



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE**  
**Pró-Reitoria de Pesquisas e Pós-Graduação – PRPPG**  
**Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências – PPGEC**

Rubens Filipe de Arruda Amorim Oliveira

**O AQUECIMENTO GLOBAL NUMA ABORDAGEM DE SISTEMAS  
COMPLEXOS**

Recife  
2013

Rubens Filipe de Arruda Amorim Oliveira

## **O AQUECIMENTO GLOBAL NUMA ABORDAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências (PPGEC) da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ensino das Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Romildo de Albuquerque Nogueira

Co-orientadora: Prof(a). PhD. Maria Marly de Oliveira

Recife  
2013

Ficha catalográfica

O48a Oliveira, Rubens Filipe de Arruda Amorim  
O aquecimento global numa abordagem de sistemas complexos / Rubens Filipe de Arruda Amorim Oliveira. – Recife, 2013.  
144 f. : il.

Orientador: Romildo de Albuquerque Nogueira.  
Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Educação, Recife, 2013.  
Inclui referências e apêndice(s).

1. Aquecimento global 2. Teoria do caos 3. Complexidade  
I. Nogueira, Romildo de Albuquerque, orientador II. Título

CDD 507

Rubens Filipe de Arruda Amorim Oliveira

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Romildo de Albuquerque Nogueira - UFRPE

Presidente



Prof. Dr Iran Abreu Mendes - UFRN



Prof. Dr. Alexandre Cardoso Tenorio - UFRPE



Prof(a). PhD. Maria Marly de Oliveira – UFRPE

Dissertação aprovada em 26 de agosto de 2013.

*Dedico este estudo,*

*À professora Lusdeleine Vieira de Albuquerque, diretora do Centro de Cidadania e Informática Marcelino Champagnat, que por meio de sua trajetória e ensinamentos, mostrou-me quão fundamental é para a sociedade promover a dualidade educação/cidadania.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Romildo Nogueira de Albuquerque, cuja sabedoria é proporcional ao seu comprometimento com a educação.

A minha co-orientadora, PhD. Maria Marly de Oliveira, cuja paixão e zelo pela pesquisa é contagiante.

Aos membros da banca examinadora: Dr. Alexandro Tenorio e Dr. Iran Mendes.

A todos os pesquisadores, professores e gestores do PPGEC, em especial da turma de 2011, cuja convivência foi fundamental na formação e trajetória deste pesquisador.

Aos pesquisadores do Laboratório de Biofísica Teórico-Experimental e Computacional (LABTEC/UFRPE) e Laboratório de Realidades Complexas - Centro de Apoio à Pesquisa (LRC-CENAPESQ/UFRPE), cujo verbo compartilhar ultrapassou os limites de suas respectivas áreas de estudo. Dentre estes, Renato Barros, Cláudio de Castro e Alceu Alves colaboraram diretamente com a pesquisa.

Aos membros do Núcleo de Pesquisa, Estudo e Extensão em Transdisciplinaridade (NUPET/UFRPE), em especial a Ana Paula, Antônio Junior e Diogo Igarassu.

Ao pesquisador Adelmo Araújo (UFRPE), por suas observações significativas.

Ao Dr. Luiz Alberto Ribeiro Rodrigues (UPE), pelo seus conselhos e incentivo.

Aos estudantes e professores que participaram da pesquisa de campo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo grande incentivo a pesquisa no país, em especial a esta pesquisa.

Ao Centro de Ciência do Sistema Terrestre - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST-INPE), pelos dados cedidos para esta pesquisa.

Ao Dr. Eudes de Souza Leão Pinto, por seu exemplo de humanidade, integridade e contribuição com a pesquisa brasileira.

Aos meus queridos familiares: Maria Auxiliadora de Arruda Amorim (mãe), Maria Feliciano (avô), Fátima, Amparo, Miriam e Adriana (tias), Romualdo e Sônia (padrinhos); Max (primo); Taciana Vila Nova (esposa).

Aos amigos da Paróquia da Ressurreição, cuja fé cristã se revela em ações de cooperação e unidade.

A Jesus Cristo, o mestre que se pôs a lavar os pés de seus discípulos e ensinou o amor ágape à humanidade, o meu caminho e a minha esperança.

Todos estes fazem parte de uma complexidade maravilhosa, que chamo de minha Vida.

## RESUMO

Com base nos princípios do pensamento complexo, este estudo analisa as concepções dos estudantes de licenciatura em Física e Matemática da UFRPE, em relação ao aquecimento global e a teoria do caos. Neste trabalho, a teoria do caos foi utilizada como um fundamento para compreensão do aquecimento global. Na fase inicial de nossa pesquisa, identificamos por meio de entrevistas as concepções sobre o termo caos de 60 sujeitos (alunos, professores e outros funcionários da universidade). Com estes dados construímos um documentário em que mostra diferença entre a concepção de senso comum e científica sobre caos. Em seguida, convidamos quatro estudantes da licenciatura, dois de matemática e dois de física, para participar de uma oficina pedagógica, a qual foram utilizados o documentário sobre caos, métodos computacionais de análise de sistemas caóticos e um vídeo sobre os conceitos e contradições sobre o Aquecimento Global. Estes estudantes participaram de um procedimento metodológico, em que investigamos por meio questionários e da técnica do Círculo Hermenêutico-Dialético (CHD) as concepções dos estudantes a respeito do aquecimento global, da teoria do caos e da relação entre ambas. Na fase inicial, os resultados demonstraram uma diversidade de concepções sobre essas temáticas, todas oriundas do senso comum. No entanto, por meio da aplicação da oficina e do CHD, as concepções dos estudantes se mostraram próximas dos conceitos estabelecidos pela ciência contemporânea. Além de promover a relação entre AG e TC, este estudo contribuiu para compreensão de um tema controverso por meio de uma abordagem de ensino que valoriza a dinâmica do encontro entre conceitos aparentemente divergentes. Dessa forma, consideramos nosso procedimento metodológico relevante para promovermos o ensino contextualizado da matemática, da física e de outras áreas de ensino que necessitam de uma perspectiva complexa sobre o conhecimento contemporâneo.

Palavras-chave:

Aquecimento Global, Teoria do Caos, Complexidade.

## **ABSTRACT**

Based on the principles of the complexity, this study analyzes the concepts of undergraduate students in Physics and Mathematics UFRPE, about the Global Warming (GW) and Chaos Theory (CT). This theory was worked as a resource to understand the Global Warming. The initial phase of our research identified through interviews the conceptions of chaos of 60 people (students, professors and other university officials). Four students (two of physics and two of mathematics) were chosen to participate of a workshop about the Global Warming and Chaos Theory, in which the methodological procedure was Dialectical Hermeneutic Circle (DHC). This procedure permitted investigates the student's conceptions about global warming, chaos theory and the relationship between them. In the initial phase, the results showed a diversity of point of views on both themes, all emerging of the common sense. However, after the application of DHC, the conceptions the students were close to that established by contemporary science. The data analyzes showed that the methodology used in this work was adequate to build the relationship between GW and CT. Therefore, we consider our methodological procedure relevant for to promote contextualized teaching of mathematics, physics and other areas of learning that require a complex perspective on the contemporary knowledge.

Keywords:

Global Warming, Chaos Theory, Complexity.



## LISTA DE FIGURAS

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Figura 1    | Tipos de consciências necessárias à humanidade.....  | 33  |
| Figura 2    | Dinâmica do sistema climático.....   | 37  |
| Figura 3    | Modelo idealizado do efeito estufa.....  | 38  |
| Figura 4    | Concentração atmosférica de dióxido de carbono e variação da temperatura.....  | 41  |
| Figura 5    | Séries temporais, geradas por dois sistemas: aleatório (dado de 6 faces) e determinístico (mapa logístico), com 100 pontos cada.....   | 57  |
| Figura 6    | Espaço de fase de uma sequência pseudoaleatória de 10.000 pontos.....  | 63  |
| Figura 7    | Espaço de fase de uma sequência determinística, gerado por 10.000 pontos da Equação Logística.....   | 64  |
| Figura 8    | Atrator de Lorenz. Gráfico obtido das Equações de Lorenz, com $n=10.000$ (número de pontos), $x_0=y_0=z_0=0,1$ (variáveis iniciais) e $r=10$ , $s=28$ , $b=2,6667$ (parâmetros).....         | 66  |
| Figura 9    | Mapa de Hénon. Gráfico obtido através das Equações de Hénon, com $n=10.000$ (número de pontos), $x_0=0,1$ e $y_0=0$ (variáveis iniciais) e $a = 1,4$ e $b = 0,3$ (parâmetros).....           | 67  |
| Figura 10   | Atrator de Rössler. Gráfico obtido através das Equações de Rössler, com $n=10.000$ (número de pontos), $x_0=y_0=z_0 =0,1$ (variáveis iniciais) e $a = b = 0,2$ e $c = 5,7$ (parâmetros)..... | 68  |
| Figura 11   | Bifurcações. O gráfico da variável $x$ do Mapa Logístico após 10.000 iterações, com o parâmetro $a$ variando entre 2 e 4 (eixo horizontal).....  | 69  |
| Figura 12   | Representação gráfica dos ciclos de bifurcações.....   | 70  |
| Figura 13   | Esquema metodológico.....  | 80  |
| Figura 14   | Esquema de planejamento didático da oficina.....   | 83  |
| Figura 15   | Círculo Hermenêutico Dialético – com os novos aportes teóricos.....  | 86  |
| Figura 16   | Esquema de categorização.....  | 88  |
| Figura 1.1A | Janela de inserção de comandos.....  | 127 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Figura 1.1B | Gráficos de uma série pseudoaleatória gerada pela função $y$ .....  | 127 |
| Figura 1.2  | Gráfico com 100 lançamentos de dados reais (acima) e seu respectivo espaço de fase (abaixo) sem as trajetórias..... | 128 |
| Figura 2.1  | Gráficos gerados por equação logística.....   | 130 |
| Figura 3.1  | Comparação entre comportamento determinístico e aleatório....   | 131 |
| Figura 4.1  | Gráficos gerados pelo Mapa de Hénon.....  | 132 |
| Figura 4.2  | Gráficos provenientes das Equações de Rössler.....  | 133 |
| Figura 4.3  | Gráficos provenientes das Equações de Lorenz.....   | 134 |
| Figura 6.1  | Gráfico gerado pela Equação de Mandelbrot, com $c=-0,45$ .....  | 136 |
| Figura 6.2  | Gráfico gerado pela Equação de Mandelbrot, com $c=-1,5$ .....   | 136 |
| Figura 8.1  | Gráfico de Bifurcações da Equação Logística.....  | 138 |
| Figura 9.1  | Ferramenta para ampliar a figura nos pontos de bifurcação.....  | 139 |
| Figura 9.2  | Ferramenta para marcar os pontos de bifurcação.....   | 139 |
| Figura 9.3  | Marcação de três pontos de bifurcações sucessivas.....  | 140 |
| Figura 10.1 | Gráfico da série e do atrator dos intervalos RR do ECG do cão Átila.....  | 141 |
| Figura 10.2 | Gráfico da série e do atrator da temperatura da cidade do Recife de 2010 a 2012.....                                | 142 |

## LISTA DE QUADROS

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Quadro 1   | Possíveis impactos das mudanças climáticas, com ênfase na realidade brasileira.....  | 42  |
| Quadro 2   | Comparação de 100 iterações da equação (1), sem alteração na variável $x$ e com alteração na décima iteração.....          | 62  |
| Quadro 3   | Esquema da MGC.....  | 89  |
| Quadro 4   | Falas de sete licenciandos em física e matemática, em resposta à pergunta “O que significa caos para você?”.....           | 91  |
| Quadro 5   | Respostas dos licenciandos ao Questionário 1.....  | 92  |
| Quadro 6   | Matriz Geral das Categorias.....   | 95  |
| Quadro 7   | Unidades de análise referente às respostas dos licenciandos sobre o aquecimento global.....                                | 96  |
| Quadro 8   | Unidades de análise referente às respostas dos licenciandos sobre a teoria do caos.....                                    | 102 |
| Quadro 9   | Relação entre AG e TC estabelecida pelos licenciandos.....   | 108 |
| Quadro 10  | Unidades de análise referente às respostas dos licenciandos sobre a relação entre aquecimento global e teoria do caos..... | 109 |
| Quadro 1.1 | Algoritmo para gerar gráfico de uma sequência pseudoaleatória.....   | 126 |
| Quadro 1.2 | Algoritmo para gerar gráfico de 100.000 pontos referente ao lançamento de um dado de seis faces.....                       | 128 |
| Quadro 2.1 | Algoritmo para gerar gráfico de equação logística.....   | 129 |
| Quadro 3.1 | Algoritmo para estabelecer diferenças entre gráficos de comportamento determinística e aleatório.....                      | 131 |
| Quadro 4.1 | Algoritmo para gerar a Série e o Mapa de Hénon.....  | 132 |
| Quadro 4.2 | Algoritmo para gerar a Série e o Atrator de Rössler.....   | 133 |
| Quadro 4.3 | Algoritmo para gerar a Série e o Atrator de Lorenz.....  | 134 |
| Quadro 6.1 | Algoritmo para gerar séries da Equação Mandelbrot.....   | 135 |
| Quadro 7.1 | Algoritmo para gerar gráfico da Equação Logística, com o parâmetro ‘ $a$ ’ variando entre -3 e 4.....                      | 137 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Quadro 8.1  | Algoritmo para gerar o Diagrama de Feigenbaum (Bifurcações).....                                       | 138 |
| Quadro 9.1  | Algoritmo para gerar a Constante de Feigenbaum.....  | 140 |
| Quadro 10.1 | Algoritmo para gerar a série e o espaço de fase dos intervalos RR do ECG do cão Átila .....            | 141 |
| Quadro 10.2 | Algoritmo para gerar a série e o espaço de fase da temperatura da cidade do Recife de 2010 a 2012..... | 142 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|          |  |
|----------|--|
| AIHD     | Análise Interativa Hermenêutico-Dialética  |
| AG       | Aquecimento Global   |
| AR4      | Fourth Assessment Report/Quarto Relatório de Avaliação   |
| C        | Construção Teórica   |
| CAPES    | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  |
| CCST     | Centro de Ciência do Sistema Terrestre   |
| CHD      | Círculo Hermenêutico-Dialético   |
| CENAPESQ | Centro de Apoio à Pesquisa   |
| E        | Entrevistado   |
| ECG      | Eletrocardiograma  |
| Eco92    | Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio de Janeiro, 1992)                              |
| INPE     | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  |
| IPCC     | Intergovernmental Panel on Climate Change/Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas                  |
| IPAM     | Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia  |
| L        | Licenciando  |
| LABTEC   | Laboratório de Biofísica Teórico-Experimental e Computacional  |
| LRC      | Laboratório de Realidades Complexas  |
| MCG      | Modelos Climáticos Globais   |
| MGC      | Matriz Geral das Categorias  |
| MOHC     | Met Office Hadley Centre   |
| NIPCC    | Nongovernmental International Panel on Climate Change/Painel Não-Governamental sobre Mudanças Climáticas       |
| NUPET    | Núcleo de Pesquisa, Estudo e Extensão em Transdisciplinaridade   |
| ONU      | Organização das Nações Unidas  |
| PCN      | Parâmetros Curriculares Nacionais  |
| PPGEC    | Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências   |
| Rio+10   | Nome atribuído a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (UNCSD – sigla em inglês)     |
| Rio+20   | Nome atribuído à Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED – sigla em inglês) |

|        |  |
|--------|--|
| TC     | Teoria do Caos                           |
| TGS    | Teoria Geral dos Sistemas                |
| TransD | Transdisciplinaridade                    |
| UPE    | Universidade de Pernambuco               |
| UFRPE  | Universidade Federal Rural de Pernambuco |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| (1) Equação Recursiva.....       | 61    |
| (2) Modelo Malthusiano.....      | 65    |
| (3) Modelo de Verhulst.....      | 65    |
| (4) Equação Logística.....       | 65    |
| (5) Equações de Lorenz.....      | 66    |
| (6) Equações de Hénon.....       | 67    |
| (7) Equações<br>Rössler.....     | de 68 |
| (8) Constante de Feigenbaum..... | 70    |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                  |   |
|------------------|---|
| CO <sub>2</sub>  | Dióxido de carbono                                      |
| CH <sub>4</sub>  | Metano  |
| H <sub>2</sub> O | Água  |
| N <sub>2</sub> O | Óxido nitroso   |
| °C               | Celsius   |
| RR               | Intervalo entre ondas R na contração ventricular do ECG |
| ppm              | Partes por milhão                                       |



## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                       | 19 |
| 2. PLANO INICIAL DA PESQUISA.....                        | 23 |
| 2.1. Linha de pesquisa.....                              | 23 |
| 2.2. Problematização e questões da pesquisa.....         | 23 |
| 2.3. Objetivo geral.....                                 | 23 |
| 2.4. Objetivos específicos.....                          | 24 |
| 2.5. Pressuposto da pesquisa.....                        | 24 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....                            | 25 |
| 3.1. Alguns caminhos básicos do pensamento complexo..... | 25 |
| 3.2. Complexidade ambiental para docentes.....           | 31 |
| 3.3. Aquecimento global: mito ou realidade?.....         | 35 |
| 3.3.1. Sistema climático.....                            | 36 |
| 3.3.2. Efeito estufa.....                                | 37 |
| 3.3.3. As controvérsias sobre o aquecimento global.....  | 39 |
| 3.3.3.1. Tendência antropogênica.....                    | 40 |
| 3.3.3.2. Tendência fenomênica.....                       | 43 |
| 3.3.3.3. Proposta de tendência dual.....                 | 45 |
| 3.3.4. Cenário político e educacional.....               | 46 |
| 3.3.4.1. Mudança climática.....                          | 48 |
| 3.3.4.2. Educação.....                                   | 49 |
| 3.4. Caos: mito ou ciência?.....                         | 51 |
| 3.4.1. Da gênese do caos ao senso comum.....             | 51 |
| 3.4.2. Ciência do caos.....                              | 54 |
| 3.4.2.1. Sistemas complexos.....                         | 55 |
| 3.4.2.2. Matemática do caos.....                         | 58 |
| 3.4.2.3. Como gerar e identificar o caos? .....          | 61 |
| 3.4.2.3.1. Espaço de fase.....                           | 62 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.4.2.3.2. Atrator.....   | 64  |
| 3.4.2.3.3. Bifurcação.....  | 69  |
| 3.4.2.3.4. Constante de Feigenbaum.....   | 70  |
| 3.5. Caos, pesquisa e ensino.....   | 71  |
| 3.6. Complexidades e caos.....  | 72  |
| 3.7. As incertezas do caos e do aquecimento global.....   | 74  |
| <br>  |     |
| 4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....   | 79  |
| <br>  |     |
| 4.1. O percurso metodológico.....   | 80  |
| 4.2. ETAPA I – Levantamento de concepções e sujeitos da pesquisa.....   | 81  |
| 4.2.1. Levantamento de concepções sobre caos e produção de<br>documentário.....   | 81  |
| 4.2.2. Seleção dos sujeitos e identificação de concepções iniciais sobre<br>aquecimento global, teoria do caos e a relação entre ambas..... | 82  |
| 4.3. ETAPA II – Oficina Pedagógica.....   | 82  |
| 4.3.1. Planejamento da oficina.....   | 82  |
| 4.3.2. Caos: do senso comum ao determinismo.....  | 83  |
| 4.3.3. Aquecimento global: mito ou realidade .....  | 85  |
| 4.4. ETAPA III – Realização do CHD.....   | 85  |
| 4.5. ETAPA IV – Análise dos dados.....  | 87  |
| 4.5.1. Construção de uma Análise Inicial.....   | 87  |
| 4.5.2. Construção da Análise Interativa Hermenêutica Dialética.....   | 88  |
| <br>  |     |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 90  |
| <br>  |     |
| 5.1. Análise inicial.....   | 90  |
| 5.1.1. Análise do levantamento de concepções prévias sobre o termo caos.....  | 90  |
| 5.1.2. Análise de concepções iniciais sobre aquecimento global, teoria do<br>caos e a relação entre ambas.....                              | 92  |
| 5.2. Análise Interativa Hermenêutica Dialética.....   | 94  |
| 5.2.1. Fase I: Construção e análise da Matriz Geral das Categorias.....   | 94  |
| 5.2.1.1. Aquecimento global.....  | 96  |
| 5.2.1.2. Teoria do caos.....  | 102 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.2.2. Fase II: Relação entre as categorias teóricas: aquecimento global e teoria do caos..... | 108 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....   | 115 |
| REFERÊNCIAS.....   | 118 |
| APÊNDICE A – Questionário 1.....   | 124 |
| APÊNDICE B – Questionário 2 .....  | 125 |
| APÊNDICE C – Oficina pedagógica - Roteiro I.....   | 126 |
| APÊNDICE D – Oficina pedagógica - Roteiro II.....  | 135 |
| APÊNDICE E – Roteiro do levantamento sobre o termo caos.....                                   | 143 |
| APÊNDICE F – Roteiro das entrevistas do CHD.....   | 144 |

## 1. INTRODUÇÃO

Ao analisarmos como se originam e se desenvolvem muito dos problemas da humanidade, percebemos que são constituídos por uma dimensão global, cujos diferentes aspectos estão sempre interconectados. Dentro desta dimensão, particularmente, um tema vem ganhando espaço no cenário mundial: o Aquecimento Global. Este termo se "confunde" com Mudança Climática, que é uma provável consequência do aquecimento do planeta.

No século XX, além do elevado número de mortos das duas guerras mundiais e dos campos de extermínio nazistas e soviéticos, temos novas ameaças à humanidade: as armas nucleares e a morte ecológica (MORIN, 2002, p. 70-71). Esta última, segundo Morin (2002, p. 71), ocorre porque: "a dominação desenfreada da natureza pela técnica conduz a humanidade ao suicídio".

No cenário mundial vemos uma reação expressiva em relação aos problemas ambientais, que esbarra em várias questões políticas e econômicas. Desde o ano 1972, com a Conferência de Estocolmo sobre o Meio Ambiente, vem ocorrendo encontros sucessivos que discutem e estabelecem acordos e metas oficiais. Fato que atinge diversas instâncias da sociedade, por se tratar de um tema complexo, constituído por uma atmosfera polêmica de múltiplas questões ainda sem solução próxima.

Para lidar com as problemáticas ambientais, muitas concepções ideológicas surgiram com propostas de mudança de pensamento e de postura. Ideias inovadoras e utópicas tais como considerar o planeta Terra um superorganismo vivo sujeito a ficar febril (LOVELOCK, 2007) ou reconhecer a necessidade de uma pedagogia da complexidade ambiental, em que educadores construam um novo saber e uma nova racionalidade (LEFF, 2010a). Estas ideias surgiram em meio a um ambiente repleto de controversas sobre o tema Aquecimento Global, fruto de concepções divergentes na política e comunidade científica.

Pensar apenas em uma parte do fenômeno é um reducionismo que desconsidera a complexidade de nosso planeta. Olhar para a dinâmica da Terra nos permite perceber a existência de ligações complexas em tudo que a constitui, tanto em relação às partes quanto ao todo. Uma relação que nos permite supor que uma simples variação em um dos componentes desse sistema pode refletir nos demais ou

em uma parte considerável do todo. Para que tomemos consciência fundamentada e crítica desse fato, precisamos de um novo olhar sobre a complexidade do mundo, a qual Morin (2007, p. 13) define como sendo aquilo que é tecido junto: "[...] de constituintes heterogêneas inseparavelmente associadas [...] de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações, acasos, que constituem nosso mundo fenomênico". Segundo Morin (1996, p. 8): "Todos os problemas se situam a um nível global e, por isso, devemos mobilizar a nossa atitude (...)". Mesmo na tomada de consciência dos problemas, sabendo que eles existem e que são interligados, ainda precisamos de uma consciência de patriotismo planetário (MORIN, 2002), em que possa gerar ações mais efetivas.

Consideramos que as temáticas ambientais são intrínsecas às disciplinas. Um argumento compatível com as orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1997), que neste sentido tratam da transversalidade temática. O tema aquecimento global não apenas se insere neste contexto, como é um fruto de controvérsias (SILVA; CARVALHO, 2007; VIEIRA; BAZZO, 2007), merecedoras de reflexão educacional sob diferentes aspectos, como natureza do tema, o cenário político e a relevância de modelos climáticos. Para tanto, é necessário ir além de um ensino meramente especialista, técnico, linear, acumulativo, cujo alvo de estudo é fixo e muitas vezes sem correlação com as demais áreas.

Em oposição a um ensino “superespecialista”, com este estudo nos propomos a refletir sobre a formação do professor com uma visão complexa da realidade. Sob tal perspectiva, adotamos como linha de pesquisa: a formação de professores em ensino das ciências, do Programa de Pós-Graduação Ensino das Ciências (PPGEC) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). O nosso foco de estudo neste trabalho é analisar as concepções de licenciandos dos cursos de Física e Matemática da UFRPE sobre o Aquecimento Global, tomando como fundamento de análise os conceitos das teorias do Caos e da Complexidade, as quais têm como seus maiores representantes, respectivamente, o astrônomo e matemático Edward Lorenz e o filósofo francês Edgar Morin.

Os fundamentos da Teoria do Caos (princípios matemáticos e físicos) são relevantes para o entendimento teórico de sistemas complexos relativos ao sistema climático devido à própria natureza determinística e aplicativa da teoria, a qual surgiu a partir das observações atmosféricas de Lorenz. O que se pretende é estabelecer um diálogo entre princípios de uma teoria matemática com a temática ambiental.

Quanto a Teoria da Complexidade, consideramos ser uma ponte de entendimento crítico reflexiva deste diálogo, de modo que quatro caminhos para o pensamento complexo foram utilizados para que os licenciandos compreendessem os sistemas em sua complexidade: hologramático – o todo compreende as partes e a recíproca é verdadeira; recursividade – os sistemas tendem a se reproduzir de modo circular, dialógico – as contradições interagem e coexistem nos sistemas complexos, e por último, a transacionalidade sujeito/objeto – o sujeito constrói a realidade. Abordagem que nos permitiu, até certo ponto, desviar dos reducionismos do ensino clássico e da generalização excessiva das abordagens ditas holísticas.

Em suma, a teoria do caos, representando a perspectiva determinística, nos auxilia a entender estes fenômenos, já o pensamento complexo, representando a perspectiva dialógica entre a cartesiana e a sistêmica, nos guia pedagogicamente na compreensão dos múltiplos conceitos que envolvem tanto os fenômenos climáticos como o próprio caos.

Como percurso metodológico, optamos pela Metodologia Interativa (OLIVEIRA, 2010), que está embasada nos aportes teóricos da hermenêutica, do pensamento complexo, da dialogicidade e de uma abordagem sistêmica, tendo como fio condutor o Círculo Hermenêutico Dialético (CHD). A categorização e análise dos dados têm seus fundamentos na Análise hermenêutica-dialética (AHD) segundo Minayo (2004). Com esta metodologia, fizemos a sistematização dos conceitos dos estudantes, bem como a triangulação dos dados que foram levantados antes e depois de atividades pedagógicas que realizamos com os licenciandos em Física e Matemática para melhor compreensão da realidade em estudo, à luz da fundamentação teórica.

Uma formação docente voltada para questões da contemporaneidade mediante uma abordagem complexa é uma forma de unir conhecimentos que nos parece ficar cada vez mais distantes. Segundo Morin (1996, p. 6): “o nosso sistema de ensino educativo privilegia a separação em vez de praticar a ligação”. Vale ressaltar que o sistema educativo, a qual Morin se refere, é generalizado a todo sistema educativo institucional.

Amparados em pressupostos teóricos do Pensamento Complexo, tratamos do tema Aquecimento Global e de conceitos da Teoria do Caos, visando estreitar as distâncias entre conhecimentos atuais dos licenciandos e novos paradigmas das ciências na contemporaneidade, bem como proporcionar um possível avanço de suas concepções para um novo pensamento da física e matemática na contemporaneidade.

Em suas formações, estes estudantes são constantemente imersos em disciplinas ditas “exatas”, cujos cálculos, definições são elencados e em ordem de relevância sobrepujam aspectos significativos que existem nestas áreas. Tal formação pode refletir na vivência profissional, reproduzindo e construindo conhecimentos de forma descontextualizada. Nesta perspectiva, nosso estudo é mais um caminho para o ensino de temas controversos e complexos na formação de licenciandos, e quiçá, de seus futuros alunos.

## **2. PLANO INICIAL DA PESQUISA**

Este plano é uma síntese do processo de investigação, que direcionou nossa pesquisa e nos proporcionou estabelecer estratégias de trabalho, tanto para a fundamentação teórica quanto para a construção, a coleta e a análise de dados.

### **2.1. Linha de pesquisa**

Este estudo está focado na linha de pesquisa Formação de Professores em Ensino das Ciências, do PPGEC/UFRPE.

### **2.2. Problematização e questões da pesquisa**

Para realização de nosso estudo, levantamos a seguinte problematização:

- Quais são as concepções dos licenciandos em Física e Matemática da UFRPE sobre o Aquecimento Global e a Teoria do Caos?

Na tentativa de identificarmos possíveis respostas a nossa problematização, levantamos algumas questões subsidiárias:

- Quais são as concepções dos licenciandos em Física e Matemática sobre Aquecimento Global e Teoria do Caos, antes e depois da realização de uma oficina pedagógica baseada com o aporte teórico da Complexidade?
- Como o Aquecimento Global e a Teoria do Caos estão relacionados na concepção dos estudantes?

### **2.3. Objetivo geral**

- Analisar o processo de formação conceitual dos licenciandos em Física e Matemática da UFRPE sobre o Aquecimento Global e a Teoria do Caos, numa perspectiva de complexidade.



## 2.4. Objetivos específicos

1. Realizar uma *Oficina Pedagógica*<sup>1</sup> com os licenciandos em Física e Matemática da UFRPE sobre as temáticas: Aquecimento Global e a Teoria do Caos, tendo como aporte teórico a Complexidade.
2. Identificar as relações entre as concepções dos licenciandos em Física e Matemática sobre Aquecimento Global e Teoria do Caos, antes e depois da realização de uma oficina pedagógica baseada no aporte teórico da Complexidade.

## 2.5. Pressuposto da pesquisa

Os licenciandos de física e matemática tem obtido sua graduação com base numa matriz curricular desvinculada dos novos paradigmas da ciência contemporânea - tal como a teoria do caos e suas relações com os fenômenos naturais, econômicos e sociais da atualidade, como, por exemplo, o aquecimento global, os terremotos, as alterações na precipitação pluviométrica (enchentes/secas), tornados, tsunamis, oscilações na bolsa de valores etc. Desta forma, o nosso pressuposto de trabalho é que os licenciandos de física e matemática da UFRPE não estão instrumentalizados para atribuírem significado científico aos termos caos e aquecimento global.

---

<sup>1</sup> Conjunto de atividades pedagógicas interligadas, planejadas em consonância com nossa fundamentação teórica no intuito de contribuir com a formação parcial dos sujeitos da pesquisa em relação à temática e às teorias em estudo, as quais não existem oficialmente na UFRPE como disciplinas acadêmicas.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em nossa fundamentação teórica dissertamos sobre conceitos fundamentais do Pensamento Complexo e da Teoria do Caos de modo a estabelecer relações com o Aquecimento Global.

#### 3.1. Alguns caminhos básicos do Pensamento Complexo

Fragmentar o conhecimento para melhor compreendê-lo, isto é, entender a parte estritamente separada do todo, é um princípio do Pensamento Cartesiano que tenta reduzir racionalmente a complexidade dos sistemas naturais e sociais. Os métodos advindos deste, apesar das inúmeras críticas que o cerca, estão bastante imbricados no processo investigativo. O que podemos inferir a este respeito, é que atualmente não são os únicos.

Vivemos sob o império dos princípios de *disjunção*, de *redução* e de *abstração* cujo conjunto constitui o que chamo de o “paradigma de simplificação”. Descartes formulou este paradigma essencial do Ocidente, ao separar o sujeito pensante (*ego cogitans*) e a coisa entendida (*res extensa*), isto é, filosofia e ciência, e ao colocar como princípio de verdade as idéias “claras e distintas”, isto é, o próprio pensamento disjuntivo. Este paradigma, que controla a aventura do pensamento ocidental desde o século XVII, sem dúvida permitiu os maiores progressos ao conhecimento científico e à reflexão filosófica; suas conseqüências nocivas últimas só começam a se revelar no século XX (MORIN, 2007, p. 11).

O emergir de um Pensamento Sistêmico, que ressalta a interação dos elementos constitutivos do sistema, sinalizou uma mudança de concepção científica e, conseqüente, inovação nos métodos. A visão sistêmica, segundo Behrens (2011, p. 56): “busca a superação da fragmentação do conhecimento [...]”. Esta visão, ganhou força em torno de 1950 e 1960, quando o biólogo Ludwig von Bertalanffy desenvolveu estudos relativos aos diversos sistemas existentes e das teorias específicas, no tocante à natureza e evolução dos sistemas. Tais estudos culminaram em sua obra intitulada *Teoria Geral dos Sistemas (TGS)*, que se tornou uma valiosa referência para o paradigma sistêmico ocidental. Esta teoria é definida como uma nova disciplina científica, que busca formular princípios válidos para todos os tipos de sistemas (BERTALANFFY, 2008, p. 62).

A Teoria Geral dos Sistemas, portanto, é uma ciência geral da “totalidade”, [...] uma disciplina lógica-matemática, em si mesma puramente formal, mas aplicável às várias ciências empíricas. [...] Para as ciências que tratam de “todos organizados” teria uma significação semelhante à que tem a teoria das possibilidades para as ciências que se ocupam de “acontecimentos causais”. Esta também é uma disciplina matemática formal que pode ser aplicada a campos muito diversos, tais como a termodinâmica, a experimentação biológica e médica, genética, estatística de seguros de vida, etc. (BERTALANFFY, 2008, p. 62).

A proposta de Bertalanffy, além da grande importância que vem representando no campo das ciências naturais, sociais e humanas, foi ousada devido a seu caráter unificador das ciências e sua enorme extensão conceitual, porém, devemos analisar cuidadosamente aspectos nebulosos de modelos generalistas e explicativos, aqueles que a teoria não atende por ausência de profundidade.

O filósofo Edgar Morin (1998, p. 257-259), em sua obra *Ciência com consciência* aponta a fragilidade e carência conceitual de uma teoria dos sistemas, cuja proposta é abarcar a generalidade do sistema. Morin afirma que a teoria dos sistemas “[...] tende incessantemente a cair nos trilhos reducionistas, simplificadores, mutilantes, manipuladores de que se devia libertar e libertar-nos” (p. 258). Apesar de não se referir diretamente a TGS nem ao seu autor, Bertalanffy, fica evidente a sua posição contrária quando enfaticamente se opõe: “[...] à idéia de teoria geral ou específica dos sistemas a idéia de um paradigma sistêmico que deveria estar presente em todas as teorias, sejam quais forem os seus campos de aplicação aos fenômenos” (p. 259). Já o sociólogo ambientalista Enrique Leff (2010b, p.38-39), em sua obra *Epistemologia Ambiental* critica o projeto interdisciplinar desta teoria com o seguinte argumento:

A TGS formula modelos aplicáveis a diferentes estruturas teóricas, mas ao reduzir a especificidade dos processos reais a suas características formais comuns, desconhecem-se os princípios materiais – “a natureza dos elementos ou força do sistema” – dos quais dão conta as diferentes ciências e que permitam apreender as causas e formas de articulação de seus efeitos, bem como a transformação destes fenômenos ao modificar-se as estruturas materiais que os produzem.

Apesar dos questionamentos apontados por estes autores, reconhecemos que a TGS nos possibilitou uma discussão mais apurada sobre os sistemas, de modo que uma visão sistêmica emergiu de um mundo até então estritamente determinista. Bertalanffy inseriu no campo das ciências um novo conceito para sistemas quando, em sua busca por uma teoria de estudo geral, levou em conta não somente os elementos de um sistema, como também suas interações.

Devemos reconhecer que o pensamento linear (visão em uma única direção) cartesiano (fragmentador) nos levaram ao desenvolvimento de saberes diversos, mas a necessidade de desvendar o que este não conseguiu, como irregularidades e fenômenos não-lineares, fez surgir novas concepções de pesquisa que permitem um olhar analítico mais contextualizado.

Não há dúvida de que o princípio de fragmentação acumulou conhecimentos, ocasionando um verdadeiro *boom* tecnológico hoje altamente visível e vivenciado. No entanto, no cerne desse progresso vem se praticando um outro tipo de relação com o conhecimento, na forma de rede de relações, o que sugere mudança conceitual e princípios mais adequados ao estágio atual de desenvolvimento da ciência (SANTOS, 2008, p. 73).

O filósofo Edgar Morin, atento para uma compreensão mais rica sobre as relações inerentes ao sujeito e ao mundo, desenvolveu uma teoria da complexidade, atualmente conhecida como Pensamento Complexo. Neste, a compreensão de Morin (2007, p. 13) sobre a Complexidade ganha duas dimensões:

A um primeiro olhar, a complexidade é um tecido (*complexus*: o que é tecido junto) de constituintes heterogêneas inseparavelmente associadas: ela coloca o paradoxo do uno e do múltiplo. Num segundo momento, a complexidade é efetivamente o tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações, acasos, que constituem nosso mundo fenomênico.

Não se trata de descartar métodos antigos por meio de novos, mas convidá-los a um diálogo permanente. Para compreendermos o Pensamento Complexo, Morin et al. (2003) apresentam sete princípios (ou caminhos) metodológicos, os quais Mariotti (2000) denominou de operadores cognitivos:

1. Sistêmico ou organizacional: religa o conhecimento das partes com o conhecimento do todo e vice-versa;
2. Hologramático: a parte está no todo assim como o todo está na parte;
3. Retroatividade ou Circularidade: a causa age sobre o efeito, que por sua vez retroage sobre a causa;
4. Recursividade: é uma dinâmica autoprodutiva e auto-organizacional;
5. Autonomia/dependência: para manter sua autonomia, qualquer organização precisa da abertura ao ecossistema do qual se nutre e ao qual transforma;
6. Dialógico: permite considerar lógicas que se complementam e se excluem;
7. Transacionalidade do sujeito/objeto: o sujeito não reflete a realidade, a constrói.

Nossa proposta didática de contextualização de temáticas complexas se fundamenta em quatro destes princípios: hologramático, recursividade, dialógico e transacionalidade do sujeito/objeto.

O caminho hologramático corresponde a noção de que o sistema e suas partes (que pode ser um subsistema) são vistos como igualmente relevantes, pois o todo está na parte e a parte está no todo. A princípio, parece contraditório falar que a parte contém o todo, porém, há diversos exemplos no universo que ratifica esta afirmação. De acordo com Morin (2007, p. 74): “a idéia de holograma vai além do reducionismo que só vê as partes e do holismo que só vê o todo”. Um planeta e uma formiga, o sistema solar e a Lua, o sujeito e a sociedade, a mínima variação e o caos, são alguns exemplos que podemos notar a existência deste princípio, se caso considerarmos suas relações de interdependências. Além de permitir um entendimento mais rico sobre a complexidade, este princípio também é relevante para o ensino, pois a contextualização que se revela na dinâmica do vai e vem, da parte ao todo e do todo à parte, possibilita a religação de saberes que estavam restritas pela disciplinarização (ARAUJO, 2011).

A recursividade diz respeito ao comportamento auto-replicador e circular do sistema. Sistemas gerados em cadeia por um algoritmo matemático computacional ou proveniente da natureza, podem ser regidos pela recursividade. Daí, podemos perceber que: “Os sistemas complexos caracterizam-se, portanto, pela sua capacidade de auto-regulação, estabelecendo seus próprios parâmetros, e de auto-reprodução, multiplicando-se dentro dos parâmetros estabelecidos (LEFFA, 2006, p. 37)”. Sendo que, aplicado aos sistemas de relações humanas, tal noção vai além da

complexidade matemática identificada em sistemas dinâmicos, pois como aponta Morin (2007, p. 74), “produtos e efeitos são ao mesmo tempo causas e produtores do que produz”. Da mesma maneira que um ensino produzido por sua lógica cartesiana se reproduz e se alimenta, é possível desenvolver um ensino baseado em uma lógica não cartesiana. Considerar esta possibilidade nos permite acreditar em um ensino de matemática e de física coerente com o conhecimento da realidade complexa da natureza.

Outro ponto que podemos aprender com este princípio é que a lógica de ensino-aprendizagem professor/aluno também pode ser entendida como aluno/professor, num processo recursivo. Segundo Morin (1998, p. 182): “O processo social é um círculo produtivo ininterrupto no qual, de algum modo, os produtos são necessários à produção daquilo que os produz”. Dessa forma, devemos compreender que é insuficiente exaltar apenas o papel do professor ou do aluno, buscando alguma relação hierárquica. Estabelecer outro pilar para uma relação de poder, chamado conhecimento científico, tão pouco ajuda o ensino. A lógica que oscila indefinidamente sem nosso controle se aplica a outras relações sociais, e estas, por sua vez, também se estabelecem num processo recursivo.

No caminho dialógico, está presente a noção da necessária interação e coexistência de ordem e desordem para que ambas possam existir individualmente, o que Morin (2007, p.74) chama de "dualidade no seio da unidade". De acordo com a definição de Morin et al. (2003, p.36), este princípio corresponde a “associação complexa (complementar/concorrente/antagônica) de instâncias necessárias, conjuntamente necessárias à existência, ao funcionamento e ao desenvolvimento de um fenômeno organizado”. Isto significa que as contradições devem caminhar juntas para que um sistema faça sentido, pois "Já dizia Pascal que o contrário da verdade não é a mentira, mas uma verdade contrária" (LEFFA, 2006, p. 36). Imaginemos, portanto que se o meteorologista Lorenz, considerado o maior representante da Teoria do Caos, não desse ouvidos as contradições, talvez seu trabalho não passasse de meras observações do clima. Até mesmo, para encontrar ordem no sistema é necessária a consideração da desordem.

Os contrários, distantes por definição, se complementam com a noção dialógica possibilitando uma aproximação conceitual até então inconcebível por uma lógica excludente. O ensino por meio da dialógica da tensão conceitual, provocada entre as controvérsias do aquecimento global, pode promover um pensar complexo. O

princípio da sustentabilidade e a lei da termodinâmica, as informações catastróficas e as otimistas, a economia verde (sustentável) e a necessidade de desenvolvimento de países pobres, dentre outras, são exemplos de tensões conceituais relativas ao aquecimento global. Considerar tal dialógica, no entanto, não significa o fim das tensões, e sim, mais uma possibilidade de aproximação entre elementos aparentemente dispares, tornando possível uma compreensão mais crítica do fenômeno.

Da mesma forma este argumento pode ser aplicado ao ensino de física e de matemática, pois ainda que os livros e currículos acadêmicos apresentem um sofisticado arcabouço de teoremas e simbologias, o contexto escolar se revela dinâmico e mais exigente quanto ao sentido do conhecimento proposto. Logo, este é passível de situações antagônicas, como por exemplo, a relação entre concepção empírica do sujeito sobre um determinado conceito e àquela advinda dos campos científicos. A dialógica da contradição entre os sentidos empíricos e científicos pode ser um meio de promover um avanço no repertório conceitual do sujeito que aprende, pois como afirma Morin (1998, p. 203): “temos de aprender a pensar conjuntamente ordem e desordem”. Se existe uma dificuldade histórica dos pesquisadores, professores e alunos entenderem ordem e desordem através de uma lógica “complementar”, então se justifica a prática da dialógica entre o empírico e o científico.

Por último, temos a transacionalidade do sujeito/objeto, que inicialmente foi denominado por Morin et al. (2003) de “Reintrodução do sujeito cognoscente em todo o conhecimento”. Com a afirmação de que o sujeito constrói a realidade, ao invés de refleti-la, este princípio critica o pensamento científico baseado apenas no controle do conhecimento. Ao coletar, observar ou construir dados e teorias, o sujeito cria uma tradução da realidade que pode conter erros, ainda que seja uma interpretação bastante próxima do real (MORIN, 2002). A realidade é como o paradoxo de Zenão, em que sempre a metade do caminho deve ser percorrida para se deslocar de um ponto a outro. Nesta situação, por mais próximos que fiquemos, jamais chegaremos ao ponto final. De fato, as teorias são modelos próximos da realidade até que outros modelos mais “realísticos” sejam constituídos, num processo ilimitado de construção e reconstrução, de ordem e desordem, de organização e desorganização. Entre o sujeito e o objeto existe um espaço disputado pelas certezas e incertezas. Por exemplo, uma teoria de ensino-aprendizagem bem estruturada e estabelecida, por mais que seja sofisticada, não escapa das incertezas da complexidade.

Portanto, na dimensão conceitual os caminhos do pensar complexo são próximos o bastante para inferirmos que são mutuamente válidos na tentativa de entender o sistema em sua complexidade. Quando o sujeito busca seguir um deles, inevitavelmente se encontra com os outros. No entanto, estes princípios podem até fazer parte de plano de aula de um professor ou de uma instituição, porém, são irrelevantes se ensinados e aprendidos como uma receita. Neste caso, a ordem que eles são ensinados é menos importante que o modo que são apresentados pelo(s) docente(s) e interpretados pelo(s) estudante(s).

### **3.2. Complexidade ambiental para docentes**

A afirmação que um professor precisa de uma formação pode estar carregada de reducionismos, pois quando o termo ‘formar’ lembra a necessidade de capacitar para um determinado fim, torna-se perfeitamente justificável a “hiperespecialização” criticada por Morin (2002, p. 41):

De fato, a hiperespecialização impede tanto a percepção do global (que ela fragmenta em parcelas), quanto do essencial (que ela dissolve). Impede até mesmo tratar os problemas particulares, que só podem ser propostos e pensados em seu contexto. [...] Ao mesmo tempo o recorte das disciplinas impossibilita apreender “o que é tecido em conjunto”, ou seja, segundo o sentido original do termo, o complexo.

Atualmente, o acesso a informação, bem como os avanços científicos e tecnológicos, vem crescendo rapidamente. Sendo assim, podemos supor um aumento do conhecimento especializado na mesma proporção. Desenvolver um campo específico do conhecimento é um avanço particular, muitas vezes relevante, todavia, a visão do todo pode passar despercebida. Como bem lembra Morin (1996, p. 6): “o nosso sistema de ensino educativo privilegia a separação em vez de praticar a ligação”. D’Ambrosio (1996, p. 231), falando sobre currículo, ressalta ainda que: “A distinção entre um matemático, um físico, um biólogo, um químico teve início no século XIX e nada tem haver com a Educação”. Fato que nos permite questionar a formação “linear” do docente, cuja preocupação institucional seja apenas o desenvolvimento de competências específicas, habilidades próprias para realizar ou produzir algo. Um ensino que produz e absorve um profissional com tal formação, possivelmente potencializa e reproduz um conhecimento seccionado.



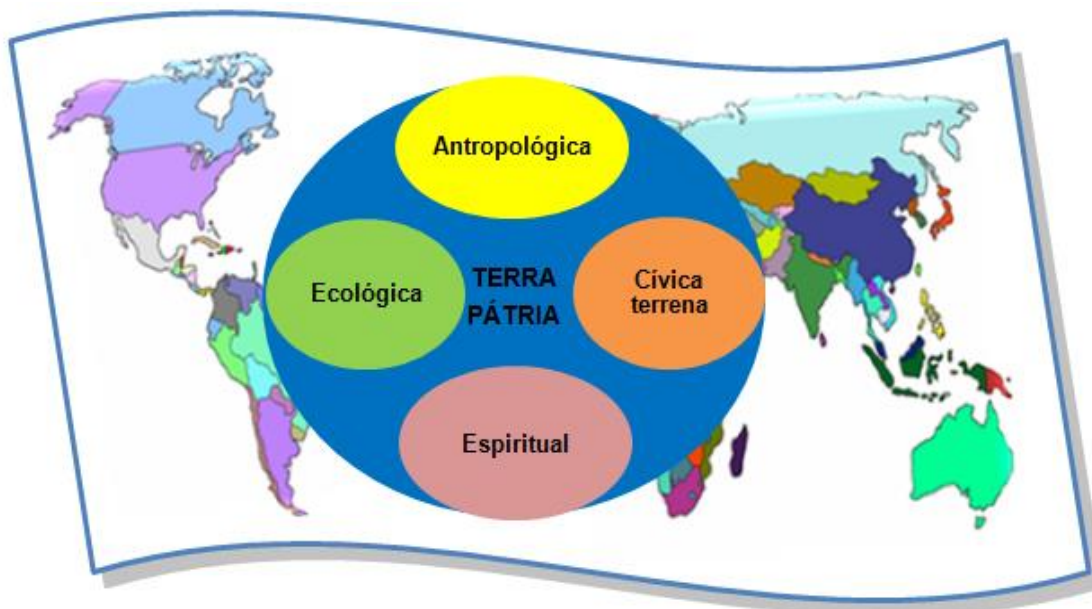
Um ensino “linear” por desvalorizar a contextualização não permite haver espaço para reflexão consciente sobre o conhecimento, de modo geral. Um novo tipo de ensino é insuficiente se a contextualização não desenvolva no sujeito uma plena consciência, pela qual coexistam o conhecimento de si mesmo, do outro e do ambiente. Morin (2002), preocupado com o modo de pensar do sujeito, propõe quatro tipos de consciência que a humanidade precisa introjetar dentro de si para a promoção de uma educação planetária:

1. Antropológica: O planeta é constituído de diferenças, tais como culturas, ideologias, opiniões, regimes políticos, etc. Porém a complexidade é o entrelaçamento dessas diversidades, pois os elementos do sistema Terra dialogam, se complementam em uma condição existencial comum. Este é o reconhecimento “da unidade na diversidade”.
2. Ecológica: A biosfera é o sistema constituído de seres vivos. A humanidade é parte desse sistema assim como todos os outros seres. Reconhecer-se como habitante planetário, é o reconhecimento dos outros seres como tal.
3. Cívica terrena: O habitante da Terra precisa reconhecer sua responsabilidade e solidariedade para com os outros, reconhecendo-se em uma civilização planetária.
4. Espiritual: Este termo não sugere algo metafísico, pois se refere especialmente a “condição humana que decorre do exercício complexo do pensamento e que nos permite, ao mesmo tempo, criticar-nos mutuamente e autocriticar-nos e compreender-nos mutuamente”. Esta consciência possibilita a tolerância entre os seres humanos, como o diálogo entre nações, em diferentes aspectos. O que não se trata de diplomacia, nem de ser conivente com a falha do outro, e sim, de compreensão de si mesmo e do outro como sistema social.

Tais consciências se complementam e são frutos de uma noção fundamental para o pensar complexo, a qual Morin (2002) chama de Terra-Pátria. Não devemos confundi-la com a ilusão de uma só nação, educação, cultura, economia, política, ou qualquer ideologia generalista. Esta noção sugere que somos todos compatriotas do planeta (Figura 1), portanto, unidos por uma mesma condição de existência: um ser planetário. Assimilar esta noção nos possibilita refletir sobre questões controversas e

significativas da atualidade, como o aquecimento planetário, as mudanças climáticas e a responsabilidade humana.

**Figura 1 - Tipos de consciências necessárias à humanidade**



**Fonte: Representação baseada em Morin (2002; 2007).**

Em meio às afirmações de diversos cientistas sobre a responsabilidade humana com relação ao aquecimento do planeta (IPCC/ONU, 2007), vemos ainda discussões sobre a veracidade de uma suposta crise Ambiental provocada pela ação humana. Ainda que seja um tema controverso, como coloca Silva e Carvalho (2007), tal responsabilidade nos sugere que os educadores não devem se isentar desta discussão.

O emergir de reflexões e ações diante do Aquecimento Global é uma tarefa não-exclusiva da educação escolar, mas de sua intensa responsabilidade. De acordo com Gressler (2008, p. 35): "É papel inevitável da Educação preocupar-se com a formação global do indivíduo, para que o mesmo possa desenvolver habilidades que permitam compreender, avaliar, interpretar e julgar, para então construir uma nova realidade."

Segundo a máxima da Teoria do Caos, conhecida por Efeito Borboleta, uma mínima mudança nas condições iniciais de um sistema pode gerar variações significativas no sistema todo, como por exemplo, as mudanças do sistema climático. Acreditamos que semelhantemente precisamos de mudanças significativas no sistema educacional, por menores e utópicas que aparentem ser. Talvez seja uma possível reação em cadeia, que possa mobilizar o professor para mobilizar o aluno, pois como assinala Morin (1996, p. 8): "Todos os problemas se situam a um nível global e, por isso, devemos mobilizar a nossa atitude (...)". Algo que possa fazer parte da formação de professores, de modo a construir opiniões e reagir criticamente sobre o conhecimento que nos é apresentado constantemente nos meios de comunicação, tanto os de massa quanto os científicos.

Dessa forma, uma formação “não-linear” dos futuros professores de disciplinas chamadas de “exatas”, como a física e a matemática, pode se estender aos alunos do ensino Fundamental e Médio, possibilitando um pensar complexo, o qual dialoga com as controvérsias e desenvolve um saber coerente com a realidade, crítico-reflexivo e contextualizado sobre questões ambientais. Para tanto, a complexidade, como uma nova perspectiva educacional se faz necessária, porque: "A visão complexa procura entender as relações entre as partes e o todo, remetendo um ao outro e vice-versa" (MARIOTTI, 2000, p. 85).

Uma nova abordagem pedagógica, baseada em princípios do Pensamento Complexo, pode ser uma resposta a suposta crise ambiental, pois não se trata de uma educação ambiental pontual, acomodada as metodologias clássicas. Falamos aqui de uma “pedagogia da complexidade ambiental”, que de acordo com Leff (2010a, p. 58): “[...] reconhece o conhecimento, olha o mundo como potência e possibilidade, entende a realidade como uma construção social mobilizada por valores, interesses e utopias”. O autor (p. 57) defende uma nova racionalidade que prepara esta pedagogia e propõe um argumento que resume bem os princípios que a institui: “Aprender a aprender a complexidade ambiental é a inscrição do ser em um devir complexizante. Um ser sendo, pensando e atuando no mundo (LEFF, 2010a, p. 62)”. A utopia proposta por este autor se torna possível a partir de um desprendimento do ensino visto em apenas uma direção: o aprender para produzir. Logo, é necessária a utopia possível do aprender para melhor pensar.

Educar com base no pensamento complexo deve ajudar-nos a sair do estado de desarticulação e fragmentação do saber contemporâneo e de um pensamento social e político, cujas abordagens simplificadoras produziram um efeito demasiado conhecido e sofrido pela humanidade (MORIN, 2007, p. 38-39).

D'Ambrosio (2005, p. 87), na última frase de sua obra *Etnomatemática: elo entre as tradições e a modernidade*, faz uma pergunta que se encaixaria perfeitamente em nossa proposta: “Como ser educador sem ter uma utopia?” Nossa utopia é encontrar meios de compreensão da realidade complexa de uma suposta crise amplamente anunciada.

### **3.3. Aquecimento Global: mito ou realidade?**

Nas últimas quatro décadas, o debate ambiental tem sido fortalecido pelas conferências internacionais instituídas pela Organização das Nações Unidas (ONU). As conferências se configuram como um grande palco de questionamentos sobre conceitos específicos, de construção e desenvolvimento de novos conceitos, de “bandeiras” ideológicas, de diretrizes legais e de metas estabelecidas para execução em comum acordo com todas as nações envolvidas. Além do mais, elas buscaram avanços em temas ainda distantes de consensos, como os relacionados ao Aquecimento Global. Este fenômeno diz respeito ao aumento da temperatura do planeta e vem sendo intimamente associado à mudança do sistema climático. Tal associação é uma confusão decorrente de abordagens pontuais sobre um tema extremamente complexo.

Segundo Da-Silva-Rosa e Maluf (2010, p. 46), noções específicas da abordagem temática do clima devem ser consideradas: “[...] a questão dos cenários, a incerteza, as diversas noções de tempo, relação local-global, a interdependência sistêmica e a complexidade são alguns exemplos”. Todavia, abarcar com profundidade questões climáticas não é uma tarefa singela e solitária, pois há conceitos que antecedem ou mesmo transcendem os supracitados, como a própria natureza complexa. Cientes desta complexidade temática, consideramos relevante para nosso estudo conhecer alguns dos desdobramentos temáticos, como conceitos e questionamentos relacionados ao tema, bem como e o cenário político e educacional, como eventos internacionais relacionados ao tema e o papel da educação neste contexto. Dos diversos conceitos e questionamentos inerentes a

temática podemos destacar: sistema climático, efeito estufa, controvérsias sobre aquecimento global.

### 3.3.1. Sistema climático

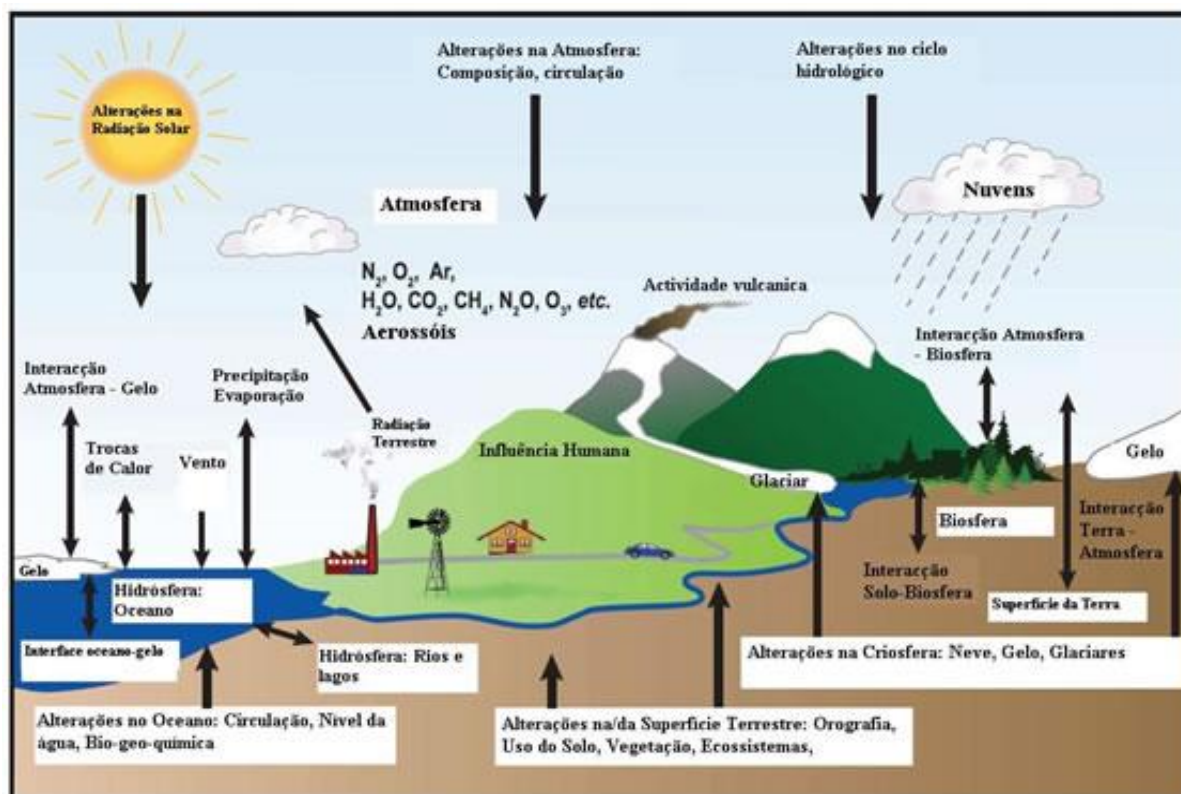
Na definição de Onça (2011, p. 71), é “um sistema complexo e interativo onde interagem cinco grandes componentes: a atmosfera, a superfície terrestre, a criosfera, a hidrosfera e a biosfera”. De forma semelhante, o IPCC (2007, p. 96) define o sistema climático como “um complexo, um sistema interativo constituído de atmosfera, superfície terrestre, neve e gelo, oceanos e outras porções de água, e seres vivos” (tradução livre). De fato, como a complexidade climática corresponde à diversidade heterogênea e dinâmica dos elementos que o constitui (Figura 2), qualquer classificação e subclassificações relativas ao sistema climático, encontradas na literatura geográfica, apenas tem efeito didático. O clima do planeta, por exemplo, é geralmente subdividido em equatorial, tropical, temperado, mediterrâneo, continental, polar e árido. Classificação baseada nas características sobressalentes de cada região, como temperatura, umidade ar, pressão atmosférica, distância de uma região para o mar, correntes marítimas, latitude e altitude<sup>1</sup>. Estes tipos de clima são de fato intimamente ligados no sistema climático.

Se desconsiderarmos a essência do clima através do apego às definições, podemos criar um obstáculo para o ensino. A postura diferente do professor de matemática, de física e doutras disciplinas diante desse obstáculo converge para um ensino contextualizado, respaldado por uma visão complexa, em que é relevante compreender as interações dos elementos com o todo (ou vice-versa) e a condição humana neste sistema.

---

<sup>1</sup> Equatorial, Tropical e Temperado são os três tipos de clima predominantes no Brasil. Fonte: Informações obtidas no Portal Brasil - <http://www.brasil.gov.br/sobre/meio-ambiente/geografia/tipos-de-clima>.

Figura 2 - Dinâmica do sistema climático.

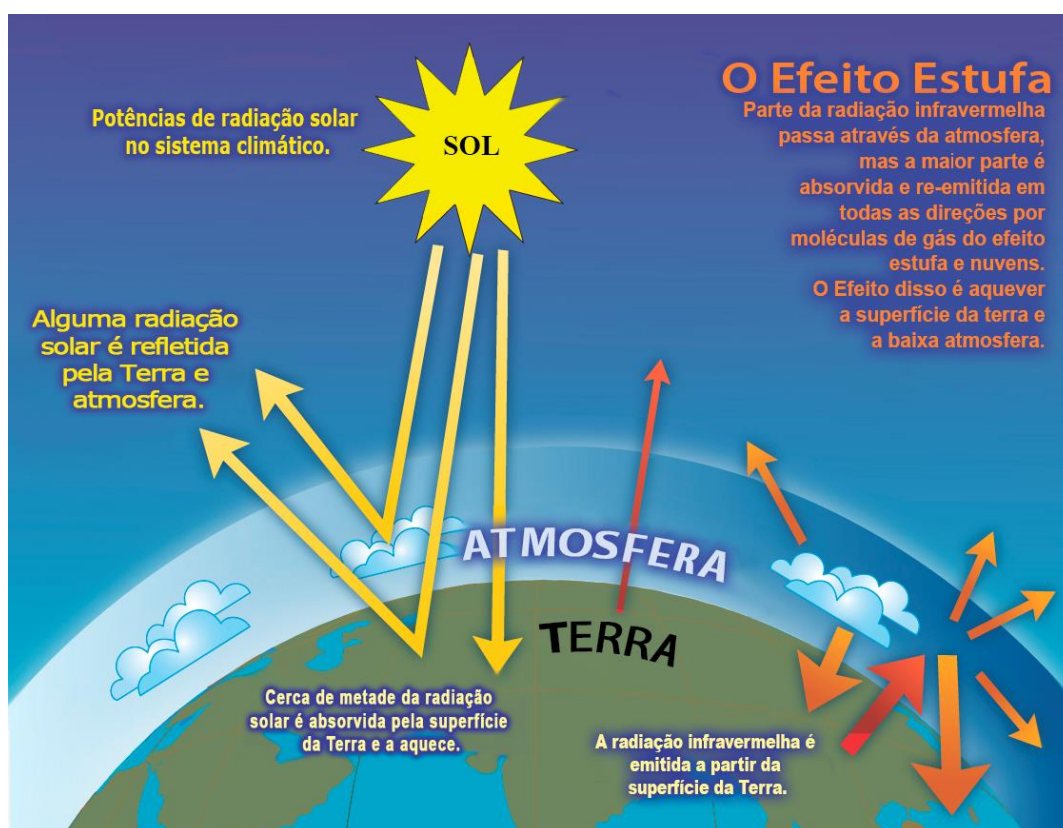


Fonte: Esquema adaptado do AR4-IPCC/ONU (2007, p. 104).

### 3.3.2. Efeito estufa

Naturalmente os vapores de água ( $H_2O$ ), o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e o metano ( $CH_4$ ) compõem nossa atmosfera, retendo parte da energia solar, proporcionando assim uma temperatura adequada para a existência e manutenção da vida. Estes gases “[...] são relativamente transparentes à radiação solar, enquanto absorvem grande parte da radiação emitida pela superfície aquecida da Terra. Isso faz com que a sua superfície tenha uma temperatura maior do que se não houvesse a atmosfera (XAVIER; KERR, 2004, p. 328)”. O efeito estufa faz parte do sistema de aquecimento terrestre (Figura 3), ou seja, é a camada atmosférica responsável em manter o planeta aquecido e, portanto, essencial à manutenção de nossa biodiversidade.

**Figura 3 - Modelo idealizado do efeito estufa.**



Fonte: Esquema adaptado do AR4-IPCC/ONU (2007, p. 115).

O “Efeito Estufa Natural” é um processo natural em que a irradiação solar é responsável pelo aquecimento da baixa troposfera e da superfície terrestre. Este efeito natural de aquecimento da troposfera foi reconhecido inicialmente pelo químico sueco Svanti Arrhenius em 1896, sendo atualmente uma das teorias mais aceitas nas ciências atmosféricas (MILLER, 2007, p. 421). Percebe-se no emprego do predicativo “Natural” a preocupação do autor com o conceito do efeito estufa. A afirmação do ponto de vista da lógica clássica nos remete a existência de uma terminologia contrária: “Efeito Estufa Não-Natural” - que não foi utilizada diretamente pelo autor. Dessa forma, decorre um Efeito Estufa Antropogênico, isto é, um fenômeno climático que sofre influência da ação humana.

O caráter dicotômico do emprego dos termos qualificadores do efeito estufa (Natural ou Não-Natural) pode ser um entrave para entendimento do aquecimento global, mas a generalização excessiva também pode ser um equívoco conceitual. Discutir sobre as contradições sem esperar por consensos talvez seja o melhor caminho para compreensão dos conceitos. Por esta razão é preciso analisar os

conceitos do efeito estufa considerando indissociáveis a parte e o todo, em que processos físicos e subjetivos são integrados no sistema geral. Isto, no entanto, não significa abarcar todos os elementos do sistema atmosférico, e sim, considerá-las relevantes para a compreensão do conceito que ora é concebido de forma pontual, ora é bastante generalizado.

De modo geral, podemos compreender o efeito estufa como um fenômeno do sistema atmosférico responsável em manter a temperatura adequada para existência da vida no planeta Terra. Mas esta harmonia não significa estabilidade ou, em outras palavras, que o sistema atmosférico não esteja sujeito à alterações.

Seja de origem “natural” e/ou “antropogênica”, quando aumenta excessivamente os gases na atmosfera, o planeta fica superaquecido, e dessa forma surge o fenômeno do Aquecimento Global, e a conseqüente mudança climática. O conceito de efeito estufa que ora se confunde com o de AG ou de mudança climática, entretanto, precisa ser melhor compreendido. Xavier e Kerr (2004), em uma criteriosa análise de conceitos e tratamento da informação sobre *efeito estufa*, presente em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos, apontaram a falta de rigor científico e uma forte tendência em associar o tema a eventos catastróficos. De acordo com a pesquisa, isto ocorre em menor quantidade nos livros voltados para o ensino, mas não menos preocupante.

### **3.3.3. As controvérsias sobre o Aquecimento Global**

Alguns pesquisadores, como Silva e Carvalho (2007) e Vieira e Bazzo (2007), consideram o AG como um tema controverso, uma classificação decorrente das divergências da comunidade científica quanto à natureza do fenômeno, suas causas e conseqüências. Controvérsias que se ramificam nos meios de divulgação científica.

Um grupo importante de cientistas considera que ainda existem muitas dificuldades para compreendermos adequadamente a complexidade dos fenômenos interligados com o aquecimento global; daí derivam algumas considerações de que ainda é prematuro enfatizar que esse fenômeno seja única e exclusivamente de origem antrópica. Diferente daquilo colocado pela grande mídia, quando se trata de aquecimento global é importante termos em mente que muitas questões complexas ainda estão abertas, distanciando-nos muito de um consenso mínimo na comunidade científica. (SILVA; CARVALHO, 2007, p. 7)



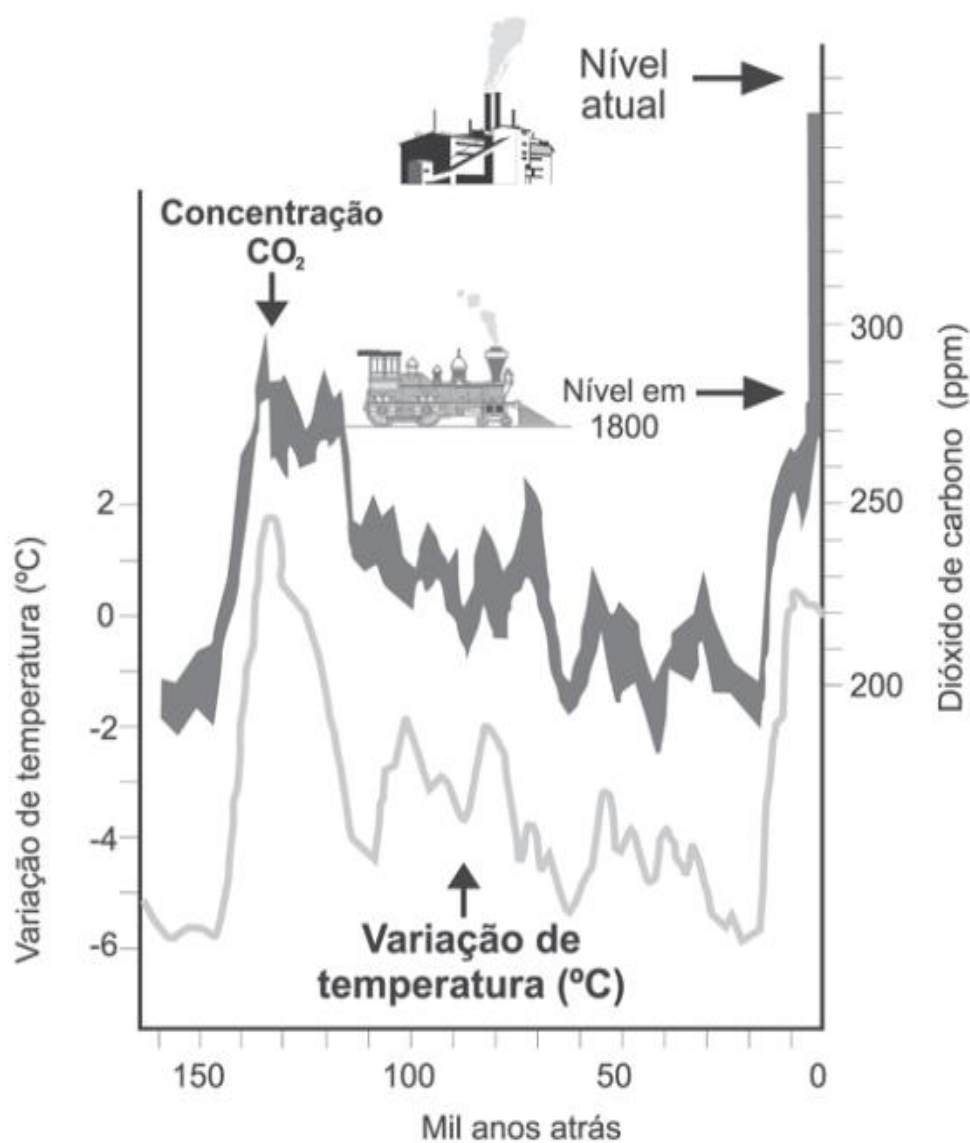
Existem diversos modelos explicativos baseados em hipóteses bem conjecturadas, cuja descrição não é o alvo de nossa pesquisa, bem como crenças diversas sobre a veracidade ou características do Aquecimento Global. Contudo, precisamos entender que há predominantemente duas tendências antagônicas na comunidade científica: uma que diz respeito a atividade humana (antropogênica) como responsável pelo aquecimento, outra que considera o aquecimento como fruto de causas naturais (fenomênica). Apresentamos uma nova possibilidade, que abarca as duas tendências anteriores (Proposta de tendência dual).

### **3.3.3.1. Tendência antropogênica**

Considerar o homem como responsável pelo aquecimento do planeta e consequente mudança climática, de fato é o argumento mais difundido pela mídia e organizações oficiais. Tem como forte hipótese o apogeu da revolução industrial, iniciada no continente europeu no século XVIII, que a partir daí a emissão de gases na atmosfera tem sido uma constante, tornando a camada mais espessa. Com isso a energia solar é retida em maior quantidade, e por consequente, aumento do efeito estufa.

Segundo o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), nos últimos 150 vem aumentando a concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera, os quais se destacam o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Sendo que, em comparação ao  $\text{CO}_2$ , os gases  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  possuem respectivamente maior potencial de aquecimento (20 e 310 vezes maior) e apresentam menor taxa de emissão atmosférica (IPAM, 2009, p. 10). No topo das emissões gasosas, a análise temporal entre a concentração do dióxido de carbono e a variação da temperatura do planeta é uma possível indicação de aquecimento global antropogênico. Na Figura 4 podemos observar esta análise, mostrando um comparativo entre a concentração do gás carbônico na atmosfera (ppm) e a variação de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) durante mil anos. As figuras da “usina ou fabrica” e do “veículo” representam a influência industrial na emissão de gases poluentes.

**Figura 4 - Concentração atmosférica de dióxido de carbono e variação da temperatura.**



Fonte: Extraído do IPAM (2009).

Com base nestes dados, as previsões ambientais relacionadas às mudanças climáticas se apresentam de forma não otimista. Dentre as consequências dessas mudanças, em face do iminente aquecimento planetário, o IPAM também lista oito possíveis impactos:

**Quadro 1 - Possíveis impactos das mudanças climáticas, com ênfase na realidade brasileira.**

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | Aumento na frequência da ocorrência de eventos climáticos extremos: | “deverá ocorrer um aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, tais como enchentes, tempestades, furacões e secas. Ainda, o El Niño, um evento climático que ocorre regularmente a cada 5 a 7 anos, poderá se tornar mais intenso e freqüente, provocando secas severas no norte e nordeste e chuvas torrenciais no sudeste do Brasil”.   |
| 2 | Elevação do nível do mar:   | “[...] desaparecimento de muitas ilhas (em alguns casos países inteiros), com danos fortes em várias áreas costeiras, além de causar enchentes e erosão”.   |
| 3 | Perda de cobertura de gelo:   | “Nos próximos anos, poderá haver uma diminuição ainda maior na cobertura de gelo da Terra tanto no Ártico, quanto na Antártica. Algumas projeções indicam ainda o desaparecimento quase total do gelo marinho ártico do final do verão, em meados do século XXI”.   |
| 4 | Alterações na disponibilidade de recursos hídricos:                 | Chuvas podem diminuir e [...] áreas áridas poderão se tornar ainda mais secas. [...] Poderá ocorrer também o avanço de água salgada nas áreas de foz de rios, além de escassez de água potável em regiões críticas, que já enfrentam stress hídrico. As previsões ainda alertam sobre os riscos de diminuição dos estoques de água armazenados nas geleiras e na cobertura de neve, ao longo deste século”. |
| 5 | Mudanças nos ecossistemas:  | Afeta a biodiversidade, alterando processos migratórios e reprodutivos, extinção de espécies, etc.  |
| 6 | Desertificação:   | “Estima-se que cerca de 135 milhões de pessoas estão sob o risco de perder suas terras por desertificação. Segundo a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação, a África poderá perder cerca de 2/3 de suas terras produtivas até 2025, enquanto a Ásia e a América do Sul poderão perder 1/3 e 1/5, respectivamente”.  |
| 7 | Interferências na agricultura:                                      | “nas regiões subtropicais e tropicais, mudanças nas condições climáticas e no regime de chuvas poderão modificar significativamente a vocação agrícola de uma região[...]” A produção de alimentos pode afetar e a consequente fome em países pobres.   |
| 8 | Impactos na saúde e bem-estar da população humana:                  | Doenças oriundas do calor e mosquitos, deslocamento de pessoas. “Acredita-se que a população mais empobrecida e vulnerável dos países em desenvolvimento seria a mais afetada, uma vez que teriam recursos limitados para se adaptar às mudanças climáticas”.   |

**Fonte: Lista adaptada do IPAM (2009, p. 15-17).**

Atribuir responsabilidade humana ao aquecimento global é um argumento, que devido ao apelo emergencial do discurso ambientalista, busca sensibilizar a humanidade de modo mais contundente sobre a necessidade de preservação ambiental, da promoção e qualidade de vida, do reaproveitamento de materiais descartados, da conservação e proteção da fauna e flora, dentre outras “bandeiras” ideológicas de defesa e convivência harmônica do homem com a Natureza.

O aquecimento do sistema climático não é um equívoco, sendo agora evidente de acordo com as observações de aumento global do ar e das temperaturas dos oceanos, derretimento de gelo e neve em larga escala, e aumento global do nível dos oceanos (IPCC/ONU, 2007, p. 5).

Ao encerrar o artigo *A bomba-relógio do aquecimento global*, cujo nome já sugere consequências desastrosas para o planeta, o físico e astrônomo James Hansen (2004, p. 6) faz uma indagação contundente: “A questão é: iremos agir em tempo?”. Apesar de reconhecer o que chama de “forçantes naturais”, fenômenos da natureza de influência climática como erupção vulcânica, Hansen (2004, p. 2-3) assinala que atividade humana produz forçantes climáticos como “aerossóis (partículas finas no ar), a substituição das florestas pelas plantações, porém A maior mudança das forçantes climáticas nos séculos recentes é causada por gases de efeito estufa produzidos pelo homem.

### **3.3.3.2. Tendência fenomênica**

Dentre as críticas contrárias aos modos pelos quais os problemas climáticos são tratados por movimentos internacionais, destacam-se aqueles oriundos do próprio âmbito científico:

Todas as conclusões do IPCC sobre o clima futuro e o aquecimento global utilizam o termo *provável de acontecer*. Mas agora, um novo estudo, publicado na *Nature Geoscience*, afirma que as melhores previsões feitas pelos cientistas sobre o aquecimento estão provavelmente incorretas (ROSA, 2009).

Os Modelos Climáticos Globais (MCG), representação matemática e computacional de processos físicos do sistema climático, são os principais instrumentos de pesquisas climatológicas e vem sendo constantemente utilizados para fundamentar o aquecimento global e as mudanças do clima. Apesar de pesquisadores como Betts, Nobre, Kay, Sampaio e Chou (CCST-INPE; MOHC, 2011) defenderem os MCG como ferramentas adequadas e merecedoras de credibilidade científica para realizar projeções futuras sobre o comportamento do sistema climático, há elementos que podem passar despercebidos ou serem desconsiderados na pesquisa, devido a enorme complexidade deste sistema. O cientista brasileiro Luiz

Carlos Baldicero Molion (2008, p.7), considerado um dos maiores críticos da tendência antropogênica, afirma que tal hipótese carece de fundamentação científica mais sólida e as equações dos MCG adotados pelos pesquisadores, “[...] não representam adequadamente os processos físicos que ocorrem na atmosfera, particularmente o ciclo hidrológico”.

Em entrevista à revista *Istoé*, Molion explica que “É difícil dizer que o aquecimento é global. O Hemisfério Sul é diferente do Hemisfério Norte, e a partir disso é complicado pegar uma temperatura e falar em temperatura média global” (RANGEL, 2007). Ou seja, como a credibilidade científica desta medição de temperatura terrestre é duvidosa (MOLION, 2008, p.12), a própria terminologia: “Aquecimento Global” seria um equívoco que apenas generaliza uma temperatura que é naturalmente variável na complexidade climática. Sem descartar a mudança climática, Molion (2008, p.23) destaca que nosso clima “é resultante de tudo o que ocorre no Universo” e sugere que provavelmente o mundo está em um processo de resfriamento: “[...] se a poeira densa, de uma estrela, que explodiu há 15 milhões de anos, adentrasse o Sistema Solar, diminuiria a radiação solar incidente e resfriaria o Planeta!”.

Contudo, apesar de suas críticas a temática, nem a degradação ambiental nem a irresponsabilidade humana quanto ao cuidado com o planeta são ideias legitimadas por este cientista, pois como bem lembra: “[...] a conservação ambiental é necessária e independente do aquecimento ou resfriamento global (MOLION, 2008, p. 23)”.

No tocante às causas naturais do Aquecimento Global, Silva e Carvalho (2007, p.7-8) destacam em síntese que:

[...] a diminuição do albedo (refletividade média) planetário provocado por uma menor atividade vulcânica, as variações das circulações atmosféricas e oceânicas, as mudanças dos parâmetros orbitais da Terra ou, ainda, a influência de acontecimentos provenientes do sistema solar como a variação de produção de energia solar.

No entanto, as causas fenomênicas não são alvo dos meios de comunicação. De fato, quando escutamos falar em Aquecimento Global nos noticiários, geralmente, obtemos uma informação carregada de incertezas quanto ao futuro das espécies ou de forma fragmentada, cujas informações são factuais: geleira derrete e aumenta o nível do mar; as águas dos mares estão avançando gradativamente aos litorais; a temperatura continua subindo, dentre outros fatos. Segundo Conti (2005, p.74):

Cenários de catástrofes, freqüentemente apresentados na mídia de forma simplista, sem o necessário questionamento, devem ser descartados, pois, seguramente, o planeta não está caminhando para o colapso, em curto prazo, e ainda não dispomos de informações seguras para previsões muito distantes.

As informações catastróficas fazem parte da retórica “apocalíptica” presente no discurso ambientalista, bastante explorado nos meios de comunicação. Um poder argumentativo simplista e reducionista “[...] capaz de eletrizar os militantes, converter os indecisos e influenciar o governo e a política comercial”, que abraçado por um apelo emocional do jornalismo, ganha mais espaço e notoriedade (ONÇA, 2011, p. 6)”. Situação que pode originar e disseminar equívocos travestidos de cientificidade que ferem a integridade científica dos fatos. Vale ressaltar que mesmo que os conceitos se divirjam, para evitar equívocos e exageros é necessária uma determinada concordância entre a ciência e a mídia, proporcionando a população uma linguagem simples e coerente, sem perder de vista a fundamentação científica (HEINZ et al., 2008, p. 2). A preocupação com a coerência científica, com as relações conceituais e as incertezas que envolvem o AG é um passo a favor de um pensamento contextualizado e significativo, proveniente de uma olhar complexo sobre o ensino deste tema.

### **3.3.3.3. Proposta de tendência dual**

Na tendência fenomênica, o predicado “naturais” (ver tópico: Efeito Estufa), comumente encontrado na literatura, reflete uma separação didática tradicional que de certa forma exclui o ser humano como agente natural. Já na tendência antropogênica, o termo também exclui a gênese natural (fenomênica, causas naturais). Esta separação entre homem e natureza distancia ainda mais a gênese do AG e particulariza uma possível ameaça, cujo termo global indica a necessidade de se olhar para o todo.

Um todo em que precisamos fazer valer a dialógica (MORIN et al., 2003) como um caminho para compreender de forma complexa as tensões destas tendências exclusivistas. Dessa forma, seria possível um diálogo entre estas tendências? Seria possível a prática do binômio Natureza/Homem (ou Homem/Natureza), cuja responsabilidade é bivalente? Talvez, a primeira atitude para a promoção de outra

tendência mais dialógica, seria o exercício da noção de ser parte da biosfera, a qual Morin (2002), chamou de Consciência Ecológica. Nesta perspectiva, o pensar complexo sobre o Aquecimento Global não se detém em nenhuma das possibilidades, mas as considera como relevantes. Pensar que o planeta é um único lar nos atribui ainda mais responsabilidade para com o planeta.

Considerar a existência de dois fatores para o Aquecimento Global, não é um argumento facilmente percebido na literatura. Vejamos um exemplo de definição do fenômeno em que o autor, mesmo enfatizando a tendência antropogênica e o termo mudanças climáticas, admite influência da natureza:

O aquecimento global é uma denominação específica de um caso mais geral chamado de mudanças climáticas. Esse fenômeno pode ser induzido por processos naturais ou por atividades humanas e suas consequências ainda não são completamente conhecidas. De forma resumida, o aquecimento global é observado em função do aumento médio da temperatura da atmosfera da Terra e dos oceanos. (VIOLA, 2011)

Por tais motivos e pela credibilidade científica das proposições antagônicas, é razoável a hipótese das causas do aquecimento ser dual, isto é, constituído pelas duas razões: antropogênica e fenomênica. Tal possibilidade é pouco creditada no rol da maioria dos argumentos científicos, pois em termos comparativos consideram geralmente uma das razões maior que a outra. Neste caso, atualmente destaca-se na comunidade científica a influência humana nas mudanças climáticas (MILLER, 2007, p. 424), uma tendência que se fortalece a cada novo evento político relacionado ao “meio ambiente”, porém, sem eliminar as controvérsias.

#### **3.3.4. Cenário político e educacional**

Os encontros e protocolos internacionais instituídos pela ONU sobre o Meio Ambiente vêm ocorrendo com notoriedade desde o início da década de 70. Encontros sucessivos de vários países sob a bandeira da proteção ambiental são carregados de propostas e discussões inovadoras que buscam consensos políticos sobre as questões ambientais. Ocorrida em 1972, na capital sueca, a Conferência de Estocolmo foi um grande passo das Nações Unidas que, como aponta a Person Education do Brasil (2011, p. 24-25), rompeu com visões tradicionais sobre o meio

ambiente, proporcionando uma evolução no debate ambiental, pois trouxe elementos que estavam além do mero protecionismo de certas espécies de seres vivos, discutindo causas da ordem político-econômicas e suas consequências ambientais. Ainda conforme a instituição (p. 25), a conferência foi marcada pelo apelo soberanista e por dois blocos de países: os Desenvolvidos, que “defendiam a intocabilidade do meio ambiente” e os Subdesenvolvidos, que “rejeitavam qualquer tentativa de privá-los dos benefícios da era tecnológica”. Apesar do avanço político, os interesses contrários foram contundentes neste encontro.

Em 1988, a ONU instituiu o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), cujo objetivo básico seria o consenso das nações sobre tal ameaça através de estudos colaborativos entre diversos cientistas. Em seu relatório divulgado em Paris, no início de 2007, reconheceu a responsabilidade humana como determinante para a existência e aumento do aquecimento do planeta. No mesmo ano de divulgação deste relatório, surgiu o Painel Não-Governamental sobre Mudanças Climáticas, um movimento divergente ao IPCC, composto de cientistas e estudiosos não-governamentais. Se colocarmos os argumentos destes painéis em paralelo, veremos que os questionamentos científicos, políticos e econômicos criam um cenário repleto de controvérsias sobre aquecimento do planeta, ainda bastante longe de acabar. (OLIVEIRA; VECCHIA, 2009). O palco de discussão composto deste e outros temas ambientais ressurgiu a cada novo evento, mesmo com o estreitamento e o fortalecimento das relações internacionais.

Em busca de consensos, as diversas conferências da ONU progressivamente vem ganhando destaque no cenário internacional, influenciando direta ou indiretamente políticas econômicas e educacionais sobre as questões ambientais. Após uma década da conferência Rio+10 (Johanesburgo, 2002) e duas da Eco92 (Rio de Janeiro, 1992), novamente é formado um palco para mais discussões e debates ambientais com a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, denominada Rio+20 (Rio de Janeiro, 2012). Repleta de questões e expectativas, a conferência teve por objetivo central:

[...] assegurar um comprometimento político renovado para o desenvolvimento sustentável, avaliar o progresso feito até o momento e as lacunas que ainda existem na implementação dos resultados dos principais encontros sobre desenvolvimento sustentável, além de abordar os novos desafios emergentes (ONU/Brasil, 2012).



Em meio a elogios, reservas e comentários de uma parte das nações participantes<sup>1</sup>, o encontro aprovou o chamado Esboço Zero, intitulado oficialmente de: O futuro que queremos. Título que sugere o forte anseio ambientalista alavancado pelo advento das Mudanças Climáticas. Das quinze ações definidas neste documento para tratar de questões e áreas prioritárias setoriais e multissetoriais (Rio+20/ONU, 2012, p. 12-18), destacamos dois temas abordados que estão diretamente ligados a nosso estudo:

#### **3.3.4.1. Mudança Climática**

Sobre este ponto, os integrantes da conferência, tais como os Chefes de Estado e o Governo Federal e Entidades nacionais e internacionais, ratificam a mudança climática como um dos maiores desafios da atualidade. Também ressaltaram a vulnerabilidade e os crescentes impactos sofridos pelos países em desenvolvimento. Uma alternativa de tratamento da problemática foi proposta no parágrafo 89, considerando algumas inter-relações envolvidas:

Nós encorajamos as iniciativas e parcerias internacionais para abordar a interrelação entre água, energia, alimentos e mudança climática, de modo a obter sinergias assim como minimizar conflitos entre objetivos políticos, com particular sensibilidade aos impactos sobre populações vulneráveis (Rio+20/ONU, 2012, p. 15-16).

Um grande obstáculo nesta proposta é a complexidade política e econômica em questão, que recai numa indagação: “Como equacionar custos, metas e políticas?”, já que estes quatro eixos (água, energia, alimentos e mudança climática) podem se desdobrar em outros igualmente relevantes, como a necessidade de definir metas e quais delas são prioritárias, ou mesmo, definir se as medidas econômicas devem ser proporcionais ou igualitárias sem distinguir países. Em tese, responder com a palavra “todos” é relativamente fácil, se for possível um consenso de interesses, ou um tanto

---

<sup>1</sup> Dentre os 188 Estados-Membros da Rio+20, sete apresentaram reservas e comentários ao documento: Bolívia, Canadá, Estados Unidos, Equador, Islândia, Noruega e Vaticano. Algumas das reservas são relativas “[...] a definição da economia verde, a racionalização dos recursos energéticos, o direito a água e os direitos reprodutivos”. Alguns dos elogios foram feitos tanto pela presidenta do Brasil, Dilma Rousseff, quanto o Secretário-Geral da ONU, Ban Ki-moo, destacando o evento como um avanço. A presidenta ressaltou a necessidade de “[...] avançar em temas como o financiamento para o desenvolvimento sustentável, mas destacou o multilateralismo como uma das principais conquistas da Rio+20”. Fonte: ONU/Brasil (2012).

injusto atribuir metas iguais para Estados desiguais. De fato, a complexidade que emergem destas relações precisa ser debatida como tal sua natureza complexa, isto é, tratar da temática requer uma abordagem que possibilite mudança. Todavia, esta deve ser duplamente garantida: a mudança de pensamento e de postura.

### 3.3.4.2. Educação

Para que haja uma mudança significativa, este tema é interpretado com base na noção de desenvolvimento sustentável. Sob tal princípio os integrantes reconhecerem a necessidade de uma educação de qualidade para todos; de redirecionamento dos currículos escolares e universidades em prol do desenvolvimento sustentável, enfatizando a formação dos educadores e estruturas físicas e pedagógicas modelos de sustentabilidade. No entanto, quando no parágrafo 99 propõem às universidades o ensino do “desenvolvimento sustentável como um módulo em todos os cursos” (Rio+20/ONU, 2012, p.17), nos deixa um tanto curioso sobre como seria aplicado tal módulo, pois a implementação de mais uma disciplina nos moldes tradicionais decorre no acúmulo de conhecimento sem levar em consideração a contextualização e a comunicação com outras áreas.

Vale ressaltar que por ser um documento resumido não expressa plenamente a educação para o desenvolvimento sustentável, mas exprime um anseio de avançar mais na *Década da Educação para a o Desenvolvimento Sustentável*<sup>1</sup>, como podemos perceber no seguinte parágrafo:

101. Nós concordamos em promover a educação para o desenvolvimento sustentável para além da Década de Educação da ONU para o Desenvolvimento Sustentável em 2014, para educar uma nova geração de estudantes nos valores, disciplinas-chave e abordagens holísticas e multidisciplinares essenciais para a promoção do desenvolvimento sustentável (Rio+20/ONU, 2012, p. 17).

---

<sup>1</sup> Período de dez anos (2005-2014), proposto pela ONU, no intuito de desenvolver ações em prol do Desenvolvimento Sustentável. Este período foi apoiado pelo Manifesto: “Compromisso por uma educação para a sustentabilidade”, documento consensualmente aceito no III Seminário Ibérico Ciências, Tecnologia e Sociedade, ocorrido em Aveiro, Portugal, junho de 2004, assinados genericamente pelos Educadores pela sustentabilidade, como Gil-Perez e Vilches (CACHAPUZ et al., 2005).

Do avanço proposto neste ponto, podemos considerar a necessidade de uma educação como um importante pilar de promoção do desenvolvimento sustentável, que sob novas perspectivas permita a “ligação” entre as diversas áreas do conhecimento, formando assim, futuros cidadãos atuantes e conscientes. Para isso, precisamos desenvolver em nós um sentimento de patriotismo cuja essência permite enxergar além das fronteiras de um único país, isto é, desenvolver uma consciência de “Terra-Pátria” (MORIN, 2002, p. 114), pois estamos unidos por “uma identidade genética, cerebral, afetiva comum em nossas diversidades individuais, culturais e sociais (MORIN, 2002, p. 76)”.

Em entrevista ao jornal El País (CRUZ, 2009), Morin afirmou que: "o aquecimento climático não é o mais importante, ainda que o seja; é que estamos em um processo combinado de destruição do planeta que nos leva a uma catástrofe geral ou a várias catástrofes combinadas". Morin (2002, p. 71) destaca que um dos “poderes de morte” do século XX é a “possibilidade de morte ecológica”. Uma ameaça a humanidade ocorridas pela própria ação humana, fruto do corrida desenvolvimentista das nações.

Desde os anos 70, descobrimos que os desejos, as emanações, as exalações de nosso desenvolvimento técnico-industrial urbano degradam a biosfera e ameaçam envenenar irremediavelmente o meio vivo ao a qual pertencemos: a dominação desenfreada da natureza pela técnica conduz a humanidade ao suicídio (MORIN, 2002, p. 71)<sup>1</sup>.

O Aquecimento Global pode ser uma das ameaças a vida que precisa ser esclarecida sob uma visão mais apurada dos fatores envolvidos, e não apenas de um entendimento pontual. Sendo assim, podemos considerar ainda pertinente ao debate que tenta explicar a gênese do fenômeno (causas naturais ou antropogênicas), a necessidade de uma discussão crítica, reflexiva e contextualizada no âmbito educacional.

---

<sup>1</sup> Ao citar a década de 70, provavelmente autor está se referindo as novas discussões sobre o Meio Ambiente trazidas pela Conferência de Estocolmo (1972), um importante encontro internacional liderado pela Organização das Nações Unidas (ONU), considerado marcante para uma série de outros movimentos no tocante a mudança de paradigmas.

A responsabilidade da educação diante da própria natureza complexa do tema reflete numa nova perspectiva que permita ir além da mera apropriação dos conceitos científicos provenientes das diversas instâncias promotoras de conhecimento e de informação. A ausência de condições coerentes e significantes para um entendimento adequado da informação disponível faz parte de uma postura questionável dos meios de comunicação. A comunicação, no sentido simplista de disponibilizar e receber informação, é um perigoso equívoco conceitual. Segundo Morin (2002, p. 94): “a comunicação não garante a compreensão”, pois mesmo que a informação traga inteligibilidade, é insuficiente para que haja plena compreensão. Dessa forma, precisamos desenvolver nossa dupla compreensão: a *intelectual (ou objetiva)*, baseada na inteligibilidade e na explicação, e a *humana intersubjetiva*, baseada na empatia, identificação e projeção, concebendo o outro como um sujeito e não como objeto (MORIN, 2002).

As falhas conceituais dos meios de comunicação, trabalhadas de forma adequada, podem ser considerados relevantes para o ensino (XAVIER; KERR, 2004), mas é preciso levarmos em consideração a compreensão da complexidade ambiental como fator primordial. Noção que atrelada à prática escolar do professor pode promover uma educação sem respostas prontas e acabadas, porém, coerente com a preservação do planeta independente do *mito ou realidade*.

### **3.4. Caos: mito ou ciência?**

O que sugere a palavra caos? Pode existir matemática no caos? Para ficarmos minimamente satisfeitos com as respostas à estas perguntas é preciso reconhecer a complexidade do termo: sua etimologia e concepções atuais.

#### **3.4.1. Da gênese do caos ao senso comum**

Caos, como esta simples palavra pode carregar consigo uma etimologia tão rica e intrigante? Podemos constatar, de acordo com o relato do lógico e filósofo Jorge Luis Gutiérrez (2011), que a palavra caos se apresenta em diferentes contextos no mundo antigo:

Sumérios - acreditavam que no princípio existia um *oceano primordial* ou *mar primordial* infinito, em que tudo estava misturado (o caos) e que num certo momento ocorreu uma separação através dos deuses.

Egípcios - de forma parecida, porém, ilustrada pelas desavenças de deuses, criam que a água obscura e pantanosa dos oceanos era o que antecedia tudo. Imerso neste líquido, o caos era anterior a criação ordenada, sendo a ordem emergida como *uma ilha que surge do oceano*<sup>1</sup>.

Gênesis (primeiro livro da Bíblia) – no segundo versículo do primeiro capítulo do texto bíblico: “E a terra era sem forma e vazia”, também podemos perceber um estado sem definição, forma, linha e diferenciação. Na continuação do texto, a água volta à cena: “E o Espírito de Deus pairava por sobre as águas”. Com a palavra seguinte do criador, ordenando a existência de luz, a escuridão cessa e emerge a ordem nos textos seguintes.

Fenícios - “a matéria era eterna e primitivamente desordenada: caótica”. E a ordem advém deste caos.

Poesia romana – em seus textos o poeta Ovídeo relaciona caos a desordem, o conflito e a agitação.

Gregos - não houve uma concepção única, pois em alguns textos o vemos como o Vazio, noutros como um Deus (poeta Hesíodo). A diversidade de concepções sobre o termo também aparece em sua participação na criação, em que para alguns gregos é restrita a partes do universo e para outros é inerente à origem do cosmos e da ordem. Nos filósofos pré-socráticos, as explicações mitológicas dão lugar às racionais sobre a origem do mundo, da ordem e do cosmos. Os seguidores de Pitágoras (os pitagóricos) criam em um universo como uma ordem objetiva, um cosmos exprimível em linguagem matemática. Já Aristóteles se desvincula totalmente dos mitos, crendo que o caos, como desordem, inexistia em um mundo sempre eterno e ordenado.

Etimologicamente a palavra caos deriva do grego χάος, abismo tenebroso. Tragédias, conflitos, problemas sem aparente explicação, tudo que se distancia da certeza linear, da ordem e da forma definida recebe o nome de caos. Muitas vezes algo é dito caótico quando o conceito é geralmente concebido mediante uma situação

---

<sup>1</sup> “Idéia que, possivelmente, surgiu da visão das ilhas que surgem no Rio Nilo, ou que surgiam nessa época, de acordo com as descrições que faz o historiador Heródoto (GUTIÉRREZ, p. 2011)”.

adversa, de resultado negativo ou de entendimento inconsistente. De fato, comumente emprega-se o termo caos a uma total desordem, cujas situações são complicadas, sem solução ou controle. Em textos acadêmicos, em notícias vinculadas nos meios de comunicação e até mesmos na vida cotidiana percebemos o emprego deste termo, como podemos perceber nos exemplos a seguir:

- a) O site jornalístico: [estadao.com.br](http://estadao.com.br), durante a Copa do Mundo (2010), veiculou a seguinte notícia: "O **caos** gerado por cerca de 250 jornalistas que se apertavam para tentar falar com os jogadores uruguaios e intermináveis discussões com policiais marcaram a coletiva de imprensa [...]";
- b) Uma frase bastante comum no cotidiano: "Hoje minha vida está um **caos**, nada dá certo";
- c) Em textos acadêmicos, como neste fragmento: "[...] do atual sistema de transporte individual, altamente poluidor, consumidor de um recurso energético não renovável e que tem representado um enorme **caos** urbano nas grandes metrópoles" (XAVIER; KERR, 2004, p. 327).

O uso comum da palavra caos não se configura como um erro, e sim, uma variação enorme de significados não distantes da sua origem etimológica. Isso também se aplica ao campo científico, pois como afirma Gutiérrez (2011, p. 11):

Assim, os primeiros e antigos teóricos sobre o caos começaram falando de deuses, lutas, água e ordem. Hoje os novos teóricos falam de ruído determinista, cascata de duplicação de período de Feigenbaum, atratores estranhos, turbulências, fractais etc. Todas estas palavras nos levam a pensar que é na teoria do caos a área em que poetas e cientistas sempre caminham juntos.

Existem diversas interpretações e aplicações para o termo, das quais não podemos julgar necessariamente equivocadas. O caos no âmbito científico, por exemplo, é atribuído a Teoria do Caos, que trata de sistemas dinâmicos aparentemente desprovidos de ordem, no entanto, apresentam padrões em seu comportamento. Neste caso, o equívoco conceitual seria atribuir o significado etimológico ou popular à teoria.

Em nosso estudo, podemos observar predominantemente o caos teórico, também conhecido por Caos Determinístico ou Ciência do Caos. Isso, para que haja o entendimento razoável, porém, bastante significativo sobre sistemas complexos e suas conexões com questões ambientais relativas ao Aquecimento Global.

### **3.4.2. Ciência do caos**

O estudo de sistemas dinâmicos determinísticos não é uma novidade, pois há cerca de 100 anos o matemático e filósofo Poincaré já os estudava, desenvolvendo técnicas para solução de equações não lineares. Contudo, estes sistemas ganharam mais destaques na década de 1960, com o matemático e meteorologista Edward Lorenz.

No computador Royal Mc Bee do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Lorenz deu seus primeiros passos em busca de padrões do clima, limitado a um computador que realizava 60 multiplicações por segundo. Destes experimentos, criou modelos computacionais de padrões do tempo atmosférico, que nada mais eram que simulações das condições climáticas. Recorrentemente lançava variáveis em seu programa, constituído por apenas 12 equações recursivas para simular características climáticas. Quando o programa utilizado apresentou alguns resultados interessantes, tentou recriar o que tinha observado, mas cometeu um erro, oriundo de um arredondamento em que desprezava 0,000127 do valor original 0,506127, isto é, inseriu 0,506 em seu limitado computador que só computava seis dígitos. Fato que por gerar uma desordem aparente no sistema, fez surgir uma nova ciência. (GLEICK, 1991; GODOY, 2003; JANOS, 2009)

Apesar de Lorenz ter publicado seu trabalho, só muito tempo depois matemáticos e cientistas popularizam suas ideias. O próprio nome da teoria é um exemplo disto, já que o termo caos foi empregado primeiramente em um artigo publicado por Li e Yorke (1975). Os trabalhos desenvolvidos sobre sistemas caóticos são reconhecidos atualmente pelo status de Ciência do Caos, Teoria do Caos, ou mais especificamente, Caos Determinístico.

Atualmente, a teoria do caos vem sendo aplicada em diversas áreas do conhecimento humano, como o estudo do comportamento da bolsa de valores, do tempo atmosférico, do desenvolvimento de populações, dos ruídos provocados por sinais cerebrais, dentre outros. Em todas estas aplicações o tempo é determinante

para o estudo do comportamento de um sistema caótico, pois o caos determinístico diz respeito a sistemas de evolução aperiódica, aparentemente desordenada, fruto da dependência sensível às condições iniciais. Geralmente, tais sistemas são chamados de dinâmicos ou complexos. Segundo Ferreira, H. S. (2009), do ponto de vista científico, “Caos é um fenômeno cuja evolução temporal se processa de maneira aparentemente aleatória, porém regida por uma lei determinística”. Longe do significado etimológico do termo caos, a teoria não enxerga os sistemas complexos como algo sombrio e confuso, e sim, busca padrões em todo o sistema.

Como podemos perceber para compreender o caos determinístico vale ressaltar alguns conceitos que o cerca, de modo que precisamos saber sobre qual sistema estamos abordando e suas particularidades, bem como o comportamento de um sistema dotado de caos.

#### **3.4.2.1. Sistemas complexos**

Vimos no tópico “Alguns caminhos básicos do Pensamento Complexo”, que apesar das críticas de Leff (2010b) e Morin (1998) à pretensão da TGS de ser a “ciência geral da totalidade” (BERTALANFFY, 2008, p. 62), ela proporcionou um avanço na visão sistêmica com seu projeto interdisciplinar. Este avanço ocorreu porque a teoria definiu os sistemas como sendo um “conjunto de elementos em interação” (BERTALANFFY, 2008, p. 63).

Ao discorrer sobre sistemas, o cardiologista Godoy (2003, p. 23) sugere classificá-los em duas categorias: os Simples (regidos por comportamento linear) e os Complexos, (regidos por comportamento não-linear). Este último é pertinente para nosso estudo sobre sistemas caóticos.

Quando não se emprega o termo caos a problemas complicados, situações adversas, obscuridade, total ou aparente desordem, é usado na mesma proporção o termo "complexo" ou seus derivados. No entanto, a palavra complexo, do latim *complexus*, diz respeito ao que é tecido em conjunto (Morin, 2002, p. 38). Devido à própria essência do termo *complexo*, esta não é uma definição fechada e acabada, sujeita a uma interpretação única. De acordo com Nogueira (2000, p. 06):



A comunidade científica ainda não tem um consenso sobre o conceito de sistemas complexos. O físico Eugene Stanley classificou qualquer fenômeno que não tenha uma escala característica de medida como um sistema complexo. Fenômenos como terremotos, tornados, crescimento populacional e outros que podem ocorrer em várias escalas são sistemas complexos.

Segundo Godoy (2003, p. 23), "os sistemas complexos são sistemas não lineares caracterizados por propriedades coletivas emergentes associadas ao sistema como um todo. Além disso, esses sistemas têm geralmente a característica de serem dinâmicos." Provavelmente, os termos complexos e dinâmicos são inseridos quase ou com mesmo sentido devido a esta característica temporal. Independente dos conceitos serem convergentes ou não, o que mais chama a atenção é o comportamento que podem apresentar.

Um Sistema Dinâmico é uma coleção de partes que interagem umas com as outras e se modificam mutuamente com o passar do tempo. Alguns exemplos são o sistema do tempo, condições atmosféricas, os sistemas computacionais, e até mesmo o ecossistema do planeta. Alguns sistemas dinâmicos podem exibir comportamentos estáveis ou caóticos (ALMEIDA, 2006, p. 39).

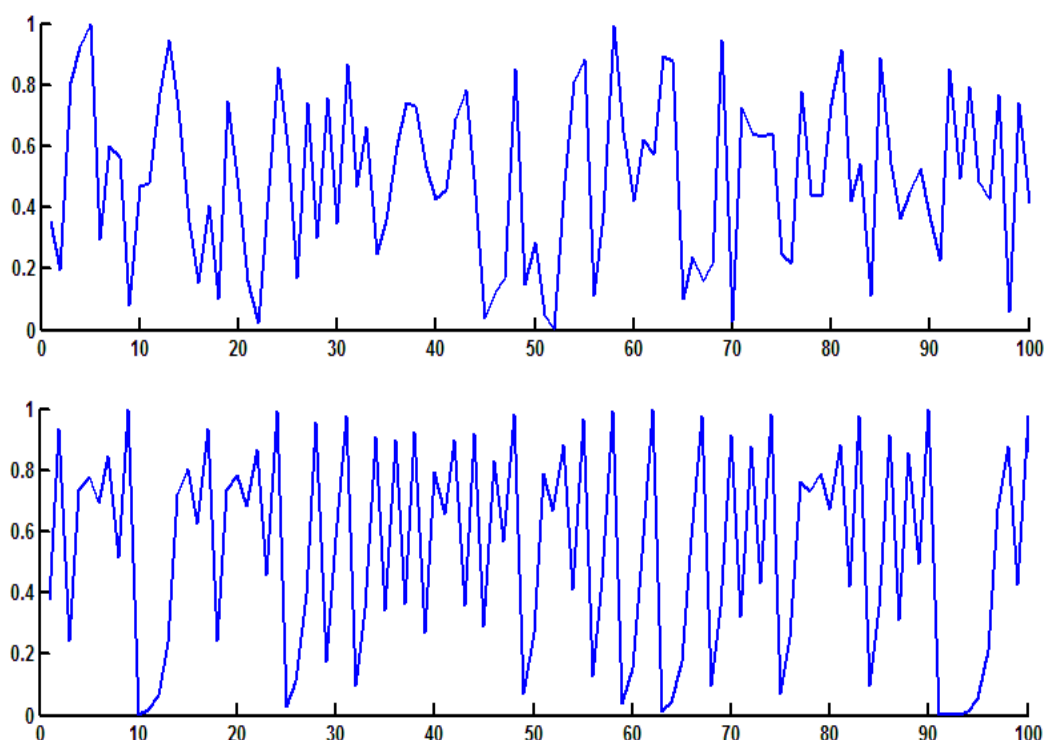
A velocidade, posição, aceleração, temperatura, pressão, viscosidade, e outras características variáveis da Natureza, são exemplos de comportamento dinâmico. Podemos classificá-los em dois tipos de sistemas dinâmicos: Linear (quando o comportamento do sistema é totalmente previsível) e Não-linear (quando o comportamento do sistema é imprevisível ou parcialmente determinado). Os sistemas dinâmicos não lineares, por sua vez, podem ser classificados principalmente em dois tipos:

1. Estocástico: também conhecido por randômico, é o sistema que apresenta comportamento aleatório ou probabilístico. Podemos identificar este comportamento numa sequência de "n" lançamentos de uma moeda, cuja probabilidade de cada um dos lados corresponde a 50%, isto é, o resultado pode ser cara ou coroa (estritamente um ou outro). Ou na sequência obtida por "n" lançamentos de um dado de seis faces, cuja probabilidade de cada face ocorrer é de 1/6. Podemos observar nestes exemplos que as probabilidades são sempre as mesmas.

2. Determinístico: o sistema dinâmico apresenta comportamento aparentemente sem ordem, entretanto, é regido por padrões matemáticos. Esta característica é marcante em sistemas caóticos, gerados por uma ou mais equações, tais como o Mapa Logístico, as Equações de Lorenz, dentre outras.

Os sistemas estocásticos e determinísticos podem ser facilmente confundidos, quando comparamos graficamente (Figura 5) suas respectivas séries temporais. Cada série temporal corresponde a uma sequência de dados coletados em intervalos regulares. Para fugir desta primeira impressão, no tópico seguinte veremos que é possível distingui-los através da observação de seus padrões caóticos, que podem ser interpretados graficamente por métodos matemáticos e computacionais.

**Figura 5 - Séries temporais, geradas por dois sistemas: aleatório (dado de 6 faces) e determinístico (mapa logístico), com 100 pontos cada.**



**Fonte: Dados da pesquisa construídos a partir do programa MATLAB.**

### 3.4.2.2. Matemática do caos

Quando o sistema complexo é dinâmico e determinístico, podemos estar diante de um sistema caótico. A palavra caos, neste contexto, se refere ao comportamento do sistema caótico ou este propriamente dito. O determinístico se configura no que chamamos de matemática do caos e se verifica no tratamento de informação obtida no estudo da origem e do comportamento dos sistemas caóticos. Para compreendermos melhor tal matemática, destacamos três características básicas do caos:

- (i) Dependência sensível às condições iniciais: é uma característica marcante do comportamento dos sistemas caóticos, em que o desenvolvimento do sistema é bastante dependente das condições que o gerou inicialmente.

A ideia de que algo pequeno (a parte) pode produzir uma mudança grandiosa no sistema (o todo) já fazia parte do conhecimento popular antes mesmo do surgimento da teoria do caos. Podemos perceber no texto poético adaptado de um poema infantil da língua inglesa (LEFFA, 2006, p. 34; GLEICK, 1991, p. 20):

Por causa de um prego, perdeu-se a ferradura.  
Por causa da ferradura, perdeu-se o cavalo.  
Por causa do cavalo, perdeu-se o cavaleiro.  
Por causa do cavaleiro, perdeu-se a mensagem.  
Por causa da mensagem, perdeu-se a batalha.  
Por causa da batalha, perdeu-se o império.

Como uma pequena variação no sistema pode gerar o caos, podemos dizer que sistemas caóticos são sistemas não-lineares cujo comportamento é gerado pela sensibilidade às condições iniciais. Este princípio é amplamente divulgado como Efeito Borboleta. No ano de 1972, Lorenz propôs a metáfora do bater das asas de uma borboleta em um artigo, cujo nome é uma indagação: “Predictability: does the flap of a butterfly’s wings in Brazil set off a tornado in Texas?”, que em português significa: “Previsibilidade: o bater das asas de uma borboleta no Brasil pode gerar um tornado no Texas?” (tradução livre).

(ii) Previsibilidade limitada: para o comportamento futuro de sistemas caóticos, fazer previsões pode ser impraticável.

A princípio o termo determinístico pode nos confundir pela falsa impressão de controle absoluto da teoria do caos sobre o comportamento de sistemas caóticos, entretanto, a previsibilidade precisa da teoria seria um desses enganos. Em muitos momentos da história da ciência, podemos perceber suas certezas abaladas, seu corpo teórico revisto e muitas vezes substituído por outro mais adequado. Antes da teoria do caos se consolidar, houveram estudos que abalaram a ciência. Como lembra Ferrari (2008), a confiança no poder de previsibilidade da ciência já havia sido abalada com os estudos de Poincaré:

Uma causa muito pequena, que nos passa despercebida, determina um efeito considerável que não podemos deixar de ver, e então dizemos que o efeito é devido ao acaso. Se conhecêssemos exatamente as leis da natureza e a situação do universo no momento inicial, poderíamos prever exatamente a situação desse mesmo universo no momento seguinte. Contudo, mesmo que as leis naturais já não tivessem segredos para nós, ainda assim poderíamos conhecer a situação aproximadamente. Se isso nos permitisse prever a situação seguinte com a mesma aproximação, seria tudo o que precisaríamos, e diríamos que o fenômeno tinha sido previsto, que é governado por leis. Mas nem sempre é assim; pode acontecer que pequenas diferenças nas condições iniciais produzam diferenças muito grandes nos fenômenos finais. Um pequeno erro nas primeiras produzirá um erro enorme nas últimas. A previsão torna-se impossível. (POINCARÉ, 1908 apud FERRARI, 2008)

Na literatura sobre caos é comum o uso do termo “imprevisibilidade”. Consideramos o termo “previsibilidade limitada” mais adequado ao estudo da complexidade, já que a ciência é dinâmica e mutável. Sendo assim, a previsibilidade do sistema caótico é limitada a um determinado nível de iterações<sup>1</sup>. Previsibilidade limitada é uma consequência da característica (i), pois o comportamento de um sistema caótico “é praticamente imprevisível devido à grande sensibilidade a

---

<sup>1</sup> O termo iteração neste estudo é relativo a comportamento recorrente da equação, isto é, o procedimento se repete para cada novo elemento, sucessivamente a partir do elemento anterior. Neste estudo, utilizamos também ao termo interação, cujo significado é mais geral e corresponde a ação mútua entre dois ou mais objetos, coisas, pessoas, etc. Fonte: Dicionário Aurélio (FERREIRA, 2008).

mudanças nas condições iniciais, após um certo intervalo de tempo (FERRARI, 2008, p. 35)”. De fato, o sistema caótico não é previsível a longo prazo, pois a sensibilidade às condições iniciais amplia a imprecisão que sempre está presente nas condições iniciais, impedindo uma previsão exata dos valores das variáveis em um futuro distante (LIEBOVITCH, 1998, p. 162).

(iii) Fractalidade: sistemas caóticos podem apresentar determinada estrutura fractal em seu comportamento, principalmente, quando analisados graficamente.

O termo *fractalidade* é a propriedade de ser fractal (objeto da Geometria da Natureza), ou seja, uma caracterização da não linearidade de características físicas (formas) e/ou de processamento recursivos de dados (iterações). Savi (2004, p. 5) caracteriza os fractais em dois grupos distintos: objetos sólidos e atratores estranhos. Esta não-linearidade é descrita em três propriedades básicas: (a) auto-similaridade – a parte é semelhante ao todo; (b) dependência de escala (scaling) – a medida depende necessariamente da escala de medida e (c) dimensão fractal – resulta das condições anteriores, e diz respeito à medição de dimensões fracionárias. Ao contrário da dimensão analítica (exemplos: dimensão zero: o ponto; unidimensional: a reta, bidimensional: o plano; tridimensional: o espaço) que mensura formas geométricas regulares a dimensão fractal pode não ser um valor natural, pois mensura as formas irregulares.

A relação entre caos e fractalidade pode ser observada nos gráficos que registram os estados de caos do sistema, gerados por uma equação ou mais. Tais gráficos podem ser vistos posteriormente com mais detalhes. Caos e fractal não é uma relação totalmente bem definida, pois segundo Ferrari (2008, p. 51):

[...] embora também tenha extensões na teoria dos sistemas dinâmicos não-lineares (diversas figuras fractais são geradas por sistemas de equações não-lineares), a história dos Fractais e suas aplicações se desenvolveu de forma totalmente independente da história do Caos. A grande maioria dos fractais não tem ligação com o comportamento caótico.

De fato, devemos ter cuidado para não estabelecer de forma exagerada a relação caos e fractal. Como o caos determinístico é um fenômeno que leva a um fractal (ALMEIDA, 2006, p. 41), ou que pelo menos pode levar a algum, reconhecemos a importância desta característica no estudo dos sistemas caóticos.

### 3.4.2.3. Como gerar e identificar o caos?

Os sistemas caóticos são gerados de diversas maneiras na natureza das interações físicas e sociais. No aspecto mais formal, a geração de caos ou sistemas caóticos pode ocorrer conforme uma equação ou um conjunto de equações diferenciais, ou simplesmente ser o resultado de um algoritmo matemático simples, uma função com parâmetros e iterações estabelecidas, que permite gerar gráficos aparentemente sem ordem.

Um exemplo proposto por Janos (2009), visto em seguida, permite que se introduza o conceito formal de caos através de uma equação iterativa ou recursiva (1), isto é, por intermédio de uma expressão matemática simples em que o elemento “novo” depende do anterior é possível gerar o caos.

$$x_{novo} = x + \mu x(1 - x) \quad (1)$$

Para tanto, considerando um valor fixo  $\mu = 3$  e um valor inicial  $x_0=0,01$ , realizamos o seguinte procedimento:

1. Calcular 100 iterações de maneira a calcular  $x_1$  a partir de  $x_0$ , depois  $x_2$  a partir do resultado obtido de  $x_1$ , e assim por diante;
2. Na décima iteração, fazer um arredondamento semelhante ao feito por Lorenz, isto é, trocar  $x_{10} = 0,7229143012$  por  $x_{10} = 0,722$ ;
3. Comparar os resultados com os valores produzidos pela iteração feita sem arredondamento (Quadro 2).

**Quadro 2 - Comparação de 100 iterações da equação (1), sem alteração na variável x e com alteração na décima iteração.**

| Iterações | Sem interrupção     | Sem interrupção e reinício |
|-----------|---------------------|----------------------------|
| 1         | 0,0397              | 0,0397                     |
| 2         | 0,15407173          | 0,15407173                 |
| 3         | 0,5450726620        | 0,5450726620               |
| 10        | 0,7229143012        | 0,7229143012               |
| <b>10</b> | <b>0,7229143012</b> | <b>Reiniciar com 0,722</b> |
| 25        | 1,315587846         | 1,089173907                |
| 30        | 0,3742092321        | 1,333105032                |
| 100       | 0,7355620299        | 1,327362739                |

**Fonte: Dados extraídos de Janos (2009, p. 346).**

De acordo com Janos (2009), da 20ª iteração em diante os resultados tornam-se diversos, de modo que, ao desprezar 0,0009143012 do valor real (0,7229143012), foi gerada uma divergência que leva ao caos.

Há, entretanto, casos em que propriedades de sistemas dinâmicos precisam ser melhor avaliadas para que possamos caracterizar a dinâmica caótica destes sistemas. Neste sentido, alguns conceitos relativos aos sistemas caóticos, como Espaço de fase, Atrator, Bifurcação e Constante de Feigenbaum, são fundamentais para nosso estudo.

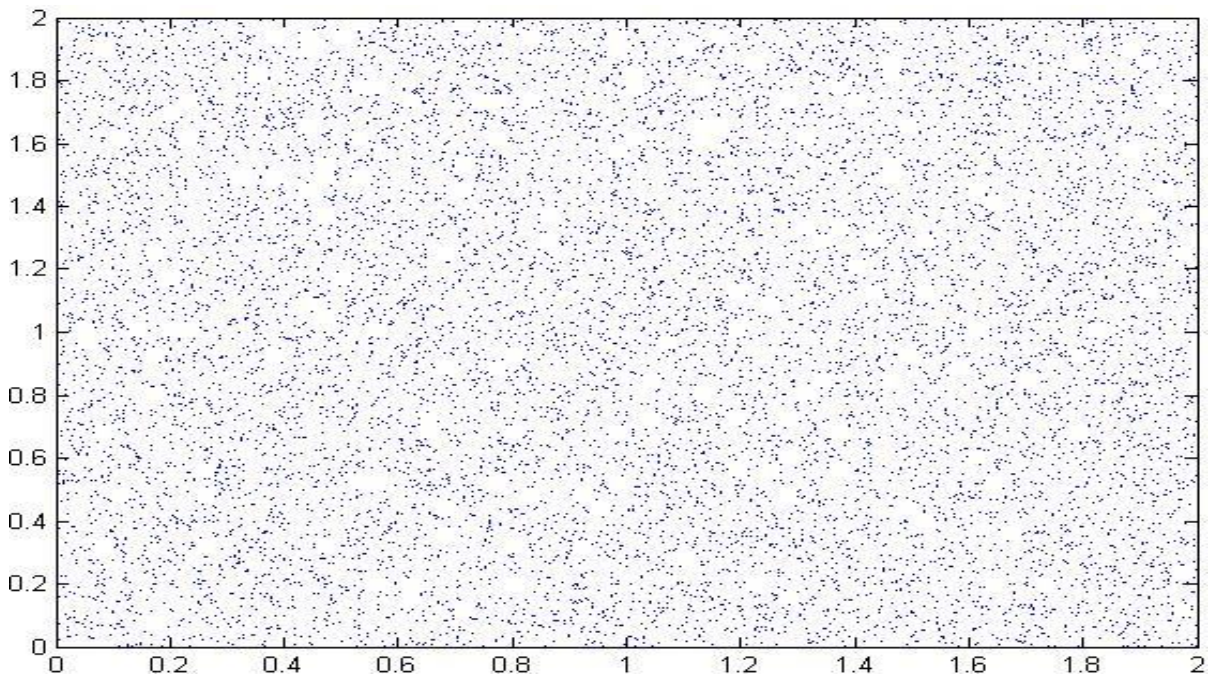
#### **3.4.2.3.1. Espaço de fase**

Segundo Liebovitch (1998, p. 130):

Cerca de uma centena de anos atrás, o matemático Poincaré mostrou como transformar uma sequência de valores no tempo em um objeto no espaço. Esta transformação substitui uma análise no tempo por uma análise no espaço. O espaço é chamado de **espaço de fase**. O objeto no espaço de fase é chamado de **conjunto do espaço de fase**. (tradução livre)

São também chamados de *espaços de estados*, pois representam todos os estados (ou posições) possíveis de um sistema dinâmico. Este método matemático, associado ao aparato computacional permite dentre outras aplicações, diferenciar graficamente as séries temporais. Quando o comportamento da sequência é randômico (Figura 6), os pontos se distribuem em praticamente todo o espaço do gráfico, e quando é determinístico (Figura 7), os pontos se concentram em uma região específica do gráfico, que no exemplo da equação logística é semelhante a uma parábola. Basicamente, espaço de fase é um gráfico dimensional que a partir de um valor inicial ( $x_0$ ), relaciona elementos de  $X_i$  por  $X_{i+1}$ , gerados por uma ou mais equações, dotada(s) de parâmetro(s).

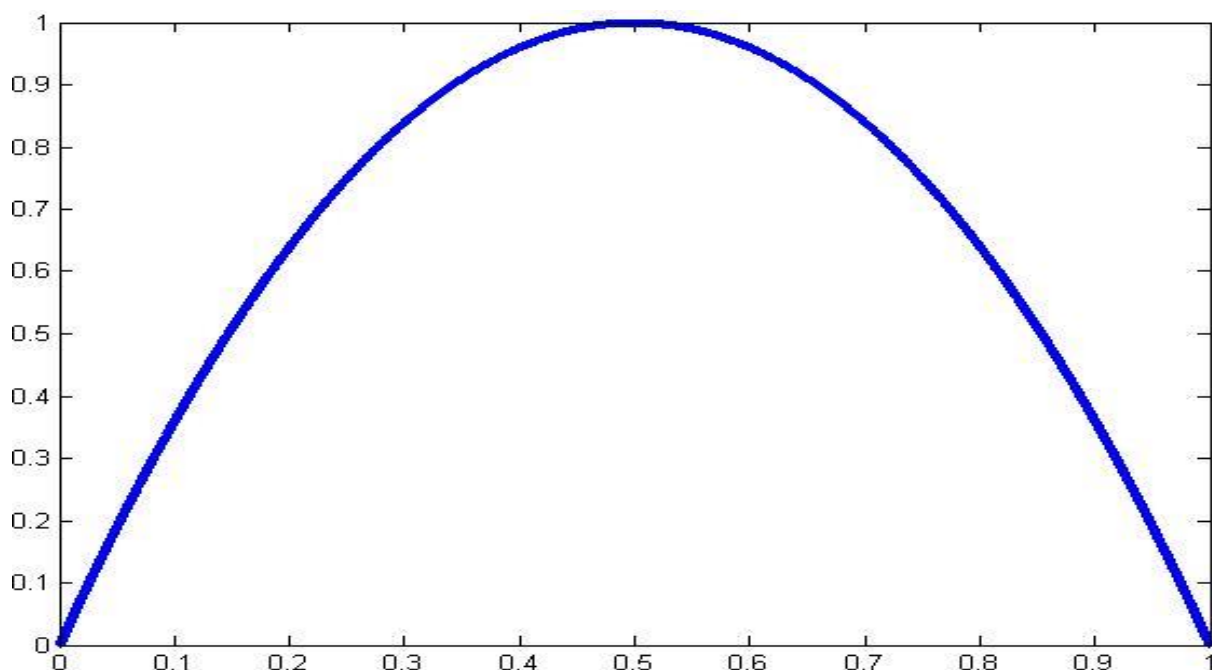
**Figura 6 - Espaço de fase de uma sequência pseudoaleatória de 10.000 pontos.**



**Fonte: Dados da pesquisa construídos a partir do programa MATLAB.**



**Figura 7 - Espaço de fase de uma sequência determinística, gerado por 10.000 pontos da Equação Logística.**



Fonte: Dados da pesquisa construídos a partir do programa MATLAB.

#### **3.4.2.3.2. Atrator**

A princípio, o termo atrator nos remete ao sentido de atração. Em termos científicos, refere-se a um ponto ou um conjunto de pontos para o qual sistema converge após determinado número de iterações de uma ou mais equações, isto é, os pontos se concentram em uma determinada região do espaço de fase. Padrões matemáticos típicos de sistemas determinísticos, como o comportamento parabólico visto anteriormente na equação logística (Figura 7) é um exemplo clássico de atrator.

Vale ressaltar que esta equação é uma evolução de modelos de dinâmica populacional anteriormente propostos. Neste sentido, a primeira tentativa foi o modelo linear apresentado em 1798 pelo economista e demógrafo britânico, Thomas Robert Malthus (1766-1834) que descrevia o crescimento populacional por uma simples progressão geométrica (2), em que o número de indivíduos é proporcional a diferença entre as taxas de natalidade e mortalidade. Outro modelo foi apresentado em 1845, pelo matemático belga Pierre François Verhulst (1804-1849), um modelo não-linear (3), que em contraste com o modelo malthusiano, a mortalidade passa a ser proporcional ao quadrado do número de indivíduos. Na década de 1970, o biólogo Robert May retomou este trabalho e avançou no estudo da dinâmica populacional com

a ideia de Mapa Logístico (4), em que existe uma dependência entre as gerações sucessivas de indivíduos. Apesar de inicialmente ter sido aplicado a populações de insetos, pode ser aplicado em outras campos de pesquisa.

$$\frac{dN}{dt} = N(\alpha - \beta) \quad (2)$$

$$\frac{dN}{dt} = N(\alpha - \beta N) \quad (3)$$

$$x_{n+1} = ax_n(1 - x_n) \quad (4)$$

Observação: Nas expressões (2) e (3), as incógnitas  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $N$  representam respectivamente a taxas de natalidade, de mortalidade e o número de indivíduos, em função do tempo  $t$ . Em (4),  $n$  representa o índice das iterações,  $a$  o parâmetro de  $x_n$ , que por sua vez, corresponde enésima interação da variável  $x$ . (MAY, 1976; FERRARI, 2008; KATO; BELLINI, 2009)

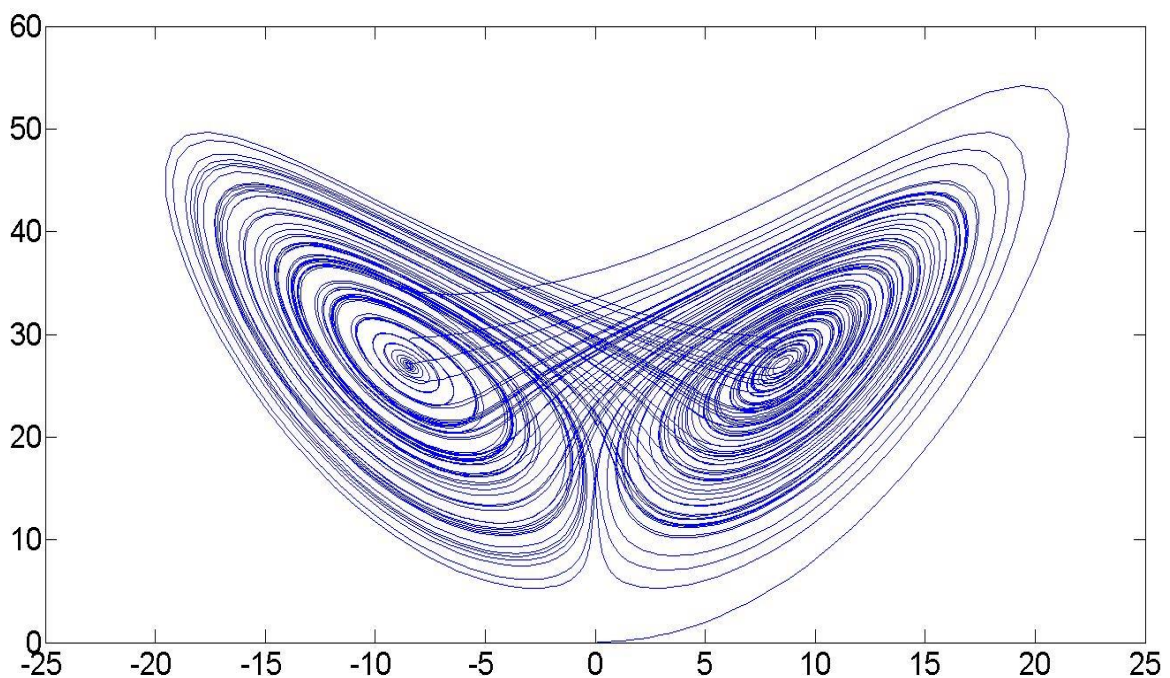
Em relação ao mapa logístico, os atratores podem ser classificados em três tipos básicos: “(a) atrator tipo ponto fixo, quando o sistema evolui para um único ponto; (b) atrator tipo duplo ciclo e ciclos ímpares, quando se estabiliza numa repetição de dois ou mais pontos e (c) atrator estranho, quando não há um padrão de repetição” (SILVA, 2008, p. 6).

O sistema de equações diferenciais (5) apresentado por Lorenz (1963) mostrou, além de oscilações do tempo, uma forma “estranha” semelhante à máscara de uma coruja ou às asas de uma borboleta (Figura 8). Tal imagem é um gráfico tridimensional em forma de uma curva dupla espiral conhecida como Atrator de Lorenz (GLEICK, 1991). A semelhança com as asas de uma borboleta inspirou o mais popular dos princípios do caos: o Efeito Borboleta. Geralmente conhecido pela clássica questão proposta por Lorenz (1972; 1995): “Pode o bater das asas de uma borboleta no Brasil gerar um tornado no Texas?”, é uma alusão ao comportamento característico de um sistema caótico, que corresponde a dependência sensível às condições iniciais.

$$\begin{aligned}
 \frac{dx}{dt} &= s(y - x) \\
 \frac{dy}{dt} &= x(r - z) - y \\
 \frac{dz}{dt} &= xy - bz
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Basicamente, o modelo de dinâmica atmosférica de Lorenz descreve o fluxo conectivo de um fluido entre duas regiões: uma quente e outra fria e pode ser descrito pelas equações acima. Nestas equações,  $x$  corresponde a velocidade da circulação convectiva do fluxo,  $y$  é a diferença de temperatura entre a parte superior e inferior do fluido e  $z$  é uma variável associada ao gradiente de temperatura entre a região fria e quente. Os parâmetros das equações  $s$ ,  $r$  e  $b$  representam, respectivamente, o número de Prandtl, o número de Rayleigh e o fator geométrico obtido da relação entre altura e largura da camada de convecção. Com os valores  $s=10$ ,  $r=28$  e  $b=8/3$ , Lorenz (1963) definiu o seu modelo inicial.

**Figura 8 - Atrator de Lorenz. Gráfico obtido das Equações de Lorenz, com  $n=10.000$  (número de pontos),  $x_0=y_0=z_0=0,1$  (variáveis iniciais) e  $r=10$ ,  $s=28$ ,  $b=2,6667$  (parâmetros).**



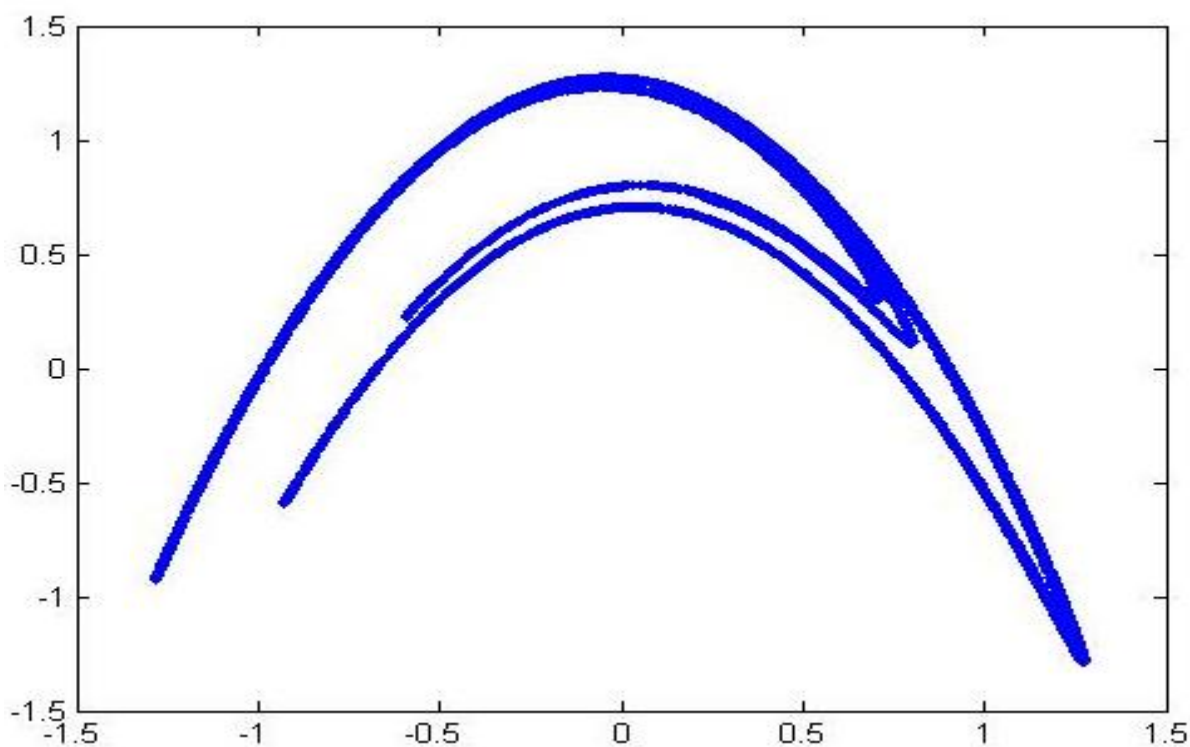
Fonte: Dados da pesquisa construídos a partir do programa MATLAB.

Existem muitas equações que podem gerar caos, em que seus respectivos gráficos são atratores. Resumidamente seguem dois exemplos destes, bastante conhecidos na literatura do caos:

- 1) Mapa de Hénon, proposto pelo astrônomo M. Hénon (1976), corresponde a um gráfico bidimensional (Figura 9), semelhante a um bumerangue, gerado pelas Equações de Hénon (6), um sistema de duas equações recursivas.

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= 1 - ax_n^2 + y_n \\ y_{n+1} &= bx_n\end{aligned}\tag{6}$$

**Figura 9 - Mapa de Hénon. Gráfico obtido através das Equações de Hénon, com  $n=10.000$  (número de pontos),  $x_0=0,1$  e  $y_0=0$  (variáveis iniciais) e  $a = 1,4$  e  $b = 0,3$  (parâmetros).**

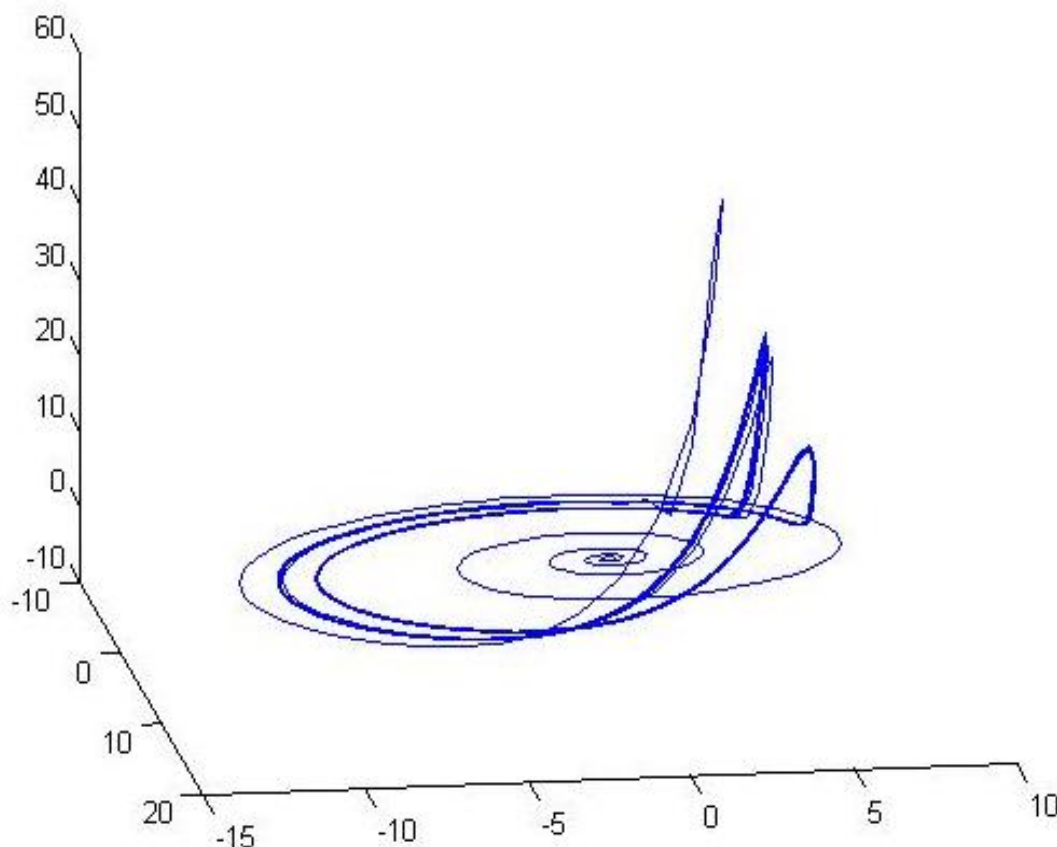


Fonte: Dados da pesquisa construídos a partir do programa MATLAB.

- 2) Atrator de Rössler, proposto pelo bioquímico alemão Otto Rössler (1976), corresponde a um gráfico tridimensional (Figura 10), inspirado no atrator de Lorenz, gerado pelas Equações de Rössler (7), um sistema de três equações diferenciais:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -y - z \\ \frac{dy}{dt} &= x + ay \\ \frac{dz}{dt} &= b + z(x - c)\end{aligned}\tag{7}$$

**Figura 10 - Atrator de Rössler. Gráfico obtido através das Equações de Rössler, com  $n=10.000$  (número de pontos),  $x_0=y_0=z_0=0,1$  (variáveis iniciais) e  $a = b = 0,2$  e  $c = 5,7$  (parâmetros).**

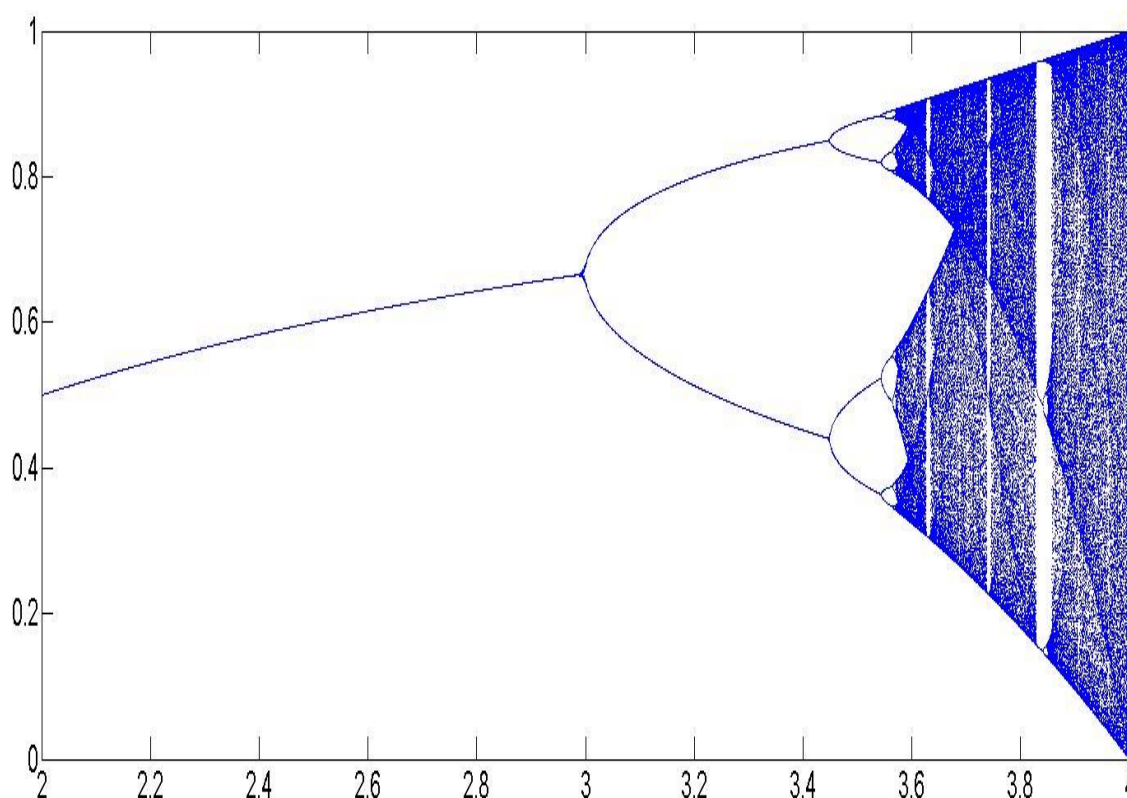


Fonte: Dados da pesquisa construídos a partir do programa MATLAB.

### 3.4.2.3.3. Bifurcação

Quando uma pequena variação ocorre no parâmetro de uma equação ou sistema de equações geradoras de um atrator, então ocorre uma mudança gráfica conhecida por bifurcação (Figura 11). Este gráfico mostra que o comportamento de uma série da equação logística é bastante distinto para parâmetros estabelecidos entre os valores 3 e 4.

**Figura 11 - Bifurcações. O gráfico representa a variável  $x$  do Mapa Logístico após 10.000 iterações, com o parâmetro  $a$  variando entre 2 e 4 (eixo horizontal).**

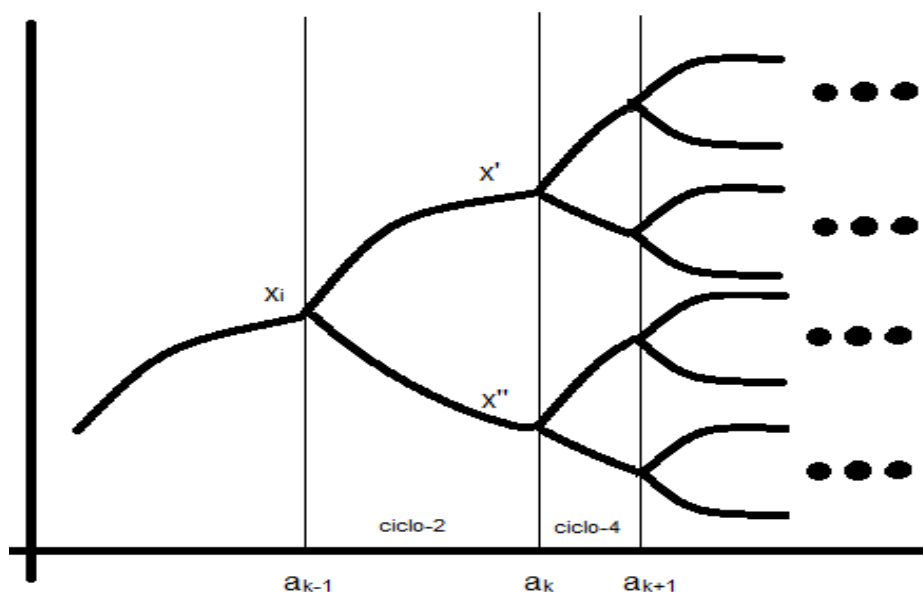


**Fonte: Dados da pesquisa construídos a partir do programa MATLAB.**

Podemos observar no esquema abaixo (Figura 12), uma representação dos padrões matemáticos das bifurcações, que o atrator se bifurca em dobras de período (ou ciclos periódicos). A partir de um ponto fixo instável  $x_i$  surgem dois pontos fixos estáveis  $x'$  e  $x''$  (2º ciclo), de cada um destes surgem mais dois pontos (4º ciclo), em seguida mais dois pontos para cada (8º ciclo), e assim por diante. Do segundo em

diante surge a estabilidade ou ordem para o caos (JANOS, 2009). Os ciclos formam uma sequência do tipo *progressão geométrica*, cuja razão é igual a dois.

**Figura 12 - Representação gráfica dos ciclos de bifurcações.**



Fonte: Esquema adaptado de Janos (2009, p. 358).

Apesar da aparência desordenada, estas bifurcações apresentam alto grau de similaridade. Sem levar em conta o rigor científico, podemos verificar a auto-similaridade (propriedade fractal) nestes gráficos, ampliando a imagem de alguma ramificação posterior, independente do ciclo.

#### 3.4.2.3.4. Constante de Feigenbaum

A *Constante de Feigenbaum* é uma característica fundamental das bifurcações que levou o nome do cientista que a descobriu Mitchell Jay Feigenbaum (1978). Conforme os ciclos de bifurcações (Figura 12), a constante “S” é um valor aproximado ( $S = 4,6692\dots$ ) obtido a partir do cálculo da razão entre as distâncias de duas ramificações sucessivas (8), em que “n” e “k” são índices naturais positivos:

$$S = \frac{S_n}{S_{n+1}} = \frac{a_k - a_{k-1}}{a_{k+1} - a_k}$$

(8)

Esta constante foi considerada como uma “lei universal” para o caos, que tanto fortaleceu a pesquisa quanto representou a consolidação do caos determinístico como teoria matemática.

Como vimos anteriormente, as características de um sistema caótico mostram tanto o aspecto matemático da Teoria do Caos quanto sua limitação teórica na explicação de fenômenos. A ciência do caos não se presta ao simples ato de mensurar, comparar ou descrever elementos de um sistema complexo, e sim, de identificar e analisar padrões através da dinâmica do sistema investigado. Operações quantitativas e comparativas são de grande importância para a ciência, mas não devem ser considerados superiores à análise sistêmica da dinâmica das interações, pois uma pequena relação entre elementos pode revelar algo mais significativo que a divisão do sistema em partes. Entendemos como um equívoco a aplicação exagerada de princípios da Teoria do Caos para todos os campos científicos, sociais ou ideológicos. Por exemplo, propor que “toda” a sociedade é caótica pressupõe que a complexidade das relações humanas é restrita a padrões imutáveis da teoria. Isto não significa ausência de padrões matemáticos, mas considera-los como possibilidades inerentes a muitos sistemas complexos.

A ciência do caos, vista até aqui de forma resumida, significa que encontramos “ordem” em sistemas complexos caóticos, apesar da aparente “desordem”. Dessa forma, as leis do caos são características fundamentais que permitem a compreensão de muitos sistemas complexos, sujeitos a estudos dos mais diversos campos do conhecimento.

### **3.5. Caos, pesquisa e ensino**

Os métodos computacionais de análises de sistemas não-lineares, especialmente os provenientes da teoria do caos, ganharam nos últimos anos bastante espaço em centros de pesquisas. A teoria do caos vem sendo utilizada em diversos estudos, como os direcionados a análise de fenômenos geofísicos (SIVAKUMAR, 2004) e biológicos (STAM, 2005). Mas, esta teoria não deve ser vista como um conhecimento específico do pesquisador teórico ou experimental. Devido a sua vasta aplicabilidade, podemos supor que a teoria pode ser utilizada como objeto de aprendizagem para a física (sistemas dinâmicos), da matemática (sequências numéricas, funções e gráficos), e de outras áreas.



Tanto o pesquisador que pretende utilizar a teoria como método de análise, quanto o professor ávido por contextualização, estão em consonância com a contemporaneidade. Eles são integrantes de uma nova geração de profissionais que se permitem enxergar além dos métodos tradicionais de pesquisa e de ensino. Aplicados ao ensino, os fundamentos do caos podem ser usados para entender fenômenos da natureza, bem como incentivo a pesquisa, em que o aluno possa entrar em contato com o trabalho do pesquisador de sistemas complexos. Outras sugestões de ensino podem emergir desta teoria, que aparece na história como uma nova ciência que quebrou paradigmas e que vem ganhando cada vez mais espaço.

Apesar da sua credibilidade crescente, esta teoria tem suas limitações, pois nem todo sistema complexo pode ser dito caótico. Isto, no entanto, não significa falta de ordem e sim de incertezas, por exemplo, as relações interpessoais, a aprendizagem, a filosofia, a arte, dentre outras. De fato, uma noção mais rica de ordem se faz necessária, em que vá além da noção matemática, considerando as incertezas (MORIN et al., 2003). Por mais que se construam e se ratifiquem modelos explicativos, todos estão sujeitos a alguma incerteza, mesmos os ditos científicos que estão sob o julgo da mudança.

### **3.6. Complexidades e Caos**

Dialogar com as incertezas é um caminho para entender as complexidades. Sendo que precisamos discutir questionamentos conceituais que podem passar despercebidos. O que é complexidade? Existe alguma relação com o Caos Determinístico? Etimologicamente, o termo “complexo” diz respeito aquilo que é tecido em conjunto, entrelaçado como um teia, sendo que “complexidade” é uma derivação latina deste termo, cuja essência não apresenta perda do sentido original (MORIN et al., 2003). É um termo profundo, ainda bastante discutido, principalmente quando relacionado ao Caos.

Seja de senso comum ou determinístico, o termo caos se popularizou em diversas áreas do saber, como a matemática, física, biologia, astronomia, economia, dentre outros. Sobre tal expansão, Cardoso e Pereira (2005, p. 224) assinalam que a Teoria do Caos "vem ganhando mais força com o nome de Complexidade"

Caos e Complexidade são fenômenos interconexos, sendo que alguns argumentam que Caos é a teoria geral que engloba o estudo de sistemas complexos, enquanto outros argumentam exatamente o contrário, ou seja, que a Complexidade é a teoria geral que engloba o estudo do Caos. Há também aqueles que não vêem diferença alguma entre os dois e os que, por outro lado, consideram que os termos Complexidade e Caos nada têm em comum (GODOY, 2003, p. 23).

Sobre estes pontos de vista, Godoy (2003, p. 23) propõe que: "A interação de sistemas complexos criaria o ambiente da Complexidade, cujo comportamento seria explicado pela Teoria do Caos." Para Morin et al. (2003, p. 46) há uma certa confusão conceitual entre os termos caos, complexidade e determinismo, proveniente da atribuição do termo complexidade nos "(...) campos de pesquisa da matemática e da física, relacionados com o estudo de sistemas dinâmicos, dentro dos quais se deve localizar não só a chamada 'teoria do caos', mas também a teoria dos fractais e a teoria das catástrofes". Conscientes da diversidade conceitual que emergem destes termos, estabelecemos dois tipos de complexidades que podem caminhar juntas:

(i) a complexidade sob o ponto de vista determinístico são redes de informações que emergem de um sistema dinâmico ou de um sistema de algoritmos matemáticos, como os provenientes de uma equação ou sistema de equações. Quando utilizamos o termo "complexidade do caos", por exemplo, estamos nos referindo a sistemas dinâmicos que apesar da aparente aleatoriedade apresentam padrões de comportamento descritos ou mesmo originados por equações matemáticas.

(ii) a complexidade, enquanto modo de pensamento, considera relevante a compreensão das múltiplas relações existentes entre e além do globo terrestre numa reflexão mais coerente sobre a realidade. Esta complexidade não se restringe a modelos da realidade, em que a ordem num sentido matemático é fundamental. A complexidade é pensar conjuntamente o uno e o múltiplo, o incerto e o certo, o lógico e o contraditório, bem como incluir o observador na observação (MORIN, 1998, p. 206).

Sob o status de teoria, a primeira modeliza matematicamente recortes da realidade complexa para entendê-la, ainda que se constitua por outras metodologias não tradicionais. Enquanto a outra indica subjetivamente caminhos de compreensão e atuação sobre a realidade, permitindo o diálogo não-linear entre as lógicas de pensamento existentes. Em suma, a complexidade descrita no primeiro ponto ganha mais sentido e abrangência conceitual quando considera o segundo ponto como uma

“bússola pedagógica”, que em nosso estudo nos guia na árdua tarefa de entender a relação entre o aquecimento planetário e o caos determinístico.

Vimos que mediante as confusões de sentido, os conceitos Caos e Complexidade parecem convergir entre si e tendem a fazer parte cada vez mais do entendimento geral. Tanto a complexidade encontrada nos campos de estudo dos sistemas dinâmicos, quanto a empregada num sentido mais abrangente de “pensamento” são passíveis de projetar-se no contexto escolar. Em uma era ameaçada por vários fatores interconexos, promover um ensino contextualizado, que busque relacionar conceitos de áreas diversas, entender as interações existentes e dialogar com as incertezas e contradições planetárias, é uma postura a qual acreditamos ser relevante para o ensino.

### **3.7. As incertezas do Caos e do aquecimento global**

O binômio “caos e aquecimento” pode ser representado por duas vertentes: Uma concepção inicial, fruto do senso comum, que estabelece uma relação de desarmonia dos sistemas naturais, decorrentes da ação fenomênica ou antropológica. E outra, de caráter científico, que relaciona princípios da Teoria do caos com o fenômeno.

Como vimos no tópico sobre Aquecimento Global, as informações que recebemos sobre este tema são fruto de controvérsias do discurso científico, ambientalista e político-econômico. Além do mais, estas informações nos são comunicadas de uma forma tendenciosa, sensacionalista e desprovidas de rigor científico (ONÇA, 2011; XAVIER; KERR, 2004; MOLION, 2008). No tópico sobre caos no senso comum, vemos que o termo caos é complexo, em que o longo alcance de significados é explicado pela sua etimologia. No mundo antigo, desde as primeiras concepções da origem do mundo e do universo, a palavra caos se fez presente em diferentes contextos, como um deus, como o princípio de tudo, desordem, vazio, ausência de forma e diferenciação (GUTIÉRREZ, 2011). Não muito diferente do seu significado original, o caos é concebido pelas pessoas como algo extremamente negativo, em que existe, por exemplo, uma situação de total confusão e desordem. Deste contexto de senso comum, Caos e Aquecimento Global podem perfeitamente estar associados.

Entretanto, indicamos outra relação entre eles, baseada em um olhar científico, em que o termo caos é apresentado com status de teoria, enquanto que o Aquecimento Global seria um fenômeno passível de estudo teórico. A Teoria do Caos emergiu com os estudos de Lorenz (1963), que naquele momento, não estava tratando de Aquecimento Global, e sim, do tempo atmosférico. Além de padrões nunca antes vistos, seus estudos revelaram a importância dos mínimos detalhes que passavam despercebidos ou eram desconsiderados nos modelos da dinâmica atmosférica de sua época. O achado lorenziano ratificou incertezas de sistemas dinâmicos caóticos. Resta-nos saber se tais incertezas se aplicam ao aquecimento planetário. Será este fruto de um sistema caótico?

Como o AG está intimamente ligado à dinâmica do sistema atmosférico, não apenas a temperatura é um componente a ser considerado no estudo do fenômeno. Outros elementos deste sistema são merecedores de atenção, como a eficácia dos modelos de previsibilidade numérica do tempo, que segundo Mendonça e Bonatti (2002, p. 3350), desde que foram criados já havia conhecimento da limitação dos seus índices de acertos, e que suas falhas eram associadas ao “tratamento inadequado dos processos físicos da atmosfera”. Ao considerar o clima como um de sistema caótico, os pesquisadores Silva e Carvalho (2007, p. 7) também enfatizam a dificuldade maior em realizar previsões climáticas, e explicam que esta dificuldade é: “[...] inerente às propriedades matemáticas das equações que descrevem sua dinâmica. Como nenhuma grandeza pode ser medida com precisão infinita, qualquer pequeno erro amplifica-se com o tempo e torna a previsão equivocada”. Este argumento, de certa forma corrobora com o de Mendonça e Bonatti (2002, p. 3350), que mesmo admitindo que os erros relacionados aos processos físicos possam limitar o prazo de previsão, lembram que:

Lorenz observou que o conjunto de equações que descrevem os movimentos atmosféricos apresentam dependência sensível em relação à condição inicial, ou seja, pequenos erros nas condições iniciais podem ocasionar grandes erros em uma previsão futura, mesmo que os modelos fossem perfeitos. Esta descoberta mostrou que não basta melhorar a descrição dos fenômenos atmosféricos pelos modelos, mas é preciso levar em conta a incerteza associada as observações utilizadas na geração da condição inicial.

Pelos argumentos expostos anteriormente, percebemos que a Teoria do Caos nos fornece evidências de uma previsibilidade limitada envolto do estudo do sistema climático. Pesquisadores como Santos e Buchmann (2011), contudo, não corroboram com estes argumentos e são bastante enfáticos em suas críticas à TC quanto a sua eficácia preditiva do tempo:

Para o propalado “caos atmosférico” não existe nenhuma explicação física, pois seria considerar a atmosfera em desordem. De fato não é possível comprovar que a atmosfera é caótica por ausência de experimentos para tal. Mesmo a explicação física de Lorenz (1963), ao dizer que o bater das asas da borboleta poderia gerar o caos na atmosfera, seria de difícil comprovação científica do ponto de vista observacional.

Reconhecemos que a Teoria do Caos é mal compreendida por existir uma vasta divulgação da teoria sem compromisso com o “rigor” científico. Os princípios da teoria são muitas vezes utilizados de forma ilustrativa, alegórica e até fantasiosa. Por exemplo, no Filme: Efeito Borboleta, os autores construíram uma relação fictícia e interessante entre a mente humana, caos, realidade, passado, presente e futuro. Como já vimos no tópico sobre a matemática do caos, o “bater das asas de uma borboleta” é uma metáfora que não foi apresentada por Lorenz como uma afirmação, e sim, como uma indagação que se tornou um slogan da TC. Vale ressaltar que a relação caos/desordem não representa a natureza determinística da teoria, isto é, o caos científico trata de sistemas dinâmicos aparentemente desprovidos de ordem.

As simples equações de Lorenz além de representar os movimentos atmosféricos, ainda que por um caso muito particular (FERRARI, 2008, p. 44-45), mostrou os padrões e incertezas climáticas. Ao tratar de clima, precisamos compreender que ele: “é composto de muitos sistemas não-lineares complexos e interligados. O caos é característica intrínseca de todos eles e, como se sabe, foi justamente através do estudo desses sistemas que o comportamento caótico foi descoberto (ONÇA, 2011, p. 355)”. Dificuldades na previsão de temperatura do planeta também não é uma novidade, sendo possível mostrar sua imprevisibilidade (DANFORTH, 2001, p. 34). Contudo, esta característica não é absoluta, isto é, não significa que a temperatura ou os demais elementos da natureza são desprovidos de padrões matemáticos.

A imprecisão dos dados observados corresponde a dificuldade da pesquisa em abarcar a totalidade e interação dos elementos que constituem o sistema climático e, por conseguinte, também há dificuldades na pesquisa do Aquecimento Global. Para este, inexistente um modelo que retrate detalhes da sua dinâmica, mas, seu estudo é possível porque ele é um fenômeno espaço-temporal e há registros de séries temporais de temperatura disponíveis em várias regiões do planeta (VIOLA, 2011, p. 13). O aquecimento global é mensurado a partir de medidas de temperaturas locais, que são inadequadas para expressar o comportamento médio da temperatura do planeta (MOLION, 2008). O fato do aquecimento, ser distinto para cada região do planeta não significa que o estudo do aquecimento global seja impossível, porém, necessita de ajustes nos modelos existentes e na própria noção do termo “aquecimento global”. Apesar de suas limitações naturais e operacionais devemos reconhecer que os atuais modelos explicativos são úteis para entender determinados processos da complexidade ambiental, mas não da sua totalidade.

Com desenvolvimento tecnológico e científico, o sonho de controle climático através de mecanismos de modelagem instigam os pesquisadores. Com base em pressupostos do caos, Boss N. Hoffman (2002), autor do artigo: “Controlling the global weather”, propõe que dentro de 30 a 50 anos será possível o controle do clima devido ao avanço tecnológico. Duas importantes questões são levantadas pelo autor:

1. Se nós podemos controlar o clima, devemos fazer isso?
2. As guerras climáticas são inevitáveis?

Não sabemos até que ponto estas perguntas se tornam realidade, nem é nosso objetivo entrar nesta discussão, mas sabemos que a complexidade do fenômeno se revela nas controvérsias dos discursos científicos e que existe incertezas inerentes aos sistemas complexos.

Em relação à existência de mudança climática, considerada como uma consequência do aquecimento global, Onça (2011, p. 354) explica que:

[...] uma mudança climática não é algo que necessite de uma detecção, pois a Terra é o resultado de um processo dinâmico caótico. Seria de se estranhar, portanto, se nada tivesse mudado durante o século XX, mesmo na ausência de uma causa exterior. As leis da natureza não limitam o clima da Terra a um estado estático perpetuamente.

De fato, mudanças do clima fazem parte da história do planeta, sendo que, o questionamento de que podem ser mensuradas ou não, é uma emergência da busca pelo conhecimento e das tensões entre concepções, que promove o desenvolvimento científico.

Portanto, com base nos pressupostos teóricos que discutimos neste tópico e nos anteriores, consideramos como relevantes para o estudo do Aquecimento Global, cinco aspectos que o pesquisador ou professor devem observar em suas respectivas áreas:

- 1) A teoria do caos pode interpretar o aquecimento global, mas não deve ser considerada como um modelo exclusivo da complexidade ambiental;
- 2) O aquecimento do planeta é local, ocorre em diversas regiões de modo distinto;
- 3) Por ser um fenômeno espaço-temporal, pode ser analisado em diversas locais do planeta;
- 4) A previsibilidade possui limitações teóricas e naturais: incertezas inerentes à complexidade ambiental;
- 5) Aquecimento global é um tema controverso, que pode ser entendido por uma perspectiva dialógica.

As interações climáticas constituem a complexidade do clima, logo, indispensáveis para entender o AG. Esta complexidade pode ser interpretada por métodos de pesquisa não-lineares. O caos determinístico de certa forma pode explicar a dinâmica complexa do clima, porém, esta explicação não deve ser vista como absoluta. Sensibilidade às condições iniciais e limites de previsibilidade são exemplos de condições de existência da teoria, isto é, a teoria não se aplica a todos os tipos de sistemas dinâmicos. Assim como todos os modelos científicos, a teoria do caos formula parâmetros para entender a realidade. Quando tratamos de temáticas complexas, como o AG, devemos estar cientes que existem faces da complexidade que necessitam ser estudadas de modo complexo, isto é, necessitamos de um olhar não linear sobre os fenômenos climáticos.

#### 4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Nossa pesquisa se estabelece em uma abordagem qualitativa, que segundo Oliveira (2010, p. 37) é “um processo de reflexão e análise da realidade através da utilização de métodos e técnicas para compreensão detalhada do objeto de estudo em seu contexto histórico e/ou segundo sua estruturação”. Estes pressupostos metodológicos se adequam a nossa proposta de pesquisa por possibilitar uma investigação de como os licenciandos compreendem as temáticas da teoria do caos e do aquecimento global e como estabelecem relação entre ambas.

Neste trabalho usamos a Metodologia Interativa (MI), que tem como bases teóricas o método pluralista construtivista (GUBA e LINCOLN, 1989), o método de análise de conteúdo (BARDIN, 1977) e o método hermenêutico-dialético (MINAYO, 2004). Segundo Oliveira (2011) a MI é “um processo hermenêutico-dialético e dialógico que facilita entender e interpretar a fala e os depoimentos dos atores sociais em seu contexto, na perspectiva de uma visão sistêmica da temática em estudo”. Através da MI podemos entender e interpretar as falas dos licenciandos em física e matemática sobre a teoria do caos e o aquecimento global e a relação entre eles, dentro de uma visão da complexidade.

A autora ressalta que “Por se tratar de um processo dialético, complexo, dialógico e sistêmico, a Metodologia Interativa se aplica a diferentes áreas de conhecimento, podendo ser trabalhada com os mais variados e complexos temas de pesquisa (2012, p. 3)”. O que justifica nossa escolha, pois nos permite considerá-la como uma proposta coerente com nossa pesquisa, em que tratamos de temas complexos, cuja compreensão também agrega conceitos complexos. Assim, necessitam de uma proposta metodológica que não só contemple o rigor técnico da pesquisa tradicional, mas que seja igualmente flexível. A MI é flexível porque não fica presa ao método linear-cartesiano e, sem deixar de ser um método que prioriza a consistência teórica, não despreza o rigor científico.

Esta metodologia tem como principal técnica de pesquisa o Círculo Hermenêutico Dialético (CHD), utilizada para obter dados por meio da realização de entrevistas, cujas respostas são obtidas de forma interativa dinâmica e gradativa para construção e reconstrução da realidade, tendo a complexidade e a dialogicidade como principais aportes teóricos. A MI também dispõe da Análise Interativa Hermenêutica



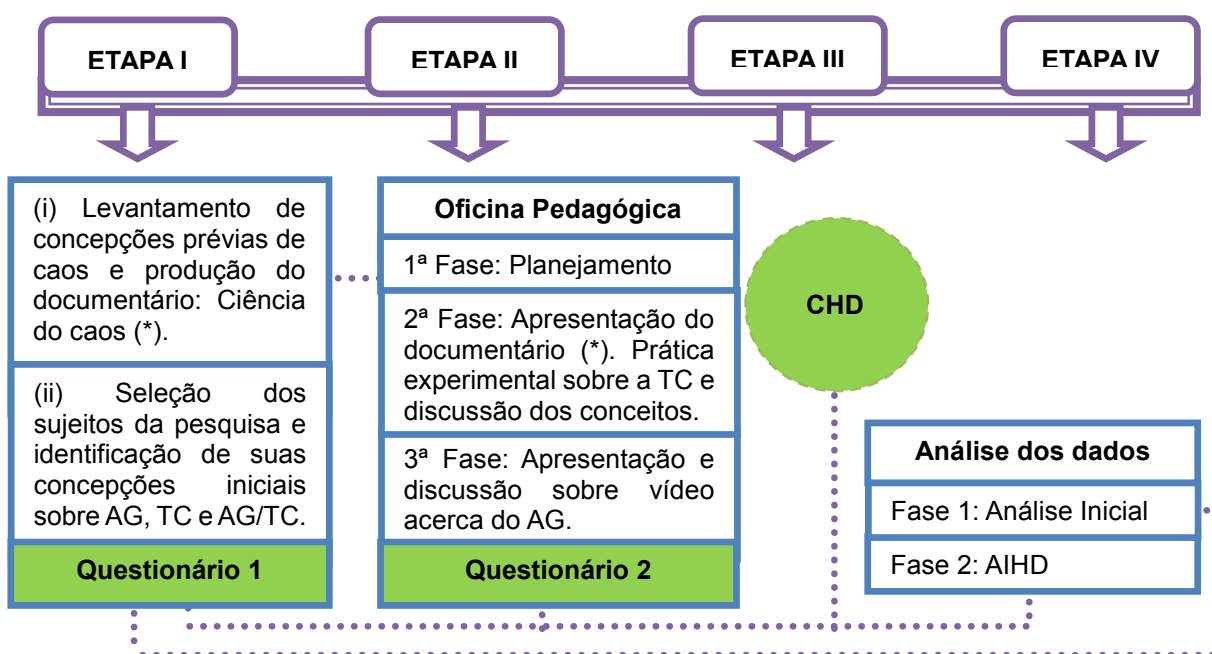
Dialética (AIHD), que mediante a triangulação e categorização das informações obtidas, permite a construção de uma Matriz Geral das Categorias (MGC), sistematizando os resultados para análise.

Para a identificação dos dados, além de observação de campo, utilizamos os seguintes recursos metodológicos: entrevistas gravadas em vídeo e questionários mistos, utilizados antes e depois de atividades pedagógicas. Para elaboração das atividades, foram usados tanto recursos físicos (computador, gravador de áudio, filmadora, microfone, questionários, caderno de notas), como computacionais (editores de som e vídeo, softwares específicos).

#### 4.1. O percurso metodológico

O percurso metodológico da pesquisa se constitui de quatro etapas desenvolvidas em consonância com nossa fundamentação teórica (Figura 13), para identificar e analisar concepções sobre o Aquecimento Global (AG), Teoria do Caos (TC) e a relação entre ambas (AG/TC).

**Figura 13 - Esquema metodológico.**



**Fonte: Dados da pesquisa.**

## **4.2. ETAPA I – Levantamento de concepções e sujeitos da pesquisa**

Esta etapa foi realizada em dois momentos:

### **4.2.1. Levantamento de concepções sobre caos e produção de documentário**

Desenvolvemos um levantamento de concepções sobre o termo caos com 60 indivíduos, entre funcionários, professores e alunos da UFRPE, comparando a visão científica com a do senso comum – um estudo que inspirou a construção de um documentário acadêmico: *Ciência do caos* – produzido pelo Núcleo de Pesquisa, Estudo e Extensão em Transdisciplinaridade (NUPET)<sup>1</sup>. Este levantamento, foi um momento exploratório realizado de forma colaborativa com membros do NUPET, dois professores de biologia e um de física. Para tanto, o grupo discutiu, planejou e executou a pesquisa através de entrevistas que foram filmadas, transcritas e posteriormente analisadas.

O documentário *Ciência do Caos* foi delineado em três momentos. No primeiro momento, realizamos estudos sobre a realização de documentários, tendo como base a obra *Criação de curta-metragem em vídeo digital: uma proposta para produções de baixo custo* (MOLETTA, 2009). No segundo momento, discutimos e definimos a pergunta central da entrevista: O que é caos para você? No terceiro momento, realizamos as entrevistas nos departamentos da UFRPE, com alunos, pesquisadores, professores, técnicos e prestadores de serviço, sendo que a maior parte deste grupo foi constituída por alunos dos cursos de biologia, matemática, física, química, agronomia, história, educação física, sistema de informação e estudantes de pós graduação.

---

<sup>1</sup> Sediado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, o núcleo “é constituído por uma rede de professores, estudantes, técnicos e dirigentes de diferentes instituições, que tem como proposta o estudo, a pesquisa e atividades extensão sobre a transdisciplinaridade (TransD)”. Fonte: <<http://www.nupet.com.br/apresentacao.html>>.

#### **4.2.2. Seleção dos sujeitos e identificação de concepções iniciais sobre Aquecimento Global, Teoria do Caos e a Relação entre ambas.**

Através de um Questionário 1 (APÊNDICE A), selecionamos os sujeitos da pesquisa e identificamos suas concepções iniciais sobre o aquecimento global, teoria do caos e a relação entre elas. Participaram da pesquisa quatro licenciandos de física e de matemática, sendo dois de cada curso e que estavam cursando do sexto ao último período, na faixa etária de 20 a 30 anos.

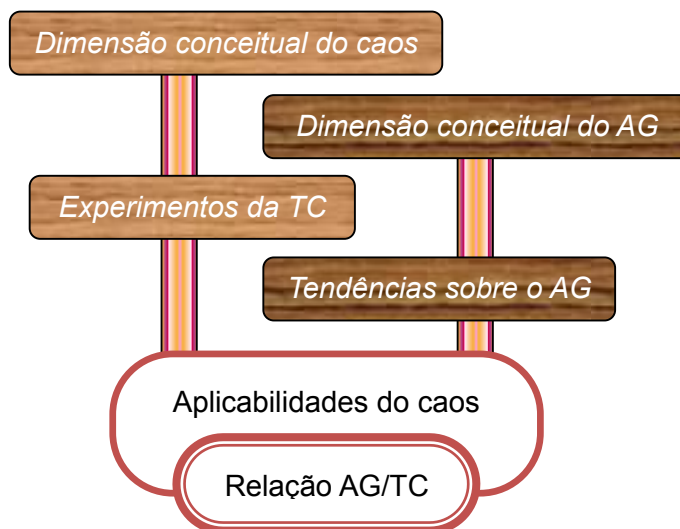
#### **4.3. ETAPA II – Oficina Pedagógica**

Realizamos uma oficina pedagógica em três fases conectadas por nossa fundamentação teórica, em que foram apresentados vídeos e experimentos, com uma duração total de doze horas, quatro horas para cada fase. A primeira corresponde ao planejamento da oficina, realizada pelo autor deste estudo e por pesquisadores colaboradores, especializados em análise computacional de dinâmica não-linear. As fases seguintes correspondem a aplicação da oficina, em que os quatro licenciandos participaram como alunos. Sua finalidade foi proporcionar práticas, discussões e o desenvolvimento conceitual dos licenciandos sobre o Aquecimento Global e a Teoria do Caos, numa perspectiva do pensamento complexo.

##### **4.3.1. Planejamento da oficina**

Esta fase foi essencial para estruturação didática do conteúdo que foi ministrado nas fases seguintes. Com base nos pressupostos teóricos do Pensamento complexo, os conceitos e recursos didáticos, relacionados ao Aquecimento Global e a Teoria do Caos, foram planejados de modo que os alunos pudessem ter acesso aos conceitos e seus contrapontos. Dessa forma, buscamos uma harmonia entre senso comum e científico acerca do caos, bem como dialogar com as tendências (antropogênica, fenomênica e dual) sobre o Aquecimento Global, abordando os argumentos divergentes no campo científico e político a respeito da origem e consequências do fenômeno. Para tanto, o seguinte esquema didático (Figura 14) foi construído, que serviu de suporte teórico para construção e aplicação das duas fases seguintes.

**Figura 14 - Esquema de planejamento didático da oficina.**



Fonte: Dados da pesquisa.

#### 4.3.2. Caos: do senso comum ao determinismo

Esta fase foi realizada em três momentos distintos, porém, didaticamente interligados, em que o termo caos foi apresentado no seu significado etimológico, no entendimento comum da UFRPE e na concepção científica:

Primeiro momento: ocorreu a exibição e discussão do documentário sobre o caos realizado na ETAPA I, o qual identificamos a concepção de caos de 60 sujeitos: alunos, professores, e outros funcionários da UFRPE de diversas áreas do conhecimento. Após a exibição, discutimos com os quatro participantes da oficina a concepção deles sobre o caos.

Segundo momento: ocorreu a realização de um estudo prático sobre a *Matemática do caos*. Esta atividade tinha como objetivo contextualizar a teoria do caos por meio da análise gráfica do comportamento de sistemas dinâmicos (randômicos e determinísticos), em que os licenciandos aprenderam e executaram técnicas computacionais para gerar gráficos de séries temporais e seus respectivos espaços de fase. A atividade foi construída e aplicada no Laboratório de Realidades Complexas - Centro de Apoio à Pesquisa - CENAPESQ/UFRPE, pelo autor deste estudo e um pesquisador colaborador, Renato Barros – Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Biociência Animal - UFRPE. Utilizamos como ferramenta didática o

programa computacional MATLAB, o qual foi utilizado para construir algoritmos de análise, realizar cálculos e analisar sistemas lineares e não-lineares. Como o foco não foi o ensino deste programa, todos os algoritmos foram disponibilizados em dois roteiros da oficina (APÊNDICES C e D). Os roteiros desta atividade foram constituídos de diversos algoritmos computacionais, que geram gráficos de sistemas de dinâmica não-linear. Além de técnicas da Teoria do Caos e conceitos do Aquecimento Global, utilizamos dois sistemas reais como fechamento do segundo roteiro:

O primeiro sistema corresponde aos registros de intervalos R-R de um eletrocardiograma (ECG) de uma cão adulto, raça “pastor alemão”. Estes registros foram cedidos pelo pesquisador Claudio de Castro, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Biociência Animal - UFRPE, dados de sua pesquisa de mestrado intitulado: Análise de flutuações sem tendência aplicada na avaliação da frequência cardíaca em cães da raça Rottweiler. O segundo sistema corresponde aos registros da temperatura (em graus Celsius) da cidade do Recife (PE) de 2010 a 2012. Estes dados foram cedidos pelo CPTEC/INPE (2012).

Com estes dados e o auxílio do programa Matlab, os licenciandos puderam traçar gráficos de sistemas naturais que indicavam a existência padrões caóticos. O gráfico obtido com a técnica do Espaço de Fase, mostrou que existe um atrator tanto para ECG do cão quanto para temperatura da cidade do Recife.

Dessa forma, os licenciandos puderam perceber que a afirmação matemática que qualifica o caos como ordem na aparente desordem é aplicável para um sistema sensível as condições iniciais, ou seja, que sofre grandes mudanças quando se produz pequenas alterações nas condições iniciais.

Terceiro momento: discussão teórica sobre o caos determinístico. Logo em seguida, as atividades de aplicação da teoria do caos, foram realizadas discussões teóricas sobre sistemas complexos, baseadas nos conceitos tratados na atividade do segundo momento. Esta discussão foi marcada pela exposição da teoria do caos, seus princípios e sua aplicação. Os licenciandos puderam identificar e refletir sobre a vasta aplicação da teoria do caos nos diferentes campos da pesquisa científica.

### 4.3.3. Aquecimento Global: mito ou realidade

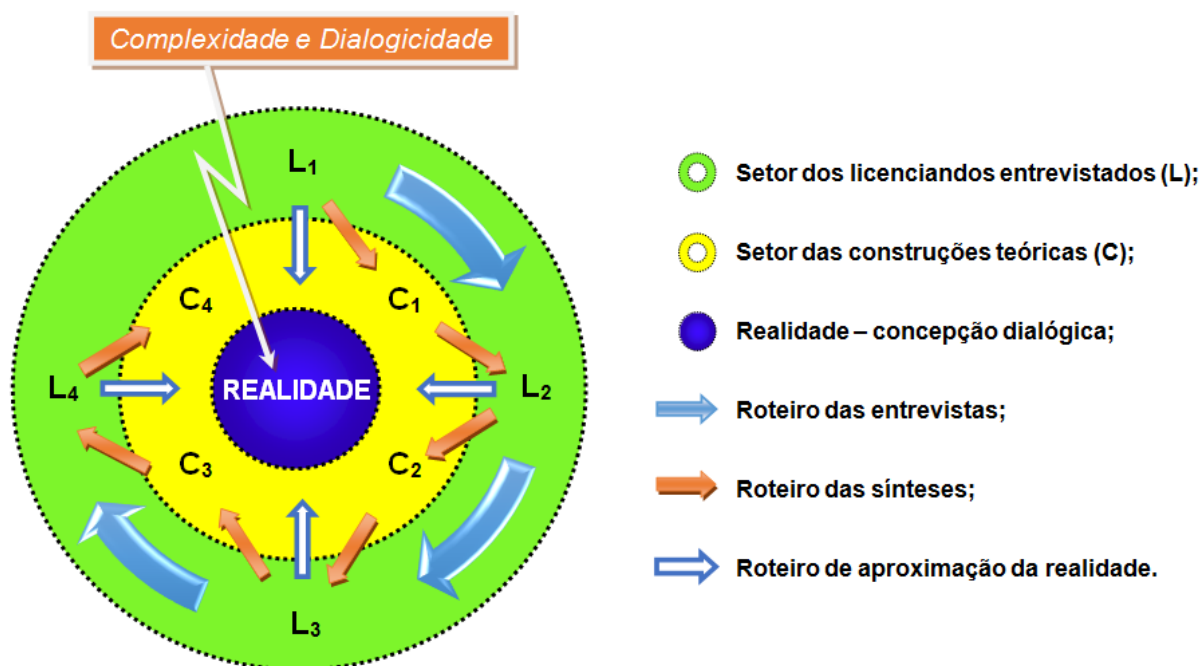
Esta fase faz referência ao tópico *Aquecimento Global: mito ou realidade*, de nossa fundamentação, na qual realizamos uma discussão aberta do tema, em que levantamos questionamentos sobre a credibilidade do fenômeno quanto a sua existência. Nesta fase foram apresentados conceitos sobre o AG e outros temas relacionados a este, e como as informações são veiculadas nos meios de comunicação (científicos e de massa) e perspectivas atuais da educação ambiental frente a estes questionamentos. Distribuída em dois momentos interligados, esta fase teve como objetivo apresentar os conceitos vigentes, os consensos e as divergências científicas e políticas sobre o Aquecimento global.

No primeiro momento ocorreu uma apresentação de um vídeo adaptado pelo autor deste estudo, contendo cenas relativas à temática obtidas de diversos documentários e entrevistas, distribuídos livremente no site: <http://www.youtube.com>. Após exibição do vídeo, foi realizado em um segundo momento, um debate bastante participativo sobre o tema, em que os alunos puderam apresentar, confrontar e compartilhar entre si suas opiniões sobre todos os assuntos tratados na oficina. Logo em seguida, foi aplicado o Questionário 2 (APÊNDICE B), contendo as mesmas questões do questionário anterior, exceto perguntas sobre dados pessoais.

### 4.4. ETAPA III – Realização do CHD

Nesta etapa, foi aplicado o Círculo Hermenêutico Dialético (CHD), uma ferramenta de pesquisa que, através de um processo gradativo, dialógico, dialético e interativo de construção e reconstrução das falas de um grupo de entrevistados, possibilitou construir interpretações próximas da realidade. A aplicação do CHD objetivou uma investigação sobre as concepções dos estudantes sobre o Aquecimento Global, a Teoria do Caos e que relação se estabelece destes, após a oficina pedagógica. Tal ferramenta pode ser didaticamente representada por três círculos concêntricos (Figura 15).

**Figura 15 - Círculo Hermenêutico Dialético – com os novos aportes teóricos.**



Fonte: Representação do CHD adaptada de Oliveira (2011).

O nível dos entrevistados corresponde ao setor circular mais externo, onde se localizam os sujeitos da pesquisa: (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>), sendo L<sub>1</sub> o primeiro licenciando entrevistado do círculo, L<sub>2</sub> o segundo e, assim por diante, até o último L<sub>4</sub>. O nível das construções teóricas (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) corresponde ao setor intermediário onde se localizam as primeiras sínteses das respostas às entrevistas, de maneira que C<sub>1</sub> é a síntese construída pelo pesquisador a partir das respostas de L<sub>1</sub>, que juntamente com L<sub>2</sub> fornece a síntese C<sub>2</sub>. Da mesma forma, que C<sub>3</sub> é obtida das respostas de L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, e assim, por diante. A dinâmica da sequência de entrevistas permite que, de um nível a outro, os dados se direcionem para o centro do CHD. Intitulado por Realidade, este círculo central corresponde a uma interpretação bastante próxima da realidade estudada, decorrente do julgamento conjunto de todos os entrevistados.

As entrevistas foram filmadas - procedimento que nos permitiu uma análise mais detalhada, pois ainda que nosso foco tenha sido analisar as transcrições do áudio (respostas dos licenciandos nas entrevistas), as imagens em vídeo possibilitaram a captação de expressões corporais dos licenciandos no momento de suas falas, tais como movimentos da face e das mãos.

Vale ressaltar que este processo de construção e reconstrução de sínteses das respostas dos entrevistados nos fornece uma análise inicial, realizada por cada um e por cada grupo de entrevistados, que pode reduzir significativamente a influência do pesquisador e contribuir para a elaboração da última síntese (OLIVEIRA, 2010, p. 133). Após a síntese feita a partir da resposta de L4, os quatro licenciandos do círculo foram reunidos em uma sala, mostramos esta síntese para que eles fizessem suas considerações, em que puderam falar se concordam, discordam, retiram ou acrescentam algo sobre a síntese. Dessa forma, os licenciandos construíram uma interpretação da Realidade de forma dinâmica, democrática e conclusiva (centro do CHD).

#### **4.5. ETAPA IV – Análise dos dados**

Esta etapa se constituiu de duas fases: uma primeira análise dos dados observados na ETAPA I (com os dados sobre o termo caos do Documentário e as respostas do Questionário 1), e outra análise definitiva, em que cruzamos e caracterizamos os dados observados (respostas dos questionários e falas construídas no CHD), de acordo com nossos pressupostos teóricos.

##### **4.5.1. Construção de uma Análise Inicial**

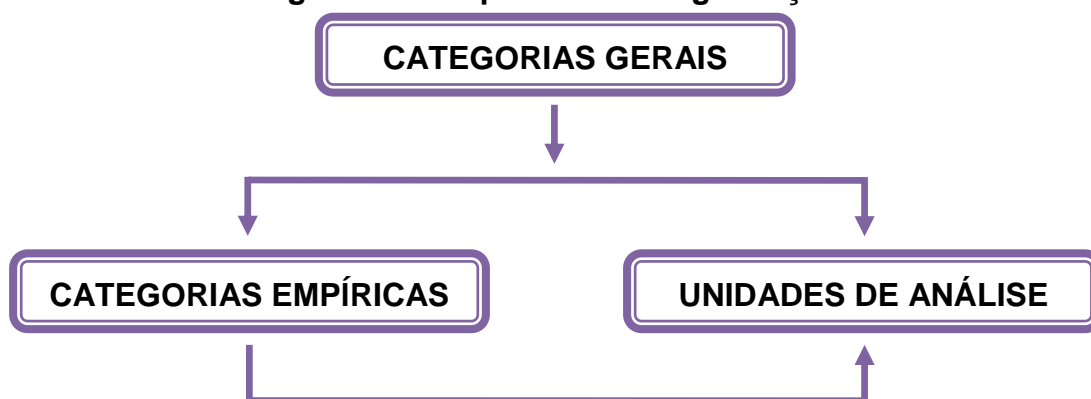
Constituída da análise panorâmica das informações obtidas na ETAPA I, quanto ao (i) *levantamento do senso comum da UFRPE sobre termo caos*, bem como as (ii) *concepções sobre Aquecimento Global, Teoria do Caos e a relação entre ambas*. No momento (i), o termo caos não foi categorizado devido a diversidade de concepções encontradas. No momento (ii), também não categorizamos, pois estes dados foram utilizados na análise final, após os dados construídos no CHD. A interpretação destes dados foi realizada pelo cruzamento das respostas dos sujeitos com os conceitos abordados em nossa fundamentação teórica.



#### 4.5.2. Construção da Análise Interativa Hermenêutica Dialética

Esta análise foi realizada em duas fases interligadas. Analisamos na primeira fase, concomitantemente, as respostas do primeiro questionário (ETAPA I), as respostas do segundo questionário (realizado pós-oficina) e a síntese final do CHD (Realidade). Segundo Oliveira (2010), a Análise Interativa Hermenêutica Dialética (AIHD) decorre do processo triangulação dos dados obtidos, em que estabelecemos Categorias Gerais (ou Teóricas), Categorias Empíricas (ou Subcategorias) e Unidades de Análise, que são relacionadas mediante um processo de análise hermenêutico-dialético (Figura 16).

**Figura 16 - Esquema de categorização.**



Fonte: Oliveira, 2010, p. 98

Este processo nos permitiu fazer um estudo sistemático, comparativo e bastante criterioso dos dados, pois construímos uma Matriz Geral das Categorias (MGC) para a análise dos dados. Na elaboração desta matriz, ilustrada pelo Quadro 3, definimos inicialmente as categorias teóricas, advindas da discussão teórica, que em nosso caso foram duas: Aquecimento Global e Teoria do Caos. Em seguida, categorias empíricas emergiram como desdobramentos das concepções correlacionadas às categorias teóricas. Em nosso caso, as categorias empíricas coincidiram com as teóricas, diferenciando-se apenas pelo momento em que surgiram. Na MGC, elas são numeradas e localizadas abaixo da categoria teórica correspondente. Semelhantemente, porém, com marcadores de pontos, são distribuídas as unidades de análise, que são advindas dos dados produzidas nos questionários e nas entrevistas. Nossas categorias foram analisadas conforme

relação que emergiu entre as unidades de análise com os pressupostos teóricos da pesquisa.

**Quadro 3 - Esquema da MGC.**

| <b>Categoria Teórica I:<br/>Aquecimento Global</b>               | <b>Categoria Teórica II:<br/>Teoria do Caos</b>                  |
|--|--|
| <b>1. Categoria empírica:<br/>AG (concepção pré-oficina)</b>     | <b>1. Categoria empírica:<br/>TC (concepção pré-oficina)</b>     |
| • Unidades de análise  | • Unidades de análise  |
| <b>2. Categoria empírica:<br/>AG (concepção pós-oficina)</b>     | <b>2. Categoria empírica:<br/>TC (concepção pós-oficina)</b>     |
| • Unidades de análise  | • Unidades de análise  |
| <b>3. Categoria empírica:<br/>AG (concepção dialógica - CHD)</b> | <b>3. Categoria empírica:<br/>TC (concepção dialógica - CHD)</b> |
| • Unidades de análise  | • Unidades de análise  |

**Fonte: Dados da pesquisa.**

Na segunda fase da análise, utilizando o mesmo procedimento da AIHD, fizemos o cruzamento das duas categorias teóricas para investigar a relação entre Aquecimento Global e Teoria do Caos, estabelecida pelas concepções dos licenciandos, antes e depois da oficina e no CHD.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta seção, temos o desenvolvimento das fases de análise da ETAPA IV, de modo que, em consonância com os pressupostos teóricos, descrevemos, caracterizamos e interpretamos todos os dados observados e construídos nesta pesquisa.

### **5.1. Análise inicial**

Nesta análise, mostramos o que nos revelaram os dois momentos de registro de concepções sobre caos e aquecimento global, antes da execução da oficina pedagógica.

#### **5.1.1. Análise do levantamento de concepções prévias sobre o termo caos**

Dentre as sessenta entrevistas realizadas na construção do documentário: Ciência do caos, todas as respostas foram transcritas, sendo que selecionamos sete (Quadro 4) que exemplificam o senso comum das concepções dos entrevistados da UFRPE a respeito da palavra caos. Neste quadro de entrevistas, o primeiro, o segundo e o terceiro entrevistados são licenciandos em matemática e os demais são do curso de licenciatura em física. Escolhemos estes sete indivíduos porque além de seus cursos serem licenciaturas em Física e Matemática, percebemos que em cada uma de suas respostas a noção de “desordem” se repete nos discursos dos demais entrevistados. Os sessenta indivíduos são de diferentes áreas do conhecimento, pois a entrevista foi realizada em vários departamentos da UFRPE.

**Quadro 4 - Falas de sete licenciandos em física e matemática, em resposta à pergunta “O que significa caos para você?”.**

| <b>E</b>       | <b>Falas dos entrevistados</b>  |
|----------------|---|
| E <sub>1</sub> | Caos para mim seria como o mundo estivesse acabando. E todo mundo <b>desesperado</b> . E a gente não tivesse para onde ir. E tivesse a beira da morte. [...] A única coisa que veria, que poderia ser o caos seria o fim do mundo.  |
| E <sub>2</sub> | A palavra caos pra mim quer dizer... Traz a ideia de <b>transtorno, desordem, desorganizam</b> , onde o indivíduo vai sofrer algumas consequências em relação a isso, seja esse <b>caos no trânsito</b> , é na movimentação, da circulação de pessoas em um determinado ambiente. [...]                                   |
| E <sub>3</sub> | Caos pra mim é <b>desespero</b> , é dificuldade, é [...] Problemas.   |
| E <sub>4</sub> | Eu acho que o caos, ela é ausência de comando, <b>ausência de ordem</b> , ausência de ética, ausência respeito, ausência de sociedade. Eu acho que o caos atrapalha o andamento, atrapalha o funcionamento, atrapalha a engrenagem como um todo, ou seja, o funcionamento da sociedade, funcionamento do bem-estar comum. |
| E <sub>5</sub> | Caos pra mim é um situação onde as pessoas estão de <b>forma tumultuada</b> , é quando não raciocinam direito, [...]  |
| E <sub>6</sub> | Pra mim, caos é [...] <b>movimentos aleatórios de partículas</b> , por exemplo, que não dá pra escrever na equação matemática, mas eu entendo que no conjunto como um todo pode haver uma simetria entre esses movimentos aleatórios.   |
| E <sub>7</sub> | Pra mim caos, é <b>confusão</b> , balbúrdia, discórdia, briga [...].  |

**Fonte: Dados da pesquisa realizada pelo NUPET-UFRPE.**

Das sessenta respostas que registramos na pesquisa de campo, três aspectos gerais das falas dos licenciandos podemos destacar:

- 1) Observamos no depoimento dos entrevistados uma forte tendência em relacionar caos a algo negativo. Isto fica mais evidente nos termos: “desespero” (E<sub>1</sub>; E<sub>3</sub>), “transtorno” (E<sub>2</sub>), mais aparece em outros termos, quando os entrevistados atribuem desordem aos sistemas físicos, sociais ou naturais.
- 2) A transcrição do áudio das entrevistas mostrou uma extensa diversidade de concepções que se aproxima direta ou indiretamente do conceito de desordem. Isto se evidencia nos termos: “desordem, desorganizam”, “caos no trânsito” (E<sub>2</sub>), “ausência de ordem” (E<sub>4</sub>), “forma tumultuada” (E<sub>5</sub>), “movimentos aleatórios” (E<sub>6</sub>), “confusão” (E<sub>7</sub>).
- 3) Neste último aspecto, a palavra “desordem” representa bem as falas destes licenciandos, bem como as da maioria dos demais entrevistados. Na maioria das entrevistas não foi identificado um conceito de Caos determinístico, mesmo entre os licenciandos em física e matemática, bem como em depoimentos de estudantes que já ouviram falar sobre a teoria do caos. Um exemplo disso ocorreu na fala E<sub>6</sub>, que ressaltou a possibilidade de haver propriedade matemática: “simetria”, mas em seu

discurso o termo “aleatório” se faz presente, mostrando que confunde caos com algo aleatório. Em nosso estudo, vimos que o caos científico é relacionado à dinâmica determinista do sistema, que é regido de padrões e uma aparente aleatoriedade.

Portanto, estes dados mostraram que as concepções dos licenciandos ainda permanecem distantes dos conceitos científicos da Teoria do Caos.

### 5.1.2. Análise de Concepções iniciais sobre Aquecimento Global, Teoria do Caos e a Relação entre ambas

O senso comum se estabeleceu nas respostas dos licenciandos (Quadro 5), tanto para o caos quanto para o aquecimento do planeta. Fato que se repetiu no cruzamento entre ambas as temáticas.

**Quadro 5 - Respostas dos licenciandos ao Questionário 1.**

| L              | Aquecimento Global (AG)  | Teoria do Caos (TC)  | Relação entre AG e TC  |
|----------------|--|--|--|
| L <sub>1</sub> | Com os grandes acontecimentos temos nos últimos anos, <b>o planeta vem sofrendo intensas mudanças.</b> Alguns fatores que identificam esses fatos são: <b>avanço do mar, derretimento das calotas de gelo e um aumento da temperatura.</b> | O caos está relacionado ao comportamento das coisas em torno do universo, ou seja, é <b>como si tudo estivesse ligado entre si</b> , então quando temos um desequilíbrio em certo ponto isso causa uma reação em cadeia. Mas nem sempre o organizado, ou o mesmo, o certo significa está certo (normal).   | Sim, de certa forma, pois quando <b>algo está fora do normal</b> , esse causa uma reação aos outros que estão ao seu redor. É como uma corrente de engate, que rompida num ponto atinge todos ao seu redor!  |
| L <sub>2</sub> | Um conjunto de fatores climáticos que <b>aumentam a temperatura da terra.</b>  | Ela serve para explicar <b>sistemas complexos dinâmicos</b> (é o que sei).   | Não sei dizer.   |
| L <sub>3</sub> | É o <b>aumento da temperatura</b> causado na atmosfera por <b>fatores relacionados ao clima, que causam progressivamente alterações no ambiente.</b>   | São <b>definições sobre um conjunto de fatores</b> que descrevem um determinado sistema e que podem mantê-lo constante, num estado de repouso ou movimento, ou pode com a alteração de algum destes fatores transformar totalmente a condição do sistema. Pois, <b>não podemos prever a condição final do sistema devido, a alteração feita em seu estado inicial.</b> | Sim, porque a teoria do caos fala sobre sistemas dinâmicos <b>que não são previsíveis</b> , é o que acontece com o aquecimento global. Um fenômeno que possui um estado inicial, mas, que com a alteração de um dos seus aspectos não tem um estado final previamente calculado. |
| L <sub>4</sub> | Devido a ação do homem, como desmatamento, queimadas, etc. O mundo está passando por <b>uma mudança que desequilibra os fenômenos físicos.</b>   | Um momento em que <b>faltarão condições necessárias a sobrevivência.</b>   | Sim. Porque com as mudanças no mundo <b>acarretará um caos</b> , já que todos buscará um meio para sobreviver, diante da escassez.   |

Fonte: Dados da pesquisa.

Nas falas sobre Aquecimento Global, os licenciandos L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> afirmaram que o aumento da temperatura corresponde ao fenômeno, sendo que L<sub>3</sub>, ao falar em “fatores relacionados ao clima” não deixa claro que fatores são estes. Em nosso tópico sobre Aquecimento Global, discutimos as tendências de concepções a respeito do fenômeno, quanto as suas causas. A resposta de L<sub>3</sub> é uma ideia que não afirma ser fenômeno de origem humana, isto é, não se enquadra em uma tendência antropogênica, mas se aproxima da tendência fenomênica, em que o fenômeno é causado por fatores propriamente naturais. Os licenciandos L<sub>1</sub> e L<sub>4</sub> relacionam o fenômeno as possíveis consequências do fenômeno, como mudanças climáticas e desequilíbrio ambiental.

Nas falas sobre teoria do caos, L<sub>1</sub> relacionou caos com o comportamento interligado dos componentes do universo e desequilíbrio que causa reação em cadeia. L<sub>2</sub> relacionou a sistemas complexos, mas não explicou que sistemas são estes. L<sub>3</sub> associou caos a um conjunto de definições que descrevem o estado em que o sistema se encontra. L<sub>4</sub> foi o licenciando que mais se aproximou da concepção comum de caos, anteriormente descrita, pois a teoria do caos foi relacionada a um momento em que não haverá condições de sobrevivência.

Quando indagados sobre a relação entre aquecimento global e teoria do caos, todos responderam afirmando que existe, exceto L<sub>2</sub> que não soube responder. L<sub>1</sub> afirmou que a relação existente é quando algo fica anormal, afetando o seu redor, retomando a ideia de reação em cadeia. L<sub>3</sub> relacionou a imprevisibilidade de ambos, mas mostrou que já tinha uma noção de caos científico. L<sub>4</sub> relacionou as mudanças do mundo com o caos, retomando a ideia de caos do senso comum.

Durante a discussão sobre a atividade experimental da teoria do caos, os alunos mostraram bastante interesse pelo entendimento dos gráficos, principalmente quando estes foram construídos com dados reais, aplicados a eletrocardiogramas de cães e da temperatura da cidade do Recife. Em todos os momentos da atividade os alunos perguntavam sobre a teoria do caos. Se as técnicas utilizadas podiam ser aplicadas a outras áreas de estudo e se eram suficientes para gerar caos. Mostramos que a teoria do caos, como qualquer teoria científica, tem limitações, pois o alcance desta teoria se restringe aos sistemas dotados de dinâmica não-linear e padrões determinísticos. Quando um aluno perguntava algo, direcionávamos a pergunta aos outros alunos. Dessa forma, os alunos encontravam as respostas. Por exemplo, quando um aluno perguntou se caos era geral, outro aluno disse que o sistema caótico

é aplicado a sistemas dinâmicos com padrões matemáticos. E dessa forma os alunos construíam uma resposta mais próxima do conceito científico do caos.

## **5.2. Análise Interativa Hermenêutica Dialética**

Realizamos esta análise em duas fases. Na primeira, construímos a MGC, e em seguida mostramos o que cada categoria teórica revela sobre as concepções dos licenciandos. Na segunda, de forma semelhante a este processo de análise, realizamos o cruzamento entre as categorias teóricas.

### **5.2.1. Fase I: Construção e Análise da Matriz Geral das Categorias**

A partir de nossas duas categorias teóricas: Aquecimento Global e Teoria do Caos, construímos a MGC (Quadro 6). As categorias empíricas coincidiram com as teóricas e distinguiram-se pelos três momentos de identificação das concepções. A primeira categoria empírica (concepção pré-oficina) foi identificada no Questionário 1, a segunda (concepção pós oficina) foi identificada no Questionário 2 e a terceira (concepção dialógica) foi identificada no CHD.

As ideias e teorias traduzem a realidade (MORIN, 2002, p. 85), e sendo assim toda tradução, é no fundo uma interpretação do real. Ressaltamos que a Concepção Dialógica refere-se a aproximação da realidade identificada na noção do grupo de licenciandos. Isto significa que, sendo a realidade considerada passível de transformações, a concepção é inacabada.

**Quadro 6 - Matriz Geral das Categorias.**

| <b>Aquecimento Global (AG)</b>   | <b>Teoria do Caos (TC)</b>  |
|--|---|
| <b>1. AG (concepção pré-oficina)</b>   | <b>1. TC (concepção pré-oficina)</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudanças intensas no planeta (avanço do mar, derretimento das calotas de gelo e aumento da temperatura);</li> <li>• Um conjunto de fatores climáticos que aumentam a temperatura atmosférica;</li> <li>• Aumento da temperatura atmosférica, que causam progressivamente alterações no ambiente;</li> <li>• Desequilíbrio de fenômenos físicos, em decorrência da ação humana.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caos relacionado a uma reação em cadeia no universo resultante de um desequilíbrio pontual;</li> <li>• TC como explicação de sistemas complexos dinâmicos;</li> <li>• Associada a definições sobre um conjunto de fatores que descrevem e que podem manter ou alterar o estado de um sistema, cujo resultado pode ser imprevisível;</li> <li>• Caos é associado a um momento em que faltarão condições necessárias a sobrevivência.</li> </ul> |
| <b>2. AG (concepção pós-oficina)</b>   | <b>2. TC (concepção pós-oficina)</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mutação na ordem dos sistemas naturais, principalmente causada por seres humanos;</li> <li>• Um conjunto de fatores que alteram a temperatura do planeta;</li> <li>• Um estado imprevisível de aumento da temperatura, decorrente da interação entre fatores que compõem o sistema;</li> <li>• Modificação climática, que ocorre no mundo pela ação humana e da natureza.</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas caóticos relacionados a sistemas naturais de difícil previsão, cujo comportamento ocorre por um processo natural e por alteração em seus meios;</li> <li>• TC como explicação de sistemas complexos dinâmicos;</li> <li>• Estudo de um sistema dinâmico e organizado, sensível às condições iniciais, gerado por um conjunto de padrões;</li> <li>• Possui certa organização, estrutura e funcionamento.</li> </ul>                   |
| <b>3. AG (concepção dialógica)</b>   | <b>3. TC (concepção dialógica)</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desestabilidade do planeta em vários aspectos (climático, social, etc), mas não é desorganização da natureza.</li> <li>• Transformações da natureza que já ocorreram e atualmente são aceleradas e intensificadas pelo homem;</li> <li>• Fenômeno que não deve ser visto isoladamente.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• TC é associada a um sistema organizado e determinístico, cujo comportamento pode ser observado, determinado, mas não totalmente previsível.</li> </ul>   |

**Fonte: Dados da pesquisa.**



Com base no método hermenêutico-dialético, segue à análise das categorias teóricas, mediante a interpretação dos dados identificados nas subcategorias. Em concordância com os pressupostos teóricos, a interpretação emerge do confronto entre as respostas dos licenciandos aos questionários e entrevistas, bem como suas respectivas unidades de análise.

Inicialmente, um quadro comparativo associa cada licenciando à(s) unidade(s) de análise correspondente(s). As respostas pré-oficina (Questionário 1), pós-oficina (Questionário 2) e as falas construídas no CHD (Entrevistas) representam as concepções dos licenciandos. Nesta análise, a categoria empírica relativa à concepção dialógica construída no CHD é apresentada como fechamento da análise da categoria teórica. Isso se deve ao “vai e vem” das concepções, ou seja, ao fato de que as concepções se influenciam na discussão final sobre a “síntese” do CHD (aproximação da realidade investigada).

### 5.2.1.1. Aquecimento Global

**Quadro 7 - Unidades de análise referente às respostas dos licenciandos sobre o aquecimento global.**

| L              | Unidade de análise concepção pré-oficina   | Unidade de análise concepção pós-oficina   | Unidade de análise concepção dialógica   |
|----------------|--|--|--|
| L <sub>1</sub> | Mudanças intensas no planeta (avanço do mar, derretimento das calotas de gelo e aumento da temperatura). | Mutação na ordem dos sistemas naturais, principalmente causada por seres humanos.                              | Desestabilidade do planeta em vários aspectos (climático, social, etc), mas não é desorganização da natureza.<br><br>Transformações da natureza que já ocorreram e atualmente são aceleradas e intensificadas pelo homem.  |
| L <sub>2</sub> | Um conjunto de fatores climáticos que aumentam a temperatura atmosférica.                                | Um conjunto de fatores que alteram a temperatura do planeta.   | Desestabilidade do planeta em vários aspectos (climático, social, etc), mas não é desorganização da natureza.<br><br>Fenômeno que não deve ser visto isoladamente.<br><br>Transformações da natureza que já ocorreram e atualmente são aceleradas e intensificadas pelo homem. |
| L <sub>3</sub> | Aumento da temperatura atmosférica, que causam progressivamente alterações no ambiente.                  | Um estado imprevisível de aumento da temperatura, decorrente da interação entre fatores que compõem o sistema. | Transformações da natureza que já ocorreram e atualmente são aceleradas e intensificadas pelo homem.   |
| L <sub>4</sub> | Desequilíbrio de fenômenos físicos, em decorrência da ação humana.                                       | Modificação climática, que ocorre no mundo pela ação humana e da natureza.                                     | Transformações da natureza que já ocorreram e atualmente são aceleradas e intensificadas pelo homem.   |

Fonte: Dados da pesquisa.

A unidade de análise “Mudanças intensas no planeta (avanço do mar, derretimento das calotas de gelo e aumento da temperatura)” foi identificada na resposta inicial de L<sub>1</sub>, quando indagado a respeito do AG no primeiro questionário (antes da oficina):

Com os grandes acontecimentos temos nos últimos anos, o planeta vem sofrendo intensas mudanças. Alguns fatores que identificam esses fatos são: avanço do mar, derretimento das calotas de gelo e um aumento da temperatura.

Observamos nesta resposta que as possíveis consequências do AG se confundem com o próprio AG, como nos trechos: “avanço do mar”, “derretimento das calotas de gelo”, com exceção de: “aumento da temperatura”, cujo significado identifica o fenômeno. Estes fatores ambientais em que L<sub>1</sub> associa a “intensas mudanças” foram bastante divulgados pelos meios de comunicação e confirmados pela Organização das Nações Unidas:

O aquecimento do sistema climático não é um equívoco, sendo agora evidente de acordo com as observações de aumento global do ar e das temperaturas dos oceanos, derretimento de gelo e neve em larga escala, e aumento global do nível dos oceanos (IPCC/ONU, 2007, p. 5).

A unidade de análise “Mutações na ordem dos sistemas naturais, principalmente causada por seres humanos”, identificada na resposta de L<sub>1</sub> ao segundo questionário (após a oficina):

O aquecimento global está relacionado com o aquecimento da temperatura no planeta, causado principalmente por ações dos seres humanos. Esses fatores estão ligados entre si, ou seja, com as grandes mudanças no planeta. Várias referências perderão o sentido, assim passou a existir um “caos” na organização do natural. Consequentemente catástrofes surgiram em meio a esse sistema caótico que se transformou o planeta terra. Sendo assim podemos sintetizar que aquecimento global é uma mutação na ordem dos sistemas naturais.

Apesar de L<sub>1</sub> ter considerado o AG como o aumento da temperatura, associou o termo caos às catástrofes resultantes do AG. Quando falou em mudança de ordem, mostrou que em sua concepção a natureza é regida por uma ordem. Um sistema que foi abalado pelas ações humanas que estão ligadas as mudanças ocorridas no planeta.

A ação humana é descrita por L<sub>1</sub> como um fator principal, indicando que sua concepção está localizada na Tendência antropogênica (AG causado pelo homem).

Como vimos no tópico “Aquecimento global: mito ou realidade”, a atividade humana, principalmente em relação à emissão de gases poluentes na atmosfera desde o apogeu da Revolução Industrial, foi divulgada pelos meios de comunicação como a fonte causadora do AG. Com tal argumento, a tendência antropogênica vem gradativamente sendo apoiada pelo relatório do IPCC (2007) e instituições nacionais, como IPAM (2009).

A tendência antropogênica, apesar de ter sido identificada inicialmente na resposta de L<sub>1</sub>, também se revelou na resposta inicial de L<sub>4</sub>: “Devido à ação do homem, como desmatamento, queimadas, etc. O mundo está passando por uma mudança que desequilibra os fenômenos físicos”. Resposta que deu origem a unidade de análise: “Desequilíbrio de fenômenos físicos, que ocorrem devido a ação do homem”. Nesta resposta, o ser humano é colocado como responsável direto pelas mudanças no planeta. Além do mais, podemos observar que a “desordem” surge como desequilíbrio dos fenômenos, indicando que L<sub>4</sub> concebe a natureza de forma semelhante a L<sub>1</sub>.

Das unidades de análise extraídas das respostas iniciais de L<sub>1</sub> e L<sub>4</sub> podemos observar que além de serem parecidas quanto à tendência em que suas concepções estão localizadas, também existe uma confusão conceitual entre AG e Mudanças climáticas. Já no primeiro parágrafo da introdução e do tópico sobre AG de nossa fundamentação teórica, distinguimos AG e Mudanças Climáticas, pois o AG seria um fenômeno definido como o aumento da temperatura do planeta e as mudanças climáticas seriam as consequências deste processo. Entretanto, no segundo questionário, um elemento de análise novo aparece na resposta de L<sub>4</sub>:

Aquecimento global é a modificação climática que vem ocorrendo no mundo devido à ação do homem, e da própria natureza. Modificação que causa danos ao próprio homem. Podemos citar algumas ações do homem, como por exemplo, desmatamentos, queimadas, emissão do gás carbônico.

Desta resposta, surge a unidade de análise “Modificação climática, que ocorre no mundo pela ação humana e da natureza”, em que L<sub>4</sub> admite a possibilidade da influência de processos naturais na origem do AG. Novamente, AG é associado com Mudança Climática, mas, esta unidade reflete a tendência dual sobre o fenômeno, por considerar a ação humana e “natural” como causadores do “AG”.

O elemento novo identificado na resposta de L<sub>4</sub> é a tendência dual que nos convida ao exercício da **dialógica** (MORIN et al., 2003) como uma forma de compreensão da complexidade, o que pode nos ajudar no desenvolvimento de uma **consciência ecológica** (MORIN, 2002), em que nos sentimos como parte da atmosfera.

A unidade de análise “Um conjunto de fatores climáticos que aumentam a temperatura atmosférica”, referente à categoria empírica AG (concepção pré-oficina), aparece de forma semelhante na unidade “Um conjunto de fatores que alteram a temperatura do planeta”, referente à categoria empírica AG (concepção pós-oficina). Ambas emergiram das respostas de L<sub>2</sub>, respectivamente, nos dois questionários. Isso indica que L<sub>2</sub> manteve sua concepção de AG, mesmo após a realização da oficina. Em sua primeira resposta, disse que os “fatores” são climáticos, mas não os descreveu de modo suficiente para que possamos dizer em que tendência sua concepção de AG está inserida. Como L<sub>2</sub> está em processo de formação em matemática, é possível que o uso da palavra “conjunto” esteja associado a este fato.

A unidade de análise “Aumento da temperatura atmosférica, causado por fatores climáticos que causam progressivamente alterações no ambiente” emerge da primeira resposta de L<sub>3</sub>, que semelhante a L<sub>2</sub>, não descreveu suficientemente os fatores climáticos. O mesmo ocorre na segunda resposta de L<sub>3</sub>, em que emergiu a unidade de análise “Um estado imprevisível de aumento da temperatura, decorrente da interação entre fatores que compõem o sistema”.

É um estado decorrente da interação entre os fatores que compõem um sistema. Esses fatores ao interagirem com outros fatores determinantes para o sistema ou terem seus parâmetros alterados inicialmente, não conseguem ter seu estado “previsto” num período determinado. Esse aumento da temperatura hoje, não pode ser utilizado para estimar com precisão como a temperatura irá ser percebida no período futuro. (Resposta de L<sub>3</sub> ao questionário 2)

De fato, em sua resposta, L<sub>3</sub> não descreve os fatores que interagem, mas percebe-se uma associação não direta com duas propriedades de um sistema caótico: o princípio de sensibilidade às condições iniciais e a sua previsibilidade limitada. Tais propriedades foram estudadas na oficina e estão descritas no Tópico matemática do caos. De fato, a principal condição de existência de um sistema caótico corresponde à dependência sensível às condições iniciais, o qual foi popularizado pela metáfora

de Lorenz (1972) sobre o efeito e potencial do simples bater das asas de uma borboleta em um local a outro remoto. Em outras palavras, o Efeito Borboleta, como é conhecido, se aplica a sistemas sensíveis às pequenas variações. Com esta ideia, Lorenz pode afirmar que previsões sobre o sistema atmosférico são difíceis de serem estabelecidas para longos períodos. Daí decorre o que chamamos de previsibilidade limitada, ou imprevisibilidade, como alguns pesquisadores preferem nomear.

Observação: Ressaltamos que as associações entre AG e TC, na categoria teórica: “Aquecimento Global” ocorreram após a realização da oficina (respostas ao segundo questionário).

A concepção dialógica sobre a AG nos trouxe a seguinte análise:

A unidade de análise “Desestabilidade do planeta em vários aspectos (climático, social, etc), mas não é desorganização da natureza”, emerge das falas de L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>. Enquanto L<sub>2</sub> afirma que AG “não é uma desorganização da natureza”, L<sub>1</sub> discute que o AG “não é desorganização da natureza, é talvez não seja desorganização da natureza”. Mesmo demonstrando dúvidas, L<sub>1</sub> admite que o AG não é uma desorganização da natureza, mas afirma que o AG “é essa desestabilidade do planeta em vários aspectos, seja climático, seja através das geleiras, (...)”. Esta unidade de análise indica um avanço nas concepções destes licenciandos diante do senso comum sobre o fenômeno.

A unidade de análise “Fenômeno que não deve ser visto isoladamente” emerge da fala de L<sub>2</sub>:

Assim, eu vi, eu aprendi, a ideia do aquecimento global, né!? Ei, é um fenômeno muito grande! Não dá pra você vê, apenas que é, ah! É o homem que polui, ah! É por causa do esterco animal ou tem muita coisa! ...

Apesar desta fala não ser exatamente igual a sua unidade de análise, ela advém do contexto, isto é, da coerência entre a fala e a gesticulação do licenciando. Quando L<sub>2</sub> disse: “eu vi, eu aprendi”, fez um gesto com as mãos para dizer que assistiu algo na oficina pedagógica. Quando qualificou o fenômeno como “muito grande”, fez um gesto com as mãos, sinalizando tamanho e quantidade. Neste caso, L<sub>2</sub> estava se referindo aos diversos elementos e interações que constituem o AG.

Estas duas unidades de análise nos remetem a noção de complexidade, em que os problemas não devem ser vistos de forma pontual, e sim, em um nível global (MORIN, 1996, p. 8). Sendo o fenômeno complexo, há muitas explicações, muitas vezes contraditórias, quanto à origem e efeito ambiental. Apesar de nossa inclinação normal por alguma destas explicações, todas são merecedoras de uma perspectiva adequadamente complexa.

A unidade de análise “Transformações da natureza que já ocorreram e atualmente são aceleradas e intensificadas pelo homem” é resultado da discussão entre os quatro licenciandos. Vejamos uma síntese de suas falas na ordem de ocorrência, quando a discussão sobre AG chega no seu momento final:

L<sub>2</sub>: O aquecimento não é uma coisa só da natureza, já teve tempo que, da terra aquecer e esfriar, né!?

L<sub>4</sub>: É, ela também, a natureza também participa e intensifica esse processo de aquecimento global.

L<sub>1</sub>: Se ela chegou até tal nível, ela sabe que aquele nível tem, um significado, importância, e aquilo ali vai ter uma consequência. Tá certo! Aí, a ação do homem entraria nessa mudança, nesse..., certamente já passou por várias transformações, né!? Vários períodos e passando... Mas isso, eu acho que tá dentro dos padrões da natureza.

L<sub>3</sub>: Eu concordo com isso também, acho que..., é..., o aquecimento é um processo assim natural, às vezes, assim da natureza. Acho que o homem tá intensificando cada vez mais.

Em todas as falas, os licenciandos indicaram que o AG é um processo fenomênico e antropogênico, retomando a Tendência dual. Para nós, tanto o retorno espontâneo a este assunto como a concordância nos argumentos indicam uma maturidade de suas concepções. Este avanço, aparentemente pequeno, se revelou na aplicação da dialógica do binômio Natureza/Homem, obtida no momento em que os estudantes perceberam a complexidade do conceito de AG. As controvérsias do tema (SILVA; CARVALHO, 2007; VIEIRA; BAZZO, 2007) bem como a complexidade do sistema climático (ONÇA, 2011), nos convida a concebê-lo despretensiosamente, considerando sua rede conceitual e suas contradições. Não podemos afirmar que a consciência ecológica (MORIN, 2002), se estabeleceu em suas concepções, entretanto, consideramos o binômio Natureza/Homem como um primeiro passo na direção de uma melhor compreensão da complexidade do fenômeno.

### 5.2.1.2. Teoria do caos

**Quadro 8 - Unidades de análise referente às respostas dos licenciandos sobre a teoria do caos.**

| L              | Unidade de análise (concepção pré-oficina)  | Unidade de análise (concepção pós-oficina)   | Unidade de análise (concepção dialógica construída no CHD)  |
|----------------|---|--|---|
| L <sub>1</sub> | Caos relacionado a uma reação em cadeia no universo resultante de um desequilíbrio pontual;   | Sistemas caóticos relacionados a sistemas naturais de difícil previsão, cujo comportamento ocorre por um processo natural e por alteração em seus meios; | TC é associada a um sistema organizado e determinístico, cujo comportamento pode ser observado, determinado, mas não totalmente previsível. |
| L <sub>2</sub> | TC como explicação de sistemas complexos dinâmicos;   | TC como explicação de sistemas complexos dinâmicos;  | TC é associada a um sistema organizado e determinístico, cujo comportamento pode ser observado, determinado, mas não totalmente previsível. |
| L <sub>3</sub> | Associada a definições sobre um conjunto de fatores que descrevem e que podem manter ou alterar o estado de um sistema, cujo resultado pode ser imprevisível; | Estudo de um sistema dinâmico e organizado, sensível às condições iniciais, gerado por um conjunto de padrões;   | TC é associada a um sistema organizado e determinístico, cujo comportamento pode ser observado, determinado, mas não totalmente previsível. |
| L <sub>4</sub> | Caos é associado a um momento em que faltarão condições necessárias a sobrevivência.  | Possui certa organização, estrutura e funcionamento.   | Sem unidade de análise. (Não houve resposta de L <sub>4</sub> )   |

**Fonte: Dados da pesquisa.**

A unidade de análise “Caos relacionado a uma reação em cadeia no universo resultante de um desequilíbrio pontual” emerge da resposta inicial de L<sub>1</sub>:

O caos está relacionado ao comportamento das coisas em torno do universo, ou seja, é como si tudo estivesse ligado entre si, então quando temos um desequilíbrio em certo ponto isso causa uma reação em cadeia. Mas nem sempre o organizado, ou o mesmo, o certo significa está certo (normal).

Nesta resposta, o licenciando apresenta um conceito de caos interessante, por reconhecer que os elementos do sistema “Universo” estão interligados. Na última frase, indica que pode existir um comportamento aparentemente organizado, mas não o é. Apesar de se aproximar da clássica definição do caos científico, do Efeito

Borboleta, a resposta de L<sub>1</sub> generaliza o caos. De certa forma, sua concepção de caos determinístico se confunde com o conceito de complexidade, ao considerar interação, organização e desorganização.

Vale salientar, que do ponto de vista científico, sistemas dinâmicos caóticos são considerados complexos, mas, mesmo no campo determinístico é reconhecida a existência de sistemas complexos não caóticos. Como exemplo disso, temos o planeta Terra, que segundo Morin (2002, 37), “é o todo ao mesmo tempo organizador e desorganizador de que fazemos parte”.

A unidade de análise: “Sistemas caóticos relacionados a sistemas naturais de difícil previsão, cujo comportamento ocorre por um processo natural e por alteração em seus meios” emergiu da segunda resposta de L<sub>1</sub>:

Na natureza existem sistemas que são possíveis de prever seus próximos passos, mas também tem alguns que por si só, são complexos de si ter uma aproximação, partindo do seu atual estágio, esses sistemas tem uma relação com os meios caóticos, ou seja, foge do padrão de desenvolvimento. O surgimento desses sistemas dá-se por dois meios, um pelo processo natural em si, ou através de alteração em seus meios. Esses sistemas são chamados de caóticos.

Nesta resposta, a palavra: “complexo” aparece num sentido mais próximo de “complicado ou difícil”. Entretanto, do ponto de vista etimológica existe uma distância que os separam. A palavra; “complexo” vem do latim: *complexus*, que significa “que abraça” enquanto que “complicado”, também do latim, é um adjetivo que significa emaranhado, de difícil compreensão, composto de grande número de peças (MORIN et al., 2003, p. 42-43).

A previsibilidade limitada é percebida logo na primeira frase, no trecho: “tem alguns que por si só, são complexos de si ter uma aproximação”. O termo “complexos” aparece aqui como “algo difícil”. Na penúltima frase L<sub>1</sub>, a disjunção sugere que um sistema caótico se origina de forma nata: “processo natural”, ou por alguma interferência externa: “alteração em seus meios”. De fato, existem sistemas que são naturalmente caóticos, como o sistema cardíaco (GODOY, 2003), e existem sistemas gerados por um algoritmo, isto é, sistemas cujo comportamento caótico é equacionado, acionado por um parâmetro e passível de alteração subjetiva, como a Equação Logística (ou Mapa Logístico), proposta inicialmente por Robert May (1976) para mapear a dinâmica das populações.



A distinção entre sistemas complexos é percebida na unidade de análise: “TC como explicação de sistemas complexos dinâmicos”. Unidade que emerge da resposta inicial de L<sub>2</sub>: “Ela serve explicar sistemas complexos dinâmicos (é o que sei)”, e se repete em sua segunda resposta “É uma teoria que explica o funcionamento de sistemas complexos e dinâmicos”, que gera a mesma unidade de análise. L<sub>2</sub> nos mostra na repetição e objetividade de sua resposta que existe um conhecimento inicial sobre a TC, limitado a uma definição geral.

De fato, a TC tem um caráter explicativo de sistemas complexos, sendo que a teoria trata de sistemas complexos específicos, cuja dinâmica caótica se revela em padrões de comportamento no decorrer do tempo. Vimos no tópico: “Matemática do caos”, que o sistema pode ser considerado complexo e dinâmico e mesmo assim não ser caótico, pois para isso deve ser necessariamente determinístico e atender algumas condições. As generalizações, feitas pelos licenciandos a respeito de caos e sistemas complexos, são bastante comuns. Morin et al. (2003) distinguem os conceitos de caos, complexidade e determinismo, relatando a confusão que se estabelece nos campos do conhecimento científico. O uso das palavras complexo ou complexidade é atraente para estes campos, como uma substituição ao termo complicado. Não vemos problemas no uso da palavra *complexus* e seus derivados, desde que estejamos cientes da dimensão conceitual de cada área e conscientes que a complexidade é mais que definições ou rótulos.

A unidade de análise “Associada a definições sobre um conjunto de fatores que descrevem e que podem manter ou alterar o estado de um sistema, cujo resultado pode ser imprevisível” emergiu da resposta inicial de L<sub>3</sub>:

São definições sobre um conjunto de fatores que descrevem um determinado sistema e que podem mantê-lo constante, num estado de repouso ou movimento, ou pode com a alteração de algum destes fatores transformar totalmente a condição do sistema. Pois, não podemos prever a condição final do sistema devido, a alteração feita em seu estado inicial.

Nos trecho inicial da resposta de L<sub>3</sub>, a TC é generalizada a “definições de um conjunto de fatores”, capazes de descrever e alterar o estado do sistema. Os termos: “constante” e “repouso”, denotam um comportamento de um sistema estacionário, e não, de um sistema dinâmico linear ou não linear (descritos no tópico Sistemas complexos), em que o termo: “dinâmico”, sugere movimento ou mudança de estado

no decorrer do tempo. Percebemos, especialmente na última frase, uma aproximação do princípio caótico de “dependência sensível de um sistema às condições iniciais”. Este princípio e a noção de imprevisibilidade é um elemento que se mantém em seu discurso posterior:

Estudo de um sistema dinâmico e organizado que gerado por um conjunto de padrões decorrentes dos fatores que formam o sistema. Esse estado caótico surge das interações entre esses sistemas sensíveis a mudanças no seu estado inicial e que ao interagirem dão resultados pouco semelhantes ao sistema inicial (Resposta de L<sub>3</sub> ao questionário 2).

Desta resposta, surge a unidade de análise: “Estudo de um sistema dinâmico e organizado, sensível às condições iniciais, gerado por um conjunto de padrões”. Esta unidade é até certo ponto compatível com o conceito de caos determinístico, pois como afirma Ferreira, H. S. (2009): “Caos é um fenômeno cuja evolução temporal se processa de maneira aparentemente aleatória, porém regida por uma lei determinística”. L<sub>3</sub> empregou o termo “organizado” para qualificar o caos. Apesar deste termo não conferir um erro conceitual, podemos nos confundir ao entender caos como um sistema totalmente ordenado. Em nossa pesquisa, preferimos o termo “aparentemente desordenado” para sugerir que em sistemas cuja dinâmica parece aleatória, existem padrões matemáticos.

A unidade de análise: “Caos é associado a um momento em que faltarão condições necessárias a sobrevivência” emerge literalmente da resposta inicial de L<sub>4</sub>. A noção de caos deste licenciando se aproxima das concepções identificadas no levantamento inicial sobre o termo caos, realizado com alunos, professores e outros funcionários da UFRPE, pois estes entrevistados associaram caos a algo negativo, como “ausência de ordem, “desespero” ou “fim do mundo”. Os destaques deste levantamento de concepções iniciais se encontram descritos na primeira fase de nossa análise. Esta noção também se aproxima do significado etimológico do caos, pois no tópico de nossa fundamentação teórica: Da gênese do caos ao senso comum, vimos que palavra caos corresponde a um “abismo tenebroso”, e de acordo com o filósofo Gutiérrez (2011), para alguns gregos do mundo antigo, o termo era entendido como o “vazio”.

Novamente de forma literal, a segunda resposta de L<sub>4</sub> gera a unidade de análise: “Possui certa organização, estrutura e funcionamento”. Diferente da anterior, na resposta desta unidade de análise, L<sub>4</sub> define a TC sem especificar suas propriedades. Apesar da frase curta, o advérbio: “certa”, indica uma possível dúvida de L<sub>4</sub> quanto às características matemáticas da TC ou que estas características sejam limitadas. A objetividade excessiva deste licenciando e a falta de mais elementos de análise em sua curta resposta não nos permite avançar na interpretação de sua concepção.

A concepção dialógica sobre a TC nos trouxe a seguinte análise:

“TC é associada a um sistema organizado e determinístico, cujo comportamento pode ser observado, determinado, mas não totalmente previsível” é a única unidade de análise desta categoria. Ela emerge do diálogo entre L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>, após lhes serem apresentada a última síntese da entrevista individual do CHD, realizada com o licenciando L<sub>4</sub>, a respeito da Teoria do Caos:

[...] o caos diz respeito as mudanças que ocorrem no mundo. É um comportamento que vai sendo mudado ao longo do tempo. Mudança que podemos observar, prever as consequências, até que ponto ocorre esta mudança no sistema caótico. Portanto, é um sistema organizado e previsível. (Síntese da resposta de L<sub>4</sub> sobre TC)

Quando o grupo é indagado se concorda, discorda ou acrescenta algo a síntese supracitada, imediatamente, L<sub>2</sub> responde comparando caos científico ao caos do senso comum:

A minha ideia de caos também era assim, inicialmente de desordem, confusão, bagunça, depois a gente ver que a, que caos não é esse, caos, ele tem uma ordem, tem um, um sistema que dá para você determinar uma previsão, como, como tu mostrou no computador, aquela aplicação, daquelas fórmulas, você vê que bagunça seria um gato bem estranho! Não estaria assim, segui um fluxo, uma coisa meio linear, se é que pode dizer assim.

Na fala citada anteriormente, L<sub>2</sub> admite que o caos científico seja o oposto da sua ideia inicial, do dia a dia (desordem, confusão, bagunça). Ao citar uma aplicação computacional realizada na oficina e gesticulando bastante, ele descreve uma atividade dinâmica de um atrator. No entanto, faz uma leve confusão ao comparar este

comportamento não-linear com “uma coisa meio linear”. Logo em seguida, L<sub>4</sub> se manifesta a favor da síntese: “Não, eu acho que é assim mesmo!”. Após esta fala, L<sub>4</sub> fica em silêncio, apenas escutando os outros licenciandos. L<sub>3</sub> concorda com a síntese, com exceção do termo previsível usando como suporte o princípio de “sensibilidade do sistema caótico às condições iniciais” discorda da síntese com a seguinte fala:

[...] não é uma situação de desordem, que é um, comportamento que aconteceu a muito tempo, que as vezes a gente não consegue prever, mas eu acho assim que essa parte, ..., é um sistema organizado também, que pode ter caos, mas eu não acho que ele é totalmente previsível, que não pode ser totalmente previsível, porque, é assim, se a gente tem um comportamento, um sistema, se a gente altera a condição inicial, a gente consegue, ... ele pode gerar um caos, ou não, né!? A função pode ser muito diferente do que é, mas aí eu acho que não consegue ser totalmente previsível.

L<sub>1</sub> entra no diálogo, afirmando que: “[...] tem uma hora que você pode prever sim! Uma aproximação 100% não, acho que 100% não existe, acho que em nenhuma área, e você pode talvez influenciar nos resultados finais, nos possíveis resultados finais [...]” Nesta fala, utilizando palavras como “pode”, “acho”, “talvez”, revela insegurança no seu argumento. Contudo, admite ser possível uma previsão aproximada do comportamento de um sistema caótico bem como influenciar o seu comportamento final. L<sub>2</sub>, logo em seguida a fala de L<sub>1</sub>, propõe retirar definitivamente o termo previsível, mas L<sub>3</sub> discorda afirmando que o significado do termo pode ser apenas restringido. Assim como L<sub>3</sub> usou o princípio de sensibilidade do sistema caótico, L<sub>2</sub> argumenta que: “dependendo dos fatores, das condições iniciais [...] o valor pode modificar...” Neste momento, L<sub>3</sub> e L<sub>2</sub> passam a concordar com uma previsibilidade parcial. No decorrer do discurso, L<sub>1</sub> não apresenta argumento contrário a L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>.

Observamos que o andamento do diálogo de certa forma foi direcionado pelos argumentos de L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>. Apesar da desenvoltura argumentativa destes licenciandos, houveram momentos em que sinalizaram dúvidas sobre seus próprios argumentos. Isso ocorreu porque na dinâmica da discussão, cada arguição foi construída não somente de conceitos individualmente preconcebidos, mas, da interação com o outro. Morin et al. (2003), nos chama atenção para o fato de que o sujeito constrói a realidade em que está inserido, que é o que caracteriza o princípio de *transacionalidade do sujeito/objeto*. Por isso, afirmamos que o CHD não captou simplesmente a concepção

real, e sim, os atores a construíram. Neste sentido, houve uma avanço conceitual do que vem a ser TC, para estes sujeitos.

### 5.2.2. Fase II: Relação entre as categorias teóricas: Aquecimento Global e Teoria do Caos

Nesta fase realizamos o cruzamento de nossas categorias teóricas, em que a identificação e a análise da relação entre AG e TC foram realizadas com o mesmo procedimento da MGC. Por isso, o Quadro 9 mostra todas as unidades de análise deste cruzamento.

**Quadro 9 - Relação entre AG e TC estabelecida pelos licenciandos**

| 1. Relação entre AG e TC (concepção pré-oficina)  | 2. Relação entre AG e TC (concepção pós-oficina)   | 3. Relação entre AG e TC (concepção dialógica)  |
|---|--|---|
| Algo anormal causa uma reação aos outros que estão ao seu redor;<br>AG tem características de sistemas dinâmicos imprevisíveis e a TC trata desses sistemas;<br>Mudanças no mundo que acarretarão num caos. | AG e caos como alteração ou mutação do sistema, mediante uma relação de causa e consequência;<br>A TC contribui para a pesquisa sobre AG;<br>AG surge da interação entre os fatores do sistema, que dependendo da relação inicial pode gerar resultados imprevisíveis;<br>Desordem gradativa, que ocorre por interferência de um meio. | AG é causado pelas pequenas atividades (humanas e naturais) que se acumulam gradativamente e se alastram;<br>TC consegue mapear, prever, direcionar e mostrar a origem e o comportamento do AG;<br>Associa a TC com uma função na qual as variáveis são os elementos que compõem o AG;<br>As transformações (frio, calor, etc) podem ser determinadas pelas equações do caos (pequenas mudanças). |

**Fonte: Dados da pesquisa.**

Como podemos constatar, nos três momentos do discurso dos licenciandos, a existência desta relação foi considerada. Apesar desta relação ter pressupostos teóricos, não se configura como uma categoria teórica em nossa pesquisa, porque emerge das respostas e falas dos licenciandos no intuito de realizar o cruzamento das duas categorias gerais. Dessa forma, podemos observar no Quadro 10 a relação que se estabelece no discurso dos estudantes, antes e depois da realização da oficina pedagógica, bem como a concepção dialógica construída durante o CHD.

**Quadro 10 - Unidades de análise referente às respostas dos licenciandos sobre a relação entre aquecimento global e teoria do caos.**

| <b>L</b>             | <b>Unidade de análise (concepção pré-oficina)</b>  | <b>Unidade de análise (concepção pós-oficina)</b>   | <b>Unidade de análise (concepção dialógica)</b>  |
|----------------------|--|---|--|
| <b>L<sub>1</sub></b> | Algo anormal causa uma reação aos outros que estão ao seu redor;                         | AG e caos como alteração ou mutação do sistema, mediante uma relação de causa e consequência;                             | AG é causado pelas pequenas atividades (humanas e naturais) que se acumulam gradativamente e se alastram;<br><br>TC consegue mapear, prever, direcionar e mostrar a origem e o comportamento do AG;  |
| <b>L<sub>2</sub></b> | Sem unidade de análise. (Não houve resposta de L <sub>2</sub> )                          | A TC contribui para a pesquisa sobre AG;  | AG é causado pelas pequenas atividades (humanas e naturais) que se acumulam gradativamente e se alastram;<br><br>Associa a TC com uma função na qual as variáveis são os elementos que compõem o AG;<br><br>TC consegue mapear, prever, direcionar e mostrar a origem e o comportamento do AG;                     |
| <b>L<sub>3</sub></b> | AG tem características de sistemas dinâmicos imprevisíveis e a TC trata desses sistemas; | AG surge da interação entre os fatores do sistema, que dependendo da relação inicial pode gerar resultados imprevisíveis; | TC consegue mapear, prever, direcionar e mostrar a origem e o comportamento do AG;   |
| <b>L<sub>4</sub></b> | Mudanças no mundo que acarretarão num caos.  | Desordem gradativa, que ocorre por interferência de um meio.  | AG é causado pelas pequenas atividades (humanas e naturais) que se acumulam gradativamente e se alastram;<br><br>TC consegue mapear, prever, direcionar e mostrar a origem e o comportamento do AG;<br><br>As transformações (frio, calor, etc) podem ser determinadas pelas equações do caos (pequenas mudanças). |

**Fonte: Dados da pesquisa.**

A unidade de análise: “Algo anormal causa uma reação aos outros que estão ao seu redor” emerge da resposta inicial de L<sub>1</sub>: “Sim, de certa forma, pois quando algo está fora do normal, esse causa uma reação aos outros que estão ao seu redor. É como uma corrente de engate, que rompida num ponto atinge todos ao seu redor!”. L<sub>1</sub> descreve uma relação semelhante a consequência da alteração em um dos elementos de um sistema, um argumento compatível com sua concepção inicial sobre TC.

Já em sua segunda resposta, L<sub>1</sub> acrescenta mais alguns elementos a esta noção: “[...] para o surgimento do aquecimento global precisa que se faça por uma alteração no sistema, essa alteração ou mutação é o que chamamos de caos! Assim um relacionamento com o outro, tornando uma relação de causa e consequência direta!” Desta resposta emerge a unidade de análise: “AG e caos como alteração ou mutação do sistema, segundo uma relação de causa e consequência”, que por um lado indica um momento de dúvida quanto à origem do AG e, por outro, indica uma concepção linear que permanece:

1) Em sua resposta, L<sub>1</sub> afirmou que a existência do AG necessita de “alteração ou mutação”. A disjunção em destaque denota exclusão de uma das proposições, isto é, L<sub>1</sub> sugeriu que o AG pode ocorrer de duas formas distintas: pela alteração humana sobre a natureza ou por um processo propriamente natural. Logo, seria impreciso supor que a sua concepção sobre o AG se refere a alguma Tendência (fenomênica, antropogênica ou dual).

2) Na oficina, o caos foi gerado por meio da alteração em um parâmetro da Equação Logística (MAY, 1976) e outros do Mapa de Hénon (HÉNON, 1976), do Atrator de Lorenz (GLEICK, 1991; LORENZ, 1963) e da Equação Rössler (RÖSSLER, 1976), bem como as propriedades de bifurcações (FEIGENBAUM, 1978). Em sua resposta, L<sub>1</sub> relaciona este fato com a alteração do sistema. O termo sistema é generalizado de forma semelhante a suas respostas anteriores, em que os elementos são interativos e a alteração em um deles afeta aos outros. O termo “causa e consequência direta” se aproxima da noção de sistemas cujo comportamento é linear, os chamados Sistemas Simples (GODOY, 2003, p.23).

Não obtivemos unidade de análise na resposta inicial de L<sub>2</sub>: “Não sei dizer”. No entanto, de sua segunda resposta: “[...] com a teoria do caos pode ser possível calcular variações de temperatura, alterações no clima, enfim, a teoria ajuda na pesquisa sobre aquecimento”, emerge a unidade de análise: “A TC contribui para a pesquisa sobre AG”. A afirmação de L<sub>2</sub> casa com o eterno anseio da ciência pela busca de explicações matemáticas. Hoffman (2002) defende a possibilidade de controle climático através de modelagem de sistemas dinâmicos não lineares. Como esta proposição, no mínimo, habita o campo das ideias, corroboramos com L<sub>2</sub> no sentido de ser possível o estudo de “alguns” sistemas complexos naturais através da TC. O planeta Terra, por exemplo, “é o resultado de um processo dinâmico caótico

(ONÇA, 2011, p. 354)”. Sendo que, por se tratar de uma teoria matemática e física, isto é, de um modelo da realidade, limitações teóricas devem ser levadas em conta.

A unidade de análise “AG tem características de sistemas dinâmicos imprevisíveis e a TC trata desses sistemas” emerge da resposta inicial de L<sub>3</sub>:

Sim, porque a teoria do caos fala sobre sistemas dinâmicos que não são previsíveis, é o que acontece com o aquecimento global. Um fenômeno que possui um estado inicial, mas, que com a alteração de um dos seus aspectos não tem um estado final previamente calculado.

Vimos na análise inicial que L<sub>3</sub> já possuía uma noção científica sobre a TC, ainda que não bem estruturada, o que lhe permitiu conjecturar sobre a relação AG/TC. Sua resposta trata do aspecto de incerteza que se revela em sistemas caóticos, isto é, a previsibilidade limitada resultante da sensibilidade às condições iniciais (LIEBOVITCH, 1998; FERRARI, 2008). Como a previsão do tempo (MENDONÇA; BONATTI, 2002) e a temperatura (DANFORTH, 2001) são exemplos de elementos do sistema climático que também apresenta imprevisibilidade, podemos inferir este aspecto no AG. O argumento de L<sub>3</sub> também se repete na última frase de sua segunda resposta:

Sim, porque o aquecimento surge da interação entre os fatores do sistema como temperatura, o homem, a vegetação que inicialmente são bem organizados e dinâmicos, mas, dependendo da relação que estabeleçam vão gerar resultados bem distintos. É se tivermos um período determinado não conseguimos prever como ou quando o sistema irá se repetir.

Desta resposta, emerge a unidade de análise: “AG surge da interação entre os fatores do sistema, que dependendo da relação inicial pode gerar resultados imprevisíveis”. L<sub>3</sub> caracteriza o AG por fatores interativos e influenciáveis (temperatura, homem, vegetação), que apresentam organização no comportamento inicial e que podem ser imprevisíveis. Neste argumento, percebemos que L<sub>3</sub> não restringe o surgimento do AG à atividade humana ou a fenômenos naturais, indicando uma aproximação da Tendência dual. De forma não direta, L<sub>3</sub> relaciona organização ao comportamento inicial de um sistema. Novamente o aspecto imprevisível da teoria (LIEBOVITCH, 1998; FERRARI, 2008) emerge de sua fala.



A unidade de análise: “Mudanças no mundo que acarretarão num caos” emerge da resposta inicial de L4: “[...] Porque com as mudanças no mundo acarretarão um caos, já que todos buscarão um meio para sobreviver, diante da escassez”. Nesta resposta, L4 retoma a ideia de caos como algo negativo, recorrendo as suas concepções anteriores sobre o conceito de AG e TC, evidenciando que sua concepção inicial se aproxima do senso comum destes termos. Esta concepção do senso comum, novamente aparece na sua segunda resposta, pela qual, emerge a unidade de análise: “Desordem gradativa, que ocorre por interferência de um meio”. Mesmo após a oficina, L4 mantém sua concepção inicial.

Reconhecemos o fato de que um questionário pós-oficina é um recurso limitado para captação de dados. Apesar de respostas livres para questões abertas, percebemos que foram demasiadamente curtas. Sendo o CHD um instrumento de pesquisa reestruturado por pressupostos da complexidade (OLIVEIRA, 2011), este instrumento de pesquisa foi essencial para prosseguimos com nossa análise.

A concepção dialógica sobre a relação estabelecida entre AG e TC nos trouxe a seguinte análise:

A unidade de análise: “Associa a TC com uma função na qual as variáveis são os elementos que compõem o AG” emerge da fala de L2, que ao comparar a TC com uma “função de várias variáveis”, diz que os elementos do AG são fatores diversos, como: atividade vulcânica, fumaça do cigarro, poluição industrial. O que indica que sua concepção se aproxima da tendência dual, pois o termo “atividade vulcânica” se refere a ação fenomênica (SILVA; CARVALHO, 2007, p.7-8), enquanto que os termos “cigarro e poluição industrial” representam a ação antropogênica (IPAM, 2009). Também afirma que estes fatores podem ser adicionados na função para descrever o comportamento do fenômeno, quanto à “oscilação de temperatura em determinadas regiões do planeta”. A concepção L2 corresponde a três argumentos apresentados em nossa fundamentação: a confiança de L2 na possibilidade de modelagem (ou controle) do fenômeno através do caos científico (HOFFMAN, 2002); caracterizando o aquecimento como local e não global (MOLION, 2008, p. 11) e corrobora com uma visão mais abrangente da pesquisa, em que “a análise do fenômeno deve levar em consideração medições de temperatura em diversos pontos da superfície da Terra (VIOLA 2011, p. 13)”.

A unidade de análise: “AG é causado pelas pequenas atividades (humanas e naturais) que se acumulam gradativamente e se alastram” emerge do diálogo entre L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>4</sub>. Inicialmente, L<sub>1</sub> afirmou que o “AG está ligado ao caos, pois é um subconjunto do caos”. Esta é uma noção matemática do AG, que ele explica posteriormente, pois afirma que o AG é causado “por pequenas porções, desde jogar uma garrafa dentro do esgoto, a... cigarro, são coisas, são detalhes pequenos que...” Neste trecho, L<sub>2</sub> acrescenta: “Que vão se acumulando, né!? [...] Desde o cigarro que o cara que fuma até a indústria que solta poluição, até... [...] tudo isso vai de pouquinho e pouquinho, né!? Em cada região do globo vai se acumulando, e vai gerando uma atividade maior”. Para concordar com a fala anterior, L<sub>1</sub> diz: “É,..., ou seja, uma simples ação aqui vai ter uma consequência do outro lado do mundo!”, uma referência a metáfora do bater das asas da borboleta (LORENZ, 1972). Em seguida, L<sub>2</sub> repete o argumento reforçando a ideia de poluição industrial e atividade vulcânica como fatores do AG. L<sub>4</sub> concorda e salienta que a atividade vulcânica “é a ação da natureza”. Novamente, notamos que os elementos (ou fatores) causadores do AG, referentes ação humana e da natureza, citados por estes licenciandos, indicam uma Tendência dual sobre o fenômeno.

A unidade de análise “As transformações (frio, calor, etc) podem ser determinadas pelas equações do caos (pequenas mudanças)” emerge da fala de L<sub>4</sub>:

Na verdade, essas, é... Essas equações também poderiam ser vistas como pequenas mudanças, né!? Tipo, o que tá ocorrendo? [...] a teoria do caos, ela é justamente, você pode prever porque você vai vendo a mudança, por menor que seja você vai acompanhando a mudança, é você vai vendo... [...] Você vai vendo, as transformações que tá ocorrendo, então você pode determinar pelas equações como isso tá acontecendo, como tá variando as situações, o que tá acontecendo! Tá ficando mais frio onde não tinha tanto frio!? Tá ficando, tá ficando mais calor onde era frio, né!? E você pode tá analisando que tipo de mudança tá ocorrendo em determinado lugar.

A fala de L<sub>4</sub> é longa e, na perspectiva matemática, parecida com a visão de L<sub>2</sub>, sendo que L<sub>4</sub> utiliza o termo “equação” enquanto que L<sub>2</sub> usa “função”. Também, L<sub>4</sub> relata a possibilidade de análise do processo de mudança “em determinado lugar” (última frase). Mais uma vez se repetem os três argumentos comentados anteriormente: a ideia de controle climático pela TC (HOFFMAN, 2002); o aquecimento local (MOLION, 2008, p. 11) e, por conseguinte, a ideia de análises em diversos locais (VIOLA 2011, p. 13).

Das tensões resultantes das falas de L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> e L<sub>4</sub>, também emergiram a Unidade de análise: “TC consegue mapear, prever, direcionar e mostrar a origem e o comportamento do AG”. Os verbos mapear, ‘prever’, mostrar e direcionar são recorrentes no discurso destes licenciandos. Fruto da concordância de suas falas. Porém, o verbo prever (em destaque) foi questionado por L<sub>3</sub>, em uma de suas falas:

Eu não sei, eu concordo também, e tem razão (rsrs). Mas ai eu acho que a gente não consegue prever não sei se é, mas acho que não consegue prever tanto, e como se o sistema passa a ser caótico ou não, acho que é uma coisa assim muito rápida por ser pequenas mudanças. Mas é claro que com o tempo vai agravando, né!? Mas eu acho que a alteração do estado caótico é muito rápida, não se pode prever como isso vai acontecer.

Tal questionamento já havia sido levantado por L<sub>3</sub>, na categoria empírica: Teoria do caos (concepção dialógica). Naquele momento, ele propôs uma restrição do termo “previsível”, mas não descarta o verbo prever em suas falas posteriores sobre a TC. O seu discurso é bastante convincente, de modo que para esta fala não houve resistência dos demais licenciandos ao seu argumento.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, analisamos o processo de formação conceitual dos licenciandos em Física e Matemática da UFRPE sobre o Aquecimento Global e a Teoria do Caos, numa perspectiva de complexidade. Apesar de identificarmos concepções tanto do senso comum quanto científica, esta análise confirmou nosso pressuposto de que os licenciandos não estão instrumentalizados para atribuírem significado científico a esses termos. Esta conclusão foi estabelecida com base numa pesquisa exploratória, um questionário aplicado antes e depois da realização de uma oficina pedagógica e a aplicação da técnica do CHD.

Com respeito à categoria AG, identificamos inicialmente uma concepção semelhante à encontrada no senso comum, em que no discurso dos licenciandos o AG é visto como um fenômeno “apocalíptico”, associado a desastres naturais e o fim do mundo. A visão apocalíptica sobre o fenômeno vem servindo como motivação para discursos ambientalistas mais exaltados e amplamente divulgados pelos meios de comunicação, como exemplo, a indústria cinematográfica. A noção de Aquecimento Global, tratada no questionário inicial (concepções pré-oficina), refletiu este senso comum, mostrando que a concepção dos estudantes sobre o tema ainda necessitava ser discutida, apesar de sua notoriedade nos meios de comunicação.

Na categoria Teoria do Caos, realizamos um levantamento de concepções prévias a respeito do termo caos de diversos integrantes da UFRPE, que revelou a existência de uma diversidade de concepções sobre caos, e também serviu para construção de material didático para ser usado na oficina pedagógica. Consideramos que esta diversidade de concepções não é necessariamente um equívoco, pois as múltiplas interpretações se justificam pela etimologia do termo. O mais recorrente equívoco conceitual aparece em nossa análise quando o entrevistado concebe a Teoria do Caos como uma “Teoria da Desordem”.

No cruzamento entre as duas categorias, a relação AG/TC inicialmente não foi bem estabelecida no aspecto científico pelos licenciandos. A concepção de “Teoria da Desordem” identificada no termo caos foi um elemento associado ao AG, como um fenômeno fruto de uma desordem generalizada. Fato que mudou pós realização da oficina. A aplicação de um questionário pós oficina não foi suficiente para revelar avanços conceituais nas respostas dos estudantes. Só encontramos um tom mais expressivo sobre a TC e o AG no processo dialógico das entrevistas, durante a

aplicação do CHD. As tensões das falas ocorreram com mais intensidade nos momentos finais do CHD, sendo fundamental para a existência de uma concepção dialógica coerente sobre os assuntos abordados. Destas tensões, a última frase proferida por L<sub>2</sub>: “com todas as informações você consegue estudar o aquecimento” representa bem o desfecho do CHD.

A aplicação do CHD nos mostrou como esta ferramenta de pesquisa pode ser útil também para promoção de conhecimento. Em suma, o AG foi considerado por todos os licenciandos como um fenômeno real, caracterizado pela Tendência dual e que pode ser estudado pela perspectiva da TC, devido a características dinâmicas semelhantes entre fenômenos naturais e caóticos. Em especial, notamos que o conceito de imprevisibilidade limitada permeou a discussão dos licenciandos, revelando que tal conceito lhes foi curioso e interessante. Tanto a literatura científica como a concepção dos licenciandos construída ao longo do processo metodológico, mostraram que a relação AG/TC é uma possibilidade real, mas não deve ser vista como uma proposição última e acabada.

O ensino contemporâneo da matemática e da física precisa das duas complexidades, tanto do pensar complexo quanto do pensar nos sistemas complexos de forma contextual, em que os sujeitos deixam de ser meros observadores e reprodutores da realidade. O aquecimento global é um dos muitos temas da complexidade em que estamos imersos. Um tema repleto de conceitos e abordagens ideológicas que apesar das controvérsias científicas e políticas proporciona um campo fértil para pensar, construir ou desenvolver conteúdos didáticos correlacionados. Através da Teoria do Caos podemos interpretar alguns fenômenos ambientais, especialmente, os ligados ao Aquecimento Global. De fato, a natureza matemática e as aplicações físicas desta teoria nos permite até certo ponto compreender as características e limitações de sistemas não lineares.

A aplicação da oficina pedagógica, com a produção de documentário de forma colaborativa e o uso de recursos computacionais, é um exemplo de que é possível um ensino contextualizado de temas complexos, em que é possível a ligação entre conceitos controversos, bem como o estreitamento da relação entre conceitos do senso comum e científicos.

Assim como houve um avanço conceitual dos licenciandos em perceber o senso comum, de garimpar o senso científico e dialogar com suas incertezas, também consideramos (autor e demais colaboradores) que esta pesquisa foi essencial para o

desenvolvimento de nossas concepções. Percebemos com este estudo que existem incógnitas que não estão presas a um sistema de equações, pois fazem parte tanto das certezas quanto das incertezas da complexidade. Do ponto de vista didático, planejamento e aplicação são palavras necessárias, porém, subordinadas às incertezas da complexidade. Aprendemos que é preciso ir além dos anseios subjetivos, ao ponto de encararmos nossas limitações e contradições, bem como promover e manter um diálogo permanente sobre as tensões que emergem das concepções e dos conhecimentos.

Tanto a metodologia pedagógica, de execução da oficina, quanto à metodologia da pesquisa, de investigação e de análise de dados, nos permitiram compreender o nosso estudo como uma tradução da complexidade. De fato, relacionar conceitos do senso comum e do científico, dialogar com as controvérsias e propor mecanismos de compreensão nos permitiu traduzir as problemáticas da sociedade em elementos inseparáveis da complexidade. Por esse viés, podemos afirmar que para desenvolver nossas concepções precisamos continuar com o diálogo sobre as temáticas abordadas, contextualizando os conceitos e as concepções com nossas áreas específicas. Dessa forma, sugerimos aos pesquisadores, professores e licenciandos que revejam, construam e desenvolvam suas práticas na perspectiva complexa do encontro entre conhecimentos.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. A. O. de. **Os fractais na formação docente e sua prática em sala de aula**. 2006. 152 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Matemática) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo.

ARAUJO, A. F. **Projetos de trabalho em educação ambiental: uma alternativa transdisciplinar à prática docente**. 2011. 162 p. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências). Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Martins Fontes, 1977.

BEHRENS, M. A. **O paradigma emergente e a prática pedagógica**. 5. ed. Petrópolis. RJ: Vozes, 2011. 117 p.

BERTALANFFY, L. von. **Teoria geral dos sistemas**: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 3. ed. Petrópolis. Rio de Janeiro: Vozes, 2008. 360 p.

BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais**. Apresentação dos temas transversais e ética. v. 8. Brasília: MEC/SEF, 1997. 96 p.

CACHAPUZ, A. et al. **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Editora Cortez, 2005.

CARDOSO, L. H.; PEREIRA, E. C. Teoria do caos e gestão da informação: uma integração na complexidade dos negócios e dos sistemas de informação. **Transinformação**, Campinas-São Paulo. v. 17, n. 3, p. 221-233, set/dez, 2005.

CAOS e discussões com a polícia dominam entrevista do Uruguai. **Estadão.com.br**. Notícias, esportes, 04 jun 2010. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/esportes,caos-e-discussoes-com-a-policia-dominam-entrevista-do-uruguai,576247,0.htm>>. Acesso em: 04 jun. 2010.

CENTRO DE CIÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE (CCST-INPE). **Dados da temperatura do Recife**. 22 nov. 2012.

MET OFFICE HADLEY CENTRE (MOHC). Riscos das mudanças climáticas no Brasil. Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. **Projeto colaborativo entre Brasil e Reino Unido**: Maio, 2011.

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**. n. 16, p. 70-75, 2005.

CRUZ, J. Há possibilidades, não probabilidades, de esperança. Entrevista com Edgar Morin. **El País**. 06 nov. 2009. Disponível em: <[http://www.ihu.unisinos.br/index.php?option=com\\_noticias&Itemid=18&task=detalhe&id=27295](http://www.ihu.unisinos.br/index.php?option=com_noticias&Itemid=18&task=detalhe&id=27295)>. Acesso em: 12 out. 2010.

D'AMBROSIO, U. **Tempo de escola e tempo de sociedade**. In: Raquel Volpato Serbino et al (org.). Formação de professores. São Paulo: UNESP, 1996.

\_\_\_\_\_. **Etnomatemática: elo entre as tradições e a modernidade**. Belo Horizonte: Autêntica, 2005.

DANFORTH, C. A. **Why the weather is unpredictable. An experimental and theoretical study of the Lorenz Equations**. Tese (Bacharel em Ciências – com honras em Matemática e Física). Bates College. Lewiston, Maine, 16 Mar. 2001.

FACULDADE CATÓLICA RAINHA DA PAZ. Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão (CEPE). **Padrão FCARP de normalização: normas da ABNT para apresentação de trabalhos de conclusão de curso, monografias e trabalhos acadêmicos**. 3. ed. rev. ampl. atual. Araputanga, MT: FCARP, 2012. Disponível em: <<http://www.fcarp.edu.br>>. Acesso em: 25 maio. 2013.

FEIGENBAUM, M. J. Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformations. **Journal of Statistical Physics**. v. 19, n. 1, 1978.

FERRARI, P. C. **Temas contemporâneos na formação docente a distância - uma introdução à teoria do caos**. 2008. 135 p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FERREIRA, H. S. Dinâmica caótica em ecologia: avanços teóricos e metodológicos. **Neotropical Biology and Conservation**. v. 4, n. 3, set.-dez. 2009.

FERREIRA, A. B. de H. **Minidicionário Aurélio básico da língua portuguesa**. Curitiba: Positivo, 2008.

GLEICK, J. **Caos: a criação de uma nova ciência**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

GODOY, M. F. **Teoria do caos aplicada à medicina**. 2003. 179 p. Tese (Doutorado de Livre Docente em Cardiologia) - Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto, São José do Rio Preto.

GRESSLER, M. D. **Construindo uma percepção complexa da realidade a partir do estudo dos fractais**. 2008. 150 p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) - Faculdade de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GUBA, E. S.; LINCOLN, I. **Fourth generation evaluation**. Newbury: Sage, 1989.

GUTIÉRREZ, J. L. R. O conceito de caos no mundo antigo. In: IV Colóquio de Filosofia Física e Matemática "DETERMINISMO & CAOS". Universidade Presbiteriana Mackenzie. **Revista Primus Vitam**. n. 2, Maio de 2011.



HANSEN, J. A bomba-relógio do aquecimento global. **Scientific American Brasil**. n. 23, p. 1-7, abril de 2004.

HÉNON, M. A two dimensional map with a strange attractor. **Commun. Math. Phys.**, 50:69–77, 1976.

HEINZ, N. P. et al. Aquecimento Global e Efeito Estufa: análise de coberturas das revistas Veja, IstoÉ e Época no ano de 2006. In: IX Congresso de Ciências da Comunicação na Região Sul. **Intercom** – Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação. Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro). Guarapuava, 29 a 31 de maio, 2008.

HOFFMAN, R. N. Controlling the global weather. **American Meteorological Society**. p. 241-248. Fevereiro, 2002.

IPCC/ONU. **Climate change 2007: the physical science basis**. New York: Cambridge University Press, 2007.

\_\_\_\_\_. **Relatório Novos Cenários Climáticos**. 02 fev. 2007. Disponível em: <<http://www.ecolatina.com.br>>. Acesso em: 05 out. 2010.

JANOS, M. **Matemática e natureza**. São Paulo: Livraria da Física, 2009. 428 p.

KATO, L. A.; BELLINI, M. Atribuição de significados biológicos às variáveis da equação logística: uma aplicação do cálculo nas ciências biológicas. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 1, p. 175-88, 2009.

LEFF, E. **A complexidade ambiental**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2010a. 342 p.

\_\_\_\_\_. **Epistemologia ambiental**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2010b. 239 p.

LEFFA, V. Transdisciplinaridade no ensino de línguas: A perspectiva das Teorias da Complexidade. Universidade Católica de Pelotas. **Revista Brasileira de Lingüística Aplicada**, v. 6, n. 1, 2006.

LI, T. Y.; YORKE, J. A. Period Three Implies chaos. **Amer. Math. Monthly**. 82, 985-992, 1975.

LIEBOVITCH, L. S. **Fractals and chaos simplified for the life sciences**. Oxford University Press. New York, 1998.

LORENZ, E. **The essence of chaos**. University of Washington Press, Seattle: 1995, p. 181-184.

\_\_\_\_\_. Predictability: does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas? In: **American Association for the Advancement of Science**. 29 de Dezembro, 1972.

\_\_\_\_\_. Deterministic Nonperiodic Flow. **Journal of the atmospheric sciences**. v. 20. Massachusetts Institute of Technology. Janeiro, 1963.

LOVELOCK, J. Aquecimento global: a terra ardente. **Revista Planeta**. mar. 2007. Disponível em: <[http://www.terra.com.br/revistaplaneta/edicoes/414/mata\\_414.htm](http://www.terra.com.br/revistaplaneta/edicoes/414/mata_414.htm)>. Acesso em: 12 out. 2010.

MAY, R. M. Simple mathematical models with very complicated dynamics. **Nature**. v. 261. Jun, 1976.

MARIOTTI, H. **As paixões do ego: Complexidade, política e solidariedade**. São Paulo: Palas Athena, 2000.

MENDONÇA, A. M.; BONATTI, J. P. O sistema de previsão de tempo global por ensemble do CPTEC. In: **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Foz de Iguaçu, PR: 2002.

MILLER, G. T. **Ciência ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2007.

MINAYO, M.C.S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. São Paulo: Hucitec-Brasco, 2004.

MOLETTA, A. **Criação de curta-metragem em vídeo digital: uma proposta para produção de baixo custo**. 2. ed. São Paulo: Summus, 2009. 142 p.

MOLION, L. C. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**. Agosto, 2008.

MORIN, E. et al. **Educar na era planetária**. São Paulo: Cortez, 2003.

MORIN, E. Política de civilização e problema mundial. (Conferência apresentada na cidade de Porto Alegre). **Revista FAMECOS**, n. 5, novembro de 1996.

\_\_\_\_\_. **Ciência com consciência**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

\_\_\_\_\_. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. São Paulo: Cortez, 2002.

\_\_\_\_\_. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2007

\_\_\_\_\_. Por uma globalização plural. **Globalização.org**. Disponível em: <<http://www.globalizacion.org/biblioteca/MorinGPLural.htm>>. Acesso em: 10 out. 2010.

NOGUEIRA, R. A. Fractal: uma geometria para os sistemas complexos. **Tribuna do Norte**, Natal-Rio Grande do Norte, 07 out. 2000. Polifônicas idéias, p. 06.

OLIVEIRA, M. M. **Como fazer pesquisa qualitativa**. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 2010. 232 p.

\_\_\_\_\_. **Como fazer projetos, relatórios, monografias, dissertações e teses.** 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 199 p.

\_\_\_\_\_. Complexidade, dialogicidade, círculo hermenêutico no processo de pesquisa e formação de professores. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2011, Campinas: **Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.** Campinas: UEC, 2011.

OLIVEIRA, M. J. de; VECCHIA, F. A controvérsia das mudanças climáticas e do aquecimento global antropogênico: consenso científico ou interesse político? **ANAP** Ano V., 2009.

ONÇA, D. de S. **“Quando o sol brilha, eles fogem para a sombra...”**: a ideologia do aquecimento global. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. USP: SP, 2011. p. 533.

ONU/BRASIL. Rio+20 termina e documento final ‘O Futuro que Queremos’ é aprovado com elogios e reservas. **ONUBR** 22 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20-termina-e-documento-final-o-futuro-que-queremos-e-aprovado-com-elogios-e-reservas/>> Acesso em: 12 dez. 2012.

\_\_\_\_\_. Sobre a Rio+20. **ONUBR** Disponível em: <[www.onu.org.br/rio20/sobre/](http://www.onu.org.br/rio20/sobre/)> Acesso em: 12 dez. 2012.

O planeta esquenta e a catástrofe é iminente. Mas existe solução. **Veja.com.** Disponível em: <[http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/aquecimento\\_global/contexto\\_int.html](http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/aquecimento_global/contexto_int.html)>. Acesso em: 10 out. 2010.

RANGEL, R. Entrevista com Luiz Carlos Molion "Aquecimento Global é terrorismo climático". **Revista ISTOÉ Independente.** n. 1967. 11 Jul. 07. Atualizado em 12 Jul. 12. Disponível em: <[http://www.istoe.com.br/assuntos/entrevista/detalhe/255\\_AQUECIMENTO+GLOBAL+E+TERRORISMO+CLIMATICO+>](http://www.istoe.com.br/assuntos/entrevista/detalhe/255_AQUECIMENTO+GLOBAL+E+TERRORISMO+CLIMATICO+>)> Acesso em 20 jul. 2012.

Rio+20/ONU. **O futuro que queremos.** 10 jan. 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/documentos/>> Acesso em 20 jul. 2012.

ROSA, A. Principais conclusões dos modelos climáticos podem estar erradas. **Inovação Tecnológica.** 16 jul. 2009. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=principais-conclusoes-modelos-climaticos-estar-erradas&id=010125090716>>. Acesso em: 11 out. 2010.

ROSA, T. C. da S.; MALUF, R. Populações vulnerabilizadas e o enfrentamento de eventos climáticos extremos: estratégias de adaptação e de mitigação. **Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica.** Edição Especial, n. 23/24, janeiro a agosto, 2010.

RÖSSLER, O. E. An equation for continuous chaos. **Physics letters.** v. 57 A, n. 5, 12 jul. 1976.

SANTOS, A. Complexidade e transdisciplinaridade em educação: cinco princípios para resgatar o elo perdido. **Revista Brasileira de Educação**. v. 13 n. 37 jan./abr. 2008.

SANTOS, I de A; BUCHMANN, J. **Anuário do Instituto de Geociências**. v. 34. p.53-58. UFRJ: nov. 2011.

SAVI, M. A. Dinâmica não-linear e caos. Universidade Federal do Rio de Janeiro. **COPPE – Engenharia Mecânica**. Rio de Janeiro, 2004. 226 p.

SILVA, L. F.; CARVALHO, L. M de. A temática ambiental e o processo educativo: o ensino de física a partir de temas controversos. **Ciência & Ensino**, v. 1, número especial, nov. 2007.

SILVA, S. L. da. **Observação de ciclos periódicos em janelas de caos em gaas controladas por campo magnético**. Belo Horizonte. 57 p. Dissertação (Mestrado em Física). Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SIVAKUMAR, B. Chaos theory in geophysics: past, present and future. **Chaos, Solitons and Fractals**. v. 19, n. 2, pp. 441-462, 2004.

STAM, C. J. Nonlinear dynamical analysis of EEG and MEG: review of an emerging field. **Clinical Neurophysiology**. v. 116:p. 2266-2301, 2005.

STARDICT. Versão 3.0.1. **Multi-dicionário eletrônico para sistemas operacionais linux**. Disponível em: <<http://stardict.sourceforge.net>>. Acesso em: 05 jun. 2010.

The great global warming swindle. **Canal 4**. Inglaterra. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=RDzuXPM1W3k>> Acesso em: 13 jun. 2011.

VIEIRA, K. R. C. F.; BAZZO, W. A. Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. especial, novembro, 2007.

VIOLA, F. M. **Análise do aquecimento global através de uma perspectiva dinâmica**. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ/COPPE: RJ, 2011. p. 86.

XAVIER, M. E. R.; KERR, A. S. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 21, n. 3: p. 325-349, dez 2004.

## APÊNDICE A



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE**  
**Pró-Reitoria de Pesquisas e Pós-Graduação – PRPPG**  
**Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências – PPGEC**

**QUESTIONÁRIO 1**

Este questionário é parte integrante do projeto de pesquisa do mestrando Rubens Filipe de Arruda Amorim Oliveira do PPGEC/UFRPE. Toda informação concedida pelos participantes da pesquisa será utilizada no processo investigativo apenas para desenvolver o estudo acadêmico, mantendo em sigilo a identificação do participante.

Curso: \_\_\_\_\_

Início do curso: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Término previsto: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Período atual: \_\_\_\_\_

Marque com X e preencha as lacunas dos itens seguintes:

|                             |                |                     |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|----------------|---------------------|------|------|------|------|------|
| Sexo:                       | ( ) Masculino  | ( ) Feminino        |      |      |      |      |      |
| Estado civil:               | ( ) Solteiro   | ( ) Casado          |      |      |      |      |      |
| Faixa etária:               | ( ) 17-25 anos | ( ) 26-35           |      |      |      |      |      |
|                             | ( ) 36-45 ( )  | ( ) De 46 em diante |      |      |      |      |      |
| Disponibilidade de horário: |                | Seg.                | Ter. | Qua. | Qui. | Sex. | Sáb. |
|                             | Manhã:         |                     |      |      |      |      |      |
|                             | Tarde:         |                     |      |      |      |      |      |
|                             | Noite:         |                     |      |      |      |      |      |

Outras informações (opcional):

Responda o que você entende por:

1. Aquecimento global?
2. Teoria do caos?
3. Existe relação entre ambas? Explique o porquê da sua resposta.

**APÊNDICE B**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE**  
**Pró-Reitoria de Pesquisas e Pós-Graduação – PRPPG**  
**Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências – PPGECC**

**QUESTIONÁRIO 2**

Este questionário é parte integrante do projeto de pesquisa do mestrando Rubens Filipe de Arruda Amorim Oliveira do PPGECC/UFRPE. Toda informação concedida pelos participantes da pesquisa será utilizada no processo investigativo apenas para desenvolver o estudo acadêmico, mantendo em sigilo a identificação do participante.

Informe na tabela seguinte a sua disponibilidade de horário (à esquerda) e marque com X os respectivos turnos e dias (à direita):

| Disponibilidade de horário: |        | Seg. | Ter. | Qua. | Qui. | Sex. | Sáb. |
|-----------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|
|                             | Manhã: |      |      |      |      |      |      |
|                             | Tarde: |      |      |      |      |      |      |
|                             | Noite: |      |      |      |      |      |      |

Outras informações (opcional):

Responda o que você entende por:

1. Aquecimento global?
2. Teoria do caos?
3. Existe relação entre ambas? Explique o porquê da sua resposta.

## APÊNDICE C



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE

Pró-Reitoria de Pesquisas e Pós-Graduação – PRPPG

Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências – PPGEC

## OFICINA PEDAGÓGICA - ROTEIRO I

## SISTEMAS DINÂMICOS: ALEATÓRIO X CAÓTICO.

## 1. “Jogando dados” através do computador;

Objetivo: Gerar uma sequência de números pseudoaleatórios no MATLAB.

Procedimento:

Inserir o algoritmo abaixo no terminal da linha de comandos.

**Quadro 1.1 - Algoritmo para gerar gráfico de uma sequência pseudoaleatória.**

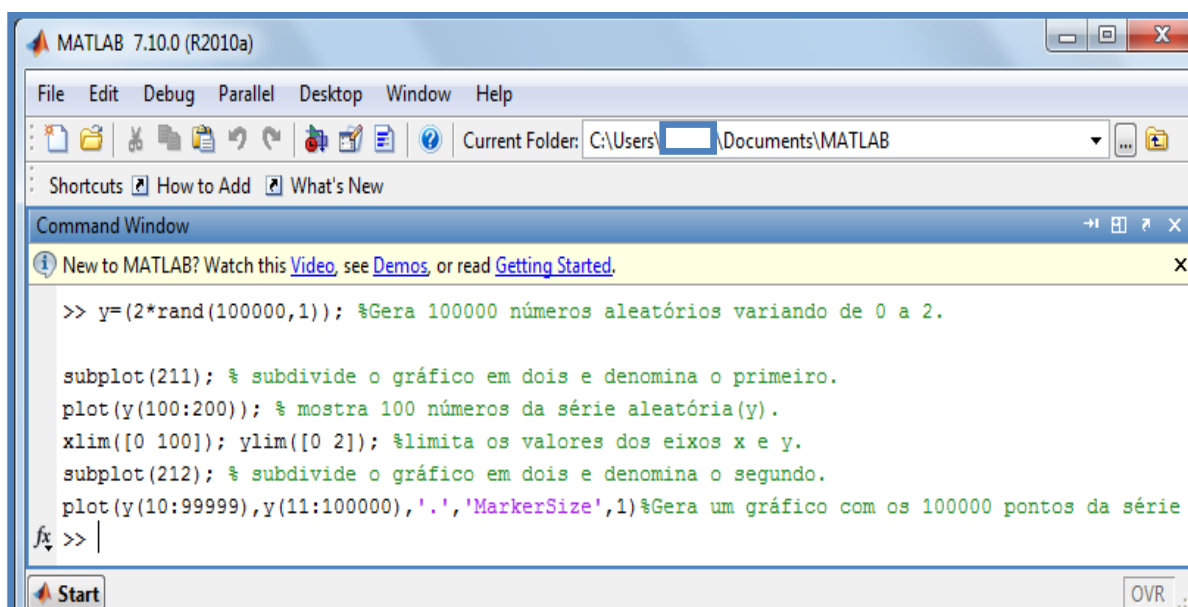
```
y=(2*rand(10000,1)); %Gera 10000 números aleatórios variando de 0 a 2.
```

```
%Construção do gráfico:
```

```
subplot(211);  
plot(y(100:200)); xlim([0 100]); ylim([0 2]);  
subplot(212); plot(y(1:end-1),y(2:end),'.','MarkerSize',1)
```

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

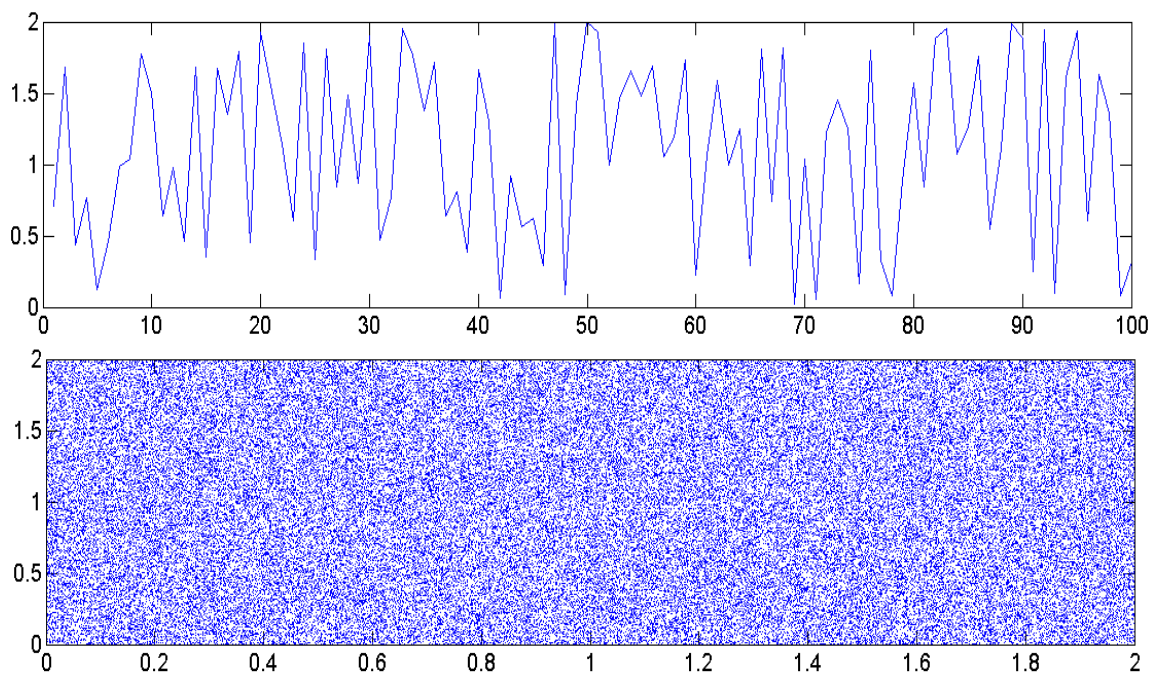
**Figura 1.1A - Janela de inserção de comandos.**



**Fonte: Programa MATLAB.**

O comando “ $y=(2*\text{rand}(100000,1));$ ” gera valores pseudoaleatórios. Já os comandos posteriores geram o gráfico da função:

**Figura 1.1B - Gráficos de uma série pseudoaleatória gerada pela função  $y$ .**



**Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.**



Observe que o gráfico superior representa os 100 primeiros pontos da série e o inferior representa um espaço de fase, sem as trajetórias, de todos os 100.000 pontos da série.

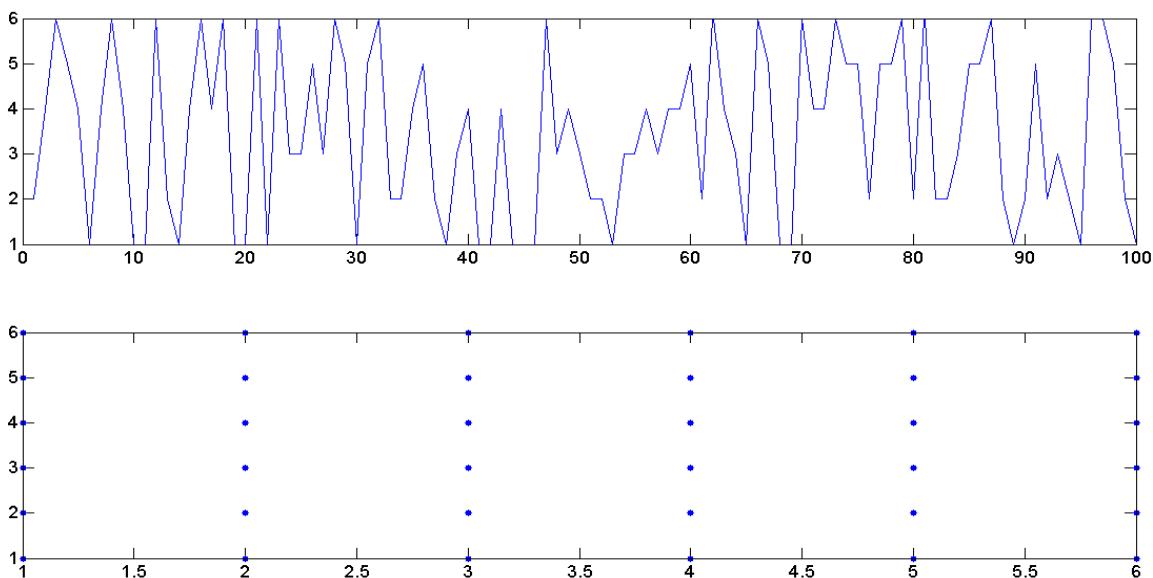
Para um lançamento de dados real, temos o seguinte algoritmo:

**Quadro 1.2 - Algoritmo para gerar gráfico de 100.000 pontos referente ao lançamento de um dado de seis faces.**

```
y=ceil(6*rand(100000,1));
subplot(211)
plot(y(1:100))
subplot(212)
plot(y(1:end-1),y(2:end),
' ','MarkerSize',15)
```

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

**Figura 1.2 - Gráfico com 100 lançamentos de dados reais (acima) e seu respectivo espaço de fase (abaixo) sem as trajetórias.**



Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

## 2. Iniciando o caos;

Objetivo: Gerar uma série caótica com uma equação quadrática simples, conhecida por mapa logístico ou equação logística.

Procedimento:

Estabelecer valores para n (número de pontos da sequência de valores assumidos por x), a (parâmetro), niv (nível do ruído), x0 (valor inicial de x). Em seguida, inserir os comandos de forma semelhante ao procedimento anterior.

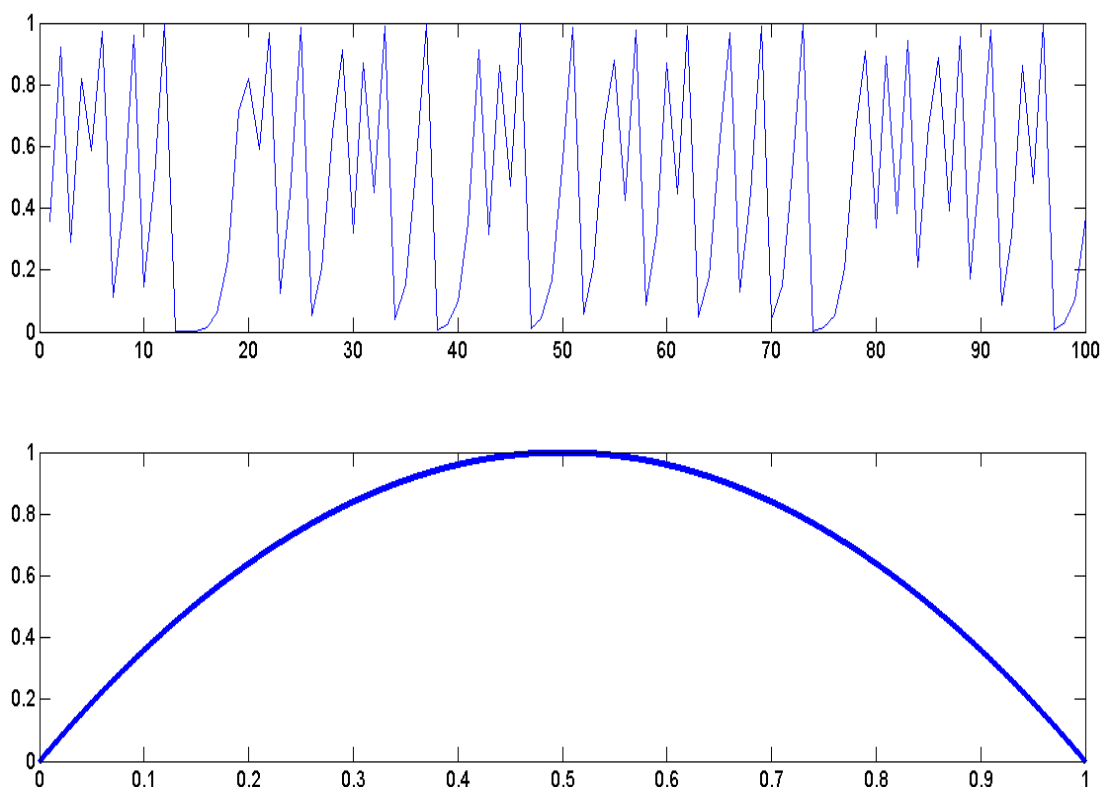
**Quadro 2.1 - Algoritmo para gerar gráfico de equação logística.**

|  |  |
|--|--|
| <pre> n=100000; a = 4; niv = 0; x0=0.1; x(1,1)=a*x0*(1-x0); for i=2:n x(i,1)=a*x(i-1,1)*(1-x(i-1,1)); end % Adiciona ruído branco: x=x+randn(n,1)*niv*std(x); %Mostra os gráficos: subplot(212); plot(x(1:end-1), x(2:end), '.'); subplot(211); plot(x(1:100)); </pre> | <p style="text-align: center;"><b>MAPA LOGÍSTICO</b></p> $x_{n+1} = ax_n(1 - x_n)$ |
|--|--|

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

Após inserção do algoritmo, dois gráficos são gerados (Figura 2.1): um sinal caótico (acima) e um atrator em forma de parábola, sem as trajetórias (abaixo).

**Figura 2.1 - Gráficos gerados por equação logística.**



**Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.**

### **3. Estabelecendo as principais diferenças;**

Objetivo: Gerar um gráfico contendo a série aleatória e caótica, criadas anteriormente, com seus respectivos espaços de fase.

Obs.: Os procedimentos posteriores são semelhantes aos anteriores.

**Quadro 3.1 - Algoritmo para estabelecer diferenças entre gráficos de comportamento determinística e aleatório.**

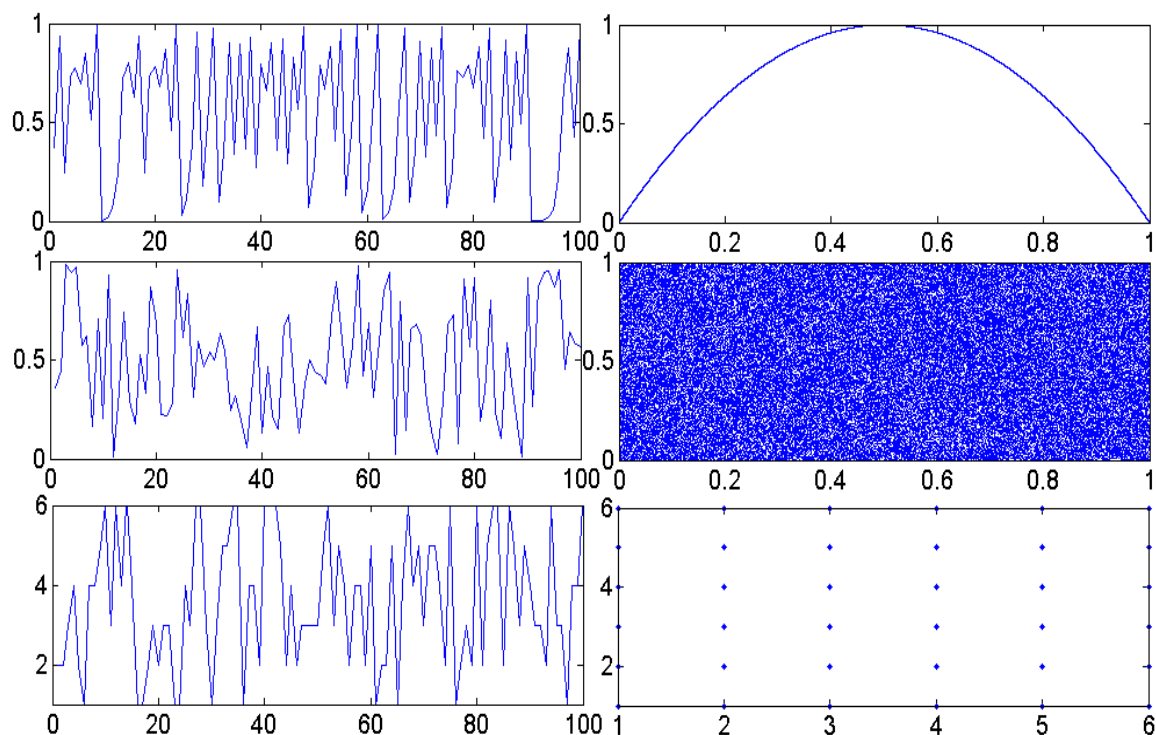
```

n=100000; a = 4; niv = 0; x0=0.1; % Algoritmo que insere a equação x'=ax(1-x):
x(1,1)=a*x0*(1-x0); for i=2:n
x(i,1)=a*x(i-1,1)*(1-x(i-1,1));
end
y=1*rand(100000,1);
x=x+randn(n,1)*niv*std(x); % ruído branco.
y2=ceil(6*rand(100000,1)); %Comando de lançamento de dados.
% Construção do gráfico:
subplot(321); plot(x(100:200)); xlim([0 100]);
subplot(322); plot(x(10:end-1),x(11:end),'.','MarkerSize',1)
subplot(323); plot(y(100:200)); xlim([0 100]);
subplot(324); plot(y(10:end-1),y(11:end),'.','MarkerSize',1)
subplot(325); plot(y2(100:200)); xlim([0 100]); ylim([1 6]);
subplot(326); plot(y2(1:end-1),y2(2:end),'.','MarkerSize',10); xlim([1 6]); ylim([1 6]);

```

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

**Figura 3.1 - Comparação entre comportamento determinístico e aleatório.**



Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

Observe que na primeira coluna do gráfico, temos 100 pontos de uma série caótica (acima), aleatória contínua (meio) e aleatória discreta (abaixo). Na segunda coluna, temos os respectivos espaços de fase, sem as trajetórias, com 100.000 pontos de cada série.

#### 4. Outras formas de gerar caos;

Objetivo: Usar algoritmos do Mapa de Hénon, Equações de Rössler e Equações de Lorenz para gerar séries caóticas e seus respectivos espaços de fase.

**Quadro 4.1 - Algoritmo para gerar a Série e o Mapa de Hénon**

```
n = 10000; a = 1.4; b = 0.3; niv = 0; x0 = 0.1; y0 = 0.
x(1,1)=1-a*x0^2+b*y0; y(1,1)=b*x0;
for i=2:n
x(i,1)=1-a*x(i-1,1)^2+y(i-1,1); y(i,1)=b*x(i-1,1);
end
x=x+randn(n,1)*niv*std(x); y=y+randn(n,1)*niv*std(y);
subplot(211); plot(x(100:200)); xlim([0 100]); ylim([0 100]);
subplot(212); plot(x(10:9999),x(11:10000), '.')
```

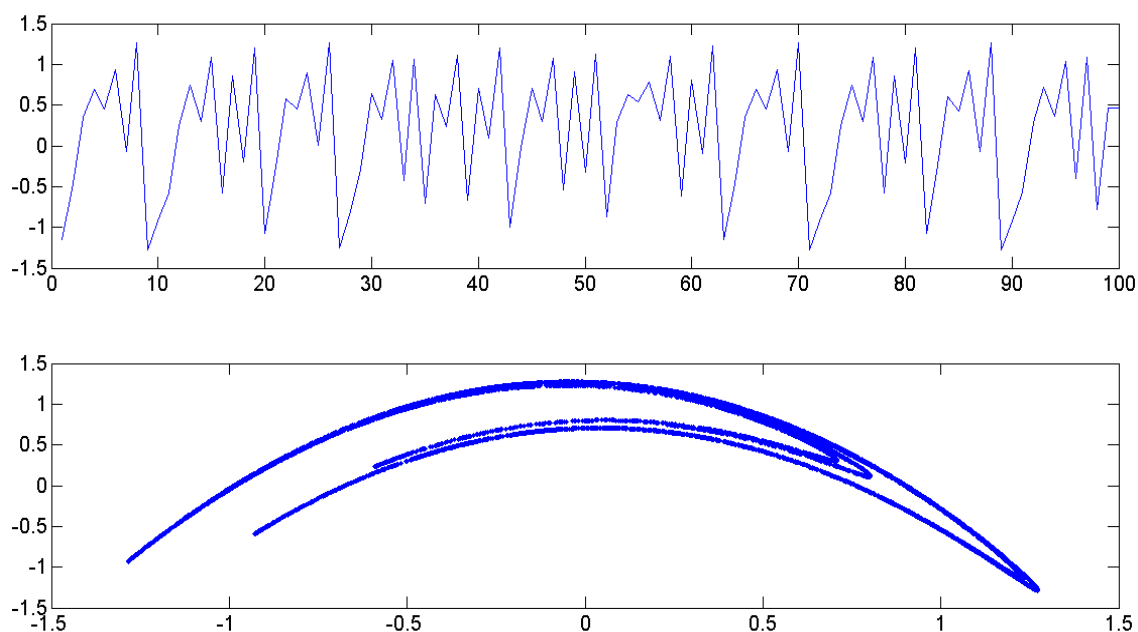
#### MAPA DE HÉNON

$$x_{n+1} = 1 - ax_n^2 + y_n$$

$$y_{n+1} = bx_n$$

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

**Figura 4.1 - Gráficos gerados pelo Mapa de Hénon.**



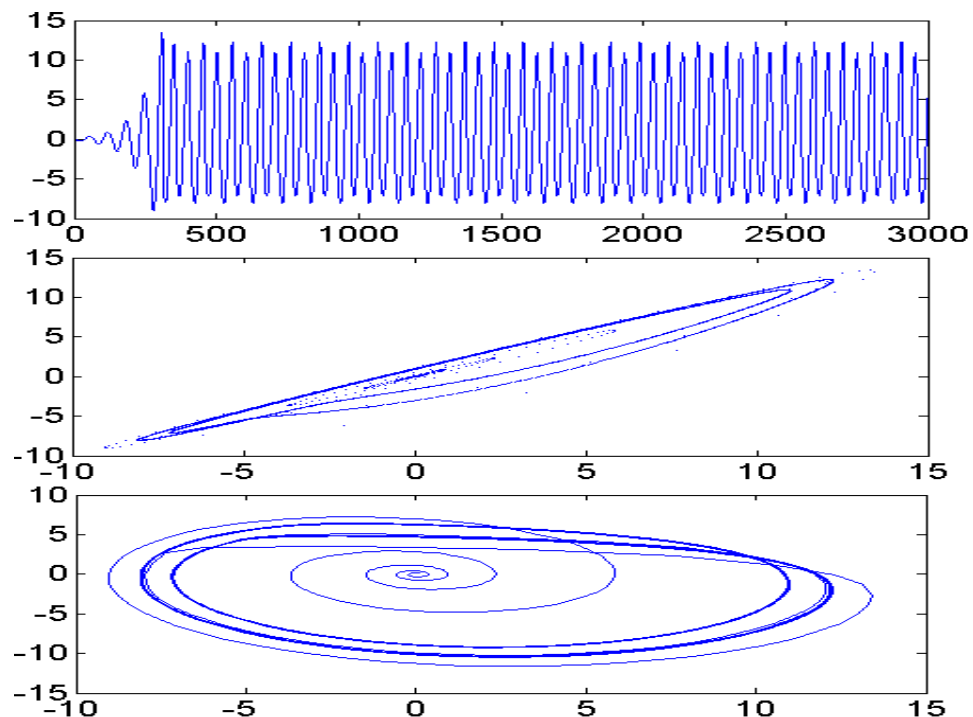
Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

Quadro 4.2 - Algoritmo para gerar a Série e o Atrator de Rössler

|  |  |
|--|--|
| <pre> n=10000; niv=0; a=0.2; b=0.2; c=5.7; x0=0.1; y0=0.1; z0=0.1; h=0.1;  y(1,:)= [x0 y0 z0]; for i=2:n ydot(1)=-y(i-1,2)-y(i-1,3); ydot(2)=y(i-1,1)+a*y(i-1,2); ydot(3)=b+y(i-1,3)*(y(i-1,1)-c); y(i,:)=y(i-1,:)+h*ydot; end x=y(:,1); z=y(:,3); y=y(:,2); x=x+randn(n,1)*niv*std(x); y=y+randn(n,1)*niv*std(y); z=z+randn(n,1)*niv*std(z); subplot(311); plot(x(1:3000));subplot(312); plot(x(1:end-1),x(2:end),'.', 'MarkerSize',3) subplot(313); plot(x,y) </pre> | <p style="text-align: center;"><b>EQUAÇÕES DE RÖSSLER</b></p> $\frac{dx}{dt} = -y - z$ $\frac{dy}{dt} = x + ay$ $\frac{dz}{dt} = b + z(x - c)$ |
|--|--|

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

Figura 4.2 - Gráficos provenientes das Equações de Rössler.



Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

Quadro 4.3 - Algoritmo para gerar a Série e o Atrator de Lorenz

```

n=10000;niv=0;k=10;p=28;b=2.6667;
x0=0.1;y0=0.1;z0=0.1; h=0.01;
y(1,:)=[x0 y0 z0]; for i=2:n
ydot(1)=k*(y(i-1,2)-y(i-1,1));
ydot(2)=p*y(i-1,1)-y(i-1,2)-y(i-1,1)*y(i-1,3);
ydot(3)=y(i-1,1)*y(i-1,2)-b*y(i-1,3); y(i,:)=y(i-1,:)+h*ydot;
end
x=y(:,1); z=y(:,3); y=y(:,2); x=x+randn(n,1)*niv*std(x);
y=y+randn(n,1)*niv*std(y); z=z+randn(n,1)*niv*std(z);
subplot(311); plot(x); subplot(312);
plot(x(1:end-3),x(4:end),'.','MarkerSize',1);
subplot(313); plot(x,z); plot(x,z); xlim([-25 25]);

```

### EQUAÇÕES DE LORENZ

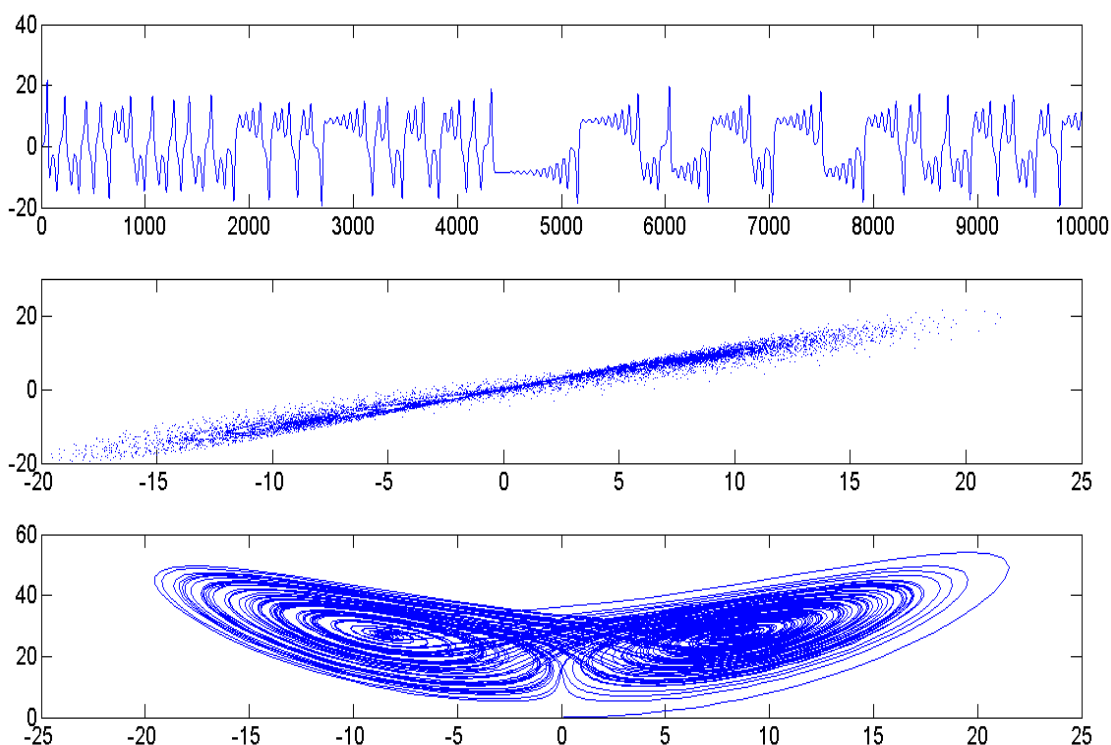
$$\frac{dx}{dt} = k(y - x)$$

$$\frac{dy}{dt} = x(p - z) - y$$

$$\frac{dz}{dt} = xy - bz$$

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

Figura 4.3 - Gráficos provenientes das Equações de Lorenz.



Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MALAB.

## 5. Discussão:

O que aprendemos sobre o caos determinístico e aleatoriedade?

## APÊNDICE D



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE

Pró-Reitoria de Pesquisas e Pós-Graduação – PRPPG

Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências – PPGEC

OFICINA PEDAGÓGICA - ROTEIRO II

ANÁLISE E APLICAÇÕES DO CAOS

6. “Dependência das condições iniciais” na Equação de Mandelbrot;

Procedimento:

Inserir os algoritmos abaixo, variando o parâmetro c.

Quadro 6.1 - Algoritmo para gerar séries da Equação Mandelbrot.

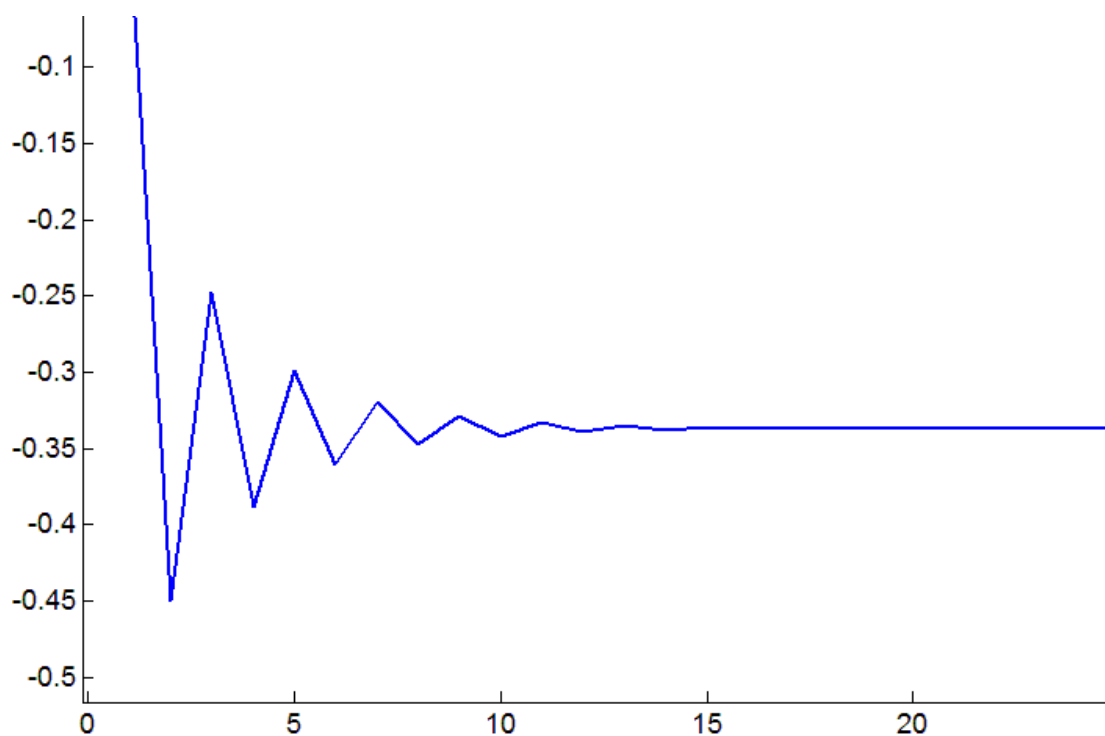
|   |  |
|---|--|
| <pre> n=1000; x0=0;c=-0.45; x(1,1)=x0; for i=2:n x(i,1)=x(i-1)^2+c; end subplot(212); plot(x(1:end-1), x(2:end), 'o') subplot(211); plot(x(1:100)) </pre> | <p><b>Equação Mandelbrot</b></p> $z = x^2 + c$ |
|---|--|

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

Exemplos de gráficos com  $c=-0,45$  e  $c=-1,5$ :

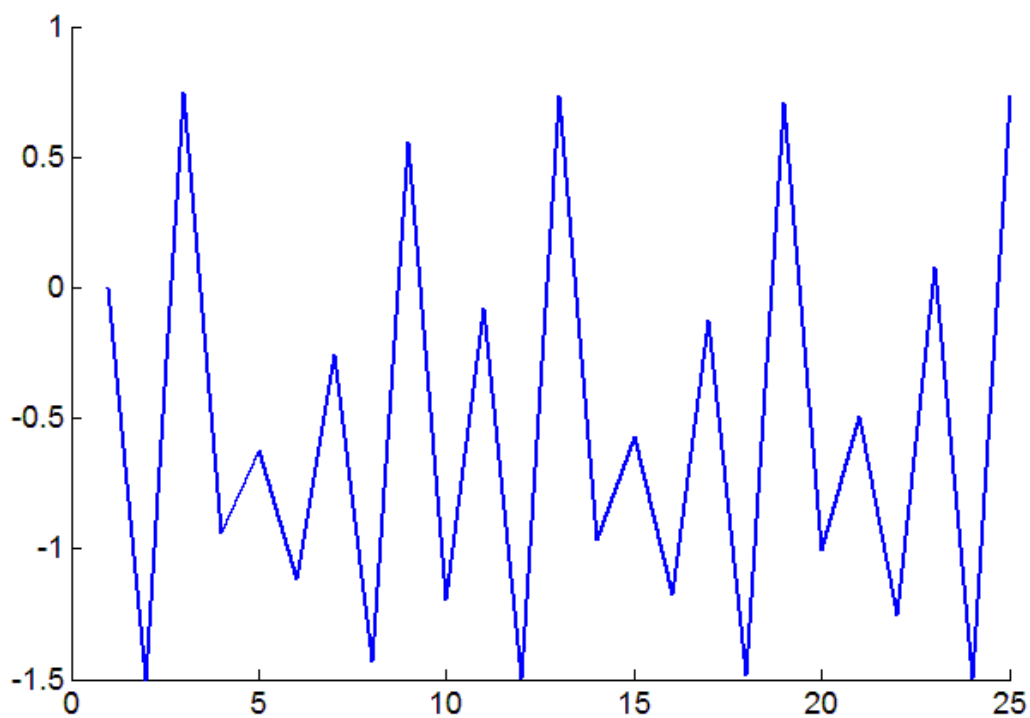


**Figura 6.1 - Gráfico gerado pela Equação de Mandelbrot, com  $c=-0,45$ .**



Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

**Figura 6.2 - Gráfico gerado pela Equação de Mandelbrot, com  $c=-1,5$ .**



Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

Observe que variando  $c$  até 1,9 obtemos séries visivelmente bem distintas umas das outras. O que isso nos diz?

### 7. E com a Equação Logística (padrão)?

Procedimento:

Inserir alternadamente os algoritmos abaixo com variação em 'a' entre -3 e 4. O gráfico gerado é semelhante ao do roteiro 1 (Figura 2.1), mas o que ocorre ao variar parâmetro 'a'?

**Quadro 7.1 - Algoritmo para gerar gráfico da Equação Logística, com o parâmetro 'a' variando entre -3 e 4.**

|  |  |
|--|--|
| <pre>n=100000; a = (-3, -2, ..., 3, 4); niv = 0; x0=0.1; x(1,1)=a*x0*(1-x0); for i=2:n x(i,1)=a*x(i-1,1)*(1-x(i-1,1)); end x=x+randn(n,1)*niv*std(x); % Ruído branco. subplot(212); plot(x(1:end-1), x(2:end), '.') subplot(211); plot(x(1:100))</pre> | <p style="text-align: center;"><b>MAPA LOGÍSTICO</b></p> $x_{n+1} = ax_n(1 - x_n)$ |
|--|--|

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

## 8. “Rota para o Caos”.

Quadro 8.1 - Algoritmo para gerar o Diagrama de Feigenbaum (Bifurcações).

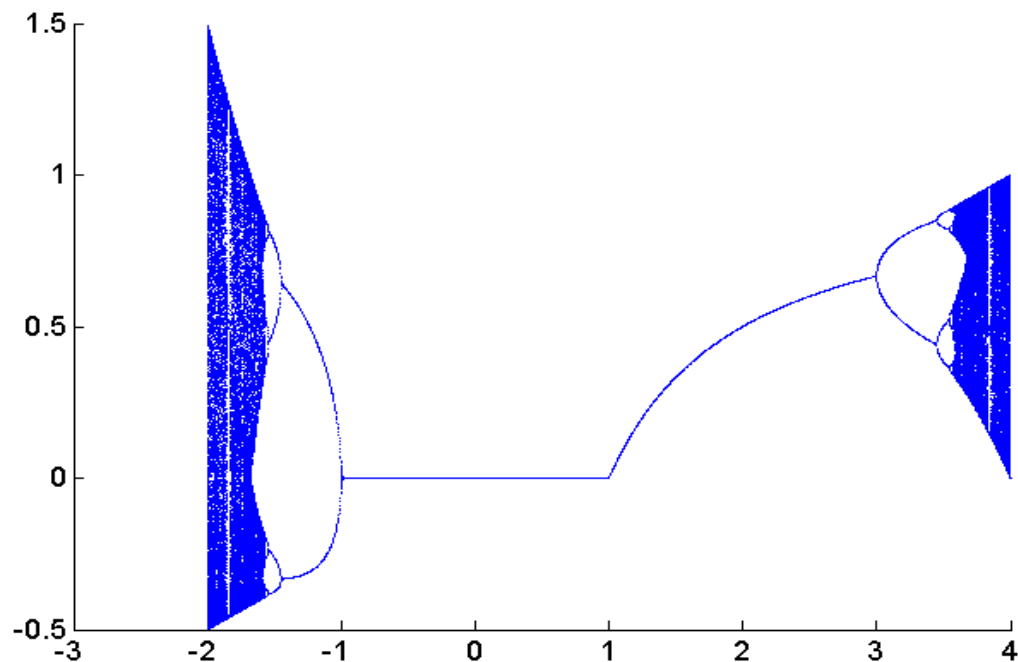
```

scale = 10000; maxpoints = 200; N = 3000; a = -3; b = 4; rs = linspace(a,b,N); M =
500;
for j = 1:length(rs)
r=rs(j); x=zeros(M,1); x(1) = 0.5;
for i = 2:M, x(i) = r*x(i-1)*(1-x(i-1));
end
out{j} = unique(round(scale*x(end-maxpoints:end)));
end
data = []; for k = 1:length(rs)
n = length(out{k}); data = [data; rs(k)*ones(n,1),out{k}];
end
figure(97);clf
h=plot(data(:,1),data(:,2)/scale,'b. '); set(h,'markersize',1)

```

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

Figura 8.1 - Gráfico de Bifurcações da Equação Logística.



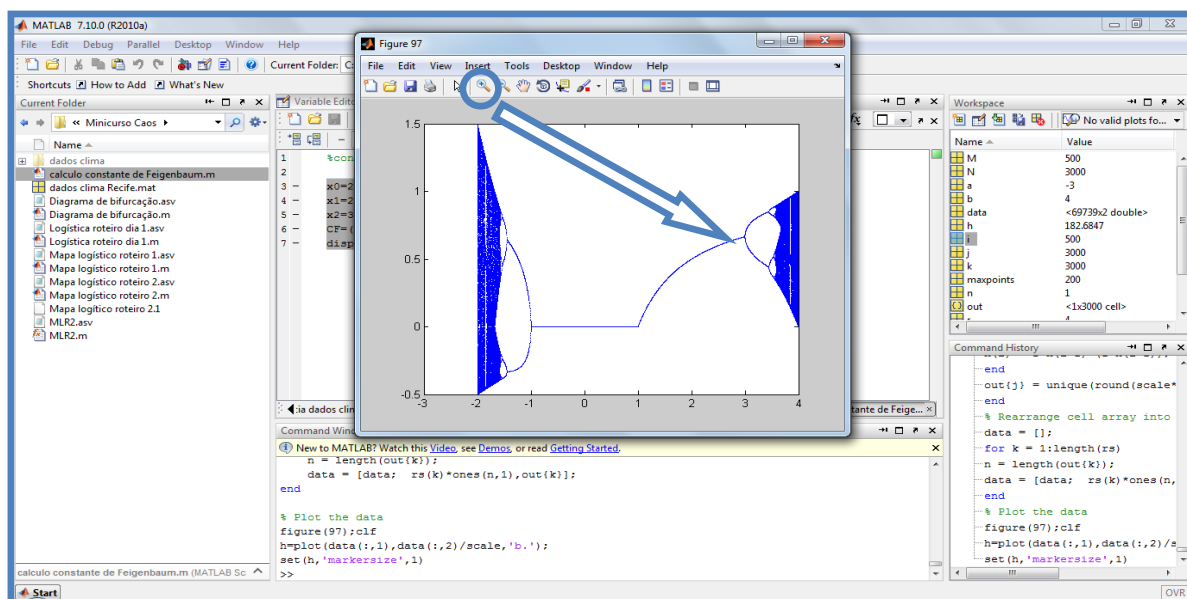
Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

## 9. “Constante de Feigenbaum”: Como calcular? ;

### 9.1 Estabeleça os intervalos do parâmetro ‘a’.

Passo 1: Ampliar a figura no ponto em que inicia a bifurcação.

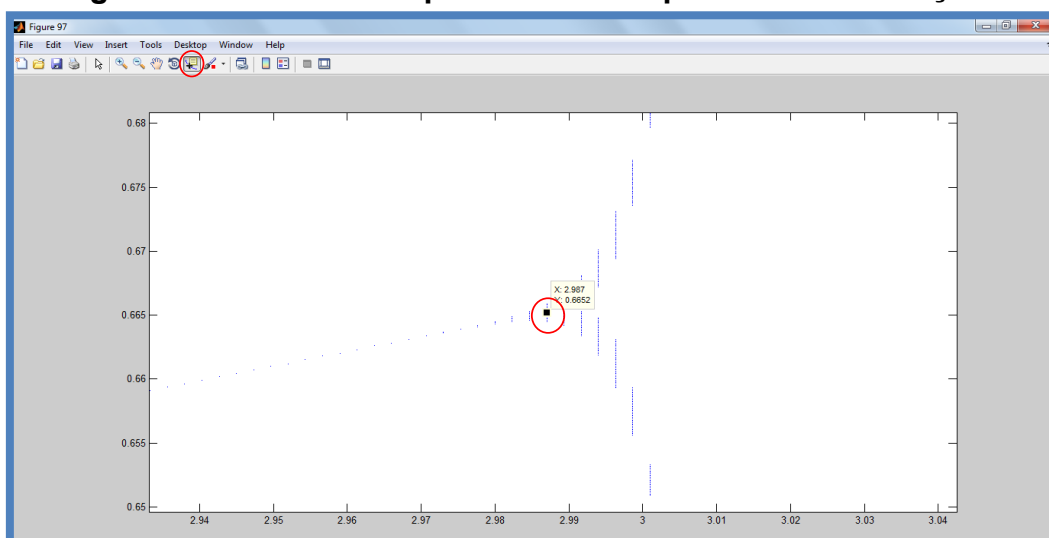
**Figura 9.1 - Ferramenta para ampliar a figura nos pontos de bifurcação.**



Fonte: Programa MATLAB.

Passo 2: Identificar e marcar o ponto que inicia a bifurcação.

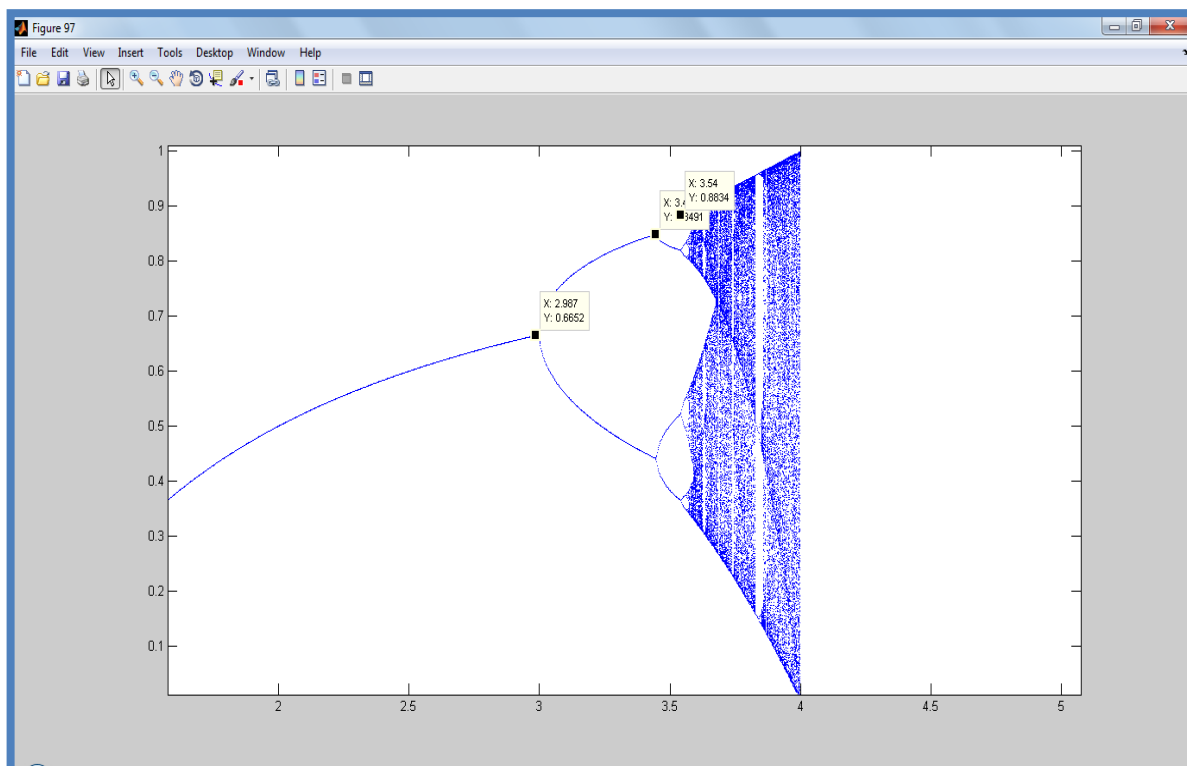
**Figura 9.2 - Ferramenta para marcar os pontos de bifurcação.**



Fonte: Programa MATLAB.

Passo 3: Identificar e marcar os três pontos que iniciam bifurcações sucessivas.

**Figura 9.3 – Marcação de três pontos de bifurcações sucessivas.**



Fonte: Programa MATLAB.

Passo 4: Inserir os valores encontrados no algoritmo abaixo e em seguida inserir o algoritmo no programa.

**Quadro 9.1 - Algoritmo para gerar a Constante de Feigenbaum.**

|  |   |
|--|---|
| <pre>x0=2.001; x1=2.99; x2=3.449; CF=(x2-x1)/(x1-x0); disp(CF)</pre> | <p style="text-align: center;"><b>Constante de Feigenbaum</b></p> $S = \frac{a_k - a_{k-1}}{a_{k+1} - a_k} \cong 4.669201609 \dots$ |
|--|---|

Fonte: Dados da Pesquisa construídos a partir de comandos do programa MATLAB.

## 10. Aplicações da Teoria do Caos

### 10.1. Com um eletrocardiograma (ECG) de um cão adulto

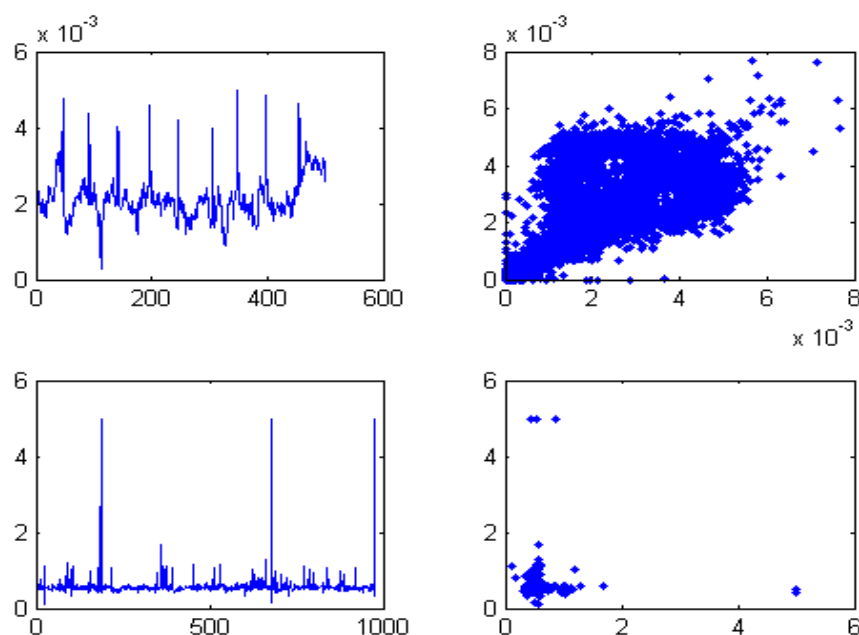
Carregue o arquivo “dados ECG.mat” no programa e insira os algoritmos a seguir:

#### Quadro 10.1 - Algoritmo para gerar a série e o espaço de fase dos intervalos RR do ECG do cão Átila.

```
subplot(221) plot(aatila(1:500)); subplot(222)
plot(aatila(1:end-1),aatila(2:end),'.'); subplot(223) plot(aatilarr)
subplot(224) plot(aatilarr(1:end-1),aatilarr(2:end),'.')
```

Fonte: Dados cedidos e adaptados da dissertação (em andamento) de Castro (2012).

#### Figura 10.1 - Gráfico da série e do atrator dos intervalos RR do ECG do cão Átila.



Fonte: Dados cedidos e adaptados da dissertação (em andamento) de Castro (2012).

### 10.2. Variações de temperatura em Recife de 2010-2012;

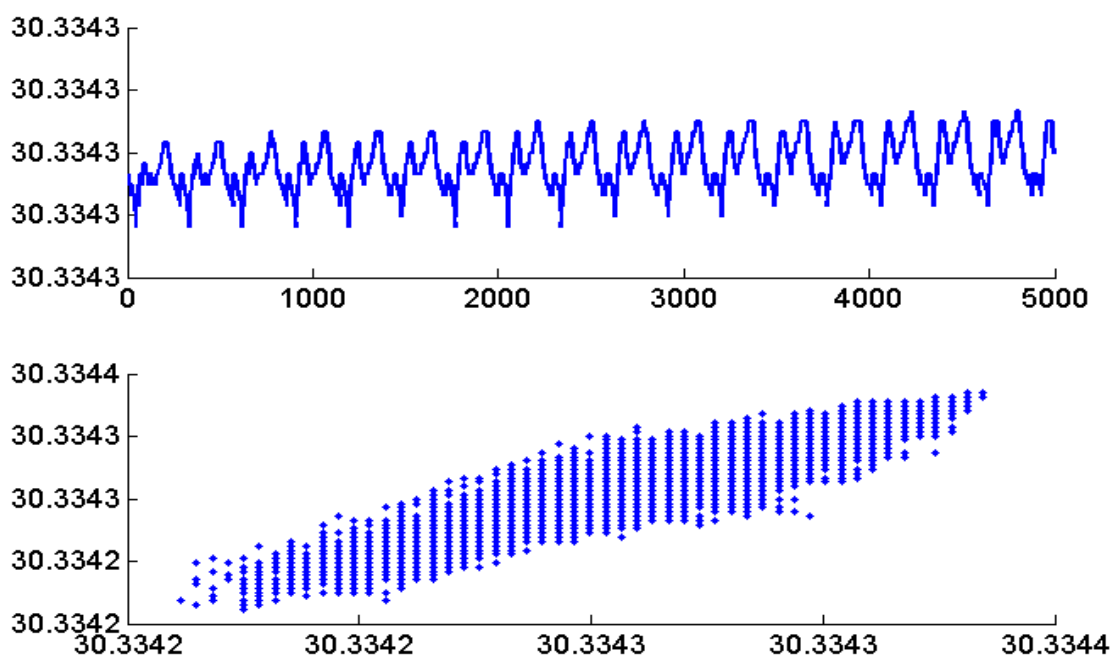
Carregue o arquivo “dados Recife 2010-2012” no programa e ative os algoritmos:

**Quadro 10.2 - Algoritmo para gerar a série e o espaço de fase da temperatura da cidade do Recife de 2010 a 2012.**

```
subplot(211); plot(todos(1:5000))
subplot(212); plot(todos(1:end-1), todos(2:end), 'b')
```

Fonte: Dados cedidos e adaptados do CPTEC/INPE (2012).

**Figura 10.2 - Gráfico da série e do atrator da temperatura da cidade do Recife de 2010 a 2012.**



Fonte: Dados cedidos e adaptados do CPTEC/INPE (2012).

## 11. Discussão:

Estas informações são suficientes para identificarmos um sistema de natureza caótica?

Em relação a temperatura, estas informações podem nos fornecer pistas para o comportamento do sistema climático ou precisamos de mais recursos?

## **APÊNDICE E**

### **ROTEIRO DO LEVANTAMENTO SOBRE O TERMO CAOS**

**Objetivo: Identificar as concepções sobre o termo caos dos alunos, professores e outros funcionários da UFRPE.**

**Primeira parte – perguntas realizados pela equipe de pesquisadores do NUPET:**

1. O que é caos para você?
2. Você permite a divulgação de sua imagem?

**Segunda parte – realizar as entrevistas nas dependências da UFRPE:**

Departamentos responsáveis pelos cursos (graduação e pós graduação) de Matemática, Física, Sistemas de Informação, Química, Biologia, Agronomia, História e Educação Física. Educação à Distância, Laboratórios do CENAPESQ e Biblioteca Central.

**Terceira parte – Transcrição e editoração do documentário.**



## **APÊNDICE F**

### **ROTEIRO DAS ENTREVISTAS DO CHD**

**Objetivo: Identificar as concepções a respeito das categorias teóricas abordadas na oficina.**

**Primeira parte – perguntas realizadas pelo pesquisador ao primeiro licenciando:**

1. O que você entende por aquecimento global?
2. O que você entende por teoria do caos?
3. Existe relação entre ambas? Se existe, qual é a relação?

**Segunda parte – aplicar as mesmas perguntas ao segundo licenciando, mostrar a este a síntese das respostas do primeiro. E em seguida perguntar:**

Você discorda ou concorda com esta resposta? Porquê?

**Terceira parte – repete-se o procedimento anterior a todos os participantes.**

**Quarta parte – mostrar a resposta final (síntese) do grupo e perguntar:**

Vocês acrescentam ou retiram, concordam ou discordam dessa resposta? Porquê?