

1 2 9 0



UNIVERSIDADE
COIMBRA

Coexistência ou Extinção
Simulação da dinâmica Predador-Presa
Sistemas Complexos

Mestrado em Engenharia Informática
2023/2024

18 de maio de 2024

Autores

Emanuel Roque

✉️ emanuelroque@student.dei.uc.pt

✉️ PL3

✉️ 2020227336

João Moreira

✉️ joaomoreira@student.dei.uc.pt

✉️ PL3

✉️ 2020230563

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Modelo Proposto	2
3	Metodologia	3
3.1	Taxa de reprodução de acordo com a energia	4
3.2	Taxa de reprodução de acordo com a idade	5
4	Resultados & Discussão	5
4.1	Exploração do tamanho das populações	5
4.2	Exploração das taxas de reprodução	7
4.2.1	Taxas de reprodução menores que 10%	7
4.2.2	Taxas de reprodução maiores que 10%	9
4.3	Exploração da energia ganha pela comida	10
4.4	Taxa de reprodução de acordo com a energia	12
4.5	Taxa de reprodução segundo a idade	13
5	Conclusão	15
6	Acknowledgments	15

1. Introdução

Nos últimos anos, os sistemas complexos, caracterizados pela interação não linear e dinâmica entre múltiplos componentes, têm oferecido um terreno fértil para explorar fenómenos emergentes e compreender a interação entre diferentes entidades. Um exemplo notável desses fenómenos é a dinâmica predador-presa.

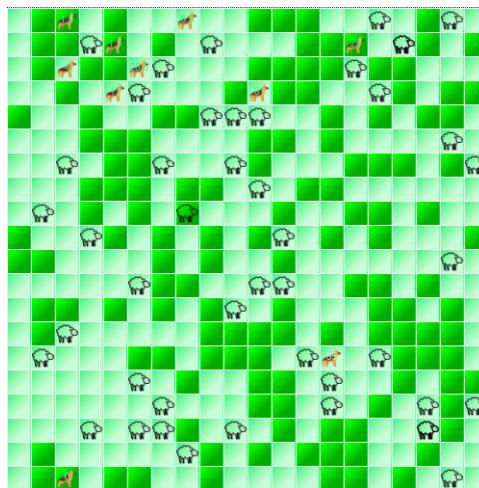


Figura 1: Visualização gráfica do nosso modelo

Com este trabalho, procuramos explorar a dualidade de resultados possíveis, nos quais as populações podem coexistir ou ser levadas à extinção mútua, dependendo das interações e condições ambientais. Através da simulação proposta, temos por objetivo estabelecer um paralelismo simplificado com o que ocorre na natureza, destacando como pequenas alterações podem desencadear a quebra de ecossistemas e levar à extinção de espécies. Reconhecemos que a natureza possui um equilíbrio frágil, cuja compreensão é crucial para a conservação e preservação da biodiversidade.

Pretendemos, através da análise dos resultados obtidos, ganhar insights sobre os mecanismos subjacentes que governam a dinâmica predador-presa em sistemas complexos, contribuindo assim para o entendimento mais profundo dos fenómenos emergentes nestes sistemas.

2. Modelo Proposto

Para proceder à simulação da dinâmica entre predador-presa partimos de um código base "wolf-sheep" que pode ser encontrado no seguinte repositório : GitHub Projeto Mesa

Este modelo apresenta três tipos distintos de agentes: lobos (predadores), ovelhas (presas) e relva (fonte de energia das ovelhas), todos localizados em uma grelha.

Características dos lobos e das ovelhas:

- **Movimento:** Os agentes escolhem aleatoriamente uma posição na vizinhança de "mover" e movem-se para essa posição.
- **Energia:** Para se deslocarem, os agentes consomem energia, que pode ser recuperada quando se alimentam.
- **Alimentação:** As ovelhas alimentam-se de relva, enquanto os lobos alimentam-se de ovelhas quando estão na mesma célula.

- **Reprodução:** Um agente pode se reproduzir, dividindo-se em dois indivíduos, com a energia sendo igualmente dividida entre eles.
- **Morte:** Os agentes morrem se ficarem sem energia. As ovelhas também podem morrer ao serem comidas pelos lobos.

A relva cresce em cada célula a uma taxa constante.

É importante notar que as atualizações são realizadas de forma assíncrona pela ordem que os agentes foram adicionados ao ambiente.

Neste modelo podemos alterar os valores dos seguintes atributos:

1. Número Indivíduos
2. Taxa de reprodução
3. Energia ganha pela comida

Utilizamos um ambiente de 20x20

3. Metodologia

Num primeiro momento, dado o desconhecimento acerca do impacto específico dos atributos na dinâmica do sistema, optamos por fixar esses atributos em valores que julgamos mais congruentes com a natureza do problema em questão.

A nossa primeira questão centrou-se na análise do impacto da quantidade inicial de indivíduos na sobrevivência das espécies. Para abordar esta questão, manipulamos os seguintes parâmetros, variando a quantidade de ovelhas e lobos através de uma metodologia de grid search.

Tabela 1: Parâmetros utilizados na exploração dos tamanhos das populações

Parametro	Ovelha	Lobo
Quantidade Inicial	[30:200]	[10:100]
Taxa reprodução	0.04	0.05
Energia ganha pela comida	4	20

Após a análise da experiência anterior verificámos que utilizar como parâmetros iniciais 10 lobos e 50 ovelha permitiu obter um comportamento mais interessante visto permitir a co-existência das duas espécies. Deste modo fixamos estes valores e estudamos a influencia da taxa de reprodução através de uma metodologia de grid search. Inicialmente exploramos os valores mais baixos de reprodução de forma a garantir que a taxa de reposição da erva não tem grande influencia nos resultados obtidos.

Tabela 2: Parâmetros utilizados na exploração dos tamanhos das populações

Parametro	Ovelha	Lobo
Quantidade Inicial	50	10
Taxa reprodução	[0.01:0.10]	[0.01:0.10]
Energia ganha pela comida	4	20

Numa segunda fase, aumentamos os valores das taxas de reprodução com o intuito de perceber qual será a influência de existir uma taxa de reprodução de ovelhas maior do que a taxa de reposição de erva, e como as taxas de reprodução mais elevadas influenciam o equilíbrio das espécies.

Tabela 3: Parametros utilizados na exploração dos tamanho das populações

Parametro	Ovelha	Lobo
Quantidade Inicial	50	10
Taxa reprodução	[0.1:1]	[0.1:1]
Energia ganha pela comida	4	20

Após a meticulosa avaliação das taxas de reprodução, decidimos investigar a influência da energia adquirida através da alimentação no comportamento do sistema. Com esta adaptação, almejamos simular o impacto de alimentos mais nutritivos, como por exemplo pastagens mais exuberantes para as ovelhas. Para conduzir esta experiência, estabelecemos os valores das taxas de reprodução das espécies que viabilizaram a sua coexistência e, através de uma metodologia de grid search, procedemos à variação da energia obtida a partir dos alimentos.

Tabela 4: Parametros utilizados na exploração dos tamanho das populações

Parametro	Ovelha	Lobo
Quantidade Inicial	50	10
Taxa reprodução	0.05	0.01
Energia ganha pela comida	[1:10]	[5:40]

Consideramos crucial manter a energia adquirida pelos lobos superior à energia adquirida pelas ovelhas, de forma a refletir fielmente a dinâmica natural, na qual os carnívoros conseguem extrair mais energia dos alimentos do que os herbívoros.

Concluindo estas experiências consideramos ter esgotado os pontos de análise do modelo fornecido pelo *MESA* pelo que resolvemos fazer as seguintes modificações ao modelo de forma a aumentar a sua complexidade e o seu realismo.

3.1. Taxa de reprodução de acordo com a energia

No modelo exemplo fornecido pelo *MESA*, a taxa de reprodução dos indivíduos é feita de acordo com uma constante fixa.

De forma a modelar e representar melhor o mundo real, implementamos uma taxa dinâmica de reprodução que tem em conta a energia dos indivíduos. Com isto, pretendemos que indivíduos mais saudáveis tenham maior probabilidade de se reproduzirem.

Desta forma a formula que usamos para calcular a probabilidade de um individuo se reproduzir é dada por

$$\left(\frac{\text{Energia_do_agente}}{\text{Energia_ganha_pela_comida}} \right) / 100$$

Tabela 5: Parâmetros utilizados na exploração da modificação na taxa de reprodução

Parametro	Ovelha	Lobo
Quantidade Inicial	50	10
Taxa reprodução	Depende da Energia	Depende da Energia
Energia ganha pela comida	[1:10]	[5:40]

3.2. Taxa de reprodução de acordo com a idade

Os seres vivos na natureza têm um período de fertilidade e um tempo finito de vida. De forma a simular isso, implementamos as seguintes regras:

- Os lobos apenas podem reproduzir-se entre os 2 e 10 anos
- As ovelhas apenas podem reproduzir-se entre os 8 meses e 7 anos
- Os lobos vivem até aos 14 anos de vida
- As ovelhas vivem até aos 11 anos de vida

Para esta experiência consideramos que uma iteração corresponde a uma quinzena. Inicialmente todos os indivíduos começaram com idade zero. Posteriormente para aumentar o realismo da experiência resolvemos iniciar os agentes com idades aleatórias.

Tabela 6: Parâmetros utilizados na exploração da introdução da idade nos agentes

Parâmetro	Ovelha	Lobo
Quantidade Inicial	[30,210]	[10:110]
Taxa reprodução	0.04	0.05
Energia ganha pela comida	4	20

Utilizamos estes parâmetros para podermos comparar os resultados com os que obtivemos na secção 4.1

4. Resultados & Discussão

4.1. Exploração do tamanho das populações

Nesta secção, pretendemos estudar a forma como as condições iniciais das populações de lobos e de ovelhas influenciam o sistema ao longo do tempo.

A primeira conclusão que facilmente podemos retirar é que, para qualquer condição inicial com mais de 30 lobos, é inevitável que uma das duas espécies, ou até mesmo ambas, sejam extintas. Este fenómeno pode estar correlacionado com as dimensões do ambiente. Para apoiar esta evidência, apresentamos as Figuras 2 e 3.

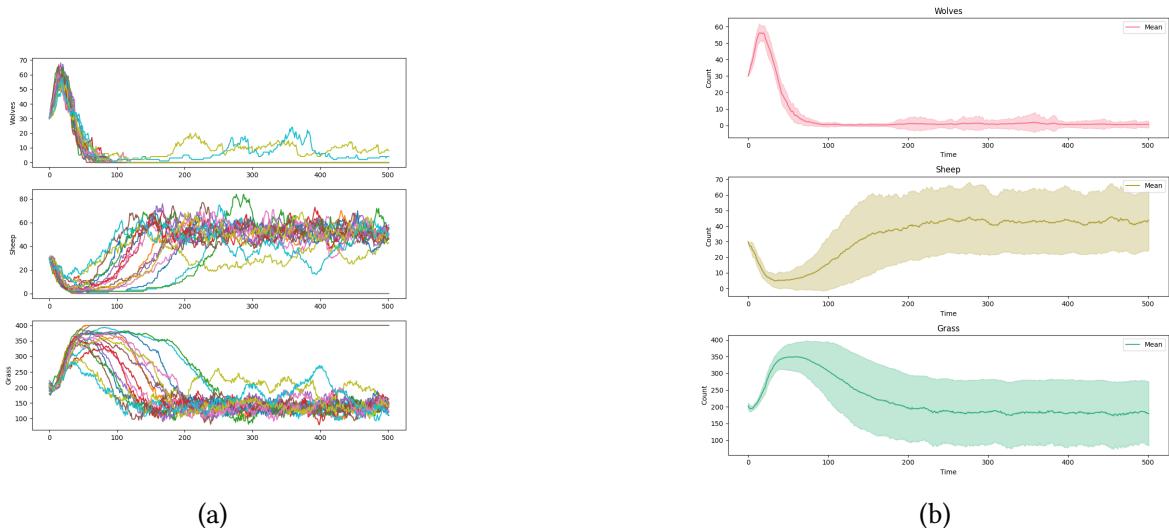


Figura 2: Resultados para as condições iniciais: 30 lobos e 30 ovelhas

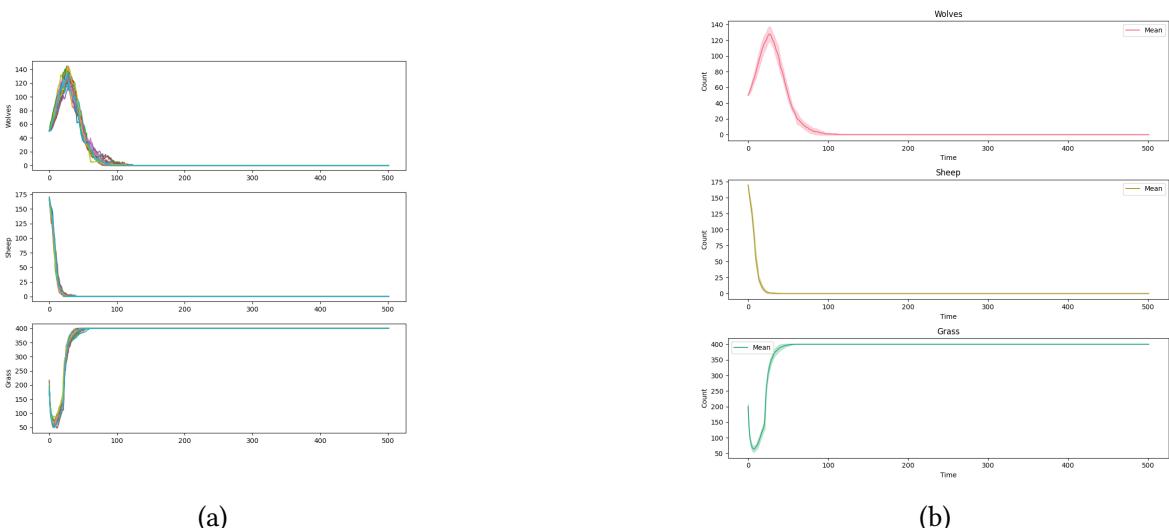


Figura 3: Resultados para as condições iniciais: 50 lobos e 170 ovelhas

Ao analisar a figura 3, podemos observar que estas condições iniciais apresentam um comportamento muito próximo do determinístico. No início, pode haver algum desvio, mas a longo prazo, o comportamento do sistema torna-se previsível, sem qualquer erro. Isto é evidente, pois em todas as simulações realizadas, ambas as espécies acabaram por se extinguir.

Decidimos incluir este resultado porque estamos perante um caso de *overpopulation*. Observamos que a quantidade excessiva de ovelhas leva ao esgotamento da erva, impedindo a sua reprodução. Simultaneamente, a abundância de ovelhas permite que os lobos prosperem inicialmente. No entanto, a superpopulação de lobos resulta no esgotamento das ovelhas. Sem ovelhas, a relva volta a crescer, mas a população de lobos, que atingiu um pico máximo, começa a diminuir por falta de alimento. Consequentemente, ambas as espécies acabam por se extinguir.

Verificamos que esses casos ocorrem sempre que a população inicial de lobos é superior a 90 indivíduos, independentemente da quantidade de ovelhas. Além disso, situações similares acontecem quando a população inicial de lobos é superior a 30 indivíduos e a de ovelhas é superior a 90 indivíduos.

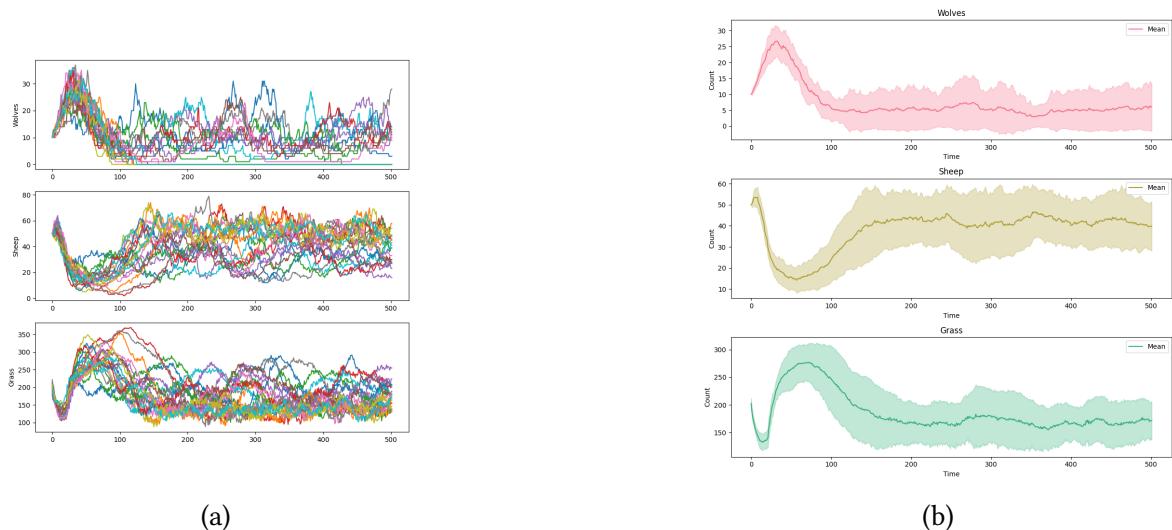


Figura 4: Resultados para as condições iniciais: 10 lobos e 50 ovelhas

Em todos os gráficos mas especialmente no 4 é visível que o pico dos lobos sucede o pico das ovelhas e quando os lobos começam a decair as ovelhas começam a aumentar. Este comportamento é facilmente ilustrado pelo seguinte esquema 5

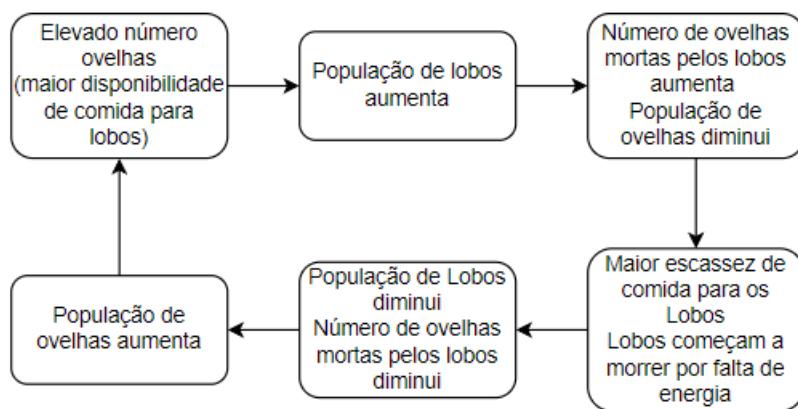


Figura 5: Explicação da interação oscilatória entre lobos e ovelhas

Com este gráfico, podemos verificar que a coexistência das espécies é possível, desde que sejam cumpridas as condições adequadas.

4.2. Exploração das taxas de reprodução

Nesta secção pretendemos estudar a forma como as taxas de reprodução das populações de lobos e de ovelhas influenciam o sistema ao longo do tempo.

4.2.1. Taxas de reprodução menores que 10%

Uma das primeiras conclusões facilmente perceptíveis é que, se a taxa de reprodução dos lobos for superior a aproximadamente o dobro da taxa de reprodução das ovelhas, os lobos acabam por morrer. Esta observação é sustentada pela Figura 6a e 7a.

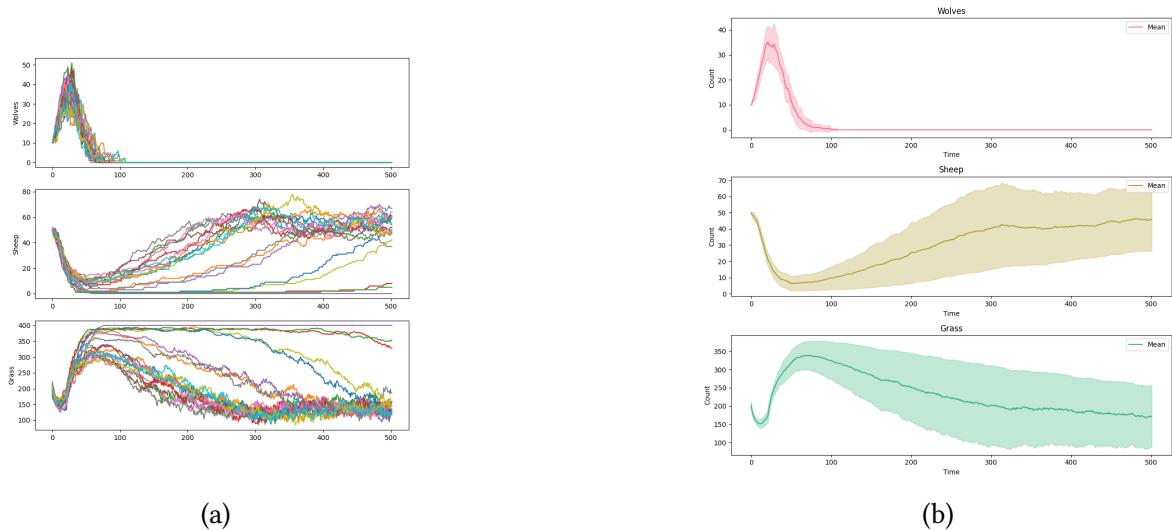


Figura 6: Resultados para as condições iniciais de reprodução: 0.09 para lobos e 0.01 para ovelhas

No caso da figura 6 existe um elevado desvio na quantidade de ovelhas mas se aumentarmos a sua taxa de reprodução conseguimos obter uma quantidade populacional de ovelhas mais estável como é visível na figura 7

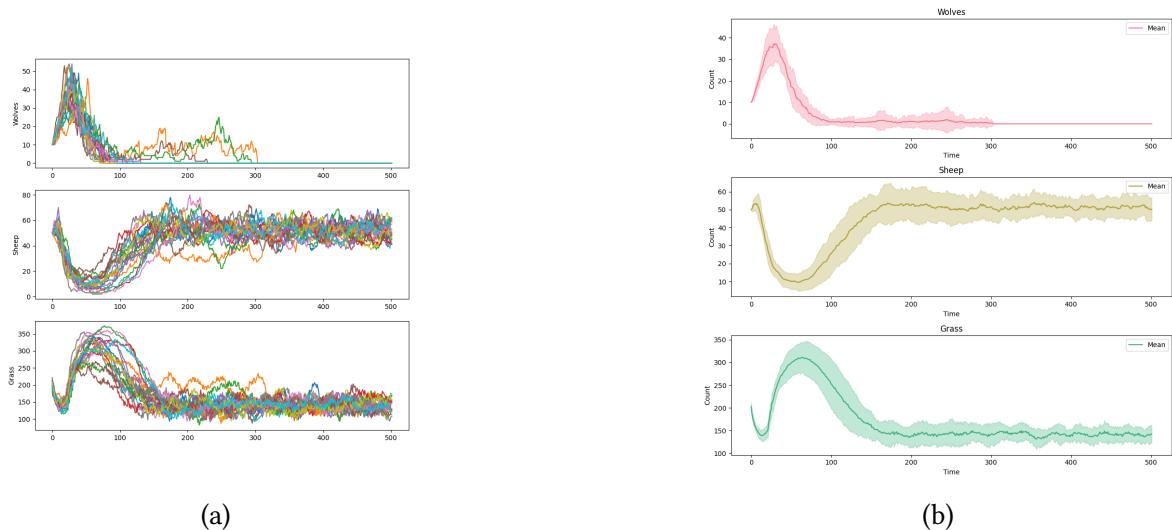


Figura 7: Resultados para as condições iniciais de reprodução: 0.09 para lobos e 0.04 para ovelhas

Com os parâmetros utilizados na experiência 8a foi possível obter um número aproximadamente estável de ovelhas e de lobos verificando-se a oscilação descrita no esquema 5.

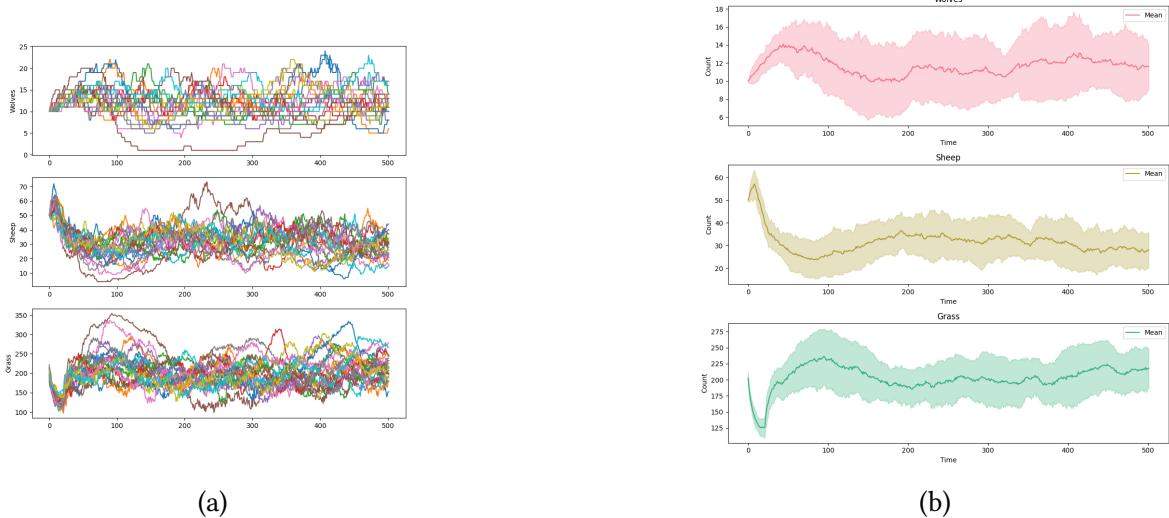


Figura 8: Resultados para as condições iniciais de reprodução: 0.01 para lobos e 0.05 para ovelhas

Em nenhum dos casos desta experiência foi verificada a extinção completa das ovelhas, possivelmente porque a taxa de reprodução das ovelhas é suficientemente baixa para permitir a fácil reposição de comida. Neste cenário, basta que uma ovelha sobreviva para repopular a sua espécie.

4.2.2. Taxas de reprodução maiores que 10%

Para todas as seeds em que os lobos têm uma taxa de reprodução superior a 0.3%, observamos a extinção dos lobos, como podemos ver nas Figuras 9 e 10. Esta evidência é mais facilmente visível para condições iniciais em que a taxa de reprodução dos lobos é superior a 0.5%.

Consideramos que as seeds que sobrevivem na Figura 9a são casos de mera sorte, indicando que o sistema é altamente sensível. Ainda assim, esta sobrevivência não se verifica a longo prazo.

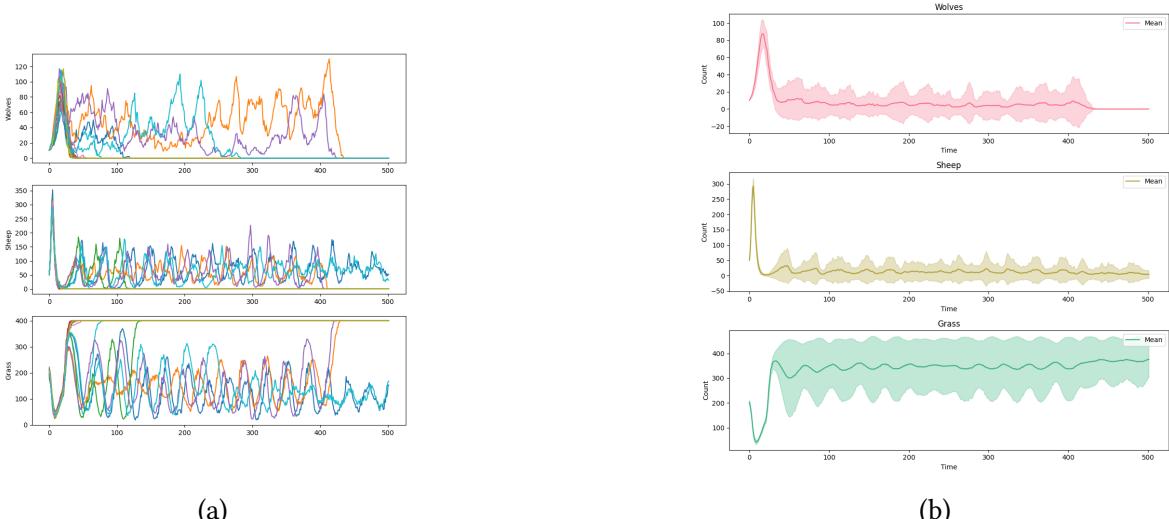


Figura 9: Resultados para as condições iniciais de reprodução: 0.2 para lobos e 0.7 para ovelhas

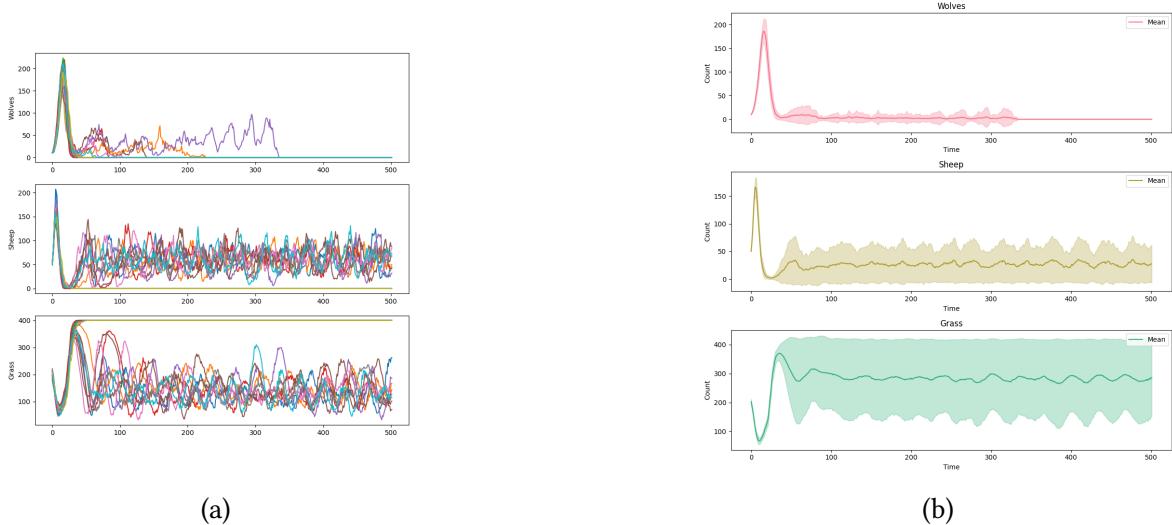


Figura 10: Resultados para as condições iniciais de reprodução: 0.3 para lobos e 0.4 para ovelhas

Salvo raras exceções, ocorre a extinção de ambas as espécies quando a taxa de reprodução das ovelhas é superior a 0.5%, como podemos ver na Figura 11. Isto acontece pelas mesmas razões discutidas nas secções anteriores: a reprodução excessiva das ovelhas leva a um aumento descontrolado da sua população, que acaba por consumir todo o alimento disponível. Sem energia, as ovelhas não conseguem sobreviver, resultando na extinção da espécie. Consequentemente, os lobos, sem ovelhas para caçar, também ficam sem alimento e acabam por se extinguir.

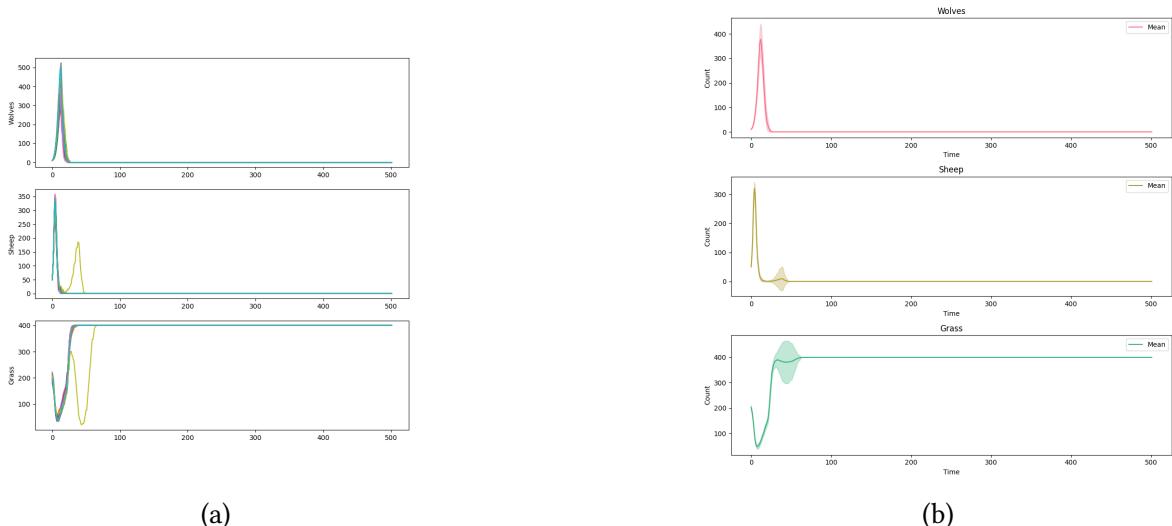


Figura 11: Resultados para as condições iniciais de reprodução: 0.5 para lobos e 0.8 para ovelhas

4.3. Exploração da energia ganha pela comida

Algo facilmente perceptível é que se a energia obtida a partir da comida for demasiado baixa, o agente acabará por morrer, a menos que haja uma elevada abundância de comida para compensar essa falta de energia. No caso dos lobos, se estes ganharem uma energia inferior a 10, acabarão por ser extintos, como pode ser verificado na Figura 12.

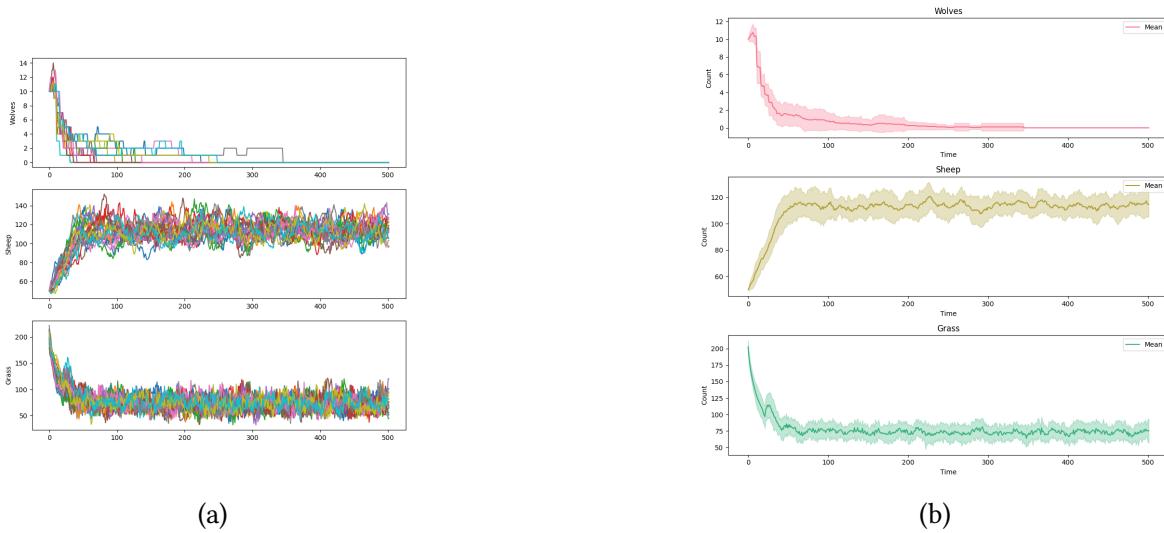


Figura 12: Resultados para as condições iniciais de energia: 5 para lobos e 7 para ovelhas

Quando a energia obtida pelas ovelhas varia entre os valores 3 e 5, e a energia obtida pelos lobos varia no intervalo entre 10 e 25, é possível observar uma estabilização no número das espécies, como verificado na Figura 13.

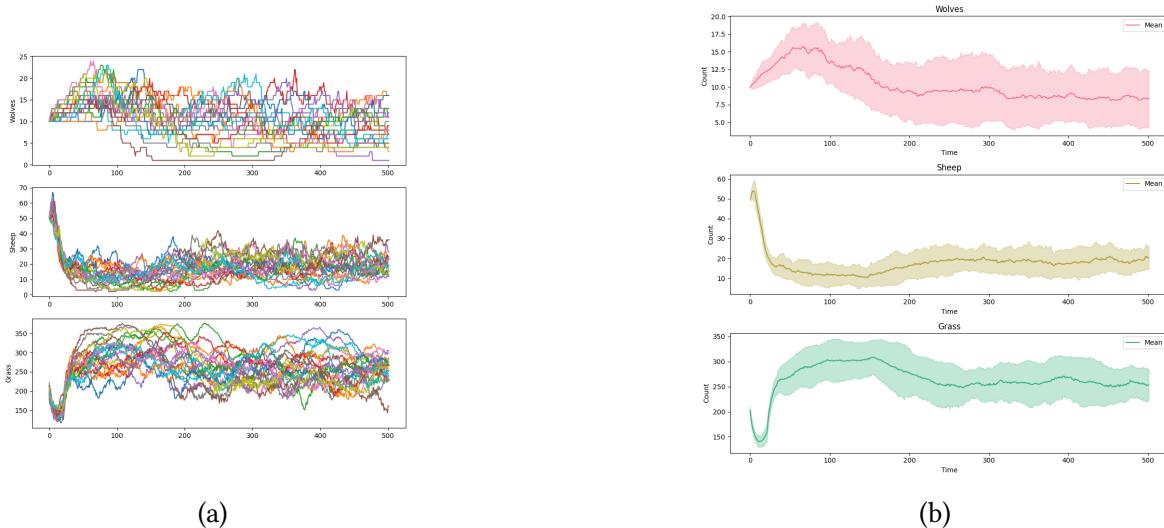


Figura 13: Resultados para as condições iniciais de energia: 35 para lobos e 3 para ovelhas

Nas experiências realizadas, observamos o comportamento oscilatório presente no gráfico 14. Este comportamento surgiu apenas quando a energia obtida pelos lobos era 15 ou 20, e a energia obtida pelas ovelhas era 7 ou 9. Estes valores permitem que os agentes armazenem energia suficiente para manter a espécie em momentos de escassez de comida, mas não são tão elevados a ponto de causar superpopulação.

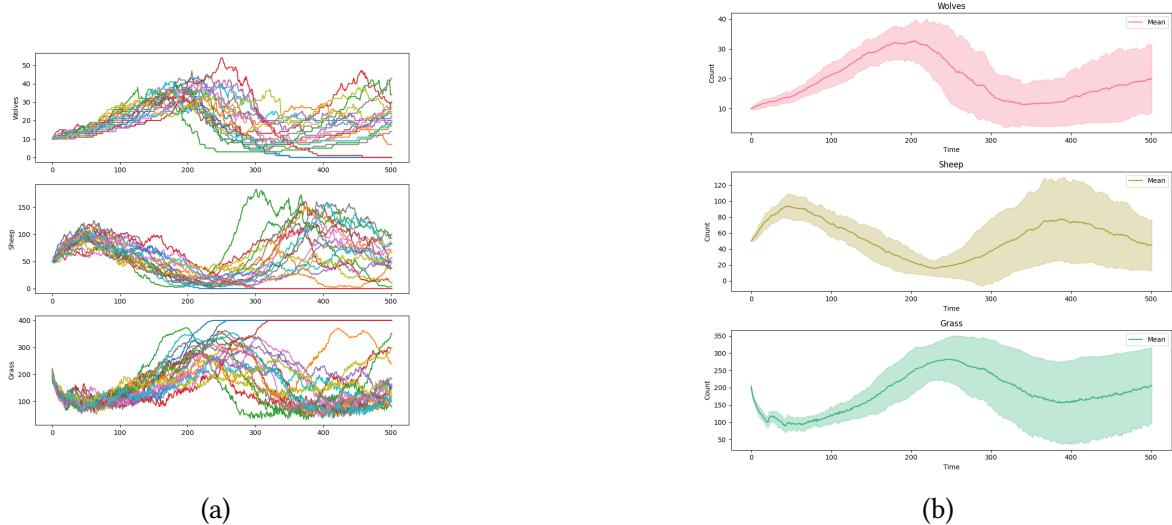


Figura 14: Resultados para as condições iniciais de energia: 15 para lobos e 9 para ovelhas

Em sequência à figura anterior 14, se aumentarmos demasiado a energia obtida pela comida no caso dos lobos, estes serão capazes de se manter vivos por mais tempo, caçando todas as ovelhas disponíveis, o que eventualmente levará à extinção de ambas as espécies, como é visível na figura 15.

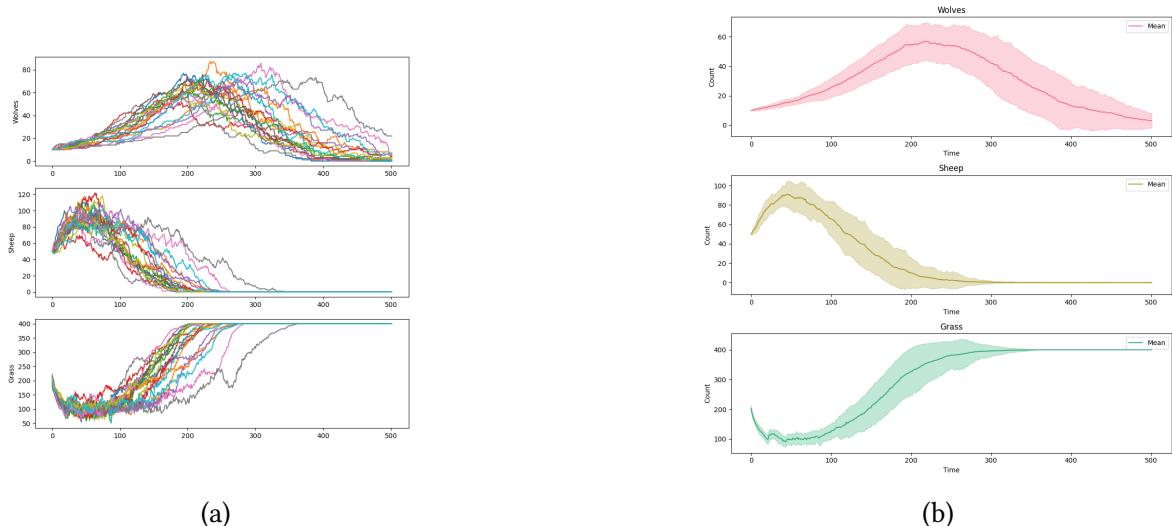


Figura 15: Resultados para as condições iniciais de energia: 35 para lobos e 9 para ovelhas

4.4. Taxa de reprodução de acordo com a energia

Esta modificação, apesar de adicionar uma nova camada de complexidade e realismo ao modelo, não parece ter diferenças notórias com os resultados obtidos quando a taxa de reprodução era fixa. No caso do gráfico que apresentamos a seguir na Figura 16, à exceção de uma redução nos desvios da população dos lobos, a distribuição da população é semelhante à que obtivemos na Figura 13.

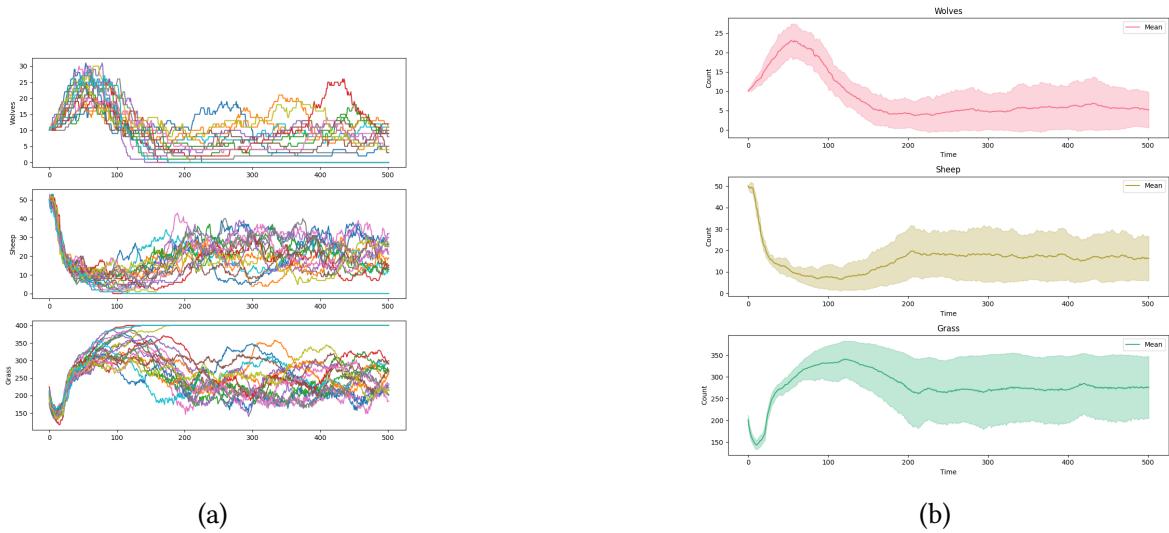


Figura 16: Resultados do modelo com inclusão da energia dos agentes

4.5. Taxa de reprodução segundo a idade

Na figura 17, podemos observar que nas primeiras gerações o tamanho da população dos lobos permanece constante. Isto ocorre porque no início, todos os lobos têm a mesma idade e ainda não atingiram a idade reprodutiva. Enquanto isso, as ovelhas, incapazes de reprodução e ainda sob a ameaça dos predadores, experimentam uma diminuição na sua população durante este período, já que os lobos continuam a necessitar de se alimentar.

Por volta da geração 180, observamos um decréscimo na população de lobos, possivelmente devido ao fato de que a maioria dos lobos atingiu a idade de esterilidade. Mais próximo da geração 330, notamos uma quebra abrupta na população de lobos, que pode ser atribuída ao fato de que a maioria dos lobos chegou ao fim da sua vida.

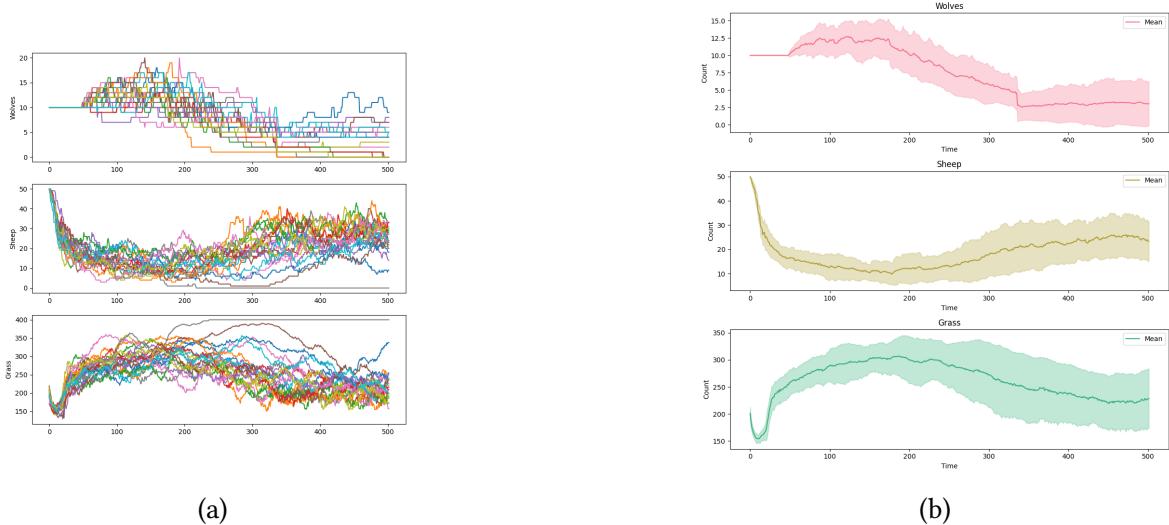
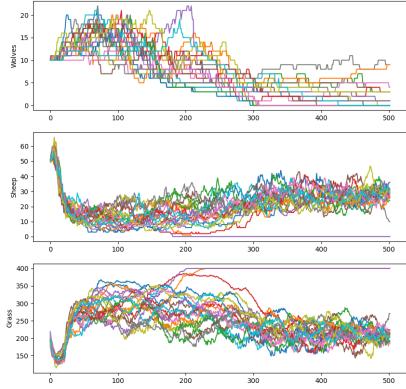


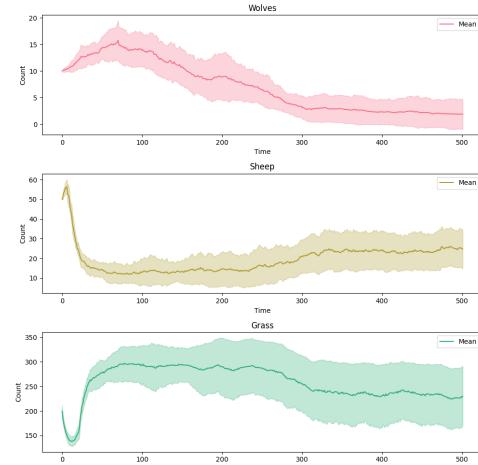
Figura 17: Resultados do modelo com inclusão da idade dos agentes. Todos com a mesma idade.

De forma a contornar os problemas da modelação anterior, optamos por iniciar as populações com idades aleatórias. Na figura 18, apresentamos os resultados dos novos ajustes.

Neste caso, observamos uma curva semelhante à anterior, porém mais suave e sem os problemas anteriores, muito semelhante à figura 13 (experiência sem estas novas regras, com a mesma parametrização). No entanto, notamos que os lobos têm uma tendência para a extinção. Tal comportamento pode ser atribuído ao aumento da pressão seletiva sobre os lobos, além da influência da energia alimentar.



(a)



(b)

Figura 18: Resultados do modelo com inclusão da idade dos agentes. Idades aleatórias

5. Conclusão

Neste estudo, investigamos a dinâmica predador-presa em sistemas complexos, utilizando um modelo baseado em agentes. Através de simulações computacionais, exploramos a influência de diferentes parâmetros, como a quantidade inicial de indivíduos, as taxas de reprodução e a energia obtida pela comida, na sobrevivência e na coexistência das espécies.

Os nossos resultados destacam a sensibilidade do sistema às condições iniciais e aos parâmetros definidos. Verificamos que pequenas alterações nestes parâmetros podem levar a diferentes resultados, desde a coexistência estável das espécies até a extinção de uma ou ambas as populações.

Ao analisar a influência da quantidade inicial de indivíduos, observamos que a superpopulação de uma espécie pode levar à extinção mútua de predador e presa. No entanto, condições iniciais adequadas podem resultar numa coexistência sustentável das espécies, caracterizada por oscilações periódicas na abundância populacional.

Além disso, investigamos o impacto das taxas de reprodução e da energia obtida pela comida. Descobrimos que taxas de reprodução desproporcionais entre predador e presa podem levar à extinção de uma ou das duas espécies. Da mesma forma, a quantidade de energia obtida pela comida influencia significativamente a sobrevivência das populações, sendo essencial para manter um equilíbrio ecológico.

Finalmente, introduzimos modificações ao modelo, como a implementação de taxas de reprodução dependentes da energia e da idade dos indivíduos, visando aumentar a complexidade e o realismo do sistema.

Em suma, este estudo destaca a importância da compreensão dos mecanismos subjacentes que regem a dinâmica predador-presa em sistemas complexos. As nossas descobertas fornecem insights valiosos para a conservação e preservação da biodiversidade, ressaltando a necessidade de uma abordagem multidisciplinar para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos.

6. Acknowledgments

O código utilizado no presente projeto foi baseado no Projeto Mesa. Utilizamos o ChatGPT para correção ortográfica e restruturação de algumas frases. Algumas decisões foram baseadas nas orientações dos docentes da cadeira de Sistemas complexos: João Simões & Tiago Baptista