

FEUP  
2010/2011

## Agentes e Inteligência Artificial Distribuída



Universidade do Porto

**FEUP** Faculdade de  
Engenharia

Simulação de vida artificial num ecossistema

João Prudêncio (070509111)  
Seraphin Miranda (060509132)  
João Cevada (070509114)

## Índice

|  |    |
|--|----|
| Índice .....   | 2  |
| Índice de figuras.....   | 3  |
| 1.Enunciado .....  | 4  |
| 1.1 - Descrição do cenário .....   | 4  |
| 1.2 - Objectivos .....   | 5  |
| 2 - Especificação .....  | 6  |
| 2.1 - Identificação e caracterização dos agentes .....   | 6  |
| 2.1.1 Arquitectura .....   | 6  |
| 2.1.2 Comportamento .....  | 8  |
| 2.1.3 Estratégias .....  | 14 |
| 2.2 Protocolos de interacção .....   | 15 |
| 3 Desenvolvimento.....   | 16 |
| 3.1 Plataforma/ferramenta utilizadas.....  | 16 |
| 3.2 Estrutura da aplicação.....  | 17 |
| 3.3 Detalhes relevantes da implementação.....  | 20 |
| 5 Experiências .....   | 21 |
| 6 Conclusões .....   | 43 |
| 6.1 Conclusões da análise dos resultados das experiências levadas a cabo.....                  | 43 |
| 6.2 Conclusões do desenvolvimento do trabalho e aplicabilidade de SMA ao cenário proposto..... | 46 |
| 7 Melhoramentos .....  | 48 |
| 8 Recursos .....   | 49 |
| 8.1 Bibliografia .....   | 49 |
| 8.2 Software .....   | 49 |
| 8.3 Elementos do grupo .....   | 50 |
| Anexos .....   | 51 |
| Anexo A - manual do utilizador .....   | 51 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Ilustração 1 - Diagrama da arquitectura do repast.....                              | 7  |
| Ilustração 2 - Diagrama de actividades dos coelhos.....                             | 10 |
| Ilustração 3 - Diagrama de actividades das raposas.....                             | 11 |
| Ilustração 4 - Diagrama de actividades do ciclo de reprodução.....                  | 13 |
| Ilustração 5 - Descrição das classes .....  | 17 |
| Ilustração 6 - Diagrama de sequênciã .....  | 18 |
| Ilustração 7 - Diagrama de classes UML.....   | 19 |
| Ilustração 8 - Gráfico do espaço .....  | 21 |
| Ilustração 9 - Gráfico Tribos/agentes .....   | 22 |
| Ilustração 10 - Gráfico das regras utilizadas pelos coelhos .....                   | 22 |
| Ilustração 11 -Gráfico do numero de coelhos, raposas e agentes.....                 | 22 |
| Ilustração 12 - Resultado das diferentes tribos no artigo .....                     | 43 |
| Ilustração 13 - Resultado das diferentes tribos obtidas no modelo.....              | 43 |
| Ilustração 14 - Utilização relativa das regras em percentagem no artigo .....       | 44 |
| Ilustração 15 - Utilização relativa das regras em percentagem no nosso modelo ..... | 44 |
| Ilustração 16 - Equação Lotka-Volterra .....  | 46 |
| Ilustração 17 - Dinâmica Lotka-Volterra .....                                       | 47 |
| Ilustração 18 - jar do programa .....   | 51 |
| Ilustração 19 - GUI do Repast.....  | 51 |
| Ilustração 20 - Exemplo de execução do programa .....                               | 52 |

## 1. Enunciado

### 1.1 - Descrição do cenário

O presente documento tem como intuito analisar um sistema multi-agente desenvolvido, que simula um ecossistema do tipo presa-predador.

A predação é uma relação ecológica em que muitos animais procuram activamente as suas presas, que são outros animais, os perseguem, capturam e comem. Diversas classes de animais possuem essa estratégia de obtenção de alimentos.

No cenário aqui descrito, apenas existem duas classes de animais diferentes: raposas (predadores) e coelhos (presas). Estas duas classes distintas são representadas por agentes com o mesmo nome. Assim, um agente raposa ou coelho, tem um comportamento autónomo que lhe permite decidir as suas próprias acções.

Os coelhos pertencem a uma determinada tribo, sendo que a tribo é o que define a ordem de prioridade de cada uma das possíveis acções (genoma). A acção será escolhida mediante um conjunto de prioridades e condições, sendo executada a primeira regra que tenha a prioridade mais elevada e que satisfaça todas as condições para a sua realização. Quando não existir nenhuma acção nestas condições, será aplicada a regra “não faz nada” (NOP). Relativamente às raposas, pertencem todas à mesma tribo, ou seja, todas comportam-se da mesma maneira.

Qualquer um dos agentes poderá efectuar várias acções: alimentar-se, caçar, acasalar e mover livremente num ambiente sem fronteiras.

No caso dos coelhos, o seu alimento é a relva. A relva é uma entidade pertencente ao sistema, mas não é nenhum agente visto não ter nenhum papel activo no ambiente. A relva cresce ao longo do tempo, até atingir um estado de maturidade desejável. O principal objectivo deste agente é obter a saciedade através do consumo da relva.

As raposas, como predadores que são, vão procurar coelhos para se alimentarem. De forma similar aos coelhos, o objectivo é a saciedade da raposa, culminando na morte do coelho.

Outro acontecimento essencial num modelo deste tipo é a reprodução. É este fenómeno que permite a renovação das espécies, evitando a extinção. A reprodução sexuada implica a partilha de material genético, sendo que neste caso irá existir a partilha do conjunto de regras e prioridades da tribo. Para ocorrer o acasalamento é necessário que os dois animais sejam da mesma espécie e de sexos opostos. No caso de se verificarem estas condições, os animais resultantes terão 50% de probabilidade de herdar o genoma da mãe, e 50% de probabilidade de herdar o genoma do pai.

De forma a aproximar o modelo de um ecossistema real foram introduzidas várias variáveis, nomeadamente, a idade do animal, fome, esperança média de vida, número máximo possível de filhos, tempo de gestação, alcance máximo da visão, tamanho de maturação da relva, probabilidade de morte por doença. Todas estas variáveis e factores externos serão explicados ao longo do documento, e relacionados com os resultados obtidos da simulação

## 1.2 - Objectivos

Este trabalho tem como objectivo estudar as estruturas espaciais e padrões que surgem quando são codificados comportamentos individuais aos animais. Com isto pretende-se relacionar os parâmetros do comportamento microscópico com os fenómenos macroscópicos. Este estudo permite estudar de perto como os parâmetros microscópicos precisam de ser afinados para atingir estabilidade num modelo discreto.

Neste caso os parâmetros relacionados com a fome e os comportamentos alimentares dos animais são o objecto de estudo. Pretende-se inferir uma relação de causa-efeito entre um conjunto de factores e variáveis, configuráveis no sistema.

## 2 - Especificação

### 2.1 - Identificação e caracterização dos agentes

#### 2.1.1 Arquitectura

Foram implementados dois agentes de forma a simular este ecossistema presa/predador. O coelho representa a presa e alimenta-se exclusivamente de relva e a raposa representa o predador que, por sua vez, alimenta-se de coelhos.

As acções destes agentes são definidas por um conjunto ordenado de regras que dependem da tribo do agente, sendo definido aleatoriamente a cada tribo a ordem dessas regras. Estas regras que são executadas uma de cada vez a cada passo, sendo a regra 1 tentada em primeiro lugar, sendo em caso de falha das pré-condições e das pós-condições desta, é tentada a próxima regra, até que seja executada uma regra e assim fique a acção definida. Caso não seja possível realizar nenhuma acção dessa lista é assim executada a função “do nothing” ou seja não é realizada nenhuma acção, ficando o agente inalterado nesse passo. A aplicação destas regras depende das variáveis tanto do agente como do ambiente, as quais foram afinadas ao longo do projecto para obter os resultados desejados.

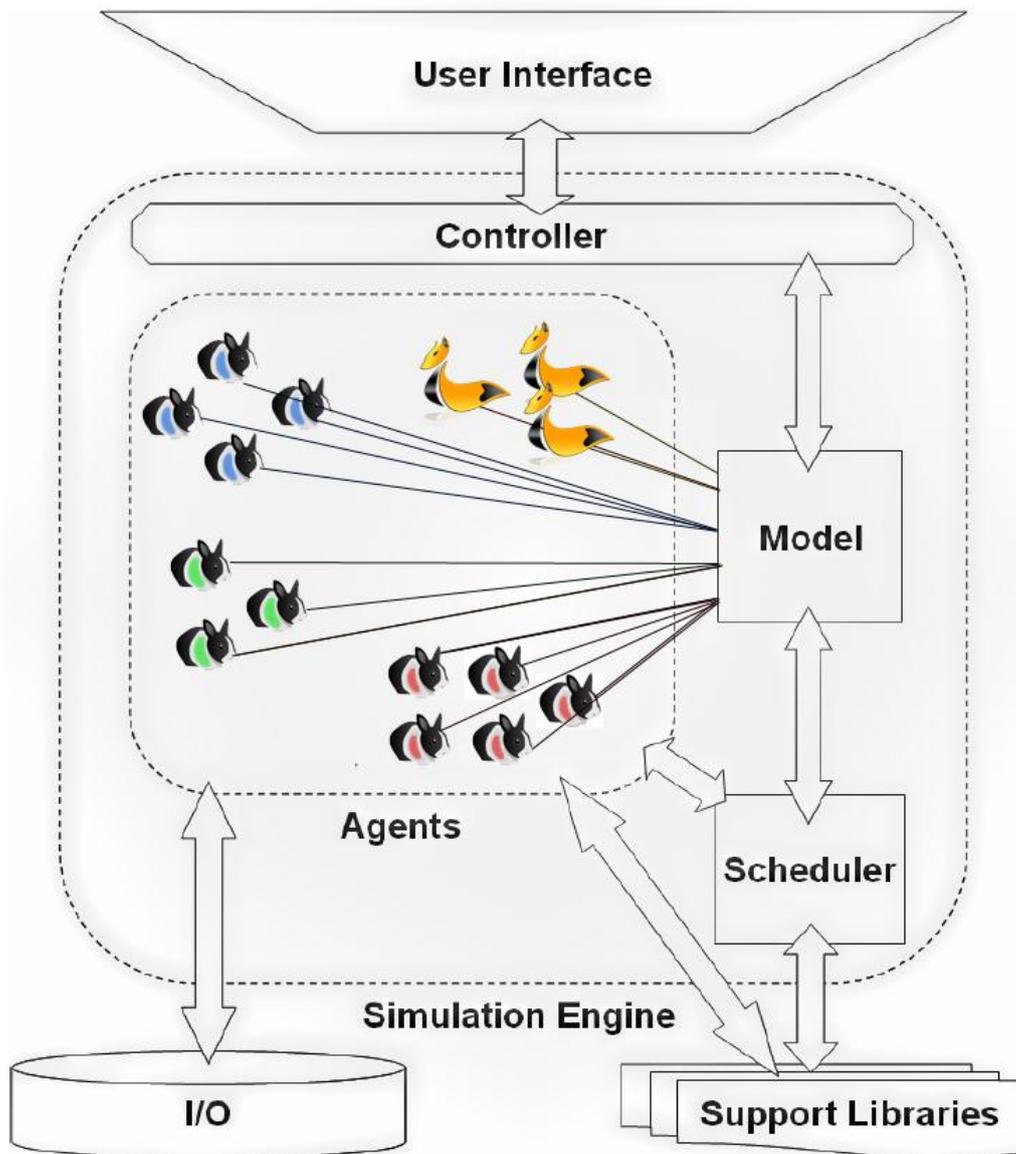


Ilustração 1 - Diagrama da arquitectura do repast

## 2.1.2 Comportamento

Para modelar o comportamento das entidades envolvidas serão introduzidos variáveis com as quais os animais irão interagir. Dado que o ambiente também influencia o comportamento dos animais serão também descritas as variáveis de ambiente.

### Variáveis:

Variáveis relacionadas com o ambiente:

- Taxa de Crescimento da Erva; Descrição: esta variável contém o número de “ticks” necessários para que a relva tenha um grau de maturidade mínima para ser comida pelos coelhos.
- Número de casas; Descrição: esta variável representa o número de casas que o ambiente terá. Partimos do pressuposto que todos os campos serão quadrados.
- Número de coelhos; Descrição: esta variável representa o número inicial de coelhos que deverão existir no início da simulação.
- Número de raposas; Descrição: esta variável representa o número inicial de raposas que deverão existir no início da simulação.
- Número de tribos; Descrição: esta variável representa o número de tribos de coelhos que deverão existir inicialmente no ambiente.

Variáveis de descrição comum aos coelhos e às raposas:

- Esperança média de vida; Descrição: esta variável representa a idade média com a qual o animal morre. O animal após ultrapassar essa idade será sujeito a uma probabilidade de morrer de causa natural segundo uma distribuição de probabilidade ainda por definir.
- Morte por doença ou morte espontânea; Descrição: esta variável representa a probabilidade de um animal morrer num tick mesmo

não tendo atingido a idade definida na variável de esperança média de vida.

- Fome/Saciedade; Descrição: esta variável representa o estado da fome dos animais. Esta variável varia entre 0 e 10 sendo 0 o valor de fome extrema e 10 o valor de saciedade extrema. Se esta variável atingir o valor 0, o animal em questão morre. O valor é máximo cada vez que o animal se alimenta. Em cada “tick” em que o animal não se alimenta, o seu nível de fome/saciedade diminui de um valor e, finalmente, considere-se que o animal está com fome quando o seu nível de saciedade atingir menos de um terço do valor máximo.
  
- Tempo de gestação; Descrição: esta variável representa o número de “ticks” desde a realização do coito até ao parto da cria. Não será tido em conta problemas de fertilidade dos animais partindo do pressuposto que após a realização do coito a fêmea fica prenha.
- Número de crias; Descrição: esta variável será representada por um intervalo de números que representará o número mínimo e máximo de crias que cada animal poderá ter em cada período de gestação.
- Tempo entre duas gestações; Descrição: esta variável representa o número de “ticks” mínimo entre duas gestações.
- Tempo de maturação; Descrição: esta variável representa o tempo mínimo e necessário para o animal atingir a idade de maturação, idade com a qual se pode reproduzir.

Cada tribo tem os seguintes conjuntos de regras básicas, podendo ser adicionadas outras com forme as necessidades para replicar o estudo pelo qual nos estamos a basear.

### Coelhos:

- Fugir de uma raposa que se encontre adjacente demorando um passo.
- Procurar relva caso o coelho tenha fome.

- Acasalar com um coelho adjacente se verificarem as condições correctas.
- Ir de encontro a outro coelho se este não estiver com fome e o outro coelho se encontrar disponível para acasalar.
- Mover de forma aleatória 50% do tempo.
- Não fazer nada.

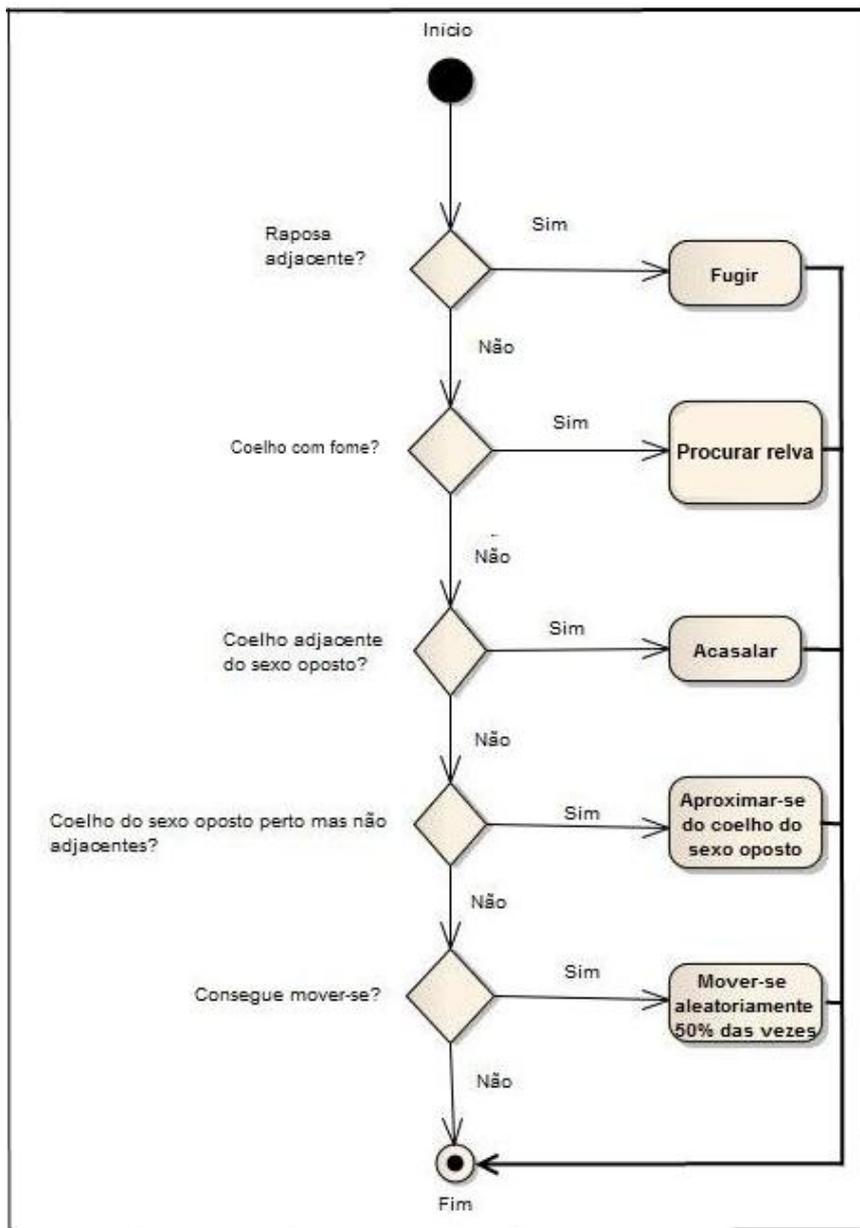


Ilustração 2 - Diagrama de actividades dos coelhos

**Raposas:**

- Comer um coelho se este se encontrar adjacente.
- Se estiver com fome ir de encontro a um coelho.
- Acasalar caso estiver adjacente a outra raposa.
- Ir de encontro a outra raposa se estiver sem fome e a outra raposa estiver disponível para acasalar.
- Mover de forma aleatória 50% do tempo.
- Não fazer nada.

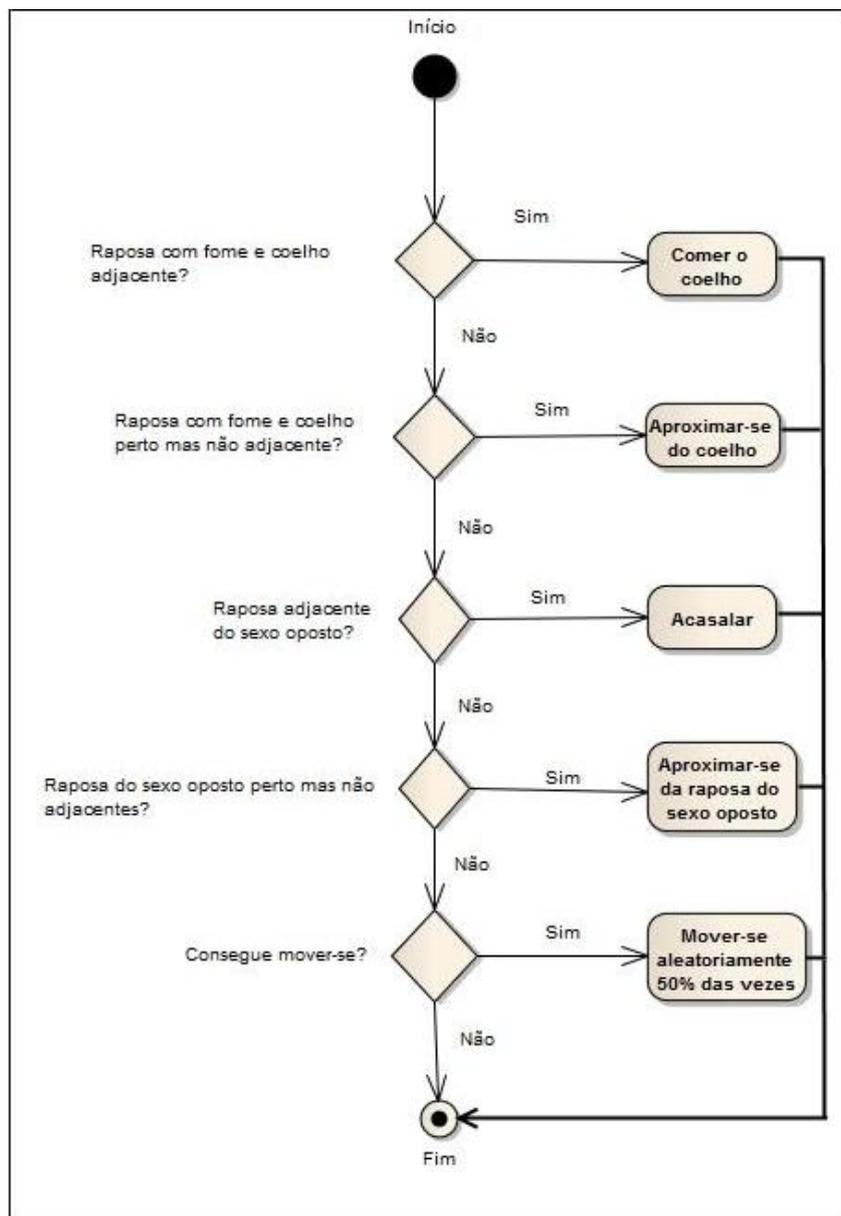


Ilustração 3 - Diagrama de actividades das raposas

## Ciclo de reprodução:

### Pressupostos e pré-condições:

- Só existe procriação entre animais da mesma espécie e de sexos diferentes.
- O animal só pode procriar se atingir o tempo mínimo de maturação.
- As fêmeas não podem procriar se estas se encontrarem em gestação ou em período de repouso entre gestações.
- O animal só pode procriar uma vez em cada tick.
- Os animais não sofrem de infertilidade.
- Após o coito parte se do pressuposto que a fêmea ficou prenha.
- Dois animais só pode procriar se não tiverem fome e se não estiverem em via de serem atacados.

Se forem satisfeitas todas as pré-condições então existe a possibilidade de procriação. Neste caso é realizado o coito e diz-se que a fêmea foi fecundada. A partir desde momento a fêmea passa ao estado de prenha, sendo assim deixa de poder ter relações sexuais. Passando o tempo de gestação nascerá um número aleatório de crias definido previamente num intervalo mínimo e máximo de crias. Finalmente, após o nascimento das crias ainda existe um tempo de repouso na qual a fêmea não poderá procriar.

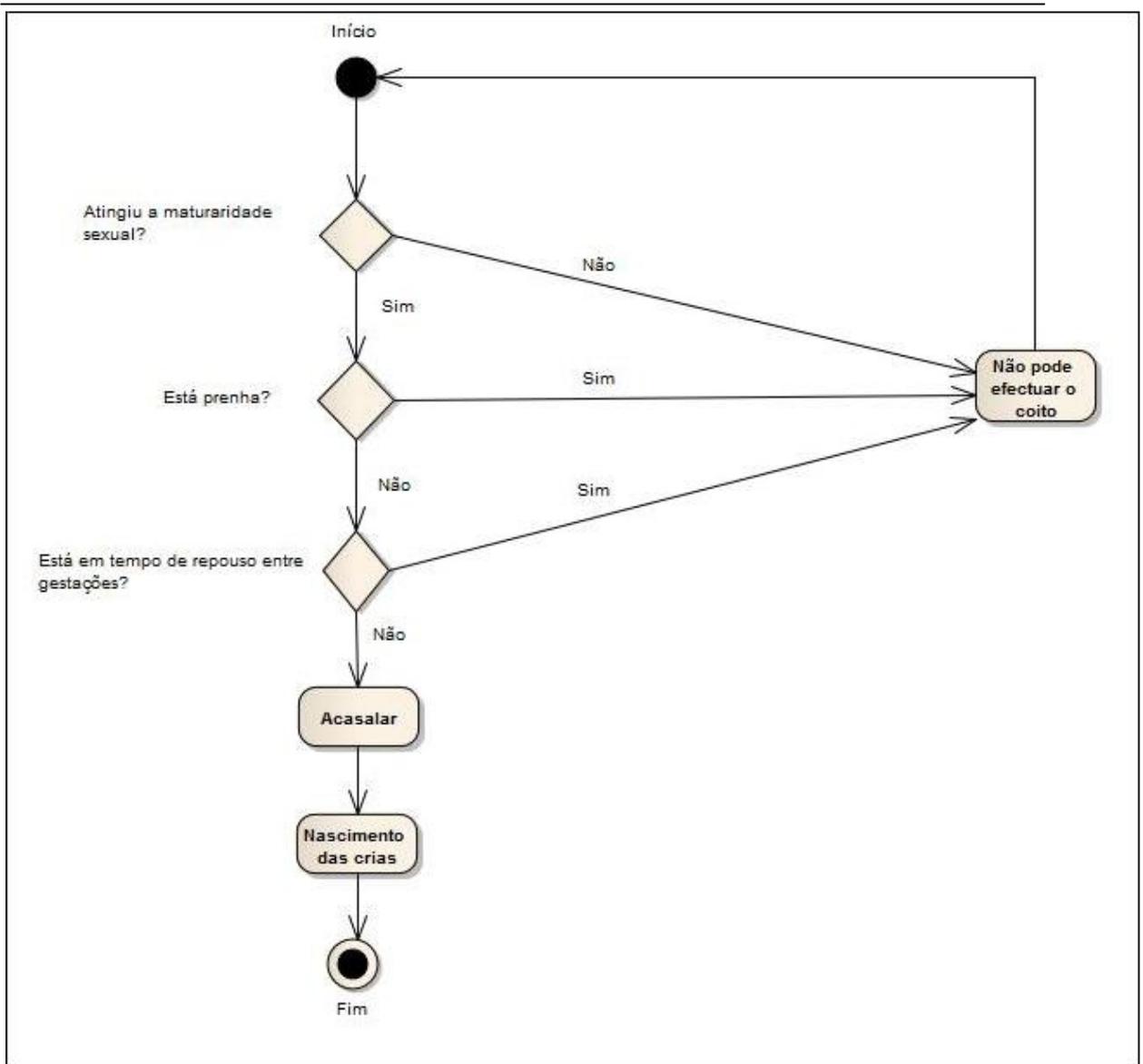


Ilustração 4 - Diagrama de actividades do ciclo de reprodução

### 2.1.3 Estratégias

Para implementar os comportamentos supracitados, foram seleccionadas um conjunto de metodologias.

Quando um coelho tenta fugir de uma determinada raposa, deve escolher uma posição em que não existam raposas, e tentar minimizar a distância a outras raposas. De seguida apresenta-se o pseudo-código da estratégia escolhida:

```
dis=100;
```

```
pos=null;
```

```
Para todas p: PosicoesVizinhas
```

```
Se p != raposa
```

```
min(dis,distanciaRaposa(p))
```

```
pos=p
```

Note-se que estas posições vizinhas encontram-se todas a uma distância de uma casa da posição original, visto que os coelhos apenas têm visão com alcance de uma posição.

Na situação de um coelho se encontrar com fome, deverá utilizar um algoritmo semelhante para procurar um coelho nas imediações.

O modelo foi escolhido de forma a que as regras tivessem ênfase na fome( tanto para as presas como para os predadores). Assim, a regra da raposa comer foi modificada para a raposa apenas comer se estiver com fome. Caso isso não fosse alterado, podiam-se alcançar valores instáveis, e o número de presas podia-se esgotar muito facilmente.

Quando um novo animal coelho é criado, ele tem 50% de hipóteses de herdar o conjunto de regras de seu progenitor imediato fêmea, e 50% de hipóteses de herdar o conjunto de regras do seu progenitor imediato macho. Apesar de esta situação não ser realista, para analisar a evolução da população torna-se mais fácil. Pensou-se em adoptar um algoritmo genético, mas levaria à criação de novas tribos inexistentes, sendo que o modelo teria que ser alterado. Como o objectivo é analisar a fome e a evolução das diferentes tribos, adoptou-se pela estratégia enunciada.

## 2.2 Protocolos de interacção

Não existe interacção directa entre os agentes no cenário da simulação do ecossistema. Os agentes aqui são agentes reactivos, simples. Estes agentes respondem a percepções, interpretando-as, verificando qual é a regra correspondente e agindo posteriormente.

O comportamento da sociedade emerge do conjunto dos comportamentos individuais dos inúmeros agentes presentes no sistema.

## 3 Desenvolvimento

### 3.1 Plataforma/ferramenta utilizadas

Toda a aplicação foi desenvolvida no sistema operativo Windows Seven, através da interface de desenvolvimento de software NetBeans, associada à plataforma Repast. A linguagem de programação utilizada foi o Java.

O Repast é uma plataforma de modelação de agentes que permite realizar simulações temporizadas e programadas de forma a observar e estudar a evolução quer dos agentes quer dos ambientes onde actuam.

As suas principais características permitem a visualização de ambientes gráficos bastante elaborados que permitem a representação dos agentes no seu ambiente. A plataforma é baseada na linguagem orientada a objectos Java que permite o desenvolvimento rápido e estável de aplicações, que pode ser apoiada por ferramentas de debugging e de testes automatizados. A plataforma ainda permite o agendamento de tarefas concorrentes em tempo discreto, e permite armazenar e visualizar em tempo real o resultado da simulação, em forma de gráfico e de logs. Para além destas funcionalidades permite o acesso e modificação dos agentes em tempo de execução. Esta plataforma, por ser desenvolvida em Java, permite a portabilidade dos modelos que podem ser executados e visualizados na maior parte dos sistemas operativos existentes desde que tenham previamente uma máquina de Java instalada.

Para as especificações do nosso trabalho usamos as facilidades de visualização gráfica para representar as diferentes entidades, nomeadamente a erva, os coelhos e as raposas. Para representar o tempo utilizamos a representação existente no Repast, que consiste numa representação discreta do tempo, nomeadamente “ticks”.

Finalmente, para a obtenção e análise de resultados usamos as ferramentas de modelação e visualização de gráficos, também existentes no Repast.

### 3.2 Estrutura da aplicação

A aplicação foi estruturada com base no paradigma da Programação Orientada a Objectos. Desta forma, foram criadas diferentes classes que representam diferentes entidades, ou que encapsulam determinada informação de forma eficiente.

Durante o processo de desenvolvimento, foi usada a metodologia de comentários ao estilo Javadoc<sup>1</sup>. Na fase da documentação, apenas foi necessária a geração da documentação através do Netbeans. Assim, apresenta-se de seguida as diferentes classes e uma breve descrição para cada uma delas.

| Class Summary                     |  |
|-----------------------------------|--|
| <a href="#">Animal</a>            | Represents an animal agent.  |
| <a href="#">FoxAgent</a>          | Represents a Fox agent.  |
| <a href="#">PreyPredatorModel</a> | This is the main class of the program.                               |
| <a href="#">RabbitAgent</a>       | Represents a rabbit agent, extends all the behaviour from an animal. |
| <a href="#">Tribe</a>             | An animal belongs to a tribe, which has his behaviour.               |
| <a href="#">TribeFox</a>          | A tribe from a fox has all the rules related.                        |
| <a href="#">TribeRabbit</a>       | A tribe from a rabbit has all the rules related.                     |

| Enum Summary                |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| <a href="#">Animal.Sexo</a> | Represents the gender of the animal. |

Ilustração 5 - Descrição das classes

<sup>1</sup> Javadoc - <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/documentation/index-jsp-135444.html>

Como o projecto tem uma grande quantidade de métodos em classes diferentes, torna-se complicado determinar a sequência global do comportamento. Desta forma, torna-se útil representar a sequência de processos ou mensagens passadas entre objectos através de um diagrama de sequência.

Elaborou-se um diagrama de sequência simples, representado a criação de dois objectos do tipo coelho, e um do tipo raposa. Representa-se o tipo de interacção existente entre estes objectos.

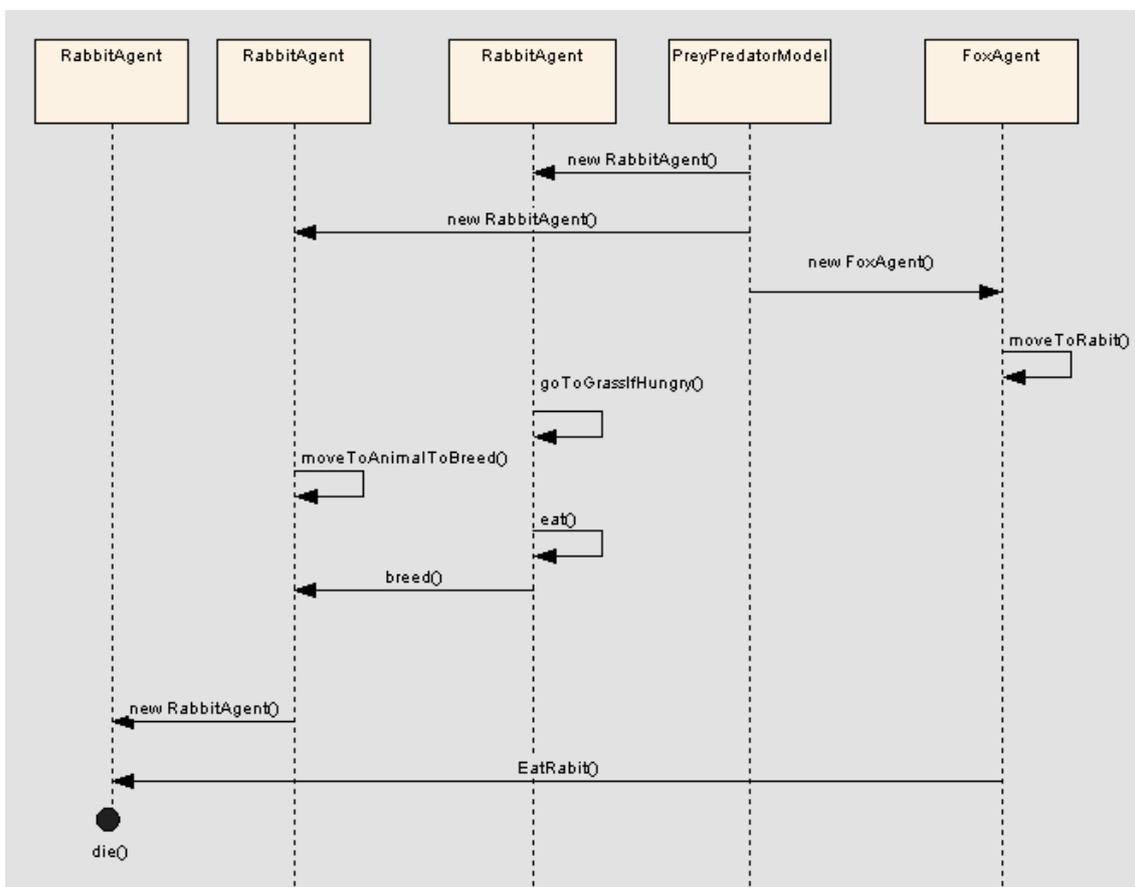


Ilustração 6 - Diagrama de sequência

Para melhor entender a relação entre as diferentes classes assim como visualizar as operações e atributos respectivos a uma determinada classe, é essencial um diagrama de classes UML.

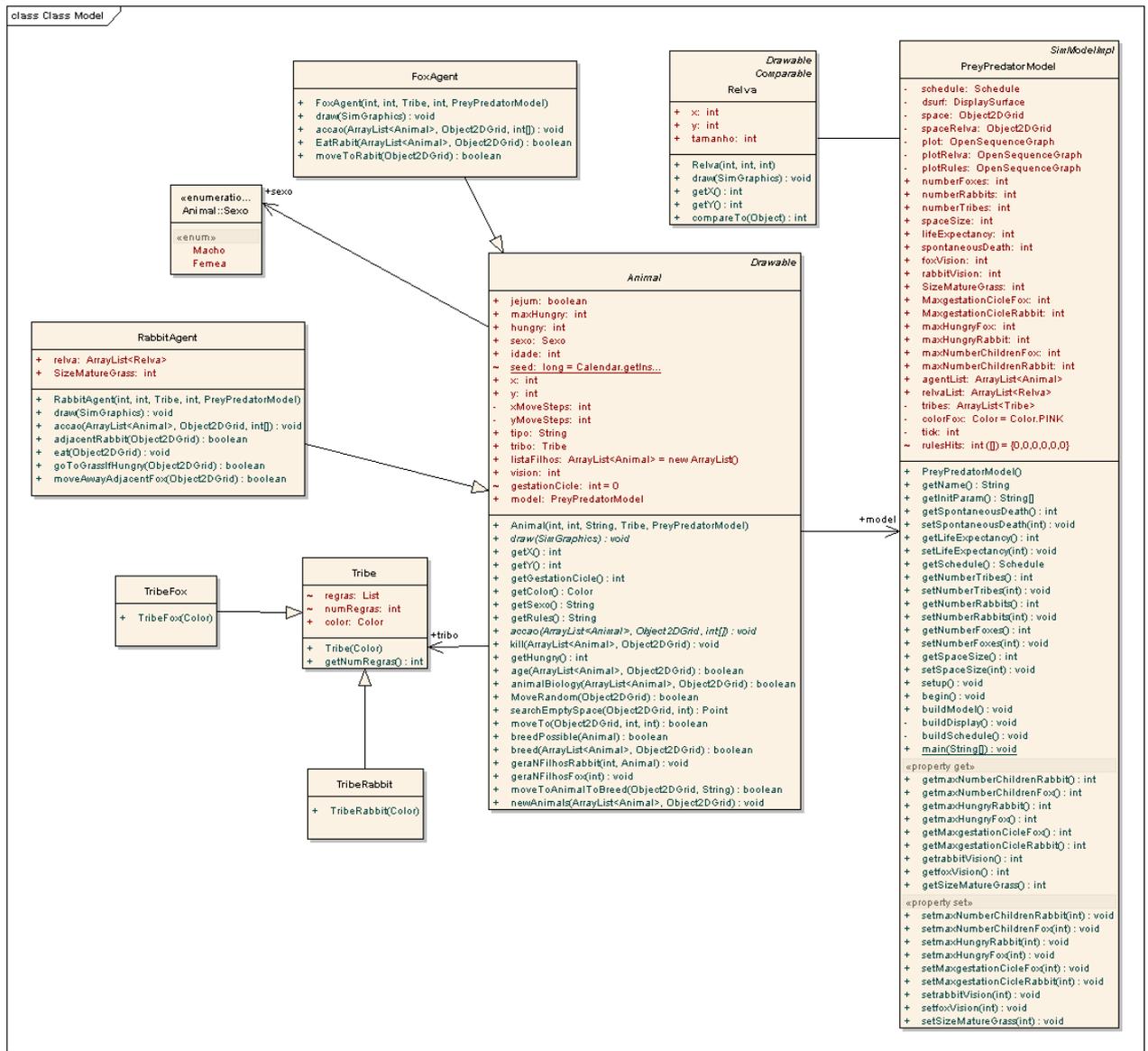


Ilustração 7 - Diagrama de classes UML

### 3.3 Detalhes relevantes da implementação

O programa inicia-se com interface gráfica onde se podem configurar as diversas variáveis relativas ao ambiente e aos agentes. Os agentes que foram modelados nesta aplicação são conhecidos por agentes reactivos. Estes agentes interagem com o ambiente interpretando os dados de entrada para escolher a regra correspondente. As diversas regras já foram descritas anteriormente no presente documento.

A elaboração do nosso modelo é baseada no modelo descrito no artigo proposto inicialmente [TUN]. <sup>Para</sup> além das variáveis descritas no artigo, introduzimos novas variáveis que permitirão retratar com mais exactidão a realidade dos sistemas presa-predador. Algumas variáveis estão relacionadas com a relva, outras com a reprodução dos animais entre outras que estão descritas no presente documento.

No nascimento das crias é feita uma gestão do espaço em redor da progenitora para a disposição dessas crias no espaço vazio.

Na nossa representação gráfica dos agentes e do ambiente, as raposas são os elementos representados por quadrados. Os coelhos estão representados por círculos de uma cor representativa da tribo a qual pertence. A relva é representada por uma circunferência verde.

Relembramos que só existem tribos para os coelhos. Os coelhos regem-se pelas regras previamente definidas no modelo. A diferenciação das tribos é feita pela diferente ordenação/prioritização das regras. Um detalhe também muito relevante foi a implementação nos agentes a capacidade de ver até a uma distância que pode ser configurada. Essa visão pode afectar fortemente o resultado das experiências.

Para melhor compreensão dos acontecimentos durante a simulação são apresentados vários gráficos que ajudarão a perceber e materializar os dados.

## 5 Experiências

Foram feitas varias experiencias nas quais alteramos varias propriedades dos animats, como tempo de gestação, numero de crias por cada acasalamento entre outras. Tendo como objectivo chegar a um ecossistema estável e mostrar como essas propriedades podem influenciar o ecossistema.

Gráficos utilizados:

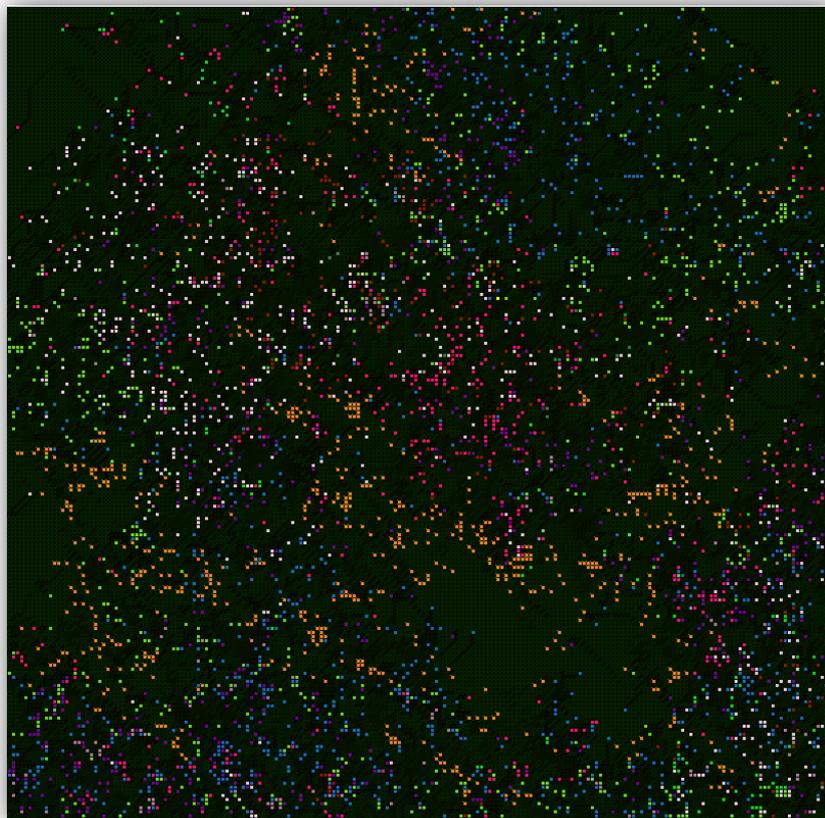


Ilustração 8 - Gráfico do espaço

Representação do ecossistema num espaço bidimensional em que mostra os coelhos, raposas e a relva. Em que as raposas quadrados laranja, e os coelhos são círculos de várias cores em que a cor representa a tribo.

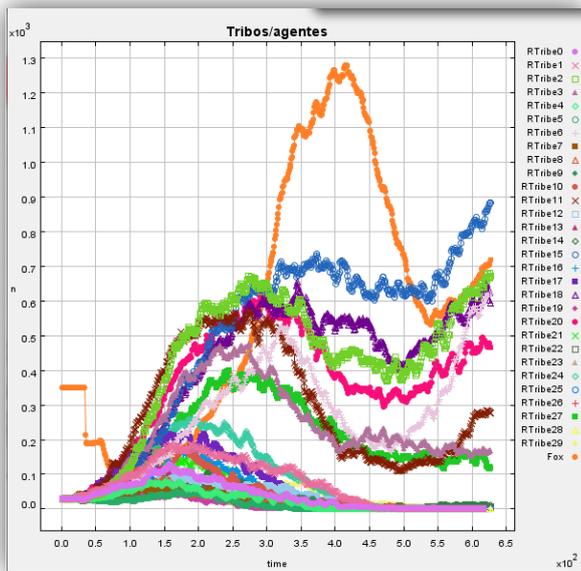


Ilustração 9 - Gráfico Tribos/agentes

Representa o número de animats em cada tribo a um dado momento em que a cor aqui atribuída a cada animat é também a cor atribuída no gráfico do espaço.

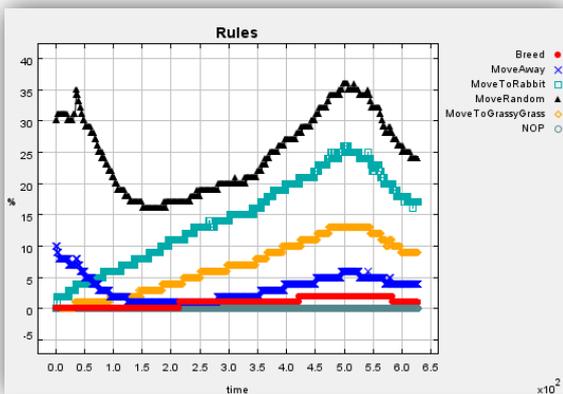


Ilustração 10 - Gráfico das regras utilizadas pelos coelhos

Representa a percentagem de regras utilizadas até um dado momento pelos coelhos.

Representa o número de coelhos, raposas e todos os agentes ao longo do tempo.

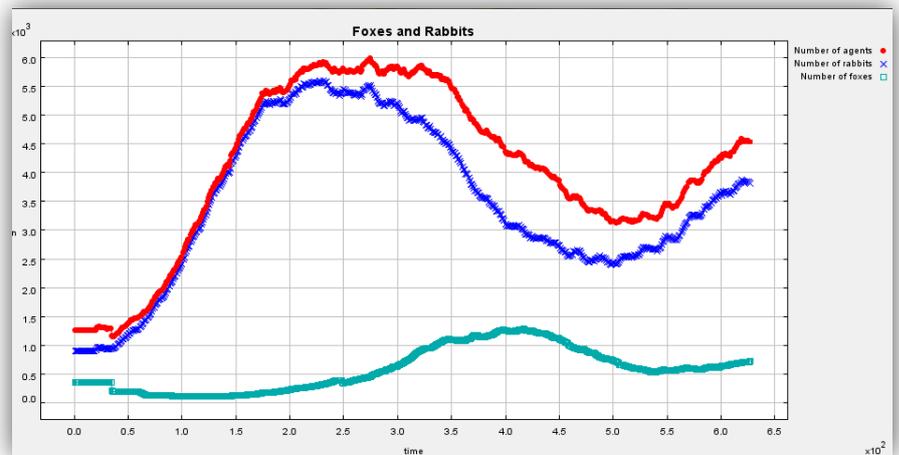


Ilustração 11 -Gráfico do numero de coelhos, raposas e agentes

## Experiência #1

Para esta experiência tem como objectivo recriar um ecossistema presa/predador estável e para tal definimos as variáveis de maneira a que nenhum dos elementos tenha um comportamento muito nefasto para o ecossistema.

### Coelhos:

- Tempo de gestação e número de crias moderado para não ficar o ecossistema com excesso de população.
- Idade de maturação da relva moderado para não estarem os coelhos todos juntos e com excesso de população.
- Número de coelhos inicial também moderado para não ficar uma população exagerada ao início nem ficar uma população muito reduzida para não consumida logo pelas raposas.

### Raposas:

- Número de raposas aproximado de  $1/3$  do número de coelhos que pelos testes que fizemos é uma boa proporção para um estado inicial, pois não há extinção de nenhuma destas espécies.
- Capacidade de comida moderado para esta não passar muito tempo sem comer e permitir criar grandes aglomerados de raposas sem coelhos a volta.
- Número menor de crias e de tempo de gestação que as dos coelhos para assim não criar uma população excessiva e comerem os coelhos todos.

Valores utilizados nas variáveis do modelo

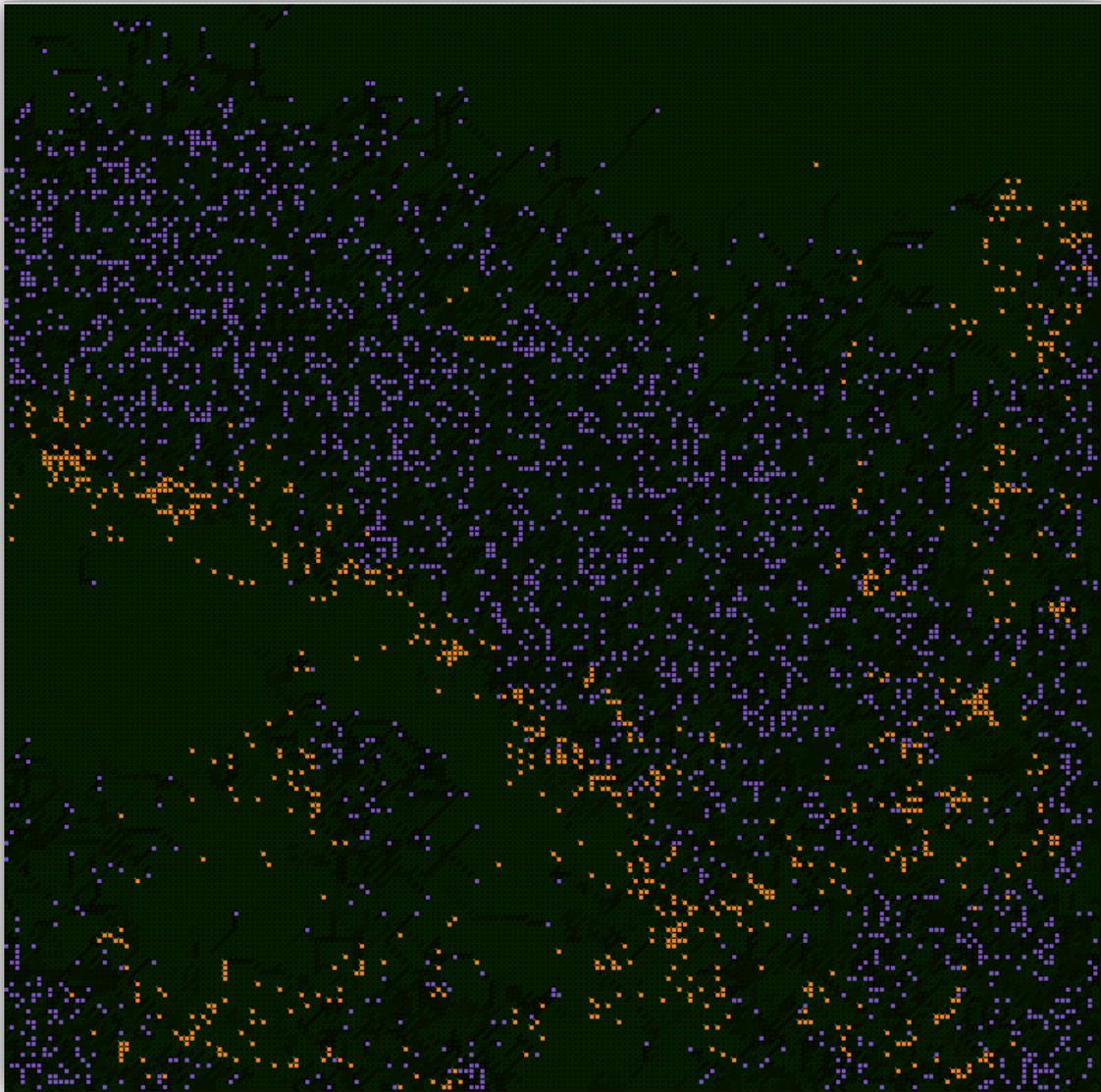
| Variável   | Valor Utilizado |
|--|-----------------|
| Numero de raposas  | 350             |
| Numero de coelhos  | 900             |
| Numero de tribos   | 30              |
| Tamanho do espaço(X*X)                                       | 200             |
| Esperança de vida de cada animat                             | 250             |
| Percentagem de morte instantânea                             | 0               |
| Visão do coelho  | 2               |
| Visão da raposa  | 25              |
| Idade de maturação da relva                                  | 40              |
| Tempo de gestação do coelho                                  | 20              |
| Tempo de gestação da raposa                                  | 20              |
| Valor máximo para estado de comida da raposa                 | 35              |
| Valor máximo para estado de comida do coelho                 | 10              |
| Número máximo de crias de uma raposa                         | 2               |
| Número máximo de crias de um coelho                          | 4               |
| Valor da distância máxima de cada movimento aleatório gerado | 15              |

## Resultados desta experiencia

Como há uma elevada componente de aleatoriedade associada a esta implementação, vai-se mostrar 2 resultados possíveis para esta configuração inicial.

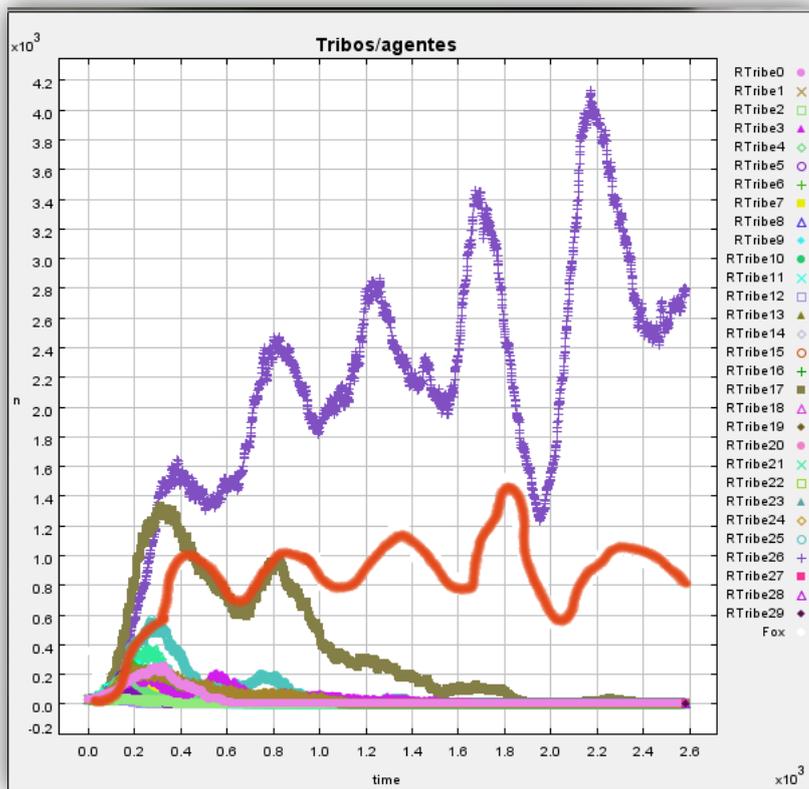
Primeiro resultado: Tick Count: 2581.0

Representação Gráfica do ecossistema



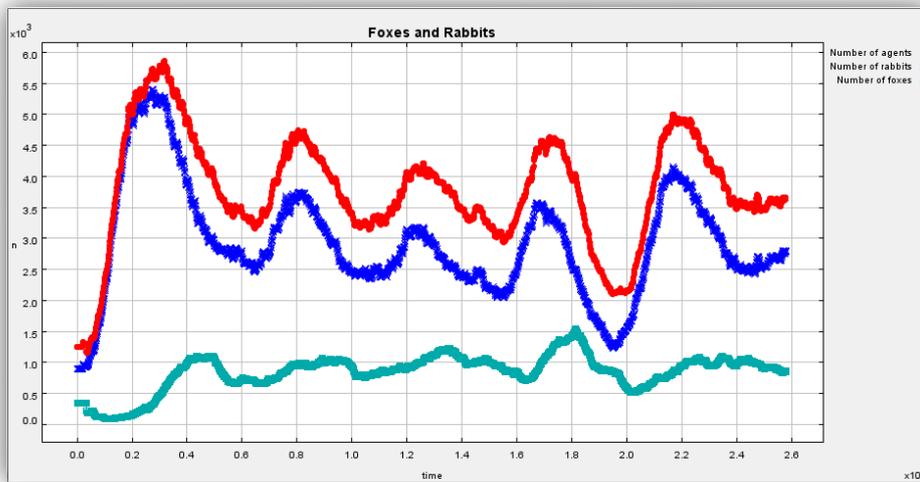
Como se pode ver apenas sobreviveu uma tribo de coelhos, e os coelhos estão distribuídos uniformemente pelo cenário com a exceção das regiões onde estão predominantemente raposas as quais já consumiram os coelhos naquela zona. Depois como evoluir dos ticks estas zonas vão mudando assim que as raposas mudam de sítio.

Gráfico Tribos/agentes



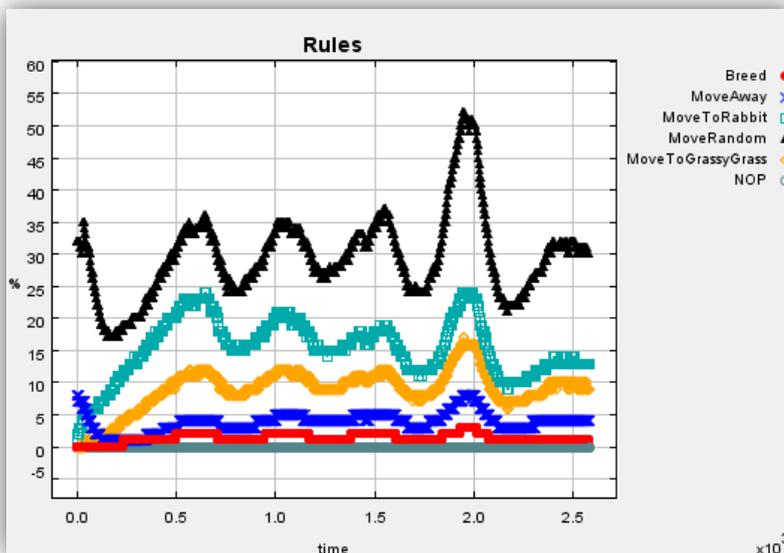
Como se pode ver ao início começou-se com muitas tribos e depois foram-se gradualmente extinguido ficando apenas raposas e a tribo 8, reagindo de acordo a função Lotka-Volterra que descreve um sistema presa predador.

Gráfico do número de coelhos, raposas e agentes



Aqui pode-se ver melhor a evolução ao longo do tempo sistema de coelhos a presa e raposas o predador. Quando o número de predadores aumenta diminui o número de presas o que se vai repetir ciclicamente.

Gráfico das regras utilizadas pelos coelhos



Como se pode ver a regra mais utilizada é a de mover aleatoriamente pois é a que tem mais possibilidade de sucesso seguida de mover para outro coelho para reproduzir seguida depois de mover para um espaço com mais relvam sendo que a de reproduzir é das menos usadas. Havendo uma oscilação destas regras diminuindo a sua utilização quando há uma sobre população do espaço.

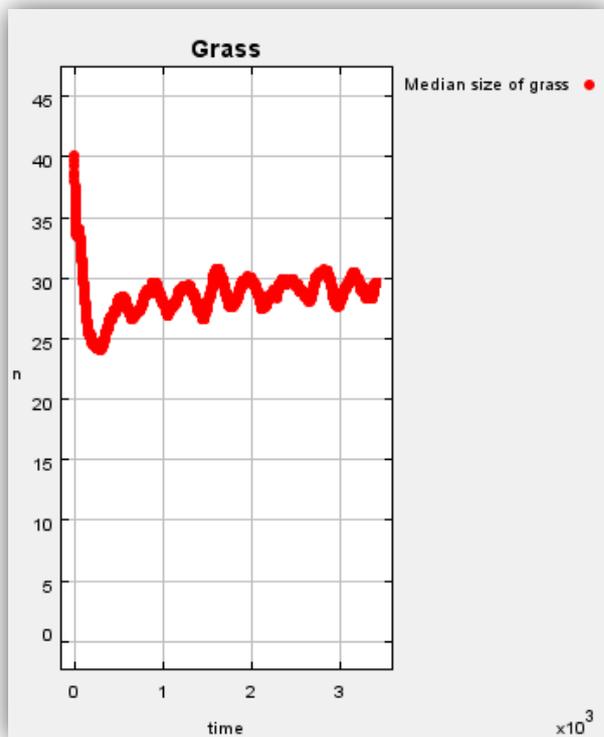


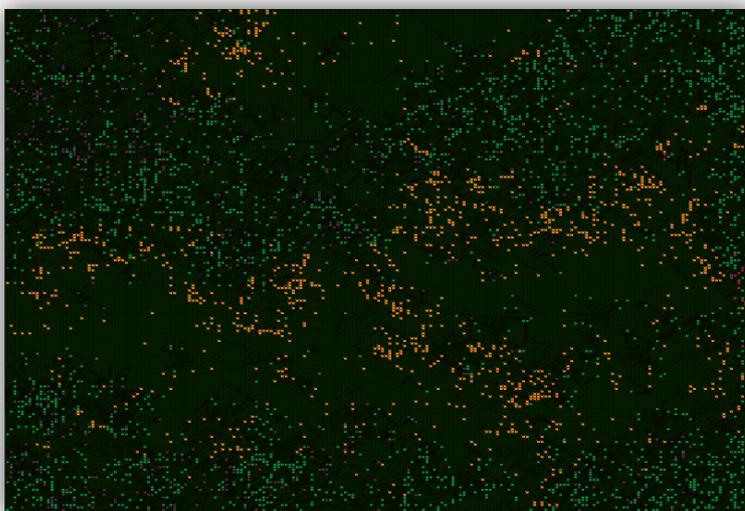
Gráfico do tamanho médio da relva com o tempo

Quando o número de coelhos aumenta o tamanho médio da relva diminui.

Segundo resultado:

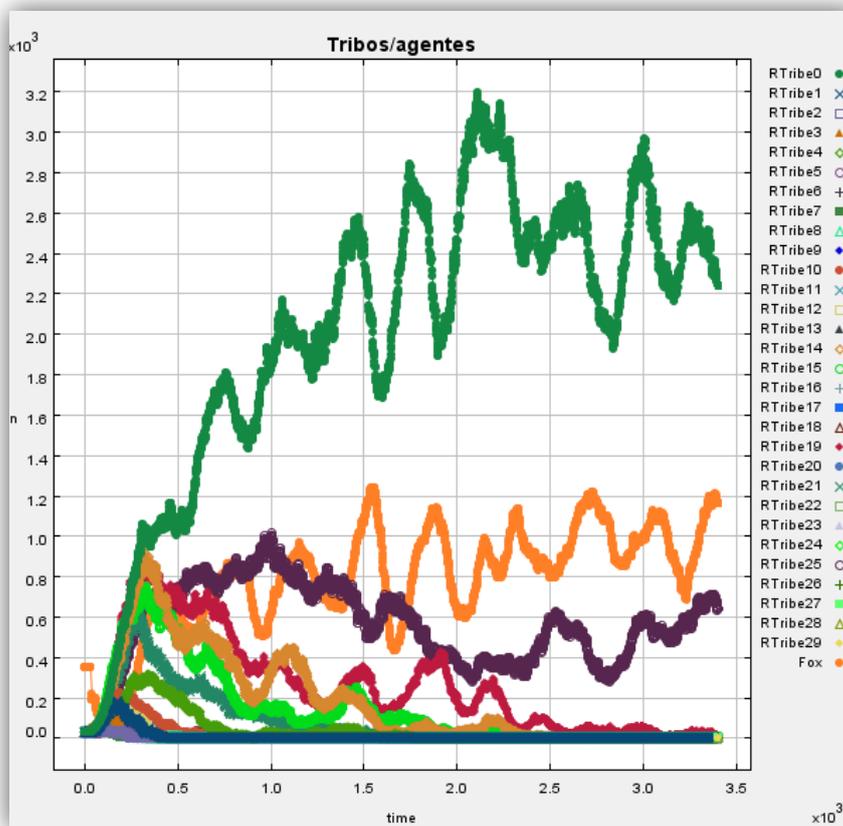
Tick Count: 3402.0

Representação Gráfica do ecossistema



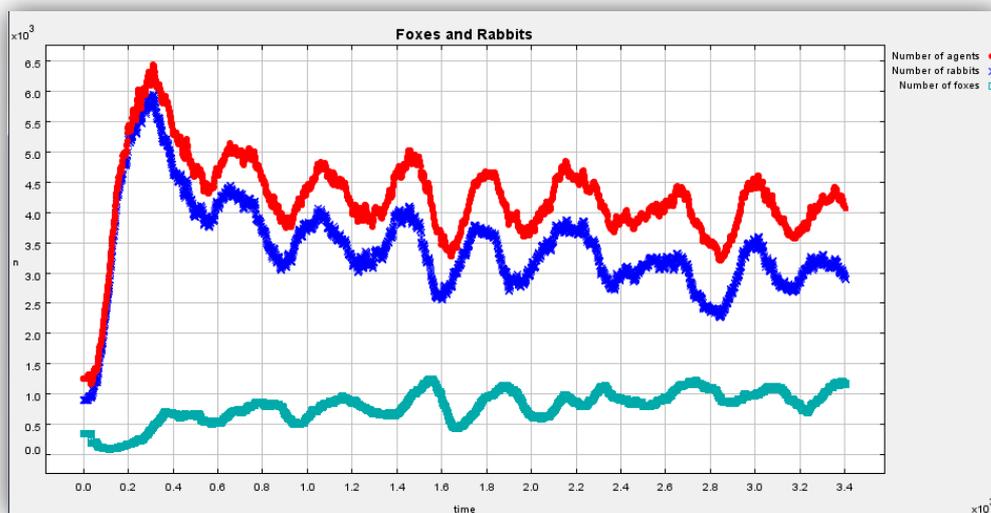
Como se pode ver apenas sobreviveram duas tribos de coelhos contrastando com a uma tribo na outra execução, estando estas duas distribuídas uniformemente pelo cenário com a excepção das regiões onde estão predominantemente raposas as quais já consumiram os coelhos naquela zona. Depois como evoluir dos ticks estas zonas vão mudando assim que as raposas mudam de sítio.

Gráfico Tribos/agentes



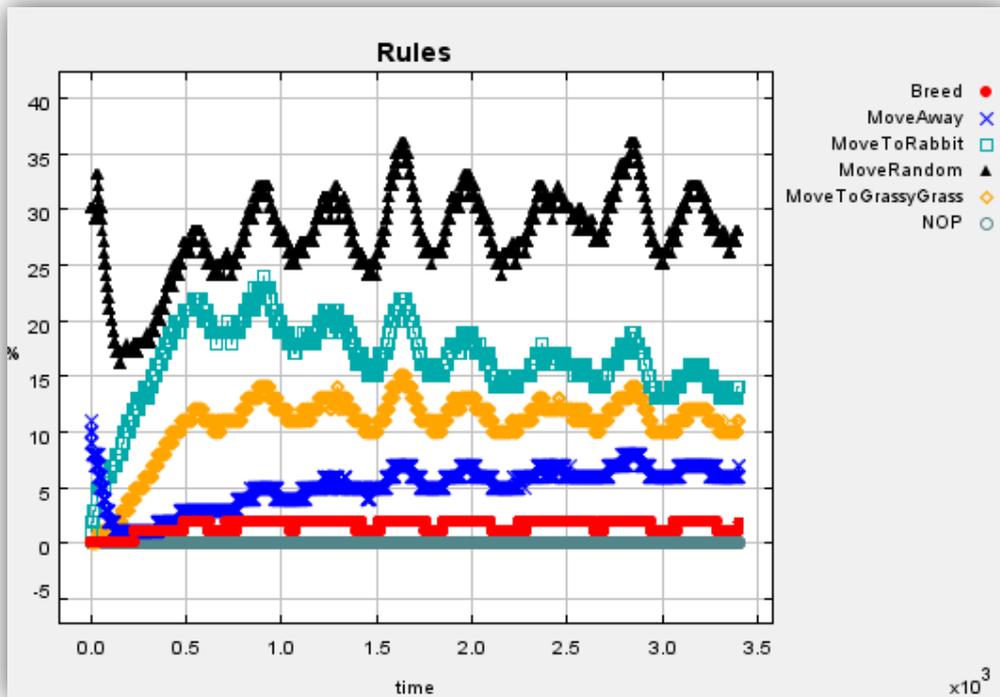
Resultado similar com o do primeiro resultado mas com 2 tribos de coelhos em vez de uma.

Gráfico do número de coelhos, raposas e agentes



Resultado também similar ao primeiro resultado.

Gráfico das regras utilizadas pelos coelhos



Resultado também similar ao primeiro resultado apenas com mais oscilações visto haver outra tribo.

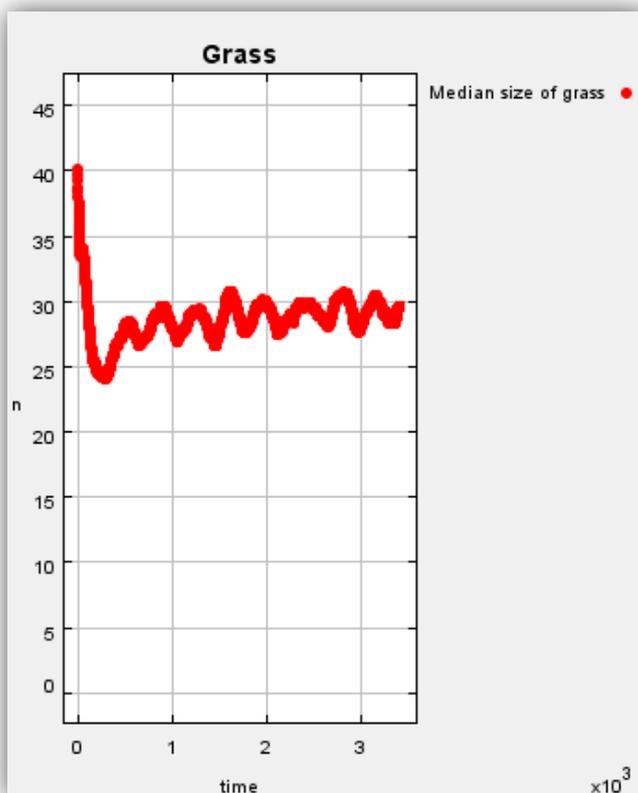


Gráfico do tamanho médio da relva com o tempo

Resultado similar ao anterior, a relva vai decrescer quando o número de coelhos aumenta o nível médio da relva diminui.

---

## Experiência #2

Para esta experiência tem como objectivo ver como ao mudar pequenos parâmetros ao predador se destabiliza o ecossistema, levando a que as raposas tenham predominância sobre os coelhos levando a extinção das duas espécies, pois quando deixa de haver coelhos as raposas também morrem pois ficam sem alimento.

### Coelhos:

- Mantêm-se os parâmetros do ecossistema anterior, o qual era estável.

### Raposas:

- Número máximo de crias aumentado de 2 para 4.
- Número máximo do estado de comida aumentado de 35 para 80.

E mantiveram-se as outras variáveis.

## Valores utilizados nas variáveis do modelo

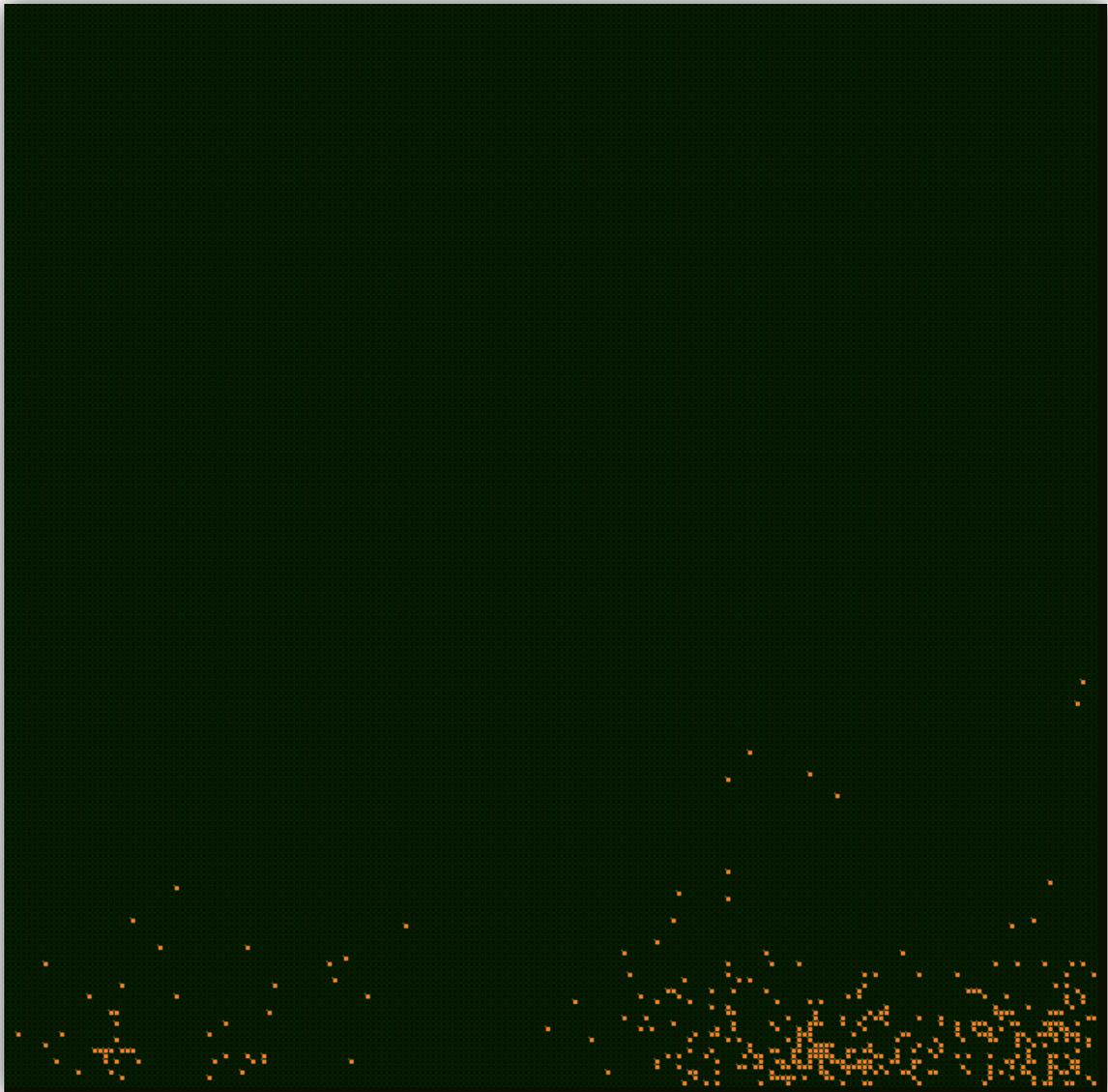
| Variável   | Valor Utilizado |
|--|-----------------|
| Numero de raposas  | 350             |
| Numero de coelhos  | 900             |
| Numero de tribos   | 30              |
| Tamanho do espaço(X*X)                                       | 200             |
| Esperança de vida de cada animat                             | 250             |
| Percentagem de morte instantânea                             | 0               |
| Visão do coelho  | 2               |
| Visão da raposa  | 25              |
| Idade de maturação da relva                                  | 40              |
| Tempo de gestação do coelho                                  | 20              |
| Tempo de gestação da raposa                                  | 20              |
| Valor máximo para estado de comida da raposa                 | 80              |
| Valor máximo para estado de comida do coelho                 | 10              |
| Número máximo de crias de uma raposa                         | 2 4             |
| Número máximo de crias de um coelho                          | 4               |
| Valor da distância máxima de cada movimento aleatório gerado | 15              |

**Resultado desta experiência**

Aqui também há uma grande componente de aleatoriedade mas não muitas discrepâncias no resultado final por isso só vamos apresentar um resultado a não ser o número de ticks para extinção de ambas as espécies.

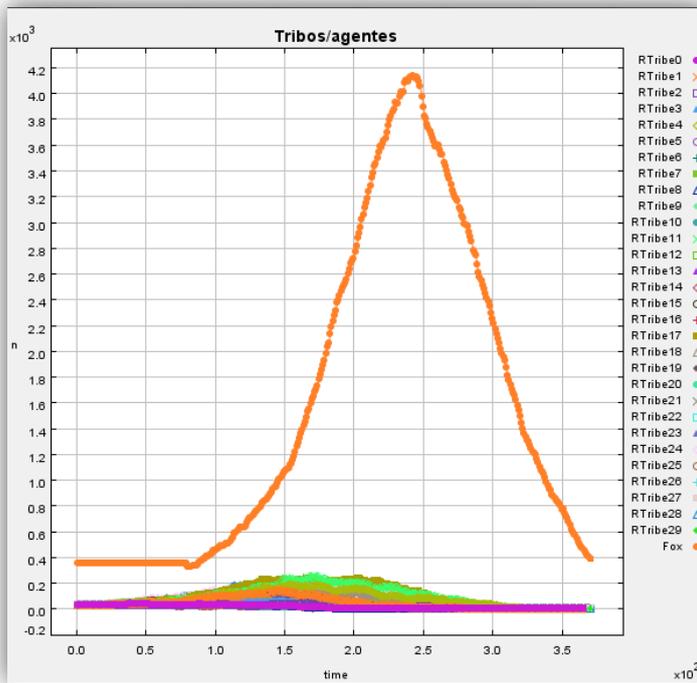
Tick Count: 371.0

Representação Gráfica do ecossistema



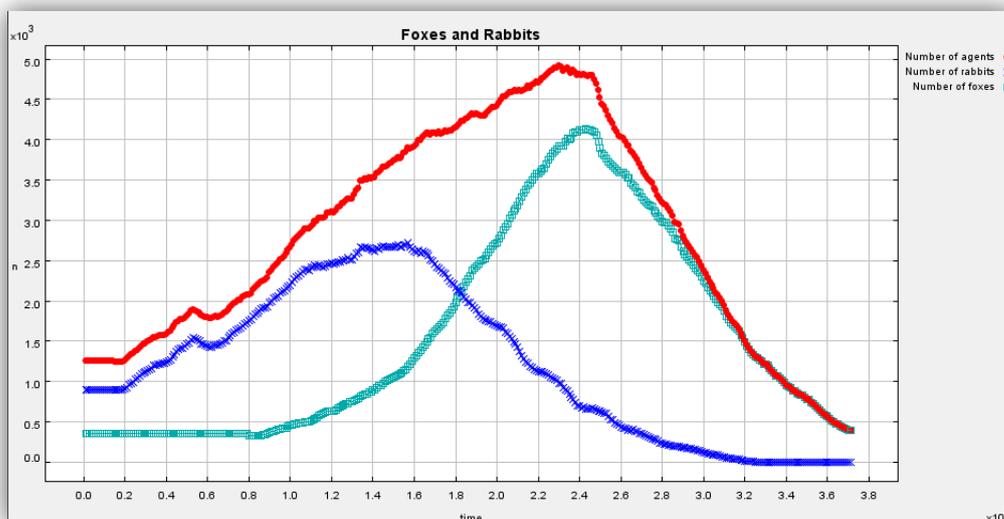
Como se pode ver apenas sobreviveram as raposas, estando agora estas a extinguir-se pois não há coelhos para as alimentar.

Gráfico Tribos/agentes



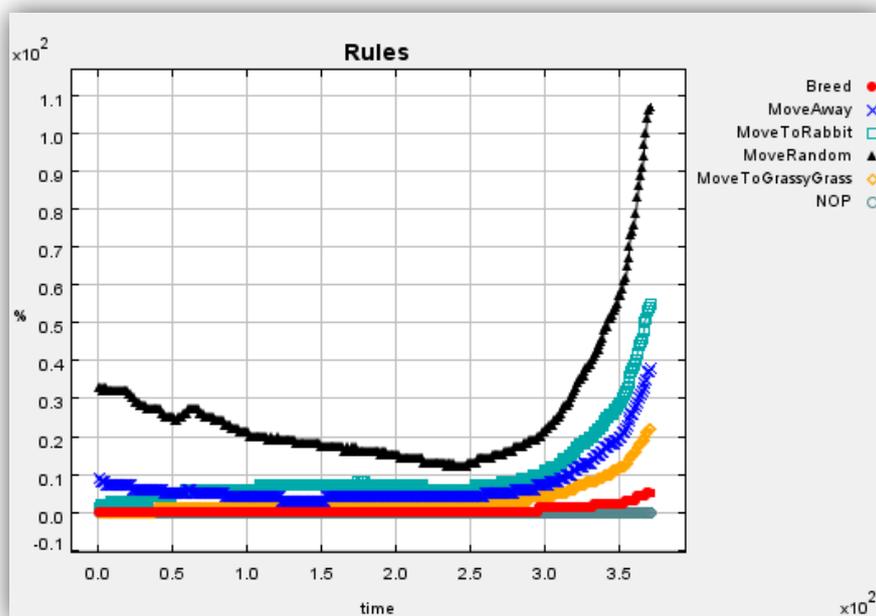
Como se pode ver ao início as tribos dos coelhos ainda começaram a aumentar a sua população mas quando as raposas atingiram um numero muito elevado estes começaram a extinguir-se. As raposas apenas param de crescer quando o número de coelhos ficou mesmo muito baixo, não sendo suficiente para sustentar a população existente, levando a sua extinção.

Gráfico do número de coelhos, raposas e agentes



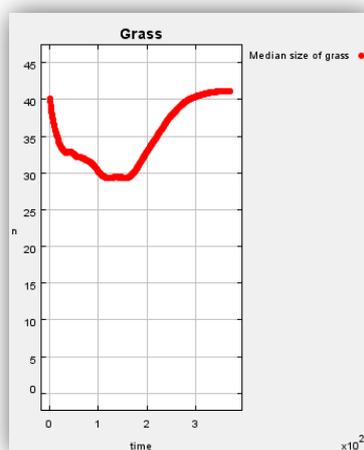
Aqui pode-se ver melhor a evolução ao longo do tempo sistema de coelhos a presa e raposas o predador. Quando o número de predadores aumenta muito o número de presas diminui fazendo também o número de predadores diminuir até levar a extinção.

**Gráfico das regras utilizadas pelos coelhos**



Como se pode ver a regra mais utilizada é a de mover aleatoriamente pois é a que tem mais possibilidade de sucesso. O número de regras utilizadas vão subindo pois a população vai diminuindo e os agentes vão ter mais liberdade.

**Gráfico do tamanho médio da relva com o tempo**



Quando o número de coelhos aumenta o tamanho médio da relva diminui e quando começam a entrar em extinção o tamanho médio da relva volta a aumentar.

### Experiência #3

Para esta experiência tem como objectivo ver como ao mudar pequenos parâmetros ao predador se destabiliza o ecossistema, levando a que as raposas sejam extintas logo ao início e os coelhos cresçam de forma descontrolada.

#### Coelhos:

- Mantêm-se os parâmetros do ecossistema estável apresentado anteriormente.

#### Raposas:

- Visão da raposa alterada da raposa de 25 para 10 casas.
- Tempo da gestação da raposa alterada de 20 para 60.
- Número máximo do estado de comida alterado de 80 para 20

E mantiveram-se as outras variáveis.

## Valores utilizados nas variáveis do modelo

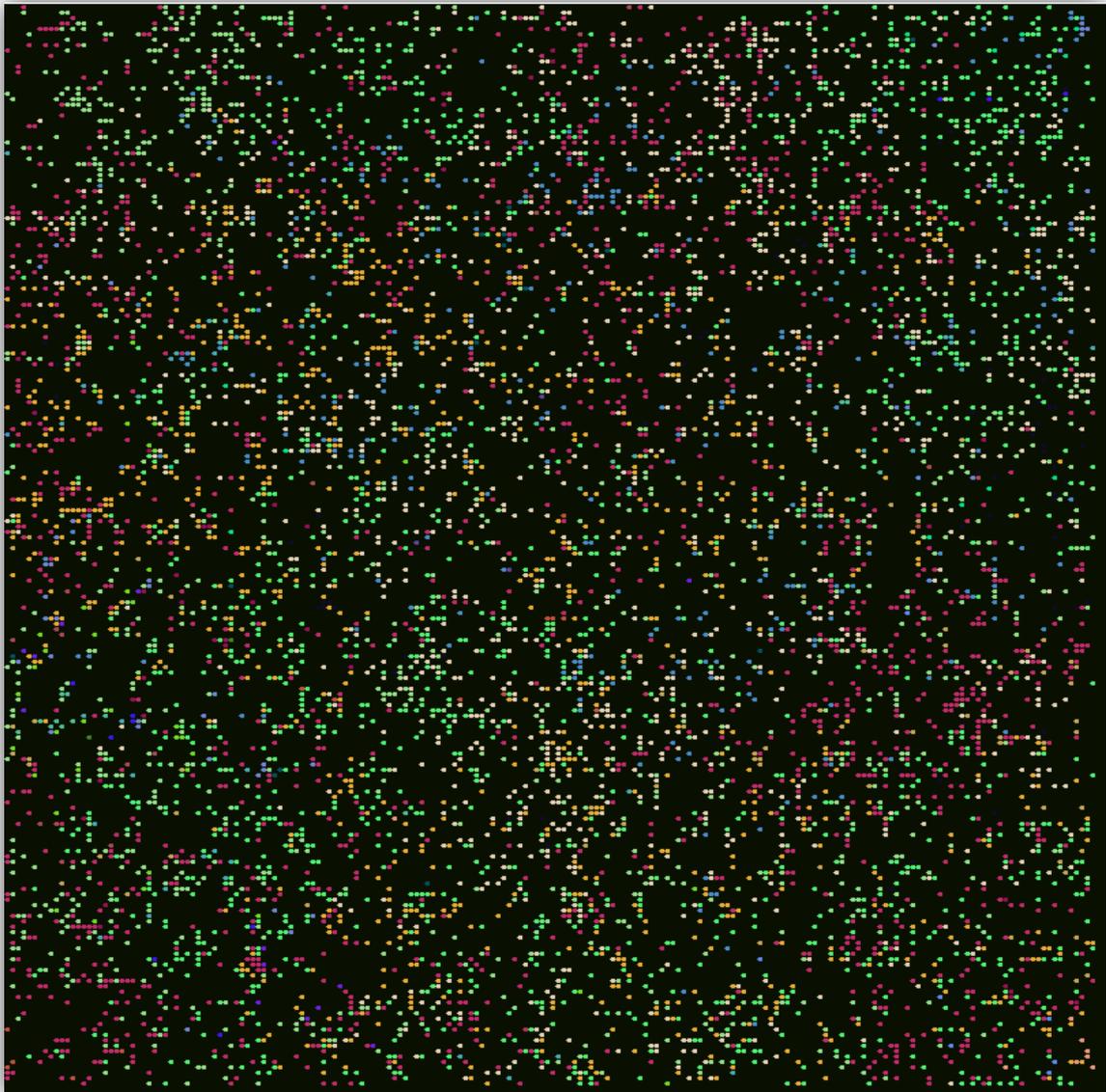
| Variável   | Valor Utilizado |
|--|-----------------|
| Numero de raposas  | 350             |
| Numero de coelhos  | 900             |
| Numero de tribos   | 30              |
| Tamanho do espaço(X*X)                                       | 200             |
| Esperança de vida de cada animat                             | 250             |
| Percentagem de morte instantânea                             | 0               |
| Visão do coelho  | 2               |
| Visão da raposa  | 10              |
| Idade de maturação da relva                                  | 40              |
| Tempo de gestação do coelho                                  | 20              |
| Tempo de gestação da raposa                                  | 60              |
| Valor máximo para estado de comida da raposa                 | 20              |
| Valor máximo para estado de comida do coelho                 | 10              |
| Número máximo de crias de uma raposa                         | 2               |
| Número máximo de crias de um coelho                          | 4               |
| Valor da distância máxima de cada movimento aleatório gerado | 15              |

**Resultado desta experiencia**

Aqui também há uma grande componente de aleatoriedade mas não muitas discrepâncias no resultado final por isso só vamos apresentar um resultado a não ser o número de ticks para extinção das raposas.

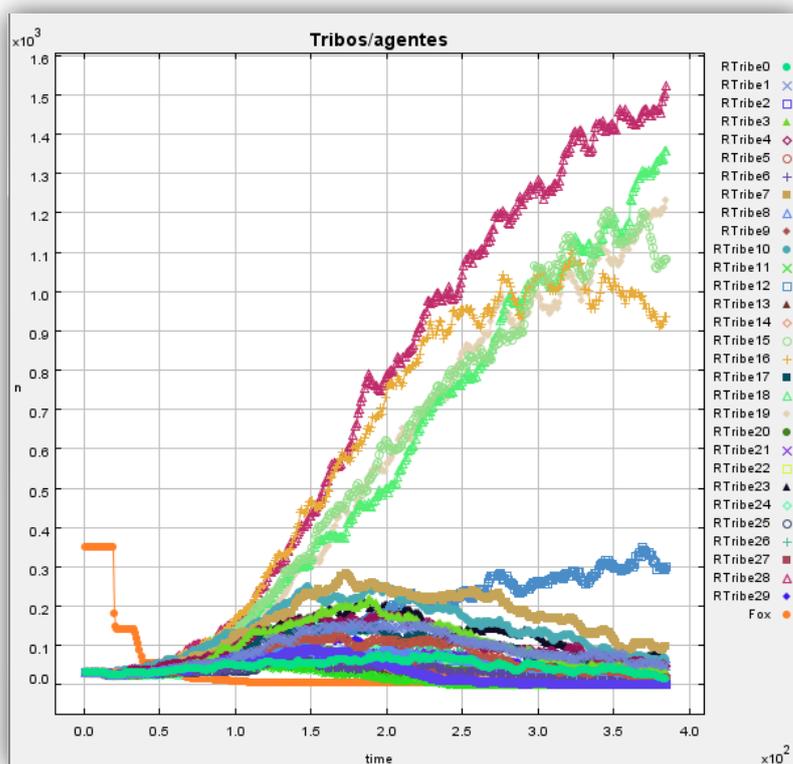
Tick Count: 385.0

## Representação Gráfica do ecossistema



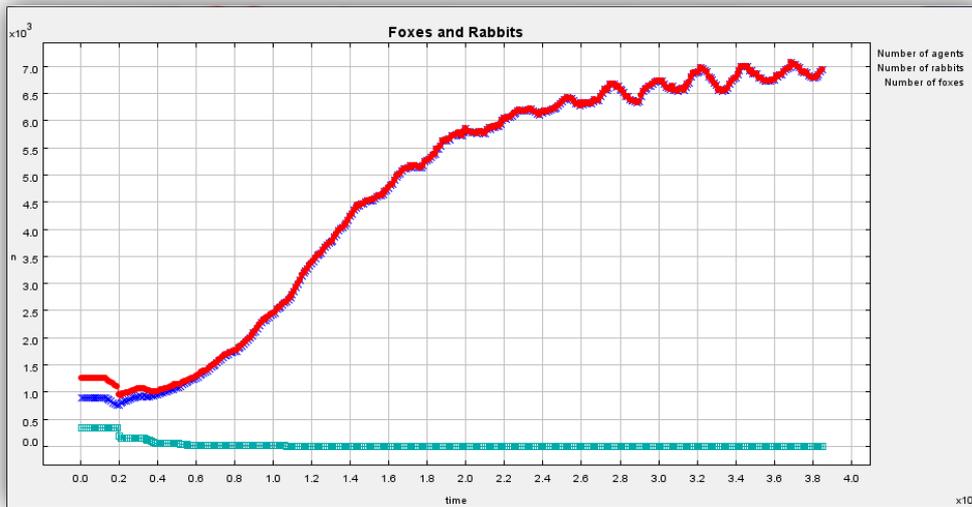
Como se pode ver apenas sobreviveram os coelhos, estando agora as raposas extintas pois com aqueles parâmetros não se conseguem alimentar e fazer o círculo de reprodução.

Gráfico Tribos/agentes



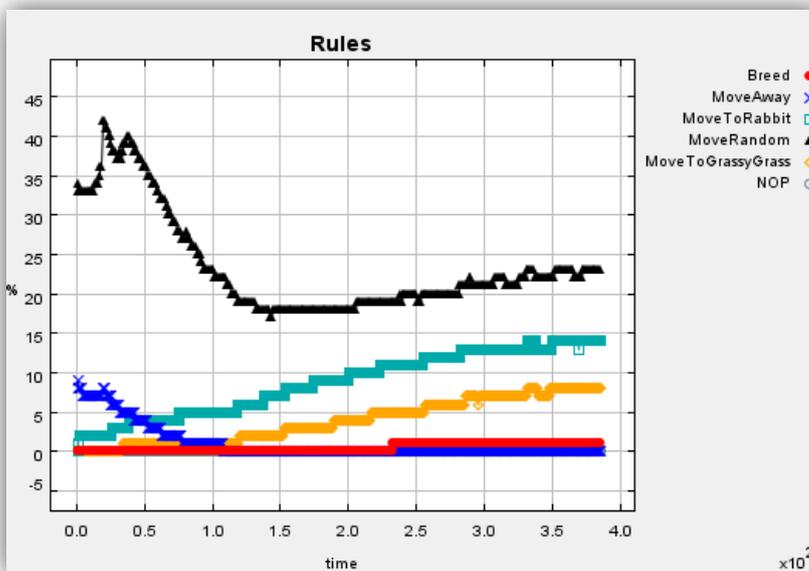
Come se pode ver ao inicio a população de coelhos está elevada mas vai logo decrescendo pois estes não se adaptam ao ecossistema, ficando os coelhos a ocupar o ecossistema todo.

Gráfico do número de coelhos, raposas e agentes



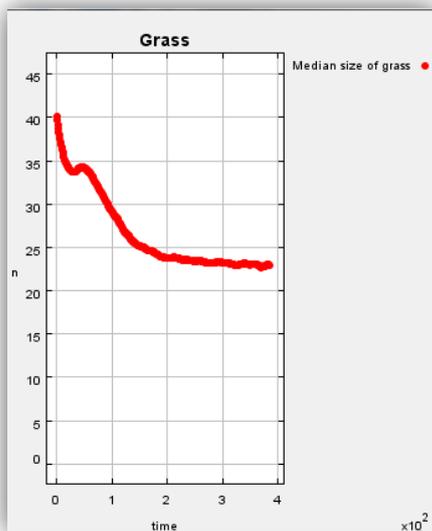
Aqui pode-se ver melhor a evolução ao longo do tempo sistema de coelhos a presa e raposas o predador. O numero de raposas ao inicio vai logo decrescer pois estas não se adaptam, enquanto os coelhos vão crescendo até ficarem a ocupar o território todo sendo as oscilação provocadas por os coelhos estarem a sobre popular o espaço.

Gráfico das regras utilizadas pelos coelhos



Como se pode ver a regra mais utilizada é a de mover aleatoriamente pois é a que tem mais possibilidade de sucesso, e a regra de fugir só e usada ao inicio pois depois deixa de haver raposas. Ficando a utilização das regras estabilizada pelo mesmo motivo.

Gráfico do tamanho médio da relva com o tempo



Quando o número de coelhos aumenta o tamanho médio da relva diminui até atingir a estabilidade do número de coelhos no território.

## 6 Conclusões

### 6.1 Conclusões da análise dos resultados das experiências levadas a cabo

Analisando os testes efectuados, nomeadamente o primeiro teste, pode-se concluir que após muitas iterações há uma predominância de um certo número de tribos. A situação inicial é semelhante à testada no artigo, e comparando os resultados são muito semelhantes.

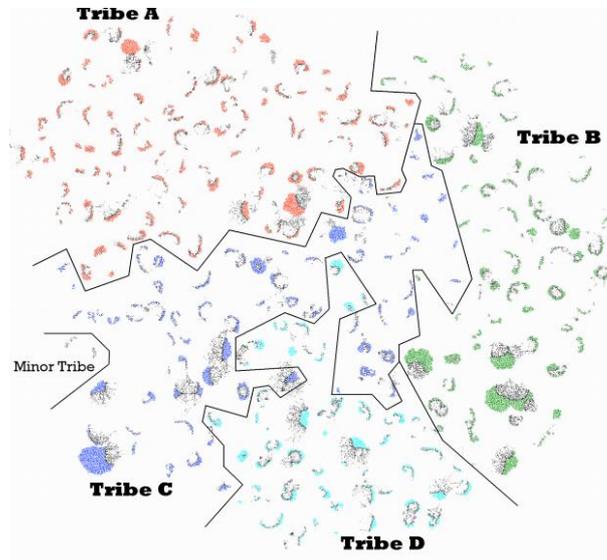


Ilustração 12 - Resultado das diferentes tribos no artigo

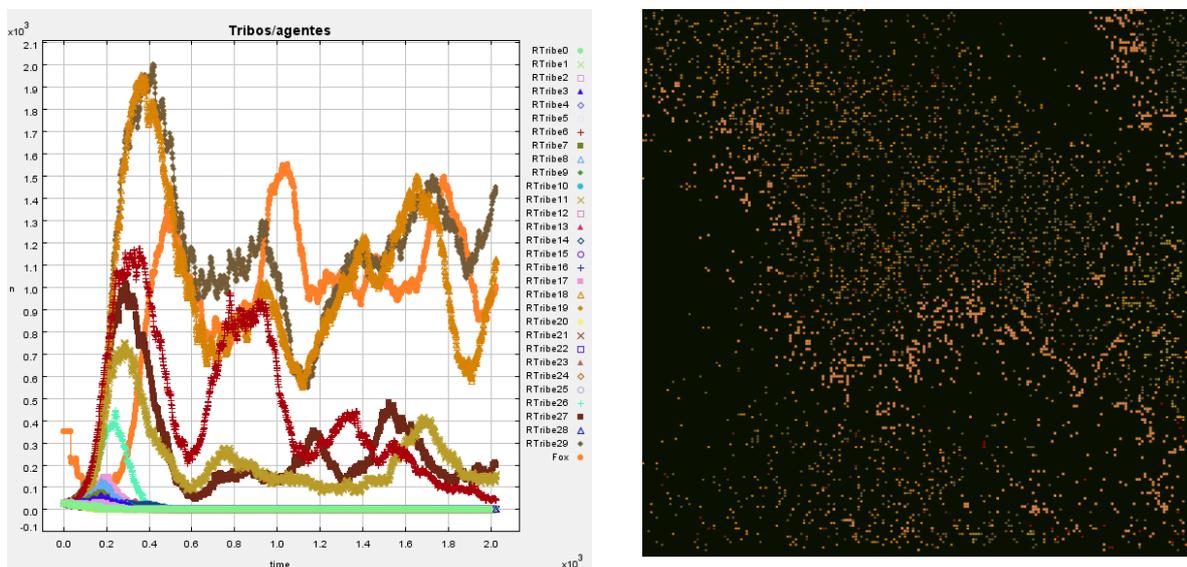


Ilustração 13 - Resultado das diferentes tribos obtidas no modelo

Também é perceptível que cada tribo domina um certo sector do ambiente. Estes resultados devem-se ao facto de que certas tribos têm um conjunto de prioridades melhores que outras. Com a reprodução, estas características são passadas ao longo das gerações, havendo uma selecção natural das espécies que melhor se adaptam.

Relativamente às prioridades destas tribos com mais sucesso, também se obteve resultados semelhantes ao artigo.

| Rule         | A<br>(Red) | B<br>(Green) | C<br>(Blue) | D<br>(Cyan) |
|--------------|------------|--------------|-------------|-------------|
| Breed        | 5          | 5            | 5           | 5           |
| Seek Mate    | 0          | 0            | 1           | 1           |
| Seek Grazing | 6          | 6            | 6           | 5           |
| Random Move  | 38         | 36           | 36          | 35          |
| Flee Fox     | 2          | 6            | 5           | 6           |
| NOP          | 49         | 47           | 47          | 48          |

Ilustração 14 - Utilização relativa das regras em percentagem no artigo

| Name     | Breed         | MoveAway      | MoveToRabbit  | MoveRandom    | MoveToGrassyGrass | NOP           |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|
| RTribe6  | 0.68161122... | 2.20045362... | 6.80211441... | 11.4865886... | 3.33448661...     | 75.4947455... |
| RTribe11 | 0.76936249... | 1.82622654... | 8.36246635... | 12.9807993... | 3.33446106...     | 72.7266841... |
| RTribe18 | 0.85045154... | 2.12283847... | 0.00369373... | 31.1720785... | 4.43320849...     | 63.5405464... |
| RTribe27 | 0.78575008... | 1.58004632... | 8.44784722... | 12.8468567... | 3.25553391...     | 73.0839657... |
| RTribe29 | 0.84588512... | 5.66466219... | 0.00347432... | 30.1035443... | 4.25665375...     | 64.7903857... |
| Fox      | 3.62454716... | 33.5113578... | 1.66503412... | 41.2092448... | 19.9898160...     | 0.0           |

Ilustração 15 - Utilização relativa das regras em percentagem no nosso modelo

Verifica-se que em ambas as experiências existe predominância no movimento aleatório e na regra “NOP”. Isto acontece porque ao contrário das restantes regras, não existe nenhuma condição especial para estas regras serem utilizadas.

Relativamente à regra MoveAway e Flee Fox, que se referem à situação em que o coelho foge de uma raposa, não é muito utilizada em ambos os modelos. Isto acontece porque a maioria dos coelhos não se encontra

adjacente a raposas, não sendo necessária a execução desta regra muitas vezes.

Nota-se alguma discrepância na percentagem de uso da regra de acasalar. Isto deve-se ao facto de no nosso modelo terem sido introduzidas muitas restrições e novas variáveis externas ao modelo. Tome-se como exemplo o tempo de gestação, o número de filhos gerados, entre outros. Estas variáveis foram introduzidas para tornar o sistema mais realista, afastando-se um pouco do modelo do artigo neste aspecto.

A regra de procurar alimento é uma regra vital, visto que sem o mesmo torna-se impossível para os coelhos sobreviverem. Como tal, é uma regra muito utilizada pelos coelhos com sucesso.

Assim, os resultados obtidos no nosso modelo são os esperados, e estão em concordância com os resultados do artigo. As diferenças obtidas, como já foi referido, remetem para as variáveis que foram adicionadas, que de certa forma alteram a dinâmica do modelo. No entanto, para aumentar a complexidade e o grau de realismo do modelo, faz sentido estas alterações. Apesar das alterações e diferenças, obtêm-se resultados similares, que permitem inferir as mesmas conclusões que o artigo.

## 6.2 Conclusões do desenvolvimento do trabalho e aplicabilidade de SMA ao cenário proposto

Analisando os resultados obtidos nos testes, pode-se concluir que o sistema corresponde aos requisitos propostos inicialmente. Usando uma arquitectura do tipo multi-agente, consegue-se simular um ecossistema e analisar a evolução da população ao longo do tempo.

Através de testes intensivos conseguiu-se também deduzir os valores iniciais, ou as proporções correctas, para obter um modelo estável. Assim, a população sofre oscilações ao longo do tempo, mas nunca irá extinguir. Esta situação está de acordo com a equação Lotka-Volterra<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= x(\alpha - \beta y) \\ \frac{dy}{dt} &= -y(\gamma - \delta x)\end{aligned}$$

Ilustração 16 - Equação Lotka-Volterra

- $y$  é o número de predadores ;
- $x$  é o número de presas;
- $\frac{dy}{dt}$  e  $\frac{dx}{dt}$  representa o crescimento das duas populações ao longo do tempo;
- $t$  representa o tempo ;
- $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$  são parâmetros representando a interacção entre as duas espécies.

As equações acima têm soluções periódicas, obtendo-se um movimento harmónico simples, em que a população de predadores têm um atraso relativamente à dos predadores de 90 graus.

Neste modelo, a população de predadores aumenta exponencialmente quando existem muitas presas, mas atinge uma altura em que ficam

<sup>2</sup> Lotka-Volterra - [http://en.wikipedia.org/wiki/Lotka%E2%80%93Volterra\\_equation](http://en.wikipedia.org/wiki/Lotka%E2%80%93Volterra_equation)

com pouco alimento e a população começa a diminuir. Quando a população de predadores diminui, o número de presas começa a aumentar novamente. Este comportamento repete-se em ciclo de forma infinita no tempo.

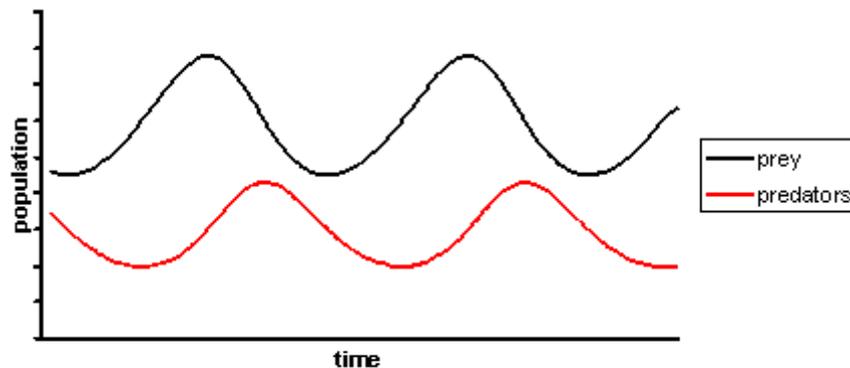


Ilustração 17 - Dinâmica Lotka-Volterra

Analisando os gráficos obtidos nos nossos testes sobre a evolução da população, obtém-se um comportamento idêntico.

Desta forma, conclui-se que o software desenvolvido pode ser utilizado para simular um ecossistema de forma seguindo os modelos teóricos existentes.

Além disso, os resultados obtidos estão em concordância com o artigo já mencionado [TUN]. Assim, obteve-se um modelo estável, observando-se a predominância de determinadas tribos de presas. Essas tribos também são idênticas, sendo que dão maior importância às regras de procurar alimento e de procurar outro animal para procriar.

## 7 Melhoramentos

Tendo em conta que foram atingidos todos os objectivos propostos inicialmente, os melhoramentos que podiam ser implementados remetem para a interface gráfica. Assim, propõe-se uma interface gráfica 3D para o ambiente representativo do ecossistema. A partir desta interface seria muito mais perceptível a interacção entre os animais.

Para tornar o simulador mais próximo da realidade, seria interessante adicionar outras variáveis e restrições ao sistema. A introdução de doenças contagiosas nos animais, por exemplo, foi uma das ideias que surgiram ao longo do desenvolvimento do modelo. Como o objectivo principal deste projecto é a simulação de um ecossistema, e comparar os resultados com um outro estudo, não seria muito linear efectuar a comparação na existência de outras variáveis externas adicionais. Desta forma, houve o cuidado de tornar este modelo congruente com o outro estudo já referido.

## 8 Recursos

### 8.1 Bibliografia

[TUN] C.J. Scogings, K. H. (2007). Tuning Growth Stability in an Animat Agent Model.

[MULTI] M. Wooldridge. (2009). *Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons.

[AGENT] Oliveira, E. (s.d.). *Agentes e Inteligência Artificial Distribuída*. Obtido de <http://paginas.fe.up.pt/~eol/AIAD/aiad1011.html>

[API] Oracle. (s.d.). *API java*. Obtido de <http://download.oracle.com/javase/6/docs/api/index.html>

[REPAST] *Repast, Recursive Porus Agent Simulation Toolkit*. (s.d.). Obtido de [http://repast.sourceforge.net/repast\\_3/tutorials.html](http://repast.sourceforge.net/repast_3/tutorials.html)

[NETBEANS] Sun. (s.d.). *Netbeans*. Obtido de <http://netbeans.org/>

### 8.2 Software

O projecto foi desenvolvido na linguagem Java, em ambiente Microsoft Windows 7 e o compilador utilizado é o que vem integrado no pacote de desenvolvimento javaSE-1.6. O sistema foi desenvolvido e gerido no IDE NetBeans 6.9.1 [NETBEANS].

A plataforma de desenvolvimento utilizada para implementar os agentes para simulação do ecossistema foi a plataforma Repast 3.1 (Recursive Porous Agent Simulation Toolkit) para Java [REPAST].

A interface gráfica foi implementada usando o Repast. Também foi utilizado um Google Doc onde foram elaborados os relatórios e onde

foram armazenados, temporariamente, alguns detalhes da implementação.

### 8.3 Elementos do grupo

Este trabalho foi desenvolvido por João Cevada ([ei07114@fe.up.pt](mailto:ei07114@fe.up.pt)), João Prudêncio ([ei07111@fe.up.pt](mailto:ei07111@fe.up.pt)) e Seraphin Miranda ([ei06132@fe.up.pt](mailto:ei06132@fe.up.pt)) no âmbito da unidade curricular de Agentes e Inteligência Artificial Distribuída do Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Todos os elementos constituintes do grupo, trabalharam sempre para o mesmo objectivo e portanto o trabalho foi repartido em proporções iguais pelos três elementos.

## Anexos

### Anexo A - manual do utilizador

Para executar o programa apenas terá que ter uma versão do Java recente. Deverá correr o ficheiro com a extensão .jar disponibilizada.

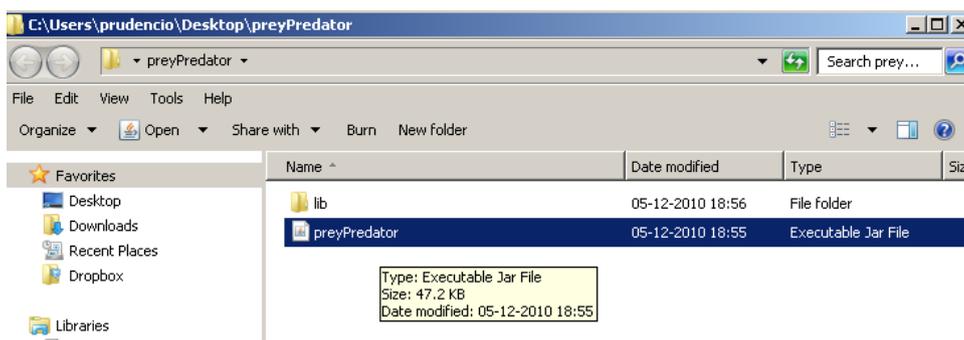


Ilustração 18 - jar do programa

Após executar este ficheiro o utilizador vai-se deparar com a interface gráfica bastante intuitiva do REPASt. O utilizador deverá escolher os parâmetros que quer utilizar para a simulação.

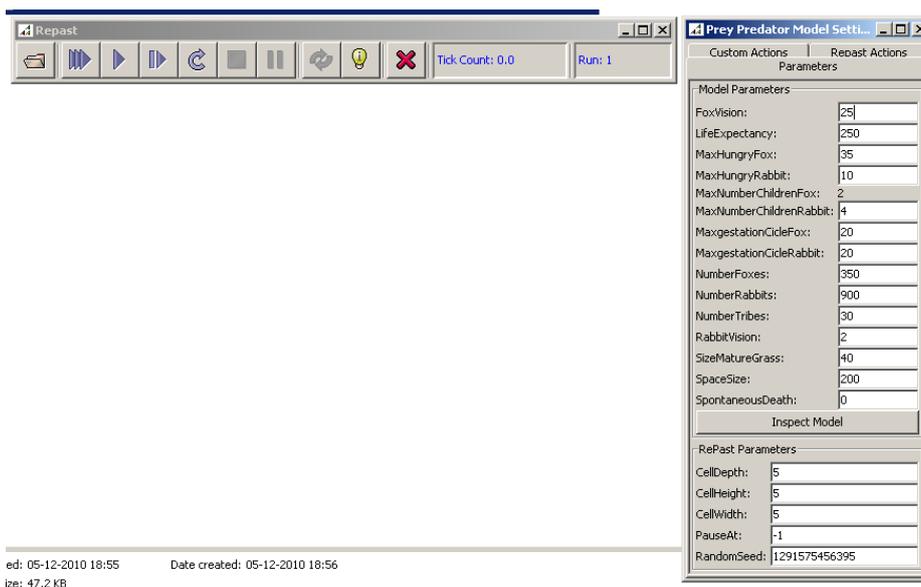


Ilustração 19 - GUI do Repast

Posteriormente deverá pressionar o botão “play” para iniciar a simulação. A partir deste momento várias janelas vão estar visíveis cada uma com uma função diferente. A janela intitulada “Prey Predator Display” representa os coelhos e as raposas dispersas num ambiente 2D. Além desta informação existem várias outras janelas que possuem informação estatística acerca do que está a ocorrer durante a simulação. O utilizador a qualquer momento poderá parar a simulação, ou até mesmo visualizar a execução do programa passo a passo.

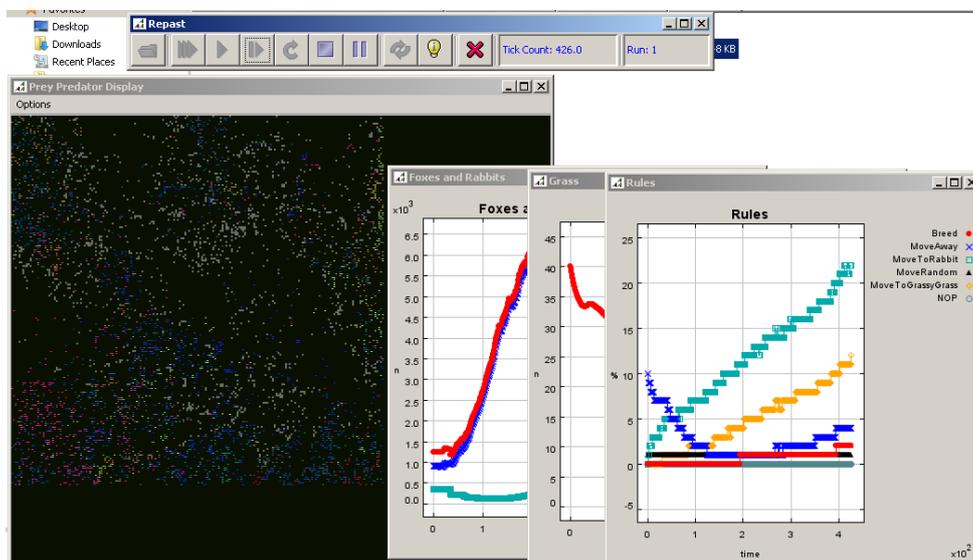


Ilustração 20 - Exemplo de execução do programa