**Apêndice: ODD protocol**

**1. Objetivo**

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**

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 de uma determinada espécie 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 renasciam 10 passos após serem comidos. A diferença no tempo de renascimento de ambos se deve ao fato do sistema, na plataforma do Netlogo “Behavioral Space”, se manter equilibrado (com as 10 espécies vivas após 500 passos de tempo) apenas nesse tipo de combinação de parâmetro. Programamos 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 o processo é probabilístico, ainda há possibilidade de colonização e novas manchas.
* Distúrbio: 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 (distúrbio do tipo “press”). Os distúrbios destruídos tiveram a seguinte característica: índice de Hurst de 0.3 e 0.7 e grau de perturbação 30% e 75%. São geradas 200 imagens diferentes, cada uma das imagens ocorrem em simulações diferentes, estas se repetem por 5 vezes (200 simulações se repetindo 5 vezes, cada imagem em simulações diferentes, totalizando 1000 simulações). Fizemos isso para evitar efeito da forma do distúrbio no nosso 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 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)).
* 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.
* 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. Com isso a espécie pode estar escondida ou a vista, essa variável serve apenas para classificação e não terá muito uso.
* Tamanho: os indivíduos do sistema têm 1.5 de tamanho. Este tamanho é visualmente o suficiente 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). Para definição da energia inicial que o indivíduo terá 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 estiverem se locomovendo e forem 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).
* 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 combinação de parâmetros na simulação, consequentemente também tivemos uma taxa reprodutiva diferente. Isso variou porque na plataforma “behavioral space” do Netlogo o sistema só se equilibrava em condições de custos diferentes de plasticidade. As combinações foram: (i) custo baixo - 25% ovelhas e 5% lobos (12 combinações de parâmetros das variáveis preditoras – combinações dos níveis do fator do eixo X dos gráficos dos resultados) – 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). Em situação em que o indivíduo tinha energia maior que 10, era feito sorteio de um valor em 100 possíveis valores por passo de tempo, estabelecemos para o indivíduo se reproduzir toda vez que o valor sorteado for menor que a taxa reprodutiva estabelecida (maior taxa, maior chance de reprodução). Essa reprodução é por bipartição, sendo que a energia do indivíduo reprodutor é diminuída em 10 e o que nasceu. 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.
* Plasticidade: Os indivíduos saltam 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 valor da plasticidade no modelo, que seria o tamanho máximo do salto que o indivíduo pode dar, tem as seguintes médias (desvio padrão de 0.2 – distribuição normal): baixa (2 consumidores primários e 3 consumidores secundários), média (5 consumidores primários e 6 consumidores secundários) e alta (8 consumidores primários e 9 consumidores secundários) – tamanho máximo do salto. Em contextos de distúrbio, o salto dos indivíduos sempre são em direção as plantas, sendo que este pode ser tanto próximo quanto longe (o limite é o tamanho máximo do salto) – depende da necessidade do indivíduo para escapar de uma área perturbada. Para que isso fosse implementado era importante os indivíduos saberem onde as plantas estavam para poderem saltar, então foi necessário programar uma memória simplificada nos indivíduos, em que o indivíduo reconhece a área ao redor (raio de visão) dele, tendo como limite máximo de visão a distância do tamanho máximo do salto. 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 podiam saltar (sem custo do salto) – também não tinham o custo energético de ser plástico.
* Custo da plasticidade: Programamos o custo da plasticidade como um custo energético (baixo custo 0.2 e 0.3 e alto 0.8 e 0.9). Toda vez que o indivíduo anda, ele gasta a energia metabólica natural para andar (1) mais esse valor de custo estabelecido.
* Custo do salto: Programamos o custo do salto como um custo energético que varia de acordo com o tamanho do salto (tamanho do salto 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.
* Morte: os indivíduos morrem quando são comidos, quando suas energias acabam ou quando estão na idade limite máxima.

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

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). 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 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 (500 ticks), deixamos alguns passos temporais (até 999 ticks) para ele se estabilizar novamente (estado resiliente, alternativo ou em extinção). Salvamos os valores necessários (999 ticks), sendo que no tick 1000 a simulação para.
  4. Output: após a estabilização inicial (antes dos 499 ticks), registraremos no excel a abundância total e relativa, a riqueza, o índice de Shannon (diversidade) e de Pielou (equabilidade) (aos 499 ticks – valores pré-perturbação). Depois do distúrbio (500 ticks), esperamos o sistema se reorganizar novamente e salvamos os valores das mesmas variáveis citadas anteriormente (tick 999 – valores pós-perturbação).
  5. Análise de dados: utilizaremos os dados extraídos do modelo para analisar os dados estatisticamente e 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 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.*Esperamos que sistemas com indivíduos com maior grau de plasticidade média sejam mais resilientes.
* *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 o predomínio da vizinhança deste. Os indivíduos sentem quando seu estão em um local perturbado ou quando há alimento para comer. Os indivíduos tem uma memória simplificada em que estes conseguem reconhecer a área ao redor dele.
* *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 são 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, índice de Shannon e Pielou são selecionados e analisamos esses dados externamente.

**5.Inicialização**

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 definida, 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 (conforme citado acima), 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.

**6. Dados de entrada**

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**

Tivemos 28 combinações de parâmetros diferentes (variáveis explicativas). Nossos submodelos foram os cálculos relacionados à diversidade da comunidade que fizemos.

Abundância relativa = abundance-specie / abundance-total (for each specie)

Abundância total = abundance-turtles + abundance-patches

Riqueza = count species that be live (each specie = 1, sum of values).

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

Índice de Pielou = Shannon / Logaritimic Natural Richness.