

Simulações com Agentes: Propagação de Doenças

Fernando dos Santos¹²

¹Univ. Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

²Univ. do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Minicurso Prático

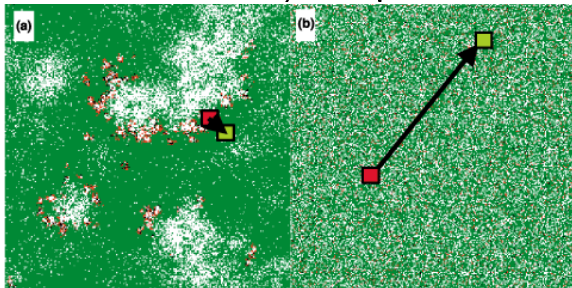
Propagação de Doenças

Existem modelos analíticos para a propagação de doenças. Ex:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \nu - \beta S \frac{1}{N} - \mu S \text{ [Kermack and McKendrick, 1932]}$$

Q. Por que então usar simulação com agentes?

R. Por permitir considerar **interações espaciais**



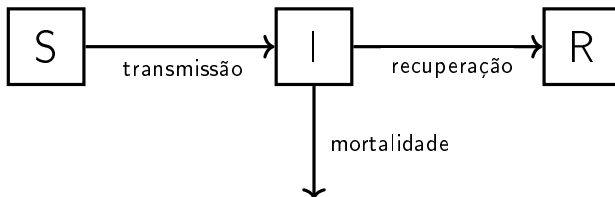
- Eisinger, D. and Thulke, H.-H. (2008), Spatial pattern formation facilitates eradication of infectious diseases. *Journal of Applied Ecology*.

Propagação de Doenças: Modelo Epidemiológico (1)

Compartimentaliza os indivíduos

- Ideia: “estados” que um indivíduo pode assumir

Modelo clássico: **SIR** (**S**uscetível, **I**nfectado, **R**ecuperado)



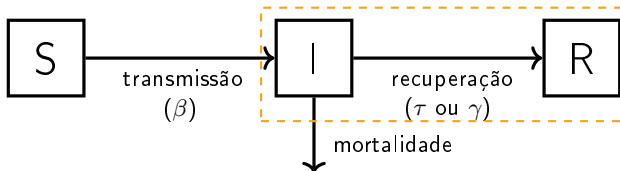
- Todo indivíduo está **Suscetível**, por padrão
- Ao ser contaminado, passa a estar **Infectado**
- Ao se recuperar, passa a **Recuperado** e fica **Imune**

Propagação de Doenças: Modelo Epidemiológico (3)

Dinâmica do Modelo SIR

Duração (ou progressão) da doença

- Especifica quando um indivíduo infectado se recupera
- **Duração fixa** τ (ex., se recupera após 10 dias)
- **Probabilidade de recuperação** γ (ex., 25% de chance de cura)



A cada passo da simulação:

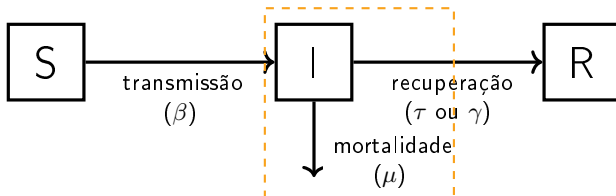
- Indivíduo **infectado** **pode** tornar-se **recuperado**
 - De acordo com τ ou γ

Propagação de Doenças: Modelo Epidemiológico (4)

Dinâmica do Modelo SIR

Mortalidade

- Especifica se/quando a doença pode causar fatalidades
- **Taxa de mortalidade μ**
- **Quando** a mortalidade pode ocorrer:
 - A todo momento em que estiver infectado
 - Após transcorrido o período de infecção



A cada passo da simulação:

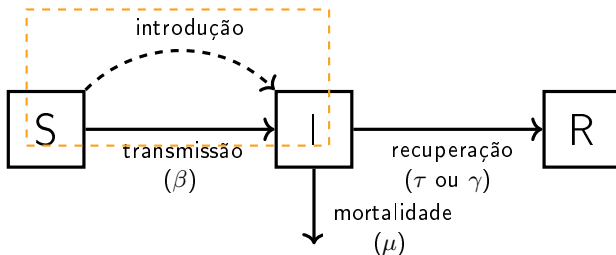
- Indivíduo **infectado** **pode** morrer
 - De acordo com μ e a especificação de **quando** é aplicado

Propagação de Doenças: Modelo Epidemiológico (5)

Dinâmica do Modelo SIR

Introdução de indivíduos infectados: para iniciar propagação

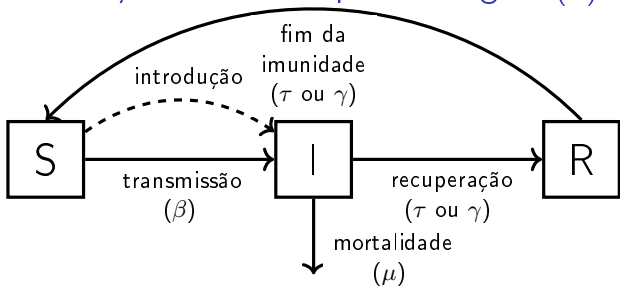
- Quantos
 - **Quantidade de indivíduos** (ex.: 10)
- Quais
 - **Arbitrários** (quaisquer) ou **Elegíveis** (condição)
- Quando
 - **Aperiódica**: uma única vez (ex.: no setup da simulação)
 - **Periódica**: frequentemente (ex.: a cada 25 timesteps)



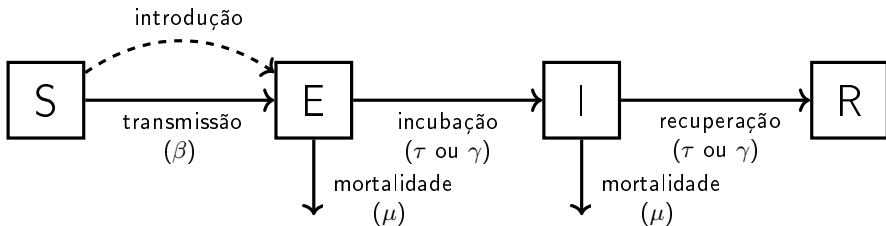
Propagação de Doenças: Modelo Epidemiológico (6)

Variações

SIRS:



SEIR:



Propagação de Doenças: Simulação com Agentes

Objetivo:

Desenvolver uma simulação com agentes para explorar o fenômeno da propagação de uma doença.

Verificar a propagação sob diferentes circunstâncias:

- Probabilidades de transmissão
- Duração
- Mortalidade
- Introdução
- Distância de movimentação dos agentes

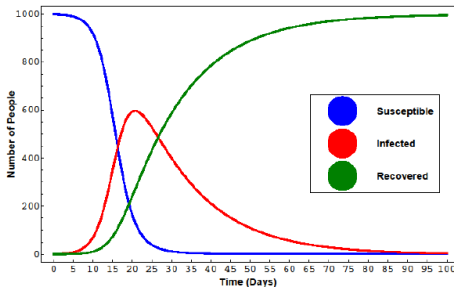
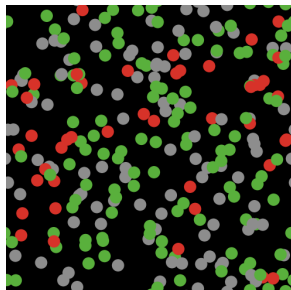
Propagação de Doenças: Especificação Geral da Simulação

Ambiente

- Grid, de 50x50 *unidades espaciais*

Agentes

- Estão sujeitos a uma doença: **Gripe**
 - Adota modelo compartimental SIR
 - Cada agente deve gerenciar seu *estado*: (S,I,R)
- Se movem pelo ambiente.

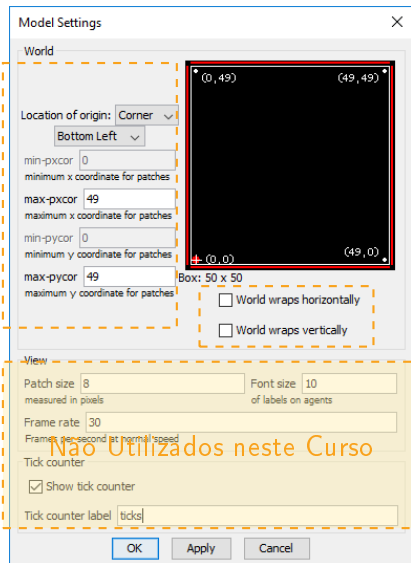


Propagação de Doenças com NetLogo

Propagação de Doenças com NetLogo

Configurações do ambiente:

- Grid, 50x50 *patches*
- Origin: *corner, bottom left*
- Sem *world wrap*



Não Utilizados neste Curso

Propagação de Doenças com NetLogo: o Agente

Especificação detalhada do agente:

- Se move pelo ambiente
 - para qualquer *patch* distante no máximo 5
- Deve gerenciar seu **compartimento atual** (S, I, R)
- Pode ser infectado e então se recuperar
 - Probabilidades de transmissão e duração são detalhadas mais a frente

Quantos atributos do agente são derivados a partir disto?

Propagação de Doenças com NetLogo: o Agente

Especificação detalhada do agente:

- Se move pelo ambiente
 - para qualquer *patch* distante no máximo 5
- Deve gerenciar seu **compartimento atual** (S, I, R)
- Pode ser infectado e então se recuperar
 - Probabilidades de transmissão e duração são detalhadas mais a frente

Quantos atributos do agente são derivados a partir disto?

- compartimentoGripe
 - Irá armazenar:
 - “S”
 - “I”
 - “R”

 Implementar

Propagação de Doenças com NetLogo: o Agente

Especificação detalhada do agente:

- Se move pelo ambiente
 - para qualquer *patch* distante no máximo 5
- Deve gerenciar seu **compartimento atual** (S, I, R)
- Pode ser infectado e então se recuperar
 - Probabilidades de transmissão e duração são detalhadas mais a frente

Quantos atributos do agente são derivados a partir disto?

- `compartimentoGripe`
 - Irá armazenar:
 - “S”
 - “I”
 - “R”

 Implementar

```
extensions [gis nw osmnlogo]

breed [Humanos Humano]


Humanos-own [
  compartimentoGripe
]
```


Propagação de Doenças com NetLogo: o Setup

Criação dos Agentes

Criar 200 agentes **Humanos** em posições aleatórias

- Todos os agentes iniciam com compartimento “S”


 Implementar o procedimento setup

Propagação de Doenças com NetLogo: o Setup

Criação dos Agentes

Criar 200 agentes **Humanos** em posições aleatórias

- Todos os agentes iniciam com compartimento **"S"**

 Implementar o procedimento setup

```
to setup
  clear-all
  reset-ticks
  ask n-of 200 patches [
    sprout-Humanos 1 [
      set compartimentoGripe "S"
    ]
  ]
end
```

Propagação de Doenças com NetLogo: os Comportamentos

- ✎ Implementar o procedimento `moverHumano`
 - Move para um *patch* distante no máximo 5
 - Vários agentes podem ocupar o mesmo *patch*
- ✎ Implementar o procedimento `go`
- ✎ Crie botões para ativar procedimentos `setup` e `go`

Propagação de Doenças com NetLogo: os Comportamentos

Solução: Movimentação do agente e Procedimento go

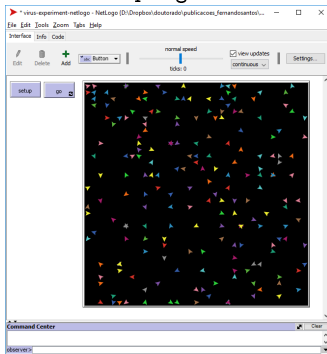
Movimentação:

```
to moverHumano
  ; identificar os patches com distância menor que 5
  let patchesDistancia patches in-radius 5.5 ; para diagonal
  ; escolher aleatoriamente um destes patches e mover
  move-to one-of patchesDistancia
end
```

Procedimento go:

```
to go
  tick
  ask Humanos [
    moverHumano
  ]
end
```

Botões setup e go



Propagação de Doenças com NetLogo: o Setup c/ Arquivo

Uso de arquivo GIS¹ para criar agentes

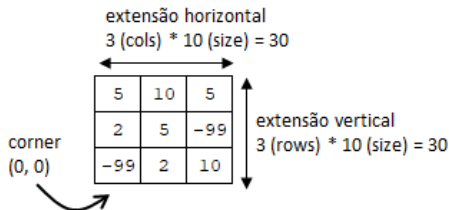
- Dados de censo demográfico (população por *patch*)
 - Arquivo: population-300.asc

GIS ASCII FILE

CONTEÚDO

ncols	3	
nrows	3	
xllcorner	0.0	
yllcorner	0.0	
cellsize	10.0	
NODATA_value	-99	
5	10	5
2	5	-99
-99	2	10

VISUALIZAÇÃO



¹Geographic Information System

Propagação de Doenças com NetLogo: o Setup c/ Arquivo

Criar agentes usando dados GIS

1) Criar atributo nos *patches* para armazenar dados do arquivo GIS

```
patches-own [  
  populacaoInicial  
]
```

2) Modificar o setup para obter dados do GIS e criar os agentes

```
to setup  
  clear-all  
  reset-ticks  
  
  ; ler o arquivo para o atributo dos patches  
  let dadosPopulacao gis:load-dataset "lib/population-300.asc"  
  gis:set-world-envelope-ds gis:envelope-of dadosPopulacao  
  gis:apply-raster dadosPopulacao populacaoInicial  
  
  ; criar os agentes conforme população inicial  
  ask patches with [ populacaoInicial > 0 ] [  
    sprout-Humanos populacaoInicial [  
      set compartimentoGripe "S"  
    ]  
  ]  
end
```

Propagação de Doenças com NetLogo: Compartimentos

Dinâmica do Modelo Compartmental

Procedure para o **comportamento** de atualizar o compartimento

```
to atualizarCompartimentoHumano
  ; se infectado
  ;   transmitir para suscetíveis que estão no mesmo patch
  ;   recuperar após duração da doença
end
```

Ativar a atualização do modelo compartmental na procedure go

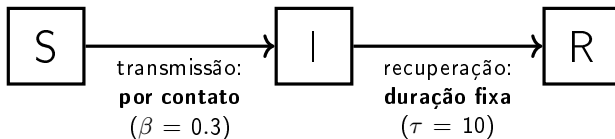
```
to go
  tick;
  ask Humanos [
    moverHumano
    atualizarCompartimentoHumano
  ]
end
```

Propagação de Doenças com NetLogo: Compartimentos

Transmissão e Duração da Doença

✎ Implementar o `atualizarCompartimentoHumano`:

- Probabilidade de transmissão β : 0.3
- Transmissão ocorre por contato (agentes no mesmo *patch*)
- Duração fixa τ : 10 timesteps
 - Permanece **infectado** por 10 timesteps, depois **recuperado**
 - Necessário atributo no agente (contador timesteps infectado)
 - `duracaoInfectado`



Propagação de Doenças com NetLogo: Compartimentos

Solução: Transmissão e Duração da Doença


Transmissão e Duração

```
to atualizarCompartimentoHumano
  ; se infectado
  if compartimentoGripe = "I" [
    ; transmitir para suscetíveis no mesmo patch
    ask other Humanos-here with [ compartimentoGripe = "S" ] [
      ; contaminar de acordo com prob. de transmissão
      if random-float 1 < 0.3 [
        set compartimentoGripe "I"
        set duracaoInfectado 0
      ]
    ]

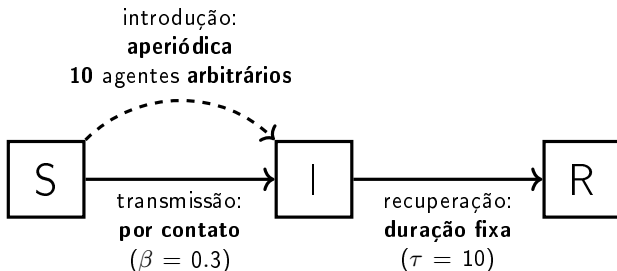
    ; recuperar apos duracao da doenca
    if-else duracaoInfectado = 20 [
      set compartimentoGripe "R"
    ][
      set duracaoInfectado duracaoInfectado + 1
    ]
  ] ; fim do if compartimentoGripe = "I"
end
```

Propagação de Doenças com NetLogo: Compartimentos

Introdução de Infectados


 Implemente a introdução de indivíduos infectados

- Quantos: 10
- Quais: arbitrários (agentes aleatórios)
- Quando: aperiódica (no *setup* da simulação)



Propagação de Doenças com NetLogo: Compartimentos

Solução: Introdução de Infectados


 Implemente a introdução de indivíduos infectados

- Quantos: 10
- Quais: arbitrários (agentes aleatórios)
- Quando: aperiódica (no *setup* da simulação)

```
to setup
  ; omitida a criação dos agentes...

  ; introduzir agentes infectados
  ask n-of 10 Humanos [
    set compartimentoGripe "I"
  ]
end
```


Propagação de Doenças com NetLogo: Visualização

 Usar biblioteca externa para colorir os agentes:

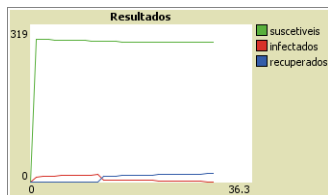
`color-agent-by-compartment-netlogo.nls`

- **Aviso:** o método `xxxInit` requer parâmetros. Verifique.


Propagação de Doenças com NetLogo: as Saídas

 Criar **Plot** com quantidades de agentes por compartimento

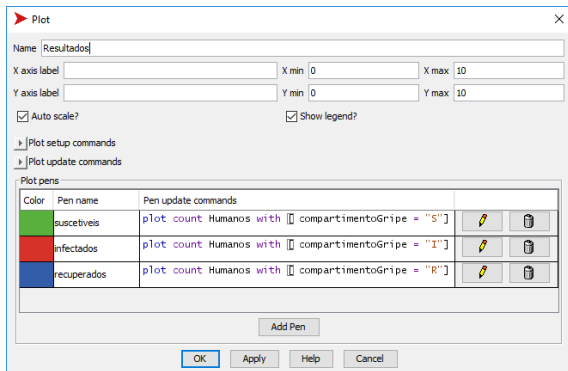
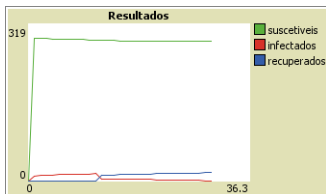
- **suscetíveis**: agentes com `compartimentoGripe = "S"`
- **infectados**: agentes com `compartimentoGripe = "I"`
- **recuperados**: agentes com `compartimentoGripe = "R"`



Propagação de Doenças com NetLogo: as Saídas

 Criar **Plot** com quantidades de agentes por compartimento

- **suscetíveis**: agentes com `compartimentoGripe = "S"`
- **infectados**: agentes com `compartimentoGripe = "I"`
- **recuperados**: agentes com `compartimentoGripe = "R"`



Plot

Name: Resultados

X axis label: X min: 0 X max: 10

Y axis label: Y min: 0 Y max: 10

☒ Auto scale? ☒ Show legend?

Plot setup commands

Plot update commands

Plot pens

Color	Pen name	Pen update commands
verde	suscetíveis	plot count Humanos with [compartimentoGripe = "S"]
vermelho	infectados	plot count Humanos with [compartimentoGripe = "I"]
azul	recuperados	plot count Humanos with [compartimentoGripe = "R"]

Add Pen

OK Apply Help Cancel

Propagação de Doenças com NetLogo

Explorando a Simulação

- 🖱️ Executar a simulação e observar as saídas
 - O que acontece com as quantidades de S, I, e R?
- 🖱️ O que acontece ao modificar a transmissão e duração?

Prob. Transmissão	Duração
0.75	10
1.0	10
0.3	20
0.3	60

Discussão:

- Relação *contágio* vs. *duração*?
- Tamanho e movimentação da população afetam propagação?
- Qual seria o efeito do *fim da imunidade*?
- Qual seria o efeito da *mortalidade*?

Propagação de Doenças com MDD4ABMS

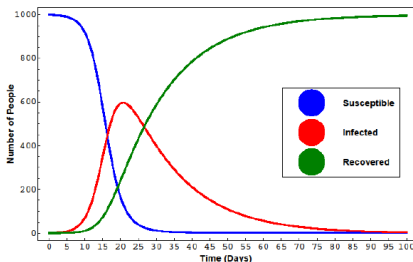
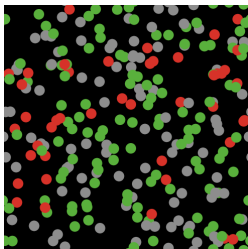
Propagação de Doenças com MDD4ABMS

Modelar a mesma simulação de propagação de doenças
Ambiente

- Grid, de 50x50

Agentes

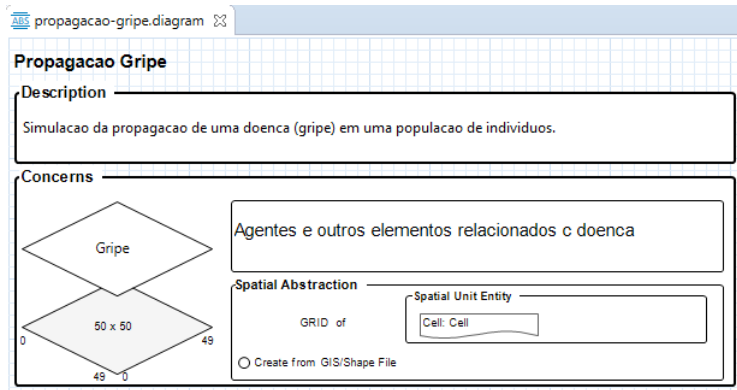
- Estão sujeitos a uma doença: **Gripe**
 - Adota modelo compartimental SIR
 - Cada agente deve gerenciar seu *estado*: (S,I,R)
- Se movem pelo ambiente.



Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Overview (1)

Título e descrição do modelo


- Não usar acentuação/caracteres especiais
 - Problema de *encoding* neste ambiente do experimento

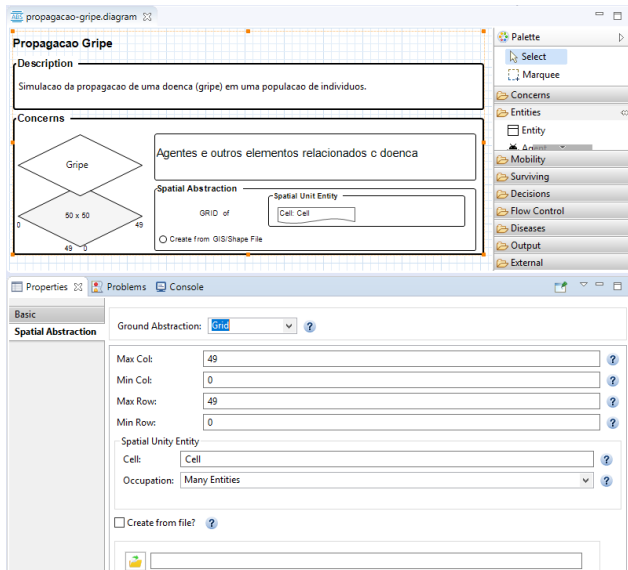


Propagação de Doenças com MDD4ABMS: o Ambiente

Spatial Abstraction:

- **Grid**, 50x50
- **Occupation:**
Many entities

 Gerar código e executar



The screenshot displays the MDD4ABMS environment. The main diagram, titled 'Propagacao Gripe', is shown on a grid. It includes a 'Description' box with the text 'Simulacao da propagacao de uma doenca (gripe) em uma populacao de individuos.', a 'Concerns' section with a diamond-shaped diagram labeled 'Gripe' and '50 x 50', and a 'Spatial Abstraction' section with a 'GRID of' box and a 'Spatial Unit Entity' box labeled 'Cell: Cell'. The 'Properties' panel on the right shows the 'Basic' tab selected, with the 'Ground Abstraction' set to 'Grid'. The 'Spatial Abstraction' section in the properties panel shows the following settings:

- Ground Abstraction: Grid
- Max Col: 49
- Min Col: 0
- Max Row: 49
- Min Row: 0
- Spatial Unit Entity: Cell
- Occupation: Many Entities
- Create from file? (unchecked)

Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Overview (2)

O concern Gripe

propagacao-gripe.diagram

Propagacao Gripe

Description

Simulacao da propagacao de uma doenca (gripe) em uma populacao de individuos.

Concerns

Gripe

50 x 50

0 49

Agentes e outros elementos relacionados a doenca

Spatial Abstraction

GRID of

Spatial Unit Entity

Cell: Cell

☐ Create from GIS/Shape File

Palette

- Select
- Marquee
- Concerns
- Entities
- Entity
- Mobility
- Surviving
- Decisions
- Flow Control
- Diseases
- Output
- External

Properties

Main

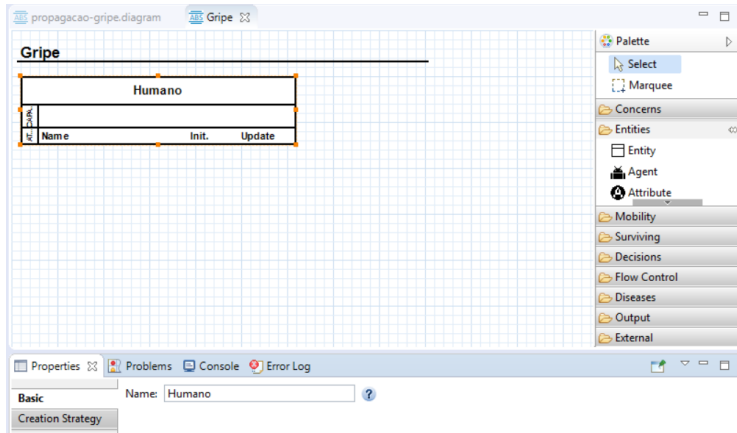
Concern

Name: Gripe

Description: Agentes e outros elementos relacionados a doenca

Propagação de Doenças com MDD4ABMS: o Agente

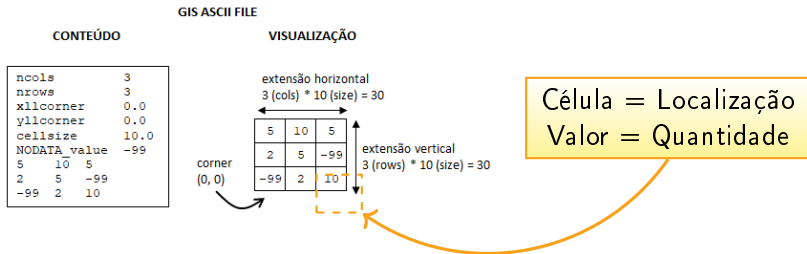
O agente Humano



Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Criação do Agente

Estratégia de criação: GIS File

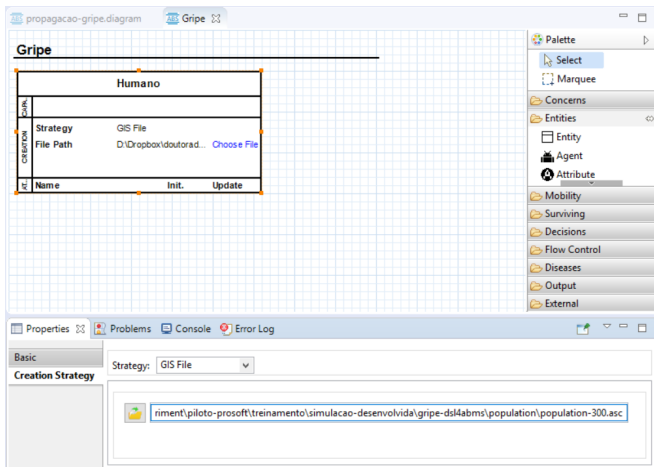
- Quantidade e localização conforme GIS



Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Criação do Agente

Agente **Humano** com estratégia **GIS File**

- Arquivo: population-300.asc



 Gerar código e executar

Propagação de Doenças com MDD4ABMS: a Movimentação

Mobilidade: **Random Walk**

- *Limited*. *Upper* = 5 (é a distância máxima nesta simulação)

The screenshot displays the MDD4ABMS software interface. The main workspace shows a diagram titled 'Gripe' with a 'Humano' entity and a 'mobility1' component. The 'mobility1' component is configured with the 'Random Walk' strategy. The 'Properties' panel on the right shows the 'Basic' tab for the 'mobility1' component, where the 'Range' is set to 'Limited' with an 'Upper' value of 5.

Gripe

Humano		
Mobility	mobility1	
Strategy	GIS File	
File Path	D:\Dropbox\doutorad... Choose File	
Name	Init.	Update

mobility1
«Random Walk»

Palette

- Select
- Marquee
- Concerns
- Entities
- Mobility
 - Random Walk
 - Closest Best Spatial Unit
 - Endue w/ Mobility
- Surviving
- Decisions
- Flow Control
- Diseases
- Output
- External

Properties Problems Console

Mobility

Basic

Mobility Id:

Range:

☐ Unlimited

☒ Limited

Lower:

Upper:

Gerar código e executar

Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Doenças

Habilidades (comportamentos) para representar doenças

- **Disease Model:** incorpora modelo compartimental ao agente
- **Subject Agent To:** sujeita agente à doença existente

The screenshot displays the MDD4ABMS software interface. The main workspace shows a diagram titled 'Gripe' with a central 'Humano' entity. The 'Humano' entity has two tabs: 'CAPABILITY' and 'CREATION'. The 'CAPABILITY' tab is active, showing a table with columns 'Name', 'Init.', and 'Update'. The table contains one row: 'compartment_Gripe'. To the right of the 'Humano' entity, there are two other entities: 'mobility1' (labeled '«Random Walk»') and 'Gripe' (labeled '«Disease Model»' with 'Compartments: SIR'). Dashed lines connect the 'mobility1' entity to the 'Gripe' entity. A 'Palette' window on the right side of the interface lists various components: 'Select', 'Marquee', 'Concerns', 'Entities', 'Mobility', 'Surviving', 'Decisions', 'Flow Control', 'Diseases', 'SIR Disease Model', 'Subject Agent To', 'Output', and 'External'. The 'Diseases' folder is expanded, showing 'SIR Disease Model' and 'Subject Agent To'. Below the main workspace, a 'Properties' panel is visible, showing 'Disease Basic Details' for the 'Gripe' disease. The 'Disease name' is 'Gripe', 'Compartments' is 'SIR', and 'Immunity Cond.' is empty. The 'Properties' panel has tabs for 'Basic', 'Transmission', 'Progression', 'Mortality', and 'Introduction'.

Name	Init.	Update
compartment_Gripe		

Properties Panel - Disease Basic Details

Disease name: Gripe

Compartments: SIR

Immunity Cond.:

Abas para especificar detalhes do modelo compartimental:

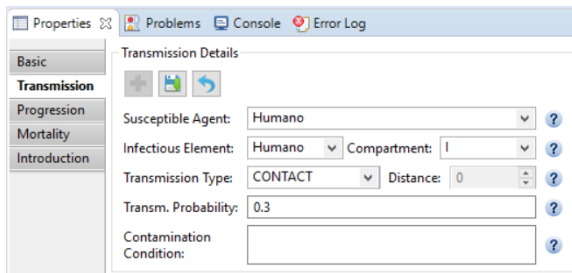
- Transmissão, Progressão (duração), Mortalidade e Introdução

Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Doenças

Transmissão

Cada **Transmission** especifica uma **interação** de contaminação

- **Susceptible Agent:** qual agente será contaminado
- **Infectious Element:** agente ou entidade transmissor
 - **Compartment:** compartimento infectante
- **Transmission Type:** por contato ou proximidade
- **Transm. Probability:** a probabilidade de transmissão (entre 0.0 e 1.0)
- **Contamination Condition:** quando há restrição na contaminação



The screenshot shows the 'Properties' window for a 'Transmission' object in the MDD4ABMS software. The 'Transmission' tab is selected in the left sidebar. The 'Transmission Details' section contains the following fields:

- Susceptible Agent:** A dropdown menu set to 'Humano'.
- Infectious Element:** A dropdown menu set to 'Humano'.
- Compartment:** A dropdown menu set to 'I'.
- Transmission Type:** A dropdown menu set to 'CONTACT'.
- Distance:** A numeric input field set to '0'.
- Transm. Probability:** A numeric input field set to '0.3'.
- Contamination Condition:** An empty text input field.

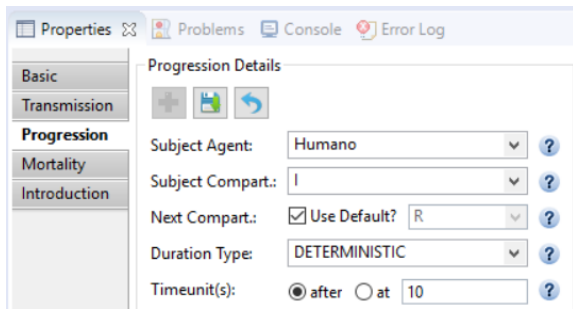
Each field has a help icon (?) to its right. Above the fields are three icons: a plus sign, a document with a green arrow, and a circular arrow.

Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Doenças

Duração

Cada **Progression** especifica a **duração** de um compartimento

- **Subject Agent:** agente sujeito a esta duração
- **Subject Compart.:** compartimento sujeito a esta duração
- **Next Compart.:** o próximo compartimento após terminar a duração
- **Duration Type:** o tipo de duração
 - **Deterministic:** quando a duração é fixa (ex.: 10 timesteps)
 - **Probabilistic:** probabilidade de recuperação
 - **Conditional:** condição (ex.: recebeu tratamento)
 - **Custom:** combinação das anteriores



Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Doenças

Introdução

Cada **Introduction** especifica **quantos**, **quais**, e **quando**

- **Subject Agent**: agente sujeito a esta introdução
- **Periodicity**: quando ocorrerá introdução
- **Quantity**: quantos agentes serão infectados
- **Selection**: quais agentes serão infectados

Uma introdução é criada automaticamente para cada agente

- Edite-a ou remova-a

The screenshot shows the 'Introduction Details' dialog box in the MDD4ABMS software. The dialog has a sidebar on the left with tabs: Basic, Transmission, Progression, Mortality, and Introduction (which is selected). The main area contains the following fields:

- Subject Agent:** A dropdown menu set to 'Humano' with a help icon (?) to its right.
- Periodicity:** Two radio buttons: 'Aperiodic' (selected) and 'Periodic'.
 - For 'Aperiodic', there is a field 'At the timeunit:' with the value '0' and a help icon (?) to its right.
 - For 'Periodic', there is a field 'At every timeunit(s):' which is currently empty.
- Quantity:** Two radio buttons: 'Deterministic' (selected) and 'Probabilistic'.
 - For 'Deterministic', there is a field 'Number of agents:' with the value '10' and a help icon (?) to its right.
 - For 'Probabilistic', there is a field 'Infection chance:' which is currently empty.
- Selection:** Two radio buttons: 'Arbitrary' (selected) and 'Eligible'.
 - For 'Arbitrary', there is a help icon (?) to its right.
 - For 'Eligible', there is a field 'Criteria:' with a list box below it.

Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Doenças

🔗 Gerar código e executar

🔗 Monitorar um agente: verificar contaminação e recuperação

The screenshot displays the NetLogo MDD4ABMS interface. The main window, titled "Propagacao_Gripe - NetLogo", shows a simulation environment with a large black square containing numerous small, multi-colored triangles representing agents. The interface includes a menu bar (File, Edit, Tools, Zoom, Tabs, Help), an interface panel with buttons for Edit, Delete, Add, and a "Tab: Button" dropdown, a "slower" slider, a "view updates" checkbox, and a "Settings..." button. Below the main window is a "Command Center" with a text input field and a "Clear" button. The command center shows the following text:

```
observer> show [who] of Humanos with [ compartment_Gripe = "I"]  
observer: [109 273 214 292 129 9 169 91 89 33]  
observer>
```

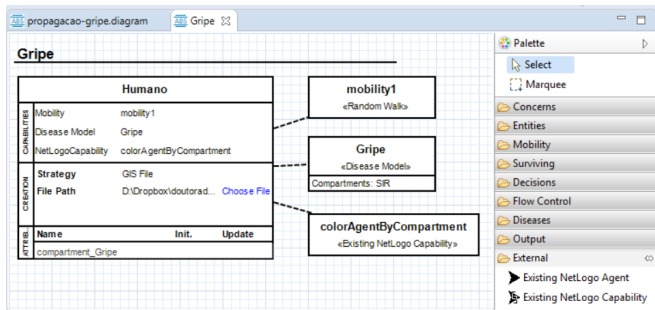
On the right side, a "watch-me" panel displays the properties of the selected agent (who: 109):

Property	Value
who	109
color	135
heading	61
xcor	14
ycor	31
shape	"default"
label	
label-color	9.9
breed	Humanos
hidden?	false
size	1
pen-size	1
pen-mode	"up"
compartment_gripe	"I"
current_state_gripe	"I"
duration_gripe_i	4

Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Visualização

✎ Usar biblioteca externa para colorir os agentes:

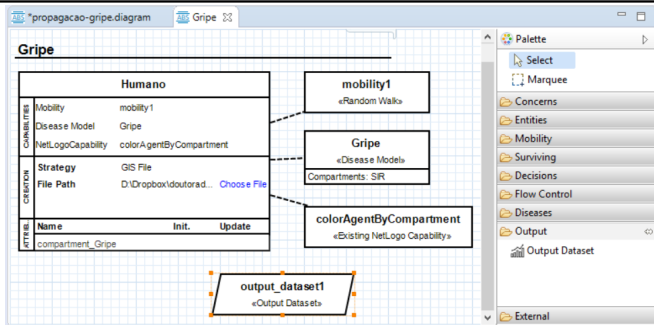
color-agent-by-compartment-**mdd4abms**.nls



Propagação de Doenças com MDD4ABMS: as Saídas

 Especificar um **Output Dataset** com os seguintes **Outputs**

Output name	Entity	Criterion	Periodicity	Type
Suscetíveis	Humano	Eligible: compartment_Gripe = "S"	Periodic (1)	Aggregation: ● count
Infectados	Humano	Eligible: compartment_Gripe = "I"	Periodic (1)	Aggregation: ● count
Recuperados	Humano	Eligible: compartment_Gripe = "R"	Periodic (1)	Aggregation: ● count



Propagação de Doenças com MDD4ABMS

Explorando a Simulação

- ✎ Executar a simulação e observar as saídas
 - O que acontece com as quantidades de S, I, e R?
- ✎ O que acontece ao modificar a transmissão e duração?

Prob. Transmissão	Duração
0.75	10
1.0	10
0.3	20
0.3	60

Propagação de Doenças: Outros Elementos

Compartilhamento de Habilidades no MDD4ABMS

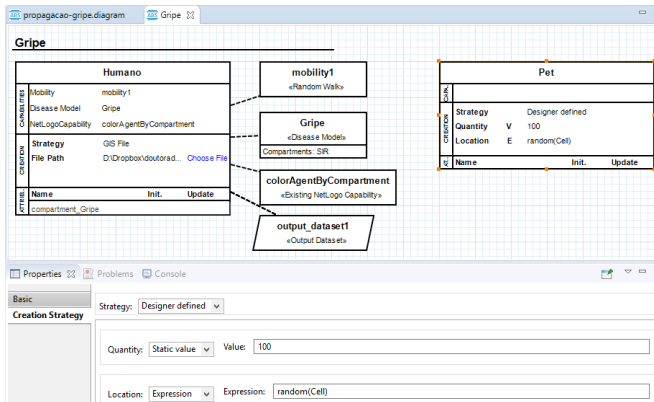
Algumas habilidades podem ser compartilhadas entre agentes

- **Mobility, Surviving, Disease Model**

Objetivo: permitir **reuso** e aumentar eficiência/expressividade

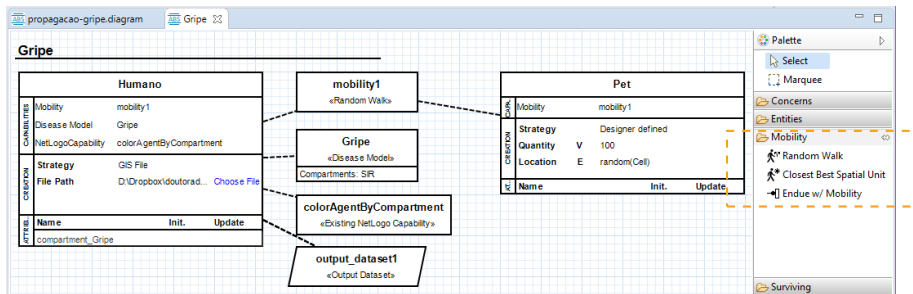
✎ Especificar um agente **Pet**

- Criação: 100 agentes em posições aleatórias



Habilidades Compartilhadas no MDD4ABMS: Mobilidade

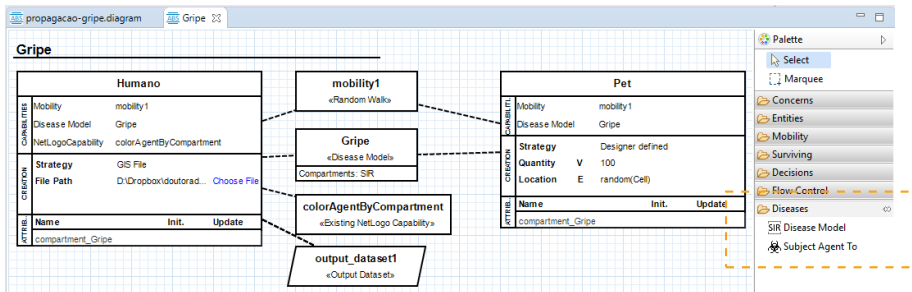
Especificar compartilhamento via **Endue w/ Mobility**



 Gerar código e executar

Habilidades Compartilhadas no MDD4ABMS: Doença


Especificar compartilhamento via **Subject Agent To**



Habilidades Compartilhadas no MDD4ABMS: Doença

Necessário especificar como a doença afeta o agente **Pet**

- Transmission
 - Infectious element: **Humano**
 - Type: **proximity**
 - distância: 3
 - Probability: **0.5**
- Progression (duração)
 - Compartment: **I**
 - **deterministic (20)**
 - Compartment: **R**
 - **deterministic (52)**
- Introduction: **sem introduction**
 - *Pets* se infectam apenas por transmissão
- Mortality
 - Compartment: **I**
 - Death Rate: **0.35**
 - Type (quando):
when_leaving_compartment
 - Especifica que a mortalidade será aplicada após transcorrer a duração do compartimento

 Gerar código e executar

 Criar outro *Output Dataset* com *Outputs* para **Pets**

NetLogo: Mobilidade e Doenças em Vários Agentes

Não é possível compartilhar facilmente os comportamentos

Solução: criar procedimentos para cada agente

```
to moverHumano
  ; mover o Humano
end

to atualizarCompartimentoHumano
  ; atualização da doença no Humano
end
```

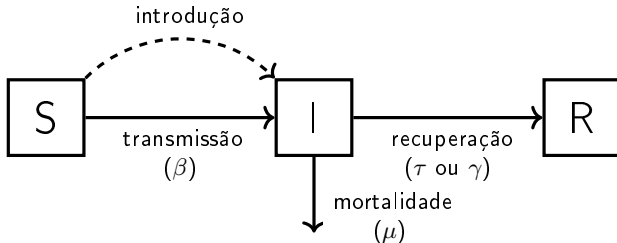
```
to moverPet
  ; mover o Pet
end

to atualizarCompartimentoPet
  ; atualização da doença no Humano
end
```

```
to go
  tick
  ask Humanos [
    moverHumano
    atualizarCompartimentoHumano
  ]
  ask Pets [
    moverPet
    atualizarCompartimentoPet
  ]
end
```

NetLogo: Mortalidade no Modelo Compartimental

Como implementar a **mortalidade**?



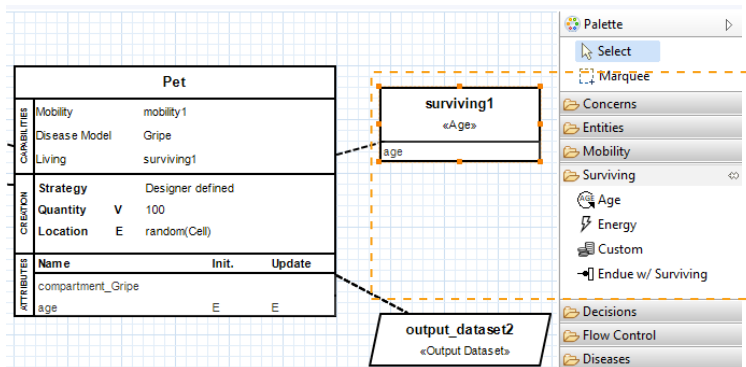
```
to atualizarCompartimentoHumano
  ; se infectado ...
  ; modificar o condicional da recuperação apos duracao da doenca
  if-else duracaoInfectado = 20 [
    if-else random-float 1 < taxaMortalidade [
      die
    ]
    set compartimentoGripe "R"
  ]
  set duracaoInfectado duracaoInfectado + 1
end
```


Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Sobrevivência dos Pets (1)

Pets envelhecem e morrem após 520 timesteps (equiv. 10 anos)

Especificar habilidade **Surviving** / **Age**

- Gerencia a idade do agente
- Morte por envelhecimento

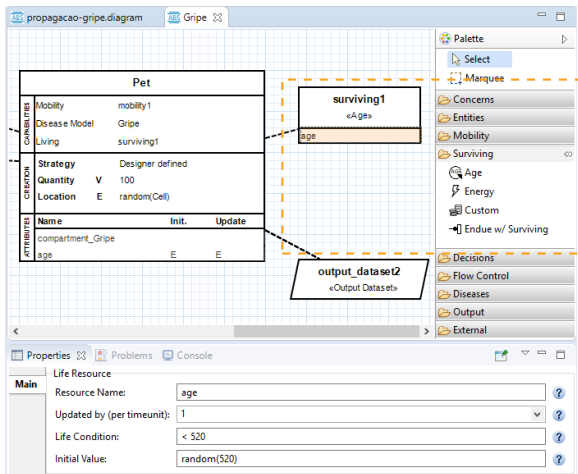


Propagação de Doenças com MDD4ABMS: Sobrevivência dos Pets (2)

Pets envelhecem e morrem após 520 timesteps (equiv. 10 anos)

Especificação do recurso **Age**

- Life Cond.: < 520
- Initial Value: $\text{random}(520)$



Propagação de Doenças com NetLogo: Sobrevivência dos Pets (1)

Pets envelhecem e morrem após 520 timesteps (equiv. 10 anos)

É preciso implementar atributos e procedimentos para que o agente envelheça e morra

```
Pets-own[
  ; outros atributos omitidos
  age ; <— idade
]

to setup
  ask patches ... [
    sprout-Pets <quantidade> [
      ; inicialização da idade
      set age random 520
    ]
  ]
end
```

```
to go
  ask Pets [
    ; outros comportamentos omitidos
    envelhecimentoMortePet
  ]
end

to envelhecimentoMortePet
  if-else age < 520 [
    set age age + 1
  ][
    die
  ]
end
```

Referências Bibliográficas



Kermack, W. O. and McKendrick, A. G. (1932).

Contributions to the mathematical theory of epidemics. ii.—the problem of endemicity.

Proc. R. Soc. Lond. A, 138(834):55–83.