L. H. A. A vaccination game based on public health actions and personal decisions. **Ecological Modelling**, v. 222, p. 1651–1655, 2011.

Schober, P.; Boer, C.; Schwarte, L. A. Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. **Anesthesia Analgesia**, v. 126, p. 1763–1768, 2018.

Sedgwick, P. Pearson's correlation coefficient. **The BMJ**, v. 345, 2012.

Simpson, E. The contributions of Anatol Rapoport to game theory. **Political Science Publications**, v. 135, p. 1–27, 2016.

Stein, E. Can we be justified in believing that humans are irrational? **Philosophy and Phenomenological Research**, Wiley-Blackwell, v. 57, p. 545–565, 1997.

Sulek, M. On the modern meaning of philanthropy. **Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly**, v. 39, p. 193–212, 2010.

Szolnoki, A.; Perc, M. Emergence of multilevel selection in the prisoner's dilemma game on coevolving random networks. **New Journal of Physics**, v. 11, p. 093033, 2009.

Thalos, M. Solidarity: A motivational conception. **Philosophical Papers**, v. 41, p. 57–95, 2012.

Tonin, M.; Vlassopoulos, M. Experimental evidence of self-image concerns as motivation for giving. **Journal of Economic Behavior Organization**, v. 90, p. 19–27, 2013.

Varella, C. À frente da amigos do bem, alcione atende 130 povoados no sertão nordestino. 2020. Disponível em: <https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2020/02/25/a-frente-da-amigos-do-bem-alcione-atende-130-povoados-no-sertao-nordestino.htm>.

Voorheis, J.; McCarty, N.; Shor, B. Unequal incomes, ideology and gridlock: How rising inequality increases political polarization. 2015. Disponível em: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2649215](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2649215).

Wang, H.; Qian, C. Corporate philanthropy and corporate financial performance: The roles of stakeholder response and political access. **Academy of Management Journal**, v. 54, p. 1159–1181, 2011.

Wang, X. et al. The rise and fall of donation behavior through reputation. **Chaos, Solitons Fractals**, v. 152, p. 111405, 2021.

Weber, M. The concept of solidarity in the study of world politics: Towards a critical theoretic understanding. **Review of International Studies**, v. 33, p. 693–713, 2007.

Wildt, A. Solidarity: Its history and contemporary definition. In: **Solidarity**. Dordrecht: Springer, 1999. p. 209–220.

Wolberg, J. **Data Analysis Using the Method of Least Squares: Extracting the Most Information from Experiments**. Alemanha: Springer, 2006.

Wolfram, S. **Cellular Automata and Complexity: Collected Papers**. Nova York:

Westview Press, 1994.

You, J. S.; Sanjeev, K. A comparative study of inequality and corruption. **American Sociological Review**, v. 70, p. 136–157, 2005.

Zhou, H. et al. A new sampling method in particle filter based on pearson correlation coefficient. **Neurocomputing**, v. 216, p. 208–215, 2016.

Zulfiquar, S. Link between corporate philanthropy and corporate financial performance: Evidence from pakistani textile sector. **International Journal of Engineering and Management Sciences**, v. 1, p. 1–12, 2016.