

Simulação Comparativa de Sistemas Eleitorais em Cenários de Polarização por Modelagem Baseada em Agentes

André Alves de Souza Barros
Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil
andrebarros@dcc.ufmg.br

Orientador: Pedro Olmo Stancioli Vaz De Melo
Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil
olmo@dcc.ufmg.br

Resumo—Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre três sistemas eleitorais: o majoritário *First-Past-the-Post* (FPTP), o Voto de Aprovação (AV) e a Representação Proporcional (PR), utilizando Modelagem Baseada em Agentes (ABM). A simulação representa eleitores e partidos como agentes autônomos em um espaço ideológico bidimensional, incorporando avanços significativos em relação ao modelo preliminar, tais como: comportamento estratégico fundamentado na literatura, a introdução da heurística partidária *predator* e a modelagem de cenários de polarização do eleitorado. Além da análise de sensibilidade aos parâmetros de estratégia (β), polarização (ϕ) e cláusula de barreira (*threshold*), investigou-se a robustez dos sistemas ao impacto de candidatos inviáveis (*Efeito Spoiler*). Os resultados indicam que o sistema PR maximiza a diversidade partidária em todos os cenários, embora sofra com excessiva fragmentação sob barreiras baixas e apresente degradação na qualidade da representação em contextos de alta estratégia. O modelo consolidado oferece uma ferramenta versátil para a avaliação de reformas políticas sob condições institucionais variadas.

Index Terms—agent-based modeling, electoral systems, strategic voting, political representation, computational simulation

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas eleitorais moldam o funcionamento de democracias ao definir como os votos são traduzidos em representação política. As regras que os constituem influenciam diretamente o comportamento de eleitores e partidos, moldando fenômenos como a fragmentação partidária e o voto estratégico. Embora a teoria política tradicional e a Teoria dos Jogos ofereçam insights valiosos sobre essas dinâmicas, a complexidade das interações em cenários multipartidários torna a Modelagem Baseada em Agentes (ABM) uma ferramenta particularmente eficaz para explorar esses sistemas, permitindo a observação de padrões emergentes e o teste de hipóteses em ambientes controlados.

Na primeira etapa do projeto (POC I), a metodologia ABM foi aplicada para comparar os sistemas de Maioria Simples, ou *First-Past-the-Post* (FPTP), e Voto de Aprovação (AV) em um espaço ideológico bidimensional com distribuição de preferências unimodal. Os resultados demonstraram que

o sistema AV favoreceu consistentemente uma maior pluralidade partidária e melhores métricas de representatividade em comparação ao FPTP. No entanto, aquele modelo inicial apresentava limitações importantes, especificamente a simplificação da lógica do voto estratégico e a ausência de cenários de polarização ideológica, fatores críticos nas democracias contemporâneas.

O presente trabalho (POC II) supera essas restrições ao expandir significativamente o modelo computacional desenvolvido. O objetivo central é aprofundar a análise comparativa a partir de novas funcionalidades. Primeiramente, introduz-se o sistema de Representação Proporcional (PR), permitindo contrastar a lógica proporcional com a lógica majoritária dos sistemas anteriores. Em segundo lugar, refina-se a racionalidade dos agentes eleitores, substituindo heurísticas simples por modelos de decisão estratégica fundamentados na literatura especializada, conferindo maior realismo às simulações.

Além disso, a dinâmica partidária é enriquecida com a introdução da personalidade *predator*, que modela partidos que ajustam suas plataformas em direção a competidores mais bem-sucedidos, e submete-se o modelo a testes com um eleitorado polarizado em distribuição bimodal. Por fim, investiga-se o *Efeito Spoiler*, analisando como a presença de candidatos extremistas, teoricamente com ínfimas chances de vitória, pode distorcer os resultados sob diferentes regras eleitorais. Através dessas expansões, este relatório oferece uma avaliação sólida sobre os *trade-offs* sobre representatividade e qualidade de representação diante de eleitorados divididos e estratégias partidárias complexas.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

No livro de Laver e Sergenti [1], são apresentadas as bases teóricas para a construção de um modelo baseado em agentes (ABM) voltado à análise da competição partidária. A obra, que fundamentou a construção do ambiente de simulação durante a primeira etapa deste projeto (POC I), justifica o uso da modelagem computacional ao demonstrar como a ABM supera limitações dos modelos analíticos tradicionais, especialmente em contextos multipartidários dinâmicos. O sistema proposto,

sob regras de representação proporcional, incorpora elementos como entrada e saída endógena de partidos e eleitorados heterogêneos. Uma das principais conclusões deste estudo é um paradoxo de representatividade: partidos que buscam exclusivamente maximizar votos podem, sob certas condições, gerar configurações menos representativas para o eleitorado. Essa constatação reforça o potencial da ABM para revelar dinâmicas emergentes e contra-intuitivas que escapam à abordagem analítica clássica. No entanto, este trabalho avança em relação à obra de referência ao abandonar a premissa de eleitores passivos ou puramente sinceros. Introduz-se, em contrapartida, a modelagem de estratégias de voto baseadas em modelos formais da literatura, conferindo ao eleitorado uma capacidade adaptativa e estratégica análoga à dos agentes partidários.

Ainda no campo da modelagem da competição partidária, o estudo de Laver [2] se destaca por investigar regras adaptativas de decisão para partidos em um ambiente simulado. Enquanto o POC I focou nas estratégias de satisfação imediata (*hunter*), consenso (*aggregator*) e ideologia (*sticker*), esta segunda etapa (POC II) incorpora a estratégia *predator*. Diferentemente do *hunter*, que faz uma busca local, o *predator* busca por partidos com maior sucesso eleitoral, movendo-se em sua direção na tentativa de fagocitar seu eleitorado. Segundo os resultados de Laver [2], essa estratégia, embora pareça racional ao perseguir o líder, frequentemente apresenta desempenho inferior à busca local simples (*hunter*) em cenários de sobrevivência. Sua inclusão no modelo, portanto, serve para testar se essa desvantagem competitiva se mantém ou se inverte diante da variável de voto estratégico introduzida neste trabalho.

No estudo de Laver e Schilperoord [3], a principal inovação consiste em tratar o número de partidos como uma variável endógena, resultante da própria dinâmica competitiva, e não como um parâmetro fixo do modelo. Para isso, os autores propõem um mecanismo evolutivo em que a insatisfação do eleitorado gera o surgimento de novos partidos, enquanto um limiar mínimo de desempenho eleitoral determina a extinção dos menos votados. Esse ambiente simulado permite observar um sistema partidário em constante transformação, impulsionado por forças internas. Uma das conclusões mais relevantes do estudo é que, paradoxalmente, os partidos mais bem-sucedidos em termos de votos nem sempre são os que melhor atendem às preferências do eleitorado. Esse resultado reforça a utilidade da ABM na investigação de fenômenos políticos emergentes e não triviais, especialmente em contextos multipartidários realistas.

Avançando para o comportamento estratégico sob diferentes regras, a inclusão do sistema de Representação Proporcional (PR) no escopo atual demanda novos alicerces teóricos. Nesse contexto, Shikano et al. [4] demonstra que o voto estratégico não é exclusividade de sistemas majoritários. Ao analisarem um denominado “seguro de cláusula de barreira”, os autores evidenciam que, em sistemas proporcionais, eleitores racionais ponderam a viabilidade das coalizões e as cláusulas de barreira, ajustando seus votos para maximizar a probabilidade de formação de um governo ideologicamente próximo. Essa

perspectiva fundamenta a lógica de decisão dos agentes para o novo sistema eleitoral implementado na segunda etapa deste projeto (POC II).

Paralelamente, o refinamento da simulação do *Approval Voting* (AV) baseia-se em uma adaptação da “regra do líder” proposta por Laslier [5]. O autor argumenta que a estratégia racional no AV consiste em aprovar o candidato percebido como favorito, se o preferir ao segundo colocado, e todos aqueles estritamente preferidos ao líder. O autor prova que, caso haja um vencedor de Condorcet, se todos utilizarem esta estratégia, este será o vencedor. Essa teoria permite superar as limitações da heurística de raio fixo utilizada no POC I, onde o voto sincero era preservado entre os candidatos não viáveis, enquanto o voto estratégico focava na disputa principal.

A pesquisa de Bernhardt et al. [6] é particularmente relevante para o desenho experimental da análise Efeito Spoiler. Os autores exploram a tensão entre voto expressivo e instrumental e formalizam a dinâmica do candidato *spoiler*: aquele que, mesmo sem chances de vitória, altera o resultado do pleito ao forçar ajustes nas plataformas rivais. Essa fundamentação teórica sustenta por que testar o *spoiler* no modelo.

Por fim, Riker [7] consolida a fundamentação teórica da Lei de Duverger, ao formalizar a distinção entre o efeito “mecânico” (conversão de votos em cadeiras) e o “psicológico” (tendência ao voto útil). Essa dualidade atua como o fio condutor das simulações desenvolvidas, conectando desde a comparação inicial entre FPTP e AV até a dinâmica de PR.

Diante dessas contribuições, este trabalho integra modelos de comportamento partidário e decisão eleitoral para comparar os efeitos emergentes nos três sistemas, avaliando, sob novas variáveis como polarização e estratégias predadoras, os impactos de sistemas eleitorais na representatividade e na estabilidade democrática.

III. METODOLOGIA

Para investigar os efeitos de diferentes sistemas eleitorais sobre a dinâmica da competição partidária, foi desenvolvido um Modelo Baseado em Agentes (ABM). Esta abordagem permite simular interações entre eleitores e partidos como agentes autônomos, possibilitando a observação dos padrões emergentes em nível macroscópico, como a configuração do sistema partidário e os níveis de representatividade. O modelo foi implementado em *Python*, com o uso de bibliotecas como *NumPy* para operações numéricas e *Matplotlib* para visualização de dados. A seguir, a arquitetura e os componentes do modelo, bem como o desenho experimental adotado são detalhados.

A. Arquitetura e Ambiente da Simulação

O modelo opera em ciclos eleitorais discretos adaptados de [1], nos quais cada iteração representa uma eleição completa, seguida pela apuração dos resultados e por uma fase de adaptação dos partidos. A competição política ocorre em um espaço ideológico bidimensional contínuo, onde as posições dos agentes são representadas por coordenadas (x, y) , interpretadas como eixos ideológicos econômico e social.

O eleitorado é distribuído em múltiplos distritos eleitorais uninominais com igual número de eleitores. No início de cada simulação, as preferências ideológicas são modeladas a partir de duas distribuições normais bivariadas com centroides em $(-\phi, 0)$ e $(\phi, 0)$, onde ϕ representa o parâmetro de polarização, e desvios-padrão de 0.2 para ambos os eixos. A geração das preferências ocorre em nível global, sendo os eleitores subsequentemente alocados aleatoriamente nos distritos. As plataformas iniciais dos partidos, por sua vez, são amostradas de uma distribuição uniforme sobre o mesmo espaço. O modelo suporta três sistemas eleitorais:

- **Majoritários (FPTP e AV):** A eleição ocorre em cada distrito, onde partido mais votado a nível local vence sua cadeira.
- **Proporcional (PR):** A alocação de cadeiras ignora os limites distritais para fins de contagem, tratando o ambiente como um distrito único nacional para a aplicação do método D'Hondt.

B. Agente Eleitor

Os eleitores são agentes com preferências ideológicas fixas e comportamento de voto que oscila entre expressivo (sincero) e estratégico, conforme a tensão teórica descrita por [6]. A probabilidade de um eleitor votar estrategicamente é regida pelo parâmetro global exógeno e constante $\beta \in [0, 1]$. Foi adotado o valor base de $\beta = 0.5$, fundamentado no estudo empírico [8], que indica que aproximadamente metade do eleitorado considera o voto estratégico quando oportuno.

1) *Regras de Decisão:* No comportamento padrão (voto expressivo), o eleitor seleciona o partido que minimiza a distância Euclidiana até seu ponto ideal (nos sistemas FPTP e PR) ou aprova todas as legendas situadas a uma distância inferior a $r_{aprovacao}$ (no sistema AV). A decisão de abandonar o voto sincero em favor do voto estratégico é tomada individualmente por cada agente, sendo regida pelo parâmetro de probabilidade β . Quando opta pela estratégia, assume-se que o eleitor possui informação perfeita sobre qual seria o resultado do pleito caso todos votassem sinceramente (considerando o contexto distrital para FPTP e AV, ou global para o PR), utilizando então heurísticas fundamentadas na viabilidade eleitoral dos candidatos:

- **FPTP (Lei de Duverger):** O eleitor restringe sua escolha aos dois candidatos líderes de intenção de voto ou àqueles dentro de uma margem $m_{estrategica}$ (em porcentagem) do líder. Dentre estes viáveis, vota no mais próximo ideologicamente.
- **AV (Regra do Líder):** O eleitor identifica o candidato viável mais próximo, dentro das mesmas regras de viabilidade do FPTP (o pivô). Estrategicamente, aprova este pivô e todos os demais candidatos preferíveis a ele (mais próximos), rejeitando os demais.
- **PR (Seguro de Cláusula de Barreira):** O eleitor avalia o risco da cláusula de barreira. Se sua preferência sincera é inviável ($\%votos < threshold - m_a$), ele a abandona em favor de um partido viável próximo. Se sua preferência está segura ($\%votos > threshold + m_b$), ele opta por

votar em um parceiro ideológico que esteja na “zona de risco” ($threshold - m_c < \%votos < threshold + m_c$), desde que este esteja a uma distância menor que $r_{aprovacao}$, visando maximizar a presença de seu grupo ideológico no parlamento.

2) *Dinâmica de Insatisfação:* A insatisfação dos eleitores, conceito adaptado de [3], é acumulada ao longo do tempo como uma média móvel ponderada:

$$D_t = \alpha_{memoria} \cdot D_{t-1} + (1 - \alpha_{memoria}) \cdot d_{min}$$

Onde D_{t-1} é a insatisfação acumulada no ciclo anterior e d_{min} é a distância euclidiana atual ao partido mais próximo. Essa insatisfação acumulada, ponderada por um fator $\beta_{memoria}$, define a probabilidade de o eleitor fundar um novo partido. A fundação ocorre via método de Monte Carlo, e a plataforma do novo partido coincide com o ponto ideal do eleitor fundador. A heurística comportamental do novo partido é atribuída aleatoriamente.

C. Agente Partido

Partidos são agentes adaptativos que buscam maximizar sua representação. Suas plataformas são definidas por suas coordenadas (x, y) no mesmo espaço ideológico bidimensional dos eleitores. Uma premissa fundamental do modelo é que cada partido mantém uma plataforma ideológica unificada, ou seja, suas coordenadas são as mesmas em todos os distritos eleitorais em que compete, não havendo variação regional de sua plataforma.

Cada partido segue uma de quatro heurísticas de comportamento propostas por [2]. O tipo *sticker* (ideológico) mantém sua plataforma ideológica fixa durante toda a simulação; o *aggregator* (representativo), após cada eleição, move sua plataforma para o centroide das preferências de seus eleitores; o *hunter* (caçador de votos) emprega uma heurística de aprendizado por reforço, repetindo movimentos que resultaram em ganho de cadeiras e explorando direções opostas aleatórias caso contrário; *predator* (competitivo) utiliza uma heurística gulosa, identificando o competidor mais próximo que obteve mais cadeiras que ele, movendo-se em sua direção para capturar seu eleitorado.

A extinção de partidos é governada por um limiar de sobrevivência *threshold*, adaptado de [3]. Partidos que não atingem uma fração mínima de cadeiras ao fim de uma eleição são eliminados da simulação, em analogia a cláusulas de barreira e custos institucionais de manutenção partidária.

D. Dinâmica do Sistema e Ciclo Eleitoral

A simulação evolui através de um ciclo de eventos que se repete a cada iteração, tornando o número de partidos uma variável endógena. O processo se inicia com a votação, onde os eleitores avaliam as plataformas e votam conforme as regras do sistema eleitoral. Segue-se a apuração: enquanto nos sistemas majoritários os vencedores são definidos localmente como os mais votados em cada distrito, no sistema de Representação Proporcional (PR) a conversão de votos em mandatos ocorre

em nível global, utilizando o método D'Hondt. Neste algoritmo, as cadeiras são alocadas sequencialmente com base em quocientes calculados para cada partido, definidos pela divisão dos seus votos totais pelo número de cadeiras já conquistadas (iniciando em zero) mais um, sendo a vaga atribuída ao maior quociente até a alocação total das cadeiras. Após a eleição, ocorre a adaptação partidária, com os partidos *aggregator*, *predator* e *hunter* ajustando suas posições. Subsequentemente, a demografia partidária é atualizada através do nascimento de novos partidos a partir de eleitores insatisfeitos e da morte daqueles que não atingiram o limiar de sobrevivência. Finalmente, o ciclo recomeça, com os eleitores reavaliando o novo cenário partidário.

O experimento foi desenhado para comparar os resultados de três cenários principais, definidos pelas regras eleitorais PR, FPTP e AV em distritos uninominais. Para avaliar os resultados e as hipóteses, foram realizadas análises de sensibilidade variando sistematicamente três parâmetros: β , ϕ e *threshold*.

Para avaliar os resultados macroscópicos, foram empregadas as seguintes métricas: o número de partidos sobreviventes; o Número Efetivo de Partidos Parlamentares (ENPP), calculado pelo índice definido por Laakso e Taagepera em [9]:

$$\text{ENPP} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i^2}$$

onde p_i é a proporção de cadeiras do partido i ; distrito; e a Distância Média Eleitor-Poder, que calcula a distância média entre cada eleitor e o centroide de poder ponderado pelas cadeiras dos partidos eleitos.

Antes da coleta de resultados, foi realizada uma análise de convergência para verificar a estabilidade do sistema ao longo das iterações.

E. Configuração da Simulação de Análise de Sensibilidade

As simulações foram conduzidas com os parâmetros-base apresentados na Tabela I. Esses valores foram mantidos constantes, salvo nos experimentos de sensibilidade nos quais o parâmetro em questão foi sistematicamente variado para análise de impacto. Para garantir a robustez estatística e mitigar efeitos de aleatoriedade inerentes à simulação e ao modelo, cada cenário experimental na análise de sensibilidade foi executado 300 vezes e as estatísticas apresentadas nos gráficos equivalem à média destas execuções.

F. Experimento sobre o Efeito Spoiler

Para investigar o impacto de candidatos sem viabilidade eleitoral na configuração final de poder, delineou-se um experimento com o objetivo central de mensurar a capacidade de um candidato extremista de deslocar o centro de gravidade do parlamento eleito em sua direção ou, alternativamente, de provocar um efeito reverso mediante a divisão de votos.

Para tanto, estabeleceu-se um cenário utilizando os mesmos parâmetros da configuração base da análise de sensibilidade, com a inserção exógena de um partido imune à cláusula de barreira de personalidade *sticker* fixado na posição extrema $(-0.8, 0.0)$. A escolha dessa coordenada extrema à esquerda

Tabela I
PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Parâmetro	Valor Padrão
Número de Distritos	151
Eleitores por Distrito	101
Partidos Iniciais	5
Número de Eleições (Ciclos)	100
<i>threshold</i>	0,04
β	0,5
<i>mestrategica</i>	0,05
<i>rapprovacao</i>	0,5
$\alpha_{memoria}$	0,5
$\beta_{memoria}$	0,0005
ϕ	0,25
m_a	0,015
m_b	0,05
m_c	0,015

visa representar um candidato radical que se posiciona significativamente além do espectro ideológico dominante (dado que o eleitorado está centrado em 0.25 com desvio-padrão de 0.2).

O experimento consistiu em 1000 execuções independentes, cada uma pareada com um cenário de controle idêntico. O pareamento foi realizado através do controle de sementes aleatórias, garantindo que a distribuição inicial de eleitores e os partidos iniciais fossem idênticos, isolando assim o efeito puro da presença do candidato extremista. A métrica coletada foi a variação da distância entre a posição do *spoiler* e o centroide de poder parlamentar ponderado pelas cadeiras, calculada como:

$$\Delta_d = d_{controle} - d_{experimental}$$

onde valores negativos indicam que o parlamento se aproximou do *spoiler*.

IV. RESULTADOS

A. Análise de Convergência do Modelo

Com o objetivo de assegurar a confiabilidade dos resultados e definir uma quantidade de eleições (iteraões) adequada para a coleta de dados, foi conduzida uma análise de convergência ao longo de 1000 eleições consecutivas por 100 iterações. O comportamento de métricas-chave, como o número de partidos, o ENPP e a Distância Eleitor-Poder foi monitorado para todos os sistemas eleitorais simulados.

As séries temporais revelaram que o modelo converge rapidamente para um estado de equilíbrio. Após aproximadamente 50 ciclos eleitorais, observa-se uma estabilização das variáveis, que passam a oscilar em torno de valores médios constantes. Diante dessa evidência, o horizonte de 100 eleições foi adotado como base para a coleta de dados nas análises subsequentes. Esse período se mostrou suficiente para capturar o comportamento de longo prazo do sistema, ao mesmo tempo em que preserva a eficiência computacional dos experimentos.

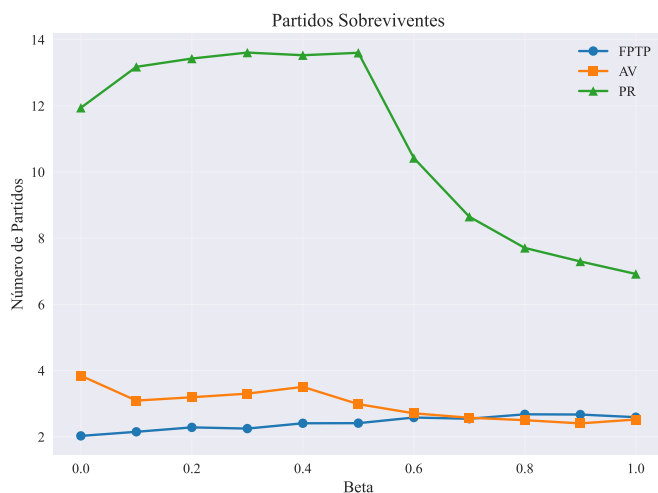


Figura 1. Número de Partidos Sobreviventes em Função de β .

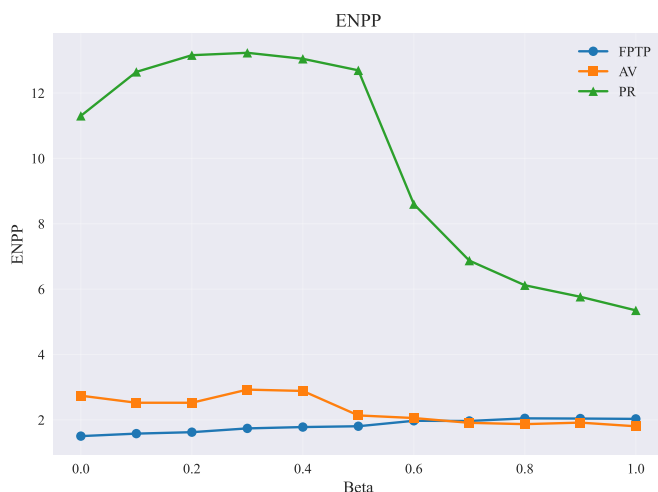


Figura 2. Número Efetivo de Partidos Parlamentares (ENPP) em Função de β .

B. Análise de Sensibilidade de β

As Figuras 1 e 2 evidenciam a grande sensibilidade do sistema PR à introdução da racionalidade estratégica. Em cenários de voto predominantemente sincero ($\beta < 0.5$), o sistema proporcional apresenta-se altamente fragmentado, sustentando uma média superior a 13 partidos sobreviventes e um ENPP acima de 12, o que reflete a facilidade da manutenção de novos atores políticos. No entanto, observa-se uma ruptura de tendência quando β ultrapassa 0,5. A partir deste ponto, a lógica do “seguro cláusula de barreira” atua intensamente, proporcionando uma redução abrupta na fragmentação, com o número de partidos caindo pela metade à medida que β se aproxima de 1,0. Em contraste, os sistemas majoritários demonstram maior estabilidade estrutural. O FPTP mantém-se aderente à Lei de Duverger, oscilando entre 2 e 3 partidos sobreviventes, com um crescimento marginal do ENPP conforme o voto estratégico consolida as forças principais. O AV, por sua

vez, exibe um declínio suave na sobrevivência partidária com a intensificação da estratégia, sugerindo que a “regra do líder” tende a concentrar a aprovação em um conjunto de candidatos viáveis mais restrito do que no voto de aprovação sincero.

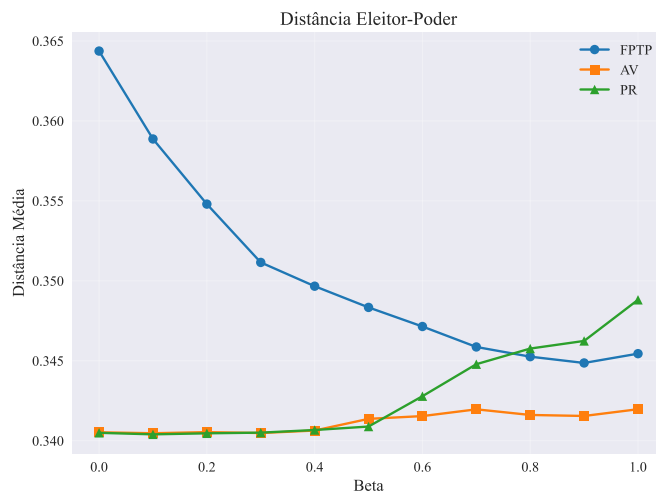


Figura 3. Distância Média Eleitor-Poder em Função de β .

A análise da Distância Eleitor-Poder (Figura 3) revela um *trade-off* crítico e contraintuitivo. No FPTP, o aumento do voto estratégico favorece a qualidade da representação. Isso ocorre porque o voto útil coordena o eleitorado em torno de candidatos de maior consenso, mitigando as distorções causadas pela dispersão de votos em candidatos sem chances de vitória. O inverso verifica-se no PR: embora o sistema proporcional ofereça a melhor representatividade sob voto sincero, a atuação estratégica dos eleitores para superar a cláusula de barreira força uma migração de votos para partidos que não correspondem aos seus ideais ótimos. Consequentemente, observa-se uma degradação contínua da métrica de representatividade, que, em cenários puramente estratégicos, torna-se inferior à do FPTP. O AV mantém um desempenho intermediário e estável, sofrendo apenas leve degradação em altos níveis de estratégia.

A ecologia das personalidades partidárias responde de forma distinta às regras. No FPTP (Figura 4), a estratégia favorece a ascensão dos *aggregators*, que superam os *stickers* e *predators* quando $\beta > 0.6$, sugerindo que partidos com perfil agregador são os maiores beneficiários do voto útil neste sistema.

No sistema AV (Figura 5), nota-se um fenômeno particular envolvendo a nova personalidade introduzida nesta fase do projeto. Enquanto os *aggregators* colapsam sob alta incidência de voto estratégico, a personalidade *predator* demonstra resiliência e recuperação em níveis elevados de β , superando inclusive os resistentes *stickers*. Esse resultado indica que, em um ambiente onde o eleitor segue a regra do líder, a estratégia agressiva de fagocitar rivais diretos mostra-se eficaz para garantir a sobrevivência.

Por fim, no PR (Figura 6), a “limpeza” promovida pelo voto estratégico afeta todas as classes de partidos, mas preserva a hierarquia original: *stickers* e *aggregators* continuam dominan-

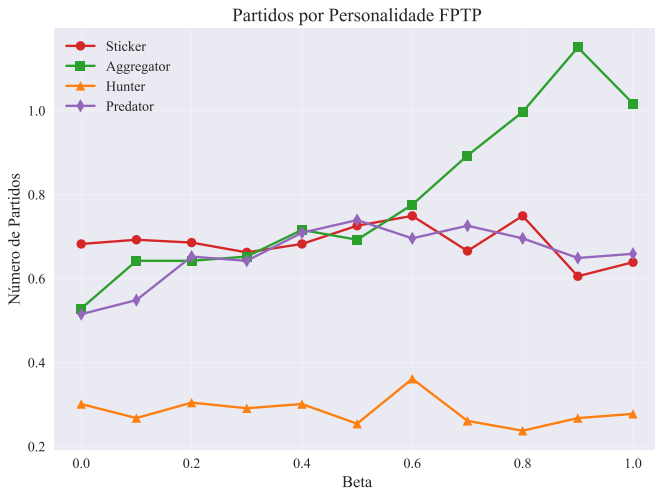


Figura 4. Partidos Sobreviventes por Personalidade (FPTP) em Função de β .

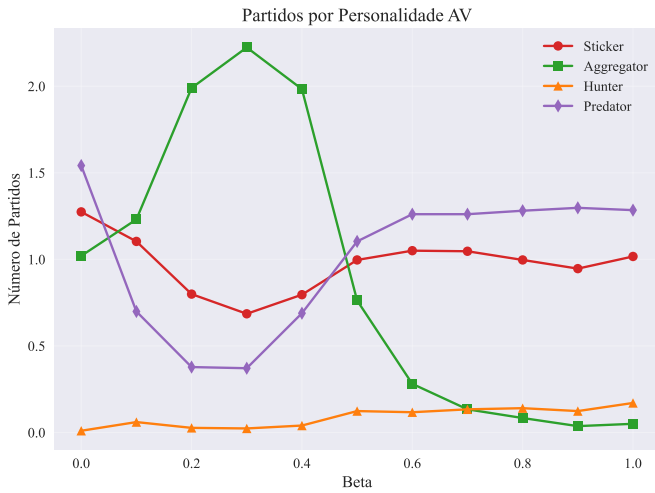


Figura 5. Partidos Sobreviventes por Personalidade (AV) em Função de β .

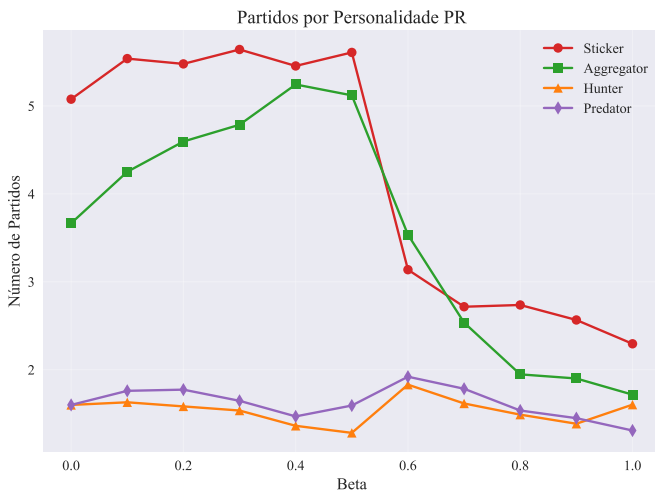


Figura 6. Partidos Sobreviventes por Personalidade (PR) em Função de β .

tes, embora seus números absolutos sofram redução drástica. Isso sugere que o voto estratégico no sistema proporcional atua primariamente como um filtro de viabilidade eleitoral, e não como um mecanismo de seleção de um tipo comportamental específico.

C. Análise de Sensibilidade de ϕ

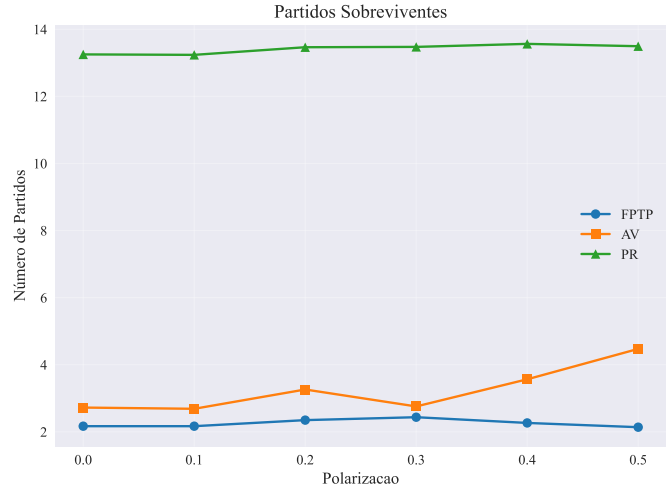


Figura 7. Número de Partidos Sobreviventes em Função de ϕ .

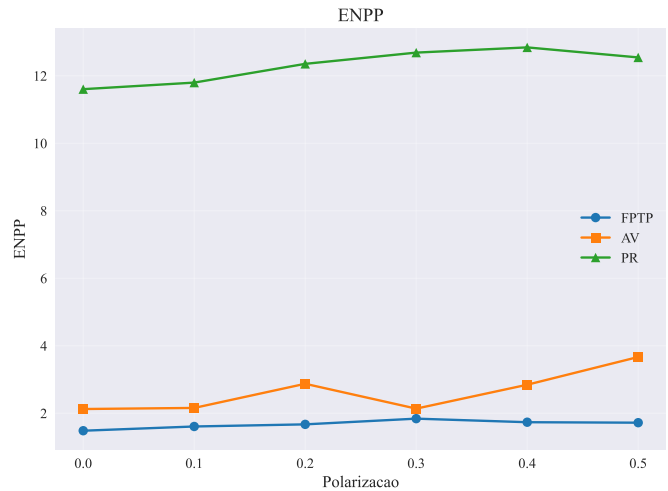


Figura 8. Número Efetivo de Partidos Parlamentares (ENPP) em Função de ϕ .

A variação do parâmetro de polarização (ϕ) revela comportamentos distintos de resiliência entre os sistemas. As figuras 7 e 8 demonstram que o sistema PR é relativamente insensível à polarização, mantendo um nível de fragmentação elevado e estável (acima de 13 partidos e ENPP próximo a 13) independentemente do grau de divisão social. O FPTP também demonstra estabilidade, mantendo-se próximo ao bipartidarismo. O comportamento mais dinâmico é observado no sistema AV: à medida que a polarização aumenta, nota-se um crescimento no número de partidos sobreviventes e no

ENPP. Isso sugere que, com o afastamento dos polos, o “raio de aprovação” dos eleitores deixa de se sobrepor no centro, abrindo espaço para o surgimento de mais partidos que não seriam competitivos em um cenário de consenso.

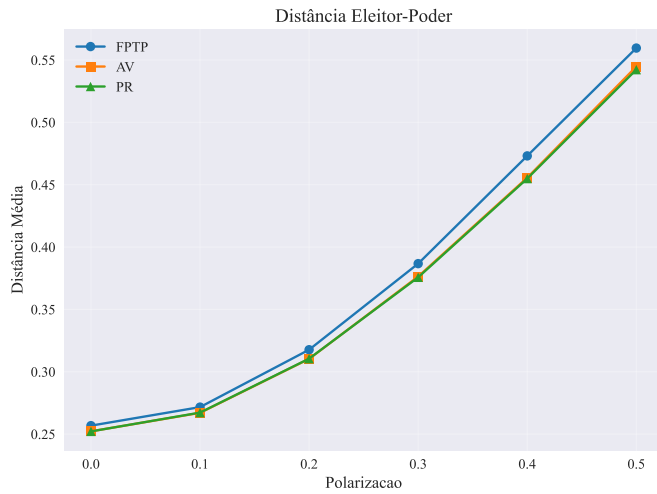


Figura 9. Distância Média Eleitor-Poder em Função de ϕ .

A análise da Distância Eleitor-Poder (Figura 9) expõe a degradação generalizada da representatividade em ambientes polarizados. Em todos os sistemas, a distância média cresce linearmente conforme a polarização aumenta, o que é esperado dado o afastamento geométrico dos eleitores. Contudo, mesmo com baixas diferenças, o PR mantém-se consistentemente como o sistema mais representativo, seguido de perto por AV e FPTP, basicamente empatados com pior desempenho.

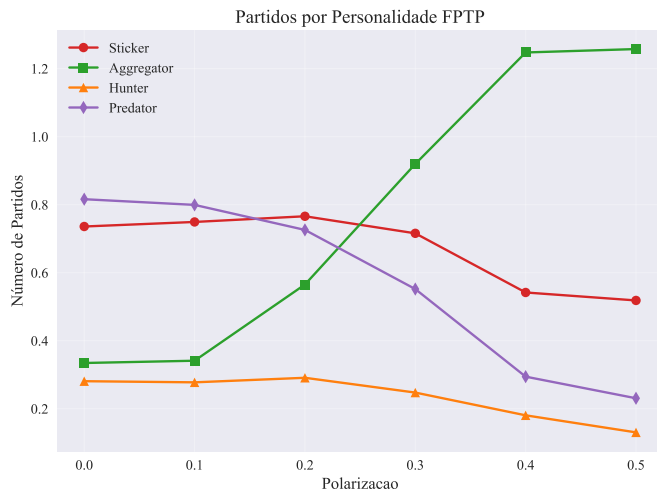


Figura 10. Partidos Sobreviventes por Personalidade (FPTP) em Função de ϕ .

A ecologia das personalidades partidárias reage de forma complexa à polarização do eleitorado. No FPTP (Figura 10), observa-se um fenômeno interessante: o seu aumento favorece drasticamente os *aggregators*, que crescem enquanto *stickers* e *predators* declinam. Isso indica que, em distritos polarizados,

a estratégia de buscar o “voto mediano local” torna-se a mais eficiente para garantir a sobrevivência.

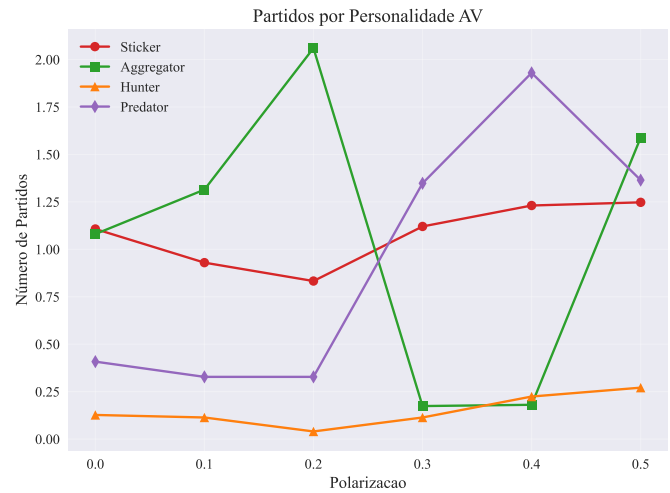


Figura 11. Partidos Sobreviventes por Personalidade (AV) em Função de ϕ .

No sistema AV (Figura 11), embora num cenário muito ruidoso, a dinâmica se inverte em situações de extrema polarização. Enquanto os *aggregators* dominam em cenários de polarização baixa e na polarização máxima, eles sofrem uma queda abrupta quando num cenário intermediário, dando lugar à ascensão, principalmente, da personalidade *predator*.

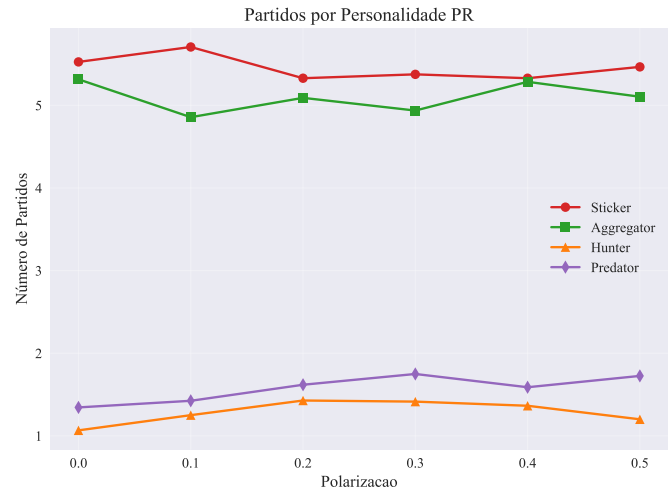


Figura 12. Partidos Sobreviventes por Personalidade (PR) em Função de ϕ .

Por fim, no PR (Figura 12), a estabilidade reina. A distribuição de personalidades permanece basicamente inalterada do início ao fim da escala de polarização, com *stickers* e *aggregators* dominando o cenário. Isso reforça a tese de que o sistema proporcional acomoda a polarização estrutural sem forçar uma mudança comportamental nos agentes partidários, permitindo que partidos mais ideológicos sobrevivam confortavelmente em seus nichos.

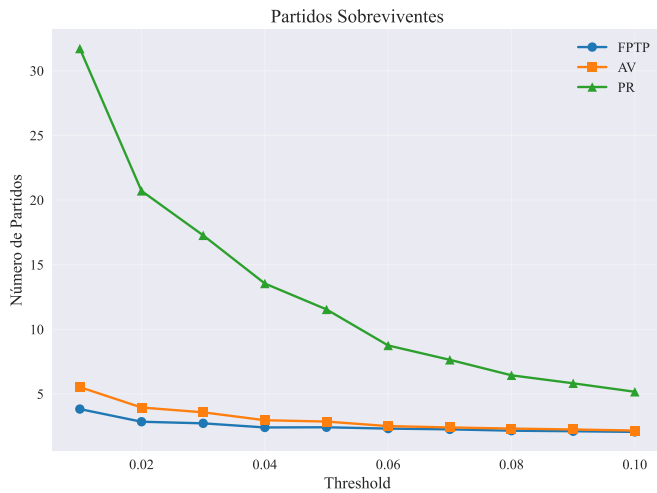


Figura 13. Número de Partidos Sobreviventes em Função de *threshold*.

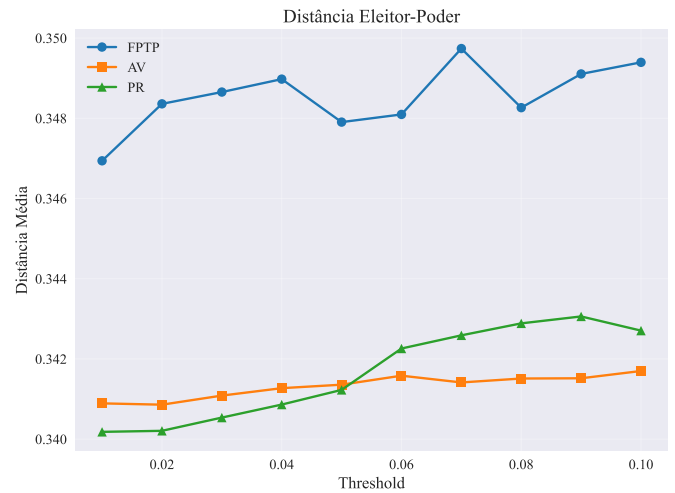


Figura 15. Distância Média Eleitor-Poder em Função de *threshold*.

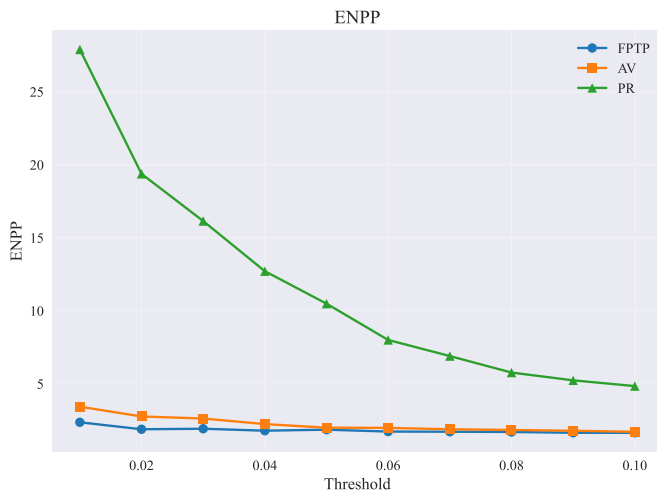


Figura 14. Número Efetivo de Partidos Parlamentares (ENPP) em Função de *threshold*.

D. Análise de Sensibilidade de *threshold*

Com a variação da cláusula de barreira, as figuras 13 e 14 mostram que o PR sofre um colapso exponencial de diversidade. De um cenário de extrema fragmentação (mais de 30 partidos) com barreiras nulas, o sistema cai para níveis próximos aos sistemas majoritários quando *threshold* atinge 10%. Em contraste, FPTP e AV mostram-se praticamente imunes a essa variação, com AV um pouco mais diverso. Isso ocorre porque a barreira de entrada nesses sistemas é “implícita” e local (vencer um distrito), sendo naturalmente mais alta do que a barreira institucional global.

A análise da Distância Eleitor-Poder (Figura 15) expõe os custos ocultos da governabilidade. No PR, nota-se uma degradação da representatividade conforme o *threshold* sobe. A eliminação mecânica de partidos menores reduz o número de atores políticos, o que teoricamente aumenta a governabilidade, mas às custas de forçar o eleitorado a ser representado

por grandes partidos genéricos, afastando o centro do parlamento das preferências originais da população. Curiosamente, o FPTP exibe uma piora na representatividade significativamente maior que o AV com o aumento de *threshold*, indicando que a supressão de legendas menores reduz a eficácia do sistema em produzir vencedores de consenso.

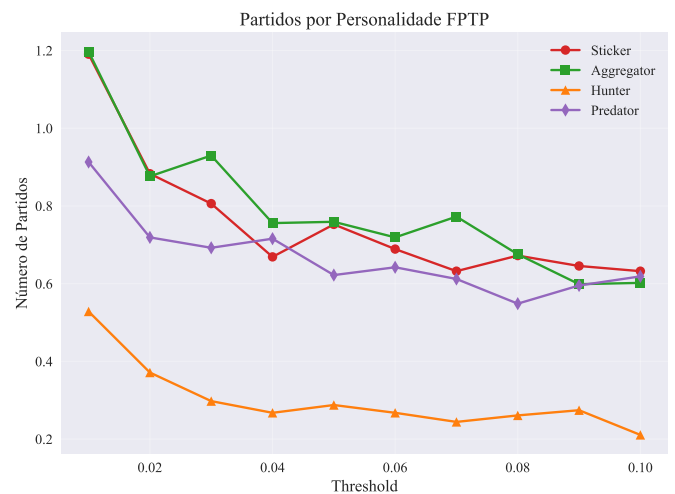


Figura 16. Partidos Sobreviventes por Personalidade (FPTP) em Função de *threshold*.

A ecologia das personalidades sob barreira revela a fragilidade de certas estratégias. No FPTP (Figura 16), embora haja ruído, percebe-se que os *aggregators* perdem espaço levemente para os *stickers* e *predators* em thresholds mais altos, indicando que a rigidez ideológica ou a agressividade podem ser necessárias para manter o número de cadeiras acima da linha de corte.

No sistema AV (Figura 17), o impacto também é maior para os *aggregators*. À medida que a barreira sobe, a estratégia de buscar consensos amplos falha em garantir a sobrevivência, levando a um declínio acentuado dessa personalidade. *Sticklers* e

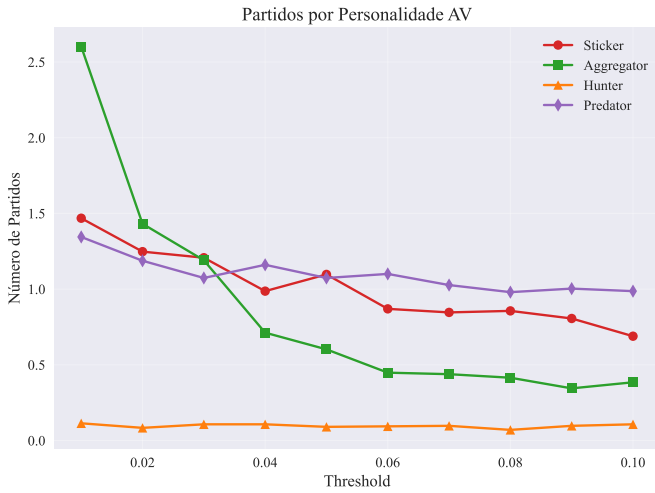


Figura 17. Partidos Sobreviventes por Personalidade (AV) em Função de *threshold*.

predators mostram-se mais resilientes, sugerindo que fidelizar uma base é mais seguro do que buscar aprovação geral em um ambiente de alta seletividade.

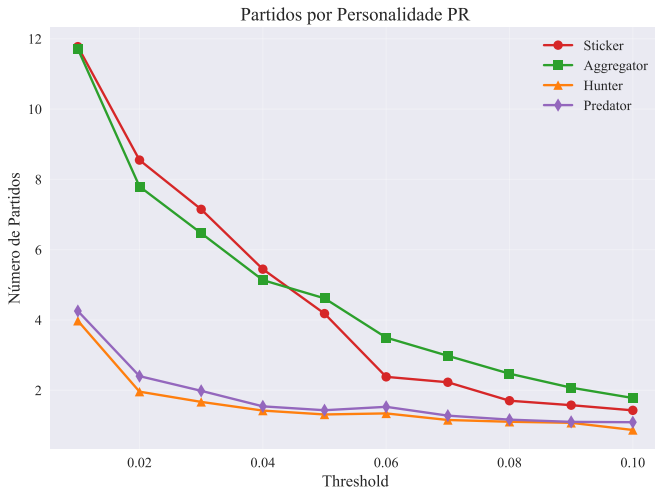


Figura 18. Partidos Sobreviventes por Personalidade (PR) em Função de *threshold*.

Por fim, no PR (Figura 18), ocorre uma extinção em massa que preserva a hierarquia, mas altera a escala. *Stickers* e *aggregators* continuam sendo as personalidades dominantes, mas seus números absolutos despencam. As estratégias móveis e de risco (*hunter* e *predator*) são quase eliminadas pela barreira, indicando que, em sistemas proporcionais com cláusulas de barreira rigorosas, a consistência ideológica (*sticker*) ou a representação fiel de um grupo (*aggregator*) sejam os únicos caminhos viáveis para a sobrevivência política.

E. Efeito Spoiler

A análise quantitativa do experimento (Figura 19) revela uma distinção fundamental na mecânica de resposta dos sistemas à presença de um candidato extremista. No sistema

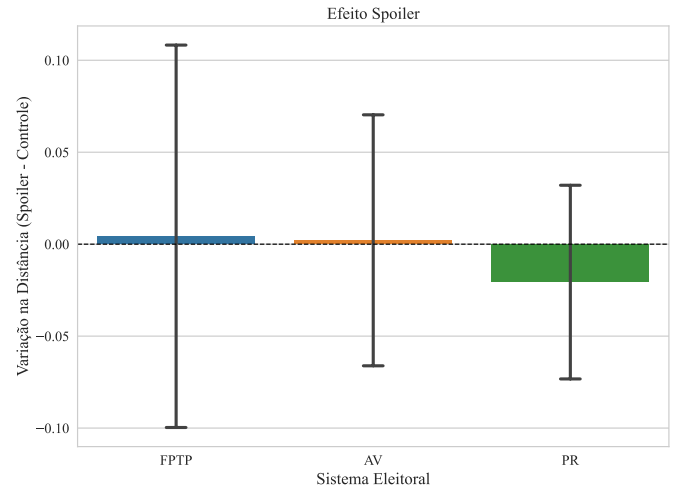


Figura 19. Variação na distância entre o partido *spoiler* e o centro de poder comparando cenários com e sem a presença do candidato extremista, por sistema eleitoral.

de Representação Proporcional (PR), o efeito observado foi consistentemente de “atração”: a presença do spoiler deslocou o centro de poder em sua direção. Uma vez que o sistema converte diretamente a votação marginal em representação parlamentar proporcionar sempre uma opção extrema ancorou a média do legislativo mais à esquerda. Em contraste, os sistemas majoritários (FPTP e AV) apresentaram alta volatilidade e um risco elevado de efeito reverso. Frequentemente, a entrada do *spoiler* fragmentou o voto de seu próprio espectro ideológico, facilitando a vitória do campo oposto e, paradoxalmente, afastando o governo eleito da agenda que o candidato pretendia promover.

No entanto, é necessário interpretar esses dados, especialmente o desempenho nos sistemas majoritários, sob a ótica das limitações do modelo. Os resultados atuais refletem estritamente a mecânica de conversão de votos sob preferências fixas. É plausível levantar a hipótese de que a métrica de “distância” atual subestima a influência real do *spoiler* porque sua função primária, em uma democracia dinâmica, pode não ser a de afetar diretamente a posição dos partidos eleitos, mas a de alterar a posição ideológica dos eleitores, deslocando a “Janela de Overton”. Como esta simulação manteve as preferências dos eleitores estáticas, o modelo capturou o custo mecânico da divisão de votos, mas pode ter ignorado o ganho estratégico de longo prazo que ocorreria se o *spoiler* conseguisse radicalizar ou mover a base eleitoral em sua direção.

V. CONCLUSÃO

Avançando em relação às premissas estabelecidas na primeira etapa (POC I), este trabalho ampliou o modelo baseado em agentes (ABM) para integrar a dinâmica de três regimes distintos: *First-Past-the-Post* (FPTP), *Approval Voting* (AV) e Representação Proporcional (PR). Para superar as limitações identificadas no modelo preliminar, incorporou-se maior realismo através de regras de decisão estratégica fundamentadas

na literatura, além de submeter os sistemas a testes envolvendo polarização ideológica.

Os resultados da análise comparativa revelam *trade-offs* fundamentais de desenho institucional. O sistema de Representação Proporcional (PR) destacou-se como o mecanismo mais fiel à diversidade do eleitorado, mantendo a menor distância entre eleitores e o centro de poder, especialmente em cenários polarizados. Contudo, sua estabilidade mostrou-se sensível à cláusula de barreira: níveis baixos conduzem à fragmentação extrema, enquanto o voto estratégico para superar cláusulas de barreira acaba por degradar a qualidade da representação. Por outro lado, os sistemas majoritários tendem à estabilidade, mas impõem custos distintos: o FPTP mostrou-se vulnerável a distorções de representatividade sob alta pressão seletiva, enquanto o AV confirmou-se como uma alternativa robusta para promover candidatos de consenso, apresentando maior diversidade partidária que o FPTP e superior qualidade de representação em cenários de alta estratégia. Adicionalmente, a investigação específica sobre o *Efeito Spoiler* demonstrou dinâmicas opostas de influência: enquanto no sistema proporcional a presença de candidatos radicais tende a aproximar o parlamento de sua direção ideológica, nos sistemas majoritários ela introduz uma volatilidade perigosa, frequentemente resultando na vitória do espectro ideológico oposto.

Ademais, é fundamental reconhecer a principal limitação estrutural deste modelo, que consiste na premissa de preferências eleitorais estáticas. Na realidade, as posições ideológicas dos eleitores são moldadas pelo discurso político e pela atuação dos próprios partidos: fenômeno conceituado como deslocamento da “Janela de Overton”. Essa simplificação impacta diretamente a interpretação dos resultados: enquanto o modelo captura adequadamente os efeitos mecânicos imediatos dos sistemas eleitorais, ele pode subestimar o potencial estratégico de efeitos de longo prazo, como candidatos extremistas radicalizando gradualmente o eleitorado. Essas limitações contextualizam os resultados dentro de um horizonte temporal de curto a médio prazo, onde as preferências fundamentais do eleitorado permanecem relativamente estáveis.

Como trabalhos futuros, sugere-se a incorporação de dinâmica endógena de preferências dos eleitores, permitindo capturar o impacto de longo prazo no discurso político, bem como a validação do modelo com dados de eleições reais para consolidar essa abordagem como ferramenta preditiva.

Em suma, este estudo demonstra que não existe um sistema eleitoral universalmente “ótimo”, mas sim arranjos que priorizam diferentes dimensões da democracia: governabilidade, representatividade ou moderação, dependendo criticamente da cultura estratégica e da coesão social do eleitorado.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Laver and E. Sergenti, *Party competition: An agent-based model*. Princeton University Press, 2011.
- [2] M. Laver, “Policy and the dynamics of political competition,” *American Political Science Review*, vol. 99, pp. 263–281, 2005.
- [3] M. Laver and M. Schilperoord, “Spatial models of political competition with endogenous political parties,” *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 362, pp. 1711–1721, 2007.
- [4] S. Shikano, M. Herrmann, and P. W. Thurner, “Strategic voting under proportional representation: Threshold insurance in german elections,” *West European Politics*, vol. 32, pp. 634–656, 2009.
- [5] J. F. Laslier, “The leader rule: A model of strategic approval voting in a large electorate,” *Journal of Theoretical Politics*, vol. 21, pp. 113–136, 1 2009.
- [6] D. Bernhardt, S. Krasa, and F. Squintani, “Political competition and strategic voting in multi-candidate elections,” 2023.
- [7] W. H. Riker, “The two-party system and duverger’s law: an essay on the history of political science,” *American political science review*, vol. 76, pp. 753–766, 1982.
- [8] R. M. Alvarez, F. J. Boehmke, and J. Nagler, “Strategic voting in british elections,” *Electoral Studies*, vol. 25, pp. 1–19, 2006.
- [9] M. Laakso and R. Taagepera, ““effective” number of parties: a measure with application to west europe,” *Comparative political studies*, vol. 12, pp. 3–27, 1979.