

## PROJETO 1 – DINÂMICA POPULACIONAL

---

### **ORIENTAÇÕES INICIAIS**

Ao longo deste texto, você vai encontrar as instruções para o Projeto 1 de Modelagem e Simulação. Elas estão divididas de acordo com as entregas que você terá de realizar até a apresentação final, que ocorrerá nos dias 24 e 28 de março. Antes de detalhar cada entrega, porém, vamos apresentar algumas orientações mais gerais.

O Projeto 1 será predominantemente individual. Isso não significa que você não possa conversar com seus colegas sobre seu trabalho; pelo contrário, nós encorajamos fortemente a colaboração. Mas isso quer dizer que você próprio deverá ter feito cada etapa da tarefa que lhe foi designada. Quando colaborar com colegas, reporte na sua entrega: “colaborei com o aluno XXX”. Nos Projetos 2 e 3, você trabalhará com outros alunos. Porém, neste primeiro projeto, temos como meta garantir que você domine todas as ferramentas básicas de que precisará ao longo do curso.

A escolha do tema e as tarefas do primeiro projeto serão mais dirigidas do que as dos próximos. Em outras palavras, você terá menos flexibilidade no Projeto 1 do que nos Projetos 2 e 3. A vantagem disso é que, além de você experimentar menos frustração (esperamos), poderemos orientá-lo melhor em relação às dificuldades que forem surgindo em cada etapa do ciclo de modelagem.

O modo como estruturamos os três projetos do curso neste segundo ano, mesmo tendo uma lógica por trás, é uma experiência. É provável que algumas coisas não saiam exatamente como planejamos. Quando isso acontecer, nós gostaríamos de ouvi-lo sobre isso, para podermos tentar, juntos, corrigir o rumo da melhor maneira possível.

### **CONTEXTO: VIEIRAS<sup>1</sup>, TUBARÕES, RAIAS... AH, MEU DEUS!**

Nos últimos anos, as populações de tubarões caíram significativamente, devido, provavelmente, tanto à pesca dos próprios tubarões quanto à sua morte como consequência da pesca de outras espécies (ver, por exemplo, *Baum et al.* em *Science*, 17 de janeiro de 2003). Essa queda é considerada particularmente preocupante, uma vez que os tubarões levam um longo tempo para se tornarem adultos e tendem a ter taxas de reprodução baixas.

Um artigo publicado há alguns anos (*Myers et al.*, em *Science*, 30 de março de 2007) sugere que a diminuição das populações de tubarões pode ter impactos mais generalizados e imprevisíveis sobre a pesca. Parece que, com a queda das populações de tubarões, as populações de suas principais presas - particularmente as raias, como o gavião-do-mar - cresceram

---

<sup>1</sup> As vieiras são uma espécie de ostra, consideradas um refinado alimento.



Figura 1 – Gavião-do-mar (*Rhinoptera bonasus*)

substancialmente. Estas raias, por sua vez, são predadoras de certas espécies de vieiras e ostras. Experimentos ao longo da costa da Carolina do Sul, nos Estados Unidos, sugerem que a explosão das populações do gavião-do-mar e outras espécies semelhantes pode, de fato, ser responsável por danos significativos às populações de vieira. Não é difícil imaginar uma situação em que a queda brusca da população de tubarões leve primeiro a um colapso da população de moluscos, seguido, eventualmente, por um colapso da população raias.

Este efeito, mais geralmente chamado de **cascata trófica**, foi observado em uma grande variedade de ecossistemas, em particular nos ecossistemas marinhos.

### **DESCRIÇÃO DO PROJETO**

Este projeto consiste na criação de um modelo para um sistema físico envolvendo vieiras, tubarões e raias, e o uso desse modelo para fazer algum tipo de trabalho (ou seja, para responder uma questão explicativa, preditiva ou relacionada à determinação dos parâmetros ideais para um sistema). Você deverá (i) fazer uma pesquisa geral do que já foi publicado sobre o assunto para tentar entender melhor o sistema. Também vai (ii) pensar sobre as diferentes questões que você poderia investigar sobre o sistema, e o que essas perguntas podem significar para a construção do seu modelo. Será necessário ainda (iii) abstrair, (iv) implementar e (v) validar um ou mais modelos para o sistema. E, finalmente, você vai (vi) produzir um conjunto de *elementos* de um cartaz, com aparência profissional, que possa ser apresentado para responder à pergunta que você escolheu investigar.

## 1 ENTREGA 1: INVESTIGAÇÃO GERAL (TRABALHO INDIVIDUAL)

Faça uma pesquisa razoável sobre o trabalho que já foi feito em torno deste sistema físico (Tubarões – Raias – Vieiras). Você deve procurar tanto em artigos científicos (revistas de divulgação científica e conferências que contam com revisão por pares), quanto na imprensa nacional ou internacional. Não se esqueça que a literatura científica é publicada predominantemente em inglês, e por isso não restrinja sua busca unicamente à informação em português.

Quais são algumas das características essenciais desse sistema? Que tipo de dados estão disponíveis? Que abordagens de modelagem as pessoas têm usado? Que hipóteses são feitas para estudar o sistema? Em quais aspectos parece haver consenso? E divergências?

### ***O QUE DEVE SER ENTREGUE***

Criar um documento intitulado "Pesquisa Geral" para registrar suas descobertas. O documento deve incluir o seguinte material:

- Uma lista de 5 ou mais fontes de informações sobre o sistema - sites, artigos, etc. Cada fonte deverá ser acompanhada por um breve resumo (cerca de um parágrafo) descrevendo seu conteúdo. Não esqueça de anotar os dados, experiências, modelos, etc. que constam naquela fonte.
- Um resumo do que você aprendeu sobre o sistema. Diagramas, gráficos, equações e listas de tópicos são muito apropriados aqui; seu objetivo é basicamente tentar reunir as principais informações que as diferentes fontes trazem.

Envie o seu documento pelo Blackboard até o início da aula de 25/02 e traga também uma cópia impressa para a aula desse dia.

## 2 ENTREGA 2: POSSÍVEIS PERGUNTAS SOBRE O SISTEMA E IDEAÇÃO DO MODELO (TRABALHO EM GRUPO)

Em sala de aula, no dia 25/02, nós vamos compartilhar as informações levantadas na investigação geral e pensar em possíveis perguntas e modelos. Cada grupo será responsável pela produção de dois cartazes, cujos modelos serão fornecidos.

### ***O QUE DEVE SER ENTREGUE***

Nada. Basta afixar os cartazes produzidos.

### 3 ENTREGA 3: SELEÇÃO DA PERGUNTA A SER RESPONDIDA E CRIAÇÃO DO MODELO (TRABALHO INDIVIDUAL)

Ao pensar sobre as questões que podem ser respondidas a partir de um modelo do sistema considerado, você provavelmente percebeu que há uma estreita relação entre a questão formulada e o modelo que será construído. Como ponto de partida para a modelagem, vamos pedir para você construir um modelo de três estoques (tubarões, raias e vieiras). Não faremos isso porque um modelo de três estoques é *necessariamente* certo; ao contrário, é porque um modelo de três estoques é o mais simples que podemos pensar para este sistema.

#### **PERGUNTAS POSSÍVEIS**

Uma vez que, inicialmente, nós estamos limitando o trabalho a um modelo de três estoques, é preciso identificar alguma coisa útil que você possa fazer com um modelo desse tipo. Escolha uma pergunta que você ache interessante, e que, a princípio, seja possível de responder com um modelo de três estoques. A pergunta pode estar relacionada à explicação ou à previsão do comportamento do sistema, ou ainda à parametrização do sistema.

#### **CRIAÇÃO DO MODELO QUALITATIVO: DIAGRAMA DE ESTOQUES E FLUXOS**

Crie um diagrama de estoques e fluxos qualitativo para o modelo de três estoques (não é necessário indicar valores numéricos de taxas).

O diagrama deve mostrar efeitos e interações que você acha que são importantes, com base na sua investigação geral. Por isso, não se esqueça de incluir informações relevantes (fluxos, variáveis exógenas, funções, parâmetros, etc.) à medida que for construindo o diagrama. Utilize adequadamente as representações vistas para diagramas de estoques e fluxos em seu diagrama.

Inclua uma legenda para o seu diagrama que explique o que está sendo mostrado.

O diagrama e sua legenda devem ser suficientemente claros de modo que alguém que conheça diagramas de estoques e fluxos, mas não saiba nada sobre o sistema, possa interpretá-los corretamente.

#### **CRIAÇÃO DO MODELO QUALITATIVO: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS FUNÇÕES E INTERAÇÕES**

Agora que você já identificou as diferentes interações que ocorrem no sistema, tente esboçar qualitativamente as relações descritas por essas funções (por exemplo, se você estivesse modelando uma população de onças e assumisse que a taxa de natalidade era dependente do tamanho da população, devido à oferta limitada de alimentos, poderia incluir o esboço de um gráfico da taxa de natalidade das onças em função da sua população). Inclua uma legenda para cada gráfico construído.

#### **CRIAÇÃO DO MODELO QUANTITATIVO: EQUAÇÕES A DIFERENÇAS**

A partir do seu diagrama de estoques e fluxos, escreva um conjunto de equações a diferenças que represente o sistema. Inicialmente, você deve escrever uma equação por estoque e um termo por fluxo.

Proponha uma função matemática para cada fluxo. Algumas dessas funções poderão ser bem simples. Para exemplificar isso, vamos tomar o caso da modelagem de uma população de onças. O fluxo de onças

que nascem por ano é dado por  $f \cdot O(t)$ , em que  $f$  é a função a que estamos nos referindo e  $O(t)$  é a população de onças no instante  $t$ . Se a taxa de natalidade for igual a uma constante  $p_n$ , ou seja, se ela não depender de outros fatores como a população total de onças ou uma variável exógena, então a função  $f$  será dada por  $f = p_n$ . Em outros casos, essa função pode ser bem mais complexa, dependendo explicitamente de variáveis exógenas. Ao escolher cada função, justifique sua escolha com base nas representações esquemáticas descritas no item anterior.

Simplifique suas equações a diferenças reduzindo os termos semelhantes e nomeando novos parâmetros e funções. Por exemplo, considere a equação a seguir, em que  $O$  é a população de onças,  $p_n$  é a taxa de natalidade e  $p_m$  é a taxa de mortalidade.

$$O(t + 1) = O(t) + p_n O(t) - p_m O(t)$$

Reduzindo os termos semelhantes e fazendo  $\beta = p_n - p_m$ , obteríamos:

$$O(t + 1) = (1 + \beta) \cdot O(t)$$

Note que  $\beta$  representa a taxa de crescimento vegetativo (nascimentos menos mortes) da população de onças.

#### **criação do modelo quantitativo: escolha dos parâmetros**

Para implementar suas equações, você precisará escolher os valores dos parâmetros que irá usar.

Faça uma tabela que descreva os parâmetros do seu modelo. A tabela deverá ter uma linha por parâmetro e as seguintes colunas: símbolo do parâmetro, nome, valor aproximado ou faixa de valores, unidades, significado e justificativa.

Por exemplo, considere a equação a diferenças usada para descrever a população de alces da Ilha Royal:

$$A(t + 1) = A(t) + \beta \left(1 - \frac{L(t)}{L_c}\right) \cdot A(t)$$

Neste caso, você poderia ter as seguintes entradas na sua tabela:

Símbolo	Nome	Valor / Faixa	Unidade	Significado	Justificativa
$\beta$	Taxa de crescimento vegetativo dos alces	0,01 a 0,04	Filhotes de alce por alce, por mês	Diferença entre os números de alces que nasceriam e morreriam caso não houvesse lobos	Um valor de 0,025 seria consistente com uma taxa de predação dos lobos de 1 alce por lobo, por mês (como mostrado pelos dados). Além disso, esse valor corresponde a um tempo de duplicação da população, na ausência de lobos, de cerca de 2,5 anos, o que seria consistente com a maioria dos casais alces ter um bebê a cada ano.

$L_c$	Densidade crítica de lobos	20 a 35	Lobos	Este é o número de lobos necessário para que a probabilidade de que um alce se reproduza seja a mesma de que ele seja devorado por um lobo. Quando $L = L_c$ , a população de alces permanece constante.	Matematicamente, o par $(A_c, L_c)$ é um ponto de equilíbrio. Olhando para os dados, o número de lobos na faixa de 20 a 35 é um palpite razoável para a situação de equilíbrio da população de lobos.
-------	----------------------------	---------	-------	--	---

Note que, nesta altura, as justificativas que você pode fornecer devem ser coerentes com os dados, com o senso comum, etc. Não se espera que você tenha encontrado os valores definitivos dos parâmetros - você está apenas tentando estimar em que faixa eles devem estar.

### ***O QUE DEVE SER ENTREGUE***

Crie um documento intitulado "Um Modelo de Três Estoques", que explique o seu modelo. Ele deve incluir uma declaração clara da questão que você pretende investigar, um diagrama do seu modelo, uma discussão sobre a natureza das diferentes interações (preferencialmente apoiada por algumas figuras), um conjunto de equações a diferenças consistente com sua discussão e uma tabela de parâmetros consistente com a discussão e com as equações a diferenças.

O diagrama, todas as figuras que você eventualmente incluir e sua tabela devem apresentar legendas.

Suas equações devem ser escritas com o mesmo formalismo matemático usado nos exemplos deste texto e cada termo nas equações deve ser explicado no seu texto.

O material deverá ser entregue até o final da aula do dia 07/03.

## 4 ENTREGA 4: IMPLEMENTAÇÃO (TRABALHO INDIVIDUAL)

Para esta entrega, você vai implementar seu modelo de cascata trófica envolvendo vieiras, raias e tubarões em um programa em PYTHON. Ter um programa computacional que simule o seu modelo permitirá que você explore mais profundamente o comportamento do modelo e inicie o processo de validação. É possível que, ao implementar o seu modelo, você precise reavaliar escolhas de modelagem que fez para entregas anteriores. Não tenha medo de rever o seu modelo! Além disso, ao implementar o seu modelo em PYTHON, lembre-se do primeiro teorema de depuração: *um código legível é um código que pode ser depurado*. Este ano temos uma novidade! Para melhor acompanhar seu aprendizado em Python, a entrega de implementação, assim como o código final do projeto 1, será avaliada em conjunto com a disciplina de Design de Software.

Nesta parte do projeto, você vai utilizar a ideia de desenvolvimento incremental da metodologia ágil, que você vem estudando em Design de Software. No âmbito deste projeto, o modelo de desenvolvimento incremental consiste das seguintes etapas:

1. Implemente uma versão simplificada do modelo de cascata trófica (por exemplo, uma primeira versão pode considerar apenas as vieiras e suas taxas de natalidade e mortalidade na ausência de raias e tubarões).
2. Faça uma previsão sobre a saída que você espera que o programa produza se o seu código estiver correto (por exemplo, um número ou um gráfico).
3. Compare a saída do seu programa com sua previsão na etapa 2. Se forem iguais, vá para o passo 4. Caso contrário, depure seu código! Examine cuidadosamente a saída do programa e olhe para cada linha dele. Quando você achar que encontrou o problema, repita o passo 3.
4. Se o seu modelo já tiver todos os recursos que você planejou, então *parabéns!* Trabalho concluído. Se não, aumente a complexidade do seu modelo, modifique o código PYTHON e volte para o passo 2.

Lembre-se das aulas de Design de Software- que, quando se faz o desenvolvimento incremental, você deve aumentar gradualmente a complexidade do modelo até que ele tenha todos os recursos desejados. Por exemplo, se na etapa 1 você decidiu criar um modelo que só contemplava as vieiras e suas taxas de natalidade e mortalidade na ausência de raias e tubarões, você pode optar, no próximo incremento, por adicionar a população de raias e a interação entre as populações de vieiras e raias.

Para começar, vamos criar o modelo descrito no passo 1 acima (aquele que considera apenas a população de vieiras e seus processos de nascimento e morte, na ausência de outras espécies). Antes de começar a programar, você deve especificar claramente as relações estabelecidas nesta versão simplificada do modelo. Diagramas de estoques e fluxos costumam ser muito úteis aqui.

Usando o iPython Notebook, interface que vem junto com a instalação do Anaconda, vamos iniciar criando um arquivo chamado *CascataTrofica.ipynb*. O código que será implementado nesse arquivo deverá criar, inicialmente, um gráfico da população de vieiras em função do tempo. No início do arquivo, você deverá indicar o resultado que espera que o modelo produza (este é o passo 2 do processo de desenvolvimento incremental, lembra?). Para modelos mais complexos, você não vai saber exatamente



como será o gráfico obtido pela simulação, mas deverá pelo menos ser capaz de intuir alguns aspectos gerais do seu comportamento, de forma que possa ter um bom palpite se a implementação do modelo está correta ou não. O arquivo conterá o seguinte código:

```
"""
Simula o modelo de cascata trófica com apenas a população de vieiras para
50 instantes de tempo (meses).
Saída esperada: o gráfico gerado deve mostrar a população de vieiras sendo
4000 no mês 1. A população de vieiras deve crescer exponencialmente até o
mês 50.
"""

import matplotlib.pyplot as plt
from pylab import *

#Este comando faz com que o gráfico fique na própria página
%matplotlib inline

T=50 # O número de meses para o qual vamos rodar a simulação

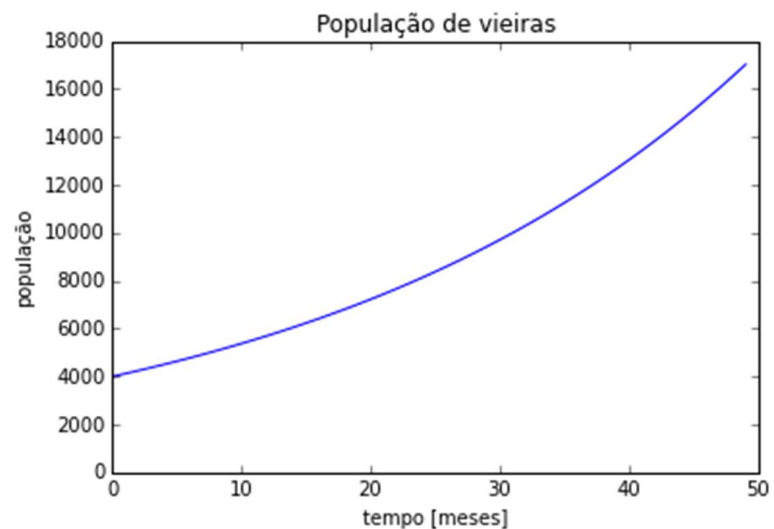
#Parâmetros:
betaV = 0.03 #a taxa de crescimento vegetativo das vieiras (unidade: vieir
as por vieira por mês)
# Estoques
pop_inicial = 4000 # população inicial de vieiras
V = [pop_inicial] # inicializa o vetor da série temporal

# Rodando a simulação!
for i in range (1,T):
    DeltaV = betaV* V[i-1] # calcula a variação na população de vieiras p
ara o próximo instante de tempo
    V = V + [V[i-1] + DelatV]

# Gerando o gráfico
tempo = range(0,T)
plt.plot(tempo, V)
plt.axis([0, T, 0, 18000])
plt.ylabel('população [Vieras]')
plt.xlabel('tempo [meses]')
title(r'População de vieiras')
plt.show()
```

Agora que você já completou sua previsão, execute o código para se certificar de que ele esteja produzindo a saída apropriada (etapa 3 do processo de desenvolvimento incremental). Por exemplo, a execução do programa acima deve gerar o gráfico ao lado.

Uma vez que o gráfico corresponde à saída esperada, podemos avançar para a etapa 4 do processo de desenvolvimento incremental: acrescentar complexidade ao nosso modelo. Para acrescentar código adicional, utilize as células de código de forma progressiva no iPython Notebook, intercalando com células de texto (células do tipo “Markdown”) para documentar seu trabalho.



Por exemplo, podemos decidir que, para a segunda versão do nosso modelo, iremos acrescentar um novo estoque para representar a população de raias e alguns novos fluxos para representar a relação predador-presa entre vieiras e raias. Como o modelo se torna mais complexo, aconselhamos que você crie testes individuais para os seus vários componentes (uma grande vantagem do iPython Notebook é que possibilita que você use as células para implementar partes do código e testá-las separadamente, aproveite esta funcionalidade!). Veja que, com a inclusão das raias, também poderíamos adicionar ao nosso modelo o efeito sobre a população de vieiras da predação realizada pelas raias.

Assim, vamos implementar a parte principal de um código que calcula a evolução das populações de raias e vieiras de forma interdependente. Por exemplo, imaginemos que as populações variem de acordo com equações a diferenças conforme o seguinte código:

```
for i in range (1,T):
    DeltaV = betaV* V[i-1]*(1-R[i-1]/Rc) # calcula a variação na população de vieiras p
    ara o próximo instante de tempo
    DeltaR = - R[i-1]*(pmR*(1-V[i-1]/Vc)) # calcula a variação na população de raias p
    ara o próximo instante de tempo
    V = V + [V[i-1] + DeltaV]
    R = R + [R[i-1] + DeltaR]
```

Onde:

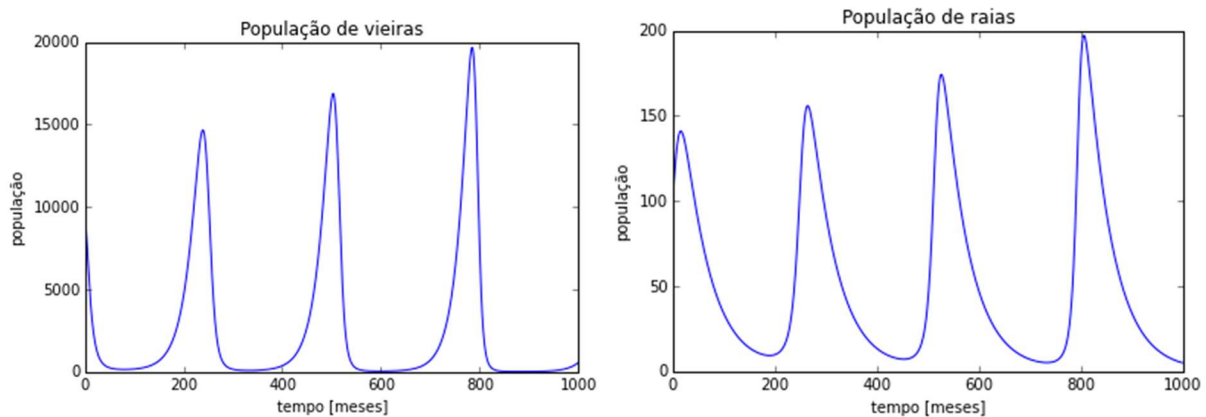
pmR: taxa de mortalidade das raias na ausência de vieiras (unidade: raias por raia por mês).

Vc: população crítica de vieiras, necessária para manter a atual população de raias. (unidade: vieiras)

Rc: população crítica de raias, necessária para manter a atual população de vieiras. (unidade: raias)

Agora você pode testar valores para os parâmetros e a quantidade de pontos na série temporal de

populações para, por exemplo, gerar gráficos como estes:



### ***O QUE DEVE SER ENTREGUE***

Você deve gerar um documento iPython Notebook que inclua pelo menos três iterações de seu desenvolvimento incremental.

Para cada iteração de desenvolvimento incremental você deverá incluir:

1. O diagrama de estoques e fluxos com uma descrição do modelo que você irá implementar para aquela etapa do ciclo de desenvolvimento incremental.
2. O código em PYTHON para esta iteração do desenvolvimento incremental.
3. Se for o caso, o código em PYTHON para alguns testes individuais que demonstram que partes do seu modelo estão funcionando corretamente.

Você deverá gerar um arquivo PDF a partir de um arquivo iPython Notebook (extensão ipynb), além do próprio arquivo iPython Notebook (2 arquivos no total, 1 pdf e 1 ipynb). O material deverá ser entregue pelo Blackboard, até o início da aula do dia 17/03.

OBS: Para gerar o arquivo PDF, utilize a impressão em PDF, pois o download como PDF do iPython Notebook pode não funcionar.

## 5 ENTREGA 5: VALIDAÇÃO (ATIVIDADE EM CLASSE)

Nós faremos uma atividade em sala de aula com foco em *validação*, ou seja, verificar se um modelo funciona nos aspectos qualitativo e quantitativo. O objetivo desta atividade é fornecer técnicas e ferramentas que serão úteis tanto para a fase de argumentação deste projeto quanto para a validação dos próximos projetos que você fará no curso. Como se trata de uma atividade em classe, você não vai ter de entregar nenhum material.

Durante a atividade, faremos a validação, passo a passo, de um modelo de dinâmica populacional envolvendo alces e lobos. Os tipos de abordagens de validação que serão tratados durante a aula são:

### **CASOS LIMITES**

Uma maneira de validar um modelo (ou, pelo menos, de validar uma implementação desse modelo) é explorar vários casos limites. Por exemplo, o que deve acontecer com os alces se não houver lobos? E se houver muitos lobos? E se a taxa de natalidade dos alces for extremamente alta? E muito baixa?

### **DIGITALIZE SEUS DADOS**

A validação muitas vezes requer que você digitalize conjuntos de dados disponíveis sobre seu sistema, de modo que você possa fazer gráficos em PYTHON que comparem os dados experimentais com aqueles gerados pelo seu modelo. Há uma série de ferramentas gratuitas disponíveis para fazer isso (por exemplo, <http://plotdigitizer.sourceforge.net/>). Usando uma dessas ferramentas, vamos digitalizar dados que serão usados na atividade de validação.

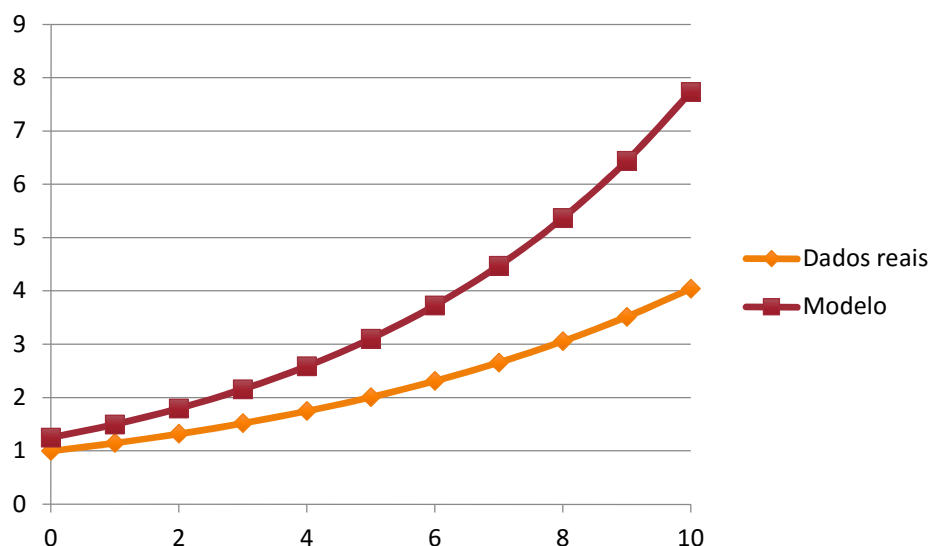
### **COMPARAÇÃO QUALITATIVA DOS DADOS**

Uma atividade de validação bastante útil consiste em fazer um ou mais gráficos que permitam observar em que grau o modelo prevê um comportamento qualitativamente consistente com o comportamento do sistema físico. Neste caso, a expressão “qualitativamente consistente” significa que o modelo e o sistema apresentam a mesma tendência de comportamento. Por exemplo, em ambos, a população mostra-se sempre crescente ao longo do tempo.

No caso da comparação qualitativa, não nos preocupamos em acertar os valores dos parâmetros. Estamos buscando verificar se existe coerência entre classes gerais de comportamento, e não fazendo um ajuste exato.

### **COMPARAÇÃO QUANTITATIVA DE DADOS**

Na comparação quantitativa, não basta que as tendências de comportamento do modelo e do sistema real sejam consistentes. É necessário também que haja consistência entre os valores numéricos. O gráfico a seguir mostra uma situação em que os dados são consistentes qualitativamente, mas não quantitativamente.



Note que isso vai exigir ajuste de parâmetros. Ao ajustar parâmetros, certifique-se de que está usando valores que estão dentro do intervalo que você identificou mais cedo.

### **LIMITES DE VALIDADE**

Um modelo claramente não vai fazer um grande trabalho de previsão do comportamento de um sistema físico para todas as situações. Por exemplo, se você quisesse fazer perguntas sobre o que poderia acontecer daqui a um milhão de anos, provavelmente o modelo não seria muito útil. Da mesma forma, se você quisesse prever o que aconteceria se houvesse apenas um lobo, um modelo que considerasse apenas a taxa de crescimento vegetativo seria impreciso, já que ele poderia prever um aumento da população quando, obviamente, é preciso haver pelo menos um casal de lobos para que nasçam lobinhos...

Vamos explorar os limites de validade do nosso modelo, em termos de tempo e das populações. Para isso, vamos ter de pensar tanto sobre o comportamento numérico do modelo, quanto sobre as hipóteses que foram incorporadas a ele.

Nós faremos uma lista de diferentes condições em que seria razoável esperar que o modelo produzisse resultados sem significado físico e discutiremos sobre por que cada condição que identificamos é um limite de validade. Por exemplo, é razoável pensar que o modelo se torna impreciso se a população de alces ficar abaixo de 5 ou 6 indivíduos, porque o modelo não leva em conta o limite de população abaixo do qual a quantidade de alces de cada sexo naquela população torna-se importante. Em seguida, vamos verificar se as condições que levantamos são mesmo críticas - como é que o modelo, de fato, se comporta nestas situações?

### **O QUE DEVE SER ENTREGUE**

Nada tem que ser formalmente entregue para essa atividade. Sinta-se livre, porém, para afixar quaisquer desenhos relevantes perto de sua mesa.

## 6 ENTREGA 6: INVESTIGAÇÃO, ITERAÇÕES E APRESENTAÇÃO (TRABALHO INDIVIDUAL)

Nesta altura do projeto, você já deve ter um modelo implementado de três estoques razoavelmente confiável em relação aos dados que ele pode gerar. Deve ter ainda alguma noção sobre as situações em que ele funciona melhor e onde não funciona bem. Além disso, tem condições de defender os valores dos parâmetros utilizados em seu modelo com argumentos relativamente fortes.

### *REVISÃO DA SUA PERGUNTA E PROPOSTA DE UMA HIPÓTESE*

Agora você está preparado para investigar a questão que selecionou no início do projeto. Antes de iniciar a execução de simulações, pense sobre a sua pergunta novamente. Você sabe mais sobre o modelo e o sistema agora do que quando selecionou a pergunta. Por isso, vale a pena questionar: ainda é a pergunta certa? Será precisa alterá-la?

Proponha uma hipótese: nesta altura do processo, qual você acha que é a resposta para a sua pergunta? Como devem ser os gráficos de séries temporais capazes de fornecer essa resposta? Figuras de mérito<sup>2</sup>? E os gráficos conclusivos?

### *INVESTIGAÇÃO*

Execute alguns testes simples com seu modelo, gerando gráficos de séries temporais que possam lhe dar dicas sobre a questão que você está investigando. As séries temporais obtidas são consistentes? O que você aprendeu com esses testes? Vá brincando com a simulação por algum tempo; certifique-se de documentar e guardar os diferentes testes que você executou.

Neste ponto, você deve escrever um código adicional que permita que você obtenha figuras de mérito (por exemplo, o tempo necessário para o sistema atingir uma determinada condição) a partir de sua simulação ou crie gráficos conclusivos. Faça também testes com este código e documente o que você descobrir.

### *NOVAS ITERAÇÕES?*

É tentador pensar que seu trabalho está praticamente pronto. E talvez esteja mesmo. Mas, muitas vezes, é neste momento que você tem clareza suficiente para dizer: "pensando bem, o jeito que construí este modelo não está correto...", ou "a pergunta que eu estou tentando responder é um pouco sem sentido..."

Pense criticamente sobre o que você tem até agora. Será que o seu modelo é capaz de fazer o que você quer que ele faça? Você precisa fazer uma nova iteração em seu modelo a fim de que ele possa responder adequadamente a sua pergunta? Se você acha que você precisa fazer uma nova iteração, que evidências existem para apoiar essa necessidade? Quais são os próximos passos? Se você acha que não será necessária mais uma iteração, justifique. Que evidências você tem sobre isso? O que você pode dizer sobre a sua pergunta?

---

<sup>2</sup> Figuras de mérito são variáveis usadas para caracterizar o desempenho de um dispositivo, sistema ou método.

## APRESENTAÇÃO PARA O PROFESSOR E ALGUNS COLEGAS

Você vai apresentar o seu projeto para um dos professores de Modelagem e Simulação e para, pelo menos, dois de seus colegas. Sua apresentação deverá durar 5 minutos, havendo outros 5 minutos para os comentários do professor e dos seus colegas. A apresentação deve conduzir o público pelos principais pontos do projeto e conter os seguintes elementos:

**1. Pergunta:** qual é o seu sistema e qual a pergunta que você tentou responder?

**2. Modelo:** quais as principais características do seu modelo? Como você justifica as abstrações que fez a partir do sistema físico para chegar ao seu modelo?

**3. Resultados / Argumento:** dependendo do resultado da reflexão crítica que você fez no item *Novas Iterações?*, seu argumento poderia conter:

(a) um gráfico de validação, que possa convencer seu público de que o modelo é razoável para responder à pergunta escolhida, uma resposta hipotética para a sua pergunta e um gráfico conclusivo que ajude a convencer o público de sua hipótese;

(b) uma explicação de por que seu modelo é limitado para responder à pergunta escolhida (preferencialmente apoiada por um gráfico que mostre onde o modelo falha), acompanhada por uma descrição de qual seria o próximo passo para melhorar o modelo ou uma pergunta revisada que possa ser mais viável de ser respondida pelo seu modelo.

## AVALIAÇÃO

Seu projeto será avaliado tanto pelo professor quanto pelos dois colegas. Todas as avaliações serão feitas por meio de um formulário on-line. Por isso, não se esqueça de trazer o computador, já que você também terá de avaliar seus colegas. Sua apresentação será avaliada nos três eixos descritos acima: pergunta, modelo e resultados / argumento. Para cada um destes eixos, você receberá uma classificação numérica de 0 a 3. Existe a tendência de tentar equiparar essas classificações numéricas com conceitos (por exemplo, 3 equivale a um A, 2 é um B, etc.). NÃO FAÇA ISSO, pois isso não vai refletir com precisão o significado das várias avaliações! Aqui está o significado das quatro diferentes classificações:

0 = Este aspecto não foi discutido.

1 = Este aspecto estava presente, mas teve alguns problemas bem sérios.

2 = Este aspecto foi apresentado de forma bastante sólida.

3 = UAU! (Haverá muito poucos 3 nesta altura do curso!)

## EXPECTATIVAS

**Preparação:** Mesmo sendo uma apresentação relativamente informal, você não deve vir despreparado. É muito importante que você ensaie a apresentação, sozinho ou na frente de seus colegas.

**Colaboração:** Nós incentivamos vocês a ajudarem uns aos outros na preparação. Sinta-se à vontade para compartilhar as ideias de seu projeto com os demais colegas. Porém, esteja seguro de que você será capaz, sozinho, de defender seus argumentos e reproduzir tudo o que pretende apresentar.

**Feedback entre colegas:** É muito importante que você seja construtivo no feedback que der a seus colegas. Uma maneira interessante de fazer isso pode ser usar declarações do tipo "Eu gostei" e "Você / Seu modelo poderia" (por exemplo, "Eu gostei de como você modelou a limitação de alimento das raias em seu modelo" ou "Seu modelo poderia conter mais efeitos de interação entre as três espécies").

Lembre-se de que a revisão de trabalhos entre colegas é uma grande oportunidade de aprendizagem tanto para quem recebe quanto para quem fornece o feedback. Por isso, dizer simplesmente que “está tudo ok” não é um feedback aceitável e não ajuda seu colega a melhorar.

### ***O QUE DEVE SER ENTREGUE***

Você deve gerar um arquivo PDF que contenha os recursos visuais (por exemplo, equações a diferenças, gráficos de validação, gráficos conclusivos, etc.) que você vai usar durante a sua apresentação e uma versão pdf e ipynb dos códigos utilizados na implementação do modelo. Não esqueça de citar adequadamente suas fontes e as pessoas com quem colaborou. Envie esse arquivo antes de sua apresentação, até às 20h do dia anterior à sua apresentação do dia 24 ou 28/03.