

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO *HUMAN AND NATURE DYNAMICAL (HANDY)* POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE MODELLUS: UMA ANÁLISE QUALITATIVA

DOI: 10.19177/rgsav8e22019296-317

Renata Cristina Cortezi Lúcio Ribeiro¹

RESUMO

O Modelo HANDY (*Human and Nature Dynamics Model*), desenvolvido em 2014 por um grupo de pesquisadores da Universidade de Minnesota e Maryland e publicado na Revista *Ecological Economics*, trouxe uma abordagem nova para o longo Modelo Predador- Presa. Um lapso de pouco mais de dois séculos separa o primeiro modelo, proposto por Thomas Robert Malthus do Modelo HANDY e, embora neste intervalo de tempo tenham havido outros modelos semelhantes, este modelou a evolução das populações de forma mais sistemática: dividiu a população entre Ricos (“Elites”) e Pobres (“Comuns”) e acrescentou outras duas grandezas, a Riqueza e a Natureza. Observando o grande crescimento demográfico, com o conseqüente aumento da Riqueza para uns, em detrimento de outros, nota-se que a sociedade padece de políticas públicas que amenizem as diferenças sociais, as quais, isoladamente analisadas, já causam severos danos à sociedade. Somada a esta diferença social, está a Natureza, predada pelo consumo exacerbado e que não tem a atenção devida nos quesitos regeneração e esgotamento. Tal problemática foi implementada neste trabalho, pelo uso do software MODELLUS, que explicitou a análise existente por detrás das fórmulas, dando uma visão geral e clara, de fácil interpretação, sendo possível, inclusive, encontrar soluções quando o desequilíbrio tiver início, antes que se chegue ao colapso. As diferentes implementações traduziram uma análise qualitativa do comportamento do Modelo HANDY, gerando cenários de riscos, que podem ser determinantes à instauração do colapso ou cenários de confiança, utilizando como variáveis a população das “Elites”, população dos “Comuns” (trabalhadores), Natureza e Riqueza.

Palavras-chave: Modelo matemático. Simulação. Desenvolvimento sustentável. Software.

¹ Acadêmica do Curso de Matemática. Unisul.
<http://orcid.org/0000-0003-4208-9739> _E-mail: renataclribeiro@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Seguindo a linha do tempo, podemos observar o aprimoramento dos modelos matemáticos que descrevem a dinâmica populacional [1]. Iniciamos no final do século XVIII, quando Thomas Robert Malthus publicou sua obra *An Essay on the principle of population*, na qual descreve o aumento exponencial da população no decorrer do tempo, sem apontar, contudo, uma limitação para o crescimento da mesma. Seguidamente, já na primeira metade século XIX, Pierre François Verhulst aprimorou o modelo Malthusiano reduzindo o crescimento exponencial, considerando que o crescimento populacional tende à estabilidade e não ao crescimento vertiginoso, pois deve ser levada em conta a existência de inibidores naturais que cerceiam o crescimento. Contemporaneamente a Verhulst, surgiu o modelo de Gompertz, o qual descreve o comportamento de populações isoladas ou que não interagem entre si. Chegamos ao século XX, trazendo o modelo de Brander e Taylor, modelo “BT”, precursor da introdução de recursos renováveis no estudo de dinâmica populacional. Tal modelo, porém, ignora a estratificação social, homogeneizando a sociedade como um todo. Ainda na primeira metade do século XX, o matemático Vito Volterra e o matemático/químico Alfred Lotka desenvolveram trabalhos individuais de suma relevância à descrição de dinâmicas de sistema Predador-Presa. Numa ponta, Volterra, com o estudo do aumento de determinada população de peixe (predador) e a diminuição da população de outra espécie de peixe (presa), por meio de equações diferenciais não lineares de primeira ordem e noutra ponta, Lotka, com o estudo da oscilação das concentrações de determinados elementos químicos, análogo à competição de populações. Unindo-se as pontas, estava descrito o Modelo Lotka-Volterra, conforme abaixo:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = (A \times x) - (B \times x \times y) \\ \frac{dy}{dt} = (-C \times y) + (D \times x \times y) \end{cases}$$

tal que:

x população de predadores

- y população de presas
- A taxa de natalidade de predadores
- B taxa de mortalidade de predadores
- C taxa de natalidade das presas
- D taxa de predação

2 HUMAN AND NATURE DYNAMICS (HANDY)

Existe grande preocupação mundial acerca do (mau) uso dos recursos naturais, da exploração desenfreada da natureza, do crescimento populacional e da concentração da renda nas mãos de poucos. Seguindo esta realidade, em 2014, um grupo de pesquisadores das Universidades de Minnesota e Maryland, publicou na revista *Ecological Economics* o modelo HANDY (*Human and Nature Dynamics Model*) [2,3], ou ainda, Modelo da Dinâmica Humana e da Natureza.

Interessante nesse trabalho foi o fato de terem enfatizado a problemática social, econômica e política, simulando a má distribuição da renda, o acúmulo de riqueza por meio da exploração dos recursos naturais e a estratificação da sociedade, controlada pela elite, em prejuízo dos mais pobres. Desta forma, HANDY permite a realização de uma análise sistemática para avaliar os diferentes casos em que um determinado sistema caminha para a sustentabilidade ou para o colapso, o qual pode ser reversível ou irreversível, lento ou explosivo. Este modelo, cujas bases se encontram no modesto Predador-Presa, é composto por um sistema mais complexo, de quatro equações diferenciais, mesclando populações dos ricos ("Elites") e dos pobres ("Comuns"), a Natureza e a Riqueza.

No modelo HANDY, predadores são representados por parte da população humana, que preda a natureza, com a exploração dos recursos naturais e do meio ambiente. Diferentemente do que ocorre com os animais, os humanos são capazes de armazenar riquezas, muitos trabalham, geram excedentes, porém o acúmulo de tais excedentes fica concentrado nas mãos das "Elites", em detrimento dos "Comuns" e, quando a produção se torna escassa, são as "Elites" beneficiadas, pois os

excedentes podem atender às suas necessidades, enquanto os "Comuns" sucumbem.

O sistema de equações de predição do Modelo HANDY é dado por:

$$\begin{cases} \frac{dx_c}{dt} = (B_c \times x_c) - (A_c \times x_c) & \text{(equação I)} \\ \frac{dx_e}{dt} = (B_e \times x_e) - (A_e \times x_e) & \text{(equação II)} \\ \frac{dy}{dt} = \gamma \times y \times (\lambda - y) - \delta \times x_c \times y & \text{(equação III)} \\ \frac{dw}{dt} = \delta \times x_c \times y - (C_c + C_e) & \text{(equação IV)} \end{cases}$$

tal que:

- x_c população de "Comuns"
- x_e população de "Elites"
- B taxa de natalidade (valor constante para "Comuns" e para "Elites")
- A taxa de mortalidade (valor variável para "Comuns" e "Elites")
- y natureza
- γ taxa de regeneração
- λ capacidade de suporte da natureza
- δ fator de esgotamento/depleção
- w riqueza acumulada
- C_c consumo dos "Comuns"
- C_e consumo das "Elites"

No conjunto, estas equações são capazes de colocar às claras o cenário da interação entre o homem e a natureza, ora em colapso ora em equilíbrio. [4]

Pode-se observar que as equações das populações dos "Comuns" e das "Elites" crescem a uma taxa de natalidade comum, (B), e diminuem a uma taxa variável com a riqueza, (A). A equação da Natureza está condicionada à regeneração ($\gamma \times y \times (\lambda - y)$) e ao esgotamento ($\delta \times x_c \times y$). Neste último, nota-se apenas a participação da população dos "Comuns", que são os únicos que produzem, enquanto

as “Elites” se encarregam de funções executivas, de gerenciamento e supervisão, não exercendo, pois, a função de extrair os recursos diretamente da Natureza. Por fim, a equação da Riqueza acumulada notoriamente aumenta com a produção ($\delta \times x_c \times y$) e diminui com o consumo ($C_c + C_e$).

Complementando as quatro equações de HANDY, têm-se, ainda, outras equações, conforme se pode observar nas seções seguintes.

2.1 Taxas de Consumo dos “Comuns” e das “Elites”

$$\begin{cases} C_c = \left(\frac{W}{W_{th}}\right) \times S \times x_c & \text{(equação V)} \\ C_e = \left(\frac{W}{W_{th}}\right) \times k \times S \times x_e & \text{(equação VI)} \end{cases}$$

Tal que:

w_{th} limite da Riqueza
 S salário de subsistência per capita
 k constante de desigualdade



Os “Comuns” consomem, no total, ($S \times x_c$), que é o salário individual multiplicado pela população de “Comuns”. Paralelamente, as “Elites” possuem k vezes o salário dos “Comuns”, daí dizer-se que seu consumo é ($k \times S \times x_e$) [2].

2.2 Taxas de mortalidade dos “Comuns” e das “Elites”

$$\begin{cases} A_c = A_{mi} + \left(1 - \frac{C_c}{S \times x_c}\right) \times (A_M - A_{mi}) & \text{(equação VII)} \\ A_e = A_{mi} + \left(1 - \frac{C_e}{S \times x_e}\right) \times (A_M - A_{mi}) & \text{(equação VIII)} \end{cases}$$

tal que:

A_{mi} taxa de mortalidade normal, com alimento suficiente para a população.

A_M taxa de mortalidade máxima; população passa fome.

2.3 Limite da Riqueza, W_{th}

$$w_{th} = (\rho \times x_c) + (k \times \rho \times x_e) \quad (\text{equação IX})$$

tal que:

w_{th} limite da Riqueza (abaixo do qual a população passa fome)

ρ consumo mínimo necessário per capita

2.4 O Fator de Desigualdade (k) e taxa de depleção (δ)

Intimamente relacionados ao comportamento do Modelo HANDY, estão estes dois fatores que, combinados, mapeiam diferentes cenários, os quais podem ser considerados ideais ou desastrosos em termos de sobrevivência ou colapso, respectivamente. Enquanto o fator de desigualdade (k), consegue prever uma sociedade igualitária (para $k = 1$) ou não igualitária (para $k > 1$), a taxa de depleção (δ) prevê o esgotamento dos recursos, reforçando a tese de que a sustentabilidade é imprescindível à medida que a população, como um todo, fica à mercê das explorações desenfreadas, e do consumismo exagerado.

A análise das sociedades, fazendo-se variar a taxa de depleção, cria cenários insólitos e reais, mostrando o quão sensível é o limiar da prosperidade e do colapso e quão importante é o usufruto dos recursos de forma sustentável e responsável [3].

3 SOFTWARE MODELLUS

O software Modellus teve como um de seus criadores, o Prof. Vitor Duarte Teodoro, da faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa [5]. Gratuito, de fácil instalação e fácil manuseio, disponível nos idiomas português, inglês, espanhol, dentre outros, o Modellus tem sido uma ferramenta versátil e eficaz na modelagem matemática. Além disso, auxilia a resolução de equações com derivadas, utilizando o método numérico de Runge-Kutta, de 4ª ordem [6]. Este tipo de

abordagem é interessante, pois facilita a resolução de equações diferenciais sem a necessidade de algoritmos complexos, bastando escrever a equação na aba “modelo matemático”. Pode ser encontrado nas versões Modellus 2.5, para WINDOWS XP, Modellus 3, para WINDOWS VISTA e Modellus 4.01 utilizado neste trabalho [7].

4 RESULTADOS OBTIDOS

Embora o artigo *Human and Nature Dynamics Model*, publicado na Revista *Ecological Economics*, tenha trazido à baila a simulação de diversos cenários, a proposta deste trabalho baseou-se em atender a um público com menor domínio da matemática, auxiliando-o na interpretação gráfica de outros cenários, corroborando assim, com a análise qualitativa e intuitiva que as curvas representam dentro de cada panorama.

Foram realizadas implementações do Modelo HANDY, por meio do software MODELLUS, tendo em vista a facilidade de visualização dos resultados das EDOs, que favorece a análise dos diferentes cenários.

5 IMPLEMENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS MODELOS

Fez-se uma análise qualitativa do comportamento de HANDY, variando-se a constante de desigualdade (k) e a taxa de depleção (δ). Foram apresentados e discutidos quatro cenários com constante de desigualdade $k = 1$ (Sociedade Igualitária, “Comuns” e “Elites” consumindo equivalentemente) e quatro cenários com constante de desigualdade $k = 1,10$ (Sociedade Desigual, $k > 1$, “Elites” consumindo dez por cento a mais que os “Comuns”). Cada constante de desigualdade foi combinada com as taxas de depleção, δ , quais sejam 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , com o passo temporal de 01 (um) ano e intervalo de tempo de 0 a 2000 (dois mil) anos, implementando-se, assim, oito possibilidades distintas, as quais permitiram, durante o estudo, prever quais sociedades tinham maiores chances de sobrevivência. As

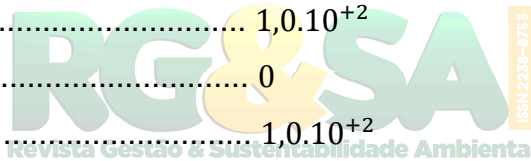
curvas de cores roxa, laranja, verde e vermelha correspondem, respectivamente, às populações dos “Comuns”, das “Elites”, à Natureza e à Riqueza.

As demais constantes empregadas nas equações vistas anteriormente mantiveram os seguintes valores já propostos no Modelo HANDY:

A_{mi}	$1,0.10^{-2}$
A_M	$7,0.10^{-2}$
B_c	$3,0.10^{-2}$
B_e	$3,0.10^{-2}$
S	$5,0.10^{-4}$
ρ	$5,0.10^{-3}$
γ	$1,0.10^{-2}$
λ	$1,0.10^{+2}$

Condições iniciais:

x_c	$1,0.10^{+2}$
x_e	$1,0.10^{+2}$
w	0
y	$1,0.10^{+2}$



Quanto às unidades empregadas usou-se, para a população de “Comuns” e “Elites”, unidades de pessoas; para o Tempo, unidades de anos e para a Natureza e a Riqueza, unidades de “eco dólares”: “A estrutura do modelo requer que Natureza e Riqueza sejam medidas com as mesmas unidades, por isso criamos a unidade eco dólar (...)”. [3]

6 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

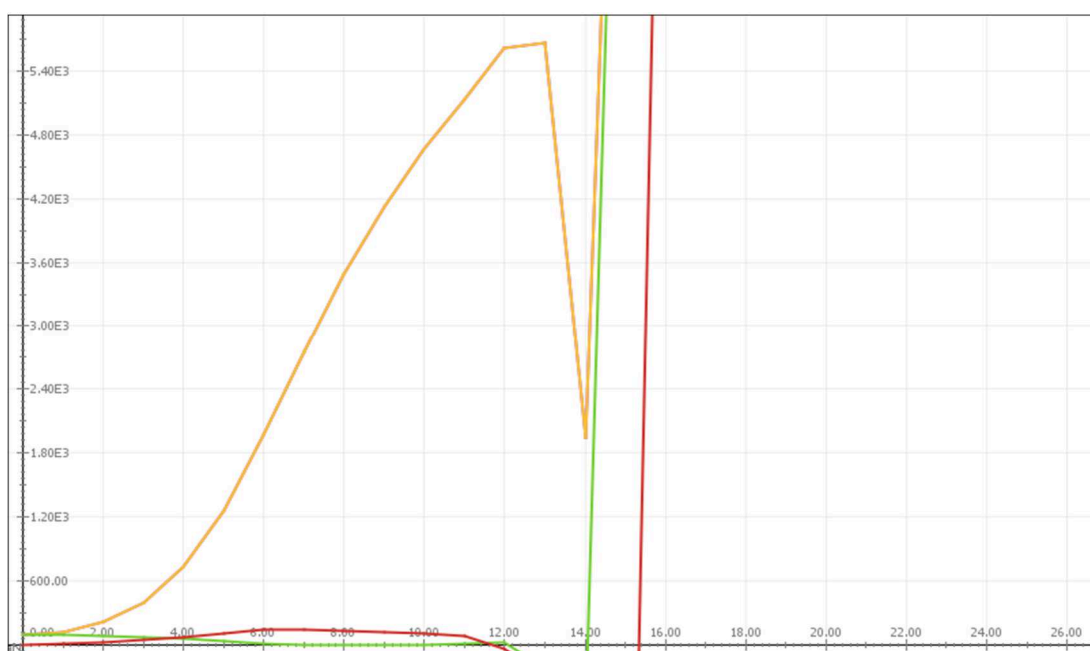
6.1 $k = 1,0$; $\delta = 10^{-3}$ e $k = 1,10$; $\delta = 10^{-3}$

Dois cenários que apresentam algumas similaridades. Pode-se notar que na figura 1, as curvas relativas às populações dos “Comuns” e das “Elites” são inicialmente coincidentes e estão sobre a linha laranja escuro, sobrepostas (fato este que se repete nos demais modelos da Sociedade Igualitária, $k = 1,0$), tendo um

crescimento vertiginoso. Instantaneamente, a Natureza vai sendo depredada e decresce, até sua completa extinção após cerca de 12,1 anos, culminando com o colapso total e indefinição do sistema, manifestadamente causados pelo esgotamento dos recursos naturais (elevada taxa de depleção), devido ao uso insustentável.

Nota-se, ainda, o incremento da Riqueza, explicado pelo aumento da população dos “Comuns”, que trabalham e geram excedentes. Porém, a Riqueza chega a termo antes da Natureza, fato este explicado pelo seu dispêndio como meio de recurso para a sobrevivência das populações, tendo em vista que os recursos já se encontravam em franco processo de escassez. Quando as populações começam a declinar, o colapso natural já se instalou no cenário.

Figura 1: $k = 1,0$; $\delta = 10^{-3}$

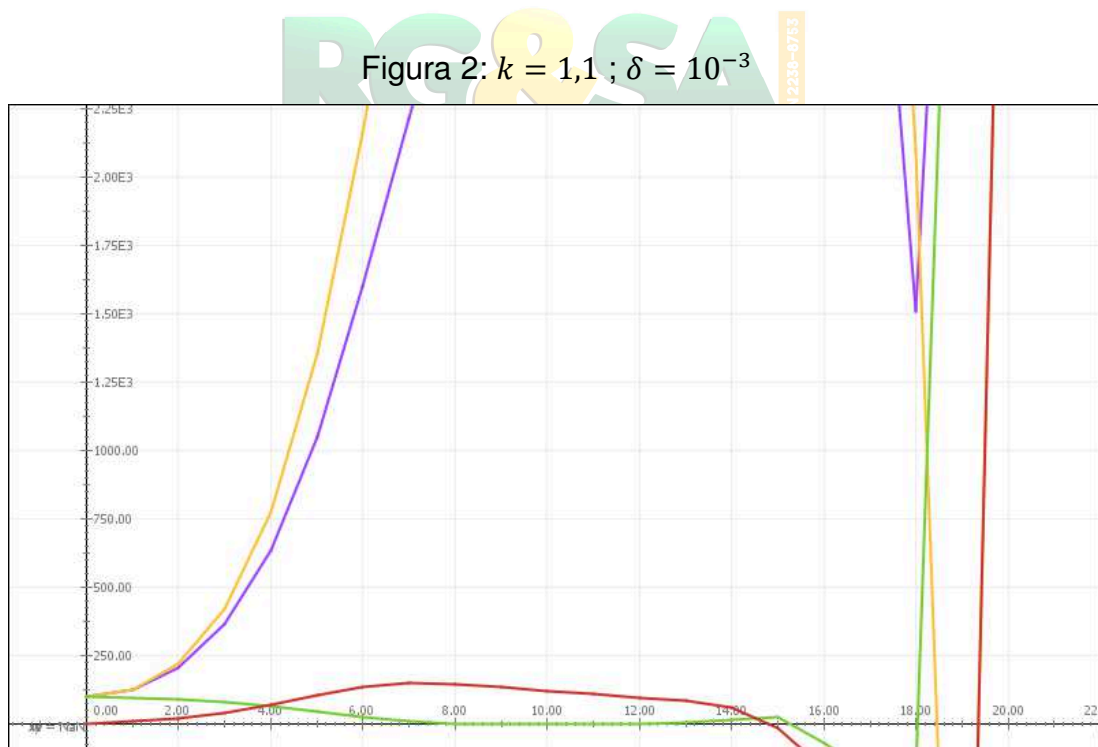


Paralelamente, na figura 2, cenário de uma Sociedade Desigual, a Natureza apresenta queda acentuada, colapsando-se por completo logo após 10 anos, fato justificado devido ao crescimento da população dos “Comuns”, que exercem suas atividades laborais, retirando da Natureza os recursos que ela oferece, sem dar-lhe condições de regeneração (elevada taxa de depleção).

Consequência da atividade dos “Comuns” é o incremento da Riqueza, o qual garante à população das “Elites” uma sobrevivência por um tempo maior. Neste cenário, as “Elites” parecem sofrer menos os impactos do desgaste da Natureza devido à riqueza, daí em se colapsarem mais tardiamente do que os “Comuns”. Nota-se que a população dos “Comuns” atinge o menor número de indivíduos em aproximadamente 18 anos e a população das “Elites” colapsa-se em pouco mais de 18 anos.

Praticamente no mesmo período em que as populações se manifestam com a maior baixa, a Natureza ressurgiu, favorecida tanto pela menor extração dos “Comuns” (que se apresentam agora em menor número), quanto pelo fato de não haver mais “Elites”, que alimentavam a extração devido ao consumismo.

Em ambos os cenários, as grandezas assumem valores negativos devido ao cálculo numérico, sujeitando o sistema a erros e forçando o colapso.



6.2 $k = 1,0$; $\delta = 10^{-4}$ e $k = 1,10$; $\delta = 10^{-4}$

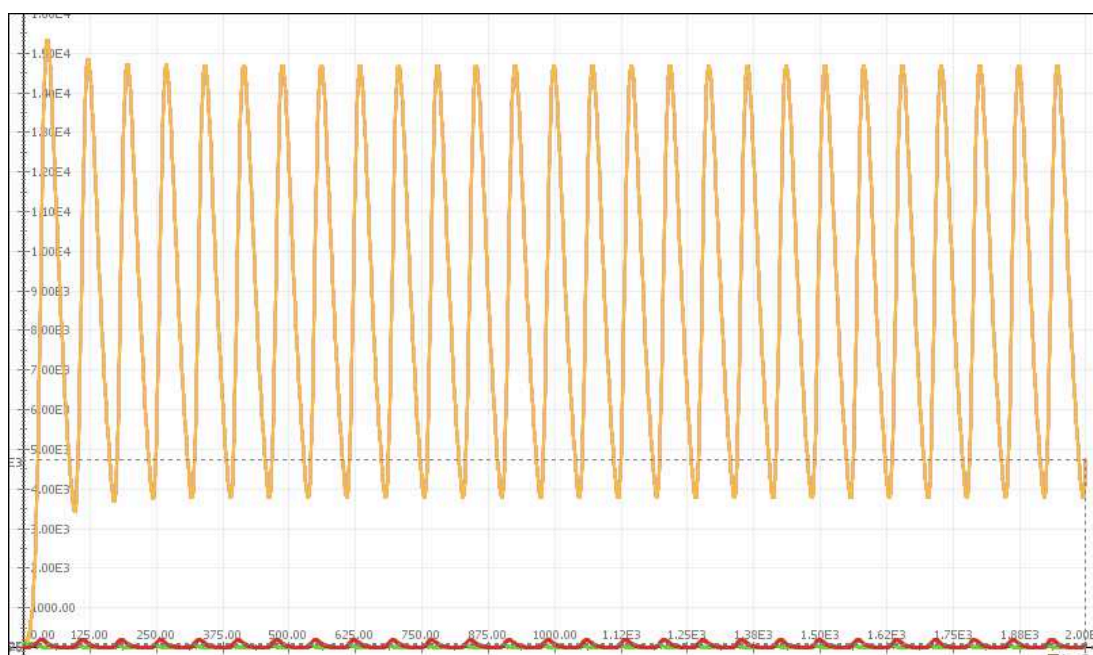
Novamente dois cenários que apresentam certa similaridade, tendo na figura 3, as populações dos “Comuns” e das “Elites” crescendo, juntamente com a Riqueza, a qual atinge o seu apogeu em, aproximadamente, 34 anos. Com o crescimento da população dos “Comuns”, é natural que o aumento da capacidade laborativa fomente a geração de Riquezas.

A Natureza, em pequeno declínio desde o início, passa a sofrer uma queda mais acentuada a partir de aproximadamente 10 anos, colapsando-se quase por completo em 65 anos. Nota-se que a Riqueza inicia seu declínio quando a Natureza já se encontra em explícita decadência, pois enquanto essa já não consegue atender às necessidades das populações, aquela serve de recursos que garantem a supervivência dos indivíduos, tendendo ao esgotamento.

Observa-se a periodicidade que envolve as populações dos “Comuns” e das “Elites”, a Natureza e a Riqueza, entre crescimentos e declínios sucessivos no decorrer dos 2000 anos analisados. O período de cada ciclo corresponde a aproximadamente 77 anos, período este que o sistema necessita para, saindo de uma fase de prosperidade, passe pela fase de iminente colapso e retorne para a fase de prosperidade.

Daqui em diante este cenário se traduz por apresentar colapsos reversíveis, num síncrono revezamento com as fases de prosperidade, situação um tanto mais aprazível em relação ao cenário anterior, tendo em vista que a taxa de depleção ficou reduzida à sua décima parte.

Figura 3: $k = 1,0$; $\delta = 10^{-4}$



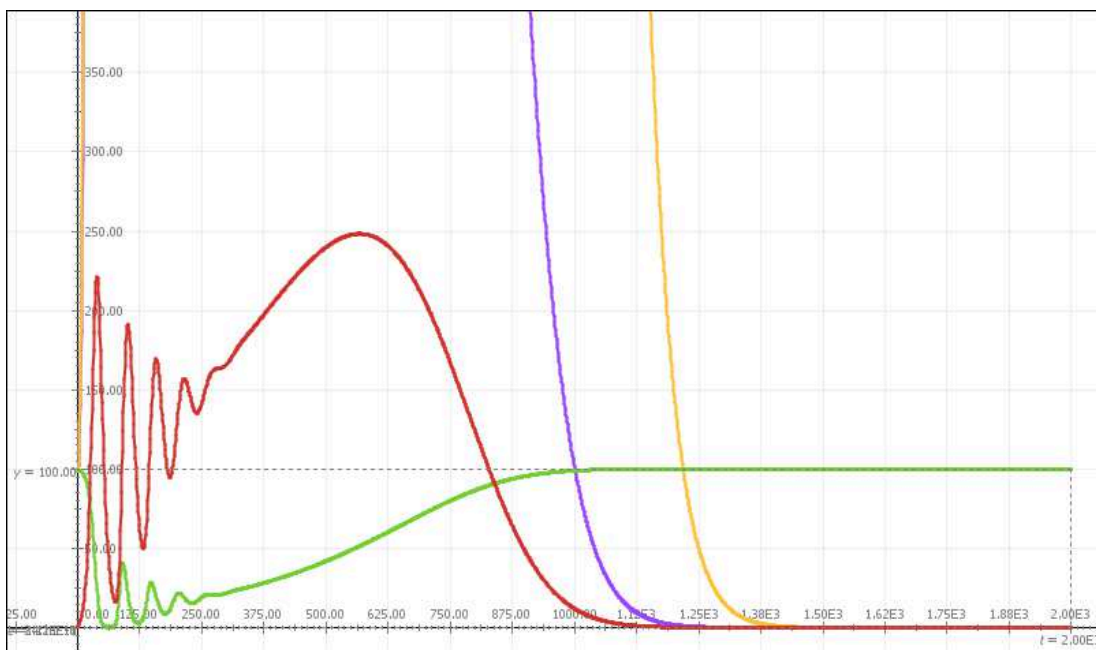
Na figura 4, um movimento oscilatório que não deu certo. Nota-se um panorama com o crescimento acentuado dos “Comuns” e das “Elites”, estas em maior destaque. No início, a Riqueza também tem progressão, fato este explicado por haver mão de obra em elevação, que faz mover a engrenagem da produção, gerando excedentes. Em contrapartida, a elevação da produção acarreta o desgaste da Natureza (taxa de depleção alta), ocasionado por diversos fatores, dentre eles o desmatamento, a emissão de gases na atmosfera e o esgotamento dos recursos naturais, desequilibrando a Natureza, fazendo com que sua queda seja inevitável, culminando no quase colapso após cerca de 60 anos. Sem Recursos Naturais, é iminente a primeira queda das populações, iniciando-se após 50 anos, tanto para os “Comuns” quanto para as “Elites”, as quais apresentam grande divergência no número máximo de indivíduos que conseguem conceber.

O lapso temporal entre o colapso da Natureza e crescimento máximo das “Elites” é consideravelmente curto e, se não fosse a Riqueza acumulada, da qual provém ainda o seu sustento, as “Elites” extinguir-se-iam num tempo ainda menor. Embora estas observações levem a crer no colapso total, eis que a acentuada queda das “Elites”, somada à queda (em menor proporção) dos “Comuns” foram favoráveis a dar um “respiro” à Natureza, fazendo-a emergir de forma tímida, mas fundamental

para que um novo ciclo se iniciasse, gerando um novo desenvolvimento dos elementos do cenário inicial. Esta Sociedade intercalou fases de declínio e de ascensão, quase periodicamente. Porém, a cada ascensão seguida do declínio das grandezas envolvidas, observa-se que as amplitudes se tornam cada vez menores, demonstrando a falta de readaptação e conseqüente falta de equilíbrio do cenário.

Findos os 2000 anos considerados, verifica-se o colapso do cenário, próximo dos 1250 anos, com a extinção da Riqueza, “Comuns” e “Elites”, nesta ordem. Sem população e sem extração, a Natureza se mantém constante.

Figura 4 - $k = 1,1$; $\delta = 10^{-4}$



6.3 $k = 1,0$; $\delta = 10^{-5}$ e $k = 1,1$; $\delta = 10^{-5}$

Na Figura 5 vê-se, inicialmente que, enquanto a Riqueza apresentou sua menor expressão durante todo o cenário, as populações experimentaram uma pequena depreciação antes dos 62,5 anos, porém a Natureza praticamente não se alterou, visto a baixa taxa de depleção, um indicador de elevado grau do uso consciente dos Recursos Naturais.

Antes que a Natureza e a Riqueza atingissem seus índices máximos, por volta dos 981 anos e 1070 anos, respectivamente, permanecendo então constantes,

as populações deixaram de se desenvolver aos 841 anos, conforme se vê na figura 6. Ou seja, uma vez estabilizadas as populações, houve o favorecimento de um rearranjo panorâmico mais favorável, pois a Natureza livrou-se das devastações desenfreadas e a Riqueza pôde ser resguardada. Uma dinâmica salutar na condução para o equilíbrio após aproximadamente 1000 anos.

Figura 5 - $k = 1,0$; $\delta = 10^{-5}$

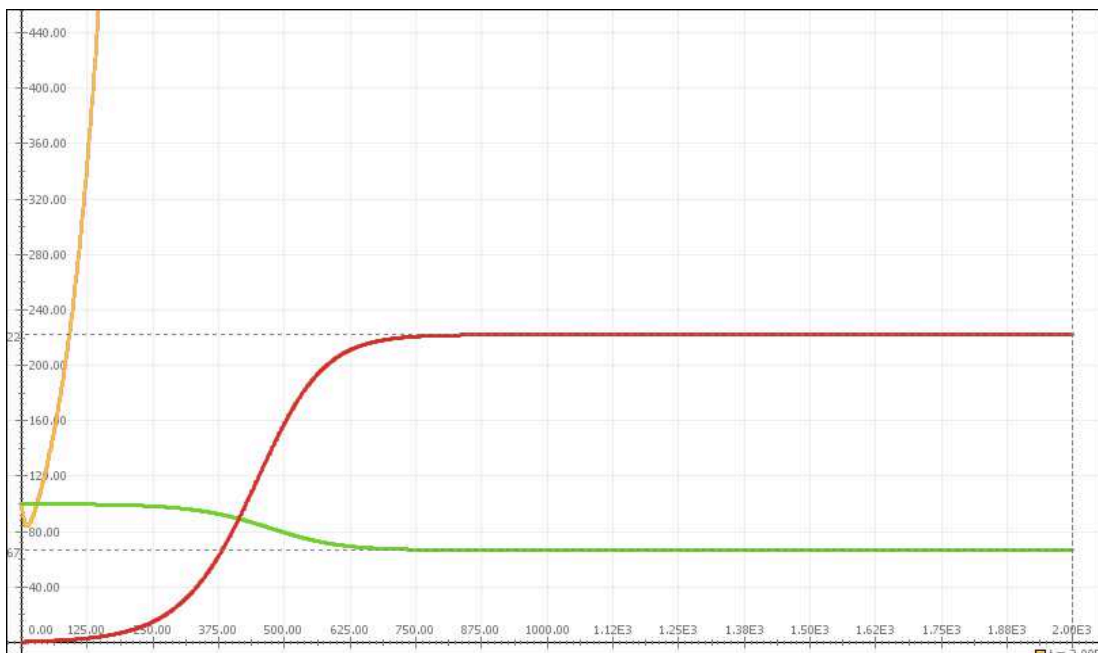
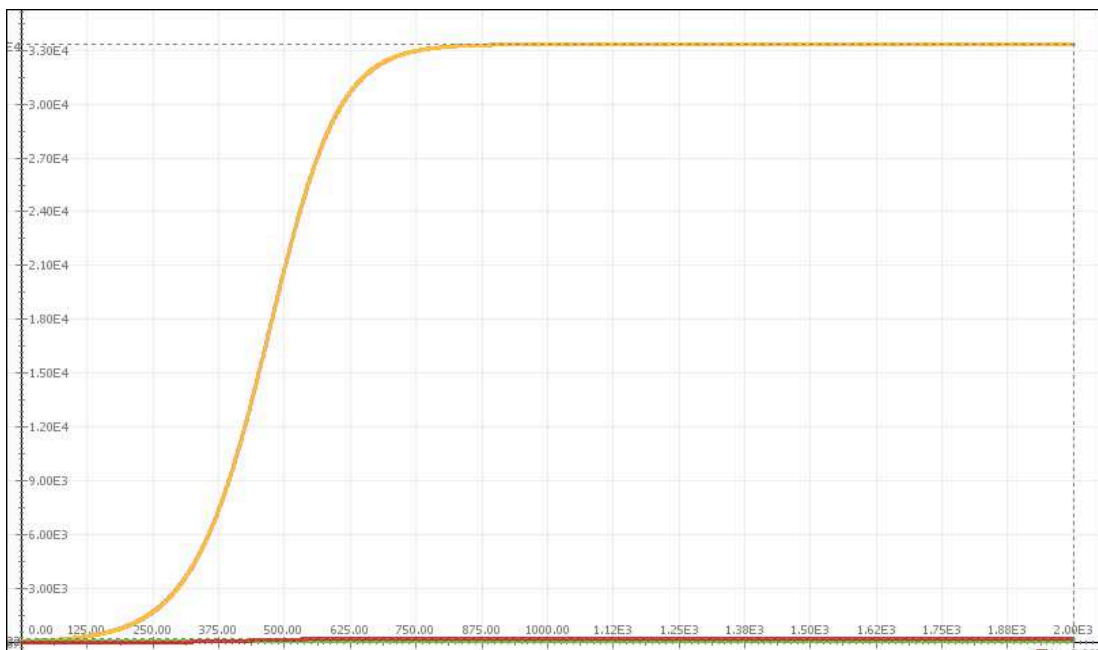


Figura 6 - $k = 1,0$; $\delta = 10^{-5}$



Diferentemente da Sociedade Igualitária, a Sociedade Desigual mostra um cenário inicialmente em rápido declínio, seguido de ascensão tanto da população dos “Comuns” quanto da população das “Elites”, havendo a manutenção da Natureza, praticamente constante durante todo o período considerado (Figura 7). A Riqueza, em crescimento discreto durante os primeiros 150 anos, dá início à sua queda, extinguindo-se aos 606 anos (Figura 8).

A população dos “Comuns” atinge seu pico e começa a declinar. Com a menor exploração da Natureza por parte dos remanescentes, menor é a produção, fazendo com que as “Elites” se utilizem da riqueza acumulada para sobreviverem, daí a queda contemporânea de ambas. O colapso chega aos 793 anos para os “Comuns” e aos 882 anos para as “Elites” e este comportamento se mantém invariável durante o período que completa os 2000 anos considerados.

Figura 7 - $k = 1,1$; $\delta = 10^{-5}$

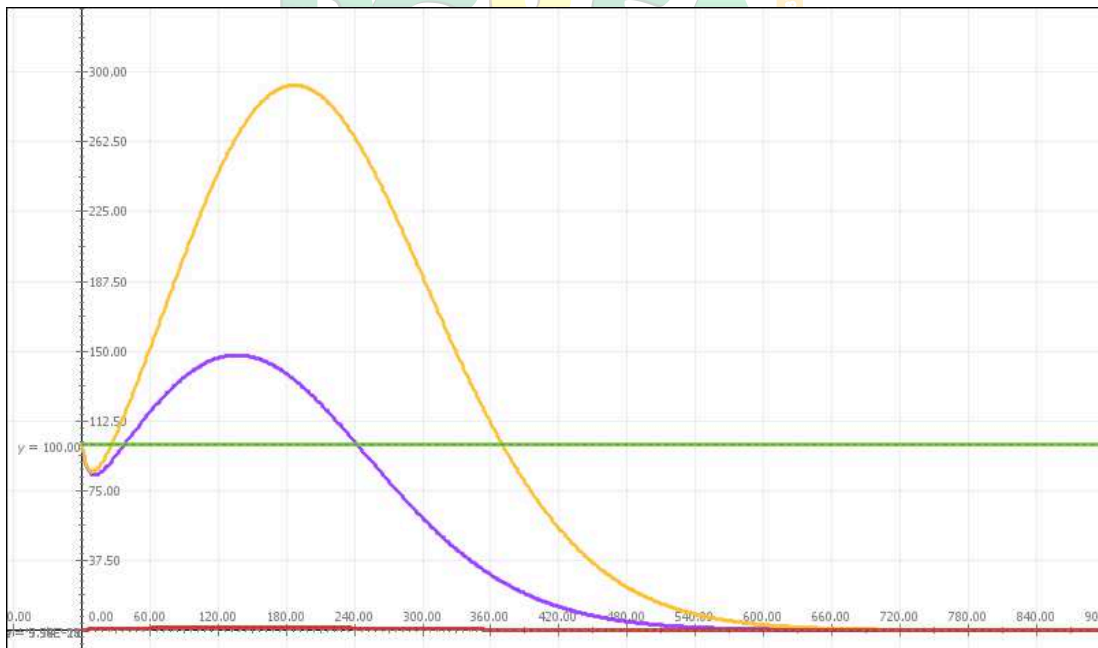
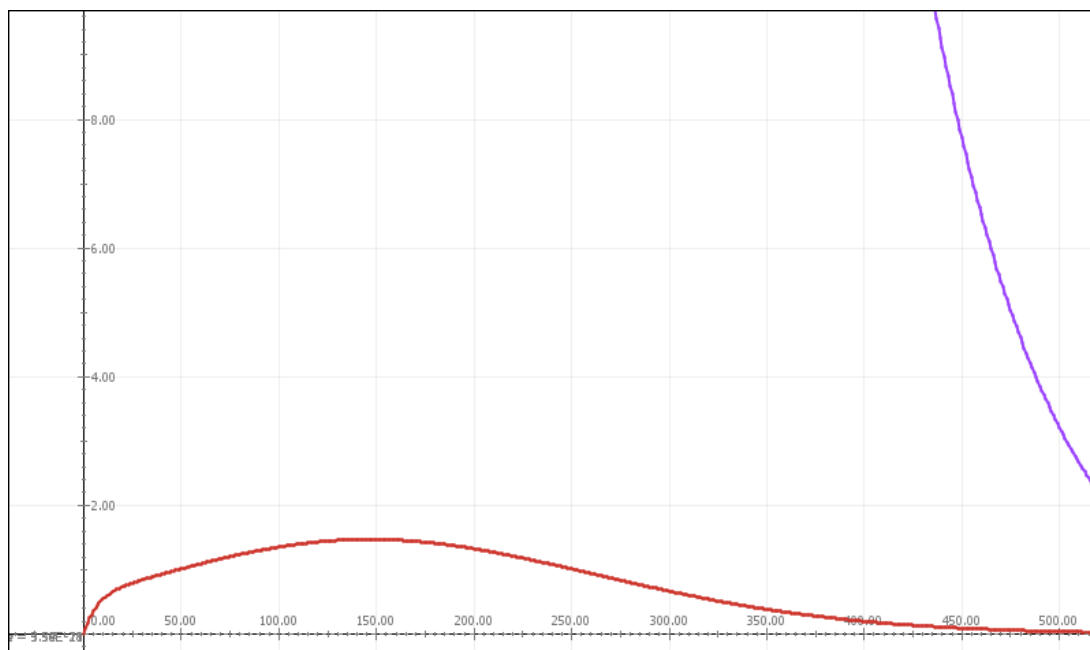


Figura 8 - $k = 1,1$; $\delta = 10^{-5}$



6.4 $k = 1,0$; $\delta = 10^{-6}$ e $k = 1,1$; $\delta = 10^{-6}$

Empregando-se a menor taxa de depleção considerada nas Sociedades Igualitárias, este modelo surpreendeu pelo comportamento, pois interrompeu o panorama que fez a Sociedade evoluir para um equilíbrio.

As populações começaram em queda de forma acentuada e duradoura (Figura 9), sem indício de ascensão nos próximos 2000 anos. Colapsando-se, as populações permitiram que a Natureza permanecesse inalterada (Figura 10), uma vez que a taxa de depleção foi a mais baixa. A Riqueza, que inicialmente teve um tímido crescimento, foi consumida pela população, como recurso para seu sustento e sua sobrevivência.

Aqui, a perda da força de trabalho foi determinante para que a sociedade colapsasse, fato que a pequena taxa de extração dos Recursos Naturais não conseguiu impedir.

Figura 9 - $k = 1,0$; $\delta = 10^{-6}$

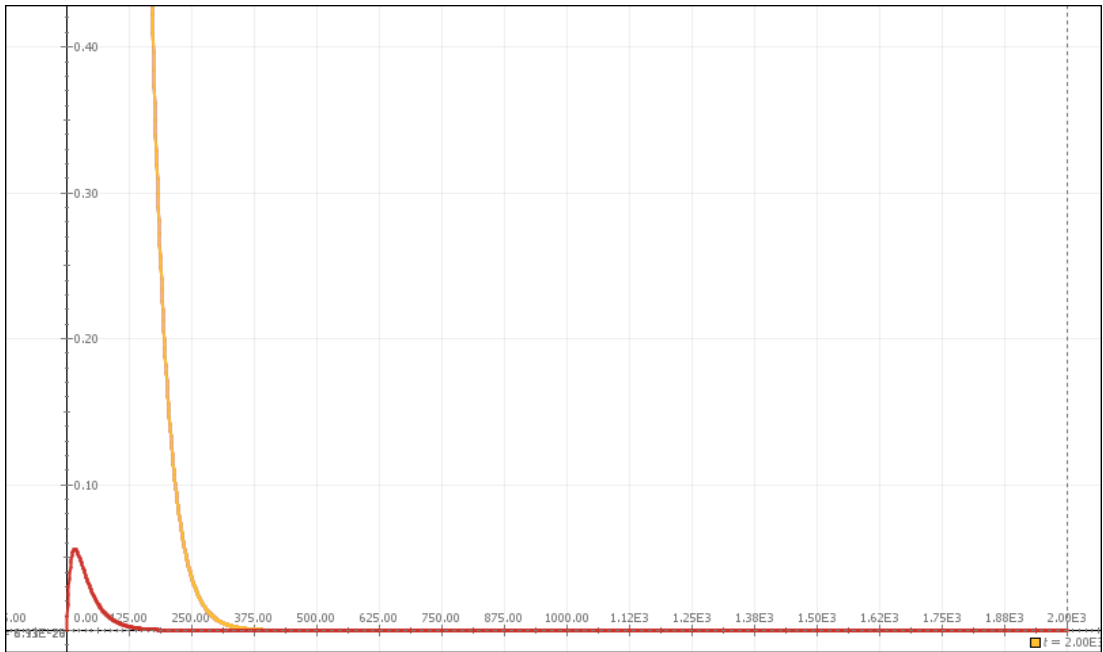
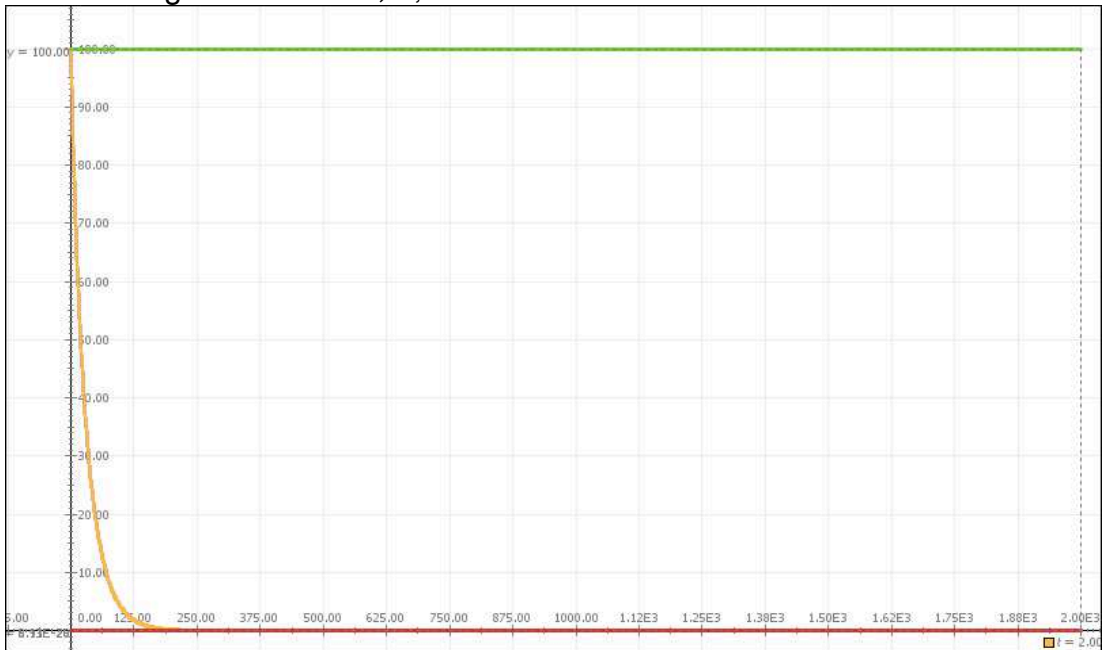


Figura 10 - $k = 1,0$; $\delta = 10^{-6}$



Sendo esta, a menor taxa de depleção considerada neste estudo das Sociedades, a Natureza parece reinar imperiosa, sem devastação, permanecendo constante durante todo o período considerado (Figura 11). Este comportamento é consequência da queda da população dos “Comuns”, pois com mão de obra em baixa, não há produção e os Recursos Naturais não são devastados. A Riqueza, com ínfimo crescimento inicial, colapsa após 19 anos, tendo sido acompanhada, neste período, pelo declínio das populações dos “Comuns” e das “Elites” (Figura 12).

Num cenário onde a oferta de Recursos é estável, aquele que consome mais (“Elites”), diminui ainda mais a disponibilidade de tais recursos a quem tem limitado poder de consumo (“Comuns”), daí o fato de, logo no início, a população dos “Comuns” apresentarem-se em declínio.

Figura 11 - $k = 1,1$; $\delta = 10^{-6}$

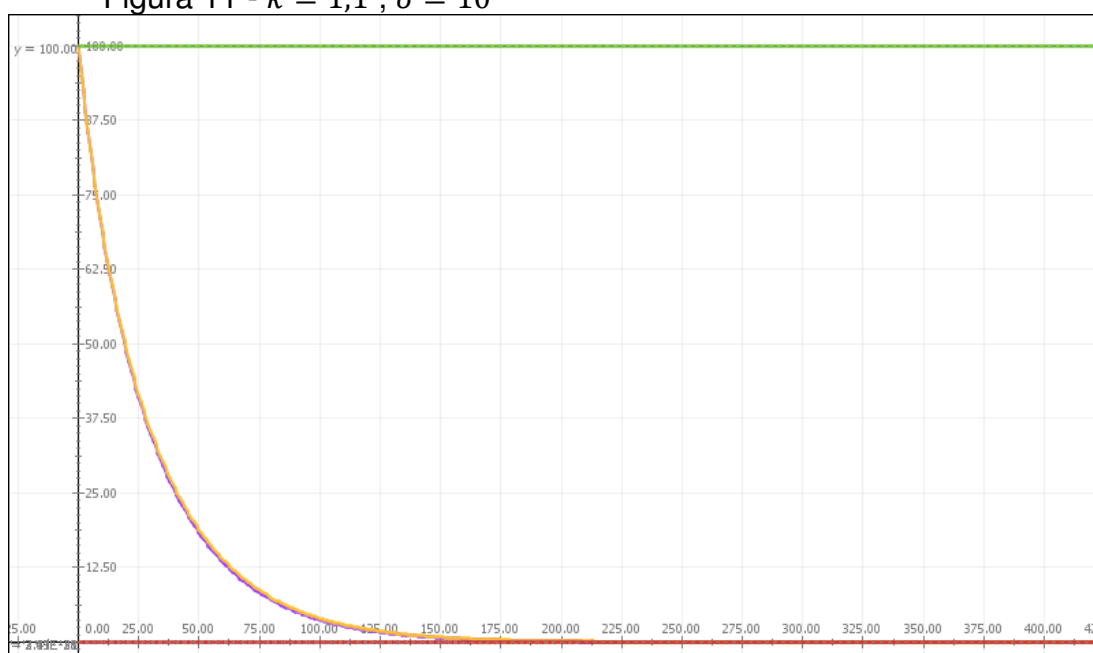
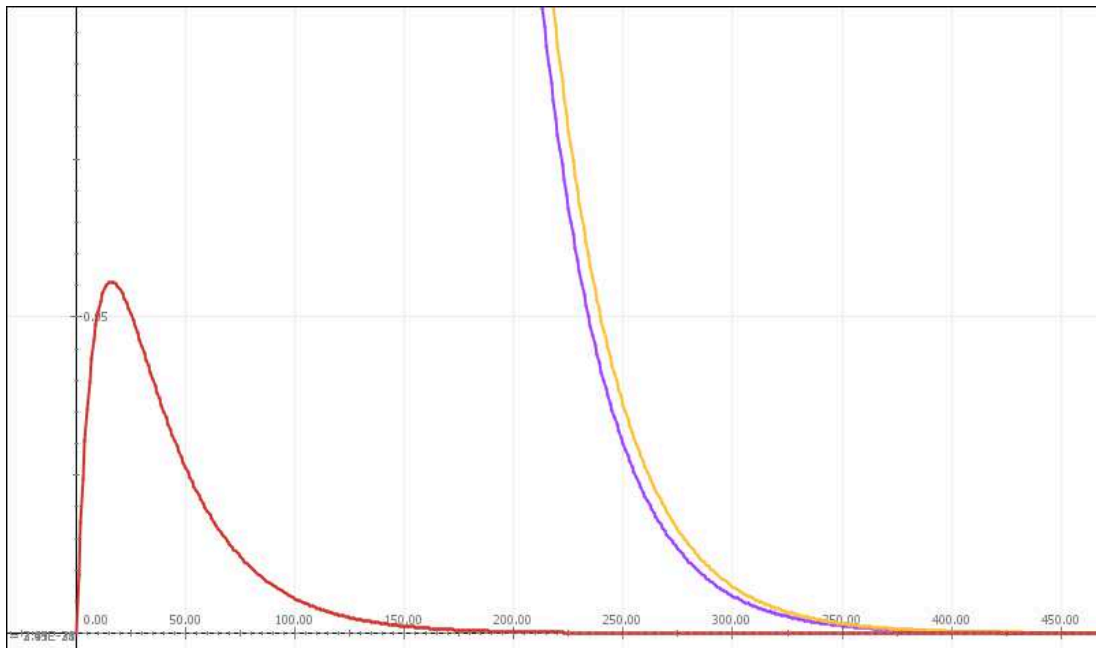


Figura 12 - $k = 1,1$; $\delta = 10^{-6}$



7 CONCLUSÕES

Por meio da implementação de diferentes cenários, foi possível constatar que qualquer Sociedade está sujeita a colapsos, que podem ser reversíveis ou não e estão relacionados à taxa de esgotamento da Natureza.

Porém, o senso comum alerta que não bastam a taxa de depleção e a estratificação para se colapsar uma sociedade. Há que se levar em conta, também, outros fatores ocultos nas equações, como pestes, epidemias e guerras, por exemplo. E mais: a pequena taxa de esgotamento não garante o equilíbrio da Sociedade se as “Elites” se mantiverem consumistas.

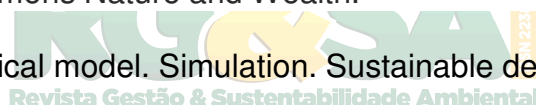
Comparando-se os cenários apresentados, pôde-se constatar que as Sociedades Igualitárias são mais sensíveis à variação da taxa de depleção, enquanto que as Sociedades Desiguais parecem suportar melhor a degradação da Natureza, fazendo crer que, em favor da preservação dos Recursos Naturais, seria melhor que as Sociedades fossem desiguais. Por outro lado, cairiam por terra todas as bandeiras erguidas em prol da igualdade social.

IMPLEMENTATION OF THE HUMAN AND NATURE DYNAMICAL (HANDY) MODEL BY USING THE MODELLUS SOFTWARE: A QUALITATIVE ANALYSIS

ABSTRACT

The HANDY Model (Human and Nature Dynamics Model), developed in 2014 by a group of researchers at the University of Minnesota and Maryland and published in the journal *Ecological Economics*, brought a new approach to the long-lived Predator-Prey Model. A lapse of just over two centuries separates the first model, proposed by Thomas Robert Malthus of the HANDY Model, and although there have been other similar models in this period, it has modeled the evolution of populations in a more systematic way: it divided the population between Rich ("Elites") and Poor ("Common") and added two other greatness, Wealth and Nature. Observing the great demographic growth, with the consequent increase in Wealth for some, to the detriment of others, it is noticed that the society suffers from public policies that soften the social differences, which, analyzed alone, already cause severe damages to the society. In addition to this social difference, there is Nature, predatory by the exacerbated consumption and that does not have the attention due in the questions of regeneration and exhaustion. This problem was implemented in this work, using the MODELLUS software, which explained the analysis behind the formulas, giving a clear and clear overview, easy to interpret, and it is possible to find solutions when the imbalance begins, before collapse. The different implementations translated a qualitative analysis of the behavior of the HANDY Model, generating risk scenarios, which can be determinant to the collapse or confidence scenarios, using as variables the population of the Elites, population of the Commons Nature and Wealth.

Keywords: Mathematical model. Simulation. Sustainable development. Software.



REFERÊNCIAS

- [1] SOBRINHO, Altair Santos Oliveira; OLIVEIRA, Camila Fogaça; KITA, Carolina Massae; NATTI, Érica Regina Takano; NATTI, Paulo **Laerte. Modelagem Matemática e Estabilidade de Sistemas Predador-Presa**. Disponível em: <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1504/1504.06244.pdf>>
- [2] MOTESHARREI, Safa, et al. *Human and nature dynamics (HANDY): modeling inequality and use of resources in the collapse or sustainability of societies* . Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800914000615#0005>>
- [3] KALNAY, Eugenia; RIVAS, Jorge; MOTESHARREI, Safa. H. *Human and nature dynamics (HANDY): modeling inequality and sustainability* . Disponível em: <http://www.pitt.edu/~trenchea/NAPFF/Presentations/Eugenia_Kalnay_HANDY-population-ClimChange.pdf>

[4] GUELPA, Philip. ***The Handy model of human and nature dynamics: A critical review***. Disponível em: <<https://www.wsws.org/en/articles/2014/11/01/hand-n01.html?view=print>>. Acesso em 11 set. 2017

[5] SOUZA, Elton Donizete de. **Uso do Modellus no Ensino das Leis de Kepler**. 2016. 60f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física)- Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2016.

[6] THEODORO, V.D. Modelação no ensino da Física: seis ideias básicas. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física, 15. 2003, Curitiba. Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Curitiba: CEFET-PR, 2003. p. 50-54. 1 CD-ROM VEIT, E. A. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/XXIIIEFNNE/XVSNEF_modelacao%20no%20ensino%20da%20Fisica_VDT.pdf> Acesso em 30 set.2017

[7] **MODELLUS** Versão 4.01. Download gratuito. Disponível em <<http://modellus.co/index.php?lang=pt>>. Acesso em 23 ago.2017.

