**Material Complementar: protocolo ODD**

**1. Objetivo**

*Qual o objetivo deste modelo?*

O modelo tem o propósito de investigar o efeito da plasticidade comportamental dos indivíduos na resiliência da comunidade.

**2. Entidades, Variáveis de estado e Escalas**

*Que tipos de entidades estão no modelo? Por quais variáveis de estado, ou atributos, essas entidades são caracterizadas? Quais são as resoluções e extensões temporais e espaciais do modelo?*

Há dez entidades no modelo: quatro espécies produtores primários (plantas), três espécies consumidores primários (herbívoros) e três espécies de consumidores secundários (carnívoros). O modelo tem duração de 1000 passos de tempo e o tamanho do mundo é de 100x100 (10000 unidades espaciais).

Plantas (unidades espaciais): as plantas têm três variáveis de estado:

* Localização: Representa a posição das plantas no plano XY.
* Cores: As cores são utilizadas para diferenciar as espécies em nosso sistema (uma cor por espécie).
* Contagem regressiva: Número de passos temporais necessários para que os indivíduos de uma determinada espécie de planta se regenerem e nasçam. Indivíduos mortos tem cor marrom. Em sistemas com plasticidade nos indivíduos, colocamos para estes renascerem depois de 5 passos (ticks) após serem comidos. Nos sistemas sem plasticidade, as espécies de plantas renasciam 10 passos de tempo após serem comidas. A diferença no tempo de renascimento de ambos se deve ao fato do sistema, na plataforma do Netlogo “Behavioral Space”, se manter estabilizado (com as 10 espécies vivas após 500 passos de tempo) apenas nesse tipo de combinação de parâmetro ambiental. Programamos o código de forma que, na maioria dos casos, a espécie do indivíduo que vai nascer em um local é determinada pela espécie mais abundante na vizinhança dele. Como o processo é probabilístico, ainda há possibilidade de colonização e novas manchas.

Consumidores primários e secundários: têm 11 variáveis de estado.

* ID: Cada indivíduo tem uma identidade própria.
* Espécie: Utilizamos duas formas de diferenciar a espécie – as cores que separam elas visualmente (uma cor por espécie) e a classificação dela como uma espécie, que serve por código, para determinar as características que cada uma terá.
* Localização: Representa a posição dos indivíduos no plano XY.
* Idade: Quão velho os indivíduos são. Idade máxima 100 anos, após passarem desta idade eles morrem.
* Energia: Quantidade de energia que cada indivíduo tem no sistema. Esse valor deriva de um parâmetro chamado valor de ganho por comida (fixado no sistema).
* Nível trófico: Indica nominalmente se a espécie é consumidor primário ou secundário. Utilizamo-nos disso para implementar características gerais de cada nível trófico (ex: plasticidade média diferente e custo da plasticidade).
* Reprodução: Para cada sistema com custo da plasticidade diferente, tivemos uma combinação de parâmetro ambiental específica na simulação, consequentemente também tivemos uma taxa reprodutiva diferente. As combinações foram: (i) custo baixo - 25% ovelhas e 5% lobos (12 combinações de variáveis preditoras) – essa taxa também serviu para sistemas sem plasticidade (4 combinações de parâmetros de variáveis preditoras); e (ii) custo alto - 25% ovelhas e 10% lobos (12 combinações de parâmetros das variáveis preditoras).
* Plasticidade: Existiam 3 níveis de plasticidade - baixa, média e alta plasticidade.
* Custo da plasticidade: Estabelecemos um custo energético de 0.2 para consumidores primários e 0.3 para consumidores secundários em contexto de baixo custo e de 0.8 para consumidores primários e 0.9 para consumidores secundários em contexto de alto custo – este valor representava o quanto o indivíduo gastaria de energia a mais ao se locomover pelo fato de ter plasticidade.
* Custo do deslocamento plástico: Programamos o custo do deslocamento plástico como um custo energético que varia de acordo com o tamanho do deslocamento (tamanho do deslocamento dividido por 10).
* Custo do generalismo: O custo do generalismo também é energético – quanto mais generalista, menos energia é ganha por indivíduo comido. O número da energia que o individuo ganhará no final é valor de ganho por comida dividido pelo número de espécies que essa espécie pode comer.

**3. Visão geral e agendamento de processos**

*Quem (ou seja, qual entidade) faz o quê e em que ordem? Quando as variáveis de estado são atualizadas? Como o modelo de tempo é modelado, como etapas discretas ou como um continuum sobre o qual processos contínuos e eventos discretos podem ocorrer?*

O tempo é discreto e a simulação termina no passo 1000. Os agentes agem ao acaso a partir de seu estado interno (comendo, reproduzindo, morrendo e locomovendo) – sempre interagindo com o mundo. A simulação passa de tempo em tempo automaticamente, esta só finaliza quando o passo estabelecido para o modelo parar é alcançado (1000). Os indivíduos nascem, andam, alimentam, reproduzem e morrem. Os passos para a reprodução do indivíduo, do qual haverá o nascimento, são: na situação em que o indivíduo tinha energia maior que 10, era feito sorteio de um valor em 100 possíveis valores por passo de tempo, caso o valor sorteado seja menor que a taxa reprodutiva estabelecida (maior taxa, maior chance de reprodução) o indivíduo se reproduzia. Essa reprodução é por bipartição, sendo que a energia do indivíduo reprodutor é diminuída em 10. Para o que nasce a energia é de 5, a idade é 0 e o primeiro passo deste é para algum local ao acaso dentro de um ângulo de 360 graus. O andar se baseia em um sorteio de qual direção o indivíduo vai andar. Faz se um sorteio de um valor dentro de 100 graus (50 graus à direita e 50 graus à esquerda), o valor sorteado e a direção será o local para onde o indivíduo se locomoverá. Com isso programamos um movimento chamado caminhada aleatória correlacionada. Os indivíduos dão passos espaciais de tamanho 1 – a cada passo o indivíduo gasta energia para andar (menos 1 de energia + o valor do custo de ele ter plasticidade – caso assim tenha). Os indivíduos aumentam a capacidade de locomoção quando estão com pouca energia (<5) e com o habitat destruído (por ser comido em excesso ou por um distúrbio, há necessidade de ter >=5 vizinhos mortos da cor marrom ou preta). O distúrbio é gerado no software (GradientLand). Após ser gerado, o output do distúrbio é utilizado no Netlogo (input). As células espaciais destruídas por este ficam de cor preta, sendo que quando este distúrbio ocorre todos os seres vivos atingidos naquele espaço do nosso sistema morrem. Neste espaço não nasce mais plantas. Os distúrbios tiveram a seguinte característica: índice de Hurst de 0.3 e 0.7 e grau do distúrbio que mantinha 70% e 25% da vegetação nativa. Quando os indivíduos expressavam sua plasticidade, em contexto de baixa plasticidade, a capacidade máxima de locomoção aumentava para passo de distância 2 para consumidores primários e 3 para consumidores secundários por passo de tempo, em caso de média plasticidade o passo máximo era de distância 5 para os consumidores primários e 6 para os consumidores secundários e em alta plasticidade o passo máximo era de distância 8 para os consumidores primários e 9 para os consumidores secundários – separação da plasticidade entre níveis tróficos serviu para representar a variabilidade natural que grupos diferentes têm em sua plasticidade. O processo de alimentação dos indivíduos está descrito abaixo, junto com a caracterização de como este era configurado no inicio do mundo. Os indivíduos morrem quando são comidos, quando suas energias acabam ou quando estão na idade limite máxima.

O modelo roda de acordo seguindo os passos abaixo:

* 1. Movimento, alimentação, reprodução e morte: O sistema começa a funcionar no tempo 1 (tick 1). Os indivíduos consumidores se movimentam a partir da caminhada aleatória correlacionada (gastando energia), comem, reproduzem e morrem (de velhice, predado ou com falta de energia). Já as plantas morrem comidas e podem se regenerar (morte e nascimento).
  2. Distúrbio: depois de um determinado número de passos em que o sistema se estabiliza (antes dos 500 ticks), sem nenhuma espécie ser extinta, o distúrbio surge nos 500 ticks, matando assim todas as espécies de determinada área geográfica na qual esta foi posta.
  3. Resiliência: após o sistema ser perturbado (501 ticks), deixamos alguns passos temporais (até 999 ticks) para ele se estabilizar novamente (estado resiliente, alternativo ou em extinção). Salvamos os valores necessários (valor de Shannon pré-distúrbio nos 500 ticks e pós-distúrbio nos 999 ticks), sendo que no tick 1000 a simulação para.
  4. Output: após a estabilização inicial, no tick 500 registramos no excel a o índice de Shannon (diversidade). Depois do distúrbio (501 ticks), esperamos o sistema se reorganizar novamente e salvamos o valor de Shannon (tick 999 – valores pós-distúrbio).
  5. Análise de dados: utilizaremos os dados extraídos do modelo para analisar os dados estatisticamente e graficamente.

**4. *Design* conceitual**

* *Princípios básicos. Quais conceitos gerais, teorias, hipóteses ou abordagens de modelagem estão subjacentes ao design do modelo?* Os ambientes naturais têm sofrido rápidas mudanças causadas por seres humanos (HIREC), ter plasticidade comportamental nesta situação pode ser benéfico para espécies com alta plasticidade, dado que há uma chance maior de apresentar uma resposta adequada ao distúrbio (Wong e Candolin 2015). Com isso, a comunidade pode ser mais resiliente e ter capacidade de voltar ao estado anterior em comparação com sistemas em que os indivíduos têm uma baixa plasticidade ou não possuem esta.
* *Emergência.* *Quais principais resultados e saídas do modelo são modelados como emergentes dos traços ou comportamentos adaptativos dos indivíduos?*Os valores de Shannon que são uma métrica da diversidade da comunidade.
* *Adaptação.* *Quais características adaptativas os indivíduos têm? Quais regras eles têm para tomar decisões ou mudar comportamentos em resposta a mudanças em si mesmos ou em seu ambiente?*Os indivíduos não se adaptam – não há possibilidade de especiação, apenas de extinção.
* *Objetivos*. *Se traços adaptativos atuam explicitamente para aumentar alguma medida do sucesso do indivíduo em atingir algum objetivo, o que exatamente é esse objetivo e como é medido?* Os agentes não têm objetivos de estado.
* *Aprendizagem. Muitos indivíduos ou agentes (mas também organizações e instituições) mudam seus traços adaptativos ao longo do tempo como consequência de sua experiência? Se sim, como?* Os indivíduos não aprendem.
* *Predição*. *A previsão é fundamental para uma tomada de decisão bem-sucedida; se os traços adaptativos ou os procedimentos de aprendizagem de um agente se basearem na estimativa de consequências futuras de decisões, como os agentes preveem as condições futuras (ambientais ou internas) que eles experimentarão?* Os indivíduos não tem predição.
* *Sentido.* *Quais variáveis de estado internas e ambientais são individuais assume-se que sente e considera em suas decisões?* A espécie de planta que vai nascer, na maioria dos casos, é definida com base na espécie que tem o predomínio da vizinhança deste. Os consumidores sentem quando estão em um local perturbado ou quando há alimento para comer. Os indivíduos conseguem reconhecer a área ao redor dele.
* *Interação*. *Que tipos de interações entre agentes são assumidas?* Os indivíduos se alimentam e se reproduzem.
* *Estocasticidade*. *Quais processos são modelados assumindo que são aleatórios ou parcialmente aleatórios?*Quase todos os processos são estocásticos. Movimentar-se é ao acaso. Nascimento é ao acaso. Reprodução é ao acaso (com base nas taxas já citadas). Valor de plasticidade que o indivíduo expressará é ao acaso.
* *Collectives*. *Os indivíduos formam ou pertencem a agregações que afetam e são afetados por eles?* Os indivíduos das espécies de planta tendem a se agrupar com indivíduos da mesma espécie.
* *Observação*. *Quais dados são coletados do ABM para testá-los, entendê-los e analisá-los, e como e quando são coletados?* No fim da simulação os valores do índice de Shannon são selecionados e analisamos esses dados externamente.

**5.Inicialização**

*Qual é o estado inicial do mundo do modelo, ou seja, no tempo t = 0 de uma execução de simulação? Em detalhes, quantas entidades desse tipo existem inicialmente e quais são os valores exatos de suas variáveis de estado (ou como foram definidas estocasticamente)? A inicialização é sempre a mesma ou pode variar entre as simulações? Os valores iniciais são escolhidos arbitrariamente ou com base em dados?*

Os parâmetros ambientais variam de acordo com o custo da plasticidade do inicio do modelo, também há variação do custo e grau da plasticidade por modelo. Os valores foram escolhidos arbitrariamente, embora tivéssemos uma lógica detalhada nos materiais e métodos do trabalho – dessa forma garantimos maior realismo do trabalho. No passo zero, surgem 150 indivíduos de cada espécie de lobos e ovelhas (900 indivíduos no total) e 10000 plantas (distribuídos equitativamente por espécie) – com base no tamanho de mundo (100x100). Cada planta surgia em uma coordenada XY ao acaso, com suas cores definidas, com um valor inicial de regeneração fixa para que caso ela seja comida se regenere – estas plantas eram caracterizadas como célula espacial não impactada. Os consumidores surgiam: em uma coordenada XY ao acaso, com suas cores definidas, com o valor do passo que será dado quando rodar o modelo, sua forma (lobo ou ovelha), sua identidade, nome da breed, classificada como estando ou não escondida, com um tamanho fixo definido, com um valor de energia distribuído ao acaso, com idade 0 e com o nível trófico definido. Além disso, estão fixados no inicio do modelo os valores da plasticidade média, dos custos e da reprodução. Para definição da energia inicial que o indivíduo tem no começo do modelo, é feito o seguinte cálculo: sorteio de um valor abaixo do valor de ganho estabelecido multiplicado por dois. Esse número sorteado será a energia inicial que o indivíduo tem (distribuição uniforme). Quando os indivíduos estão se locomovendo e vão se alimentar, a energia que ele já tem será somada a esse valor de ganho por comida (esse valor de ganho é dividido pelo número de espécies que essa espécie pode comer). Isso representa a energia ganha por comer um indivíduo e o custo de ser generalista (ver mais em: custo do generalismo). Cada simulação começava com um dos três níveis de plasticidade e os indivíduos tinham um valor de capacidade máxima da dispersão sorteado para terem e expressarem caso necessário. O valor sorteado era próximo ao do grau de plasticidade estabelecido no inicio da simulação (distribuição normal com baixo desvio padrão – 0.2). Em contextos de distúrbio, o deslocamento dos indivíduos sempre são em direção as plantas, sendo que o limite é o tamanho máximo do deslocamento. Além disso, rodamos também um modelo sem plasticidade e sem custo. Neste modelo o padrão de dispersão acima se manteve (caminhada aleatória correlacionada), porém os indivíduos não respondiam e nem aumentavam a capacidade de dispersão (sem custo do deslocamento) – também não tinham o custo energético de ser plástico.

**6. Dados de entrada**

*O modelo usa entrada de fontes externas, como arquivos de dados ou outros modelos, para representar processos que mudam com o tempo?*

O dado de entrada utilizado foi o distúrbio (fragmentação) gerado em um arquivo no formato (.txt). O arquivo foi gerado no Gradientland porque este é um programa especializado em geração de distúrbios de graus diferentes e com propriedades fractais diferentes – a estrutura final (.txt que selecionamos) é gerada a partir das evoluções graduais do distúrbio.

**7. Submodelos**

*Quais são detalhadamente os submodelos que representam os processos listados em "Visão geral e agendamento de processos"? Quais são os parâmetros do modelo, suas dimensões e valores de referência? Como os submodelos foram projetados ou escolhidos, e como foram parametrizados e testados?*

Não tivemos submodelos para gerar processos como questionado acima, porém tivemos cálculos que programamos para serem gerados no software:

Abundância relativa = abundância por espécie / abundância total (para cada espécie)

Abundância total = abundância *turtles* + abundância *patches*

Riqueza = conta quantas espécies estão vivas (cada espécie = 1, soma de valores).

Índice de Shannon = -∑ espécie . Pi . LogNaturalpi (somatória do pi de cada espécie multiplicado por logaritmo natural do pi de cada espécie).

Índice de Pielou = Shannon / Logaritimo Natural da Riqueza.