

Efeitos de Estratégias de Distribuição de Recompensas em Coalizões Baseadas em Agentes: Resultados Preliminares

Luís Gustavo Ludescher¹, Jaime Simão Sichman¹

¹Laboratório de Técnicas Inteligentes (LTI)
Escola Politécnica (EP)
Universidade de São Paulo (USP)

{lgledescher, jaime.sichman}@usp.br

Abstract. *In a typical political system in which leaders are responsible for distribution of benefits among people, coalitions are usually formed in which some individuals, seeking to serve their own interests, support the emergence of certain leaders. The purpose of this work is to evaluate the dynamics of coalition formation and distribution of rewards in such a context. Using agent-based simulation, we evaluate a model in which three leader profiles are considered and individuals seek to maximize their earnings either by participating or not in coalitions. The preliminary results indicate that egoist leaders encourage the formation of more coalitions and promote more imbalances.*

Resumo. *Num sistema político típico em que líderes são responsáveis pela distribuição de benefícios à população, geralmente verifica-se a formação de coalizões em que alguns indivíduos, buscando atender a interesses próprios, apoiam a surgimento de certas lideranças. O objetivo deste trabalho é avaliar a dinâmica de formação de coalizões e distribuição de recompensas em tal contexto. Utilizando-se simulação baseada em agentes, avalia-se um modelo no qual são considerados três perfis de líderes e os indivíduos tentam maximizar seus ganhos participando ou não de coalizões. Os resultados, ainda preliminares, indicam que líderes egoístas encorajam a formação de mais coalizões e promovem maiores desequilíbrios.*

1. Introdução

Na versão clássica do *Public Goods Game*, cada indivíduo escolhe secretamente o quanto deseja contribuir para o bem público. O montante coletado é então multiplicado por um fator de ganho (maior do que 1 e menor do que o número total de indivíduos) e distribuído igualmente por toda a população. Evidentemente, do ponto de vista coletivo, o cenário mais favorável é aquele em que todos contribuem o máximo disponível, maximizando o bem coletivo. Entretanto, considerando que o objetivo de cada indivíduo é maximizar o seu próprio ganho e que a escolha de cada um é desconhecida pelos demais, impossibilitando acordos ou retaliações, a melhor estratégia individual é não contribuir com nada, pois quem a adota se beneficia igualmente da partilha do bem público sem precisar oferecer nada em troca. Adicionalmente, experimentos mostram [Fischbacher et al. 2001] que alguns indivíduos ainda cooperam sob determinadas condições e suas decisões sobre contribuir ou não são influenciadas pelas escolhas dos demais, mas um eventual comportamento cooperativo que se apresenta inicialmente tende a declinar ao longo do tempo.

Já num cenário político mais realista, estruturado em torno de um governo central, verifica-se duas distinções fundamentais em relação ao *Public Goods Game*: as contribuições (de parte) dos indivíduos são compulsórias, na forma de impostos; e a distribuição de benefícios (bens, serviços, políticas econômicas, etc) não é necessariamente igualitária, cabendo aos representantes políticos as decisões sobre quais grupos, localidades e interesses devem ser priorizados. Embora tal estrutura, em tese, inviabilize que os indivíduos adotem a estratégia de não contribuição, o fato de a distribuição de benefícios estar a cargo de representantes políticos abre caminho para outro tipo de estratégia: indivíduos podem formar coalizões para apoiar o surgimento de certos líderes com a expectativa de serem recompensados pelo apoio oferecido caso tais líderes sejam escolhidos como representantes políticos. Tal possibilidade pode levar a distorções na maneira como os governos distribuem os benefícios à população [Gilens and Page 2014], fazendo com que apenas determinados grupos tenham suas demandas atendidas.

Este trabalho se propõe a avaliar a dinâmica de formação de coalizões e distribuição de recompensas em um cenário simplificado em que indivíduos tentam maximizar seu próprio ganho, optando por participar ou não de coalizões. Em cada ciclo de simulação, a coalizão vencedora, cujo líder é o responsável pela administração do bem público, emerge a partir do conjunto de coalizões formadas.

2. Coalizões Baseadas em Agentes

Coalizões são formadas quando agentes podem se beneficiar através da cooperação, de modo que um agente pertencente a uma coalizão potencialmente obtenha mais benefícios do que obteria fora dela [Shehory and Kraus 2005]. Portanto, a forma de distribuição dos benefícios é fundamental na estabilidade de uma coalizão: cada membro avalia o benefício recebido e então decide se vale a pena continuar cooperando ou não. A melhor forma conhecida de divisão de benefícios em uma coalizão é o *Shapley Value*: a recompensa de um indivíduo é calculada proporcionalmente a quanto a sua participação agrega ao desempenho do conjunto [Jeong and Shoham 2005]. A rigor, portanto, uma coalizão só se justifica quando o ganho do conjunto supera a soma dos ganhos individuais de seus membros.

Em [Nardin et al. 2014] é apresentado um modelo de coalizão baseada em agentes que ilustra bem sua dinâmica: os agentes, distribuídos em um *grid*, competem individualmente por recompensas e, a cada rodada, avaliam o desempenho de seus vizinhos. Caso um agente identifique um vizinho com melhor desempenho, ele pode decidir participar da coalizão do vizinho (se existir uma) ou formar uma nova coalizão em que o agente de melhor desempenho torna-se o líder. Um líder é responsável por coletar os ganhos de cada membro de sua coalizão e redistribuí-los, cobrando uma taxa por exercer tal papel. Por fim, um membro de uma coalizão deve comparar seus benefícios recebidos com os obtidos por seus vizinhos, podendo abandonar sua coalizão caso a considere desfavorável.

É interessante notar que a determinação de quanto cada membro de uma coalizão agrega ao conjunto é frequentemente subjetiva, bem como a percepção de um membro sobre o quanto ele está sendo recompensado de maneira justa ou não. Portanto, a determinação do *Shapley Value* nem sempre é possível, podendo-se, em cenários mais complexos, fazer apenas estimativas de seu valor. Por exemplo, num caso em que a distribuição de benefícios em uma coalizão seja responsabilidade de um líder e que não

necessariamente haja uma única forma justa (conhecida) de distribuição, cabe ao líder tentar fazê-la de modo a manter certa estabilidade.

Em [Schreiber 2014] é apresentado um modelo baseado em agentes que utiliza o conceito de coalizão para simular a formação de partidos políticos em um cenário simplificado. Neste trabalho, demonstra-se que é possível obter essencialmente os mesmos resultados presentes nos modelos clássicos de dinâmica de partidos utilizando-se apenas um conjunto de regras simples: os agentes, posicionados tanto em cenários unidimensionais quanto bidimensionais, buscam a cada iteração formar coalizões com agentes próximos de posições políticas semelhantes até que suas coalizões consigam maioria; a posição política de uma coalizão a princípio reflete a posição política intermediária entre seus membros, podendo ser alterada conforme agentes entram e saem dela; além disso, coalizões perdedoras podem tentar ajustar suas posições políticas na tentativa de atrair novos membros, bem como membros de coalizões podem deixá-las caso não se considerem mais representados.

3. Modelo

Utilizando-se técnicas de simulação baseada em agentes [Sichman 2015] foi criado e simulado um modelo em que os agentes representam indivíduos de uma sociedade e são interconectados através de uma rede. Cada indivíduo possui inicialmente uma mesma quantia de recursos (capital), parte da qual deve ser utilizada para o pagamento de um imposto fixo (por rodada) e pode também ser utilizada para apoiar (financiar) um líder de coalizão, se for o caso. Tais indivíduos então interagem entre si definindo lideranças e formando coalizões. A cada rodada é eleita uma coalizão vencedora e seu respectivo líder é responsável por redistribuir o total arrecadado via imposto, após multiplicá-lo por um fator de ganho. Ao final de cada rodada, os indivíduos recebem suas recompensas e tomam decisões com base no seu grau de satisfação.

3.1. Cenário

Os agentes são interconectados através de uma rede do tipo livre de escala [Barabási and Bonabeau 2003], na qual a maior parte dos nós têm poucas conexões enquanto alguns outros, denominados *hubs*, acabam concentrando grandes quantidades de conexões. Entre exemplos de redes livre de escala estão as redes de interação entre proteínas e a rede formada pelas linhas de transporte aéreo, além das redes sociais em geral, motivo pelo qual foi selecionado tal tipo de rede para este modelo. Para a formação da rede livre de escala, foi escolhido um método amplamente utilizado baseado no modelo Barabási-Albert [Albert and Barabási 2002].

3.2. Fator de Ganho

Conforme citado anteriormente, o *Public Goods Game* clássico utiliza um fator de ganho que amplifica o total coletado de contribuições, o que foi incorporado neste modelo. Este fator pode ser entendido como um ganho promovido pela cooperação entre indivíduos. Adicionalmente, considera-se que diferentes líderes têm (possivelmente) diferentes aptidões para administrar o bem público, o que é representado no modelo através da atribuição de diferentes fatores de ganho a diferentes indivíduos.

3.3. Perfis

No modelo, um líder possui uma estratégia, que é definida como o quanto ele está disposto a recompensar a sua coalizão em caso de vitória. Tal estratégia é modelada como um fator de recompensa que define o quanto do total da recompensa a ser distribuída o líder oferecerá à sua coalizão. Para efeito comparativo, foram criados três perfis de líder: (i) *egoísta*, que oferece uma fatia maior de recompensa à sua coalizão, e portanto diminuindo a recompensa dos demais membros da população; (ii) *altruísta*, que oferece uma fatia menor de recompensa à sua coalizão, tendendo a uma distribuição mais igualitária; (iii) *intermediário*, cuja estratégia é intermediária entre as duas anteriores.

3.4. Ciclos

Cada ciclo da simulação é composto por 5 etapas:

1. Formação de coalizões;
2. Investimentos nas coalizões;
3. Definição da coalizão vencedora;
4. Atuação do líder escolhido;
5. Avaliação de recompensas.

O pseudo-algoritmo, apresentado no apêndice A, mostra em maiores detalhes o funcionamento da simulação.

3.4.1. Formação de coalizões

Primeiramente, cada indivíduo decide se pretende ou não ser líder. Tal decisão é aleatória e baseada em uma probabilidade parametrizada. Em seguida, com base em uma probabilidade variável, cada indivíduo decide se pretende ou não participar de uma coalizão. Em caso positivo, ele busca o vizinho com maior fator de ganho para formar uma coalizão (ou entrar em uma já formada) e a confiança em seu novo líder é inicializada com um valor padrão.

3.4.2. Investimentos nas coalizões

Membros de coalizões decidem o quanto pretendem investir nas respectivas coalizões. Tal investimento é definido como um percentual do capital que o indivíduo tem disponível.

3.4.3. Definição da coalizão vencedora

A probabilidade de uma coalizão vencer uma rodada é dada pelo total de investimentos que ela recebeu dividido pelo total de investimentos recebidos por todas as coalizões.

3.4.4. Atuação do líder escolhido

Primeiramente, um imposto fixo (parametrizado) é cobrado de todos os indivíduos. Em seguida, o líder da coalizão vencedora amplifica o total arrecadado com seu fator de ganho, gerando um valor de recompensas a ser distribuído. O fator de recompensa da coalizão vencedora é definido pelo perfil do seu líder, bem como a estratégia de distribuição.

Cada membro da coalizão recebe uma recompensa proporcional ao seu investimento; já o restante da população, composta por membros de outras coalizões e indivíduos independentes, recebe um mesmo valor correspondente às recompensas restantes.

3.4.5. Avaliação de recompensas

Cada indivíduo então avalia a recompensa recebida:

1. Membros da coalizão vencedora comparam a recompensa recebida com o investimento acumulado na coalizão. Caso o retorno do investimento tenha sido superior a um limiar parametrizado, a confiança do indivíduo no seu líder aumenta; em caso contrário, ela cai drasticamente, levando-o a provavelmente abandonar a coalizão, se a confiança ficar abaixo de determinado limiar;
2. Membros de outras coalizões (não vencedoras) têm a confiança em seus líderes decrementadas. Caso a confiança de um membro seja inferior a determinado limiar, ele também sai da coalizão;
3. Indivíduos independentes avaliam se a recompensa recebida está acima de certo limiar (parametrizado) de satisfação. Em caso positivo, a probabilidade de o indivíduo querer participar de uma coalizão na rodada seguinte é decrementada, ou incrementada em caso contrário. Além disso, baseado na mesma probabilidade, o indivíduo pode procurar o vizinho que recebeu a maior recompensa e se juntar à sua coalizão, caso esta exista.

4. Experimentos

A simulação foi desenvolvida utilizando-se a ferramenta Repast¹ [North et al. 2013], voltada a simulação baseada em agentes, e a linguagem de programação ReLogo [Ozik et al. 2013].

4.1. Descrição

Os experimentos iniciais foram feitos com o objetivo de comparar os diferentes perfis de líder. Assim, foram realizadas 3 baterias de experimentos, sendo que em cada uma só havia um único perfil de líder. Cada experimento foi configurado com 1000 indivíduos, e consistiu na execução da simulação por 1000 ciclos. Os experimentos foram repetidos 10 vezes, totalizando 30 experimentos. Os resultados apresentados refletem a média, por perfil, dos resultados obtidos.

4.2. Resultados Obtidos

Os resultados obtidos foram analisados sob duas perspectivas distintas, detalhadas nas subseções seguintes: análise de distribuição e análise temporal. Para a análise de distribuição, foram coletados dados pontualmente ao final de cada simulação, mostrando o capital de que cada indivíduo dispunha e quantos membros cada coalizão possuía. Tais dados foram utilizados para verificar respectivamente a distribuição do capital pelos indivíduos e a distribuição do número de membros pelas coalizões. Já no caso da análise temporal, foram coletados os dados ao longo de cada ciclo da simulação, de modo a indicar a evolução temporal dos valores das variáveis, tais como o número de coalizões e o total de investimentos.

¹<https://repast.github.io/>.

4.2.1. Análise de Distribuição

As figuras 1 e 2 mostram, respectivamente, a distribuição do capital e da quantidade de membros por coalizão ao final dos 1000 ciclos de simulação para cada perfil de líder. Pode-se notar que líderes egoístas promovem maior desigualdade na distribuição do capital: a figura 1 aponta dois picos, respectivamente ao redor dos valores 100 e 500, e mostra que há uma grande probabilidade de encontrar indivíduos com capital abaixo de 500. Deste modo, perfis egoístas de líder estimulam a busca dos indivíduos pela participação em coalizões, provocando inclusive a formação de coalizões maiores (contendo em torno de 23 e 33 membros, como mostra a figura 2) que tendem a monopolizar as recompensas, beneficiando continuamente um número restrito de indivíduos. Já no cenário com líderes altruístas, verifica-se uma distribuição mais equilibrada do capital (com grande parte dos indivíduos possuindo capital entre 1000 e 1200, como mostra a figura 1) e pouco incentivo à formação de coalizões que, quando formadas, permanecem pequenas (contendo em torno de 3 membros, como mostra a figura 2) e instáveis.

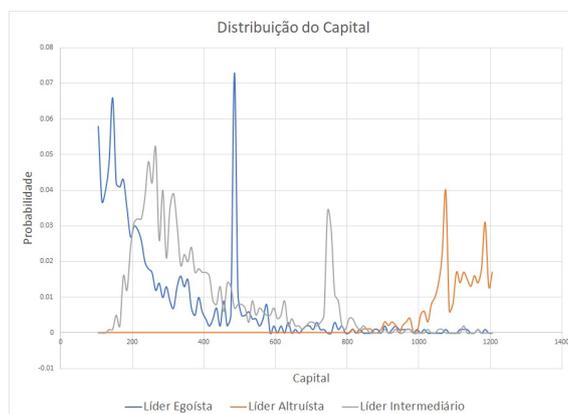


Figura 1. Distribuição do Capital

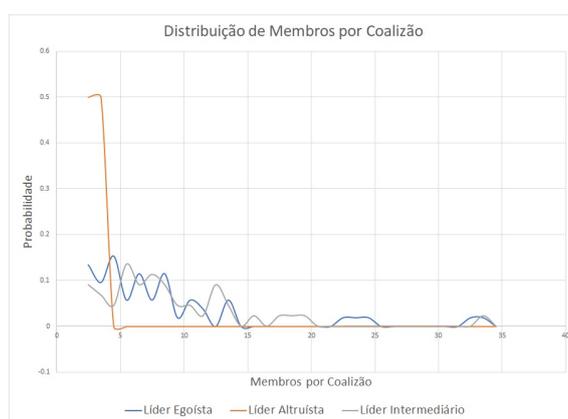


Figura 2. Distribuição de Membros por Coalizão

4.2.2. Análise Temporal

As figuras 3 e 4 apresentam a evolução temporal do número de coalizões e do número total de indivíduos participantes de alguma coalizão ao longo dos ciclos da simulação. Tais

gráficos apresentam dados consistentes em relação à análise anterior: líderes egoístas estimulam a busca pela participação em coalizões enquanto líderes altruístas tornam desinteressante (pouco rentável) investir nelas. Resultado análogo pode ser inferido em relação ao total de investimentos em coalizões ao longo da simulação, exibido na figura 5: líderes egoístas estimulam tais investimentos, enquanto que no caso de líderes altruístas os valores são sensivelmente menores.

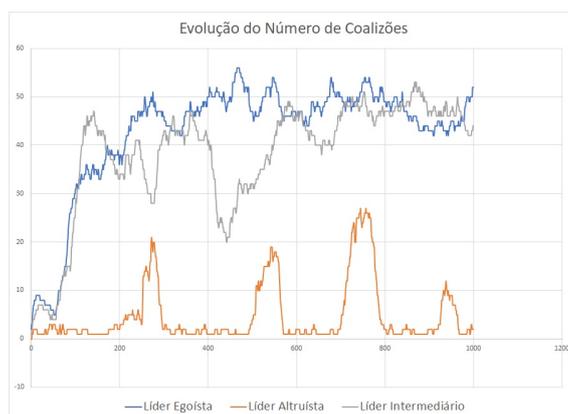


Figura 3. Evolução do Número de Coalizões

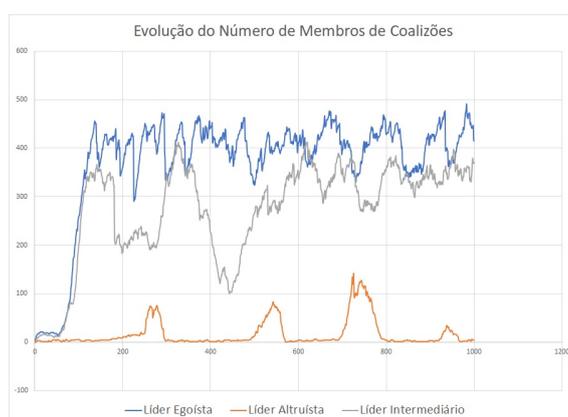


Figura 4. Evolução do Número de Membros de Coalizões

A figura 6 apresenta o total de recompensas distribuídas em cada ciclo da simulação. Pode-se observar que os valores permanecem relativamente estáveis, sendo que as oscilações se devem aos diferentes fatores de ganho dos líderes escolhidos em cada ciclo. Como o objetivo dos experimentos era comparar os diferentes perfis de líder, os indivíduos foram configurados inicialmente com fatores de ganho semelhantes, para que isso não influenciasse a interpretação dos resultados: tal fato explica a relativa estabilidade observada.

Por fim, a figura 7 mostra a evolução do total de capital acumulado por todos os indivíduos ao longo da simulação. É interessante verificar como o desempenho coletivo é favorecido no cenário com líderes altruístas. Isso acontece devido ao fato de poucas coalizões serem formadas e, portanto, os indivíduos quase não investirem parte de seus capitais em coalizões: conseqüentemente, o capital total praticamente só aumenta, de acordo com o fator de ganho dos líderes. Já no cenário com líderes egoístas, parece haver

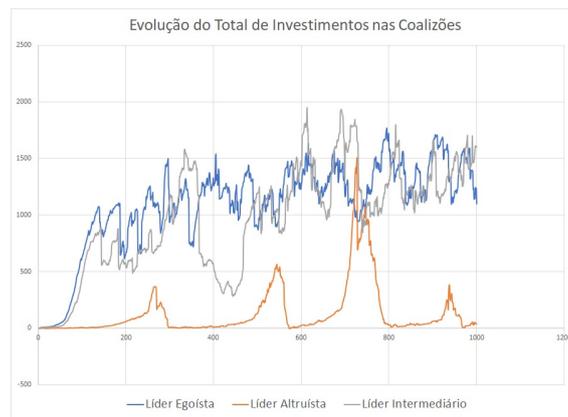


Figura 5. Evolução do Total de Investimentos nas Coalizões

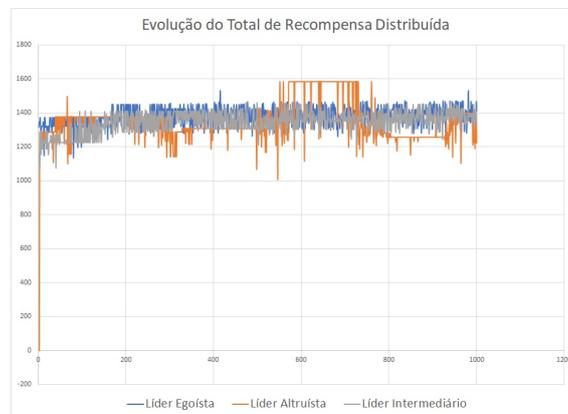


Figura 6. Evolução do Total de Recompensa Distribuída

uma tendência de equilíbrio entre o aumento do capital promovido pelo fator de ganho dos líderes e a perda de capital resultante dos investimentos em coalizões.

5. Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho, ainda que preliminares, mostram que num sistema político típico, em que líderes são responsáveis pela distribuição de benefícios à população e que podem ainda receber investimentos dos indivíduos para que sua coalizão seja vencedora, podem emergir coalizões que comprometam uma distribuição de recompensas mais homogênea, caso não haja mecanismos eficazes de regulação que as evitem. Apesar disso, a presença de líderes altruístas pode minimizar tais distorções por diminuir o incentivo ao investimento em coalizões, e gerando uma distribuição de recompensas mais homogênea.

Nas próximas etapas do trabalho, prevê-se a execução de novos experimentos combinando diferentes perfis de líder em uma mesma simulação, complementando os experimentos já realizados com perfis isolados. Outra ideia é fazer experimentos que envolvam diferentes distribuições de fator de ganho entre os indivíduos, permitindo avaliar as relações entre fator de ganho e perfil de líder. Adicionalmente, o modelo deverá ser aprimorado para incluir também diferentes perfis de indivíduos, com diferentes graus de tolerância e expectativa em relação aos ganhos individuais obtidos. Por exemplo,

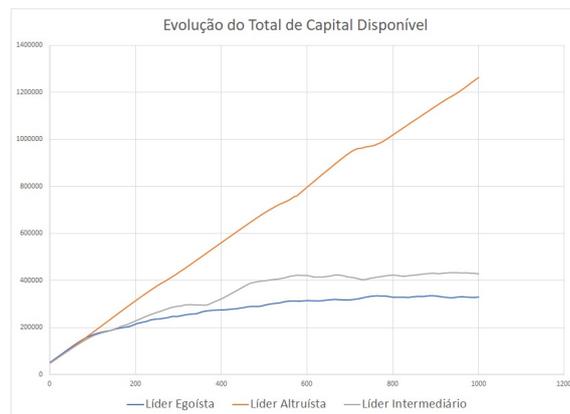


Figura 7. Evolução do Total de Capital Disponível

indivíduos pacientes aceitariam recompensas menores e teriam maior pré-disposição a confiar em líderes, enquanto indivíduos impacientes buscariam maiores ganhos e teriam menos tolerância ao mau desempenho de uma coalizão.

Agradecimentos

Luís Gustavo Ludescher é financiado pelo CNPq, auxílio 132317/2016-8.

Referências

- Albert, R. and Barabási, A.-L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74(1):47–97.
- Barabási, A.-L. and Bonabeau, E. (2003). Scale-free networks. *Scientific American*, 3(1):50–59.
- Fischbacher, U., Gächter, S., and Fehr, E. (2001). Are people conditionally cooperative? Evidence from a public goods experiment. *Economics Letters*.
- Gilens, M. and Page, B. I. (2014). Testing theories of American politics: Elites, interest groups, and average citizens. *Perspectives on Politics*.
- Ieong, S. and Shoham, Y. (2005). Marginal contribution nets: A compact representation scheme for coalitional games. In *Proceedings of the ACM conference on Electronic Commerce*.
- Nardin, L. G., Rosset, L. M., and Sichman, J. S. (2014). Scale and Topology Effects on Agent-Based Simulation.
- North, M. J., Collier, N. T., Ozik, J., Tatara, E. R., Macal, C. M., Bragen, M., and Sydelko, P. (2013). Complex adaptive systems modeling with repast symphony. *Complex adaptive systems modeling*, 1(1):3.
- Ozik, J., Collier, N. T., Murphy, J. T., and North, M. J. (2013). The ReLogo agent-based modeling language. In *2013 Winter Simulations Conference (WSC)*, pages 1560–1568.
- Schreiber, D. (2014). The Emergence of Parties: An Agent-Based Simulation. *Political Research Quarterly*.

Shehory, O. and Kraus, S. (2005). Coalition formation among autonomous agents: Strategies and complexity (preliminary report).

Sichman, J. S. a. (2015). Operationalizing complex systems. In *Modeling complex systems for public policies*, pages 85–123. IPEA.

A. Pseudo-Algoritmo

Algorithm 1 Pseudo-Algoritmo da Simulação

```
1: CriaIndivíduos(n)
2: CriaRedeLivreDeEscala()
3: for Agente a = 1 to n do
4:   InicializaIndivíduo()
5: end for
6: loop
7:   for Agente a = 1 to n do
8:     DecideSePretendeSerLíder(probabilidade)
9:   end for
10:  for Agente a = 1 to n do
11:    if QuerParticiparDeCoalizão(probabilidade) then
12:      vizinho = ProcuraVizinhoComMaiorFatorDeGanho()
13:      if PertenceCoalizão(vizinho) or PretendeSerLíder(vizinho) then
14:        EntraOuFormaCoalizão(vizinho)
15:      end if
16:    end if
17:  end for
18:  for Agente a = 1 to n do
19:    if MembroDeCoalizão() then
20:      InvesteNaCoalizão(%capital)
21:    end if
22:  end for
23:  for Coalizão c = 1 to n do
24:    probabilidadeVitória = Investimento(c) / Investimento(todas as coalizões)
25:  end for
26:  coalizãoVencedora = SeleccionaCoalizãoVencedora()
27:  impostoTotal = 0
28:  for Agente a = 1 to n do
29:    PagaImposto(valor)
30:    impostoTotal = impostoTotal + valor
31:  end for
```

```
32:  for Líder l = Líder(coalیزãoVencedora) do
33:      recompensaTotal = FatorDeGanho(l) * impostoTotal
34:      recompensaCoalیزãoVencedora = FatorDeRecompensa(l) * recompensaTotal
35:      recompensaOutros = recompensaTotal - recompensaCoalیزãoVencedora
36:      for Membro m in Membros(coalیزãoVencedora) do
37:          recompensa = Investimento(m) / Investimento(coalیزãoVencedora) * recom-
           pensaCoalیزãoVencedora {distribui as recompensas proporcionalmente aos investimen-
           tos de cada membro}
38:      end for
39:      númeroOutros = totalPopulação - númeroMembrosCoalیزãoVencedora
40:      for OutrosIndivíduos do
41:          recompensa = recompensaOutros / númeroOutros {o que resta da recompensa
           é igualmente dividido entre os demais indivíduos}
42:      end for
43:  end for
44:  for Agente a = 1 to n do
45:      if Membro(a, coalیزãoVencedora) then
46:          if recompensa / investimentoAcumulado is greater than limiar then
47:              AumentaConfiançaNoLíder()
48:          else
49:              DiminuiConfiançaNoLíder()
50:          end if
51:          if confiançaNoLíder is lower than limiar then
52:              SaiDaCoalیزão()
53:          end if
54:      end if
55:      if Membro(a, outraCoalیزão) then
56:          DecrementaConfiançaNoLíder()
57:          if confiançaNoLíder is lower than limiar then
58:              SaiDaCoalیزão()
59:          end if
60:      end if
61:      if IndivíduoIndependente(a) then
62:          if recompensa / imposto greater than limiarDeSatisfação then
63:              DiminuiProbabilidadeDeParticiparDeCoalیزão()
64:          else
65:              AumentaProbabilidadeDeParticiparDeCoalیزão()
66:          end if
67:          if QuerParticiparDeCoalیزão(probabilidade) then
68:              vizinho = ProcuraVizinhoComMaiorRecompensa()
69:              if Existe(vizinho) and PertenceCoalیزão(vizinho) then
70:                  EntraCoalیزão(vizinho)
71:              end if
72:          end if
73:      end if
74:  end for
75: end loop
```
