

GUSTAVO DA SILVA LIMA

**ESTUDO DE SISTEMAS COMPLEXOS COM ÊNFASE EM SISTEMAS
SOCIAIS E BIOLÓGICOS**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras, na disciplina de Projeto Orientado, como parte das exigências do curso de Bacharelado em Ciência da Computação, para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador
Prof. José Monserrat Neto

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2002

GUSTAVO DA SILVA LIMA

**ESTUDO DE SISTEMAS COMPLEXOS COM ÊNFASE SISTEMAS
SOCIAIS E BIOLÓGICOS**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras, na disciplina de Projeto Orientado, como parte das exigências do curso de Bacharelado em Ciência da Computação, para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em ____ de _____ de _____

Prof^a. Solange Gomes Faria Martins

Prof. Jones Oliveira de Albuquerque

Prof. José Monserrat Neto
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Dedicatória

À minha família, pelo apoio constante.

Agradecimentos

- Primeiramente a Deus, por ter permitido que isto se tornasse realidade.
- Ao professor Monserrat, pelo grande apoio.
- À professora Solange, pelo precioso tempo e conhecimento cedidos.
- Ao professor Jones, pelo incansável trabalho à frente do Curso de Ciência da Computação e pelos bons conselhos.
- Aos colegas de curso, pelos bons momentos que passei, em especial aos amigos Ari, CK, Guilherme, Hesli, Leandro, Marcelo Muniz, Rondinelli, Rodrigo Felício, Rodrigo Marinho e Sérgio.
- Aos meus amigos de república pelo companheirismo, pela ajuda nos momentos difíceis e principalmente pelos quatro anos inesquecíveis.
- A todos os meus amigos, por estarem sempre presentes quando mais precisei, pois amigos nós não fazemos simplesmente os reconhecemos.
- E mais uma vez à minha família, em especial aos meus pais Geraldo e Anézia, minha irmã Adriana e meu cunhado Frederico pelo incessante apoio para que este trabalho pudesse ser concretizado.

Resumo

O presente trabalho tem como principal objetivo introduzir o leitor numa área inovadora da ciência moderna que são os sistemas complexos. Serão abordados aqui assuntos tais como: o que são os sistemas complexos, qual seu funcionamento, suas principais características, entre outros tópicos.

Além disso, também daremos ênfase aos trabalhos de simulação com sistemas complexos, desde alguns trabalhos já existentes até os expostos nesta monografia. Os trabalhos em simulação aqui mostrados foram desenvolvidos em uma plataforma denominada Starlogo que trabalha exatamente com simulações de sistemas desprovidos de controle central, a auto-organização destes sistemas surge a partir das interações entre seus componentes ou agentes.

Nestas simulações, e nas simulações abordadas, pretende-se dar ênfase em sistemas biológicos e sociais, que são o intuito primordial deste trabalho. Para que possamos tentar compreender seu funcionamento e sua evolução de um ponto de vista totalmente novo, que é a partir da ótica dos sistemas complexos que estes representam.

Por fim serão feitas algumas conclusões acerca do trabalho apresentado, tanto em relação aos sistemas complexos quanto em relação às simulações apresentadas.

Sumário

Resumo	5
Sumário.....	6
Lista de Figuras	7
1. Introdução	8
2. Sistemas Complexos.....	10
2.1 Complexidade e Caos	10
2.2 Evolução e Racionalidade	13
2.3 Características dos Sistemas Complexos	14
2.4 Estruturas de Retroalimentação (<i>FeedBack</i>)	16
2.5 Holismo vs. Reduccionismo	18
2.6 Simulação de Sistemas Complexos	19
3. Ambiente Utilizado e Simulações	24
3.1 O Ambiente Starlogo	24
3.2 Simulações Desenvolvidas.....	26
3.2.1 Epidemia	26
3.2.2 Política	30
3.2.3 Economia	34
4. Conclusões	39
Bibliografia	42
Anexo	44

Lista de Figuras

Figura1- Estrutura de Feedback em Sistema Complexo.....	17
Figura 2- Duas visões complementares para a estrutura de Feedback.	18
Figura 3 – Ilustração da interface da simulação Epidemia.....	29
Figura 4 – Gráfico gerado pela simulação Epidemia.....	30
Figura 5 – Ilustração da interface da simulação Política.....	33
Figura 6 – Gráfico gerado pela simulação Política.....	34
Figura 7 – Ilustração da interface da simulação Economia.....	37
Figura 8 – Gráfico gerado pela simulação Economia.....	38

1. Introdução

Um novo tema tem estado em pauta nas últimas décadas que, devido ao grande entusiasmo gerado no meio científico, tornou-se uma área de estudos à parte, denominada de ‘sistemas complexos’ [1]. Esta área está sendo considerada de grande potencial por físicos, matemáticos, sociólogos, além de outras áreas que incluem até mesmo a filosofia. Toda essa empolgação tem um porquê. Muitos dos fenômenos que nos cercam possuem comportamentos cuja parcela de participação do acaso era equivocadamente suprimida, sendo que esta natureza de casualidade constituiria a base para o funcionamento de alguns destes sistemas. É exatamente devido ao acaso, à aleatoriedade, ao improvável que certos sistemas como economia, política, epidemias e até mesmo o próprio fenômeno da vida possui estes comportamentos peculiares que estão diante de nós. Porém até certo tempo atrás eles eram vistos por um ângulo que obscurecia a participação da capacidade de aprendizado, incerteza, mutações e, conseqüentemente, a evolução. Isto sim constituiria um sistema complexo que até a pouco escapava à nossa compreensão e, por conseguinte, à ciência. Temos de voltar nossa atenção para tais sistemas como eles realmente ocorrem na natureza, ou seja, formados de pequenas partes que possuem comportamento individual simples, mas cuja interação entre estas partes constitui um todo complexo.

Considerando a natureza de tais fenômenos, um dos principais objetivos deste trabalho é o estudo dos sistemas complexos e de suas simulações. Sistemas biológicos foram abordados por motivos didáticos, por serem de mais fácil compreensão e por termos conhecimento prévio sobre estes sistemas, bem como para que possamos imaginar a nossa sociedade de modo similar a estes sistemas, na medida em que eles possuem uma forma semelhante de funcionamento: cada indivíduo com uma função mas trabalhando em prol de algo maior.

O objetivo final é vislumbrar o potencial da ótica dos sistemas complexos na compreensão do funcionamento da sociedade e de seus diversos setores, pois o tema estudado aqui abre um novo horizonte às ciências sociais, uma nova maneira de enxergar a sociedade, para que possamos entendê-la de uma maneira mais abrangente.

2. Sistemas Complexos

2.1 Complexidade e Caos

Primeiramente devemos definir o que são os sistemas complexos. Entretanto, é preferível se definir outros conceitos de forma a termos uma visão mais clara sobre complexidade e complexidade nos sistemas existentes na natureza, para então chegarmos aos sistemas complexos.

O termo complexidade vem do latim *complexus*, que significa entrelaçado ou torcido junto. Muitas vezes este termo é também associado à desordem ou caos, o que embasaria várias teorias sobre o assunto de sistemas complexos [2]. Caos e complexidade são dois ramos novos da ciência que estão sendo muito mencionados atualmente em trabalhos de vários ramos da ciência. Do que eles tratam? Se a ciência do Séc. XX tem uma marca registrada é a constatação de que esse termo incerteza é muito mais regra do que exceção [1].

Existe uma teoria que diz que o bater de asas de uma borboleta na China pode provocar um furacão no Brasil? Por favor, não se irrite nem entre em pânico! Isto não é uma piada nem mau presságio. É apenas Ciência. O fenômeno faz parte de uma conspiração da Natureza chamada "caos". A moderna "Teoria do Caos", estudada a partir dos anos 60, vem se mostrando cada vez mais interessante e aplicável a diversos campos do conhecimento. Ela vem permitindo compreender melhor o comportamento de sistemas complexos como a Sociedade, a Economia e a Informação globalizadas. O "efeito borboleta", como ficou conhecido entre os especialistas, é um clássico exemplo ilustrativo do problema da Teoria do Caos [3].

Em termos simples, significa que em sistemas complexos como o a previsão do clima, envolvendo um número muito grande de variáveis sensíveis, qualquer perturbação, por menor que seja em uma das variáveis, pode ter

desdobramentos e conseqüências completamente imprevisíveis e catastróficas. É justamente este aspecto que tem despertado grande interesse. É possível que a partir da compreensão dessa dinâmica possamos ter um maior controle ou previsibilidade sobre esses sistemas. É fácil percebermos sua utilidade desde o Meio Ambiente até a Economia e a Sociedade. A Economia globalizada e informatizada é um Sistema Complexo sujeito ao caos. Só que agora não estamos falando do Juízo Final. Caos agora é meta de futuro, é, pode-se dizer, a ferramenta do próprio futuro.

Contudo, há ainda muito por se fazer neste campo recém-nascido. Os magos terão seu emprego assegurado por muito tempo ainda. O número de variáveis interdependentes em sistemas complexos é extremamente grande e, com certeza, conhecemos apenas uma pequena parte delas [3].

Vamos em primeiro lugar procurar entender um pouco melhor os conceitos. A idéia de caos traz de imediato a sensação de algo completamente aleatório e imprevisível. Isto ocorre, por exemplo, com o movimento de uma molécula em um gás. Você também pode perfeitamente pensar na trajetória de uma borboleta em vôo. Outro exemplo de evento aleatório e imprevisível é o processo eleitoral. É claro que aqui devemos abstrair a possível influência das pesquisas, mas mesmo com estas, não raro, os resultados surpreendem. Em casos como esses, o pensamento convencional admitia que a aleatoriedade era mais aparente que real, surgindo do nosso desconhecimento sobre os vários agentes em jogo. Em outras palavras, acreditava-se que o mundo era imprevisível porque era complicado [3].

A teoria da Complexidade começa principalmente com a idéia de que objetos simples agindo de forma individual podem produzir um comportamento coletivo elaborado e surpreendente no sentido de não programado ou previsível, isto é chamado de *comportamento emergente*. Em 1987 [1] um especialista em computação gráfica produziu um modelo (chamado Boids) que simulava

perfeitamente o comportamento de um grupo de pássaros ressaltando o fato deles voarem sempre em grupo. Quando a simulação começa os pássaros estão voando ao acaso, mas logo formam um bando que gira, muda de direção, inverte o sentido do movimento e reage realisticamente a obstáculos a sua frente. A tendência deles se agruparem em bandos é o mencionado comportamento emergente, as mudanças ocorridas não foram programadas, elas surgem espontaneamente quando eles interagem um com o outro e com o seu ambiente. Foi a computação (sendo utilizada como ferramenta) que abriu aos cientistas a possibilidade de entender a dinâmica de sistemas tais como: o cérebro humano, uma economia, uma colméia de abelhas, um bando de andorinhas, uma eleição [1]. Todos estes sistemas têm grupos de agentes distintos (neurônios, formigas, empresas, consumidores, eleitores...) que ao exercitarem motivações individuais, acabam produzindo efeitos característicos de algo maior (sistema), algo que não pode ser deduzido a partir do comportamento de cada agente considerado isoladamente, mas que surge das interações entre eles. Podemos chamar a esse efeito de comportamento de mercado, caso os agentes sejam consumidores; podemos chamá-lo de "eu" quando estamos nos referindo a esse senso de *self* (comportamento do sistema como um todo) que surge a partir do disparo de agentes individuais interligados - neurônios no nosso cérebro - cujo efeito conjunto gera essa entidade misteriosa: o "eu". Todas essas coisas são exemplos do que se chama de "sistemas complexos", seu estudo se desviou da ciência do caos e tomou vida própria. Se o caos tem a ver com sistemas imprevisíveis no sentido tradicional, complexidade tem a ver com sistemas em que um comportamento coletivo altamente ordenado acaba surgindo repentinamente, como resultado da ação de cada agente que o compõe [1].

Ocorre que desde a década de 60 [3], é que diversos sistemas físicos, apesar de governados por leis muito bem estabelecidas, mostraram comportamento imprevisível. O elemento comum nesses sistemas é o alto grau

de sensibilidade às condições iniciais. Contudo, os fatores de risco, antes colocados por conta do acaso, agora possuem uma identidade e uma teoria. Mesmo que jovem, esta teoria é sem dúvida um bom começo.

A complexidade de um sistema é caracterizada pela imensa variedade de possibilidades que podem levá-lo a diversos estados diferentes, o que pode tornar muito difícil sua previsibilidade a longo prazo. Por outro lado, o caos é um estado que se refere ao comportamento imprevisível de sistemas determinísticos não lineares (sistemas cujo comportamento dinâmico não pode ser descrito por equações lineares) [4], o qual pode ser atingido por sistemas complexos quando minimamente perturbados. No entanto, caos não é sinônimo de complexidade. Sistemas extremamente simples com apenas um ou dois graus de liberdade, um pêndulo, por exemplo, podem apresentar comportamento caótico [5].

2.2 Evolução e Racionalidade

Considerando a sociedade como o resultado de um processo de evolução, de desenvolvimento social a partir de acasos, de contingências e de recombinações, devemos voltar nossa atenção aos tempos atuais, como a década de 90, onde a questão da mudança e da renovação da sociedade se colocou no centro das atenções, colocando o tema “ordem social” ao segundo plano.

De acordo com Stockinger [6], as teorias da evolução tratam de problemas genéticos, que não seguem uma lógica determinística como são atualmente abordados, mas que lidam com a “probabilidade do improvável”.

Sendo assim, evolução significa uma espera por acasos aproveitáveis, levando-nos a crer na existência de sistemas que se reproduzem, que se mantêm e que, portanto, são capazes de esperar. Evolução não pode ser vista, portanto, como um processo contínuo, linear, que segue leis pré-estabelecidas.

Stockinger [6] também pregava que a sociologia tradicional sempre buscava a racionalidade nas ações sociais. Ela foi tomada como um ponto de referência, como quase uma crença, onde o racional pudesse prevalecer apesar da crescente complexidade da sociedade. Mas tais suposições, como por exemplo, o da “mão invisível” guiando a econômica do mercado, são deixados de lado pela teoria de sistemas complexos. “A sociedade se guia, se for o caso, através de flutuações, que obrigam sistemas funcionais ou territoriais à auto-organização pelo processamento de informações dispostas pelo ambiente em que estes se encontram” [6].

2.3 Características dos Sistemas Complexos

Sistemas complexos são sistemas formados por muitas unidades simples, porém interligadas entre si, de forma que uma influencia ou pode influenciar o comportamento das outras. A complexidade do todo decorre desse entrelaçamento de influências mútuas, à medida que o sistema evolui dinamicamente [7]. Contudo, a própria definição de sistemas complexos torna-se uma grande dificuldade tendo em vista ser um fato que somente apareceu a partir de 1970. A melhor maneira de se definir sistemas complexos, por assim dizer, é relatando suas principais características [8]:

1- Eles se auto gerenciam, isto é, não há controle central, o resultado final é consequência da interação dos agentes um com os outros, mas independente do controle central.

2- Ainda que independentes, os agentes produzem bolsões de cooperação, formando grupos ou comunidades que geram comportamentos sofisticados que nenhum agente individual produziria sozinho.

3- Sistemas complexos têm que aprender, ou seja, estes devem modificar-se de acordo com as condições oferecidas pelo meio, e é por isso que eles se auto gerenciam. Todo sistema complexo aprende através de *feedbacks* com o meio exterior, incorporando em sua estrutura informações sobre seu meio exterior. Esses sistemas são adaptativos. À medida que as condições externas mudam, a estrutura do sistema muda junto, automaticamente. Esta característica é particular dos sistemas adaptativos complexos.

4- O auto gerenciamento e o aprendizado através de *feedback* tornam esses sistemas extremamente flexíveis. Grupos de agentes antes especializados em certas atividades desaparecem, e novos nichos são criados à medida que o ambiente muda: assim os agentes nunca ficam presos a comportamentos que foram úteis no passado, mas que ficaram obsoletos. É isso que faz o sistema como um todo se adaptar a mudanças [8].

5- Os sistemas complexos exibem comportamentos emergentes que não podem ser deduzidos a partir da ação individual de cada agente (por outras palavras, o todo é diferente da soma das partes). Um exemplo de um comportamento emergente é a capacidade cognitiva do cérebro, as sociedades humanas, ou a evolução dos preços numa economia ditada pelas inúmeras ações de compra e venda de cada agente econômico [9].

6- A capacidade de adaptação, ou seja, através da evolução das regras de interação entre os agentes, eles se adaptam ou aprendem. O processo de adaptação é complexo, pois envolve não um, mas vários agentes que obedecem a critérios de comportamento distintos, e por vezes conflituosos. Este processo da evolução das regras para se adaptar ao meio, obedece a uma filosofia Darwiniana da sobrevivência do mais apto [10].

7- A capacidade de antecipação: através do esforço dos sistemas se adaptarem a um ambiente em constante mudança, os elementos, ou agentes que constituem os sistemas complexos desenvolvem regras capazes de antecipar as

conseqüentes respostas: eles adquirem o poder de antecipação. Como num jogo de xadrez quando se tenta antecipar as jogadas do seu adversário antes de fazer a sua. Este poder de antecipação pode provocar fortes modificações no comportamento emergente, como por exemplo, a antecipação de uma crise petrolífera, mesmo que nunca chegue a ocorrer, pode produzir um aumento abrupto no preço do petróleo.

8- Robustez: o sistema não deixa de funcionar com a mudança, retirada ou inclusão de agentes.

9- Causalidade de difícil reconhecimento: devido aos agentes se adaptarem e anteciparem o estado do ambiente ou dos outros agentes, torna-se difícil estabelecer relações de causa/efeito [10].

Entender os mecanismos que produzem esse tipo de ordem global tão espetacular a partir da simplicidade de ações individuais é um dos grandes temas da ciência desse fim de século [8].

2.4 Estruturas de Retroalimentação (*FeedBack*)

Como foi mencionado na característica número três, o *Feedback* é uma importante fonte de aprendizagem para os sistemas complexos, pois é através da dinâmica das partes que se modifica o todo, e através da modificação do todo as partes também podem sofrer modificações para se adaptarem a uma nova situação. O Feedback entre o sistema como um todo e suas partes pode ser melhor entendido na Figura 1, que demonstra como as ações das partes podem modificar o todo e como as mudanças dessa estrutura global pode influir no comportamento das partes.

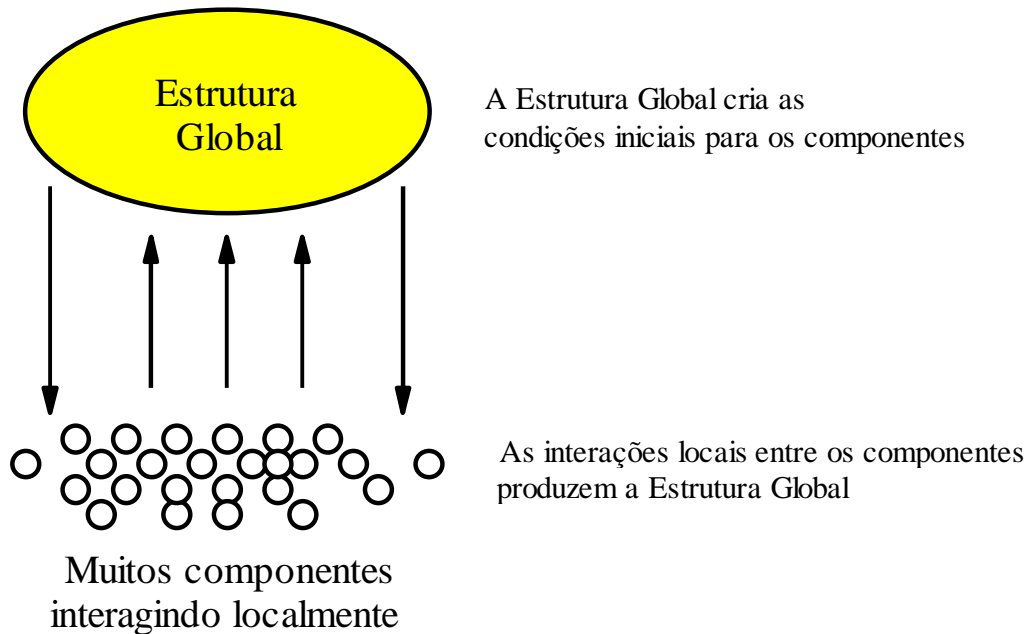


Figura1- Estrutura de Feedback em Sistema Complexo [2].

Uma estrutura de feedback é um laço causal, uma cadeia de causas e efeitos que forma um anel. Quanto mais complexo um sistema (seres vivos, por exemplo) maior o número de estruturas de feedback que apresenta. Sistemas que apresentam feedback tendem a desenvolver propriedades completamente novas. Este fenômeno denomina-se *emergência* e as novas propriedades do sistema são ditas *propriedades emergentes*.

Os processos de feedback não são comparados a uma bola-de-neve por acaso. A metáfora da bola que rola e cresce ao mesmo tempo em que aumenta a velocidade ladeira abaixo, além de representar muito bem o fenômeno, demonstra também dois modos completamente diferentes de perceber o processo. A bola de neve apresenta dois movimentos diferentes: quando se acompanha a bola com os olhos, verifica-se que ela possui um movimento

circular de rotação sobre si própria. Por outro lado, quando se observa a bola rolando ladeira abaixo se vê que sua trajetória descreve uma linha reta. Os dois movimentos correspondem a duas formas fundamentalmente diversas de perceber o tempo [2]. Um Feedback deve ser visto exatamente desta maneira dual, do contrário não se poderia entender o processo por completo, sendo que o estado futuro do sistema (visão linear) depende diretamente de suas interações no presente (visão circular). A Figura 2 ilustra estes dois tipos da visão através de uma linha do tempo, o que caracteriza esta visão dual.

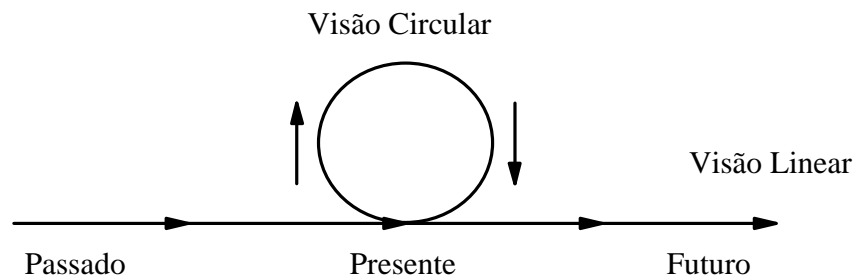


Figura 2- Duas visões complementares para a estrutura de Feedback.

2.5 Holismo vs. Reduccionismo

Os sistemas complexos devem ser entendidos como um “todo”, porém devemos voltar nossa atenção para notarmos que o que forma este “todo” é o relacionamento entre as partes. Sendo assim, a melhor maneira de se estudar um sistema complexo é por duas óticas ao mesmo tempo: a ótica do holismo (propõe a observação de um fenômeno como um todo) e a do reduccionismo (propõe a observação de um fenômeno como uma coleção de partes).

Para se ter um sistema complexo é necessário (1) duas ou mais diferentes partes ou componentes e (2) estes componentes devem estar de algum modo interligados formando uma estrutura estável [1]. Aqui se encontra a dualidade básica entre partes que são ao mesmo tempo distintas e interconectadas. Um sistema complexo não pode então ser analisado ou separado em um conjunto de elementos independentes sem ser destruído. Em conseqüência não é possível empregar métodos reducionistas para a sua interpretação ou entendimento. Se um determinado domínio é complexo ele será, por definição, resistente à análise.

Uma forma simples de modelo que satisfaz simultaneamente esses dois requisitos aparentemente contraditórios é o conceito matemático de *rede*. Uma rede consiste de *nodos* e de *conexões* ou *arcos* entre os nodos. Estes podem ser vistos como partes de um sistema complexo, enquanto que as conexões irão corresponder às relações que estabelecem entre si.

Pode-se então compreender porque a interação em um sistema complexo é tão difícil. Supõe-se que uma determinada influência seja exercida em uma das partes de um sistema complexo (por exemplo em um nodo). Através das conexões essa influência irá se propagar para outros nodos. Entretanto, como os outros nodos possuem posições ou funções distintas na rede, cada um deles irá reagir de uma forma diferente [1].

2.6 Simulação de Sistemas Complexos

É sobre os sistemas vivos que se deve voltar a nossa atenção. Tentar compreendê-los e simulá-los. O fato de estarmos começando a constatar que todos os sistemas complexos contêm uma estrutura evolutiva similar e por isso capaz de ser colocadas como um sistema. Já por outro lado, as possibilidades de computação rápida em paralelo recentemente [9] desenvolvidas, estão abrindo

caminho para a construção de um novo horizonte que nos permitirá compreender estes sistemas e entender sua evolução. Uma das razões para só agora podermos realizar este empreendimento, é o fato de que não se pode determinar à priori a evolução destes sistemas. Sendo assim, a única forma de estudá-los consiste em simulá-los diretamente com recurso de computadores rápidos que surgiram nas últimas décadas. Para sermos capazes de compreender o comportamento coletivo de um sistema complexo a partir da interação das suas partes, não temos outra solução senão simulá-los num computador [9]. Somente desta maneira poderemos entender a evolução e o funcionamento destes sistemas para que possamos compreender um pouco mais sobre o passado e tentar desvendar alguns fatos que poderão ocorrer no futuro, só que agora de um ponto de vista totalmente renovado.

No Instituto Santa Fé [8] - no Novo México (EUA) - um grupo de cientistas de várias disciplinas se dedica à Complexidade e já chegaram a resultados muito bons com a simulação dos mais diversos sistemas. De maneira análoga ao que Lorenz fez com sistemas meteorológicos [3], simulações de transações econômicas foram realizadas com o objetivo de modelar comportamentos de mercado, fazendo-os emergir a partir da interação de consumidores que se comportam individualmente, segundo uma lógica simples. A proposta do Instituto Santa Fé é chegar a simular um sistema econômico completo, "em vez de estudar a economia como uma máquina Newtoniana, eles a vêem como algo orgânico adaptativo, surpreendente e vivo", esse modelo seria como um simulador de voo para tomada de decisões econômicas. Esta é uma ciência que assume a incerteza como ponto de partida. É uma ciência que conta com a surpresa. Um dia, talvez, seja de fato possível simular o comportamento de empresas em ambientes altamente competitivos, a partir do comportamento auto gerenciado de empregados individuais e dos fatores ambientais aos quais eles se adaptam. Os primeiros resultados são encorajadores; talvez num futuro

um pouco mais distante vemos a dinâmica dos sistemas adaptativos complexos não como mais um modismo qualquer, mas como o núcleo de um novo horizonte para o pensamento social [8].

Dentre estes estudiosos do Instituto Santa Fé, encontra-se Thomas Ray, um biólogo que começou sua carreira científica num laboratório construído por ele mesmo na Costa Rica, onde pesquisava a evolução e a ecologia nas florestas tropicais. O que tornou Ray realmente famoso foi um mundo computadorizado chamado *Tierra*, povoado com programas de computador automultiplicadores que competem entre si por tempo de computação (representando energia) e memória do computador (representando recursos). Embora Ray tenha começado o *Tierra* com um único organismo artificial, outros organismos inesperados se desenvolveram rapidamente, ativados pelas funções de mutação que Ray incorporou no *Tierra*. De acordo com Ray, o aspecto mais importante do *Tierra* é que nenhum dos organismos que se desenvolveram – parasitas, hiperparasitas, etc – fazia parte do programa original do *Tierra*. Eles evoluíram por si próprios, sem nenhum auxílio de humanos, caracterizando um comportamento emergente extremamente complexo. Sendo assim, Ray chegou a dizer que o *Tierra* não era uma simples simulação, mas sim uma síntese da evolução da vida.

Outra famosa simulação de sistemas biológicos é o conhecido *Game of Life*, desenvolvido pelo inglês John Conway que simula o desenvolvimento de colônias de bactérias em uma placa de pétri [11] a partir de primitivas ou regras bem simples de interação entre estes seres: qualquer célula viva com menos do que duas células vizinhas morrerá de solidão. Qualquer célula viva com mais do que três células vizinhas morrerá por sufocamento. Qualquer célula morta com exatamente três células vizinhas voltará à vida. Qualquer célula viva com duas ou três células vizinhas sobreviverá sem mudanças. Apesar de simples, esta simulação, quando comparada aos complexos programas desenvolvidos atualmente, apresenta uma biosfera de criaturas unicelulares que vivem e

morrem de acordo com regras pré-definidas, além de constatar-se que os padrões visuais de desenvolvimento gerados na simulação, são com frequência similares aos padrões de seres vivos [11].

Outro trabalho importante da área de sistemas complexos é o modelo NK de evolução genética introduzido por Stuart A. Kauffman [5]: Neste modelo cada espécie é representada por um genótipo ao qual é atribuído um valor de “desempenho” ou aptidão. N se refere ao número de genes e K às interações entre os genes. Por mutações aleatórias e seleção, a espécie irá caminhar em seu processo evolutivo para configurações mais viáveis que maximizem o desempenho da espécie. Em suas simulações todos os resultados indicaram que os sistemas adaptativos complexos que vivem na região de interface entre a ordem e o caos, são os mais capazes de se adaptar e evoluir. Tal interface recebe o nome de “borda do caos”.

Com este trabalho Kauffman lançou um estado crítico auto organizado entre a ordem e a desordem. No entanto tal modelo não apresenta o fenômeno da criticalidade auto-organizada [5].

O conceito de criticalidade auto organizada foi proposta pelo físico dinamarquês Per Bak, em colaboração com Chao Tang e Kurt Wiesenfeld, através do modelo de pilhas de areia. No experimento foi verificado que ao se depositar grãos de areia adicionais, as pilhas de areia são naturalmente atraídas para um estado crítico, caracterizado por avalanches de todos os tamanhos, sem necessidade de qualquer ajuste externo inicial, ao contrário do método NK. O estado se auto estabelece devido à dinâmica das interações entre elementos individuais do sistema: o estado crítico é auto-organizado. Criticalidade auto-organizada é então o único mecanismo geral conhecido para gerar complexidade [12].

Contudo, a grande verdade em termos de simulação de sistemas complexos é que não se pode utilizar os resultados destas simulações para se

fazer previsões a longo prazo, pois está bem claro pela leitura do texto que a longo prazo o Caos não pode ser dominado ou previsto a partir de simples primitivas de comportamento das variáveis integrantes de um sistema. Sempre que há aspectos aleatórios envolvidos, ou seja, não são de forma alguma sistemas determinísticos ou previsíveis; qualquer tentativa de fazer previsões a longo prazo, não passa de mera adivinhação, pois estes sistemas são capazes de evoluir, se adaptar e aprender de acordo com mudanças nas características de seu ambiente [13].

As simulações realizadas neste trabalho partiram de uma modelagem bem simples, tentando disponibilizar ambientes e situações diferentes para que pudéssemos analisar as possíveis maneiras de evolução a partir de determinados estados iniciais.

Dentro das simulações feitas para esta monografia foi utilizada uma plataforma denominada *StarLogo* (www.media.mit.edu/starlogo), que foi desenvolvida exatamente para simular sistemas desprovidos de controle central, cuja organização provém exatamente das interações entre os componentes do sistema. Este programa trabalha em grande escala com o fator aleatoriedade para tentar reproduzir um ambiente capaz de simular um sistema complexo. Esta linguagem é uma pequena variação da linguagem LOGO, já conhecida pelas suas aplicações didáticas, porém com o diferencial de poder trabalhar com vários agentes ao mesmo tempo. Estas simulações e o ambiente serão comentados depois com maiores detalhes, assim como seu desenvolvimento e objetivos.

3. Ambiente Utilizado e Simulações

3.1 O Ambiente Starlogo

Starlogo é um ambiente de modelagem programável para exploração de sistemas descentralizados (sistemas que se organizam sem um organizador, coordenam-se sem um coordenador) [14]. Com Starlogo, você pode modelar muitos fenômenos da vida real, como bandos de pássaros em revoada, tráfego de trânsito e até mesmo uma economia de mercado.

Em sistemas descentralizados, um modelo de ordem pode surgir sem um controle central. Progressivamente, os pesquisadores estão escolhendo modelos descentralizados para as organizações e tecnologias que eles constroem no mundo, e para as teorias que eles criam sobre o mundo. Mas muitas pessoas continuam a resistir à idéia, assumindo controles centrais onde estes inexistem, por exemplo, assumindo (incorretamente) que bandos de pássaros em revoada têm um líder. Starlogo foi desenvolvido para ajudar estudantes e pesquisadores a desenvolverem novas formas de pensamento sobre sistemas descentralizados.

Starlogo é uma versão especializada da linguagem de programação Logo. Com as versões tradicionais do Logo, você pode criar desenhos e animações através de comandos fornecidos para uma “tartaruga” na tela do computador. O Starlogo estende esta idéia permitindo a você controlar muitas “tartarugas” em paralelo. Resumindo, Starlogo faz um mundo de tartarugas computacionalmente ativo, por exemplo, um usuário pode usar o Starlogo para escrever regras para milhares de "formigas artificiais" e então observar os comportamentos a nível de colônia que surgem em todas as interações. Starlogo é particularmente apropriado para projetos relacionados à Vida Artificial dentre os quais a grande maioria são sistemas complexos.

O Starlogo trabalha com três tipos de componentes:

Tartarugas (Turtles)

Os principais habitantes do mundo starlogo são criaturas gráficas conhecidas como “tartarugas”. Você pode usar uma tartaruga para representar quase todo o tipo de objeto: uma formiga em uma colônia, um carro no tráfego, um antídoto em um sistema imunológico. Cada tartaruga tem uma posição, um título, uma cor e uma “caneta ” para desenhar. Você pode adicionar traços mais especializados e outras propriedades. No Starlogo (diferente das tradicionais versões do Logo), você pode controlar as ações e interações de milhares de tartarugas em paralelo.

Patches

Patches são pedaços do mundo no qual as tartarugas vivem. Patches não são meramente objetos passivos às ações das tartarugas. Como as tartarugas, patches podem executar comandos do starlogo, interagir com tartarugas e outras patches. Patches são dispostas em uma rede, na qual cada patche corresponde a um pedaço da área geográfica representada na tela.

Observer

O Observer olha sobre as tartarugas e as patches de uma perspectiva superior. Este componente pode criar novas tartarugas e pode monitorar as atividades das tartarugas e das patches existentes. Sua principal ação resume-se a agir no ambiente em tempo de execução e cumprir as condições do programa [14].

3.2 Simulações Desenvolvidas

3.2.1 Epidemia

Esta simulação tenta retratar o ambiente de desenvolvimento de uma epidemia, disponibilizando pessoas saudáveis (componentes azuis), pessoas infectadas (componentes vermelhos) e as suas interações. A simulação da epidemia funciona da seguinte forma: fica disponibilizado para o usuário configurar os níveis de resistência imunológica que confiará maior ou menor resistência à epidemia para os indivíduos saudáveis. Também está disponível o controle sobre a taxa de natalidade, que configura o quanto uma população irá se reproduzir durante a simulação, sendo que os indivíduos infectados têm maior dificuldade de reprodução do que os indivíduos saudáveis. Além de poder configurar também o número de pessoas infectadas inicialmente e o número inicial de pessoas da população, o que pode acarretar uma maior ou menor disseminação da doença.

Durante a simulação o usuário terá acesso a informações tais como número de pessoas infectadas e número de pessoas saudáveis na população, além de estar visualizando um gráfico no qual estarão sendo fornecidos dados acerca dos níveis de RI (Resistência Imunológica dos indivíduos) sendo isso feito em tempo de execução.

A aleatoriedade trabalha nesta simulação exatamente nas configurações dos indivíduos, sendo que cada um será criado com um determinado nível de energia que varia em uma escala de 1 a 10. Este nível de energia gerado aleatoriamente nesta escala fornecerá condições para que o indivíduo possa “viver”, reproduzir e até mesmo suas condições de morte. Também será aleatória a configuração do nível de resistência imunológica de cada componente, sendo que o usuário definirá o patamar superior.

A condição de morte pode ser exposta da seguinte maneira: se um indivíduo está infectado ele tende a perder energia durante as interações com os outros indivíduos, caso essa energia chegue a 0.2 ou menos este indivíduo deixará de existir. Já os indivíduos saudáveis também tendem a perder energia durante as interações, porém em taxas menores. Sua morte também acontecerá, neste caso por “velhice”, ou seja, quando este atingir o nível de 0.2 ou menor, este indivíduo terá atingido a idade máxima e também deixará de existir.

A condição para reprodução também fica por conta dos níveis de energia vital de cada componente e sua transmissão de herança genética fica por conta dos níveis de RI. Caso o indivíduo esteja infectado, será gerado um número randômico entre 1 e 250, caso este número seja menor do que o nível de natalidade, e caso o indivíduo esteja em contato com outro indivíduo, será gerado um novo componente que terá metade da energia do indivíduo que o gerou, sendo que seu nível de RI será determinado também por condições aleatórias na qual será testado seu RI em relação a números randômicos e isto dirá se o nível de RI do descendente será igual, maior ou menor que o de seu gerador. Já no caso dos componentes saudáveis será gerado um número randômico entre 1 e 210, sendo o restante do processo idêntico ao processo acima, exceto que os indivíduos gerados terão sua energia gerada em um número aleatório de 0 a 10 como o de seu gerador.

Os processos que representam a vida de um indivíduo são o “infectar, o curar e o morrer”. O processo infectar consiste nos doentes infectarem os saudáveis, mudando a coloração de um componente saudável de azul para vermelho, contanto que estes estejam em contato, além do que os infectados tendem a perder energia com este processo e os saudáveis tendem a perdê-la em uma menor taxa. O processo de cura baseia-se no nível de resistência imunológica de cada componente, cujo nível máximo foi configurado pelo usuário. Caso o indivíduo esteja infectado, um número aleatório é gerado de 0 a

11, se este número for menor do que o nível de resistência imunológica do indivíduo este será curado, caso contrário ele continuará infectado. Já o processo de andar nada mais é do que os movimentos aleatórios de cada um dos componentes através do ambiente disponibilizado.

Esta simulação tem como objetivo principal tentar demonstrar através de regras bem simples dos componentes como uma epidemia pode se desenvolver, que conseqüências ela pode provocar tendo em vista os diferentes níveis de resistência imunológica de uma população além de seu nível de natalidade e como isto pode influir no processo de desenvolvimento desta epidemia. Além do que estarão sendo observados no gráfico os diferentes níveis de RI para que se possa verificar no transcorrer da simulação qual seria o RI ótimo para o controle de uma epidemia. Os comportamentos emergentes que surgirão a partir das regras simples de interação é que estabelecerão padrões para o desenvolvimento desta epidemia, sendo que este é um processo, que não segue regras pré-estabelecidas, desenvolve-se exatamente a partir do feedback gerado durante as interações do sistema, o que pode ocasionar o surgimento de novos comportamentos dos indivíduos.

O que deve ficar bem claro também é que a quantidade de variáveis e processos que fazem parte de um sistema mas é infinitamente maior, porém as simulações tendem a retratar somente algumas variáveis para que o sistema desenvolva-se por si mesmo com comportamentos básicos através da emergência que é marca registrada destes processos complexos. Pois o que gera a complexidade não são as regras ou as variáveis separadamente, mas sim as interações entre elas. Além do que, quanto mais simples for uma simulação, mais fielmente o processo será retratado.

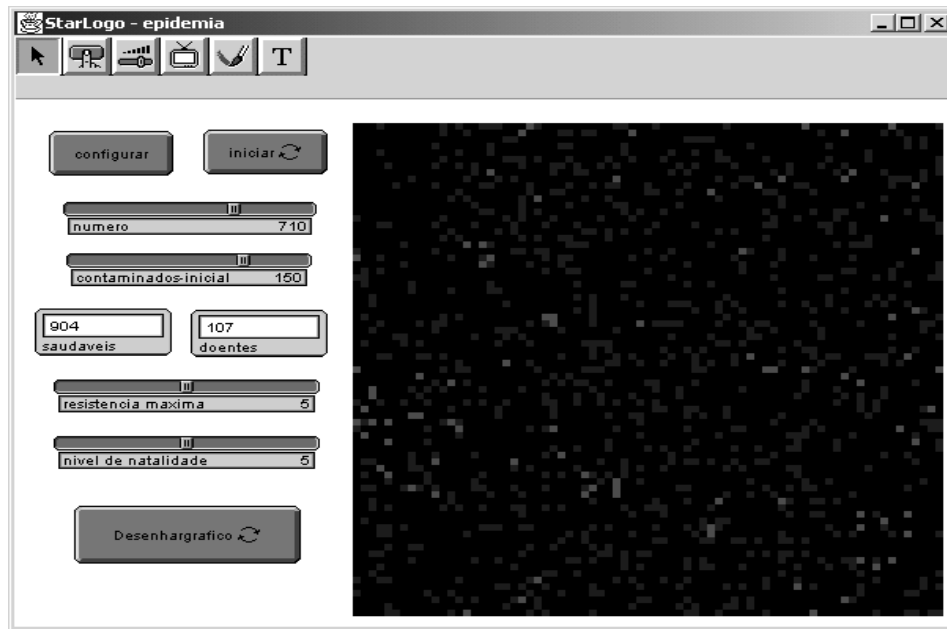









Figura 3 – Ilustração da interface da simulação Epidemia.

Para uma melhor ilustração do processo, na Figura 4 é apresentado o resultado de uma simulação com as seguintes entradas: numero inicial da população será de 1000 indivíduos, o numero de infectados será de 150, sendo os níveis de resistência imunológica e taxa de natalidade 6 e 4 respectivamente.

O gráfico níveis de RI vs. tempo mostra a evolução temporal dos diferentes níveis de RI (resistência imunológica) de acordo com o número de indivíduos em cada nível de RI.

	(RI \geq 0 e RI < 1)		(RI \geq 5 e RI < 6)
	(RI \geq 1 e RI < 2)		(RI \geq 6 e RI < 7)
	(RI \geq 2 e RI < 3)		(RI \geq 7 e RI < 8)
	(RI \geq 3 e RI < 4)		(RI \geq 8 e RI < 9)
	(RI \geq 4 e RI < 5)		(RI \geq 9 e RI < 10)

OBS: Acima encontra-se a legenda do gráfico com os diferentes níveis de RI e suas respectivas cores.

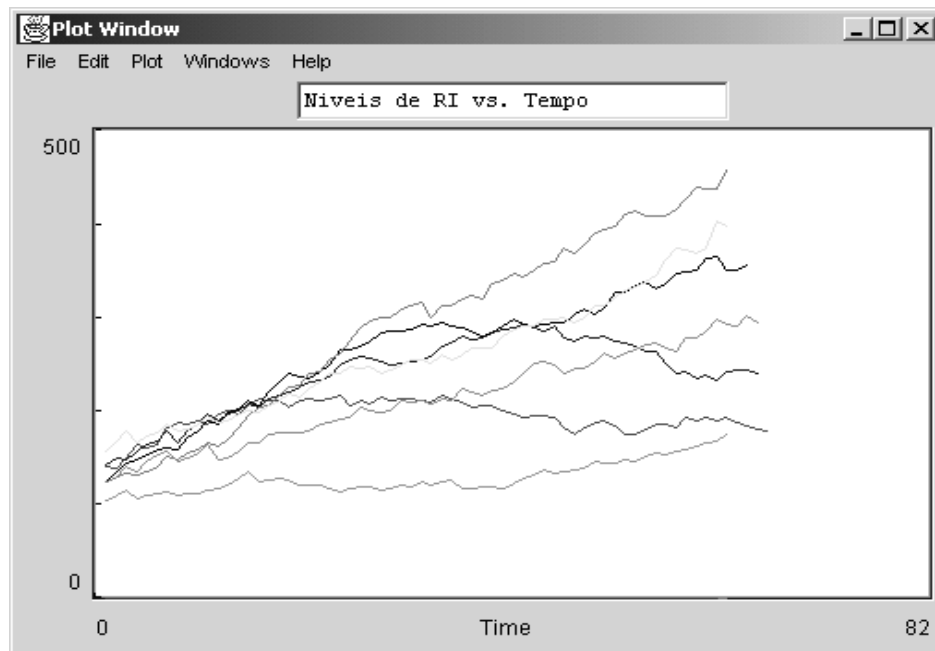


Figura 4 – Gráfico gerado pela simulação Epidemia

3.2.2 Política

Esta segunda simulação retrata o ambiente de uma eleição, tentando demonstrar como os partidos interagem entre si em busca dos votos dos eleitores a partir de seu poder de persuasão, do seu poder aquisitivo e do nível de indecisão do eleitorado. Os partidos são representados por diferentes cores: azuis, verdes e vermelhos. A cor branca representa os eleitores. A simulação da política disponibiliza ao usuário a configuração dos poderes aquisitivo, de

persuasão além do nível de indecisão dos eleitores. As duas primeiras características são individuais para cada partido, podendo ser configurado um determinado nível para cada um deles. O poder de persuasão e o poder econômico de cada partido confiam a estes, maior ou menor capacidade de conseguir votos ou mudar os votos dos simpatizantes de outro partido. O usuário poderá configurar também o número de eleitores o que também poderá gerar uma maior ou menor possibilidade de vitória de um dos partidos já que caso um partido tenha um grande número de votos no início, a tarefa de alcançar os 50% do eleitorado será mais fácil, uma vez que o número de eleitores seja menor. Pois a condição para que ocorra o fim da eleição é que um partido alcance mais do que cinquenta por cento (50%) do eleitorado. Quando isto ocorre, a simulação é então paralisada e reporta o partido vencedor.

Durante esta simulação, ficará disponível para o usuário informações acerca das porcentagens dos votos de cada partido, além dos votos brancos ou nulos dos candidatos indecisos. Tudo isto será retratado também no gráfico da página 33, em tempo de execução, como melhor forma de visualizar o processo.

Esta é uma simulação bem simples na qual a aleatoriedade trabalha no poder de persuasão, no poder aquisitivo e no nível de indecisão dos eleitores da seguinte forma: quando um determinado partido tenta convencer um eleitor, um número aleatório é gerado entre 1 e 10. Deste número será subtraído o nível de poder aquisitivo do partido, caso esta subtração atinja um número entre 0 e 5, o indivíduo poderá ser convencido a entregar seu voto a este partido. O restante das características funciona da mesma forma, sendo que para o poder de persuasão o nível a ser atingido após a subtração será de 0 a 3 (números escolhidos ao acaso) e para o nível de indecisão dos eleitores será de zero a dois. Sendo alcançada qualquer uma das três condições que são feitas conjuntamente, o eleitor terá dado ou mudado seu voto para o partido que tenha atingido estas

condições. Para tanto o eleitor deve estar na zona de ação do integrante do partido, que representaria o trabalho de corpo a corpo em uma eleição.

O principal processo desta simulação consiste exatamente na tentativa do partido de convencer os eleitores através do procedimento relatado acima que é denominado andar1, andar2 e andar3 para os partidos vermelho, azul e verde respectivamente.

O principal intuito desta simulação é tentar visualizar como o poder aquisitivo e o poder de persuasão de um partido podem agir sobre eleitores com determinado nível de indecisão. Várias possibilidades poderão ser criadas como, por exemplo, caso um partido tenha alto poder aquisitivo, mas um baixo poder de persuasão ou o contrário, como isto poderá influir em um eleitorado que está muito ou pouco indeciso, além de vários outros tipos de situações que podem ser fornecidas. Neste caso também é necessário falar sobre a quantidade de variáveis envolvidas que é muito menor em relação ao sistema real, mas a explicação dada será a mesma da simulação anterior.

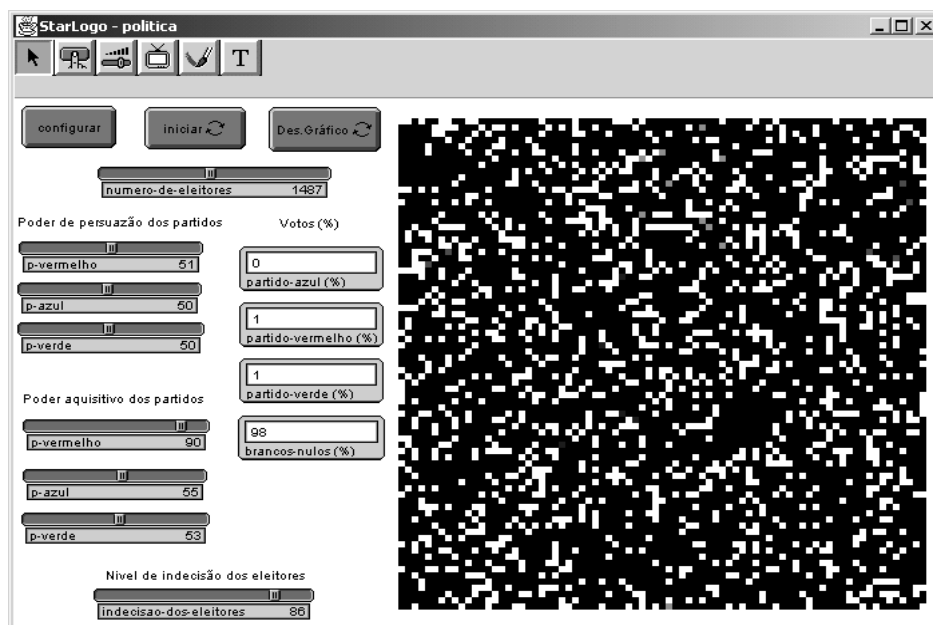


Figura 5 – Ilustração da interface da simulação Política.

Para uma melhor ilustração do processo, a Figura 6 mostra um gráfico gerado por esta simulação com as seguintes entradas: número de eleitores será de 1500 indivíduos. Os níveis de persuasão dos partidos vermelho, azul e verde será de 50, 70 e 40 respectivamente, bem como os níveis de poder aquisitivo serão de 50, 30 e 60 também seguindo a ordem acima. O nível de indecisão dos eleitores estará em torno de 60%. As cores do gráfico representam exatamente as cores dos partidos sendo que estas demonstram a evolução de cada partido durante a eleição.

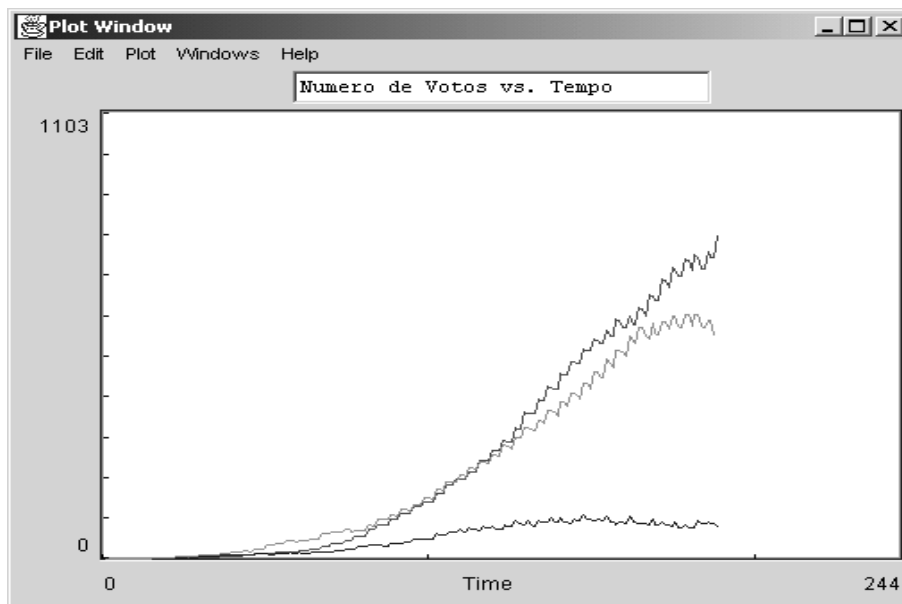


Figura 6 – Gráfico gerado pela simulação Política.

3.2.3 Economia

Esta terceira simulação tenta disponibilizar um ambiente de consumo de um determinado produto por três classes sociais: alta, média e baixa. Sendo que as características deste produto serão configurados pelo próprio usuário.

As três classes sociais são representadas por componentes de três cores diferentes: vermelho, azul e verde sendo que estas cores representam as classes baixa, media e alta respectivamente. Estas classes são caracterizadas pelo poder aquisitivo. Este poder aquisitivo também será configurado pelo usuário sendo que o de cada classe tem um limite superior. O produto será representado por *patches* amarelos, e serão “consumidos” pelas três classes sociais. Estes serão espalhados aleatoriamente pelo ambiente disponibilizado que representará um determinado comércio.

Como foi dito anteriormente, o usuário é responsável por configurar as características do produto, podendo alterar os níveis de tecnologia empregada na criação do produto, o nível de qualidade de mão de obra empregada e o nível da qualidade da matéria prima utilizada na confecção de tal produto. Além disso, o usuário também pode configurar o número de integrantes de cada classe social como também o nível de poder aquisitivo de cada uma delas. Tudo isto vai influenciar no quanto cada uma das classes irá consumir um determinado produto, de acordo com suas condições e necessidades.

Durante a simulação estará disponível ao usuário (em tempo de execução) a percentagem do produto que foi consumido bem como a quantidade que será reposta caso haja necessidade de reposição do produto, dependendo do nível de consumo que os componentes atingirem com o decorrer da simulação. Além do que também será disponibilizado um gráfico que fornecerá o nível de consumo de cada classe em tempo de execução. Para Visualizar este basta clicar no botão DES. GRÁFICO. Este produto será reposto de acordo com o nível de consumo dos componentes, pois caso este esteja elevado, uma grande quantidade de produto deverá ser restituída para que este não se acabe durante o ato de “consumo”.

Os resultados desta simulação poderão ser acessados a qualquer momento pelo usuário, bastando que este clique no botão RESULTADO. Feito isso, serão disponibilizados dados que dirão o quanto (percentual %) cada classe consumiu de determinado produto durante a simulação.

A aleatoriedade trabalha aqui exatamente no ato de consumo dos indivíduos. Números aleatórios serão gerados para serem comparados com os níveis de qualidade do produto e com os níveis de poder aquisitivos de cada classe, permitindo ou não que determinado componente possa “consumir” o produto disponibilizado pelo usuário. Estes níveis representam os preços do

produto e de acordo com o nível aquisitivo dos indivíduos das classes este produto terá maior ou menor aceitação por cada classe.

Os principais processos desta simulação são: andarca, andarcb e andarcc, que constituem exatamente as possibilidades de consumo das classes baixa, média e alta respectivamente. Estes processos respeitam toda uma aleatoriedade, assim como algumas regras básicas como, por exemplo, um indivíduo pertencente à classe baixa e com baixo poder aquisitivo, dificilmente consumirá um produto configurado com altos níveis de tecnologia, mão de obra e qualidade de matéria prima. Assim como várias outras situações poderão ser disponibilizadas pelo usuário. O produto repostado também obedece uma certa aleatoriedade a partir de um número randômico que será gerado e comparado com o nível de consumo no qual o mercado se encontra para que se possa ou não haver reposição de determinado produto. Este nível de consumo será configurado passo a passo pelo programa à medida que o produto estiver sendo consumido.

O objetivo principal desta simulação é tentar demonstrar a aceitação do mercado para um determinado produto que poderá ter sua qualidade variando desde péssimo até excelente, e de acordo com isso verificar o comportamento de consumo das diferentes classes sociais em relação a este produto sendo que estas também poderão sofrer configurações desde o seu número de integrantes até seu nível de poder aquisitivo oscilando entre boas e más condições. Sendo assim poderemos ter alguma noção de como um mercado de consumo poderá evoluir diante de um determinado produto de acordo com seu preço e qualidade.

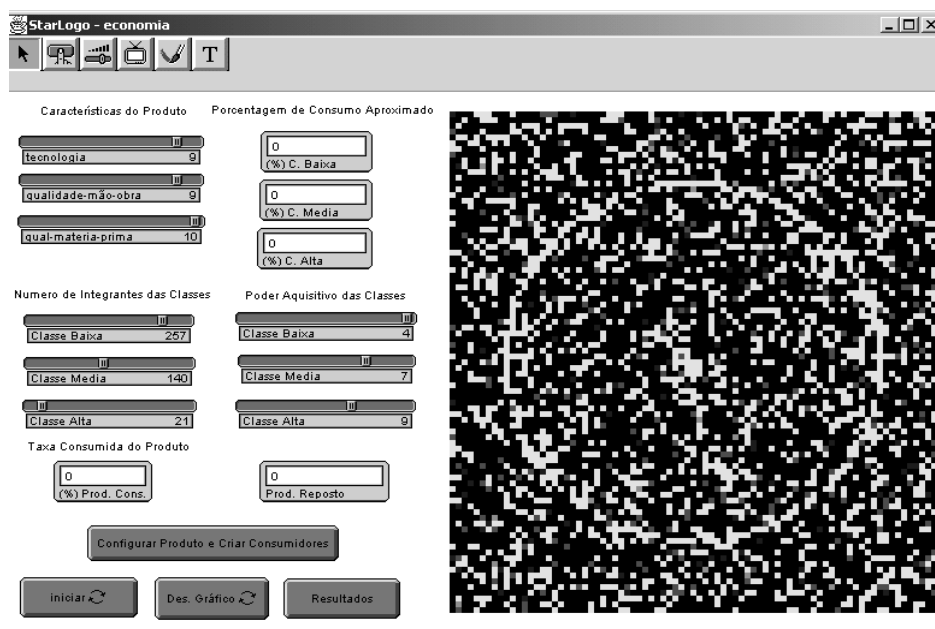


Figura 7 – Ilustração da interface da simulação Economia.

Para uma melhor ilustração do processo estará abaixo disponível um gráfico gerado por esta simulação com as seguintes entradas: nível de tecnologia empregado será de 7, qualidade de mão de obra empregada será de 9 e a qualidade da matéria prima será 3, tudo isto numa escala de 0 a 10. O número de integrantes das classes alta, média e baixa será de 50, 140 e 300 respectivamente. Já o poder aquisitivo das classes será de 9, 7 e 4 também respeitando a ordem anterior. A legenda do gráfico é a seguinte: verde representa a classe alta, azul a classe média e vermelho a classe baixa. Sendo que o gráfico mostra o consumo de cada uma destas classes.

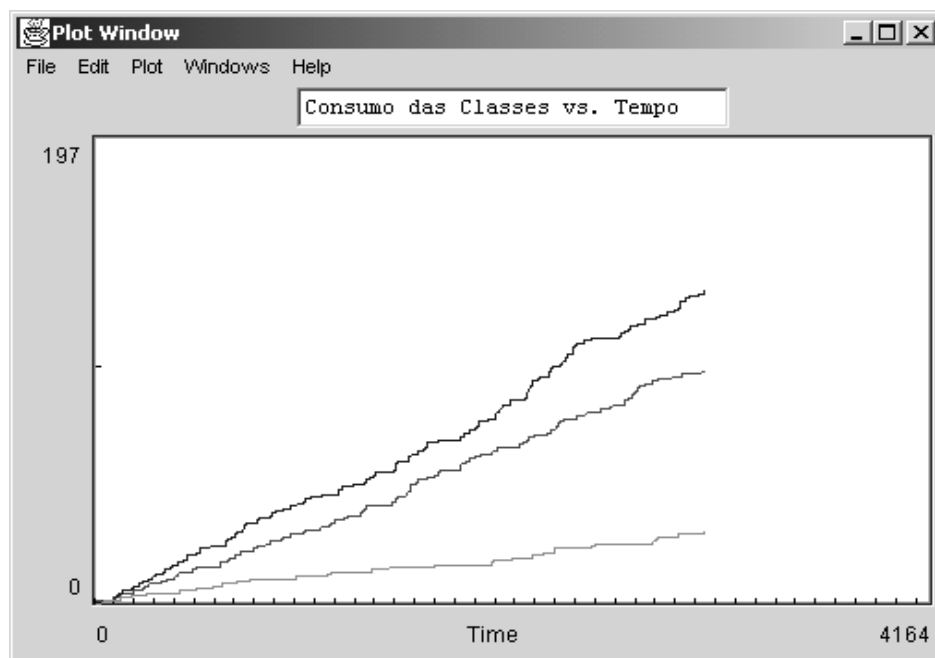


Figura 8 – Gráfico gerado pela simulação Economia.

- Classe Alta
- Classe Média
- Classe Baixa

OBS: Legenda do gráfico acima com as classes sociais e suas respectivas cores.

4. Conclusões

Para que sejam iniciadas as conclusões devemos deixar bem claro um aspecto que pode ter fugido à compreensão ao longo do texto. Este aspecto diz respeito aos sistemas complexos como uma área inovadora. Uma área decididamente científica que tenta retratar os fatos a partir de uma nova ótica, que seria a da incerteza, da imprevisibilidade. O homem tem tentado a tempos colocar tudo em modelos lineares e determinísticos até que fenômenos notadamente importantes como tempestades, cataclismos e a própria vida começaram a fugir aos seus modelos determinísticos. A metáfora que melhor descreve estes sistemas não é a de uma orquestra que executa rigidamente uma pauta musical, mas antes um grupo de jazz onde a ordem e o livre arbítrio vão dando forma a uma melodia criativa sem que seja necessário haver a coordenação de um maestro.

Sujeitar a complexidade do mundo ao cabresto das nossas teorias e fórmulas é além de exagerado, ingênuo e, mais grave ainda, limitativo. Só agora reparamos que o determinismo leva à morte, que o mundo é muito mais complexo do que o descrito pelas nossas fórmulas reducionistas, simuladas nos computadores [10]. A teoria do caos coloca em xeque a própria possibilidade da ciência poder identificar ou formular leis, a ilusão de um mundo totalmente racional e controlável [15].

Um exemplo bastante reduzido do que representou a teoria do Caos, em seu início - uma mudança de visão em relação à natureza por parte desses pesquisadores - leva pelo menos a uma conclusão mais ou menos simples, que James Gleick resgata do folclore no seu livro "Caos" [16]:

"Por falta de um prego, perdeu-se a ferradura; por falta de uma ferradura, perdeu-se um cavalo; por falta do cavalo, perdeu-se o cavaleiro; por falta do cavaleiro, perdeu-se a batalha; por falta da batalha, perdeu-se o reino!". [16]

Sendo assim devemos criar um horizonte renovado no qual possamos dar créditos ao incerto e ao caos. Estes sim confirmam certos fenômenos como simples obras do acaso, que seguem algumas regras pré-estabelecidas, mas que também deixam um espaço para o imprevisível. Estes são sistemas que aprendem e evoluem de acordo com as situações que vão sendo disponibilizadas pelo ambiente. Tudo evolui a partir daí, até mesmo nós, como indivíduos e sociedade, temos de aprender para que possamos criar novas perspectivas e, a partir delas, continuar a evoluir, constituindo assim a nossa complexidade, nosso caos e nossa imprevisibilidade. Não é o caso de se destruir nossas prévias noções acerca do mundo, mas simplesmente dar-lhes um novo significado.

Para simularmos estes sistemas a idéia primordial é balancear a possibilidade de simplificação com a utilidade relativa de um sistema simplificado. Mesmo um sistema muito complexo pode ser modelado de forma que algumas conclusões importantes possam ser tiradas acerca de sua evolução e possibilidades futuras [15].

Nas simulações realizadas aqui, a simplicidade de comportamento foi peça chave para que possam surgir comportamentos emergentes entre os componentes dos sistemas. Desde uma forma padrão para difusão da epidemia em uma população com baixa natalidade, até uma determinada forma de consumo dos produtos de alto preço pelas classes sociais menos favorecidas.

Assim como o desenvolvimento do cálculo permitiu que Newton abrisse as portas da compreensão dos fenômenos naturais, os rápidos computadores modernos permitem vislumbrar a possibilidade de pela primeira vez se compreender através da simulação alguns dos sistemas mais fascinantes e importantes para o homem. Abre-se assim uma nova era do conhecimento humano. Neste novo paradigma científico o mundo reassume o seu caráter criativo livre e espontâneo, onde o futuro não é só determinado pelas leis da física, mas onde o acaso e a adaptabilidade ou capacidade de aprendizagem

reclamam o seu papel. É um futuro imprevisível que não se espera, constrói-se [15]. Este trabalho e a nossa compreensão nos permitem afirmar que o exame sobre a sociedade pode ser decididamente enriquecido com esta nova visão “complexa” de realidade social e com suas simulações. Tudo isso deixa bem claro que essa nova forma de ver o mundo pode fornecer um melhor conhecimento dos sistemas que nos cercam, e acima de tudo, levar a uma melhor compreensão de nós mesmos.

Bibliografia

[1] CASTI, J.L, “Mundos Virtuais – Como a Computação esta Mudando as Fronteiras da Ciência”, Editora Revan (1998).

[2] PALAZZO, L., CASTILHO, J. “Sistemas Complexos e Auto Organização” texto técnico, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[3] BOSCHETTI, C., “O Império do Caos” texto técnico, disponível em <http://sites.uol.com.br/sintetica/atual/caos.htm>

[4] NUSSENVEIG, H. M., “Complexidade e Caos”, Editora UFRJ/COPEA (1999).

[5] MARTINS, S.G.F., "Simulação Computacional de Seleção Sexual e Evolução Biológica" texto técnico, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro (fev 1999).

[6] STOCKINGER, G. “Sistemas Sociais – A Teoria Sociológica de Niklas Luhmann” texto técnico (1997), disponível em <http://www.museunet.com.br/Leitura/leitura23.htm>

[7] OLIVEIRA, P, “Introdução aos Sistemas Complexos”, Universidade Federal Fluminense, Editora UFRJ/COPEA (1999).

[8] NOBREGA, C., “Administração é Ciência” texto técnico (1998), disponível em <http://www.clementenobrega.com.br/artigos.htm>.

[9] DAWKINS, R, “O Gene Egoísta”, Gradiva (1993).

[10] VIEIRA, A., “Uma Lufada de Ar Fresco” texto técnico, 1999, Universidade de Coimbra.

[11] WALNUM, C, “Aventuras em Realidade Virtual”, Editora Berkeley (1993).

[12] BAK, P., “How Nature Works, The Science of Self Organized Criticality” (1997) Oxford University Press.

[13] IAMAMOTO, E. MAC 333 “A Revolução Digital e a Sociedade do Conhecimento”, Tema 3 - Caos e Emergência (versão 0.6 de 08abr99).

[14] “Introduction to Starlogo” , texto técnico sobre esta ferramenta do MIT, disponível em [www. mit.edu/starlogo](http://www.mit.edu/starlogo).

[15] WOOD Jr., T. “Teoria do caos e gestão de empresas ” disponível em <http://www.geocities.com/complexidade/woodcaos.html>

[16] PEDÓ, M. “Possibilidades para uma criança nos dias de hoje”, disponível em <http://teclec.psico.ufrgs.br/mec-nte/POSSIBI.htm>.

Anexo

Esta aqui disponibilizado o código fonte da simulação POLÍTICA apresentada nesta monografia. Este código está devidamente comentado para fornecer um melhor esclarecimento acerca das simulações e sobre o ambiente utilizado para este realizar este projeto.

Política:

```
;tipos de componentes
breeds [partido1 partido2 partido3 eleitores]

;movimento aleatoria dos políticos e eleitores
to andar
seth random 360
fd 1
jump 2
end

;tentativa do partido 1 de convencer os eleitores de acordo com a indecisão
;destes,
;poder aquisitivo e poder de persuasão
to andar1
setc-of 0 red
setbreed-of 0 partido1
if breed = partido1 [andar if ((random (10 - poper1)) < 3)
                    or ((random (10 - poaq1)) < 5)
                    or ((random (10 - indecisao)) < 2)
```

```

                                [setbreed-at 0 0 partido1 setc red]]
end

;tentativa do partido 2 de convencer os eleitores de acordo com a indecisão
;destes,
;poder aquisitivo e poder de persuasão
to andar2
setc-of 1 blue
setbreed-of 1 partido2
if breed = partido2 [andar if ((random (10 - poper2)) < 3)
                        or ((random (10 - poaqs2)) < 5)
                        or ((random (10 - indecisao)) < 2)
                        [setbreed-at 0 0 partido2 setc blue]]
end

;tentativa do partido 3 de convencer os eleitores de acordo com a indecisão
;destes,
;poder aquisitivo e poder de persuasão
to andar3
setc-of 2 green
setbreed-of 2 partido3
if breed = partido3 [andar if ((random (10 - poper3)) < 3)
                        or ((random (10 - poaqs3)) < 5)
                        or ((random (10 - indecisao)) < 2)
                        [setbreed-at 0 0 partido3 setc green]]
end

to andar4

```

```
if breed = eleitores [andar]
end
```

```
to configurar
ca
criar1
criar2
criar3
criar4
configurargrafico
end
```

```
to iniciar
ask-turtles[andar1]
ask-turtles[andar2]
ask-turtles[andar3]
ask-turtles[andar4]
```

;condição para que as eleições terminem (+ de 50% do eleitorado votando e um
único partido)

```
if ((count-turtles-with [color = red]) >= (num-eleitores / 2)) or
    ((count-turtles-with [color = blue]) >= (num-eleitores / 2)) or
    ((count-turtles-with [color = green]) >= (num-eleitores / 2)) [stopall]
end
```

;criação do membros dos partidos e dos eleitores, e sua disposição pelo campo
de eleição

```
to criar1
  create-partido1 1
  ask-partido1
  [setxy (random screen-height) (random screen-width)
  setc red]
end
```

```
to criar2
  create-partido2 1
  ask-partido2
  [setxy (random screen-height) (random screen-width)
  setc blue]
end
```

```
to criar3
  create-partido3 1
  ask-partido3
  [setxy (random screen-height) (random screen-width)
  setc green]
end
```

```
to criar4
  create-eleitores num-eleitores
  ask-eleitores
  [setxy (random screen-height) (random screen-width)
  setc white]
end
```

```
;simples configuração para exibição dos gráficos de acordo com a cor de cada  
;partido.
```

```
to configurargrafico
```

```
  pp1 ppreset setppc red
```

```
  pp2 ppreset setppc blue
```

```
  pp3 ppreset setppc green
```

```
  setplot-yrange 0 25
```

```
  setplot-xrange 0 10
```

```
  setplot-title "Numero de Votos vs. Tempo"
```

```
end
```

```
to grafico
```

```
  viewplot
```

```
  pp1 ppd plot count-turtles-with [color = red]
```

```
  pp2 ppd plot count-turtles-with [color = blue]
```

```
  pp3 ppd plot count-turtles-with [color = green]
```

```
end
```