

**Éder Milton Schneider**

***Modelo para a Corte Penal Internacional***

Porto Alegre - RS, Brasil,

5 de agosto de 2013.

**Éder Milton Schneider**

***Modelo para a Corte Penal Internacional***

Dissertação apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Física.

Orientador:  
José Roberto Iglesias

UFRGS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA

Porto Alegre - RS, Brasil,  
5 de agosto de 2013.

# *Agradecimentos*

Agradeço...

a minha família querida;

ao Professor José Roberto Iglesias, pela orientação;

aos mestres do IF-UFRGS;

aos colegas;

aos demais amigos.

“Monsters exist, but they are too few in numbers to be truly dangerous. More dangerous are... the functionaries ready to believe and act without asking questions.”

- Primo Michele Levi, sobrevivente do holocausto.

# *Sumário*

**Resumo**

**Abstract**

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	p. 8
<b>2</b>	<b>A Corte Penal Internacional</b>	p. 10
2.1	Lei penal internacional no século XX	p. 10
2.2	Jurisdição da corte	p. 11
2.2.1	Crime de genocídio	p. 12
2.2.2	Crimes contra a humanidade	p. 12
2.2.3	Crimes de guerra	p. 12
2.2.4	Crime de agressão	p. 12
2.3	A corte na atualidade	p. 13
<b>3</b>	<b>Redes complexas</b>	p. 14
3.1	Parâmetros topológicos	p. 14
3.1.1	Mínimo caminho médio e mundos pequenos	p. 15
3.1.2	Grau de conectividade e distribuição de graus	p. 15
3.1.3	Coefficiente de agrupamento	p. 18
3.2	Redes randômicas	p. 19
3.2.1	Algoritmo Erdős-Rényi	p. 19
3.3	Redes complexas	p. 19

3.3.1	Algoritmo W-S para redes mundo pequeno . . . . .	p. 20
3.3.2	Algoritmo Barabási-Albert para redes livre de escala . . . . .	p. 21
<b>4</b>	<b>Descrição do modelo</b>	<b>p. 23</b>
4.1	A estrutura nacional . . . . .	p. 23
4.2	Dinâmica do Sistema . . . . .	p. 24
4.2.1	Dinâmica de contágio . . . . .	p. 25
4.2.2	A ação da corte . . . . .	p. 28
4.3	Condições iniciais . . . . .	p. 29
4.4	Importância de $k_{max}$ e escolha do modelo de rede . . . . .	p. 30
4.5	Temperatura social . . . . .	p. 32
4.5.1	Tamanho da rede e Temperatura T . . . . .	p. 33
4.6	Efeitos da variação de $\alpha$ . . . . .	p. 34
<b>5</b>	<b>Ação da Corte Penal Internacional</b>	<b>p. 35</b>
5.1	Ação da corte e efeitos de $\Delta t$ . . . . .	p. 35
5.2	Ação tardia . . . . .	p. 36
5.2.1	Tamanho da rede e escala temporal . . . . .	p. 37
5.3	Ação por tempo limitado . . . . .	p. 37
5.4	Tribunais nacionais . . . . .	p. 39
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>p. 41</b>
	<b>Referências</b>	<b>p. 44</b>
	<b>Apêndice A: Módulo de variáveis globais e exemplo de programa principal</b>	<b>p. 46</b>
	<b>Apêndice B: Subrotinas em geral</b>	<b>p. 50</b>
	<b>Apêndice C: Gerador da rede scale free</b>	<b>p. 59</b>

# *Resumo*

O presente trabalho discute o papel de instituições internacionais, particularmente a Corte Penal Internacional (CPI) como maneira efetiva de reduzir o número e/ou gravidade de crimes contra a humanidade, crimes de guerra e genocídio. A ação da CPI é direcionada contra líderes, ou seja, autoridades políticas, comandantes de forças armadas, autoridades civis, etc, que autorizam ou promovem estes tipos de crimes. Para simular a ação da CPI são utilizadas redes complexas visando construir uma sociedade hierárquica onde os líderes de maior importância são os de maior conectividade, podendo espalhar seus pontos de vista ou ordens através de uma cadeia de indivíduos progressivamente menos conectados. Desta forma se estes líderes praticam improbidade, corrupção ou qualquer tipo de ação criminosa contra indivíduos ou grupos, é muito difícil e improvável que sejam processados pelas cortes de seu próprio país. Foi para aliviar esta situação, combatendo a impunidade nos altos escalões, que a CPI foi formada. Sua missão é processar e condenar crimes contra a humanidade, crimes de guerra e o crime de genocídio através de uma organização supra-nacional capaz de agir sobre líderes criminosos em qualquer país. No presente estudo a ação da CPI é simulada pela remoção do líder corrupto e substituição do mesmo por uma liderança não criminosa. As práticas criminosas do líder corrupto podem no entanto ter se espalhado entre a população antes da ação da CPI. Neste trabalho procuramos determinar a possibilidade de uma única ação da CPI ser suficiente ou se intervenções futuras são necessárias dependendo do grau de deterioração dos direitos humanos no país hipotético. Os resultados evidenciam o efeito positivo das ações da CPI para uma quantidade relativamente pequena de intervenções. Também comparam-se os efeitos da CPI com as ações do sistema judiciário nacional local, onde os líderes são de certa forma difíceis de processar criminalmente. Resultados mostram evidência de que a impunidade de líderes corruptos prejudica a habilidade das cortes em combater violações dos direitos humanos em toda a sociedade.

# *Abstract*

This work discusses the role of international institutions, like the International Criminal Court (ICC), as an effective way of reducing the number and/or gravity of crimes against humanity, war crimes and genocide. The action of the ICC is directed against leaders, i.e. political authorities, army commanders, civil leaders, etc, that authorize or promote these kinds of crimes. In order to simulate the action of the ICC the framework of scale free networks is used to build a hierarchical society where the most important leaders have the highest connectivity and can spread their points of view, or their orders, through a chain of less but still highly connected deputy chiefs or opinion chieftains. In this way, if they practice misconduct, corruption, or any kind of discriminatory or criminal actions against individuals or groups, it would be very difficult and improbable that they will be prosecuted by the courts of their own country. It is to alleviate this situation and to fight impunity that the ICC was created. Its mission is to process and condemn crimes against humanity, war crimes and the crime of genocide through a supranational organism that can act on criminal leaders in any country. In this study, the action of the ICC is simulated by removing the corrupt leader and replacing it by a "decent" one. However, as the criminal action of the corrupt leader could have spread among the population by the time the ICC acts, we try to determine if a unique action of the ICC is sufficient or if further actions are required, depending on the degree of deterioration of the human rights in the hypothetical country. The results evidence the positive effect of the ICC action with a relatively low number of interventions. The effect of the ICC is also compared with the action of the local national judiciary system, where the leaders are somewhat difficult to process. Results show evidence that the impunity of corrupt leaders hinders the ability of the courts to fight human rights violations on the whole society.



# *1 Introdução*

As atrocidades cometidas nos conflitos do século XX evidenciaram o fato de que certos crimes são tão danosos que cruzam fronteiras nacionais e atingem toda a humanidade. A necessidade de algum tipo de organização permanente capaz de combater esta categoria de crime era sugerida desde o início do século, mas a articulação política necessária percorreu um longo caminho até 1999, quando 120 países se reuniram na conferência de Roma para formular um estatuto prevendo a criação da Corte Penal Internacional (CPI), um organismo jurídico internacional e permanente cujas atribuições seriam investigar e julgar sobre os crimes de genocídio, crimes contra a humanidade e crimes de guerra.

O objetivo do presente trabalho é apresentar um modelo simples que combina redes complexas e uma dinâmica de propagação de comportamento criminoso para simular uma estrutura hierárquica nacional (um país artificial), sob o qual a Corte Penal Internacional age a fim de inibir e reverter a prática criminosa. Pretende-se emular uma das principais práticas da promotoria da CPI: processar os indivíduos de maior responsabilidade na execução dos crimes, bem como comparar diferentes modalidades de ações possíveis, encontrando a mínima força necessária para reverter um cenário criminoso. Por fim se pretende explorar os efeitos que a impunidade de indivíduos influentes tem sobre a propagação do crime.

Uma breve introdução histórica sobre a formação da Corte Penal Internacional é dada no início do *Capítulo 2*, seguida da descrição das atribuições e principais características da corte. A discussão do tema estará limitada a uma visão mais superficial, mas suficiente para o entendimento da CPI como motivadora do modelo apresentado. Discussões jurídicas e políticas mais profundas acerca da nova instituição fogem ao escopo do trabalho.

No *Capítulo 3*, é feita uma rápida discussão sobre o tema das redes complexas que servem, neste trabalho, como substrato para o modelamento das estruturas sociais hierárquicas que representam os países artificiais, discutem-se também alguns algoritmos de geração de redes, incluindo o algoritmo Barabási-Albert, que é utilizado nas simulações numéricas dos modelos.

O *Capítulo 4* inicia descrevendo detalhadamente o modelo que é proposto em duas partes:

a) dinâmica de contágio criminoso; b) ação da CPI. Discutem-se ainda, no mesmo capítulo tópicos pontuais sobre o modelo, como escolha de parâmetros e seus efeitos sobre a dinâmica de contágio, bem como das motivações de certas escolhas no modelamento.

No *Capítulo 5*, são descritos os principais resultados obtidos com o modelo no que se refere à aplicação de ações da Corte Penal Internacional. São apresentadas diferentes modalidades de aplicação da corte e é proposta uma alteração para emular e comparar sistemas judiciários nacionais, para avaliar os efeitos da impunidade.

A metodologia utilizada para obter os resultados numéricos foi o uso de simulações computacionais da estrutura nacional artificial descrita e das ações da corte. O código fonte que implementa o modelo pode ser conferido nos *Apêndices A, B e C*.

## 2 *A Corte Penal Internacional*

A formação da corte é um evento internacional inédito e motiva muita discussão no campo da ciência jurídica (1) (2) (3). Sendo o objetivo deste trabalho um modelo simples que emule o funcionamento da corte, discussões mais avançadas não serão introduzidas. Neste capítulo, será feita uma rápida descrição da instituição da *Corte Penal Internacional* (CPI), suas origens históricas, suas atribuições e modo de operação.

### 2.1 **Lei penal internacional no século XX**

Embora se possa argumentar que os crimes de guerra e contra a humanidade sejam tão antigos quanto a civilização, estas noções não estavam internacionalmente bem definidas e acordadas antes do século XX. Um primeiro esforço de codificação de leis internacionais de guerra na forma de tratado ocorreram nas convenções de Haia de 1899 e 1907, que previam linhas gerais de proteção a populações civis em tempos de conflito. Estes acordos constituíram muito mais uma declaração de intenções do que um mecanismo efetivo para combater as infrações, pois embora definisse e declarasse ilegais os crimes de guerra e contra a humanidade, não previam nem um código de penas, nem um mecanismo internacional capaz de fazer valer o acordado.

Motivado pelo massacre dos armênios e pelos acontecimentos na Europa durante a segunda

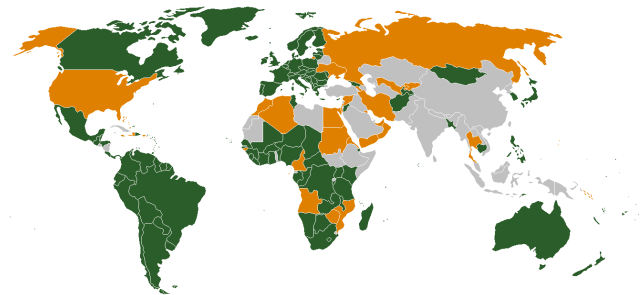


Figura 2.1: Estados membros do estatuto de roma (verde escuro) e estados signatários do estatuto que não se tornaram estados membros (laranja). Fonte (4).

guerra, Raphael Lemkin, em seu trabalho *Axis rule in occupied Europe* (5) (1944), cunhou o termo genocídio para definir uma categoria nova de crime internacional. Durante os tribunais de Nuremberg (1945-1946), o crime de genocídio é citado nos procedimentos, mas as condenações oficiais se referem a crimes de assassinato ou crimes contra humanidade visto que um acordo internacional definindo o crime de genocídio seria alcançado apenas em 1948, com a promulgação da CPPCG (*Convention on the Prevention and Punishment of the Crime of Genocide*). Na mesma ocasião, a assembleia das Nações Unidas reconheceu a necessidade de criação de uma corte internacional permanente capaz de lidar com as atrocidades que haviam sido cometidas.

Estas discussões foram paralisadas durante todo o período da guerra fria, mas foram retomadas, quando, em 1994, a comunidade internacional se viu forçada a abrir tribunais *ad hoc* para julgar crimes de guerra na antiga Iugoslávia e em Ruanda. Em resposta a esta demanda são iniciadas, em 1996, uma série de negociações na confecção de um estatuto para uma corte penal internacional permanente que culminaram com a assinatura do *Estatuto de Roma para a Corte Penal Internacional* (6). Os países que atualmente assinam o tratado podem ser conferidos na *figura 2.1*.

## 2.2 Jurisdição da corte

A CPI tem jurisdição sobre crimes cometidos por estados membros, crimes cometidos no território de estados membros, ou quando um estado não membro concede jurisdição a CPI para julgar alguma violação em seu território. Além disso, o conselho de segurança das nações unidas pode delegar jurisdição especial para a CPI em casos particulares. A atuação da corte é considerada complementar aos tribunais nacionais, agindo apenas de forma a evitar impunidade quando estes falham ou estão impossibilitados de agir. Além disso, é política da promotoria da CPI processar apenas os indivíduos de maior responsabilidade na execução dos crimes, o que não impede processos posteriores contra demais envolvidos executados por outras organizações jurídicas (espera-se que a punição dos principais responsáveis incentive tais investigações).

A CPI age apenas sobre os crimes internacionais de maior seriedade: genocídio, crimes de guerra e crimes contra a humanidade. Em 2017, a jurisdição da corte será ampliada para incluir crimes de agressão. Todos estes crimes estão definidos pelo estatuto de Roma e são descritos a seguir.

### **2.2.1 Crime de genocídio**

Quaisquer atos cometidos com a intenção de erradicar, completamente ou em parte, um grupo nacional, étnico, racial ou religioso. Estes atos incluem assassinato e violência física extrema contra membros do grupo, a imposição de qualquer condição que iniba o nascimento de crianças neste grupo, bem como atos calculados para impor condições de risco de vida e destruir a população.

### **2.2.2 Crimes contra a humanidade**

Crimes contra a humanidade constituem categoria ampla de ações criminosas que podem ser aplicadas contra uma população civil de maneira generalizada ou sistemática. Nesta lista ampla são incluídos assassinatos, extermínio, escravidão, deportar ou expulsar uma população de um território, tortura, estupros ou qualquer outro tipo de violência sexual, aprisionamento, desaparecimento sistemático de pessoas, bem como qualquer crime similar com objetivo deliberado de causar extremo dano físico e/ou mental.

### **2.2.3 Crimes de guerra**

São violações das convenções de Genebra e outros acordos que regulam leis mínimas dos confrontos armados. Estas violações podem ocorrer tanto no conflito entre nações quanto no conflito interno nacional entre grupos armados. As violações previstas incluem assassinatos, tortura e tratamento cruel de prisioneiros, ataques intencionais contra populações civis, pilhagem, estupro e demais formas de violência sexual, ataque a construções dedicadas a arte, religião, educação, ciência ou caridade, ataques a hospitais e monumentos históricos, o recrutamento de crianças ou seu uso ativo em conflitos militares.

### **2.2.4 Crime de agressão**

Constitui um ato de agressão planejado e executado usando a força armada de um país contra a soberania de outro estado. Inclui invasão de território, ocupação militar, anexação por força, bloqueio de portos e costas marítimas.

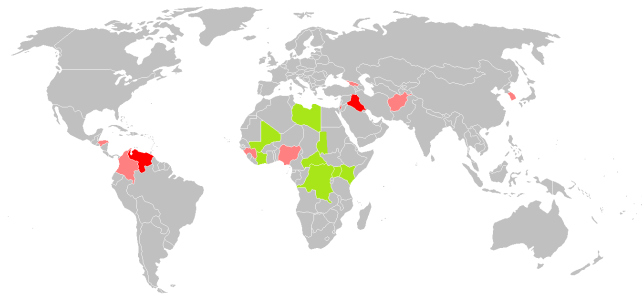


Figura 2.2: *Em verde*: Investigações oficiais em curso (Uganda, República do Congo, República da África Central, Sudão, Quênia, Líbia, República da Costa do Marfim). *Em vermelho claro*: Investigações preliminares em curso (Afeganistão, Colômbia, Etiópia, Geórgia, Guiné, Honduras, Nigéria, Coreia do Sul). *Em vermelho escuro*: Investigações preliminares encerradas (Palestina, Iraque, Venezuela). Fonte (4)

## 2.3 A corte na atualidade

A Corte Penal Internacional é uma organização permanente que pode ser acionada a qualquer momento pela promotoria da corte ou pelo conselho de segurança das Nações Unidas, não sendo, no entanto, parte da ONU. O assento da corte é localizado em Haia, nos Países Baixos, podendo mover julgamentos para outras partes do mundo, se os juízes acharem necessário.

A organização é mantida através de doações de estados membros e depende da cooperação dos mesmos para apreensão de suspeitos e condenados. Até agora, dezoito casos, ligados a oito situações locais, foram trazidos perante a corte, sendo quatro destes movidos a pedido de estados membros (Uganda, República do Congo, República da África Central e Mali), duas encaminhadas pelo Conselho de Segurança das Nações Unidas (Dafur/Sudão e Líbia) e duas foram movidas pelo promotoria da CPI (Quênia e Costa do Marfim). A *figura 2.2* mostra as localizações mundiais de processos e investigações pela CPI. Sendo uma organização relativamente nova, a efetividade da corte em inibir e combater a impunidade dos crimes, previstos em seu estatuto, poderá ser avaliada nos anos vindouros.

## 3 *Redes complexas*

Uma rede pode ser representada matematicamente por um grafo, que consiste de um conjunto de  $N$  pontos (também chamados vértices ou nodos) conectados por retas (também chamadas arestas ou conexões). Uma representação gráfica de um grafo pode ser vista na figura 3.1.

Neste trabalho, são explorados tipos de crime em larga escala que em geral são apenas realizáveis no contexto de uma estrutura grande de agentes. De maneira similar ao crime organizado (7), os crimes de estado precisam ser estudados levando em consideração a rede social em que estão inseridos, sendo a rede um componente do sistema crucial para o entendimento da dinâmica (8). Crime organizado e crime de estado são dois importantes exemplos em uma infinidade de sistemas organizados em forma de rede. Estes sistemas, onde a rede pode desempenhar papel fundamental, são a motivação para uma série de estudos e modelos matemáticos que procuram descrever e explicar o surgimento dessas redes (9). A seguir, serão apresentados, de maneira introdutória, conceitos e modelos associados ao tema das redes complexas, que serão utilizadas neste trabalho como substrato no modelamento de estruturas nacionais.

O tema é muito amplo e muito trabalho neste campo tem sido feito na última década, especialmente devido a facilidade técnica crescente de simulação computacional e processamento de dados, sendo impossível abordar todos os tópicos de relevância para a área no presente trabalho, de forma que a discussão ficará limitada aos tópicos e modelos que foram mais relevantes na elaboração da pesquisa. No final deste capítulo serão vistos alguns destes modelos mas, primeiramente, serão apresentados parâmetros topológicos de interesse que possibilitam a comparação dos modelos teóricos propostos com as redes empíricas.

### 3.1 Parâmetros topológicos

Quando são estudadas redes empíricas, nem sempre é possível conhecer todos os detalhes das estruturas, além disso, quando comparamos diferentes redes, faz-se necessário o uso de

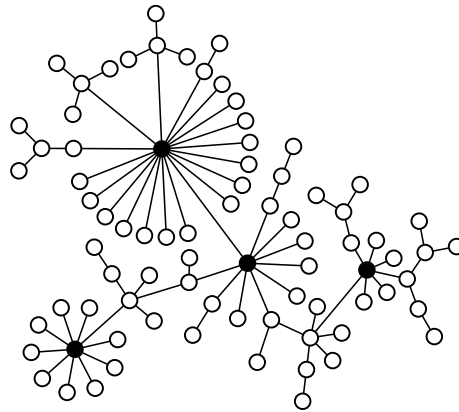


Figura 3.1: Representação gráfica de uma rede, com nodos (círculos) e conexões (linhas)

certos parâmetros quantificáveis que possam ser apurados. Será visto, nas próximas seções, os conceitos de caminho médio, graus de conectividade, distribuição de graus e coeficiente de agrupamento.

### 3.1.1 Mínimo caminho médio e mundos pequenos

Uma trajetória ou caminho entre dois nodos é uma linha imaginária que liga um nodo a outro passando por outros nodos e vértices na rede. Podem existir múltiplas trajetórias entre dois nodos, sendo o tamanho da menor trajetória chamado de distância  $L_{ij}$  entre dois nodos quaisquer ( $i$  e  $j$ ), pode-se definir o mínimo caminho médio  $L$  (ou distância média) entre nodos da rede como  $L = \langle L_{ij} \rangle$ .

Um fenômeno importante que é observado com frequência em redes empíricas é a distância média relativamente curta comparada com o tamanho da rede ( $L \propto \log(N)$ ), um exemplo clássico deste fenômeno é a quantidade relativamente pequena de indivíduos necessários para ligar socialmente dois indivíduos quaisquer do globo. Este importante fenômeno é chamado de pequeno mundo (small world) e constitui uma das características das redes empíricas que os modelos de redes complexas tentam emular.

### 3.1.2 Grau de conectividade e distribuição de graus

A quantidade de conexões associadas a um único nodo é chamado o grau de conectividade  $k$  do nodo. No caso de conexões unidirecionais (que permitam que alguma dinâmica, trajetória ou informação circule em apenas um sentido na conexão), o nodo terá um grau de conectividade



para as conexões de entrada  $k_{in}$  e outro de saída  $k_{out}$ . O grau de conectividade médio  $\langle k \rangle$  da rede é um parâmetro topológico útil quando um sistema empírico é estudado.

Não é necessário que todos os nodos tenham o mesmo grau de conectividade. Um parâmetro importante da rede é sua distribuição de graus  $p(k)$ : a informação de todos os graus presentes na rede associados à frequência com que aparecem (na presença de conexões unidirecionais existem duas distribuições de graus). Distribuição de graus especialmente importantes são as leis de potência (equação 3.1).

$$p(k) \propto k^{-\gamma} \quad (3.1)$$

### Redes livres de escala

Um dos parâmetros topológicos que pode ser levantado no estudo de redes empíricas é justamente a distribuição de graus. O estudo destas redes revela que uma grande quantidade de redes de interesse apresenta uma lei de potência (equação 3.1) como distribuição de graus. O segundo painel da *tabela 3.1* relaciona os expoentes  $\gamma_{in}$  (graus de entrada) e  $\gamma_{out}$  (graus de saída) de diferentes redes de interesse. Leis de potência são observadas em estruturas como a *World Wide Web*, rede de contatos sexuais em um campus, ligações telefônicas, colaboração de atores em filmes, coautoria de artigos acadêmicos, citações a artigos, dentre outras.

Estas redes com distribuições do tipo de lei de potência são chamadas *redes livres de escala* (scale free networks). Muito estudo e modelagem já foram realizados para identificar a origem da aparição deste tipo de distribuição em redes empíricas. Neste capítulo, um desses modelos será apresentado: o algoritmo Barabási-Albert (10) para geração de redes livres de escala, que foi utilizado nas simulações do presente trabalho.

A lei de potência pode ser conferida na *figura 3.2*: enquanto a quantidade de nodos com baixa conectividade é dominante, a cauda longa, à direita da distribuição, prevê a existência de alguns poucos nodos com um grau de conectividade muito grande que são denominados "hubs". Os hubs garantem que a rede terá um mínimo caminho médio  $L$  curto em relação ao tamanho  $N$  e redes livres de escala apresentam o fenômeno de mundo pequeno. Em redes sociais, os hubs representariam indivíduos altamente conectados como, por exemplo, figuras públicas. Já em uma rede de distribuição de energia, subestações seriam os hubs, e assim por diante.

Outra característica notável em redes livres de escala é a resistência a ataques randômicos e a vulnerabilidade a ataques direcionados contra hubs (11). Ataques que desativam nodos ou links randômicos atingirão, em sua maioria, nodos de baixa conectividade, por vezes desconectando-

Tabela 3.1: *Tabela superior:* Características gerais levantadas para diversas redes empíricas, com os argumentos típicos de redes randômicas para comparação. As colunas relacionam o tamanho (*Size*), A conectividade média  $\langle k \rangle$ , O caminho médio  $\ell$  e o coeficiente de agrupamento  $C$ , comparados com os parâmetros  $\ell_{rand}$  e  $C_{rand}$  encontrados em redes randômicas de mesmo tamanho e  $\langle k \rangle$ . *Tabela inferior:* Estão relacionados os expoentes da distribuição de graus  $\gamma_{in}$  (entrada) e  $\gamma_{out}$  (saída) para diferentes redes, tamanho (*Size*), *conectividade média*  $\langle k \rangle$ , *o caminho médio da rede*  $\ell_{real}$  e *o caminho médio previsto para redes randômicas*  $\ell_{rand}$ . *As demais colunas se referem a discussões que não serão aprofundadas no presente texto.*

Network	Size	$\langle k \rangle$	$\ell$	$\ell_{rand}$	$C$	$C_{rand}$	Reference	Nr.
WWW, site level, undir.	153 127	35.21	3.1	3.35	0.1078	0.00023	Adamic, 1999	1
Internet, domain level	3015–6209	3.52–4.11	3.7–3.76	6.36–6.18	0.18–0.3	0.001	Yook <i>et al.</i> , 2001a, Pastor-Satorras <i>et al.</i> , 2001	2
Movie actors	225 226	61	3.65	2.99	0.79	0.00027	Watts and Strogatz, 1998	3
LANL co-authorship	52 909	9.7	5.9	4.79	0.43	$1.8 \times 10^{-4}$	Newman, 2001a, 2001b, 2001c	4
MEDLINE co-authorship	1 520 251	18.1	4.6	4.91	0.066	$1.1 \times 10^{-5}$	Newman, 2001a, 2001b, 2001c	5
SPIRES co-authorship	56 627	173	4.0	2.12	0.726	0.003	Newman, 2001a, 2001b, 2001c	6
NCSTRL co-authorship	11 994	3.59	9.7	7.34	0.496	$3 \times 10^{-4}$	Newman, 2001a, 2001b, 2001c	7
Math. co-authorship	70 975	3.9	9.5	8.2	0.59	$5.4 \times 10^{-5}$	Barabási <i>et al.</i> , 2001	8
Neurosci. co-authorship	209 293	11.5	6	5.01	0.76	$5.5 \times 10^{-5}$	Barabási <i>et al.</i> , 2001	9
<i>E. coli</i> , substrate graph	282	7.35	2.9	3.04	0.32	0.026	Wagner and Fell, 2000	10
<i>E. coli</i> , reaction graph	315	28.3	2.62	1.98	0.59	0.09	Wagner and Fell, 2000	11
Ythan estuary food web	134	8.7	2.43	2.26	0.22	0.06	Montoya and Solé, 2000	12
Silwood Park food web	154	4.75	3.40	3.23	0.15	0.03	Montoya and Solé, 2000	13
Words, co-occurrence	460.902	70.13	2.67	3.03	0.437	0.0001	Ferrer i Cancho and Solé, 2001	14
Words, synonyms	22 311	13.48	4.5	3.84	0.7	0.0006	Yook <i>et al.</i> , 2001b	15
Power grid	4941	2.67	18.7	12.4	0.08	0.005	Watts and Strogatz, 1998	16
<i>C. Elegans</i>	282	14	2.65	2.25	0.28	0.05	Watts and Strogatz, 1998	17

Network	Size	$\langle k \rangle$	$\kappa$	$\gamma_{out}$	$\gamma_{in}$	$\ell_{real}$	$\ell_{rand}$	$\ell_{pow}$	Reference
WWW	325 729	4.51	900	2.45	2.1	11.2	8.32	4.77	Albert, Jeong, and Barabási 1999
WWW	$4 \times 10^7$	7		2.38	2.1				Kumar <i>et al.</i> , 1999
WWW	$2 \times 10^8$	7.5	4000	2.72	2.1	16	8.85	7.61	Broder <i>et al.</i> , 2000
WWW, site	260 000				1.94				Huberman and Adamic, 2000
Internet, domain*	3015–4389	3.42–3.76	30–40	2.1–2.2	2.1–2.2	4	6.3	5.2	Faloutsos, 1999
Internet, router*	3888	2.57	30	2.48	2.48	12.15	8.75	7.67	Faloutsos, 1999
Internet, router*	150 000	2.66	60	2.4	2.4	11	12.8	7.47	Govindan, 2000
Movie actors*	212 250	28.78	900	2.3	2.3	4.54	3.65	4.01	Barabási and Albert, 1999
Co-authors, SPIRES*	56 627	173	1100	1.2	1.2	4	2.12	1.95	Newman, 2001b
Co-authors, neuro.*	209 293	11.54	400	2.1	2.1	6	5.01	3.86	Barabási <i>et al.</i> , 2001
Co-authors, math.*	70 975	3.9	120	2.5	2.5	9.5	8.2	6.53	Barabási <i>et al.</i> , 2001
Sexual contacts*	2810			3.4	3.4				Liljeros <i>et al.</i> , 2001
Metabolic, <i>E. coli</i>	778	7.4	110	2.2	2.2	3.2	3.32	2.89	Jeong <i>et al.</i> , 2000
Protein, <i>S. cerev.</i> *	1870	2.39		2.4	2.4				Jeong, Mason, <i>et al.</i> , 2001
Ythan estuary*	134	8.7	35	1.05	1.05	2.43	2.26	1.71	Montoya and Solé, 2000
Silwood Park*	154	4.75	27	1.13	1.13	3.4	3.23	2	Montoya and Solé, 2000
Citation	783 339	8.57			3				Redner, 1998
Phone call	$53 \times 10^6$	3.16		2.1	2.1				Aiello <i>et al.</i> , 2000
Words, co-occurrence*	460 902	70.13		2.7	2.7				Ferrer i Cancho and Solé, 2001
Words, synonyms*	22 311	13.48		2.8	2.8				Yook <i>et al.</i> , 2001b

Fonte: Albert e Barabási (9)

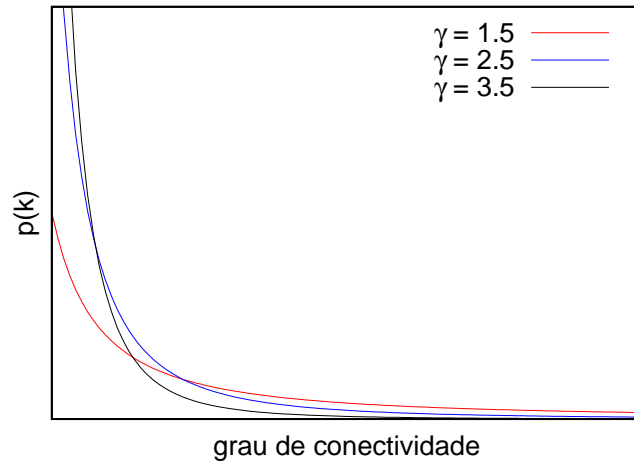


Figura 3.2: Distribuição na forma de lei de potência para diferentes valores de  $\gamma$

os da rede, mas sem reduzir o caminho médio na rede, de maneira notável. Ataques aos nodos mais conectados, no entanto, rapidamente aumentam o caminho médio e separam a rede em clusters menores. Um exemplo deste fenômeno são as redes de distribuição de energia, onde falhas e rupturas randômicas ocorrem o tempo todo, sem derrubar a totalidade do sistema, enquanto ataques direcionados podem colocar o sistema em colapso. A fragilidade das redes livres de escala a ataques nos hubs é relevante no presente trabalho, o que é discutido na seção 4.2.2.

### 3.1.3 Coeficiente de agrupamento

Uma característica notável das redes empíricas é a formação de subgrupos interconectados. Exemplos desses grupos em uma rede social são famílias, ambientes de trabalho ou grupos de amigos, onde os vizinhos conectados a um nodo estão em geral também conectados entre si, formando um triângulo entre três nodos na rede. O coeficiente de agrupamento (*clustering*) é uma maneira de quantificar esta formação de grupos e existem múltiplas maneiras de realizar essa quantificação. A que é apresentada aqui favorece a implementação computacional.

Inicialmente, são computados os coeficientes  $C_i$  (equação 3.2) de todos os  $N$  nodos da rede: dado um nodo  $i$  com conectividade  $k_i$ , são contados os  $E_i$  links existentes entre seus  $k_i$  vizinhos, que são comparados com os  $2/(K_i(K_i - 1))$  links que existiriam se todos os vizinhos estivessem conectados. O coeficiente de agrupamento da rede  $C$  é a média de todos os coeficientes  $C_i$  da rede.

$$C_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i - 1)} \quad (3.2)$$

O coeficiente de agrupamento pode variar entre zero (nenhum agrupamento) a um (máximo agrupamento). A coluna  $C$  do painel superior, da tabela 3.1, relaciona os coeficientes de agrupamento de redes empíricas de interesse, onde é possível notar uma tendência a coeficientes de agrupamento altos.

## 3.2 Redes randômicas

Estando tantos sistemas de interesse construídos no contexto de redes, é de interesse investigar modelos capazes de reproduzir as características topológicas principais das mesmas. Trata-se de um esforço em explicar o porquê do surgimento destes parâmetros e também em construir modelos aplicáveis como substrato no entendimento de sistemas empíricos.

Uma primeira tentativa em modelar sistemas em rede, que é didática e serve de base para comparações, é o uso de redes randômicas, onde um grupo de  $N$  nodos é conectado por  $\langle k \rangle$   $N/2$  conexões randomicamente dispostas. Um modelo para a geração de redes deste tipo é o algoritmo de Érdős-Rényi (12), para geração de redes randômicas

### 3.2.1 Algoritmo Erdős-Rényi

O algoritmo parte de  $N$  nodos inicialmente desconectados. A partir disso, existe uma probabilidade  $p$ , de que um par qualquer de nodos sejam conectados. Testam-se todas as combinações possíveis de pares, resultando em uma rede randômica, com  $\langle k \rangle \approx pN$  e que apresenta o fenômeno de pequeno mundo, mesmo para um valor pequeno de  $p$ . A distribuição de graus não corresponde a uma lei de potência e, visto que a probabilidade de nodos quaisquer estarem conectados é igual a  $p$ , o coeficiente de agrupamento tende a  $C \approx p$ . O painel superior da tabela 3.1 relaciona o coeficiente  $C_{rand}$  de uma rede aleatória de  $\langle k \rangle$ , equivalente a algumas redes de interesse, é possível perceber que o coeficiente de agrupamento das redes é muito maior do que o das redes randômicas equivalentes.

## 3.3 Redes complexas

Claramente as redes de interesse não podem ser randômicas, seus parâmetros topológicos devem surgir de algum tipo de ordenamento proveniente ou de sua formação, ou de suas dinâmicas. Esta constatação motivou muitos estudos no esforço de levantar os parâmetros de redes empíricas e em construir modelos capazes de reproduzi-los. Essas são as chamadas redes

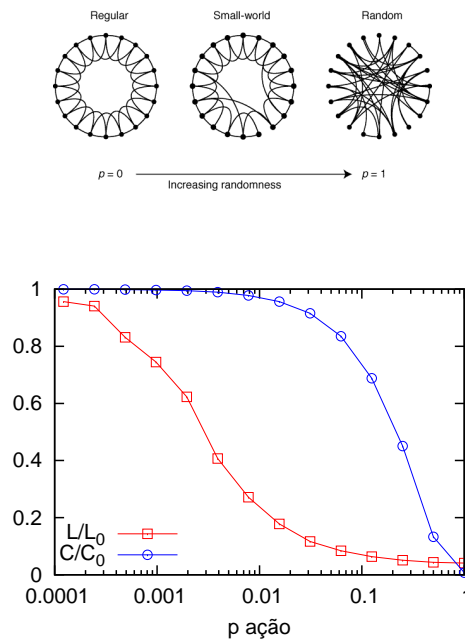


Figura 3.3: Algoritmo W-S. *Painel superior*: processo de randomização entre os limites da rede ordenada e uma rede randômica (fonte Watts e Strogatz (13)). *Painel inferior*: efeitos da randomização sobre os parâmetros  $L$  e  $C$  em termos dos valores iniciais  $L_0$  e  $C_0$ .

complexas. Nesta seção serão descritos dois modelos simples e ilustrativos: o algoritmo Watts-Strogatz (13), para geração de redes mundo pequeno, e o algoritmo Albert-Barabási (10), para geração de redes livres de escala.

### 3.3.1 Algoritmo W-S para redes mundo pequeno

O algoritmo W-S parte de uma rede ordenada com alto coeficiente de agrupamento  $C$  e caminho médio  $L$  elevado, inserindo um certo grau de desordem na mesma:

- Parte-se de uma rede ordenada circular, onde cada nodo está conectado com seus  $K$  (par) primeiros vizinhos, se  $K \geq 2$ , a rede inicial apresenta um coeficiente de agrupamento não nulo  $C_0$  igual à equação 3.3. O caminho médio  $L_0$ , no entanto, é elevado, pois a rota para percorrer a circunferência deve passar por uma fração considerável de  $N$ .

$$C_0 = \frac{3(K-2)}{4(K-1)} \quad (3.3)$$

- Um certo grau de desordem é inserido, existindo uma probabilidade  $p$  de que cada uma das conexões da rede seja redirecionada aleatoriamente (painel superior da figura 3.3).

O parâmetro  $p$  é decisivo no resultado obtido: no limite  $p \rightarrow 0$ , a rede ordenada permanece inalterada com  $C = C_0$  e  $L = L_0$ . Já no limite  $p \rightarrow 1$ , a rede coincide com uma rede randômica com  $L \ll L_0$  e  $C \ll C_0$ . Esta transição dos parâmetros  $L$  e  $C$ , em função de  $p$ , é demonstrada no painel inferior da *figura 3.3*. Para valores intermediários de  $p$ , existe uma região de interesse onde o agrupamento ainda é alto, pois o ordenamento da rede é pouco perturbado por um  $p$  baixo, mas o caminho médio é curto (pequeno mundo) devido a ligações entre pontos aleatórios da circunferência.

A distribuição de graus, no entanto, não corresponde a uma lei de potência, ela parte de uma delta de Dirac centrada em  $K$  da rede ordenada, e torna-se uma distribuição de Poisson no limite  $p = 1$ . Nessa região intermediária, o modelo W-S reproduz, portanto, dois parâmetros topológicos interessantes das redes empíricas, mas não reproduz outros.

Outra limitação é a impossibilidade de crescimento da rede durante a dinâmica. O algoritmo W-S pode ser aplicado com outras formas de rede ordenada, com efeitos qualitativamente similares.

### 3.3.2 Algoritmo Barabási-Albert para redes livre de escala

Esse algoritmo engenhoso utiliza dois fenômenos presentes em uma série de sistemas de interesse: crescimento e ligação preferencial, para gerar redes livres de escala. O algoritmo consiste na aplicação dos seguintes passos:

- O algoritmo parte de  $m_0$  nodos iniciais completamente conectados entre si;
- Seguem  $N - m_0$  passos de crescimento que consistem na adição de um nodo à rede;
- O nodo adicionado é conectado a  $m$  nodos pré-existentes (com  $m < m_0$ ), essas conexões ocorrem preferencialmente aos nodos de maior grau de conectividade. A probabilidade de conexão a um nodo  $i$  de conectividade  $k_i$  é dada pela equação 3.4, e a soma sobre  $j$  é feita sobre o grau de conectividade de todos os nodos da rede.

$$p_j = \frac{k_j}{\sum_j k_j} \quad (3.4)$$

À medida que a rede cresce, a distribuição de graus se encaminha para uma lei de potência de expoente  $\gamma \approx 3$ , com caminho médio  $L$  curto característico de pequenos mundos, mas com um coeficiente de agrupamento  $C$  muito inferior ao observado no algoritmo W-S. No presente

trabalho, redes livres de escala são utilizados como substrato para a implementação do modelo, e o algoritmo B-A é utilizado para gerar as redes livre de escala.

Os motivos do uso de uma rede livre de escala e os parâmetros do algoritmo B-A utilizados serão discutidos no capítulo 4, com maior detalhe.

## 4 *Descrição do modelo*

O objetivo deste capítulo é descrever detalhadamente o modelo idealizado para simular a ação da Corte Penal Internacional, justificando as escolhas feitas na idealização. O capítulo será concluído com uma discussão estendida sobre alguns tópicos que concernem o entendimento da dinâmica proposta: como o efeito de condições iniciais especiais e da escolha de parâmetros de ajuste. O código fonte em linguagem *Fortran* que implementa o modelo pode ser conferido nos *Apêndices A, B e C*

Os crimes de jurisdição da CPI são crimes de escala e impacto internacionais, envolvendo uma rede grande de responsáveis diretos e indiretos. Uma das principais características da organização que se pretende simular é a política de agir diretamente sobre os indivíduos de maior responsabilidade dentro da estrutura criminosa. Procura-se então modelar uma rede social estruturada composta de agentes interligados, onde de alguma forma a influência e responsabilidade dos indivíduos sejam contempladas e matematicamente representáveis.

Esta estrutura, dentro do contexto da CPI, pode estar associada a uma nação ou outra organização em larga escala capaz de perpetrar o tipo de crime que é da alçada da corte, composta por agentes distribuídos de forma a constituir uma estrutura hierarquizada, onde a influência dos agentes deve desempenhar algum papel fundamental na responsabilidade sobre a criminalidade dentro da dinâmica do modelo. O modelo deve ainda prever a existência de criminosos e inocentes, significando sua imputabilidade penal frente aos procedimentos da CPI. Por fim, a CPI é uma organização internacional externa à estrutura nacional, que deve ser modelada agindo sobre os criminosos mais influentes. Redes complexas, estudadas no capítulo 3, podem ser utilizadas para representar redes sociais (14) e estruturas hierárquicas (15) (16).

### 4.1 **A estrutura nacional**

O modelo é constituído por  $N$  agentes organizados no contexto de uma rede complexa livre de escala gerada, utilizando o modelo Barabási-Albert (descrito na seção 3.3.2), onde os agentes



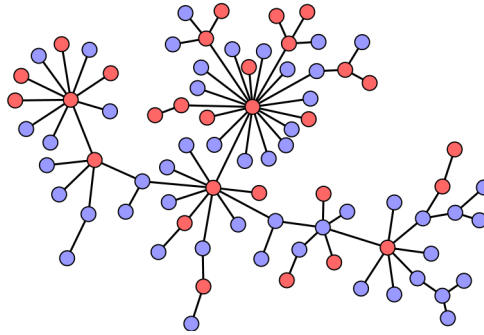


Figura 4.1: Representação gráfica de uma estrutura nacional com  $N = 80$ , agentes em vermelho são os maus ( $\sigma = -1$ ) e agentes em azul são os bons ( $\sigma = +1$ ). A máxima conectividade é  $k_{max} = 19$

são os nodos da rede e as conexões descrevem a estrutura social relevante para a dinâmica. Uma representação gráfica desta estrutura pode ser conferida na *figura 4.1*.

Considera-se que existe uma correspondência entre a influência dos agentes na rede com o grau de conectividade  $k$  dos nodos, sendo o agente com maior grau de conectividade ( $k = k_{max}$ ) o mais influente e sendo a influência de um dado agente qualquer  $i$  de conectividade  $k_i$  proporcional à razão  $k_i/k_{max}$ . Esta razão varia entre  $k_{min}/k_{max}$  e a unidade.

Cada agente possui ainda uma variável escalar dinâmica  $\sigma(t)$  associada ao seu comportamento moral. Supomos, por simplicidade, que esta variável pode assumir um de dois valores  $\sigma = \{-1; +1\}$ . Agentes com  $\sigma = -1$  correspondem aos membros criminosos da estrutura que serão frequentemente referidos como agentes “maus”, enquanto aqueles com  $\sigma = +1$  correspondem aos agentes “bons” (não criminosos).  $\sigma(t)$  é uma variável dinâmica, pois o comportamento pode ser modificado por mecanismos de evolução temporal, que são descritos a seguir.

## 4.2 Dinâmica do Sistema

É proposta uma dinâmica em duas partes: a primeira, chamada *dinâmica de contágio*, descreve a forma pela qual o comportamento criminoso evolui dentro da estrutura quando não existe interferência externa. A segunda parte da dinâmica é chamada *ação da corte* e representa um mecanismo externo e independente da estrutura nacional, que pode eventualmente agir sobre a população criminoso. A seguir estas duas partes da dinâmica são descritas em detalhe.

### 4.2.1 Dinâmica de contágio

É proposta uma dinâmica baseada em agentes, que podem modificar seus comportamentos devido a interação com o restante da estrutura. A evolução temporal é dividida em  $t$  passos discretos, a cada passo um agente  $i$  é aleatoriamente escolhido como candidato ao contágio e pode ou não modificar sua disposição de acordo com três fatores avaliados a partir da posição deste agente:

- Sua determinação pessoal e persistência em manter seu comportamento atual;
- A influência da vizinhança local sobre o candidato;
- A influência global do comportamento médio da estrutura nacional.

Cada um destes três fatores é quantificado e uma composição dos três irá influenciar na eventual mudança do comportamento do agente, a forma de quantificação dos fatores e sua composição em um fator de mudança de comportamento é explicada a seguir.

#### Nível individual

Cada agente apresenta uma certa tendência a manter seu comportamento  $\sigma(t)$  inalterado, esta tendência pode ser devida à inflexibilidade, convicções, costumes ou acomodação. Supõe-se que indivíduos mais conectados são mais influentes e portanto menos susceptíveis a outras opiniões. Eles vão sustentar a opinião própria e tentar mudar a dos outros. Define-se matematicamente o peso da opinião própria  $W_i^1$  de um dado agente  $i$  e disposição  $\sigma_i$ , como descrito na equação 4.1.

$$W_i^1 = \sigma_i \frac{k_i}{k_{max}} \quad (4.1)$$

$W_i^1$  é proporcional à conectividade  $k_i$  e varia em valor numérico entre  $-1$  e  $+1$ , sendo o módulo unitário característico do agente mais influente, enquanto para indivíduos pouco conectados,  $W_i^1$  assume valores mais próximos a zero (devido a razão  $k_i/k_{max}$  correspondente à influência).

#### Influência dos vizinhos

O contágio de comportamentos ocorre através da interação do candidato com os agentes mais próximos na estrutura, sendo razoável supor que as interações mais importantes têm ori-

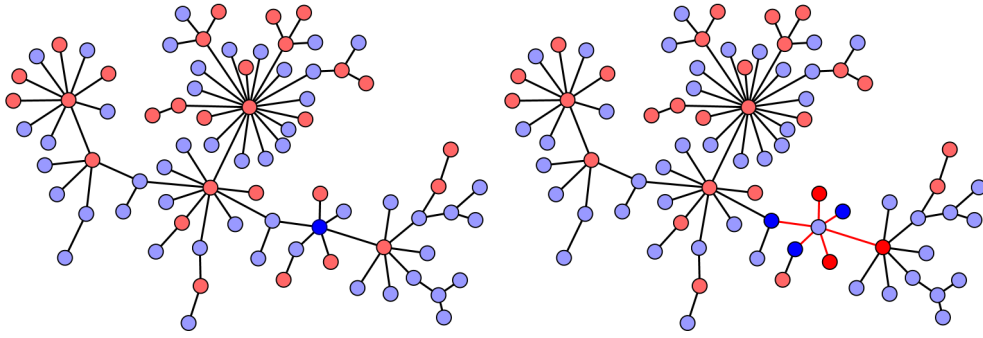


Figura 4.2: Exemplo prático do cálculo dos fatores  $W_i^j$ , utilizando a rede exemplo da figura 4.1. *Painel esquerdo*: o candidato ao contágio é o agente bom destacado com azul escuro, sua conectividade é  $k = 6$  e  $W_j^1 = +6/19 \approx 0.316$ . *Painel direito*: a média dos seis vizinhos (em destaque) do nodo selecionado resultam em  $W_j^2 = 1/6(+3+2-1-7+1-1)/19 \approx -0.026$ . Embora a quantidade de vizinhos de cada comportamento seja equilibrada, o resultado é negativo, isso ocorre porque um dos vizinhos maus tem conectividade mais alta.

gem em sua vizinhança imediata na rede. Matematicamente, define-se a influência local  $W_i^2$  sobre um agente  $i$  como sendo a média dos pesos individuais  $W_j^1$  dos  $k_i$  primeiros vizinhos na rede (equação 4.2).

$$W_j^2 = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} W_j^1 = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} \sigma_j \frac{k_j}{k_{max}} \quad (4.2)$$

Novamente a contribuição de cada vizinho ao total é proporcional a sua conectividade. Este é o detalhe matemático que incorpora à dinâmica uma de suas características mais cruciais: a responsabilidade dos indivíduos de maior conectividade na propagação de dado comportamento. Como  $W_j^2$  é uma média entre índices que variam entre  $-1$  e  $+1$ , deve variar também entre estes valores, sendo valores próximos a zero resultado de uma neutralidade local.

### Influência global

O terceiro fator a ser considerado é o efeito do estado global da população sobre o candidato ao contágio. Tomando-se a média  $\langle \sigma \rangle$  de toda a estrutura como um indicador macroscópico do estado de uma população, a influência global  $W_i^3$  é definida pela equação 4.3.

$$W_i^3 = \langle \sigma \rangle = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sigma_j \quad (4.3)$$

A média sobre todos os  $\sigma_j(t)$  da rede chamou-se de *index moral*, variando de  $-1$  a  $+1$ , e assumindo valores próximos a zero quando existe equilíbrio entre os comportamentos.

## Fator de mudança

Como mencionado anteriormente, a cada passo da dinâmica um agente  $i$  é randomicamente selecionado como candidato à dinâmica, uma vez avaliados os três fatores  $W_i^j$ , esses compõem um único *fator de mudança*  $r_i$ , que quantifica a tendência à mudança de opinião do candidato. A composição de  $r_i$  poderia, por exemplo, ser a média simples dos fatores  $W_j^i$ . Optou-se, no entanto, por uma composição onde os fatores dependentes da rede ( $W_i^1$  e  $W_i^2$ ) têm pesos iguais, enquanto um parâmetro  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) regula a contribuição do fator global  $W_j^3$ . A forma escolhida para  $r_i$  é descrita pela equação 4.4

$$r_i = \frac{1}{2}(1 - \alpha)(W_i^1 + W_i^2) + \alpha W_i^3 \quad (4.4)$$

Tipicamente,  $\alpha$  será um valor pequeno, de forma que as contribuições dependentes da topologia da rede sejam relevantes. Os efeitos da variação de  $\alpha$  são discutidos na seção 4.6. A composição de  $r_i$  para os valores possíveis de  $\alpha$  resulta em limites  $-1 \leq r_j \leq +1$ . A interpretação de  $r_i$  é de que um valor negativo representa uma tendência do agente selecionado em modificar (ou manter) seu comportamento para  $\sigma_i(t) \rightarrow -1$ , enquanto que valores positivos representam à tendência  $\sigma(t) \rightarrow +1$ . Uma opção determinística seria definir que o candidato ao contágio assumiria (ou manteria) o estado correspondente à tendência. Optou-se, no entanto, pela adoção de uma função de probabilidade de transição  $p_i(r_i)$  (equação 4.5) que associe uma probabilidade do agente  $i$  assumir o comportamento  $\sigma_i = +1$  ao fator de mudança  $r_i$ .

$$p_i = (e^{\frac{-r_i}{T}} + 1)^{-1} \quad (4.5)$$

A função  $p_j$  depende de um parâmetro  $T$ , e é similar em forma a uma distribuição de Fermi-Dirac onde, para valores muito pequenos de  $T$ , a função assume a forma de um degrau, que é suavizado para valores maiores de  $T$ , como demonstrado na figura 4.3.

A inclusão do parâmetro  $T$  permite certo controle do componente aleatório na mudança de comportamentos, e é denominada neste trabalho como sendo uma "temperatura social" da população. Sua origem pode ser uma certa alienação da população, uma confusão dos agentes sobre o estado da rede ou então fatores psicológicos imprevisíveis nos agentes ou em seus ambientes e relações. A variação e escolha do parâmetro  $T$  é discutida em detalhe na seção 4.5.

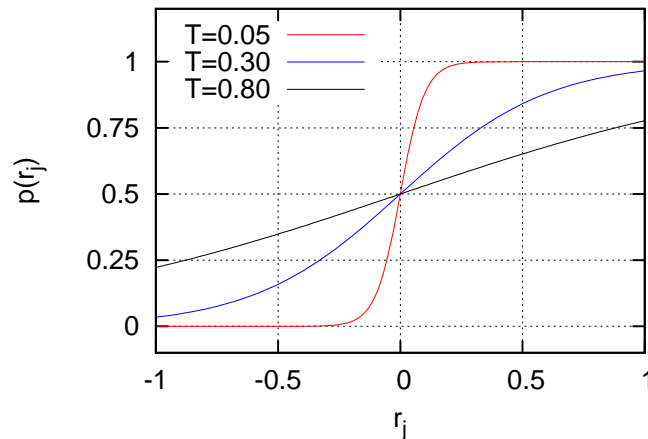


Figura 4.3: Função  $p(r_j)$  para alguns valores selecionados de  $T$ . A função se comporta como um degrau suavizado pelo aumento do parâmetro  $T$ .

#### 4.2.2 A ação da corte

Pode-se resumir brevemente à dinâmica de contágio previamente descrita:

- Os agentes são inicialmente distribuídos em uma rede livre de escala, e os valores iniciais de  $\sigma_i(0)$  são designados para cada agente (condições iniciais são discutidas na seção 4.6);
- A cada passo  $t > 0$ , um agente  $i$  é escolhido aleatoriamente como candidato ao contágio;
- Os fatores  $W_i^j$  e  $r_j$  são avaliados para  $i$ , que toma (ou mantém) o comportamento  $\sigma_i = +1$  com probabilidade  $p_i(r_i)$ .
- O sistema evolui por  $M$  passos e o index moral  $\langle \sigma \rangle$  evolui como resultado das sequenciais dinâmicas locais.

Esses passos correspondem à dinâmica de propagação da criminalidade inerente à estrutura nacional, na ausência da CPI. Na verdade esta parte da dinâmica é, em termos mais gerais, um modelo de propagação de opiniões/comportamentos concorrentes, que poderia ser adaptada para outros sistemas onde o grau de conectividade esteja de alguma forma associado à influência na propagação das opiniões / comportamentos. Uma segunda parte da dinâmica se refere à ação da corte penal internacional.

No capítulo 5, formas modificadas de atuação da corte serão discutidas mas, de maneira básica, a corte age sobre o indivíduo criminoso de maior influência, imitando a política da promotoria da CPI de processar os indivíduos de maior responsabilidade na rede criminosa. Isto

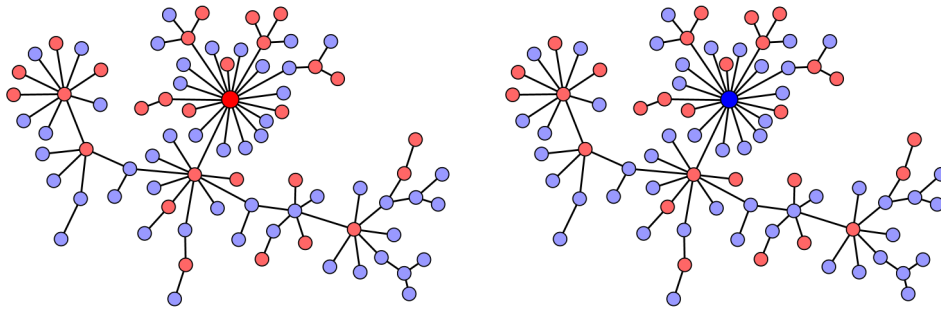


Figura 4.4: Ação da corte na rede exemplo, o agente criminoso mais conectado é também o maior hub da rede (em destaque no painel esquerdo), o agente criminoso é substituído por um agente bom (destaque no painel direito).

corresponde a identificar o nodo de maior conectividade de disposição  $\sigma_i(t) = -1$  e reverter o nodo para o estado  $\sigma_i(t) = +1$ . Esta ação seria equivalente a remover o criminoso de sua posição de influência, e substituí-lo por um agente não criminoso com as mesmas conexões (ocupando talvez o mesmo cargo). Ações sequenciais são separadas por um intervalo  $\Delta t$  de passos. Este procedimento é ilustrado na *figura 4.4*.

A estrutura da rede permanece inalterada, mas o agente que ocupa a posição do criminoso processado passa a ser um agente bom, que passa a integrar a dinâmica de contágio e pode influenciar vizinhos (ou por eles ser influenciado e tornar-se criminoso). Foram cogitadas inicialmente outras formas de ação da corte envolvendo remoção dos nodos, no entanto tal prática modificaria radicalmente os parâmetros da rede durante a dinâmica, acrescentando uma série de complicações na análise. Além disso a remoção dos agentes mais conectados rapidamente separaria a estrutura nacional em clusters menores e desconectados, devido a fragilidade das redes livres de escala aos ataques em hubs.

### 4.3 Condições iniciais

Sob condições iniciais randômicas, o comportamento mais numeroso tende a dominar a minoria por contágio. Mesmo em situações de equilíbrio inicial, flutuações randômicas e disposições aleatórias da rede tendem a fazer com que a rede termine com um comportamento dominante. Foi de interesse procurar algum tipo de disposição inicial de agentes capaz de modificar este comportamento, tal que uma minoria estrategicamente posicionada pudesse sobreviver ou mesmo prosperar na dinâmica. Uma condição desse tipo, que é amplamente utilizada nos testes com o modelo, é a condição inicial do tipo *líderes maus*.

A condição inicial consiste em distribuir apenas uma pequena fração de agentes maus, mas

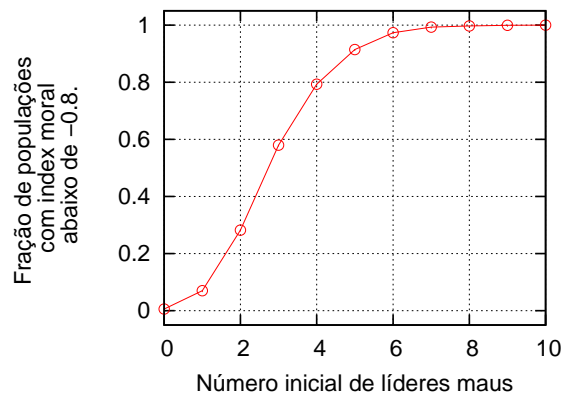


Figura 4.5: Fração de populações que são degradadas (atingindo index moral inferior a  $-0.8$ ) pela condição inicial do tipo líderes maus. Cada ponto reflete a fração de populações recuperadas obtidas em 1000 simulações com 400000 passos de contágio,  $N = 1000$  agentes e sem ação da CPI. Mesmo um único líder mau é capaz de degradar parte das populações testadas e a quantidade de populações degradadas aumenta rapidamente com acréscimo de poucos agentes.

colocando-os nos nodos de maior grau de conectividade (o restante da rede é ocupado por agentes bons, que, portanto, são a maioria). Os resultados para diferentes quantidade iniciais de líderes maus para uma rede de tamanho  $N = 1000$  e sem ação da corte (apenas contágio é considerado) podem ser conferidos na *figura 4.5*. Os pontos da figura correspondem ao número de populações que se degradam (atingindo index moral inferior a  $-0.8$ , equivalente a 90% da população com  $\langle \sigma \rangle = -1$ ) após uma quantidade muito grande de passos de contágio, suficiente para que o sistema atinja um estado estacionário.

Quando colocados em posições de influência, quantidades muito pequenas de agentes maus são capazes não apenas de manter seu comportamento criminoso, mas de degradar toda a estrutura nacional para comportamentos criminosos. Este tipo de condição inicial será amplamente utilizada nas simulações, correspondendo a uma situação típica de estrutura criminosa cuja impunidade a CPI procura combater, esta condição inicial também é um resultado interessante em si mesmo, evidenciando o papel da conectividade como influência na dinâmica de contágio.

#### 4.4 Importância de $k_{max}$ e escolha do modelo de rede

Um dos objetivos preliminares, no início deste trabalho, era comparar a dinâmica no modelo para diferentes modelos de rede, emulando os efeitos de diferentes tipos de estruturas nacionais em relação à distribuição de influência. Não foi possível, no entanto, encontrar uma condição inicial viável para uso em todos os modelos. A distribuição de graus da rede livre de escala faz surgir agentes de conectividade (influência) muito diversa, com posições de alta influência

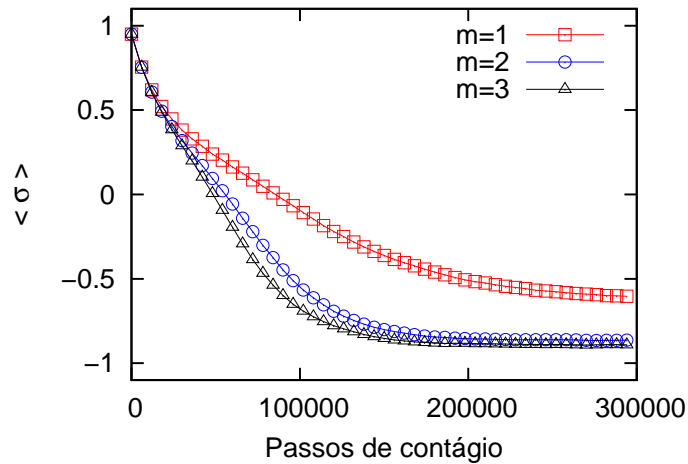


Figura 4.6: Efeitos de diferentes quantidades  $m$  de conexões adicionadas a cada passo de crescimento da rede (Algoritmo B-A).  $N = 1000$ , condições iniciais são 2,5% líderes maus, sem ação da corte. Redes com  $m$  maior desenvolvem máxima conectividade  $k_{max}$  mais elevada e quantidade maior de hubs, acelerando a degradação.

(hubs) que emulam lideranças na estrutura hierárquica. Nos modelos Watts-Strogatz (W-S) e Erdős-Renyi (E-R), os agentes têm influência equilibrada, apresentando uma distribuição de graus com menores desvios em relação a média  $\langle k \rangle$ , de forma que o fator de influência  $k/k_{max}$  não é tão significativo para a dinâmica. Embora o estudo destes modelos seja relevante, não é indispensável para o presente trabalho, cujo foco são estruturas hierarquizadas.

Feita a opção de utilizar redes livres de escala geradas com algoritmo B-A, uma segunda tentativa de comparar diferentes tipos de estruturas nacionais foi variar os parâmetros de crescimento de rede  $m$  (o número de conexões adicionadas a cada passo de crescimento na geração da rede). A *figura 4.6* demonstra o efeito do uso de diferentes parâmetros  $m$  de crescimento do algoritmo B-A, em um cenário de degradação causado pela presença de líderes maus, nota-se que, para valores de  $m$  maiores, a degradação é mais veloz, o que se deve principalmente ao aumento de  $k_{max}$  e da quantidade de hubs.

O parâmetro  $k_{max}$  é especialmente significativo na dinâmica, e o uso de qualquer outro algoritmo de geração de redes livres de escala acaba sendo fortemente influenciado por este parâmetro em particular. Tentativas de utilizar outros algoritmos para geração de redes livres de escala (modelos com maior coeficiente de agrupamento  $C$  ou  $\gamma$  ajustável) são dominadas pelo parâmetro  $k_{max}$  de cada algoritmo (que usualmente é puramente acidental), de forma que se optou para simplificar a análise limitando as simulações a um único algoritmo com parâmetros bem definidos.

Em todas as simulações, as redes são geradas com o algoritmo B-A, partindo de três nodos



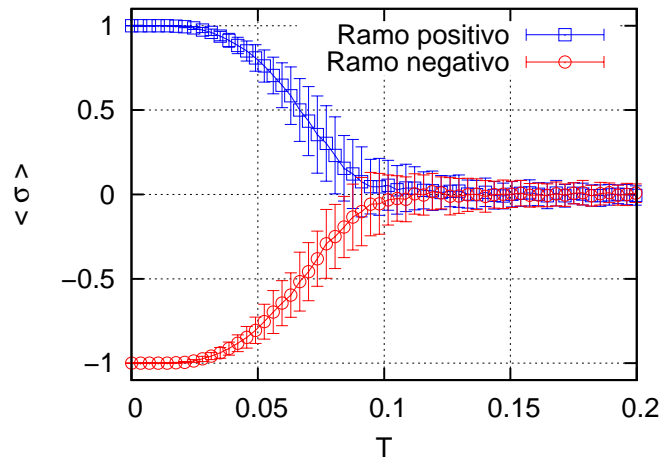


Figura 4.7: Mudança de regime de contágio com  $T$ .  $N = 1000$ ,  $\alpha = 0.05$ , médias sobre 100 populações.

iniciais  $m_0 = 3$  e nos passos de crescimento  $m = 2$ .

## 4.5 Temperatura social

O parâmetro  $T$  da distribuição, como anteriormente comentado, está associado a randomidade das trocas de comportamento, reduzindo a importância da tendência contida no fator de mudança  $r_i$ . Em  $T \rightarrow 0$ , existe a probabilidade de 100% do agente assumir a tendência correspondente ao sinal de  $r_i$ , mas conforme  $T$  aumenta o degrau é suavizado aumentando a randomidade (*figura 4.3*). Passa a existir uma probabilidade notável de que os agentes assumam comportamentos locais contrários à tendência (sinal de  $r_i$ ).

A variação de  $T$  tem o efeito de modificar completamente o funcionamento da dinâmica de agentes, esta mudança está ilustrada na *figura 4.7*: são executados dois experimentos simétricos (em vermelho e em azul), em que o sistema parte de um estado homogêneo de comportamento ( $\langle \sigma \rangle = +1$  para azul,  $\langle \sigma \rangle = -1$  para vermelho) e com valores baixos de  $T$ . Cada ponto do gráfico representa um pequeno aumento do parâmetro  $T$ , seguido de uma grande quantidade de passos para que o sistema estabilize, as barras de erro estão associadas as médias sobre 100 repetições do experimento. O que é observado é que, com o aumento da temperatura, o sistema tende ao equilíbrio, independentemente da condição inicial.

$$f_- = \frac{1 - \langle \sigma \rangle}{2} \quad f_+ = \frac{1 + \langle \sigma \rangle}{2} \quad (4.6)$$

O index moral  $\langle \sigma \rangle$  está diretamente associado à fração  $f_+$  de agentes com comporta-

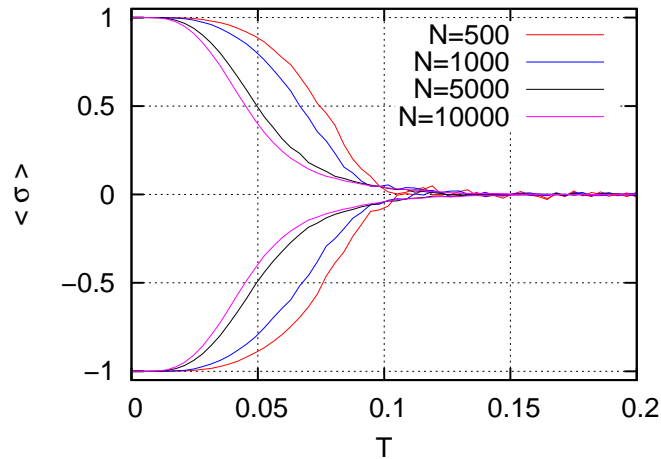


Figura 4.8: Dependência do regime de contágio com  $T$  para diferentes tamanhos  $N$  de rede.

mento "bom" e à fração  $f_-$  de agentes "maus", conforme descrito na equação 4.6. Conforme a randomicidade aumenta,  $r_j$  torna-se pouco relevante, e os agentes podem trocar de opinião independente das condições da rede. Sendo a dinâmica de contágio baseada na escolha aleatória de candidatos ao contágio, o comportamento com maior fração  $f_{+(-)}$  é sorteado mais frequentemente, e seus agentes trocam de posição com maior frequência. Não é de interesse trabalhar na região puramente randômica, onde a maior parte da dinâmica do sistema é irrelevante e o estado final é sempre o equilíbrio de comportamentos. As simulações serão feitas em regiões de  $T$ , onde a topologia da rede e o estado dos agentes nela posicionados são relevantes, o que corresponde ao regime de baixa temperatura social.

Sob condições de baixa temperatura, a solução de equilíbrio randômico não é estável: testes realizados mostram que o experimento da figura 4.7 pode ser invertido, partindo do equilíbrio a altas temperaturas e reduzindo progressivamente  $T$ . O resultado é o domínio de um dos comportamentos por contágio, e uma figura muito semelhante.

#### 4.5.1 Tamanho da rede e Temperatura $T$

A mudança do regime de contágio em função de  $T$  não é a mesma para todos os tamanhos de rede, a figura 4.8 ilustra como a divisão de regimes de contágio ocorre para diferentes tamanhos  $N$  de rede e se observa que para tamanhos maiores são necessárias temperaturas menores para a divisão de comportamentos. A razão para este tipo de fenômeno está na importância da razão  $k_i/k_{max}$  na composição do fator de mudança  $r_i$  e associada ao progressivo aumento de  $k_{max}$  para redes maiores.

No algoritmo B-A utilizado, o grau de conectividade do maior hub tende a aumentar com

o tamanho da rede, enquanto a conectividade média  $\langle k \rangle$  permanece pouco alterada, já que novos nodos e conexões são adicionados a uma taxa fixa  $m$  a cada passo de crescimento. Os valores de  $r_j$  para os agentes sorteados tornam-se caracteristicamente menores, mais próximos de zero e sensíveis à suavização da função  $p_j$ . Observando-se o comportamento da transição conforme o tamanho da rede  $N$  aumenta, é de se esperar que a transição possa desaparecer no limite  $N \rightarrow \infty$ , por outro lado a transição aparenta ser contínua para qualquer temperatura. Figuras deste tipo (*figura 4.8*) servem como guias para a escolha do parâmetro  $T$  em simulações para um dado tamanho de rede.

Nas simulações com redes de tamanho  $N = 1000$ , foi utilizado  $T = 0.05$  e para redes de tamanho  $N = 10000$  utilizou-se  $T = 0.025$ .

## 4.6 Efeitos da variação de $\alpha$

Se o parâmetro  $\alpha$  da composição de  $r_i$  (equação 4.4) for igual a 1, a dinâmica de contágio ignora completamente as características locais da rede ( $r_i = W_i^3$ ) e os candidatos a contágio terão a tendência de assumir o comportamento da maioria da rede. O tipo de rede escolhida é irrelevante neste cenário e a disposição de pequenas porcentagens de agentes maus em posições de influência é incapaz de degradar a rede. Esta dinâmica de campo médio ignora o aspecto mais importante da dinâmica (a influência associada à conectividade) e obtém resultados triviais e desinteressantes, interessa que a escolha de  $\alpha$  seja tal que a contribuição global não torne a contribuição local e dependente da rede irrelevante.

Os parâmetros que compõem  $r_i$ ,  $W_i^1$  e  $W_i^2$  são proporcionais a um termo  $k_i/k_{max}$ , que para a maior parte dos nodos em uma rede livre de escala é muito pequeno, enquanto  $W_i^3$  é proporcional a  $\langle \sigma \rangle$ , tal que  $\alpha$  precisa ser pequeno. Todas as simulações foram feitas com um  $\alpha$  pequeno, em particular adotou-se  $\alpha = 0.05$ .

## 5 *Ação da Corte Penal Internacional*

Nas últimas seções do capítulo 4, foram explorados alguns aspectos da dinâmica de contágio, cujo entendimento é necessário para análise dos efeitos da Corte Penal Internacional sobre a estrutura nacional, ou seja, de como a atuação da dinâmica de fonte externa pode modificar os resultados da dinâmica interna. Neste capítulo, serão usadas simulações numéricas com o modelo para verificar a eficácia do combate à criminalidade através da ação da CPI.

A implementação do modelo em código *Fortran*, utilizada nas simulações, pode ser conferida nos apêndices A, B e C. São utilizadas redes geradas com algoritmo Barabási-Albert com  $m_0 = 3$  e  $m = 2$ . O parâmetro global na composição de  $r_j$  é  $\alpha = 0.05$ . A temperatura social é  $T = 0.05$  em simulações com  $N = 1000$ , mas é reduzida para  $T = 0.025$  quando redes maiores ( $N = 10000$ ) são utilizadas, devido as discussões da seção 4.5.1.

### 5.1 *Ação da corte e efeitos de $\Delta t$*

Para um teste inicial dos efeitos da CPI parte-se de uma porcentagem inicial de 2,5% líderes maus que normalmente degradaria completamente o sistema (*figura 4.6* ao mesmo tempo que é aplicada a ação da corte, sendo a primeira ação no passo  $t = \Delta t$  com ações subsequentes separadas por  $\Delta t$  passos. Os resultados para três valores de  $\Delta t$  constam na *figura 5.1*.

É observado que a ação da corte consegue reverter a tendência de degradação, e que o parâmetro  $\Delta t$  determina o tempo de recuperação, bem como até que ponto a degradação avança. É notável que a reversão ao estado "bom" inicia com poucas ações, em particular para  $\Delta t = 10000$  é possível observar (ampliação) que as primeiras ações da corte são seguidas de pequenas curvas no index moral, que correspondem à ação local dos agentes bons de alta influência (conectividade).

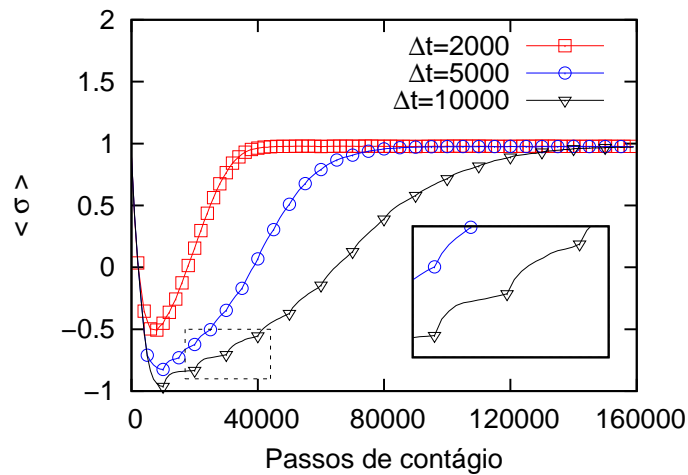


Figura 5.1: Ação da corte sobre uma rede de tamanho  $N = 1000$  com uma porcentagem inicial de líderes maus igual a 2,5%, os pontos no gráfico correspondem a ações da corte. No detalhe ampliado, é possível visualizar o efeito positivo local do agente bom implantado pela ação da corte. Médias executadas sobre 100 amostras.

## 5.2 Ação tardia

Embora seja uma instituição permanente com intenções preventivas, não é realisticamente possível que a corte esteja sempre atuando sobre a estrutura nacional de todos países, mas sim que sua ação ocorra como reação a um quadro criminoso desenvolvido. Interessa, portanto, observar o efeito da corte penal sobre sistemas completamente degradados, especialmente se esta é capaz de revertê-los.

A *figura 5.2* ilustra o efeito da CPI em sistemas degradados para dois tamanhos de  $N$  de rede. Inicialmente a intenção do parâmetro  $\Delta t$  era dar uma intensidade regulável à ação da corte, com ações mais frequentes correspondendo a maior intensidade. Testes demonstraram que, embora o parâmetro  $\Delta t$  modifique a velocidade de recuperação, não modifica o percentual de sucesso das recuperações. Eventualmente, todas as populações são recuperadas, mesmo com valores muito elevados de  $\Delta t$ . Isto não é de todo inesperado, já que a corte age sobre nodos de alta conectividade que dificilmente reverterem seu comportamento  $\sigma_i(t)$  por contágio, e nestas simulações a corte age indefinidamente depois de ser acionada, o que, na prática, não é realístico. Maneiras mais interessantes e realísticas de modular a força da ação da corte serão discutidas nas seções 5.3 e 5.4.

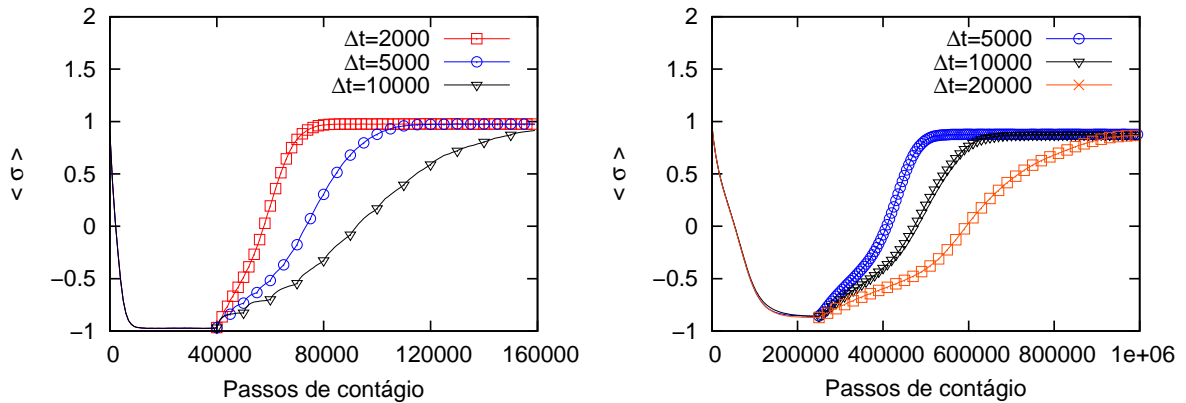


Figura 5.2: Ação da corte sobre sistemas completamente degradados pela presença de líderes maus (percentagem inicial 10% de modo a acelerar a degradação). *Painel esquerdo:*  $N = 1000$ , primeira ação no passo  $t = 40000$ . *Painel direito:*  $N = 10000$ , primeira ação no passo  $t = 250000$ . Embora as duas figuras exibam resultados qualitativamente similares, a escala de tempo necessária aumenta com o tamanho da rede.

### 5.2.1 Tamanho da rede e escala temporal

A maior parte das figuras apresentadas no presente trabalho são feitas em redes de tamanho  $N = 1000$ . Foi observado que os resultados obtidos são qualitativamente reproduzidos para tamanhos maiores quando são feitos pequenos ajustes em relação ao parâmetro  $T$  e as escalas de tempo. A *figura 5.2* é um bom exemplo deste ajuste. Embora o mesmo efeito de degradação e recuperação possa ser observado, ele se desenvolve em uma quantidade de passos maiores para a rede  $N = 10000$ , tanto a degradação pela condição inicial quanto sua recuperação por ações da corte.

A cada passo, um candidato a contágio é selecionado, independentemente do tamanho da rede, então é razoável que a dinâmica de contágio seja mais lenta em redes progressivamente maiores. Levando em conta estes detalhes, os pontos interessantes da dinâmica que são observados em redes pequenas  $N = 1000$  são os mesmos para redes maiores. A maior parte das figuras apresentadas neste trabalho correspondem a redes com  $N = 1000$ , tamanho da rede escolhido para otimizar as simulações, e que apresenta resultados qualitativamente semelhantes a redes maiores com simulações mais longas.

## 5.3 Ação por tempo limitado

A ação da CPI sobre um cenário não ocorre indefinitivamente. A ação da CPI é um último recurso para evitar impunidade e também é uma ação mínima apenas sobre os indivíduos de maior responsabilidade. Nesse contexto é interessante verificar qual a quantidade de ações

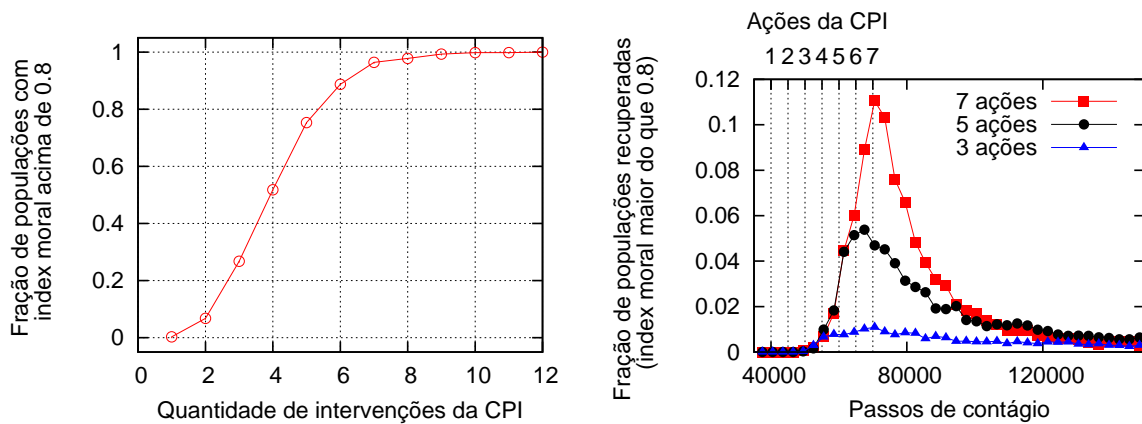


Figura 5.3: Quantidade de populações degradadas que se recupera (elevando o index moral acima de 0.8) após um número limitado de ações da CPI seguido de contágio. *Painel esquerdo*: percentual de populações recuperadas. *Painel direito*: Fração de populações que atingem o patamar de recuperação associadas ao passo de contágio em que esta recuperação ocorre, as linhas pontilhadas marcam os pontos em que as ações podem ocorrer. Em ambas figuras é utilizada uma porcentagem inicial de líderes maus de 10% para degradar o sistema por 40000 passos de contágio, seguida por uma quantidade limitada de ações da corte. Tamanhos de rede  $N = 1000$  são utilizados.

mínimas necessárias para reverter uma população degradada.

Para conseguir este objetivo realizamos algumas simulações com hipóteses diferentes: a CPI age sobre um sistema completamente degradado (é natural que a comunidade internacional reaja após os crimes serem cometidos e tornarem-se notáveis, e após de tempo hábil para investigações). Além disso a corte age por tempo limitado, processando poucos indivíduos, o que é coerente com a política de interferência mínima e complementar da corte.

As simulações consistem da degradação inicial de uma população como consequência de uma porcentagem inicial de líderes maus e sem interferência da CPI por uma quantidade de passos de contágio suficientes para a polarização criminosa da rede. A seguir a corte age um número limitado de vezes sobre este sistema completamente degradado, a quantidade de ações é o parâmetro que será avaliado. Após esta quantidade limitada de ações e uma quantidade grande de passos de contágio adicionais, para que o sistema reaja à interferência externa, e de 1000 repetições do experimento registra-se a fração de populações que se recuperam (populações recuperadas são definidas como aquelas com index moral final  $\langle \sigma \rangle \geq 0.8$ , correspondente a  $f_+ \geq 0.9$ ). A fração de populações recuperadas corresponde portanto a iterações em que a quantidade limitada de ações da CPI foi capaz de reverter severa degradação do comportamento  $\sigma$  dos agentes na rede, através de contágio subsequente do comportamento “bom”.

O painel esquerdo da *figura 5.3* relaciona a fração de populações recuperadas com o número de ações da CPI. Observa-se que, a partir de duas intervenções, algumas populações já são

recuperadas, com frações crescentes a cada ato adicional até a recuperação completa de todas as populações a partir de onze ações da CPI. Simulações com diferentes parâmetros  $\Delta t$  de intervalo entre ações da corte resultaram quantitativamente indistinguíveis, e apontam para a importância no número de ações da CPI, e não sua frequência, como fator determinante do estado final do comportamento. O painel direito da figura mostra o tempo característico de recuperação, com a frequência de populações recuperadas associadas ao passo de contágio em que as mesmas ocorrem, as linhas pontilhadas correspondem aos pontos onde as ações ocorrem e pode-se notar que as curvas coincidem até o ponto em que as ações cessam para cada uma das curvas. A área de cada uma das curvas corresponde a fração total de populações recuperadas, que é correspondente em cada uma a um dos pontos do painel esquerdo.

## 5.4 Tribunais nacionais

O que diferencia de forma marcante a CPI dos tribunais nacionais é sua liberdade de ação contra os indivíduos mais influentes da estrutura nacional. Uma tentativa razoável de simular cortes nacionais seria limitar o acesso das ações de tal forma que a corte tivesse dificuldade de agir contra os indivíduos de maior influência. O que se propõe é que um certo percentual de agentes, independentemente do comportamento  $\sigma$ , é imune ao processo das cortes. Este percentual é tomado dos agentes de maior grau de conectividade, para emular a dificuldade de processar e punir agentes influentes.

São realizadas simulações com hipóteses modificadas para verificar os efeitos de impunidade entre os agentes de maior influência. Inicialmente as populações são degradadas por uma quantidade pequena de líderes maus e não existe ação de nenhum tipo de corte, pois se procura observar a capacidade destes tribunais em reverter estados de alta criminalidade. Os tribunais passam a agir, com um intervalo entre ações  $\Delta t$ , mas diferentemente das CPI as cortes nacionais (CNs) não possuem a habilidade de condenar todos os agentes da rede: uma dada fração de agentes é inicialmente definida como imune a ações da corte. As ações ocorrem sobre o agente criminoso mais conectado *não incluído* nesta fração protegida, que representa um grau de impunidade e é o parâmetro de interesse na análise.

Note-se que no limite onde nenhum agente é protegido a ação da CPI por tempo ilimitado é recuperada, e os agentes criminosos de maior responsabilidade podem ser condenados, resultando na recuperação de todas as populações. Novamente as simulações são feitas com  $N = 1000$  ( $N = 10000$ , em azul no painel esquerdo), são feitas 1000 simulações independentes e registra-se a fração das populações que a ação da corte nacional (CN) consegue recuperar.



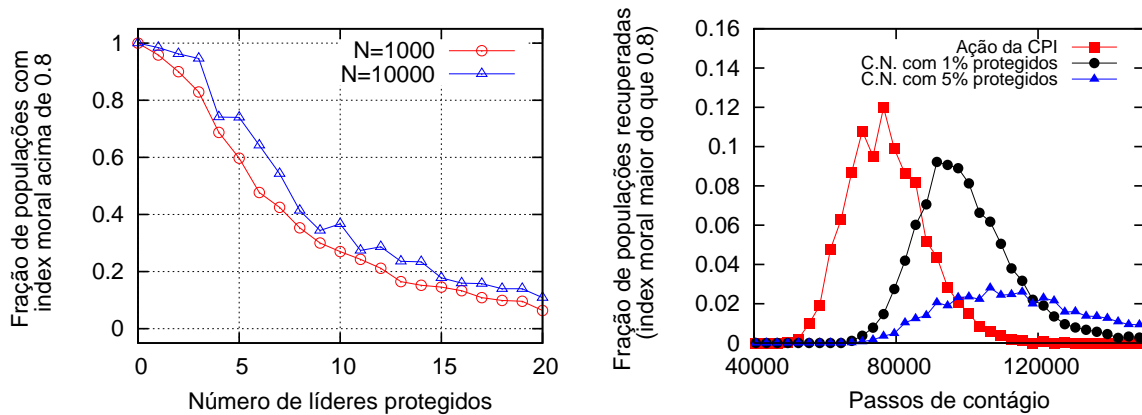


Figura 5.4: Efeitos de cortes nacionais. *Painel esquerdo*: Percentual de populações degradadas que são recuperadas pela ação de cortes nacionais, para diferentes quantidades de agentes protegidos, sendo o caso de zero agentes correspondente a ação ilimitada da CPI. Dois tamanhos  $N$  de rede podem ser conferidos, com resultados similares. *Painel direito*: Fração de populações recuperadas a cada passo de contágio, sob ação das cortes nacionais (CN na legenda), comparadas com as frações de recuperação da CPI. A área das curvas correspondentes a CNs são menores do que a da CPI, pois estas não conseguem recuperar todas as populações. Utilizou-se  $N = 1000$  e uma percentagem inicial de 1% líderes maus para degradar as populações.

O painel esquerdo da *figura 5.4* mostra a fração de populações que é recuperada, associada ao número de líderes protegidos para dois tamanhos de rede:  $N = 1000$  em vermelho, e  $N = 10000$  em azul. É interessante notar que, com o tamanho maior da rede, as curvas permanecem bastante similares quando associadas ao número de agentes, e que o mesmo número de agentes na curva em azul (para  $N = 10000$ ) corresponde a uma fração menor de agentes em uma rede maior, isso ocorre porque a conectividade máxima e a conectividade dos maiores hubs aumenta com o crescimento da rede, concentrando maior influência em um número menor de agentes. Essa característica é interessante se forem pensadas estruturas ainda maiores, similares a hierarquia administrativa de nações, e a significância da impunidade de uns poucos agentes nessa estrutura, quando esses são os maiores responsáveis pelos crimes. O painel direito mostra os tempos característicos de recuperação das populações, note-se que, para um único nodo protegido (curva em preto), a recuperação além de mais lenta é incompleta, quando comparada com a ação da CPI (curva vermelha com área um).

## 6 *Conclusões*

O objetivo deste trabalho foi simular a ação da Corte Penal Internacional sobre uma estrutura social hierárquica, onde a criminalidade pode se propagar. Considera-se que o modelo apresentado é bastante simples e, ao mesmo tempo, apresenta riqueza de comportamentos interessantes.

A dinâmica de contágio proposta estabeleceu com sucesso uma relação direta e forte entre o grau de conectividade dos nodos com a sua responsabilidade na propagação dos comportamentos criminosos, o que fica particularmente evidenciado pela eficiência da condição inicial do tipo “líderes maus“. Ainda sobre a dinâmica de contágio, pode-se dizer que constitui um modelo simples e eficiente de propagação de opiniões concorrentes em uma estrutura onde o grau de conectividade está associado à influência, que poderia facilmente ser adaptado a outras situações.

O efeito da propagação do comportamento indesejável a partir de uma distribuição de líderes maus situados em hubs, por si apenas, já é um resultado interessante da dinâmica, implicando que as posições de poder e autoridade potencializam o dano causado por indivíduos criminosos. Também dá indicações de como uma estrutura fortemente hierarquizada pode dar suporte à execução de crimes institucionais de larga escala, que só são possíveis devido a uma rede ampla de colaboradores. O processo de degradação rápido que é observado quando uma quantidade proporcionalmente pequena de criminosos alcança posições de alta influência aponta para o acerto da política da promotoria da CPI em processar os indivíduos de maior responsabilidade em um cenário de violação de direitos humanos pelas instituições.

Embora os resultados mais interessantes tenham sido obtidos apenas para redes livres de escala, isto não pode ser considerado uma deficiência ou limitação do modelo, já que leis de potência é a distribuição de graus mais adequada à representação das redes sociais empíricas e das estruturas hierarquizadas. A existência de líderes, formadores de opinião, administradores e chefes de maior influência e conectividade é observada na estrutura social empírica, fato que não é inerentemente mau mas que pode servir facilmente para instaurar políticas discri-

minatórias e criminosas em larga escala. Observou-se que o uso da máxima conectividade na rede  $k_{max}$  como parâmetro de influência reforça a importância dos hubs da rede na dinâmica, importância esta que aumenta com o tamanho da rede e, conseqüentemente, aumento do tamanho dos hubs (devido ao crescimento com ligação preferencial do modelo B-A de geração de redes). Este fenômeno é coerente com estruturas hierárquicas nacionais empíricas, onde as decisões e opiniões de um único líder podem influenciar milhares de agentes espalhados na estrutura hierárquica.

O modelo aponta para a eficiência das ações corretivas contra os indivíduos de maior influência, com uma quantidade pequena de ações (comparada com o tamanho da rede), conseguindo recuperar populações completamente degradadas. Neste contexto, as mudanças locais que os hubs substituídos pela corte causam na rede poderiam ser interpretadas como sendo os processos e investigações adicionais, feitos pelas instâncias nacionais de justiça, inspiradas pelo ataque da CPI a um quadro de impunidade anterior que caracteriza o reconhecimento da comunidade da ilegalidade das práticas criminosas previamente institucionalizadas, bem como a remoção de impedimentos a investigação e punição destas práticas.

A maior justificativa para a criação da CPI é o combate a impunidade entre os líderes de maior responsabilidade, procurou-se verificar se a impunidade nestas esferas mais elevadas de poder tem efeitos suficientemente negativos para justificar a ação direcionada de uma instituição internacional, para isso foram feitas simulações onde cortes nacionais agem sobre criminosos de alta conectividade, mas poupando alguns dos mais conectados, de maneira a emular a dificuldade das instituições jurídicas nacionais em processar e condenar seus próprios líderes. Os resultados obtidos para ação limitada das cortes nacionais, com impunidade para os altos escalões, são especialmente interessantes, pois apontam para efeitos negativos notáveis e queda elevada de populações recuperadas, mesmo com uma quantidade muito pequena de criminosos impunes.

No presente texto foi explorada a ação da CPI sobre uma estrutura hierárquica fixa de um único país, emulando a abertura de um processo local. Na prática a CPI é uma instituição internacional criada por tratado que age sobre estruturas hierárquicas que são dinâmicas em sua organização interna, e que estão integradas em uma comunidade internacional. Uma das expansões possíveis do presente modelo é integrar estruturas nacionais em uma comunidade internacional maior, prevendo algum tipo de influência entre sub-redes nacionais.

Muitos países influentes não são signatários, ou não ratificaram o estatuto de Roma, fato que pode servir de motivação para explorar um modelo com múltiplas nações onde nem todas estão sobre o alcance das ações da corte. Interessaria verificar se a relutância de certas nações de

influência (das quais os Estados Unidos, China e Rússia são exemplos notáveis) em reconhecer e adotar a jurisdição da CPI pode limitar seriamente a capacidade da corte em evitar violações dos direitos humanos na comunidade internacional como um todo.

Outra expansão do modelo que pode ser explorada é o uso de uma rede dinâmica para representar as estruturas hierárquicas nacionais, que empiricamente não são estáticas, e devem sofrer alterações com a substituição de agentes. Futuramente podem ser incluídos mecanismos e alterações no modelo que incluam inclusão e remoção de agentes, e mudanças de conexões.

Além disso, a CPI é uma instituição internacional relativamente nova, e ainda não existem dados e amostras suficientes para um ajuste de dados ao modelo. Nos próximos anos, novas estatísticas, dados e desafios podem vir a surgir, justificando futuras revisitas ao modelo.

## *Referências*

- 1 SCHABAS, W. *An Introduction to the International Criminal Court*. [S.l.: s.n.]. ISBN 9780521881258.
- 2 MULLINS, C. W.; ROTHE, D. L. The ability of the international criminal court to deter violations of international criminal law: A theoretical assessment. *International Criminal Law Review*, v. 10, n. 5, p. 771–786, 2010.
- 3 ZIPPRICH, S. E. The international criminal court: Time to adjust u.s. foreign policy.
- 4 WIKIPEDIA. *International Criminal Court investigations — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2013. [Online; acessado 21-Junho-2013]. Disponível em: [http://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Criminal\\_Court\\_investigations](http://en.wikipedia.org/wiki/International_Criminal_Court_investigations).
- 5 LEMKIN, R. *Axis Rule in Occupied Europe*. [S.l.: s.n.]. ISBN 9781584779018.
- 6 I.C.C. *Rome Statute of the International Criminal Court, ICC website*. jun. 2013. Disponível em: <http://www.icc-cpi.int/>.
- 7 GAMBRA, M. B.; FREY, E. Social dynamics with peer support on heterogeneous networks. *The European Physical Journal B*, v. 83, n. 4, p. 507–518, 2011.
- 8 COLES, N. It's not what you know—it's who you know that counts. analysing serious crime groups as social networks. *British Journal of Criminology*, v. 41, n. 4.
- 9 ALBERT, R.; BARABÁSI, A.-L. Statistical mechanics of complex networks. *Rev. Mod. Phys.*, v. 74, p. 47–97, 2002.
- 10 BARABÁSI, A.-L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. *science*, v. 286, n. 5439, p. 509–512, 1999.
- 11 ALBERT, R.; JEONG, H.; BARABÁSI, A.-L. Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, v. 406, n. 6794, p. 378–382, 2000.
- 12 ERDŐS, P.; RÉNYI, A. On random graphs. *Publicationes Mathematicae Debrecen*, v. 6, p. 290–297, 1959.
- 13 WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, v. 393, n. 6684, p. 440–442, 1998.
- 14 BOGUNÁ, M.; PASTOR-SATORRAS, R.; DIAZ-GUILERA, A.; ARENAS, A. Emergence of clustering, correlations, and communities in a social network model. *arXiv preprint cond-mat/0309263*, 2003.

- 15 LAGUNA, M.; GUSMAN, S. R.; ABRAMSON, G.; GONÇALVES, S.; IGLESIAS, J. The dynamics of opinion in hierarchical organizations. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 351, n. 2, p. 580–592, 2005.
- 16 COPELLI, M.; SANTOS, R. Z. D.; MARTINS, J. S. Emergence of hierarchy on a network of complementary agents. *International Journal of Modern Physics C*, World Scientific, v. 13, n. 06, p. 783–797, 2002.

## *Apêndice A: Módulo de variáveis globais e exemplo de programa principal*

O módulo *globals* contém variáveis globais usadas em todas as subrotinas. O programa *averaged* é um modelo de programa principal usado em alguma simulação, pequenas variações são feitas conforme a necessidade do experimento. As subrotinas utilizadas estão descritas no Apêndice B (subrotinas gerais) e Apêndice C (subrotina que implementa o modelo BA).

O modelo é implementado computacionalmente utilizando código *Fortran 90*. Cada elemento individual é precedido por uma breve descrição, comentários mais detalhados estão incluídos dentro do código em inglês e precedidos por pontos de exclamação.

### **Módulo de variáveis globais**

Este módulo inclui variáveis e matrizes compartilhadas pelo programa e por todas as subrotinas, em particular o vetor *Conex* que é a lista de conexões entre os nodos, e a *Matrix* que guarda os estado  $\sigma$ , o grau de conectividade  $k$  e o endereço no nodo na lista de conexões.

```

module globals
  implicit none

  Integer :: N, conexsize
  !N agents
  Integer, Allocatable :: Matrix(:,,:), Conex(:), templist(:), newlinks(:)
  !Matrix include state (:,1), connectivity degree (:,2), conex vector adress (:,3)
  !Conex vector lists the links

end module globals

```

### **Exemplo de programa principal**

Em geral para todos os experimentos o programa principal carrega os parâmetros de simulação de um arquivo de texto, aloca todas as variáveis de acordo, chama a subrotina *SF\_gen* para gerar a rede livre de escala, atribui as condições iniciais com as subrotinas *ci\_evil\_leaders* (condição

inicial com líderes maus) e *ci\_random* (distribuição randômica), executa passo de contágio com a subrotina *contagion* e ações da corte com a subrotina *CPI*.

Conforme a intenção da simulação a forma específica do programa principal pode variar.

```

program averaged
  use globals
  Implicit none
  Integer :: k_add, mo, status, i, ci, M, j, simul, ene, first_act, div
  Integer :: origin, destination, time, kmax, report_skip, report, rp
  Real :: semente, evils, p1, p2, p3, Temp, Xmed, cpicount
  Integer, Allocatable :: seed(:)
  Real, Allocatable :: data(:,,:), datax(:)
  Real :: Xav, X2, Xdev

  !Load parameters
  open(1,file='Averaged.ini')
  open(45,file='evils_0050.dat')
  read(1,*) semente
  read(1,*) N
  read(1,*) mo
  read(1,*) k_add
  read(1,*) evils
  read(1,*) Temp
  read(1,*) p1
  read(1,*) p2
  read(1,*) p3
  read(1,*) ci
  read(1,*) M
  read(1,*) simul
  read(1,*) first_act
  read(1,*) ene

  !random generator seed start
  i=5
  call RANDOM_SEED(SIZE = i)
  Allocate(seed(i))
  seed = semente*1.0
  call RANDOM_SEED(PUT = seed)

```



```

!framework allocation
conexsize = 1.1*(N + 4*mo + 2*N*k_add) !with plus 10% on the safe side
Allocate(Matrix(1:N,1:3), conex(1:conexsize), templist(1:conexsize))
Allocate(newlinks(1:k_add))
div = 50
report_skip=1.0*M/div
Allocate(data(1:simul,1:div), datax(1:div))

do i=1, simul !different simulations loop
  write(*,*) 'Simul=', i, '/', simul
  conex = 0
  Matrix = 0
  templist = 0
  call SF_gen(mo, k_add) !SF network (BA) generator
  kmax = maxval(Matrix(:,2))

  !Initial conditions
  if(ci .eq. 2) then
    call ci_evil_leaders(evils) !creates evil leaders initial conditions
  else if (ci .eq. 1) then
    call ci_random(evils) !creates random initial conditions
  else
    write(*,*) "Initial condition choice not recognized, aborting."
    STOP
  end if

  if (first_act .eq. 0) then
    cpicount = ene
  else
    cpicount = first_act
  end if
  rp = 0
  report=0
  do j=1, (M) !temporal evolution
    call contagion(1,p1,p2,p3,kmax,Temp) !one contagion step

    if (ene .ne. 0) then

```

```

        if (cpicount .eq. 0) then
            call cpi
            cpicount = ene
        else
            cpicount = cpicount - 1
        end if
    end if

    !write results
    if (report .eq. 0) then
        Xmed = (1.0/N)*sum(Matrix(:,1))
        rp = rp+1
        data(i,rp) = Xmed
        datax(rp) = j
        report = report_skip
    else
        report = report - 1
    end if
end do
end do

!writes averaged values on file
do i=1, div
    Xav = sum(data(:,i))/(1.0*simul)
    X2 = 0
    do j=1, simul
        X2 = X2 + (data(j,i) - Xav)**2
    end do
    X2 = X2/(1.0*simul)
    Xdev = sqrt(X2)
    write(45,*) datax(i), Xav, Xdev
end do

write(*,*) "End of program"

end program averaged

```

## Apêndice B: Subrotinas em geral

Este apêndice inclui todas as subrotinas utilizadas na implementação, excluindo o gerador de redes livres de escala, que está no Apêndice C.

### Subrotina `make_link`:

Cria um link entre um nodo *a* e um nodo *b*, o processo inclui atualizar a lista de conexões *Conex* e os endereços e grau de conectividades contidos na *Matrix*. É utilizada na criação da rede.

```
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! Creates a link between 2 new nodes !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

subroutine make_link(n_a, n_b)
  use globals
  implicit none
  Integer :: i, node_a, node_b, a, b, n_a, n_b

  node_a = n_a
  node_b = n_b

  if (node_a .eq. node_b) then! protects against self connections
    write(*,*) "ERROR: self conection attempt"
    STOP
  else if (node_a .gt. node_b) then !makes node_b position greater tha node_a
    a = node_a
    b = node_b
    node_a = b
    node_b = a
  end if

  !adapts the conection list
  a = matrix(node_a,3)
```

```

b = matrix(node_b,3)
templist(1:a) = conex(1:a)
templist(a+1) = node_b
templist(a+2:b+1) = conex(a+1:b)
templist(b+2) = node_a
templist(b+3:conexsize) = conex(b+1:conexsize-2)

conex = templist

!updates de conectivity degree matrix
Matrix(node_a,2) = Matrix(node_a,2) +1
Matrix(node_b,2) = Matrix(node_b,2) +1

!updates the list adress matrix
do i=node_a, N
    if (i .gt. node_b) then
        Matrix(i,3) = Matrix(i,3) +2
    else if (i .gt. node_a) then
        Matrix(i,3) = Matrix(i,3) +1
    end if
end do

end subroutine make_link

```

### **Subrotina test link**

Subrotina simples que testa se um nodo *a* e um nodo *b* estão conectados, retornando 1 ou 0 em *status* em caso de conexão ou não conexão, respectivamente.

```

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!! Tests if two nodes are conected, returns status 1 or 0 !!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

subroutine test_link(node_a,node_b,status)
    use globals
    implicit none
    Integer :: i, node_a, node_b, status, k_a, a, b

    status = 0

```

```

k_a = Matrix(node_a,2)
a = Matrix(node_a,3)
b = Matrix(node_b,3)
do i=1, k_a
  if (conex(a+i) .eq. node_b) then
    status = 1
  end if
end do
if (node_a .eq. node_b) then
  status = 1
end if

end subroutine test_link

```

### **Subrotina contagion:**

Implementa *time* passos da dinâmica de contágio, usando os parâmetros inseridos (sorteio de um agente, cálculo dos pesos  $W$ , cálculo do fator de mudança  $r$ , eventual mudança de comportamentos). As modificações em  $\sigma$  dos agentes são diretamente inseridas na variável global *Matrix*.

```

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!! Does xTIME contagion steps with given parameters !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
subroutine contagion(time,p1,p2,p3,kmax,Temp)
  use globals
  implicit none
  Real :: r, z, fator1, fator2, fator3
  Real :: p1, p2, p3, p, Temp, Xmed
  Integer :: i, j, time, c, v, kc, kv, Xc, Xv, Ac, kmax

  do i=1,time !time contagion steps
    call random_number(z)
    c = 1.0*z*N +1 !selects a random agent for contagion
    Xmed = sum(Matrix(:,1))*1.0/N !gets xmed
    kc = Matrix(c,2)
    Xc = Matrix(c,1)
    Ac = Matrix(c,3)

```



```

use globals
implicit none
Integer :: name

call get_leader(name,-1)
if (name .ne. 0) then
  Matrix(name,1) = +1
end if

end subroutine CPI

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!! Returns on NAME the most connected agent with given disposition !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!! If more than one is found, selects one at random, if none returns 0 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
subroutine get_leader(name, disposition)
  use globals
  implicit none
  Real :: r
  Integer :: disposition, name, i, leader_k, selected
  integer :: candidates(1:N)
  name=0
  leader_k = 0
  candidates = 0
  do i=1, N! get max degree with given disposition
    if(matrix(i,1) .eq. disposition) then
      if(matrix(i,2) .gt. leader_k) then
        leader_k = matrix(i,2)
        candidates = 0
        candidates(i) = 1
      else if(matrix(i,2) .eq. leader_k) then
        candidates(i) = 1
      end if
    end if
  end do

  CALL RANDOM_NUMBER(r)
  selected = 1.0*r*(sum(candidates)) +1

```

```

if (leader_k .eq. 0) then
  name = 0
  GOTO 23891
end if

do i=1, N
  if (candidates(i) .eq. 1) then
    selected = selected - 1
    if (selected .eq. 0) then
      name = i
      GOTO 23891
    end if
  end if
end do

23891 continue

end subroutine get_leader

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!! Returns on NAME the most connected agent with given disposition !!!!!!!
!!!!!! If more than one is found, selects one at random, if none returns 0 !!!!!!!
!!!!!! Ignores agents with safe = 1 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
subroutine get_lesser(name, disposition)
  use globals
  implicit none
  Real :: r
  Integer :: disposition, name, i, leader_k, selected
  integer :: candidates(1:N)
  name=0
  leader_k = 0
  candidates = 0
  do i=1, N! get max degree with given disposition
    if(safe(i) .eq. 0) then
      if(matrix(i,1) .eq. disposition) then
        if(matrix(i,2) .gt. leader_k) then

```



```

        leader_k = matrix(i,2)
        candidates = 0
        candidates(i) = 1
    else if(matrix(i,2) .eq. leader_k) then
        candidates(i) = 1
    end if
end if
end if
end do

CALL RANDOM_NUMBER(r)
selected = 1.0*r*(sum(candidates)) +1

if (leader_k .eq. 0) then
    name = 0
    GOTO 23893
end if

do i=1, N
    if (candidates(i) .eq. 1) then
        selected = selected - 1
        if (selected .eq. 0) then
            name = i
            GOTO 23893
        end if
    end if
end do

23893 continue

end subroutine get_lesser

```

### **Subrotinas `ci_evil_leaders` e `ci_random` para condições iniciais:**

A subrotina `ci_evil_leaders` é usada para distribuir uma pequena fração *evils* de agentes maus nos nodos de maior conectividade. A ordem da distribuição começa no nodo mais conectado e segue para os nodos seguintes.

A subrotina `ci_random` é usada quando ao invés de líderes maus, é usada uma distribuição

randômica de uma fração *evils* de agentes maus.

```

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! Evil leaders initial condition !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
subroutine ci_evil_leaders(evils)
  use globals
  implicit none
  real :: evils, r
  Integer :: i, evil_quantity, name, disposition

  evil_quantity = 1.0*N*evils +1
  Matrix(:,1) = 1
  do i=1, evil_quantity
    call get_leader(name, 1)
    Matrix(name,1) = -1
  end do

end subroutine ci_evil_leaders

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! Random initial conditions !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
subroutine ci_random(evils)
  use globals
  implicit none
  Real :: r, evils
  Integer :: i

  Matrix(:,1) = 0

  do i=1, N
    call random_number(r)
    if (r .lt. evils) then
      Matrix(i,1) = -1
    else
      Matrix(i,1) = 1
    end if
  end do

```

```
end do
```

```
end subroutine ci_random
```

## *Apêndice C: Gerador da rede scale free*

### **Subrotina SF\_gen:**

Subrotina que implementa o algoritmo B-A, criando uma rede de  $N$  agentes (variável global) com  $m_0$  nodos iniciais conectados em uma rede circular, com a adição de  $k_{add}$  novos links a cada passo de crescimento. A subrotina calcula as probabilidades de conexão preferencial e utiliza a subrotina *make\_link* para atualizar a lista de conexões *Conex* e a *Matrix*.

```
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!! Generates a scale free network,with N nodes, from mo new nodes, !!!!!!!
!! adding k_add new links with each new node !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
subroutine SF_gen(mo, k_add)
  use globals
  implicit none
  Real :: r
  Integer :: mo, k_add, i, j, l, remain
  Integer :: status, p, somak

  conex = 0
  templist = 0
  do i=1, N !creates all potential nodes without links
    Conex(i) = -i !minus sign indicates the node
    Matrix (i,2) = 0 !no links to begin with
    Matrix (i,3) = i !linkless list addresses
  end do

  !create the initial circular lattice
  if (mo .eq. 1) then
    mo = 2
  end if
  if (mo .eq. 2) then
```

```

        call make_link(1,2)
    else if (mo .gt. 2) then
        call make_link(1, mo)
        do i=1,mo-1
            call make_link(i, i+1)
        end do
    end if

    remain = mo + 1

    do i=remain, N !growth cicle
        do j=1, k_add !adds k_add links
0002    continue

            !preferential attachment between new node i and destination l
            call random_number(r)
            p = 1.0*r*sum(Matrix(:,2)) +1
            somak = 0
            do l=1, N
                somak = somak + matrix(l,2)
                if (somak .ge. p) then
                    goto 0003
                end if
            end do

0003    continue
            !testa se não é autononexão ou link duplo
            call test_link(i, l, status)
            if (status .eq. 1) then
                goto 0002
            else if (status .eq. 0) then
                !sopak=0
                call make_link(i, l)
            end if
        end do
    end do

end subroutine SF_gen

```