UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

JOSE EMILIO DE LUCENA JUNIOR

**Modelo de Ising aplicado
ao estudo da criminalidade**

SÃO PAULO
2014

JOSE EMILIO DE LUCENA JUNIOR

Modelo de Ising aplicado
ao estudo da criminalidade

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação de Modelagem de Sistemas Complexos.

Versão Corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 28 de maio de 2014

Orientador:

Prof. Dr. Camilo Rodrigues Neto

SÃO PAULO

2014

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

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

Biblioteca

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

Lucena Junior, José Emilio de

Modelo de ising aplicado ao estudo da criminalidade / José Emilio de Lucena Junior ; orientador, Camilo Rodrigues Neto. – São Paulo, 2014
56 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, em 2014

Versão corrigida.

1. Criminalidade – Influências. 2. Criminalidade - Simulação.
3. Crime – Prevenção e controle. 4. Modelo de Ising. 5. Sistemas dinâmicos. 6. Complexidade. 7. Modelo baseado em agentes. I. Rodrigues Neto, Camilo, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 364.2

Nome: José Emílio de Lucena Junior

Título: Modelo de Ising aplicado ao estudo da Criminalidade

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: 28/05/14

Banca Examinadora

Prof. Dr. Camilo Rodrigues Neto
(Orientador/Presidente)

Resultado: aprovado
(assinatura)

Profª Drª Flávia Mori Sarti

Resultado: APROVADO
(assinatura)

Prof. Dr. Antonio Fernando Crepaldi

Resultado: aprovado
(assinatura)

Dedicatória

Aos meus Avôs, 2º Ten PM Emídio Adelino de Lucena e 1º Sgt PM Francisco Alves de Lima, e meu Pai, T Cel PM Jose Emilio de Lucena, veteranos, que sob o juramento solene de “defender com o sacrifício da própria vida” incorporaram à Polícia Militar do Estado de São Paulo e através do policiamento ostensivo levaram sensação de segurança ao povo paulista e contribuíram de forma determinante para a manutenção da ordem pública.

As minhas Avós, Eulália Monteiro de Lucena e Helena Maria Moreira de Lima, minha Mãe, Maria Cristina Lima de Lucena, e minha esposa, Leni Severina Silva de Lucena, que inevitavelmente dividem o mesmo fardo dos respectivos maridos e que sempre deram o melhor suporte para que juntos pudessem cumprir todas as suas nobres missões. Todos os dias elas não sabem se nós iremos voltar do serviço com vida, mas quando voltamos elas têm certeza de que o dever foi cumprido.

E a meu filho, Daniel Lucena, desejo-lhe uma vida com muita paz, amor e saúde.

Agradecimentos

Ao meu Orientador, Professor Doutor Camilo Rodrigues Neto, pela disponibilidade de tempo trabalhando ao meu lado, me transmitindo experiência, sabedoria e entusiasmo, muito obrigado pela paciência do senhor.

A todos os Professores Doutores do programa de Modelagem de Sistemas Complexos, em especial os que eu tive a honra de ser aluno e que muito contribuíram para esse trabalho: Ana Amélia Benedito Silva, André C.R. Martins, Camilo R. Neto, Cândido Ferreira Xavier de Mendonça Neto, Carlos de Brito Pereira, Fernando Coelho, Fernando F. Ferreira, Francisco J.S.M. Alvarez, Marcone Pereira, Masayuki Hase, Renato Vicente, e, mais em especial ainda, à Professora Doutora Flávia Mori Sarti, Coordenadora do Curso, que como uma maestrina soube reger todos esses talentos, fazendo emergir esta harmonia que com certeza é maior que a soma das partes que a compõe.

A todos os amigos-colegas com os quais tive o prazer de frequentar a pós-graduação, em especial ao meu professor da graduação de Ciências Contábeis Valdomiro Beijamin Junior o qual me informou sobre a existência do programa de Modelagem de Sistemas Complexos onde passamos a ser alunos da mesma turma, e ao Leandro Augusto Ferreira, que, além da amizade, me incentivou de desde meu ingresso como aluno especial até a finalização desse trabalho.

A todos meus Comandantes da Diretoria de Finanças e Patrimônio da Polícia Militar do Estado de São Paulo, que autorizaram e participaram de alguma maneira neste projeto, aos meus superiores e pares de DFP/3, que trabalharam comigo na mesma divisão PM e que muito me ajudaram e me incentivaram, muitas vezes sendo sobrecarregados cobrindo os meus afastamentos regulamentares, e aos meus subordinados, que sempre me auxiliaram no cumprimento de todas as missões.

Aos meus amigos de trilha 4x4, em especial os integrantes do Jipe Clube “Tropa do Mato” e participantes da edição anual do “Perdidos na Mata”, obrigado pela compreensão devido a minha ausência nos eventos por conta dos estudos, acabando esse trabalho vai sobrar mais tempo e eu volto à ativa.

Aos meus familiares e amigos, agradeço a compreensão pelos momentos que tive de me ausentar por ter que realocar o meu tempo disponível para os estudos.

A todos os meus antepassados, que permanecem vivos em mim, em especial ao meu tio Jorge Emídio de Lucena, agradeço a fundamental colaboração em minha formação, que descansem em paz.

Aos meus pais, José Emílio de Lucena e Maria Cristina Lima de Lucena, agradeço por toda dedicação, orientação e carinho, em especial no período desde as idas de madrugada ao hospital devido a minha bronquite infantil até o momento que me entregaram a Academia de Polícia Militar do Barro Branco. Espero poder educar meus futuros filhos com o mesmo esmero.

À minha esposa e alma-gêmea, Leni Severina Silva de Lucena, a Grande Mulher que sempre procurei para estar ao meu lado, agradeço e ao mesmo tempo peço desculpas por ser tão diretamente atingida pelas inevitáveis externalidades em decorrência da confecção deste trabalho. Agradeço a fundamental compreensão e suporte, desde o companheirismo até a mãe amorosa e dedicada. Com você ao meu lado nunca pensei e nem vou pensar em desistir.

Ao meu filho recém-nascido, Daniel Lucena, por proporcionar imensurável alegria para mim e a toda família, reforçando o desejo e a responsabilidade de trabalhar por um mundo melhor.

E a Deus, por arquitetar a complexidade desse mundo maravilhoso.

RESUMO

LUCENA JUNIOR, J. E. **Modelo de ising aplicado ao estudo da criminalidade**. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Versão corrigida.

Nosso estudo foi elaborado a partir de uma analogia do modelo de Ising em duas dimensões para analisar a influência que a rede de contatos e as forças externas podem exercer no indivíduo para que ele tenha ou não a intenção de agir lícitamente. Esse estudo teve como inspiração o modelo proposto no artigo “Analysing Tax Evasion Dynamics Via The Ising Model” (ZAKLAN; WESTERHOFF; STAUFFER, 2009), porém, com ênfase à intenção dos agentes, que precede a conduta delituosa, e não ao cometimento do crime em si, quando já ocorreu o dano à sociedade. A analogia e inclusão de algumas variáveis ao referido modelo nos possibilitou estudar, de acordo com cada cenário, formas de manter ou reduzir os índices criminais, prever possíveis situações de histerese, suas consequências e possíveis custos para a sociedade e para o governo.

Palavras chave: Crime, Ising, Complexidade, Sistemas Complexos, Modelo Baseado em Agentes.

ABSTRACT

LUCENA JUNIOR, J. E. **Ising model applied to the study of criminality**. 2014. 56 f. Thesis (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2014. Corrected version.

Our study was drawn from an analogy of the Ising model in two dimensions to analyze the influence that the network and the external forces can exert on the individual so that whether or not he intends to act lawfully. This study was inspired by that proposed in the article "Analysing Tax Evasion Dynamics Via The Ising Model" (ZAKLAN; WESTERHOFF; STAUFFER, 2009) model, but with emphasis on the intention of the agents, which precedes the criminal conduct, not to the commission of the crime itself, when the damage has already occurred to society. The analogy is the inclusion of some variables that model allowed us to study, according to each scenario, ways to maintain or reduce crime rates, predict possible situations hysteresis, their consequences and potential costs to society and the government.

Key words: Crime, Ising, Complexity, Complex Systems, Agent-Based Models

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: EXEMPLO GRÁFICO DO MODELO DE ISING EM UMA DIMENSÃO.	26
FIGURA 2: EXEMPLO GRÁFICO DO MODELO DE ISING EM DUAS DIMENSÕES.	26
FIGURA 3: REPRESENTAÇÃO DE UM “TORO” (FONTE DA FIGURA: WIKIPEDIA).	27
FIGURA 4: MÓDULO DA MAGNETIZAÇÃO DE ACORDO COM A TEMPERATURA NO MODELO DE ISING EM DUAS DIMENSÕES.	28
FIGURA 5: FONTE: (SEADE, 2013), SOFTWARE PARA GERAÇÃO DOS HISTOGRAMAS: (EASYFIT 5.5).	30
FIGURA 6: FONTE DOS DADOS: (SEADE, 2013), GRÁFICOS GERADOS NO (MS EXCEL).	32
FIGURA 7: DISTRIBUIÇÃO DE CRIMES DE ACORDO COM A PENA, (SEADE, 2013), (EASYFIT 5.5) E (CÓDIGO PENAL, 1940).	34
FIGURA 8: TELA DO SIMULADOR (NETLOGO, 2013).	35
FIGURA 9: INTENÇÃO MÉDIA DE RESPEITAR A LEI (MAGNETIZAÇÃO) EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA INFLUÊNCIA ENTRE VIZINHOS (TEMPERATURA).	40
FIGURA 10: INTENÇÃO MÉDIA DE RESPEITAR A LEI (MAGNETIZAÇÃO) EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA INFLUÊNCIA ENTRE VIZINHOS (TEMPERATURA), COM SENSACÃO DE SEGURANÇA (CAMPO EXTERNO) IGUAL A 0,1.	41
FIGURA 11: INTENÇÃO MÉDIA DE RESPEITAR A LEI (MAGNETIZAÇÃO) EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA INFLUÊNCIA ENTRE VIZINHOS (TEMPERATURA), COM INFLUÊNCIA ENTRE VIZINHOS (INTENSIDADE DE ACOPLAMENTO) IGUAL A 1,1.	42
FIGURA 12: INTENÇÃO MÉDIA DE RESPEITAR AS LEIS (MAGNETIZAÇÃO) EM FUNÇÃO DA SENSACÃO DE SEGURANÇA (CAMPO EXTERNO), COM VARIAÇÃO DE INFLUÊNCIA (TEMPERATURA) IGUAL A 2.	43
FIGURA 13: INTENÇÃO MÉDIA DE RESPEITAR AS LEIS (MAGNETIZAÇÃO) EM FUNÇÃO DA SENSACÃO DE SEGURANÇA (CAMPO EXTERNO), COM VARIAÇÃO DE INFLUÊNCIA (TEMPERATURA) IGUAL A 1,5.	44
FIGURA 14: INTENÇÃO MÉDIA DE RESPEITAR AS LEIS (MAGNETIZAÇÃO) EM FUNÇÃO DA SENSACÃO DE SEGURANÇA (CAMPO EXTERNO), COM VARIAÇÃO DA INFLUÊNCIA (TEMPERATURA) IGUAL A 1,5 E OPORTUNIDADE CRIME IGUAL A 4% E MEMÓRIA IGUAL A 5.	45
FIGURA 15: INTENÇÃO MÉDIA DE RESPEITAR AS LEIS (MAGNETIZAÇÃO) EM FUNÇÃO DA SENSACÃO DE SEGURANÇA (CAMPO EXTERNO), COM VARIAÇÃO DA INFLUÊNCIA (TEMPERATURA) IGUAL A 1,5 E OPORTUNIDADE CRIME IGUAL A 4%, EFICIÊNCIA POLÍCIA REPRESSIVA IGUAL A 2% E MEMÓRIA IGUAL A 5.	46
FIGURA 16: INTENÇÃO MÉDIA DE RESPEITAR AS LEIS (MAGNETIZAÇÃO) EM FUNÇÃO DA SENSACÃO DE SEGURANÇA (CAMPO EXTERNO), COM VARIAÇÃO DA INFLUÊNCIA (TEMPERATURA) IGUAL A 1,5 E OPORTUNIDADE CRIME IGUAL A 4%, EFICIÊNCIA POLÍCIA REPRESSIVA IGUAL A 4% E MEMÓRIA IGUAL A 5.	46
FIGURA 17: INTENÇÃO MÉDIA DE RESPEITAR AS LEIS (MAGNETIZAÇÃO) EM FUNÇÃO DA SENSACÃO DE SEGURANÇA (CAMPO EXTERNO), COM VARIAÇÃO DA INFLUÊNCIA (TEMPERATURA) IGUAL A 1,5 E OPORTUNIDADE CRIME IGUAL A 4%, EFICIÊNCIA POLÍCIA REPRESSIVA IGUAL A 10% E MEMÓRIA IGUAL A 5.	47
FIGURA 18: GRÁFICOS OPORTUNIDADE CRIME X INTENÇÃO DE RESPEITAR AS LEIS X EFICIÊNCIA DA POLÍCIA REPRESSIVA (VISTA LATERAL).	54
FIGURA 19: GRÁFICOS OPORTUNIDADE CRIME X INTENÇÃO DE RESPEITAR AS LEIS X EFICIÊNCIA DA POLÍCIA REPRESSIVA (VISTA DE CIMA).	55
FIGURA 20: EXEMPLO DE HISTERESE ANALISANDO EFICIÊNCIA DA POLÍCIA REPRESSIVA X INTENÇÃO MÉDIA DA POPULAÇÃO.	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: TAXA CRIMINAL POR HABITANTE DAS REGIÕES ADM DO ESTADO DE SÃO PAULO DE 2003 ATÉ 2007, FONTE DOS DADOS:

(SEADE, 2013).	31
TABELA 2: REGISTRO DE OCORRÊNCIAS POR ANO (SEADE, 2013), PENA MÍNIMA EM MESES (BRASIL, 1940).	33
TABELA 3: CORRESPONDÊNCIA ENTRE O MODELO PROPOSTO E O MODELO DE ISING.	38
TABELA 4: LEGENDA DA ÁREA DE VISUALIZAÇÃO DO SIMULADOR.	38
TABELA 5: VARIÁVEIS, CORRESPONDÊNCIA, VARIAÇÃO DE VALORES E OBSERVAÇÕES.	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Breve histórico sobre Sistemas Complexos	13
1.1.1	Alan Turing	13
1.1.2	Edward Lorenz	15
1.1.3	Benoit Mandelbrot.....	15
1.2	Estudos e modelos sobre o crime	16
1.2.1	Tragédia dos Comuns.....	16
1.2.2	Formação da instituição de controle dos bens comuns	17
1.2.3	Teoria Econômica do Crime	19
2	MODELO DE ISING.....	26
2.1	Uma dimensão.....	26
2.2	Duas dimensões.....	26
2.2.1	Intensidade de acoplamento (parâmetro “J”) e temperatura	27
2.2.2	Magnetização.....	28
2.2.3	Magnetização espontânea e temperatura crítica	28
2.2.4	Campo externo	29
3	ESTATÍSTICAS CRIMINAIS	30
3.1	Taxa criminal por habitante	30
3.1.1	Lei de Potência	32
3.2	Distribuição da pena	33
4	REDE CRIMINAL COMO UM MODELO DE ISING 2D.....	35
4.1	Área de observação do simulador (introdução)	35
4.2	Equivalência entre a intensidade de acoplamento e a influência entre vizinhos.....	36
4.3	Equivalência entre a temperatura e a variação da influência entre vizinhos.....	36
4.4	Equivalência entre o campo externo e a sensação de segurança	36
4.5	O crime.....	37
4.6	Memória da ocorrência do crime (e da repressão)	37

4.7 Repressão.....	38
4.8 Tabelas resumo.....	38
5 SIMULAÇÕES.....	39
5.1 Variação da intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da variação de influência entre vizinhos (temperatura)	39
5.1.1 Elevação da sensação de segurança de 0 para 0,1	41
5.1.2 Elevação da influência entre vizinhos de 1 para 1,1.....	42
5.2 Intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da sensação de segurança (campo externo)	43
5.2.1 Oportunidade de crime igual a 4% (sem repressão)	45
5.2.2 Oportunidade de crime igual a 4% e repressão igual a 2%, 4% e 10%....	46
6 CONCLUSÃO.....	48
7 TRABALHOS FUTUROS.....	49
8 BIBLIOGRAFIA	50
9 APÊNDICE A	53

1 INTRODUÇÃO

O modelo de Ising é um modelo da física para estudar a propriedade magnética dos materiais e, devido a sua simplicidade, teve aplicação análoga em diversas situações e problemas gerando milhares de citações.

Nosso estudo teve como inspiração o artigo “*Analysing Tax Evasion Dynamics Via The Ising Model*” (ZAKLAN; WESTERHOFF; STAUFFER, 2009) o qual utiliza o modelo de Ising para simular o efeito da influência entre os agentes e da aplicação de pena por uma auditoria.

O objetivo desta dissertação é analisar a influência que a rede de contatos e as forças externas podem exercer no indivíduo para que ele tenha ou não a intenção de agir lícitamente.

Nossa proposta tem como enfoque a intenção dos agentes e não o cometimento do crime em si, para permitir uma atuação preventiva, antes que o crime ocorra e gere custos para a vítima, sociedade e governo.

A analogia da sensação de segurança com o campo externo, variável própria do modelo de Ising, nos permitiu simular, através de premissas lógicas, o fenômeno de histerese na segurança pública bem como os efeitos da repressão ao crime na manutenção e na recuperação da ordem pública.

Para construirmos um modelo mais completo sem perder a simplicidade, realizamos consultas no banco de dados criminais, disponível publicamente na *Internet*, a fim de entender, de maneira geral, a ocorrência do crime no mundo real e identificar seus padrões.

1.1 Breve histórico sobre Sistemas Complexos

Baseado no documentário (The Secret Life of the Chaos, 2010) da BBC Four.

1.1.1 Alan Turing

Alan Turing (1912-1954) descreveu um fenômeno biológico através de equações matemáticas. Ele enxergou padrões na natureza que até então estavam ocultos para os demais cientistas de sua época, ele acreditava até que podia haver uma base matemática para descrever a inteligência humana. Em 1952 ele publicou um artigo (TURING, 1952) pioneiro descrevendo matematicamente como funcionaria o processo que ocorre em um embrião: a morfogênese¹. Ele utilizou equações que

¹ Auto organização de células aparentemente iguais de um embrião que formam diferentes partes de um ser vivo, sem um comando central.

geralmente eram utilizadas em publicações de astronomia ou física para descrever um fenômeno biológico e como ele pode se auto-organizar.

O que chama a atenção neste trabalho de Alan Turing é que a descrição de processos muito simples, regidos por equações também simples, reunidos faz surgir a complexidade. Ele fez a seguinte analogia: imaginemos um vento constante soprando a areia em um deserto em que todos os grãos são praticamente iguais e sofrem basicamente as mesmas influências. Mesmo tendo características muito semelhantes, esses grãos, sem saber das formas que tomarão parte, com a influência do vento se “organizam”, formando dunas e criando diferentes tipos de formas. Turing sustentou em seu artigo que substâncias químicas ao redor do embrião levam suas células a auto organizarem-se em cada parte, em órgãos do corpo. Em seus trabalhos ele demonstrou que equações podiam descrever marcas similares às manchas da pele dos animais, como as manchas da pele de uma onça.

Apesar das equações de Turing não serem a explicação completa dos fenômenos, foram o primeiro passo demonstrando que é possível estudá-los matematicamente. Ele demonstrou que as grandes maravilhas da natureza podem derivar das regras mais simples. Foi o primeiro passo para um novo tipo de Ciência.

No início dos anos 50, mesmo sem conhecer o trabalho pioneiro sobre a morfogênese, um Russo chamado Boris Belousov estudando a forma que nosso corpo extrai energia dos açúcares, conseguiu reproduzir o trabalho de Turing utilizando uma mistura de substâncias líquidas que oscilavam de cor sem uma motivação aparente. Por parecer que seus resultados contrariavam as leis da física seu trabalho foi rejeitado para publicação em um jornal de grande circulação da época.

No início do século XX, os cientistas viam o mundo como um grande mecanismo que obedece a regras matemáticas, considerando as leis de Newton como as leis que regem o universo. Quanto mais preciso fossem os cálculos, mais o comportamento desta máquina seria previsível. Negar essas regras seria como negar tudo o que se conhecia como ciência, daí a dificuldade em aceitar trabalhos como o de Turing e Belousov. Os problemas que ocorriam na previsibilidade dos sistemas matemáticos mais precisos eram considerados erros do experimento ou de forças aleatórias externas, ou seja, ideia de auto-organização era considerada absurda.

1.1.2 Edward Lorenz

Durante a segunda metade do século XX a teoria do caos fez com que os cientistas levassem a auto-organização a sério. Eles descobriram que é possível um sistema descrito matematicamente ser imprevisível sem qualquer interferência externa, ou seja, regras completamente simples podem gerar resultados totalmente imprevisíveis.

No início dos anos 60 um meteorologista americano chamado Edward Lorenz tentou desenvolver equações matemáticas para poder prever o clima, porém não conseguiu aplicação prática. Era como se a mínima diferença das condições iniciais, como uma leve brisa, pudesse fazer a diferença entre uma nevasca ou um dia de sol um mês depois. Lorenz comentou o assunto em uma palestra intitulada “O bater de asas de uma borboleta no Brasil pode provocar um tornado no Texas?”, que deu origem ao que conhecemos hoje como “efeito borboleta” (LORENZ, 1963). A ideia de que um modelo matemático poderia nos dar poder perfeito de previsão começou a perder sentido mesmo sabendo de todas as suas regras, por mais simples que fossem.

1.1.3 Benoit Mandelbrot

A partir dos anos 70 cada vez mais cientistas aceitavam que o caos e o padrão estão presentes na natureza. Um deles foi Benoit Mandelbrot que enxergou um novo tipo de matemática, algo único que sustentaria/definiria todas as formas da natureza. Em todas as formas da natureza ele encontrou um princípio de auto-similaridade que definiu como fractal (MANDELBROT, 1975), que seria base de uma nova geometria. Mandelbrot, com o objetivo de transformar essa propriedade da natureza em um simples conjunto de regras matemáticas, capturou a sua essência e esboçou uma imagem que a chamou de “Digital de Deus”, porque espelha o princípio fundamental de organização de toda a natureza. Com uma simples equação de matemática pode-se produzir uma imagem de complexidade infinita.

Este conjunto de regras matemáticas foi definido pela primeira vez em 1905 por Pierre Fatou, matemático francês, porém ele não teve acesso a um computador capaz de plotar o conjunto, que está além da capacidade de um ser humano executar a mão.

Recentemente, os computadores são utilizados para reproduzir de forma visual e acelerada como a natureza usa a evolução para moldar organismos vivos, interação entre agentes, enfim, a modelagem de sistemas complexos em geral.

A matemática nessa área nos mostra que a complexidade é regida por regras muito simples. A mesma coisa pode ser complexa e simples ao mesmo tempo, sob pontos de vista diferentes, e que existe uma relação forte entre simplicidade e complexidade. Podemos até identificar certo tipo de padrão em situações complexas, mas não podemos prever exatamente o que vai acontecer.

1.2 Estudos e modelos sobre o crime

“O homem é, por natureza, um animal social” (ARISTÓTELES).

Os seres humanos vivem em sociedade por questões de sobrevivência e conveniência, porque suas interações possibilitam um resultado maior que a soma das colaborações individuais. Essa sinergia é condição necessária para a perpetuação da nossa espécie e as “vantagens da sociedade devem ser igualmente repartidas entre todos os seus membros” (BECCARIA, 1764).

Porém, apesar da necessidade, a convivência em grupo gera conflito entre interesses individuais e coletivos, isso porque, geralmente, os recursos são limitados e cada um, individualmente, busca maximizar os seus ganhos, mesmo sabendo que isso possa trazer consequências negativas para a coletividade.

Como pode se perceber, esse é um problema antigo que tomou bastante repercussão em um artigo de Garret (HARDIN, 1968), conhecido como Tragédia dos Comuns, que elucidaremos a seguir.

1.2.1 Tragédia dos Comuns

Imagine um pasto de livre acesso onde qualquer pessoa pode levar as suas ovelhas para pastar. Para maximizar o seu benefício privado, os agentes são incentivados a colocar cada vez mais ovelhas neste pasto, porém se todos pensarem desta forma o pasto não consegue suportar a demanda e as ovelhas morrem de fome. Esse caso é uma versão coletiva do Dilema do Prisioneiro e acontece porque os agentes sentem somente uma fração do custo de extrapolar a capacidade do pasto e mesmo se um não o fizer outros farão no lugar dele. Hardin observou também que é possível amenizar esse problema estatizando ou privatizando os bens, de modo que alguém se responsabilize pelo seu uso. Essas soluções são observáveis ao longo da história e fundamentam a origem das leis e, consequentemente, dos crimes.

Cansados de tanta preocupação, com a possibilidade de não poder gozar a sua liberdade, muitas vezes tendo que fazer justiça com as próprias mãos, o que,

individualmente, aumenta bastante o custo de vida, algumas pessoas acabaram se reunindo para contribuir com parcela de seus recursos próprios para a formação de um bem público com poder de coerção, ou seja, para a formação de uma polícia. Essa força pública ficaria encarregada de controlar o uso dos recursos comuns de modo que pudesse atender da melhor forma a todos.

“Cansados de só viver no meio de temores e de encontrar inimigos por toda parte, fatigados de uma liberdade que a incerteza de conservá-la tornava inútil, sacrificaram uma parte dela para gozar do resto com mais segurança. A soma de todas essas porções de liberdade, sacrificadas assim ao bem geral, formou a soberania da nação; e aquele que foi encarregado pelas leis do depósito das liberdades e dos cuidados da administração foi proclamado o soberano do povo.

Não bastava, porém, ter formado esse depósito; era preciso protegê-lo contra as usurpações de cada particular, pois tal é a tendência do homem para o despotismo, que ele procura, sem cessar, não só retirar da massa comum sua porção de liberdade, mas ainda usurpar a dos outros” (BECCARIA, 1764).

1.2.2 Formação da instituição de controle dos bens comuns

O artigo “*Social Learning Promotes Institutions for Governing the Commons*” (SIGMUND, et al., 2010), que iremos descrever a seguir, simula, de forma minimalista, as condições para formação de uma sociedade que contribui para um bem público e que se beneficia dele, além de comparar estratégias de fazer justiça com as próprias mãos ou de contribuição para a formação de uma polícia.

O problema é que alguns agentes podem adotar a estratégia de caronista, que recebe o benefício sem contribuir, porém se todos pensarem dessa forma não há contribuição e nem benefício a serem repartidos.

As questões principais são: será possível surgir naturalmente, por simples imitação, entre os indivíduos com interesses próprios, uma instituição de controle dos bens comuns sem a prescrição de autoridades superiores ou mesmo um planejamento? Sob quais condições essas estratégias são mais eficientes?

Para modelar o sistema, os autores aplicaram a teoria dos jogos para populações de tamanho fixo M e composição variável, X , Y , Z , V e W , jogadores que usam as cinco estratégias para o jogo do bem público. X são os caronistas de segunda ordem, que contribuem para o bem público e recebe o benefício com uma espécie de lucro, mas não contribui para punir os Y , os caronistas de primeira ordem, que recebem o benefício sem contribuir. Z são os não participantes, que recebem um pay-off maior que zero e menor que os pertencentes do jogo, se todos estiverem contribuindo. V são os agentes que contribuem para o bem público,

recebem o benefício e ainda colaboram para a criação de uma força pública que identifica e pune os X e Y a um custo prévio a eles, e os W, que fazem justiça com as próprias mãos e que punem somente os Y a um custo para si, contribuem e recebem o benefício do jogo do bem público.

Eles calcularam os pay-offs obtidos pelos jogadores usando essas estratégias e a diferença define a probabilidade de que são copiadas através de um aprendizado social, como uma função de um parâmetro $S \geq 0$, que mede a intensidade de imitação. A taxa de exploração $\mu \geq 0$ especifica a propensão para escolher randomicamente outra estratégia, definindo um processo estocástico implicando na evolução da frequência das cinco estratégias. Calcularam suas distribuições estacionárias, com correspondência para as relativas frequências a longo prazo, tanto numericamente quanto, num caso limite, analiticamente e checaram esses valores por uma simulação baseada em agentes. Isso permitiu a comparação da evolução de qualquer subconjunto das cinco estratégias de aprendizado social.

Os resultados obtidos demonstram que se a participação no jogo não for obrigatória os punidores podem invadir a sociedade basicamente de duas formas:

Somente com punição de primeira ordem os W se sobressaem, porém há certa instabilidade porque eles não identificam e punem os X, que podem dominar e dar espaço para os Y, que são identificados e punidos pelos W, daí a instabilidade.

Com punição de primeira e segunda ordem a instituição criada pela colaboração dos agentes V identifica e pune os X e Y, a um custo prévio, e não dá chances de outra estratégia se estabelecer.

Se a participação na “empresa conjunta” for obrigatória os caronistas de primeira ordem sempre dominam, talvez isso explique as evidências consideráveis de que a cooperação aumenta caso a participação não seja obrigatória.

Ficou demonstrado que é possível, sob determinadas condições, a formação de uma instituição de controle dos bens comuns por simples imitação, sem uma prescrição de autoridades superiores ou mesmo sem um planejamento.

Esse artigo mostra de forma bem minimalista a formação de uma instituição que pode ser vista como uma polícia, geralmente formada pela colaboração dos impostos, e como pode ser mais eficiente. Por ser um modelo simples, não ficou muito clara a atuação dessa polícia, mas conseguiram provar o princípio a que se propuseram, através de simulações a partir de premissas lógicas. O princípio do

artigo aplica-se em várias situações, como, por exemplo, o pagamento de um zelador para cuidar das áreas comuns de um condomínio, mediante pagamento da mensalidade dos condôminos.

Além da necessidade do controle do uso dos recursos comuns, convivência em grupo também trouxe consigo o temor de que o trabalho ou a liberdade fossem subtraídos por outros indivíduos, o que tornaria a convivência inviável. Para desmotivar a subtração de bens, a coerção imposta pela força pública deveria ter a intensidade estritamente necessária para não compensar o benefício a ser aferido pelo ato delituoso, de modo a proporcionar o maior bem estar possível para a população em geral. Daí surge a necessidade de uma lei, imposta para todos, com a tipificação dos crimes puníveis.

“Por conseguinte, só a necessidade constrange os homens a ceder uma parte de sua liberdade; daí resulta que cada um só consente em por no depósito comum a menor porção possível dela, isto é, precisamente o que era necessário para empenhar os outros em mantê-lo na posse do resto.

O conjunto de todas essas pequenas porções de liberdade é o fundamento do direito de punir. Todo exercício do poder que se afastar dessa base é abuso e não justiça; é um poder de fato e não de direito; é uma usurpação e não mais um poder legítimo.

As penas que ultrapassam a necessidade de conservar o depósito da salvação pública são injustas por sua natureza; e tanto mais justas serão quanto mais sagrada e inviolável for a segurança e maior a liberdade que o soberano conservar aos súditos.” (BECCARIA, 1764)

1.2.3 Teoria Econômica do Crime

De acordo com a Teoria Econômica do Crime (BECKER, 1968), o agente racional/econômico decide cometer um crime ou não segundo uma ponderação entre os benefícios e os custos dessa atividade conforme o seguinte modelo:

$$g > p (f + l.t)$$

Onde:

g = ganho ao praticar a atividade criminosa;

p = probabilidade percebida de captura (sensação de segurança);

f = multa;

l = desutilidade por unidade de tempo;

t = tempo de cumprimento da pena.

“Vale aqui lembrar as lições de Gary Becker, prêmio Nobel de economia. Segundo o professor da Universidade de Chicago, o infrator é uma pessoa comum. O crime é uma atividade econômica como outra qualquer. A prática de uma infração é sempre resultado de uma ponderação entre o benefício auferido pelo ato, o risco de ser preso, a pena a ser aplicada e as alternativas de alocação do tempo, que é escasso para todos.” (TIMM, 2012)

Esse modelo considera que qualquer cidadão pode cometer um delito, como uma atividade econômica qualquer, quando o ganho (**g**) decorrente desta ação for maior que o custo de punição (**p (f + l.t)**). Segundo essa teoria o cidadão não nasce um criminoso e sim pode agir como tal quando essas condições forem satisfeitas. Um bem obtido em decorrência de uma atividade criminosa (**g**), na maioria das vezes, não possui o mesmo valor do mercado legal, porém tendem ter o seu valor aumentado quanto maior for a procura/aceitação de produtos de procedência ilícita dentro da população.

O modelo apresentado por Becker está de acordo com o artigo 5º da (Constituição, 1988) que leciona: “Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza...”.

Nem todas as teorias sobre o crime tratam os agentes de forma igualitária. A Teoria Lombrosiana (LOMBROSO, 1876), por exemplo, considera que o agente já nasce com predisposição ao crime e pode ser reconhecido por características físicas. Segundo o professor da USP Magno Medeiros da Silva:

“Teoria Lombrosiana - Concepção segundo a qual as características hereditárias determinam o comportamento agressivo. O sujeito violento é reconhecível a partir de seus traços físicos e fenotípicos (Cesare Lombroso). Traços físicos de certos seres humanos, considerados “feios” ou “ameaçadores”, acabavam sendo relacionados à violência. Bastante criticável, esta teoria nada tem de científico, e acabou caindo no descrédito em função do preconceito que recai contra as minoridades sociais.” (SILVA).

Na Teoria Econômica do Crime, o custo de punição (**p (f + l.t)**) é definido pela probabilidade percebida de captura (**p**) multiplicado pela perda decorrente dessa captura (**f + l.t**).

1.2.3.1 Probabilidade percebida de captura (sensação de segurança)

Essa probabilidade percebida não necessariamente é igual a probabilidade real, porque o cidadão em geral não sabe a quantidade de policiais ou outras formas de ser detectado e punido, que estão distribuídas no espaço em que pode atuar, daí dizermos que pode ser entendida também como sensação de segurança.

O aumento da sensação de segurança pode ser realizado de diversas formas. Talvez a forma mais conhecida seja através do policiamento ostensivo. Interessante notar a importância da Polícia Militar dos Estados do Brasil conforme consta no §5º do artigo 144 da (Constituição, 1988): “às polícias militares cabem a polícia ostensiva e a preservação da ordem pública...”. Esse parágrafo da nossa Lei maior

demonstra claramente a preocupação do legislador com o que entendemos por sensação de segurança dando a devida importância da polícia ostensiva e a forte relação que tem com a preservação da ordem pública, que inclui a prevenção à ocorrência da conduta delituosa.

A prevenção à ocorrência do crime é muito mais importante para a sociedade do que prender o criminoso simplesmente porque na segunda situação o crime já ocorreu e fez vítima. Um aumento da quantidade de policiais, sem que haja a percepção por parte dos cidadãos, só adiantaria para aumentar o número de prisões, tendo em vista que o cidadão com a intenção de agir ilicitamente não seria influenciado positivamente por esse reforço do policiamento (BERGER, 2008). Um policiamento inteligente busca sempre aumentar essa percepção do cidadão (BECKER, 1968), mesmo utilizando efetivo e recursos que são limitados, observando sempre os custos de oportunidade. Um policiamento inteligente busca aumentar essa sensação de segurança com o menor custo possível.

A divulgação de uma operação policial pela mídia pode ter mais impacto na intenção dos cidadãos do que a própria operação em si, logo a mídia também pode colaborar com o aumento da sensação de segurança.

Podemos citar como exemplo de divulgação pela mídia de massa a veiculação da Lei Nº 11.705 de 19 de junho de 2008, conhecida também como Lei Seca, que atingiu muito mais pessoas que as polícias poderiam submeter ao teste do “bafômetro”, mesmo que direcionassem todos os seus esforços nesse sentido. Foi uma lei amplamente divulgada em mídia de massa, informando que os policiais estavam utilizando um instrumento para detectar durante a abordagem quem estiver dirigindo sob a influência de álcool em qualquer concentração por litro de sangue, além de frisar a imposição de penalidades mais severas. Caso não houvesse esta ampla divulgação, possivelmente o número de pessoas detidas em decorrência da lei seria bem maior e poderia chegar ao ponto da polícia não conseguir suportar a demanda e a lei cair em descrédito pela ineficiência em deter todos os infratores. A situação ainda poderia ser agravada com uma eventual divulgação pela mídia dessa ineficiência, gerando sensação de insegurança, o que seria uma influência negativa para um grande número de pessoas, criando um círculo vicioso favorecendo a intenção do cometimento da atitude ilícita.

Podemos citar como forma viral de transmissão de sensação de segurança as diversas modalidades de policiamento ostensivo preventivo, como, por exemplo, o

Rádio Patrulhamento Padrão (patrulhamento e atendimento de 190), Policiamento Escolar (reforço do policiamento nas proximidades das escolas), Força Tática (dedicação exclusiva ao patrulhamento, melhor equipada para a repressão imediata de crimes de grande vulto) e diversos programas como o de Polícia Comunitária (visa a maior integração do policial com as pessoas da área onde trabalha buscando atender seus anseios), PROERD (aulas nas escolas ministradas por policiais que tem como um dos objetivos a prevenção ao uso de drogas por crianças e adolescentes). Cada ação com a sua capacidade de transmissão de segurança e seus respectivos custos de oportunidade.

Somente para exemplificar a relevância do direcionamento das atividades de polícia e sua divulgação/percepção pela sociedade, podemos imaginar, por absurdo, a polícia deixando de atender até mesmo o chamado de 190 (emergência) para alocar todos os seus esforços para a aplicação restrita de uma ação ou lei. Essa atitude/estratégia causaria um caos na sociedade em relação a outras demandas e ainda poderia não surtir o efeito preventivo desejado para o objeto desta ação caso não tivesse uma divulgação efetiva que influenciasse os agentes positivamente.

Também são influências externas as iniciativas governamentais que aumentam a sensação de segurança do cidadão. Caso o Estado esteja presente em determinada área fornecendo condições mínimas de sobrevivência, o agente não teria que dispor de seu salário para custear esses serviços ou ficar sem eles. Essas ações do Estado elevam a utilidade do agente e conseqüentemente aumentam o custo da atividade criminosa (BECKER, 1968) e elevam a sensação de segurança.

Até mesmo a implantação de iluminação pública em um local de grande circulação no período noturno pode aumentar a sensação de segurança para os cidadãos daquele local.

Nesse sentido, é válido citar o modelo de Segurança Pública conhecido como Unidade de Polícia Pacificadora (UPP) utilizado pela polícia do Rio de Janeiro para a ocupação de dos morros antes tomados por traficantes:

“A Unidade de Polícia Pacificadora é um novo modelo de Segurança Pública e de policiamento que promove a aproximação entre a população e a polícia, aliada ao fortalecimento de políticas sociais nas comunidades. Ao recuperar territórios ocupados há décadas por traficantes e, recentemente, por milicianos, as UPPs levam a paz às comunidades (...).” Grifos nossos, (Unidade de Polícia Pacificadora, 2012).

As UPPs trabalham com princípios de Polícia Comunitária, que também é utilizada por outras polícias do Brasil e do mundo. A principal diferença entre as

duas é que a primeira tem atuação direcionada/focada e a segunda é uma filosofia de atuação de toda a organização. O sucesso desses modelos de segurança está em aproximar o Estado da comunidade através da polícia para entender melhor os seus anseios.

“Vocês devem estar se perguntando o que um secretário de Segurança está fazendo aqui, acompanhando obras da prefeitura. Iluminação é melhoria de segurança, saneamento, limpeza e ordem são questões que implicam na segurança. Sempre disse que não basta chegar a polícia, mas os serviços que trarão dignidade aos moradores e é o que estamos vendo aqui. Cuidem deste patrimônio, pois isto não é do estado, nem da prefeitura, é de vocês – disse Beltrame aos moradores da Cidade de Deus, ocupada pela Unidade de Polícia Pacificadora (UPP) desde fevereiro de 2009.” (BENJAMIN, 21)

Esta declaração não só demonstra a preocupação com o aumento da sensação de segurança através da iluminação, mas também com a utilidade do agente, alterada por uma ação do Estado, que ficou bem clara quando o Secretário de Segurança Pública do Rio de Janeiro, José Mariano Beltrame, disse: “serviços que trarão dignidade aos moradores” e “Cuidem deste patrimônio, pois isto não é do Estado, nem da prefeitura, é de vocês”. Daí a importância dessas ações que levou o título da reportagem “Depois da polícia, invasão de serviços” que está de acordo com o comentário de Alexandre Garcia feito ao Jornal Bom dia Brasil do dia 31 de maio de 2011 em relação as UPPs: “Só polícia não basta. É necessária a presença do Estado na prestação dos serviços públicos, e da iniciativa privada na criação de emprego e oferta de serviços coletivos.” (GARCIA, 2012).

Incluem também nessas ações do Estado a aplicabilidade e eficiência do sistema Judiciário:

“Por outro lado, a percepção elevada de punição não quer dizer necessariamente que o cidadão eventualmente vá desistir da conduta criminosa. Imagine o caso, por exemplo, de que em uma determinada região, em cada esquina, existe um policial prendendo em flagrante qualquer tentativa delitiva. Porém, logo a seguir, ao ser levado à autoridade policial, sabe-se que o acusado não será condenado em hipótese alguma, sendo logo liberado mediante pagamento de módica fiança, pois responderá ao processo em liberdade.

O agente, tendo esta informação por experiência, voltará a tentar cometer o delito, pois a mera intimidação do flagrante não irá impedi-lo, visto que nem a autoridade policial, nem o poder judiciário dão resposta capaz de conter a conduta do criminoso, ou seja, não existe certeza de punição, apenas de captura.” ((BERGER, 2008), p.99).

Diante desses exemplos, é nítida a influência que o Estado pode exercer na utilidade do cidadão fazendo com que ele tenha orgulho de pertencer à sociedade e dê mais valor a sua liberdade. Essas ações aumentam a sensação de segurança

para exercício da cidadania, fundamento do nosso Estado Democrático de Direito, inc. II do art. 1º da (Constituição, 1988).

O Estado tem como objetivo não só retornar esses serviços para seus “acionistas-cidadãos”, mas espera-se também um “resultado econômico” (SLOMSKI, 2005) positivo para poder justificar a sua existência. Segundo o Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário (IBPT), em média, cerca de 40% do salário dos brasileiros são convertidos em impostos e é desejado que esse dinheiro seja aplicado da melhor forma gerando uma espécie de “lucro” (resultado econômico) quando comparado com o valor que ele poderia contratar serviços semelhantes com a iniciativa privada. O resultado econômico foi incluso na Lei n.º 4.320 de 17 de março de 1964 em seu anexo 20 pela Portaria STN nº 749, de 15.12.2009 e depois alterado pela Portaria STN nº 665, de 30.11.2010. Porém de acordo com o Art. 5º da Portaria STN nº 665, de 30.11.2010 “O Anexo nº 20 (Demonstração do Resultado Econômico) da Lei nº 4.320, de 1964, será de elaboração facultativa pelos entes da federação”.

A elevação da sensação de segurança não é caso isolado só de polícia. É importante investir em educação “visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania...” art. 205 da (Constituição, 1988), maximizar a sensação de segurança direcionando o efetivo e os recursos da polícia com base em uma gestão de custos (SLOMSKI, 2005) e em um Estado que pune e busca a reintegração de maneira efetiva e que atende os anseios da sociedade elevando a utilidade do Cidadão agregando mais valor a sua liberdade.

1.2.3.2 Perda financeira decorrente da captura

A perda financeira decorrente da captura (**f + I.t**) é entendida como a multa (**f**) mais a desutilidade (**I**) por unidade de tempo multiplicada pelo tempo efetivo de restrição de liberdade (**t**).

A pena de multa (em termos monetários) é um custo fixo para o agente porque não varia com o tempo de prisão e está prevista no inciso III do artigo 32 e no caput artigo 49 do Código Penal Brasileiro:

Art. 32 - As penas são:
III - de multa.

Art. 49 - A pena de multa consiste no pagamento ao fundo penitenciário da quantia fixada na sentença e calculada em dias-multa. Será, no mínimo, de 10 (dez) e, no máximo, de 360 (trezentos e sessenta) dias-multa. (Redação dada pela Lei nº 7.209, de 11.7.1984). (Código Penal, 1940)

A desutilidade (**I**) é todo o valor em termos monetários que o agente deixa de ganhar por unidade de tempo, por isso um custo variável. Um exemplo claro de desutilidade seria a perda do salário do agente porque quanto mais tempo estiver preso mais vai deixar de receber esse salário. Pode ser considerado também o custo da perda de acesso a serviços públicos. Outro exemplo válido, mas de difícil mensuração, seria o valor que cada um dá a sua liberdade, incluindo o convívio com seus amigos e familiares.

O tempo de cumprimento de pena (t) é o tempo que efetivamente o agente cumpre a pena privativa de liberdade, e está prevista no inciso I do art. 32 do Código Penal Brasileiro:

Art. 32 - As penas são:
I - privativas de liberdade; (Código Penal, 1940)

O modelo da Teoria Econômica do Crime (BECKER, 1968) foi implantado no simulador (Netlogo, 2013) por Luiz Marcelo Berger (BERGER, 2008), .

É sabido que nenhum modelo vai exaurir todos os problemas do mundo simplesmente porque é impossível termos o domínio de todas as variáveis universais, mas a identificação dos padrões e das principais variáveis que determinam um resultado simplifica e auxilia o estudo sobre eles.

2 MODELO DE ISING

2.1 Uma dimensão

O Modelo de Ising, proposto por Wilhelm Lenz (LENZ, 1920) e resolvido analiticamente em uma dimensão por E'rnst Ising (ISING, 1925), é um modelo da física para estudo de fenômenos magnéticos em materiais. Para viabilizar o estudo, cada parte mais simples do material foi denominado de *spin* que pode assumir dois estados antagônicos comumente representados por “+1” ou “-1” e graficamente como “seta para cima” ou “seta para baixo” como no exemplo abaixo na Figura 1:

Figura 1: Exemplo gráfico do Modelo de Ising em uma dimensão.

No modelo de Ising em uma dimensão cada *spin* é influenciado pelos *spins* posicionados imediatamente à sua esquerda e direita. Após as pontas considera-se um espelhamento do *spin* da ponta contrária, como representado na Figura 1 pelos spins fora do retângulo na cor cinza clara. Podemos imaginar também que em uma dimensão os *spins* estão interligados como um anel, para que as pontas tenham continuidade.

2.2 Duas dimensões

Porém o modelo de Ising em uma dimensão não tem transição de fase nem magnetização espontânea. Em 1936 R. Peierls (PEIERLS, 1936) demonstrou que a magnetização espontânea pode surgir no modelo em duas dimensões representado na Figura 2:

Figura 2: Exemplo gráfico do modelo de Ising em duas dimensões.

No modelo de Ising em 2d, cada *spin* é influenciado pelos vizinhos localizados imediatamente ao norte, sul, leste e oeste. Se analisarmos o *spin* central da área destacada da mesma figura podemos observar que ele é influenciado pelos quatro demais vizinhos também em destaque. A energia de interação é dada pela

soma dos estados dos *spins* imediatamente vizinhos (norte, sul, leste e oeste) multiplicado pelo valor do *spin* considerado. Tomando como base o *spin* central da área destacada (fundo cinza), a soma dos estados dos seus quatro vizinhos é “-2” multiplicado pelo estado do *spin* central “+1” resulta em uma energia de interação “-2”. O sinal negativo significa que o *spin* está sendo influenciado a inverter de posição e o “dois” seria a “resultante” da quantidade de *spins* que estão influenciando o *spin* em questão.

No modelo em duas dimensões os *spins* de uma borda são espelhados após a borda oposta para dar o efeito de continuidade, representado na Figura 2 pelos spins fora do quadrado na cor cinza clara. Para visualizar o que acontece na borda podemos imaginar uma folha de papel retangular enrolada de forma que dois lados opostos se toquem formando uma espécie de cilindro, agora com um pouco mais de imaginação tentamos imaginar os lados circulares e opostos se tocando tomando uma forma parecida com uma câmara de pneu cheia. Essa forma geométrica é conhecida na literatura como “toro”, conforme a Figura 3:

Figura 3: representação de um “toro” (Fonte da figura: Wikipedia).

2.2.1 Intensidade de acoplamento (parâmetro “J”) e temperatura

Cada *spin* não pode sair de seu sítio e é influenciado pela vizinhança a assumir um estado (+1 ou -1) de acordo com a energia de interação. A intensidade desta influência é dada por um parâmetro “J” que indica o quanto os *spins* influenciam e são influenciados. A hamiltoniana do sistema é:

$$\mathcal{H} = - \sum_{\langle i,j \rangle} J_{ij} \sigma_i \sigma_j - H \sum_i \sigma_i$$

com $\sigma = \pm 1$ e a condição de primeiros vizinhos

$$J_{ij} = \begin{cases} J & \text{se } i, j \text{ forem vizinhos} \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

“ H ” é a intensidade do campo magnético externo.

A “Temperatura” é a medida da “agitação” dos *spins*. Quanto menor for a temperatura maior será a magnetização espontânea (modelo de Ising com mais duas dimensões), se considerarmos “ J ” constante e maior que zero.

2.2.2 Magnetização

Entende-se por magnetização total da rede como a soma de todos os estados dos *spins* em um determinado momento. Na Figura 2 temos oito *spins* para cima que equivalem a “+8” e oito *spins* para baixo que equivalem a “-8”, a soma entre eles resulta em “0” que é a magnetização da rede naquele momento. Esse valor geralmente é expresso na proporção da totalidade dos *spins*, ou seja, um valor entre $[-1; +1]$.

2.2.3 Magnetização espontânea e temperatura crítica

No modelo de Ising em 2d (ou mais dimensões) com a temperatura abaixo da temperatura crítica ocorre a emergência da magnetização espontânea, um efeito coletivo causado pela interação entre os spins que interessa para o modelo proposto neste trabalho. Essa magnetização espontânea varia com a temperatura e está representada pela Figura 4:

Figura 4: Módulo da magnetização de acordo com a temperatura no modelo de Ising em duas dimensões.

Quando a temperatura é zero o módulo da magnetização é máximo e conforme a temperatura aumenta a magnetização diminui até chegar a temperatura crítica, que é a temperatura onde zera a magnetização espontânea, conforme demonstrado na Figura 4. Abaixo da temperatura crítica temos a predominância de um tipo de *spin* (pode ser “+1” ou “-1”) e acima da temperatura crítica metade dos *spins* ficam “+1” e a outra metade “-1”. Acima da temperatura crítica a amplitude de consideração da energia de interação faz com que, em média, metade assuma o

estado “+1” e a outra metade o estado “-1”, resultando em magnetização zero caso não haja um campo externo.

2.2.4 Campo externo

Já o campo magnético externo é definido como uma “força” externa aos *spins* que pode influenciá-los positivamente ou negativamente. O campo externo tem um sentido pré-definido e ignora o estado (+1 ou -1) dos *spins* influenciando-os em sua direção.

O modelo de Ising teve aplicação análoga em diversas situações e problemas o que gerou milhares de citações. O modelo proposto neste trabalho tem como base o modelo de Ising em duas dimensões e visa estudar como a rede de contatos e fatores externos podem influenciar o indivíduo a cometer crime e os custos para sociedade e para o governo manter a ordem pública.

3 ESTATÍSTICAS CRIMINAIS

Neste capítulo, realizamos algumas pesquisas utilizando banco de dados criminais públicos disponíveis na *Internet* (SEADE, 2013), *software* para análises gráficas (Easyfit 5.5) (MS Excel, 2010) e parametrização com o Código Penal Brasileiro vigente (1940), para nos ajudar a entender melhor como o fenômeno do crime ocorre no mundo real e sua padronização. Essas informações foram utilizadas para deixar o modelo mais completo e realista sem perder sua simplicidade, ou seja, sem adicionar novas variáveis.

3.1 Taxa criminal por habitante

Frequência da taxa criminal dos municípios do Estado de São Paulo (histograma) de 2003-2007 e média 2003-2007:

Figura 5: fonte: (SEADE, 2013), software para geração dos histogramas: (Easyfit 5.5).

A taxa criminal por habitantes dos municípios do Estado de São Paulo (SEADE, 2013) apresentaram uma distribuição GEV² (Easyfit 5.5). Esta distribuição, segundo (Élin Duxus, 2013), tem melhor poder de explicação para "alguns seguros, grandes catástrofes, altas temperaturas e de algumas perdas financeiras (risco operacional)". Essa distribuição também é utilizada para previsão de temperaturas, como em (SILVA; CLARKE, 2004) e (REIS; BEIJO, 2013).

Região	2003	2004	2005	2006	2007
685 - Região Administrativa de Sorocaba	0,04641	0,04520	0,04600	0,04433	0,04396
681 - Região Metropolitana de São Paulo	0,04694	0,04697	0,04680	0,04568	0,04460
693 - Região Administrativa Central	0,04254	0,04338	0,04600	0,04337	0,04489
692 - Região Administrativa de Marília	0,05280	0,05356	0,05580	0,05177	0,04894
684 - Região Administrativa de São José dos Campos	0,05220	0,05100	0,05251	0,05090	0,04964
688 - Região Administrativa de Bauru	0,05544	0,05450	0,05543	0,05132	0,05052
691 - Região Administrativa de Presidente Prudente	0,05139	0,05345	0,05418	0,05084	0,05202
689 - Região Administrativa de São José do Rio Preto	0,04693	0,05125	0,05138	0,05090	0,05205
682 - Região Administrativa de Registro	0,05476	0,05479	0,05314	0,05389	0,05216
686 - Região Administrativa de Campinas	0,05264	0,05287	0,05405	0,05279	0,05423
687 - Região Administrativa de Ribeirão Preto	0,05534	0,05683	0,05878	0,05639	0,05460
695 - Região Administrativa de Franca	0,05451	0,05669	0,05864	0,05966	0,05811
683 - Região Administrativa de Santos	0,06434	0,06241	0,06097	0,06159	0,06011
690 - Região Administrativa de Araçatuba	0,06602	0,06524	0,06644	0,06345	0,06417
694 - Região Administrativa de Barretos	0,06223	0,06456	0,06863	0,06683	0,06878
Desvio padrão	0,00645	0,00623	0,00650	0,00666	0,00687

Tabela 1: Taxa criminal por habitante das Regiões Adm do Estado de São Paulo de 2003 até 2007, fonte dos dados: (SEADE, 2013).

Apesar das taxas criminais dos municípios do Estado de São Paulo serem distribuídas de forma aproximadamente GEV (Figura 5), no período de 2003-2007 não há grande variação da taxa de crime entre as regiões administrativas (Tabela 1), que são aglomerados geográficos desses municípios. Isso acontece porque o agrupamento de municípios é feito para fins de planejamento da administração pública (Instituto Geográfico e Cartográfico, 2013) e essas regiões, apesar de seguirem um padrão, possuem municípios com características próprias. No nosso modelo, o parâmetro de variação da influência entre vizinhos (temperatura) tem o objetivo de capturar esse efeito.

A Região Metropolitana de São Paulo, que muitas vezes é citada na mídia por sua violência, teve a segunda menor taxa de criminal entre as 15 Regiões Administrativas do Estado de São Paulo em 2007.

² *Generalized Extreme Value* ou distribuição Generalizada de Valores Extremos.

3.1.1 Lei de Potência

Figura 6: Fonte dos dados: (SEADE, 2013), Gráficos gerados no (MS Excel).

O primeiro gráfico da Figura 6 demonstra a lei de potência que ocorre para os registros de ocorrências em função da população de todos os municípios do Estado de São Paulo e o segundo somente com os municípios da Região Metropolitana, em 2007. Interessante notar que a lei de potência ocorre para os municípios de todo Estado e permanece mesmo quando consideramos somente os municípios de uma região administrativa, no caso a Região Metropolitana de São Paulo. Esses gráficos nos revelam que quanto maior a população de um município, maior é a tendência de ocorrência de crimes em números absolutos.

O município de São Paulo é, de longe, o município mais populoso do Estado, com 11.019.484 habitantes em 2007, e é natural que seja o de maior número de ocorrências. Se seguíssemos a linha de tendência potencial em relação aos

municípios do Estado ($y=0,0163x^{1,0956}$), teríamos uma projeção de 846.407 ocorrências, 57% a mais do que realmente ocorreu em 2007 (539.424 registros).

3.2 Distribuição da pena

Tipos de crimes	2003	2004	2005	2006	2007	Pena Mínima
Atentado Violento ao Pudor	5.257	5.084	5.191	4.779	4.381	72
Estelionato	68.588	74.625	85.846	93.912	108.021	12
Estupro Consumado	3.842	3.909	3.827	3.413	3.261	72
Estupro Tentado*	1.062	976	961	742	735	24
Extorsão Mediante Sequestro	286	760	748	611	375	96
Extorsão Outras	1.272	4.370	4.558	4.346	3.349	24
Furto Consumado	384.004	393.153	392.333	410.947	396.722	12
Furto Qualificado Consumado	152.563	158.687	151.521	136.921	126.300	24
Furto Qualificado Tentado*	7.427	8.113	7.507	6.272	6.182	8
Furto Tentado*	14.927	13.980	13.474	11.887	11.934	4
Homicídio Culposo	4.954	4.829	5.001	4.755	5.101	12
Homicídio Doloso	11.107	8.962	7.266	6.163	4.893	72
Lesão Corporal Culposa	122.545	135.421	142.574	142.677	152.548	2
Lesão Corporal Dolosa	182.503	187.493	199.058	190.051	189.977	3
Roubo Consumado	247.737	232.975	228.628	218.693	217.696	48
Roubo Seguido de Morte (Latrocínio)	540	468	393	323	290	240
Roubo Tentado*	7.835	7.349	7.098	5.690	5.335	16
Tentativa de Homicídio*	9.880	8.771	7.526	6.299	5.564	24
Tráfico de Entorpecentes	13.004	13.539	15.483	17.523	22.508	60

* Tentativa: pune-se a tentativa com a pena correspondente ao crime consumado, diminuída de um a dois terços. (parágrafo único do art. 14 CPB de 1940)

Tabela 2: Registro de ocorrências por ano (SEADE, 2013), pena mínima em meses (Código Penal, 1940).

O total de registros de crimes, por tipo penal e por ano, juntamente com a pena mínima, que assumimos ser a mais aplicada, em meses, permitiu realizarmos um histograma por ano (2003-2007) e média com o objetivo de descobrir a distribuição de ocorrência de pena, levando em consideração os tipos penais da Tabela 2:

Figura 7: Distribuição de crimes de acordo com a pena, (SEADE, 2013), (Easyfit 5.5) e (Código Penal, 1940).

Esses gráficos demonstram que as penas seguem uma distribuição exponencial, ou seja, os crimes de menor potencial ofensivo (menor pena) possuem maior número de registros que os crimes de maior potencial ofensivo (maior pena).

Sabendo esta distribuição foi possível implantar um modelo mais realista, com todos os tipos penais, definidos pelo tempo de pena, ocorrendo ao mesmo tempo, como veremos no Capítulo 4.6 (pág. 37).

4 REDE CRIMINAL COMO UM MODELO DE ISING 2D

Software utilizado: Netlogo versão 5.0.4.

Figura 8: Tela do Simulador (Netlogo, 2013).

4.1 Área de observação do simulador (introdução)

Para estudar a influência entre os agentes para a ocorrência do crime consideramos que cada local (*patch*), ou seja, cada coordenada “XY” da área de observação é um agente equivalente a um *spin* do modelo de Ising. Em nosso modelo, baseado no modelo de Ising em 2d (101x101), os agentes com a intenção de agir licitamente serão considerados *spin* +1, representado na cor verde, e com intenção de agir ilícitamente *spin* -1, representado na cor amarela.

A intenção de agir licitamente (ilícitamente) é resultante de(a):

- um estado inicial ou prévio da rede;
- intensidade de influência entre vizinhos;
- variação de consideração da influência entre vizinhos;
- influência externa aos agentes (sensação de segurança);
- oportunidade ou perícia;
- eficiência da repressão; e
- impacto ou memória do cometimento do ato ilícito e da sua repressão.

Todos os agentes são tratados igualitariamente e atuam de acordo com cada cenário, estando de acordo com o artigo 5º da (Constituição, 1988) que leciona que “Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza...”.

Ressaltamos que estamos dando atenção especial à intenção dos agentes, que necessariamente precede a conduta delituosa, possibilitando interferir preventivamente antes que o crime ocorra e cause dano à vítima e a sociedade, sempre que for possível.

4.2 Equivalência entre a intensidade de acoplamento e a influência entre vizinhos

Aqui consideramos a intensidade de acoplamento (**J**) entre os *spins* como uma medida de influência entre vizinhos, que nos revela quão forte é a influência entre os indivíduos da rede para agir de acordo ou em desacordo com o seu vizinho.

4.3 Equivalência entre a temperatura e a variação da influência entre vizinhos

A temperatura representa a variação de consideração da influência entre vizinhos, ou seja, o quanto os agentes levam em consideração a intensidade de acoplamento entre os quatro vizinhos para a sua intenção de agir imitando a maioria. A partir de uma temperatura crítica, prevista no modelo original de Ising, em média não haveria mais “convencimento” entre os *spins* e metade dos *spins* seriam +1 e a outra metade seria -1, resultando em uma magnetização média igual a 0 (zero).

Ainda fazendo uma analogia com a temperatura, que pode ser entendida como medida de agitação de moléculas, a variação da influência entre vizinhos também pode ser considerada uma medida de agitação da sociedade, quanto mais agitados e desorganizados estiverem os agentes, menos eles levam em consideração a opinião dos vizinhos.

Conforme verificamos no Capítulo 3.1 (pág. 30), dentro do Estado temos as taxas de crimes ocorrendo de acordo com uma distribuição GEV. Essa variação de consideração da influência entre vizinhos (temperatura) tenta capturar esse efeito que pode ocorrer em várias escalas (Estado, Região Administrativa e até mesmo dentro de um município).

4.4 Equivalência entre o campo externo e a sensação de segurança

O campo magnético externo do modelo de Ising, que no modelo denominamos sensação-de-segurança, representa a intensidade das influências externas aos indivíduos que podem convencê-los a agir positivamente ou negativamente. Aqui poderíamos considerar uma série de fatores, mas daremos

especial destaque para as ações do governo, principalmente com a Polícia com suas atividades preventivas de policiamento, mas também com os outros órgãos, como saúde, educação, justiça, saneamento, etc. e também com as campanhas veiculadas pela mídia de massa em geral, que podem ser exemplos positivos de transmissão de sensação de segurança.

Ao mesmo tempo que essas políticas públicas, ou de mídia de massa, aumentam a sensação de segurança de um cidadão com a intenção de agir licitamente, além de desmotivá-lo a mudar de intenção, elas desmotivam aqueles que têm a intenção de agir ilicitamente, daí dizemos que ela age nos dois estados dos cidadãos. Vale lembrar que sensação de segurança zero significa que os agentes agem sem qualquer influência externa à rede, que pode denotar política pública de prevenção ineficiente ou que a resultante das influências externas sejam zero.

A importância da sensação de segurança será mais discutida no Capítulo 5.1.1 (pág. 41) deste trabalho.

4.5 O crime

Para a ocorrência do crime adicionamos ao modelo a oportunidade-crime entre os *spins* -1, que ocorre de forma aleatória e com certa probabilidade. O *spin* negativo sorteado aleatoriamente, de acordo com a probabilidade oportunidade-crime, comete o crime tendo em vista que ele tem a prévia intenção de cometê-lo e teve uma oportunidade de agir. Por definição o *spin* +1 não comete crime porque não tem intenção de agir ilicitamente, mesmo tendo a oportunidade.

4.6 Memória da ocorrência do crime (e da repressão)

A memória-crime representa o período em que o "*spin* criminoso" influencia negativamente os seus vizinhos após o cometimento do crime e que também consideramos o período em que a polícia pode repreendê-lo. Durante esse período de memória-crime o *spin* criminoso será representado pela cor vermelha na tela de visualização do simulador.

Para fins de simplificação do modelo, consideramos que a memória assume uma distribuição exponencial aleatória com média definida no simulador, o que é razoável de acordo com as estatísticas criminais já demonstradas anteriormente no capítulo 3.2. (pág. 33). Estudar um cenário com todos os tipos de crimes acontecendo ao mesmo tempo, diferenciados por sua memória, torna o modelo mais realista.

4.7 Repressão

Adicionamos também ao modelo uma probabilidade efetiva de captura que denominamos eficiência-polícia-repressiva que representa a probabilidade do indivíduo que agiu ilicitamente ser capturado/repreendido enquanto perdurar a memória-crime. De acordo com a memória-repressão o “*spin* repreendido” será obrigado a ficar positivo por um determinado número de rodadas funcionando como uma espécie de memória para a rede, influenciando positivamente os seus vizinhos. Durante esse período o *spin* será representado na cor azul.

A prisão em flagrante, art. 301 ao 310 do (Código de Processo Penal, 1941), tem como consequência importante a imediata punição devido a certeza do cometimento do ato ilícito, impossibilitando o lastro de memória-crime: “ninguém será preso senão em flagrante delito ou por ordem escrita e fundamentada de autoridade judiciária competente...” art. 5º, inc. LXI da (Constituição, 1988). Porém o crime ocorreu e gerou dano para a sociedade.

Art. 302. Considera-se em flagrante delito quem:
 I - está cometendo a infração penal;
 II - acaba de cometê-la;
 III - é perseguido, logo após, pela autoridade, pelo ofendido ou por qualquer pessoa, em situação que faça presumir ser autor da infração;
 IV - é encontrado, logo depois, com instrumentos, armas, objetos ou papéis que façam presumir ser ele autor da infração. (Código de Processo Penal, 1941)

Para efeitos de simplificação igualamos a memória-crime à memória-repressão, o que é razoável tendo em vista a “proporcionalidade dos delitos e das penas” (BECCARIA, 1764).

4.8 Tabelas resumo

Variáveis do modelo proposto	Correspondência Ising
Influência-vizinhos	Intensidade de acoplamento "J"
Variação-influência (agitação)	Temperatura
Sensação-segurança	Campo externo
Oportunidade-crime	-
Eficiência-polícia-repressiva	-
Memória	-

Tabela 3: Correspondência entre o modelo proposto e o modelo de Ising.

Cor na tela do simulador	Estado	Situação do Agente
Verde	+1	Intenção de agir de acordo com a lei.
Amarelo	-1	Intenção de agir em desacordo com a lei.
Vermelho	-1	Agiu em desacordo com a lei.
Azul	+1	Repreendido quando agiu em desacordo com a lei.

Tabela 4: Legenda da área de visualização do simulador.

5 SIMULAÇÕES

Para plotarmos os gráficos das Figuras 9 à 17, geramos um gráfico dinâmico no MS Excel 2010 a partir da tabela de resultados exportada do Simulador Netlogo por meio da ferramenta BehaviorSpace. Todas essas figuras são o resultado da média de 100 simulações do modelo proposto por este trabalho.

5.1 Variação da intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da variação de influência entre vizinhos (temperatura)

Representamos, nas figura 9 à 11, um gráfico gerado com os resultados do simulador variando a intenção média da população em respeitar as leis (magnetização) em função da variação da influência entre vizinhos (temperatura).

Iniciamos a simulação com todos os agentes com intenção de respeitar as leis (magnetização média igual a +1) e variação da influência entre vizinhos (temperatura) igual a 1. A cada 20 passos da simulação foi realizada uma verificação: se houver alteração no valor da intenção média (magnetização), com precisão de duas casas decimais, roda-se mais 20 passos, até não haver alteração. Quando não houver alteração gera-se um ponto no gráfico com a magnetização encontrada e aumenta-se um centésimo do valor da variação da influência entre vizinhos (temperatura) e repete-se a verificação a cada 20 passos até o valor da variação da influência entre vizinhos (temperatura) chegar a 3,5. Busca-se, com isso, o equilíbrio do sistema ponto a ponto.

Quando o valor da variação da influência entre vizinhos (temperatura) chegar a 3,5, nós repetimos o mesmo processo, porém com a situação inicial em que todos estão com intenção de desrespeitar as leis (magnetização média igual a -1).

Na figura 9 consideramos a sensação de segurança (campo externo) constante e igual a zero, influência entre vizinhos (intensidade de acoplamento) igual a um e oportunidade de crime igual a zero.

A linha verde (amarela) representa que estamos partindo de uma situação inicial onde todos os agentes têm intenção de agir de acordo (desacordo) com a lei. Gradualmente a variação da influência entre vizinhos (temperatura) é elevada de 1 até 3,5, para cada uma das duas situações iniciais:

Figura 9: Intenção média de respeitar a lei (magnetização) em função da variação da influência entre vizinhos (temperatura).

A Figura 9 é um gráfico conhecido na literatura por apresentar a temperatura crítica do modelo de Ising, que é a temperatura a partir da qual zera a magnetização espontânea. A temperatura crítica da solução analítica é aproximadamente 2,27 e não é apresentada de forma exata em nossa simulação porque estamos utilizando condições periódicas de contorno com uma população finita 101x101, e a solução analítica leva em consideração uma população infinita. O erro também pode ocorrer em decorrência de flutuações geradas pela aleatoriedade da simulação, o que foi bastante atenuado por ser um resultado da média de 100 simulações, assim como os demais gráficos.

Geralmente esse gráfico é apresentado em módulo (ver Figura 4) porque ocorre um espelhamento dos dois estados de magnetização, mas a inclusão de um campo externo diferente de zero quebra essa simetria como veremos mais adiante na Figura 10.

Na Figura 9, conseguimos visualizar que abaixo da variação de influência (temperatura) crítica, é possível manter uma situação de ordem pública somente com a influência positiva dos vizinhos mesmo sem a ação repressiva da polícia. Para oportunidade de crime igual a zero não existe a ocorrência de crime, logo a atuação da polícia repressiva é zero. Porém a desordem pública (magnetização espontânea negativa) pode ser igualmente mantida somente pela influência dos vizinhos.

Nós consideramos a magnetização espontânea negativa como uma situação de desordem pública, mesmo sem a oportunidade do cometimento do crime, porque qualquer alteração no cenário desta população no sentido de propiciar essas oportunidades pode desencadear uma onda de crimes e é de senso comum que

desejamos uma atuação preventiva do governo para evitar esses danos, independentemente de que os atores destas ações delituosas sejam repreendidos. Reforçamos que não basta aumentar a eficiência da polícia repressiva por si só para evitar essa situação de desordem, tendo em vista que neste cenário não há o cometimento do crime porque não existe a oportunidade.

5.1.1 Elevação da sensação de segurança de 0 para 0,1

Na Figura 10 mantivemos as mesmas condições do gráfico da Figura 9, porém com sensação de segurança (campo externo) igual a 0,1:

Figura 10: Intenção média de respeitar a lei (magnetização) em função da variação da influência entre vizinhos (temperatura), com sensação de segurança (campo externo) igual a 0,1.

No gráfico da Figura 10, não ocorre o espelhamento dos dois estados de magnetização. Isso acontece porque a sensação de segurança (campo externo) tem um sentido próprio e influencia os agentes em sua direção. No gráfico há ocorrência de flutuações, pois ele foi obtido da média de 100 simulações, e, devido a algumas aleatoriedades do modelo, podemos considerá-las aceitáveis.

Com o aumento da sensação de segurança (campo externo) pudemos observar que a situação de ordem pública pode ser mantida mais facilmente, até mesmo quando elevamos a variação da influência entre vizinhos (temperatura). É visível que a intenção média de respeitar as leis (magnetização) cai mais suavemente e em níveis de variação da influência (temperatura) maiores. Em contrapartida, é perceptível que a ordem é restabelecida em grau de variação de influência menor, ou seja, a influência entre os vizinhos não é suficiente para manter a desordem pública em níveis maiores de variação de influência. Para facilitar a visualização, na Figura 9 tínhamos magnetização espontânea negativa até a temperatura 2,4 (aproximadamente) e na Figura 10 esse número diminuiu para aproximadamente 1,8, com a diferença de que quando ultrapassamos esta

“temperatura de transição”, quando a ordem é restabelecida, a influência positiva entre os vizinhos aliada à influência da sensação de segurança (campo externo) elevam bastante intenção média de respeitar as leis (magnetização espontânea positiva). Uma explicação mais detalhada sobre sensação de segurança foi realizada no capítulo 1.2.3.1 desta dissertação.

5.1.2 Elevação da influência entre vizinhos de 1 para 1,1

Na Figura 11, vamos manter os mesmos parâmetros da Figura 9, porém vamos elevar a intensidade de influência entre os agentes de 1 para 1,1:

Figura 11: Intenção média de respeitar a lei (magnetização) em função da variação da influência entre vizinhos (temperatura), com influência entre vizinhos (intensidade de acoplamento) igual a 1,1.

Na Figura 11, através da elevação da influência entre vizinhos, que é um parâmetro que indica o quanto os agentes influenciam e são influenciados, podemos perceber que houve uma elevação da variação de influência (temperatura) crítica da população. Sob a ótica de uma comunidade que está com a ordem pública estabelecida (intenção média de respeitar as leis positiva) isso se mostra interessante, ou seja, o governo pode incentivar o aumento dessas influências através da educação, do esporte, da arte, de reuniões/confraternizações dentro de bairros e até mesmo através das redes sociais, para deslocar o valor da variação da influência (temperatura) crítica para um valor superior, deixando o sistema de segurança pública mais robusto. Por outro lado é fácil perceber que é melhor diminuir a influência entre populações ou grupos que tem a intenção de agir contra a lei, isso faria com o que o nível de sensação de segurança (campo externo) necessário para restabelecer a ordem neste grupo fosse menor.

5.2 Intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da sensação de segurança (campo externo)

Agora, nas Figuras 12 à 17, vamos estudar os gráficos da intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da sensação de segurança (campo externo).

Para a geração desses gráficos consideramos que inicialmente todos os cidadãos têm a intenção de agir licitamente (magnetização média igual a +1) e que a sensação de segurança é igual a 1. A cada 20 passos da simulação foi realizada uma verificação: se houver alteração no valor da intenção média (magnetização) com precisão de duas casas decimais roda-se mais 20 passos até não haver alteração dentro da precisão proposta, se não houver alteração gera-se um ponto no gráfico com a magnetização encontrada e diminui-se um centésimo do valor da sensação de segurança (campo externo) e repete-se a verificação a cada 20 passos. Quando o valor da sensação de segurança chega a -1, nós realizamos a volta, com sensação de segurança (campo externo) e intenção média de respeitar as leis (magnetização) iguais a -1, repetindo o mesmo processo, aumentando a sensação de segurança de um em um um centésimo, até chegar o valor de 1 novamente. Busca-se, com isso, o equilíbrio do sistema ponto a ponto, após esses 20 passos sem alteração com precisão de duas casas decimais. Esse processo gerou o gráfico de histerese que demonstra basicamente que o caminho de ida é diferente do caminho de volta.

Plotamos abaixo a Figura 12 com variação da influência (temperatura) igual a 2 (abaixo da crítica) e a Figura 13 com temperatura igual a 1,5. Os demais parâmetros permanecem fixos, tais como organização igual a 1 e oportunidade de crime igual a zero:

Figura 12: Intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da sensação de segurança (campo externo), com variação de influência (temperatura) igual a 2.

Figura 13: Intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da sensação de segurança (campo externo), com variação de influência (temperatura) igual a 1,5.

As Figura 12 e Figura 13 representam gráficos de histerese. Essa análise foi muito propícia porque o fenômeno de histerese é intrínseco do modelo de Ising (campo externo x magnetização) e já foi bastante discutido na literatura.

A histerese ocorre com a variação da influência (temperatura) abaixo da crítica e quanto menor for o seu valor maior é a amplitude da histerese, como pode ser comparado na Figura 12 e Figura 13. Pode-se notar que uma baixa variação da influência (temperatura) é melhor para a manutenção da ordem pública porque exige níveis baixos de sensação de segurança, mais se estivermos em uma situação de desordem ela exige níveis altos de aplicação de recursos em sensação de segurança para poder recuperar a ordem pública, que depois de restabelecida os recursos podem ser realocados.

Nas Figura 12 e Figura 13 percebemos que, vindo de uma situação de ordem pública (magnetização positiva), podemos diminuir a sensação de segurança (campo externo) até um nível crítico que gera uma queda abrupta e nos leva a uma situação de desordem pública (magnetização negativa). Para recuperar a situação de ordem há necessidade de aumentar sensação de segurança a um nível maior que aquele imediatamente anterior à queda, daí dizer que o custo de restabelecer a ordem pública pode ser maior do que mantê-la. Em situação de desordem, após certa elevação da sensação de segurança (campo externo) a ordem pública é restabelecida.

Depois de restabelecida a ordem, existe a possibilidade de diminuirmos a aplicação de recursos de sensação de segurança (campo externo) até uma margem de segurança do ponto crítico que leva a desordem. Como os recursos do governo são escassos, esses recursos que sobram do restabelecimento da ordem pública

poderiam ser redirecionados para melhor atender à demanda da população em relação a outros pontos de interesse em segurança pública.

Tendo em vista a escassez de efetivo e de recursos é importante a “administração manter um sistema de custos que permita a avaliação e o acompanhamento da gestão orçamentária, financeira e patrimonial”, assim como preconiza o §3º do art. 50 da Lei Complementar Nº 101 de 4 de maio de 2000 (Lei de Responsabilidade Fiscal). Com uma gestão de custos (SLOMSKI, 2005) é possível direcionar as atividades de forma a transmitir o máximo de sensação de segurança.

O termo histerese já foi utilizado na área de segurança pelo então Governador do Estado de São Paulo José Serra:

"Não é um termo jornalístico, mas isso se deve à histerese. É um fenômeno segundo o qual algo leva mais tempo para melhorar do que levou para piorar", disse. "Por exemplo, se a crise e o desemprego aumentam, a criminalidade piora. Se você recupera a economia, o índice de crimes melhora, mas numa velocidade menor do que a de quando piorou." (G1, 2013)

Interessante observar que “crise e o desemprego” e “recuperação da economia” afetam a utilidade dos agentes e implicam na “sensação de segurança” (campo externo) da população, podendo gerar uma histerese conforme demonstrado pelo modelo proposto por este trabalho.

5.2.1 Oportunidade de crime igual a 4% (sem repressão)

O próximo gráfico possui as mesmas condições do gráfico da Figura 13, porém com a inclusão da oportunidade de crime igual a 4%, eficiência da polícia repressiva igual a zero e memória igual a 5.

Figura 14: Intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da sensação de segurança (campo externo), com variação da influência (temperatura) igual a 1,5 e oportunidade crime igual a 4% e memória igual a 5.

A inclusão da oportunidade de crime (sem equivalência no modelo de Ising) e da memória com distribuição exponencial de média igual a 5 efetuou um deslocamento da curva de histerese para a direita (comparar Figura 13 e Figura 14). Neste caso que a eficiência da repressão da polícia é zero, percebemos claramente que é necessário níveis mais altos de sensação de segurança (campo externo) tanto para manter a ordem pública quanto para restabelecê-la (comparar novamente Figura 13 e Figura 14). Isso acontece porque os cidadãos que cometem o crime influenciam a rede durante todo o período de memória e não são repreendidos.

5.2.2 Oportunidade de crime igual a 4% e repressão igual a 2%, 4% e 10%

Nos próximos gráficos teremos como base o gráfico da Figura 14, porém analisaremos com a eficiência da repressão da polícia em 2%, 4% e 10%:

Figura 15: Intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da sensação de segurança (campo externo), com variação da influência (temperatura) igual a 1,5 e oportunidade crime igual a 4%, eficiência polícia repressiva igual a 2% e memória igual a 5.

Figura 16: Intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da sensação de segurança (campo externo), com variação da influência (temperatura) igual a 1,5 e oportunidade crime igual a 4%, eficiência polícia repressiva igual a 4% e memória igual a 5.

Figura 17: Intenção média de respeitar as leis (magnetização) em função da sensação de segurança (campo externo), com variação da influência (temperatura) igual a 1,5 e oportunidade crime igual a 4%, eficiência polícia repressiva igual a 10% e memória igual a 5.

Nesses gráficos (Figura 15, Figura 16 e Figura 17), incluímos uma probabilidade real de eficiência da polícia repressiva (sem equivalência do modelo de Ising). Comparando os gráficos das Figura 14 e Figura 15, verificamos uma sensível diminuição do nível de sensação de segurança (campo externo) necessário para manter a ordem pública, porém, houve uma diminuição muito significativa da sensação de segurança (campo externo) mínima necessária para restabelecer a ordem.

Nos gráficos das Figura 16 e Figura 17, aumentamos a eficiência da repressão para 4% e 10%, respectivamente, e novamente percebemos que a diminuição do nível mínimo de sensação de segurança (campo externo) necessário para manter a ordem pública é mais sensível quando comparado com a diminuição no nível de sensação de segurança para restabelecer a ordem pública. Percebe-se aqui que a eficiência da repressão é mais importante para recuperar a ordem do que para mantê-la.

Apesar de ser um resultado razoável e que foi possível capturar pelo nosso modelo, percebemos que, quando variamos a eficiência da polícia repressiva em relação à intenção média da sociedade respeitar as leis (magnetização média), o fenômeno de histerese ocorre em algumas situações particulares, caso aja interesse, o estudo está disponibilizado no apêndice I.

6 CONCLUSÃO

As principais variáveis que interferem na intenção dos agentes em cumprir as leis são: estado inicial ou prévio, a intensidade de influência entre vizinhos, variação da influência entre vizinhos, motivações externas (sensação de segurança), oportunidade de cometimento de ato ilícito, eficiência da repressão ao cometimento de ato ilícito e intensidade de pena.

A polícia ostensiva preventiva não é o único órgão do governo responsável por ações que elevam a sensação de segurança. Ao mesmo tempo, políticas públicas em geral e a mídia de massa podem trabalhar em conjunto para elevar a sensação de segurança. Um adequado nível de sensação de segurança, além de dar o devido conforto ao cidadão que tem a intenção de agir licitamente, também desmotiva aqueles que têm a intenção de agir ilicitamente, evitando o cometimento do crime (dano à sociedade) e que seja preso/repreendido (outro dano/custo para a sociedade).

A manutenção da ordem pública pode ser facilitada pelo incentivo de influência entre as pessoas, porém em situação de desordem essa mesma união dificulta a recuperação da ordem pública. As redes sociais têm grande importância neste contexto porque, ao quebrar barreiras geográficas, facilita e aumenta influência entre as pessoas.

O custo de restabelecer a ordem pública pode ser maior do que mantê-la (histerese). Como os recursos do governo são escassos aliada com a busca contínua pela melhor aplicação do dinheiro público, verifica-se, sob determinadas condições, que depois de reestabelecida a ordem pública em uma área de interesse em segurança é possível reduzir a aplicação de recursos até um valor mínimo necessário (para a manutenção da ordem) e aplicar em outras áreas de interesse em segurança.

A repressão por si só não gera resultados preventivos, ela é mais eficiente para recuperar a ordem pública do que para mantê-la.

7 TRABALHOS FUTUROS

Os parâmetros do modelo proposto nesta dissertação, tais como sensação de segurança e a intensidade de influência entre pessoas, são de difícil mensuração. Para possibilitar uma aplicação prática e realizar previsões, seria necessário um estudo quanto à quantificação dessas variáveis em uma determinada população.

Sugerimos como trabalho futuro a identificação e análise de indicadores sociais que teriam impacto nas variáveis do modelo, quantificando-as, para servir de base para intervenção em um mundo real.

8 BIBLIOGRAFIA

ARISTÓTELES. **Política I**. [S.l.]: [s.n.].

BECCARIA, C. **Dos Delitos e Das Penas**. São Paulo: Saraiva, 2011, 1764.

BECKER, G. S. Crime And Punishment: An Economic Approach. **The Journal of Political Economy**, 76, n. 2, Março-Abril 1968. 169-217.

BENJAMIN, F. A. E. M. Depois da polícia, invasão de serviços. **ASCOM SEGEG**. Disponível em: <<http://upprj.com/wp/?p=911>>. Acesso em: 2012 Janeiro 21.

BERGER, L. M. **Um Modelo Baseado Em Agentes Para Estudo Das Propriedades Emergentes Decorrentes Da Aplicação Da Lei Penal**. [S.l.]: UFRGS, 2008.

BRASIL. Código Penal. In: _____ **Inciso III do Art. 32 e Caput do Art. 49**. [S.l.]: [s.n.], 1940.

BRASIL. Código Penal. In: _____ **Inciso I do art. 32**. [S.l.]: [s.n.], 1940.

BRASIL. Código Penal. In: _____ **Parte Especial**. [S.l.]: [s.n.], 1940.

BRASIL. Código de Processo Penal. In: _____ **Art. 301-310**. [S.l.]: [s.n.], 1941.

BRASIL. Constituição. In: _____ **§5º do artigo 144**. [S.l.]: [s.n.], 1988.

BRASIL. Constituição. In: _____ **Artigo 5º**. [S.l.]: [s.n.], 1988.

BRASIL. Constituição. In: _____ **Artigo 205**. [S.l.]: [s.n.], 1988.

BRASIL. Constituição. In: _____ **art. 5º**. [S.l.]: [s.n.], 1988.

COSTA, L. M. D. **O Modelo de Ising 2d**. USP. [S.l.].

EASYFIT 5.5, 2010. Disponível em: <www.mathwave.com/products/easyfit.html>.

ÉLIN Duxus. **Élin Duxus**, 2002. Disponível em: <http://duxus.com.br/wiki/plataforma_integrada_de_risco_duxus/sistema_de_risco_operacional_avançado/manual_tecnico/metodologia/modelos/gev>. Acesso em: 23 abril 2013.

G1. Agência Estado. **G1**, 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,MUL1476946-5598,00-SERRA+CULPA+CRISE+PELO+AUMENTO+DA+CRIMINALIDADE+EM+SP.html>>. Acesso em: 21 Julho 2013.

GARCIA, A. Não adianta só polícia no entorno de Brasília. **G1**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2011/05/nao-adianta-so-policia-no-entorno-de-brasilia-afirma-alexandre-garcia.html>>. Acesso em: 29 Janeiro 2012.

GUDMUNDSSON, J. E. Monte Carlo Method And The Ising Model. **Course Statical Metods in Physics**, 2008.

- HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. **Science**, p. 1243-1248, dezembro 1968.
- INSTITUTO Geográfico e Cartográfico. **Mapa das Regiões Administrativas**. Disponível em: <http://www.igc.sp.gov.br/produtos/regioes_adm.html>. Acesso em: 28 Julho 2013.
- ISING, E. Beitrag zur Theorie des Ferromagnetismus. **Zeitschrift für Physik**, 31, Fevereiro-Abril 1925. 253-258.
- LEI Complementar Nº 101 (Lei de Responsabilidade Fiscal). **art. 50, §3º**, 04 Maio 2000.
- LEI Nº 11.705 ("Lei Seca"), 19 Junho 2008.
- LENZ, W. Beiträge zum Verständnis der magnetischen Eigenschaften in festen Körpern. **Physikalische Zeitschrift**, 21, 1920. 613-615.
- LOMBROSO, C. **O Homem Delinqüente**. [S.l.]: [s.n.], 1876.
- LORENZ, E. **Deterministic Nonperiodic Flow**. [S.l.]: [s.n.]. 1963.
- MANDELBROT, B. **Les Objets Fractals: Forme, Hasard et Dimension**. [S.l.]: [s.n.], 1975.
- MS Excel, 2010.
- NETLOGO. Disponível em: <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>>. Acesso em: 31 Março 2013.
- PACIFICADORA, P. Unidade de Polícia Pacificadora. **Site do Governo do Rio de Janeiro**, 2012. Disponível em: <http://upprj.com/wp/?page_id=20>. Acesso em: 29 janeiro 2012.
- PEIERLS, R. On Ising's model of ferromagnetism. **Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**, 32, Outubro 1936. 477-481.
- REIS, C.; BEIJO, L. UNIFAL. **Estudo do ajuste da distribuição generalizada de valores extremos a dados de temperatura mínima de Piracicaba-SP**, 2011. Disponível em: <<https://www.unifal-mg.edu.br/caex/inscricoes/submissoes/S01403.pdf>>. Acesso em: 28 Julho 2013.
- SEADE. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/>>. Acesso em: 06 abril 2013.
- SIGMUND, K. et al. Social Learning Promotes Institutions For Governing The Commons. **Nature**, p. 861-863, 2010.
- SILVA, B.; CLARKE, R. ANÁLISE ESTATÍSTICA DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Porto Alegre, RS, v. 19, n. 3, Abril 2004.

SILVA, M. M. D. Teoria da Violência, Mídia e Direitos Humanosl. Disponível em: <http://www.dhnet.org.br/dados/cursos/dh/br/go/goias/teorias_da_violencia_midia_e_dh.html>.

SLOMSKI, V. **Controladoria E Governança Na Gestão Pública**. 1. ed. [S.l.]: Atlas, 2005.

THE Secret Life of the Chaos. Direção: Nic. Stacey. Intérpretes: Jin Al-Khalili. [S.l.]: Furnace Limited MMIX for BBC Four. 2010.

TIMM, G. B. E. L. B. http://www.bloglawandeconomics.org/2008/07/economia-do-crime_29.html. **Law & Economics**, 21 Julho 2008. Acesso em: mar. 2012.

TURING, A. The Chemical Basis of Morphogenesis. **Philosophical Transactions of The Royal Society of London**, 237, 1952. 37-72.

ZAKLAN, G.; WESTERHOFF, F.; STAUFFER, D. Analysing tax evasion dynamics via the Ising model. **Journal of Economic Interaction and Coordination**, 4, n. 1, Junho 2009. 1-14.

9 APÊNDICE A

Outras simulações:

Os resultados das simulações foram obtidos com a ferramenta “*BehaviorSpace*” do Netlogo variando e fixando os parâmetros conforme tabela abaixo:

Variáveis do modelo proposto	Correspondência Ising	Valor(es)	Observações
Intenção inicial da população	Magnetização total inicial	+1 ou -1	Corresponde iniciar a simulação com todos com a intenção de agir licitamente (+1) ou ilicitamente (-1).
Variação-influência	Temperatura	1,5	A variação da influência está fixada abaixo da crítica (variação da influência crítica=2,24), então ocorre magnetização espontânea.
Influência-vizinhos	Força de acoplamento "J"	1	Força de acoplamento fixada positivamente, cada <i>spin</i> tende a seguir o estado dos <i>spins</i> vizinhos com essa intensidade.
Sensação-de-segurança	Campo externo	0	Não há influência externa positiva nem negativa de prevenção ao crime.
Oportunidade-crime	-	[0 0,5 10]	Probabilidade (%) de oportunidade de cometer crime tendo a prévia intenção, varia de 0 até 10 com intervalos de 0,5.
Eficiência-polícia-repressiva	-	[0 0,5 10]	Probabilidade (%) real do "criminoso" ser repreendido após a ocorrência, varia de 0 até 10 com intervalos de 0,5.
Memória	-	10 ou 50	Rodadas que o crime e a repressão influenciam a rede. Esse número é proporcional ao potencial ofensivo do crime.

Tabela 5: Variáveis, correspondência, variação de valores e observações.

A combinação desses parâmetros gerou 1764 simulações com 1000 interações cada (tempo que julgamos necessário para o sistema entrar em equilíbrio). Para plotarmos os gráficos abaixo, geramos um gráfico dinâmico do MS Excel 2010 a partir da tabela de resultados exportada do Netlogo através da ferramenta “*BehaviorSpace*”.

Somente levamos em consideração a intenção média da população (magnetização) na última interação. Como o objetivo era apenas saber se o fenômeno de histerese poderia ocorrer somente com a mudança desses parâmetros, cada combinação só foi simulada apenas uma vez (para economia de tempo) e o resultado foi positivo como veremos adiante. Contudo, foi verificado que pode ocorrer flutuação nos resultados, mesmo com parâmetros e situações iniciais idênticas, devido à aleatoriedade das probabilidades. Para obtermos um intervalo de confiança em cada em cada ponto é necessário rodar cada cenário mais vezes.

Esse primeiro conjunto de quatro gráficos demonstra os resultados obtidos com as variações propostas na tabela 3. Imaginando que esses gráficos estão em

uma tabela 2x2, temos que: os dois gráficos da primeira linha são com memória igual a 10 e os da segunda linha são com memória igual a 50; e os dois gráficos da primeira coluna são considerando que inicialmente todos os agentes têm a intenção de agir licitamente e na segunda todos inicialmente têm a intenção de agir ilicitamente.

Figura 18: Gráficos Oportunidade crime x intenção de respeitar as leis x eficiência da polícia repressiva (vista lateral).

A seguir, o mesmo conjunto de gráficos só que visto de cima, o que possibilita observarmos melhor o nosso ponto de interesse.

Figura 19: Gráficos Oportunidade crime x intenção de respeitar as leis x eficiência da polícia repressiva (vista de cima).

Agora vamos juntar os dois gráficos da primeira linha e fazer um corte vertical na oportunidade-crime igual a 3%. Nosso objetivo aqui é estudar como se comporta a intenção média da população (após 1.000 interações), variando a eficiência da polícia em relação a uma oportunidade crime fixa igual a 3%. Vamos observar, ainda nesse gráfico, a situação inicial em que todos têm a intenção de agir licitamente e a situação inicial em que todos tem a intenção de agir ilicitamente:

Figura 20: Exemplo de histerese analisando eficiência da policia repressiva x intenção média da população.

Aqui temos uma exemplificação de uma ocorrência de histerese, ou seja, observa-se que é possível manter a ordem pública, que entendemos como manutenção da magnetização espontânea positiva, vindo de uma situação onde todos têm a intenção de agir de acordo com a lei, reduzindo a eficiência da polícia até 1,5%, abaixo disso forma(m)-se cluster(es) e a eficiência da polícia repressiva não dá conta de manter a ordem e a magnetização espontânea fica negativa. Devido a isso, para restabelecer a ordem, é necessário aumentar a eficiência para mais de 1,5%, é necessário ultrapassar essa “barreira” de magnetização espontânea negativa e transformá-la em positiva. Para que isso ocorra, verificamos no gráfico que é necessário aumentar para pelo menos 3,5%, mais que o dobro do mínimo necessário para manter a ordem quando ela está estabelecida. O interessante disso é que, depois de reestabelecida a ordem, podemos reduzir a eficiência para 2% e a ordem continua estabelecida, o que não ocorreria se estivéssemos vindo de uma situação de desordem. Como os recursos do governo são escassos, aliada à busca contínua pela melhor aplicação dos recursos públicos, verifica-se, sob determinadas condições, que depois de reestabelecida a ordem pública em uma área de interesse em segurança, é possível reduzir a aplicação de recursos até um valor mínimo necessário para a manutenção da ordem e aplicar em outras áreas de interesse em segurança.

Sob os parâmetros estudados, os crimes de menor potencial ofensivo (memória igual a 10) apresentam mais o fenômeno de histerese do que os crimes de maior potencial ofensivo (memória igual a 50), o que pode ser observado pelos gráficos. Apesar de ser necessário um estudo mais profundo sobre o assunto (com as demais variáveis do modelo), esse pode ser um indício de que o modelo possa explicar as vantagens de políticas de segurança do tipo “Tolerância-Zero”.