**Apêndice: ODD protocol**

**1. Objetivo**

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

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

Há dez entidades no modelo: quatro espécies produtores primários (plantas), três espécies consumidores primários (ovelhas) e três espécies de consumidores secundários (lobos).

Plantas (unidades espaciais): as plantas têm quatro 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 da espécie se regenerem e nasçam. Indivíduos mortos tem cor marrom. Colocamos para estes renascerem depois de 20 passos (ticks) após serem comidos. Implementamos o código de forma que, na maioria dos casos, a espécie do indivíduo morto que vai nascer no local é determinado pela espécie mais abundante na vizinhança dele. Como é probabilístico o processo, ainda há possibilidade de colonização e novas manchas.
* Perturbação: a perturbação é gerada em outro software (GradientLand) e damos input no Netlogo. As células espaciais destruídas ficam na cor preta e quando esta perturbação ocorre todos os seres vivos no nosso sistema naquele espaço atingido morrem. Neste espaço não nasce mais plantas. As paisagens tiveram a seguinte característica: índice de Hurst de 0.3 e 0.7 e grau de perturbação 30% e 75%. São gerados 200 imagens diferentes, cada uma destas ocorrendo em simulações diferentes e estas se repetem por 5 vezes (200 simulações se repetindo 5 vezes, cada uma em simulações diferentes, totalizando 1000 simulações). Fizemos isso para evitar efeito da forma da perturbação no resultado final.

Consumidores primários e secundários: têm 17 variáveis de estado.

* ID: Cada indivíduo tem uma identidade própria.
* Cores: as cores são utilizadas para diferenciar visualmente as espécies em nosso sistema (uma cor por espécie).
* Breed: utilizado para diferenciar as espécies por código e determinar as características que cada uma terá.
* Heading: direção para a qual 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 implementamos um movimento ao acaso e correlacionado – caminhada aleatória correlacionada. Os indivíduos dão passos espaciais de tamanho 1 - gastam energia para andar (menos 1 de energia + o valor do custo por ele ter plasticidade).
* Localização: representa a posição dos indivíduos no plano XY.
* Idade: Quão velho os indivíduos são. Idade máxima 100 anos, após isso eles morrem.
* Forma: Podem ter forma de ovelhas ou lobos (a forma serve para diferir quem é predador e quem é presa).
* Hidden: Indica se a espécie está escondida. Em nosso caso algumas espécies aleatoriamente podem ocupar o espaço de outra, teoricamente, ficando uma em cima da outra. Com isso a espécie pode estar escondida ou a vista, essa variável serve apenas para classificação, não terá muito uso.
* Tamanho: os indivíduos do sistema têm 1.5 de tamanho. Visualmente bom para identificar os indivíduos.
* 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). Esse valor de ganho é multiplicado por dois e depois é sorteado um valor abaixo desse número, esse número sorteado será a energia inicial que o indivíduo ganhará por ter comido (distribuição uniforme). Após os indivíduos estarem se locomovendo, quando este se alimentar, a energia que ele tem será somada a esse valor de ganho por comida. No final, está é dividida pelo número de espécies que o indivíduo pode comer (ver mais em: custo do generalismo).
* Nível trófico: indica nominalmente se a espécie é consumidor primário ou secundário. Utilizamos isso para implementar características gerais de cada nível trófico (ex: plasticidade média diferente e custo da plasticidade).
* Reprodução: Para cada tipo de combinação de parâmetros na simulação tivemos um número reprodutivo diferente de acordo com que o sistema se estabilizasse no “behavioral space” do Netlogo – metade das combinações foram 25% ovelhas e 5% lobos e na outra metade 25% ovelhas e 10% lobos. Pedimos para sortear um valor abaixo de 100, sendo que toda vez que este valor for menor que esta taxa estabelecida, o indivíduo se reproduzirá. Nesse processo ele se divide em dois, a energia é dividida para ambos, a idade destes é configurada para 0 e cada um anda para algum local ao acaso dentro de um ângulo de 360 graus.
* Plasticidade: Os indivíduos saltam quando estão com pouca energia (<5) e com o habitat destruído (por ser comido em excesso ou perturbação, há necessidade de ter >=5 vizinhos mortos da cor marrom ou preta). O valor da plasticidade, que seria o tamanho aproximado do salto que o indivíduo dará, tem as seguintes médias: baixa (0.2 consumidores primários e 0.3 consumidores secundários), média (0.5 consumidores primários e 0.6 consumidores secundários) e alta (0.8 consumidores primários e 0.9 consumidores secundários) – tamanho do salto. Com desvio padrão de 0.2, ou seja, o valor da plasticidade dos indivíduos ao saltar será sorteado com base nessa distribuição normal.
* Custo da plasticidade: Custo energético – baixa plasticidade 0.2 e 0.3, média e 0.5 e 0.6 e alta 0.8 e 0.9. Toda vez que o indivíduo anda, ele gasta o que ele normalmente gasta pra andar e ainda perde esse valor de custo estabelecido. Quando maior o custo mais ele perde energia ao andar.
* Custo do salto: a energia a ser perdida é definida pelo tamanho do salto dividido por 10.
* Custo do generalismo: quanto mais generalista, menos energia é ganha por indivíduo comido. O número da energia que o individuo ganhará no final, resultante do cálculo de energia citado acima, é dividido pelo número de espécies que aquela espécie pode comer. Caso seja uma, ela recebe a energia toda gerada no cálculo.
* Morte: os indivíduos morrem quando são comidos, quando sua energia acaba ou quando estão na idade máxima limite.

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

O tempo é discreto e a simulação terminará 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. 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 se movimentam a partir da caminhada aleatória correlacionada (gastando energia), comem, reproduzem e morrem (de velhice, predado ou com falta de energia). Para as plantas as atividades citadas anteriormente só se aplicam no caso de ela ser comida e se regenerar (morte e nascimento).
  2. Perturbação: depois de um determinado número de passos que o sistema se estabiliza (antes dos 500 ticks), sem nenhuma espécie ser extinta, a perturbação surge aos 500 ticks, matando assim todas as espécies de determinada área geográfica na qual esta foi posta.
  3. Resiliência e recuperação: após o sistema ser perturbado, deixamos alguns passos temporais (até 999 ticks) até ele se estabilizar em um estado estável (resiliente, alternativo ou em extinção). Salvamos esses valores e no tick 1000 a simulação para.
  4. Output: após a estabilização inicial (antes dos 499 ticks), registraremos a abundância relativa, a riqueza e a equabilidade em uma saída para o excel (aos 499 ticks). Depois da perturbação nos 500 ticks, esperamos o sistema se reorganizar novamente e salvamos os valores das mesmas variáveis citadas anteriormente no tick 999.
  5. Análise de dados: utilizaremos os dados extraídos do modelo para analisar os dados graficamente.

**4. Design conceitual**

* *Princípios básicos:* 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 a perturbação (Wong e Candolin 2015). Com isso, a população e a comunidade podem ter uma rápida recuperação e uma capacidade de voltar ao estado anterior em comparação com sistemas em que os indivíduos têm uma plasticidade baixa ou não possuem esta.
* *Emergência.*Esperamos que sistemas com indivíduos com maior grau de plasticidade média se recuperem melhor da perturbação e consigam voltar ao estado anterior.
* *Adaptação.*Os indivíduos não se adaptam – não há possibilidade de especiação, apenas de extinção.
* *Objetivos*. Os agentes não têm objetivos de estado.
* *Aprendizagem.* Os indivíduos não aprendem.
* *Predição*.Os indivíduos não tem predição.
* *Sentido.*  A espécie de planta que vai nascer, na maioria dos casos, é definida com base na espécie que tem predomínio da vizinhança deste. Os indivíduos sentem quando seu alimento está em um local perturbado ou que há alimento para comer.
* *Interação*. Os indivíduos se alimentam e se reproduzem.
* *Estocasticidade*.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. Distribuições iniciais espaciais e valores das variáveis são ao acaso.
* *Collectives*. Os indivíduos das espécies de planta tendem a se agrupar com indivíduos da mesma espécie.
* *Observação*.No fim da simulação, os dados da abundância relativa, riqueza e equabilidade são selecionados e analisamos esses dados externamente.

**5.Inicialização**

No passo zero, surgiam 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 determinado. Cada planta surgia em uma coordenada XY ao acaso, com suas cores definidas, com um valor inicial de regeneração fixo para caso ela seja comida e possuindo uma caracterização da célula espacial como não impactada. Os consumidores surgiam: em uma coordenada XY ao acaso, com suas cores definida, valor do passo que será dado quando rodar o modelo, sua forma (lobo ou ovelha), sua identidade, nome da breed, se está escondida, com um tamanho fixo definido, com um valor de energia distribuído ao acaso conforme citado acima, com idade 0 e com o nível trófico definido. Além disso, os valores da plasticidade média, dos custos e da reprodução estão fixados no inicio do modelo.

**6. Dados de entrada**

O dado de entrada utilizado foi à perturbação (fragmentação) gerada em arquivo no formato (.txt). O arquivo foi gerado no Gradientland porque este é um programa especializado em geração de paisagens com propriedades fractais e impactos de tamanho diferentes, sendo que a estrutura final é gerada a partir das evoluções graduais na perturbação.

**7. Submodelos**

Nossos submodelos foram rodar nossas simulações com 24 combinações de parâmetros diferentes e verificamos os resultados que eram gerados. Também foram feito os cálculos de abundância relativa, riqueza e índice de shannon e de equitatividade (Pielou) com base na fórmula geral de ambos.