

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**FÍSICA AMBIENTAL E TEORIA DA COMPLEXIDADE:  
INSERÇÃO DE TÓPICOS ESSENCIAIS DA TEORIA DA  
COMPLEXIDADE NO ENSINO MÉDIO – A  
VIABILIDADE DE UMA PROPOSTA**

ANDRÉIA DA SILVA TAVARES

PROF.<sup>a</sup>DR.<sup>a</sup> IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO

Orientadora

PROF. MS. MIGUEL JORGE NETO

Co-orientador

Cuiabá, MT, Fevereiro de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**FÍSICA AMBIENTAL E TEORIA DA COMPLEXIDADE:  
INSERÇÃO DE TÓPICOS ESSENCIAIS DA TEORIA  
DA COMPLEXIDADE NO ENSINO MÉDIO – A  
VIABILIDADE DE UMA PROPOSTA**

ANDRÉIA DA SILVA TAVARES

*Dissertação apresentada ao programa de  
Pós-graduação em Física Ambiental da  
Universidade Federal de Mato Grosso, como  
parte dos requisitos para a obtenção do  
título de Mestre em Física Ambiental.*

PROF.<sup>a</sup>DR.<sup>a</sup> IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO

Orientadora

PROF. MS. MIGUEL JORGE NETO

Co-orientador

Cuiabá, MT, Fevereiro de 2011

## FICHA CATALOGRÁFICA

T231f Tavares, Andréia da Silva  
Física ambiental e teoria da complexidade: inserção de tópicos essenciais da teoria da complexidade no ensino médio – a viabilidade de uma proposta / Andréia da Silva Tavares. – 2011.  
v, 113 f. : il. ; color. ; 30 cm.

Orientadora: Profª. Drª. Iramaia Jorge Cabral de Paulo.  
Co-orientador: Prof. MS. Miguel Jorge Neto.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Pós-graduação em Física Ambiental, 2011.  
Bibliografia: f. 73-78.  
Inclui apêndice.

1. Teoria da complexidade – Ensino médio. 2. Física ambiental – Ensino médio. 3. Física e meio ambiente. I. Título.

CDU – 371.3:53:504(043.3)

Ficha elaborada por: Rosângela Aparecida Vicente Söhn – CRB-1/931

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

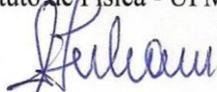
**TÍTULO: FÍSICA AMBIENTAL E TEORIA DA COMPLEXIDADE:  
INSERÇÃO DE TÓPICOS ESSENCIAIS DA TEORIA DA  
COMPLEXIDADE NO ENSINO MÉDIO – A  
VIABILIDADE DE UMA PROPOSTA**

**AUTORA: ANDRÉIA DA SILVA TAVARES**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 21 de fevereiro de 2011, pela comissão julgadora:



**Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo – Orientadora**  
Instituto de Física - UFMT



**Profa. Dra. Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani - Examinadora Externa**  
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Bauru/SP



**Prof. Dr. Osvaldo Borges Pinto Junior – Examinador Interno**  
Programa Nacional de Pós Doutorado – PNPd/CAPES

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha Mãe, meu exemplo, meu apoio em todas as horas difíceis e a minha irmã caçula (Adriana) que sempre está torcendo por mim.

## **AGRADECIMENTOS**

\*À Deus pela sua infinita misericórdia, pela vida, por ser o meu refúgio nas horas difíceis, pela oportunidade que me concede em cada dia de aprender.

\*À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Iramaia Jorge Cabral de Paulo pela fé depositada, pela paciência e pelas suas preciosas orientações e principalmente por compartilhar de seus ideais, me fazendo acreditar num mundo melhor, transformado pela educação e amorosidade.

\*Ao Prof. Ms. Miguel Jorge Neto pelas suas preciosas orientações, pela paciência, tempo despendidos e contribuições.

\*Ao Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo, pelas suas contribuições.

\*Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, pela motivação, pelos preciosos e sábios conselhos e principalmente por nós apontar sempre a direção correta a seguir.

\*Aos meus amigos da Pós Graduação em Física Ambiental, pelo auxílio nesta caminhada: Erondina, Geison, Geraldo, Gonçalo, Ivanete, Ivan, Marcos Prado, Stefano, Elis Dener e Vanessa Dias.

\*Aos Profs. Drs. José Holanda Campelo Júnior, Francisco de Almeida Lobo, Carmen Eugenia Rodriguez Ortiz, Carlo Ralph De Muis, Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira e Denilton Carlos Gaio, pelos preciosos conhecimentos compartilhados ao longo do curso;

\*Aos funcionários da Pós-Graduação em Física Ambiental: Soilce e Cesário; pela gentileza e carinho.

\*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro;

\*Aos professores João Figueiredo e Patrick Siqueira por terem gentilmente cedido algumas horas aulas da disciplina de Física para a aplicação do curso: “Complexidade”? E principalmente por terem compartilhado e contribuído para o sucesso do mesmo.

\*À amiga Sandra pelo incentivo e contribuições.

\*À amiga Laura por me ouvir sempre, por acreditar nos meus ideais e principalmente pelo seu incentivo.

\*A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

\* Aos meus pais, Sebastião e Vanderli, pelo incentivo incondicional, pelo apoio e todo amor doado a mim.

## Sumário

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>iii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemática .....	1
1.2. Justificativa .....	2
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>4</b>
2.1. A Teoria da Complexidade .....	4
2.1.1 O pensamento sistêmico.....	5
2.1.2 Sistemas Complexos .....	8
2.1.3 Acoplamento estrutural .....	11
2.1.4 Geometria Fractal.....	13
2.1.5 Aprendizagem Significativa:.....	15
2.1.6. Aprendizagem Significativa Crítica.....	17
2.2. A Teoria da Complexidade e o Ensino .....	19
<b>3. MATERIAS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1. Delineamentos Metodológicos.....	27
3.2. Coleta de Dados .....	29
3.3. Sujeito da pesquisa.....	31
3.4.1. O curso – primeiro encontro .....	33
3.4.2. O curso – segundo encontro.....	38
3.4.3. O curso – Terceiro Encontro .....	48
<b>4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 1 - Respostas dos alunos do pré-teste.....</b>	<b>55</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>70</b>
6.1. BIBLIOGRAFIA CITADA .....	73
6.2. BIBLIOGRFIA CONSULTADA .....	77
<b>APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO .....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE B – APRESENTAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA NAS ESCOLAS .....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE C – PLANOS DE AULA PARA O MINI-CURSO.....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE D – RESPOSTAS DOS ALUNOS.....</b>	<b>97</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Complexidade: questões iniciais .....	34
Figura 2 - Diferença entre “difícil” e complexo” .....	34
Figura 3 - Definição de Sistemas .....	35
Figura 4 - Sistemas Físicos .....	36
Figura 5 - Exemplos Clássicos de sistema aberto e fechado.....	37
Figura 6 - A Terra como Sistema Aberto.....	37
Figura 7 - Comprimento da Costa Brasileira .....	39
Figura 8 - “régua” para medir a Costa Brasileira .....	39
Figura 9 - Dimensionalidade dos objetos .....	40
Figura 10 - Conjunto de Cantor .....	41
Figura 11 - Conjunto de Cantor e dimensionalidade .....	42
Figura 12 - Objetos Fractais .....	42
Figura 13 - Conjunto de Mandelbrot.....	43
Figura 14 - Auto-semelhança .....	44
Figura 15 - Auto-semelhança exata e aproximada.....	45
Figura 16 - Floco de Neve de Koch .....	46
Figura 17 - Aplicações da Geometria Fractal .....	47
Figura 18 - Matemática Fractal .....	47
Figura 19 - Simbiose .....	48
Figura 20 - Acoplamento Estrutural.....	49
Figura 21 - Inseparabilidade entre sujeito e objeto .....	50
Figura 22 - Relação do homem com a natureza .....	51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Respostas dos alunos do pré-teste .....	55
<b>Tabela 2</b> - Respostas dos alunos do Pós-teste .....	56
<b>Tabela 3</b> - Exemplo de codificação dos nomes dos alunos .....	59
<b>Tabela 4</b> - número de resposta segundo cada categoria identificada nas resposta dos alunos às questões abertas no pré-teste .....	64

**LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

COPEA	Coordenação de estudos avançados
CNPq	Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
IMPA	Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada
SET/TES	Teoria da Endossimbiose Sequencial
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
TASC	Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica
TC	Teoria da Complexidade
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	Universidade de São Paulo

## RESUMO

TAVARES, A. S. *Física Ambiental e teoria da complexidade: inserção de tópicos essenciais da teoria da complexidade no ensino médio – a viabilidade de uma proposta*. Cuiabá – MT. 113f. (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

No presente trabalho investigou-se a proposta de inserção de tópicos da Teoria da Complexidade (TC) no ensino médio. Estudar questões relacionadas ao meio ambiente e as mudanças climáticas no cenário mundial passou a ser decisivo para a sobrevivência da humanidade. Entender conceitos, tais como: dinâmicas de sistemas abertos, fluxos, estados estacionários, interações entre biosfera e atmosfera, sensibilidade de condições iniciais, imprevisibilidade, dimensionalidade fractal, não-linearidade, acoplamento estrutural e endossimbiose, auto-organização, regimes, bifurcações, dentre outros é de crucial importância para se compreender os fenômenos climáticos. Nesse trabalho devido à disponibilidade e a carga horária das escolas selecionamos três tópicos da TC para serem trabalhados em um curso de duração de 8h para os alunos em duas escolas da rede pública de Cuiabá-MT. Os três tópicos trabalhados foram: Sistemas Abertos, objetos Fractais e Acoplamento estrutural. Acreditamos que a ciência que melhor pode nos proporcionar o entendimento desses conceitos é a TC e dentro dessa perspectiva propomos que alguns tópicos sejam incluídos no currículo do ensino médio, nas disciplinas relacionadas a Ciências da Natureza e Matemática. Este trabalho de pesquisa é de natureza qualitativa e as ações didático-pedagógicas foram fundamentadas na Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica. Para a coleta de dados aplicamos um pré-teste e um pós-teste com questões objetivas e discursivas tipo papel e lápis acerca de tópicos da TC. A participação no curso, assim como os resultados obtidos mostram que grande parte dos alunos aprendeu significativamente aos conteúdos apresentados, expondo ser viável a apresentação desses conteúdos no nível médio.

**Palavras-chave:** aprendizagem significativa; sistemas abertos; objetos fractais; acoplamento estrutural

## ABSTRACT

TAVARES, A. S. *Environmental Physics and complexity theory: inclusion of topics essence of complexity theory in high school - the feasibility of a proposal.* Cuiabá – MT, 2011 100f. Master Thesis - Masters in Environmental Physics, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

In the present study investigated the proposal for inclusion of topics of Complexity Theory (CT) in high school. Study issues related to environment and climate change on the world stage has to be decisive for the survival of mankind on the planet where we live. Understand concepts such as dynamic open systems, flows, steady states, interactions between biosphere and atmosphere, sensitivity to initial conditions, unpredictability, fractal dimensionality, nonlinearity, structural coupling and endosymbiosis, self-organization, systems, bifurcations, among others is of crucial importance for understanding the weather phenomena. In this work because of the availability and workload of the schools selected three topics to be worked in CT a course lasting from 8 hours to students in two public schools in Cuiabá-MT. The three topics were worked: Open Systems, Fractal objects and Structural coupling. We believe that science can give us better understanding of these concepts is the TC and from this perspective we propose that some topics are included in the curriculum of high school, in disciplines related to Natural Sciences and Mathematics. This research is qualitative and the didactic and pedagogical actions were based on the Critical Theory of Meaningful Learning. To collect the data we apply a pre-test and post-test with objective questions and paper and pencil type discourse on topics of CT. Participation in the course as well as the results show that most students learned significantly to the content presented, showing the viability of making such content in high school.

**Keywords:** significant Learning, open systems, fractal objects, structural coupling.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Problemática

Desde os primórdios da humanidade o homem tem se interessado em compreender a natureza, esse interesse advém da necessidade de compreender os fenômenos naturais para sua própria sobrevivência. E nesta busca incessante por respostas acerca do meio na qual está inserido, o homem conseguiu ao longo dos séculos modificarem o meio ambiental natural, apropriando-se da natureza de maneira absoluta em virtude de suas necessidades imediatas sem se preocupar em como a mesma reagiria em longo prazo. Nos dias atuais, tem-se evidenciado com maior clareza uma profunda modificação ambiental que é indicada por mudanças no clima em escala global preocupantes, o que pode comprometer a qualidade de vida e até mesmo a permanência da espécie humana. Esta visão de que podíamos explorar a natureza sem nos preocuparmos com as consequências é obviamente fruto de uma percepção cartesiana que se fundamenta no determinismo, racionalismo e compartimentalização.

Até o final do século XIX a visão cartesiana<sup>1</sup> permeava as ciências naturais e influenciou grande parte dos cientistas da época, a sociedade e suas organizações. Como consequência dessa visão determinística de mundo, houve a fragmentação do conhecimento, na crença que se conhecendo as partes é possível se compreender o todo. Mas em nossos dias somos cautelosos e já não podemos afirmar que a soma das partes nós dá a legítima compreensão do todo, ou seja, se considerarmos um sistema natural<sup>2</sup>, dividir esse mesmo sistema em partes iguais, estudá-las separadamente, os resultados obtidos podem não ser os mesmos ao estudarmos esse sistema em sua totalidade. Maiores dificuldades ainda são enfrentadas ao considerarmos suas relações e interdependências a partir de um conjunto de variáveis.

Dentro do contexto das mudanças climáticas globais, existem muitas incertezas quanto aos impactos locais e não-locais das ações antrópicas nos ecossistemas. São relativamente poucos os estudos nessa área de pesquisa e por isso

---

<sup>1</sup> Entende-se aqui como visão cartesiana a ciência fundamentada nas concepções de Descartes e Isaac Newton.

<sup>2</sup> Define-se aqui como sistema natural todo o meio ambiente, o estudo dos biomas e ecossistemas em toda sua diversidade.

se faz necessário que mais pesquisadores, em toda parte do globo, desenvolvam pesquisas, nos mais diversificados ecossistemas.

Com as questões ambientais em pauta e com constantes divulgações de temas relacionados ao meio ambiente, pela mídia, a nossa situação-desafio é levar para a sociedade explicações e até mesmo possíveis soluções para os problemas aos quais estamos sendo expostos diariamente. É responsabilidade nossa (dos centros de conhecimentos, em especial as universidades) levar esses conhecimentos à sociedade.

O Estado de Mato Grosso é uma região particularmente marcada pela alteração dos seus ecossistemas pelo uso da terra de forma não planejada e não sustentável. Dentro dessa perspectiva, o PPGFA (Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental) entende que é importante levar aos alunos do Ensino Médio, a sociedade, alguns conceitos da disciplina Fundamentos da Teoria da Complexidade, que atualmente constituem um novo paradigma científico fundamentado no estudo dos sistemas abertos, ou seja, sistemas que se caracterizam por trocas permanentes de fluxo de energia, matéria e momento. A Física Ambiental deve estar incorporada no contexto escolar para promover a alfabetização científica como uma das partes essenciais do pleno exercício da cidadania na sociedade contemporânea, na tentativa de construir conceitos básicos, porém fundamentais, para compreensão dos problemas pertinentes ao meio ambiente, minimizando uma visão determinística e adotando uma visão sistêmica de mundo.

## **1.2. Justificativa**

Diante da temática das mudanças climáticas e da ação antrópica junto ao meio ambiente, entender fenômenos e conceitos emergentes da Ciência Complexidade como: dinâmica de sistemas abertos, fluxos, estados estacionários, interações entre biosfera e atmosfera, sensibilidade de condições iniciais, imprevisibilidade, dimensionalidade fractal, não-linearidade, acoplamento estrutural e endossimbiose, auto-organização, regimes, bifurcações, dentre outros, propicia uma visão sistêmica mais adequada e realista dos fenômenos envolvidos. Certamente é uma mudança de foco em relação a uma visão fragmentada da natureza, do homem e de suas relações. A Teoria da Complexidade (TC) é a ciência que trata desse campo

conceitual. Parte da premissa de que a diversidade de saberes, que se correlacionam, que “conversam entre si”, é fundamental para entender e propor soluções para os problemas que afetam o mundo contemporâneo. Surgida em meados da década de oitenta consolidou-se com a fundação do instituto de Santa-Fé, Novo México, EUA-fundado em 1982 por grandes personalidades da Ciência Contemporânea, dentre eles, três “Prêmios Nôbeis”: Murray Gell-Mann, Philip Anderson e Kenneth Arrow. No Brasil também temos grupos de cientistas que estão trabalhando com essa temática, um desses grupos é a COPEA (Coordenação de Programas de Estudos Avançados) que trabalha com ciclo de conferências sobre Complexidade e Caos. Fundada em 1994, a Coordenação de Programas de Estudos Avançados da UFRJ (COPEA) é subordinada ao Reitor da UFRJ e sua sede é o Fórum de Ciência e Cultura.

O objetivo geral do trabalho é averiguar a viabilidade e as dificuldades no processo de ensino-aprendizagem de alguns tópicos da TC no ensino médio. Partimos da hipótese que o conhecimento relativo a tópicos da TC são importantes na formação de cidadãos críticos, reflexivos e autônomos para tomar decisões pertinentes às problemáticas que surgirão ao longo da sua vida.

Para atingirmos esse objetivo foi traçado um plano de ação cujos objetivos específicos são: planejar e executar um mini curso voltado aos alunos do ensino médio, na área de ciências naturais, a luz da TAS; elencar tópicos essenciais da TC que possam ser abordados no nível médio; apresentar aos alunos estratégias facilitadoras da aprendizagem através da TAS.

Esta pesquisa é de natureza qualitativa e descritiva com nuances de pesquisa-ação.

Dessa forma, pretendemos contribuir com a formação e qualificação dos alunos, levando até eles o que há de mais atual em termos de conhecimento produzido pela Ciência.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica pertinente ao estudo, discorrendo sobre as bases científicas que permitirem desenvolver a pesquisa realizada, buscando esclarecer os conceitos envolvidos. Buscamos oferecer um panorama acerca da TC, Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC), que formam o arcabouço desse trabalho. Será apresentada ainda, uma análise do estado da arte, elencando os trabalhos de pesquisa que mais se aproximam dessa proposta. Para tanto, consultamos a partir de 2000 até 2009, os periódicos CAPES, as dissertações de Miguel Jorge Neto (2009) e Mirele Sousa Soares, além da tese de doutorado de Iramaia Jorge Cabral de Paulo (2006).

### **2.1. A Teoria da Complexidade**

Podemos afirmar que o principal objetivo da ciência é compreender e descrever o mundo que habitamos. Os desdobramentos desse objetivo têm nos levado a incursões pelos microcosmos e macrocosmos que, na medida em que se revelam, nos trazem novos e instigantes problemas, desafiando a compreensão e provocando uma necessidade de solução, de superação. Alguns desafios contemporâneos como as mudanças climáticas, a variabilidade do comportamento da economia, o surgimento e desaparecimento de novas configurações sociais, o funcionamento do sistema imunológico, a plasticidade cerebral, e evolução ou extinção de espécies vêm sendo abordados através de uma nova proposta que se configura como um novo paradigma: a teoria dos sistemas complexos ou simplesmente, teoria da complexidade. Além da dificuldade inerente, esses desafios têm características comuns? Qual o grau de generalidade permitido? Como caracterizar um sistema complexo? Além disso, construir uma abordagem analítica dos sistemas complexos é um desafio para os estudiosos.

A Teoria da Complexidade tem seu marco inicial no final do século passado, a maioria dos estudos data do final da década de 70, mas se consolida como ciência

com Ilya Prigogine, prêmio Nobel de Química de 1977, que emprega o termo “Complexidade”, como científico. Prigogine estabeleceu os princípios gerais dos sistemas fora do equilíbrio. (WALDROP, 1992).

Para Ilya Prigogine e Grégoire Nicolis, a complexidade é encontrada em diversos contextos e tem a ver com a própria manifestação da vida. Logo, a busca de soluções para e desafios que ora se apresentam requer uma abordagem que necessariamente passa pelas intrincadas relações pertinentes a vida.

**“Complexidade é uma idéia que parte de nossa experiência cotidiana. Nós a encontramos em diversos contextos ao longo de nossas vidas, mas mais comumente temos a sensação de que a complexidade é de alguma forma relacionada com as diversas manifestações da vida.”**  
(NICOLIS e PRIGOGINE, 1998, p.6).

### **2.1.1 O pensamento sistêmico**

Não se pode falar em teoria da complexidade sem a concepção do pensamento sistêmico que surge como uma teoria ainda embrionária em meados do século XX, com o advento da Física Contemporânea - mais especificamente a Mecânica Quântica e a Teoria da Relatividade, que revolucionam os conceitos físicos, fortemente alicerçados na mecânica newtoniana eminentemente determinista.

Thomas Kuhn em sua obra, Teoria das Revoluções Científicas fala que, no curso da história humana, os paradigmas são alternados e reformulados, o que constitui o próprio desenvolvimento científico<sup>3</sup>. Hoje podemos citar como principais paradigmas dentro da Física: a Física Newtoniana que dominou de 1700 a 1900, a Teoria da Relatividade, a Física Quântica que surgiram nas primeiras décadas do século XX e Teoria da Complexidade que nasce a partir da década de setenta.

---

<sup>3</sup> Fundamentos epistemológicos da contemporaneidade: Thomas Khun e Gaston Bachelard/Iramaia Jorge Cabral de Paulo, Irene Cristina de Mello. – Cuiabá: UAB/UFMT, 2009.

Segundo Capra (1996), na mudança do pensamento mecanicista para o pensamento sistêmico, a relação entre as partes e o todo foi invertida. A ciência cartesiana acreditava que em qualquer sistema complexo o comportamento do todo podia ser analisado em termos das propriedades de suas partes. Mas, a ciência sistêmica mostra que os sistemas vivos não podem ser compreendidos por meio da análise fragmentada. As propriedades das partes não são propriedades intrínsecas, mas só podem ser entendidas dentro do contexto do todo maior.

No início do século XX, os físicos assistiram a “queda” da Física Newtoniana e o nascimento do paradigma relativístico. Nos séculos XVI e XVII, a visão de mundo medieval, baseada na filosofia aristotélica e na teologia cristã, foi substituída pela noção do mundo como uma máquina. Essas mudanças foram proporcionadas pela Revolução Científica, que teve como grandes mentores Copérnico, Galileu, Descartes, Bacon e Newton, (CAPRA, 1996).

A ciência moderna começou no final do século XVI com Galilei (1564–1642) por volta de 1610, seus experimentos e o uso da linguagem matemática para formular as leis da natureza, consolidam o método científico com ênfase na experimentação, onde a medição tem papel fundamental.

René Descartes (1596 – 1650), com o pensamento analítico, proporciona uma visão compartimentalizada e fragmentada da ciência consolidando um modelo de universo funcionando como um relógio que pode ser entendido se compreendermos cada uma de suas partes. A análise lógica, isenta e experimental constitui as bases de seu novo método científico. Também foi ele o grande responsável por mesclar a álgebra e a geometria resultando em um RAM específico da matemática: a geometria analítica.

No século XVII, Isaac Newton (1643-1727), usou o cálculo infinitesimal para descrever todos os movimentos possíveis de corpos sólidos em termos de um conjunto de equações diferenciais: “as equações do movimento de Newton, como ficaram conhecidas (ALMEIDA, 2005)”.

Newton nos trouxe o determinismo, no qual fenômenos são entendidos a partir de causa e efeito, isto é, prevemos o futuro e voltamos ao passado com as equações Newtonianas. Com o sucesso das equações de Newton, o mundo era uma máquina perfeita, previsível, sem indeterminação, e o tempo, absoluto. A visão

mecanicista de Newton e Descartes permeou todas as áreas do conhecimento e afetou todo pensamento da sociedade em seus diversos segmentos, um mundo governado por leis físicas e matemáticas exatas.

Assim, nesse contexto, a ciência tem como fundamentos os pressupostos racionalistas de René Descartes, para a qual os fenômenos naturais podem ser compreendidos racionalmente, e na dinâmica determinista de Isaac Newton, com os sistemas sendo descritos isoladamente, tendo como metodologia os estudos feitos em laboratório, mantendo diversas variáveis sob controle (o método científico). Os sistemas que têm as variáveis sob controle são os chamados sistemas isolados, ou seja, sistemas em equilíbrio e que têm como característica a previsibilidade, a causalidade e seu comportamento descrito por leis determinísticas. (PAULO, 2002).

Existiram vários movimentos anti-cartesianos dentro das diversas áreas de conhecimento. Uma das primeiras e mais evidentes oposições ao determinismo data dos séculos XVIII – XIX com o chamado Romantismo que começa a se manifestar dando ênfase aos aspectos humanos ligados aos sentimentos, o homem na óptica romântica é movido pela paixão, pelo querer. É de William Blake (1757-1827), poeta e pintor inglês a frase que pode caracterizar este movimento:

“Deus possa nos proteger da visão única e do sono de Newton.”  
(CAPRA,1996).

Mecânica Quântica se estabeleceu como um importante tópico da Física a partir da primeira metade do século XX. Em resumo, podemos dizer que a Mecânica Quântica, descreve os fenômenos relacionados ao mundo atômico, que eram desconhecidos até o século XX. A observação do mundo microscópico mostrou que interação entre sujeito e objeto interfere na medida a que estamos estudando, é legítimo que o mundo microscópico, segundo a interpretação de Copenhague se torna imprevisível e a incerteza uma das peças fundamentais do universo. Assim a Mecânica Quântica descreve os sistemas à luz da probabilidade.

Existem diversas interpretações da Mecânica Quântica, mas nos referimos aqui a interpretação de Copenhague pela sua consistência conceitual e por que nela está enfatizado o papel do observador no processo de obtenção de medidas e interação com outros sistemas. É a interpretação que mais enfatiza a relação sujeito/objeto.

**“...os dados obtidos em diferentes condições experimentais não podem ser compreendidos dentro de um quadro único, mas devem ser considerados complementares, no sentido de que só a totalidade dos fenômenos esgota as informações possíveis sobre os objetos.” (BOHR, 2000)**

Assim sendo, a interpretação de Copenhague pode despertar e levar a discussão do papel de nossas ações e nossa consciência no mundo que nos cerca. (PAULO, 2006).

Na arte moderna, Jackson Pollock (1912-1956) foi um dos destaques, desenvolveu uma técnica de pintura, criada por Max Ernst, o ‘dripping’ (gotejamento), na qual respingava a tinta sobre suas imensas telas, formando padrões comparados a configurações encontradas na natureza. Várias áreas do conhecimento começam a perceber que tanto as relações humanas como os fenômenos da natureza se constituíam em sistemas abertos não sendo possível estudar suas partes separadamente. Assim começa a nascer o pensamento sistêmico.

A Biologia foi uma das primeiras áreas a olhar a natureza com uma perspectiva sistêmica. Uma abordagem recente a Teoria da Endossimbiose Sequencial (SET) da pesquisadora Lynn Margulis, advoga que a evolução não depende somente da adaptação da espécie ao meio, mas que também os seres vivos modificam o meio no processo. Darwin já havia introduzido a aleatoriedade na biologia com seu trabalho baseado na hipótese que na reprodução, a progênie não nasce com as mesmas características dos pais, mas com pequenas variações que são produzidas aleatoriamente, o que esquia de uma perspectiva determinista. (MARGULIS, 2002).

### **2.1.2 Sistemas Complexos**

A caracterização dos sistemas complexos, enquanto objetos de estudo da TC ainda passa por um processo de construção. Segundo Moisés Nussenzweig, em seu

livro Complexidade e Caos, os sistemas complexos também podem ser chamados de adaptativos e apresentam as seguintes características:

1. Dinamicidade: está em constante evolução, formando várias unidades;
2. Interatividade: uma vez que cada unidade interage com seus pares, ou seja, com unidades do próprio sistema;
3. Aberto: interage com o meio ambiente;
4. Frustração: leva-se em conta que os sinais recebidos por seus pares, ou pelo meio ambiente, podem ser contraditórios, ou em intensidades bastante variáveis, a resposta poderá frustrar algumas entradas;
5. Aprendizagem: uma vez que a arquitetura básica do sistema vai mudando, a medida que evolui e interage com o ambiente;
6. Aleatoriedade: algumas características do sistema são distribuídas ao acaso – podem depender das flutuações do meio (não previsíveis)
7. Ordem emergente: de maneira espontânea, o sistema é capaz de se auto-organizar;
8. Hierarquia: quando um sinal, ou qualquer estímulo o atinge em determinada parte, o mesmo é tratado em níveis diferentes dependendo do grau de interação ou importância para o sistema;
9. Atratores: é uma situação ou um estado em para o qual os sistemas dinâmicos tendem a se estabilizar;
10. Histerese: o sistema pode manter sua estabilidade por algum tempo, numa certa “paisagem”, dependendo criticamente da sua história anterior;
11. Propriedades coletivas emergentes: são propriedades ou características qualitativamente novas que surgem a partir da multiplicidade de interações entre suas unidades, que por sua vez competem ou cooperam entre si.

12. Estrutura fractal: em geral, são geometricamente fractais, ou seja, apresentam dimensionalidade fracionária.

Nos sistemas abertos há um fluxo contínuo de matéria através de um organismo vivo, embora sua forma seja mantida. Diferentemente dos sistemas fechados, que se estabelecem num estado de equilíbrio térmico, os sistemas abertos se mantêm afastados do equilíbrio num “estado estacionário” caracterizado por fluxo e mudança contínuos.

Bertalanffy reconheceu claramente que a termodinâmica clássica, que lida com sistemas no equilíbrio ou próximos dele, não é apropriada para descrever sistemas abertos em estados estacionários afastados do equilíbrio. Ele postou que a ciência clássica teria de ser complementada por uma nova termodinâmica de sistemas abertos (CAPRA, 1996).

O ponto de partida da complexidade enquanto ciência é o estudo de sistemas fora do equilíbrio. “Os princípios gerais de uma “Termodinâmica do Não-Equilíbrio” foram estabelecidos por Ilya Prigogine (PRIGOGINE, 1996; NICOLIS & PRIGOGINE, 1989), Prêmio Nobel de 1977, o qual consolidou” complexidade” como um termo científico.

**“Para Prigogine as escolhas, as possibilidades, as incertezas, são ao mesmo tempo uma propriedade do universo e próprias da existência humana. Elas abrem novas perspectivas para as ciências e uma nova racionalidade, aonde verdade científica não é mais sinônimo de certo ou determinado e aonde o incerto e o indeterminado não estão baseados na ignorância, no desconhecimento. Assinala que a marca do nosso tempo é uma ciência em que o ser e a estabilidade deram passagem para a evolução e mudança.” (MASSONI, 2008).**

Com as pesquisas acerca de diversos fenômenos complexos, surgiram vários novos conceitos, tais como atratores, auto-similaridade, bifurcação, caos, parâmetro de controle e auto-organização. Prigogine advoga que, não causalidade, não determinismo, a não-localidade, são conceitos também aplicáveis ao mundo

macroscópico, podemos afirmar que os fenômenos complexos, assim como os estudos no mundo microscópico da mecânica quântica não são previsíveis e sim probabilísticos.

**“A Complexidade enquanto ciência estuda sistemas fora de equilíbrio, propondo-se a responder questões referentes a fenômenos não lineares e casos reais, não idealizados. Fenômenos tais como os sistemas vivos, o clima da terra, a cotidiano das pessoas não podem ser descritos em termos da ciência cartesiana. Os sistemas vivos são sistemas abertos, que trocam continuamente energia com o meio ambiente e, portanto, não se encontram em equilíbrio termodinâmico, mas apresentam estabilidade.” (PAULO, 2002).**

### **2.1.3 Acoplamento estrutural**

A interação entre os seres vivos, biosfera, geosfera, hidrosfera e atmosfera da Terra é um fenômeno complexo, cujos processos podem ser descritos em termos da Teoria da Complexidade. Pesquisas recentes como da pesquisadora Lynn Margulis tem mostrado que a evolução das espécies obedece a processos de auto-organização e auto-regulação. Enquanto Darwin vê na natureza o adaptacionismo e competição em seus estudos realizados, Lynn Margulis defende a cooperação, embasada nos seus estudos da sua Teoria da Endossimbiose Sequencial (SET), levando-nos ao conceito de Acoplamento Estrutural.

Para Margullis (2001), residimos em um planeta simbiótico. As células eucariontes que compõem todos os organismos pluricelulares, parecem ser resultado da fusão de diversos organismos, algumas dessas fusões ocorreram e entre 1500 - 700 milhões de anos, quando um grande procarionte ou quem sabe um primitivo eucarionte fagocitou um pequeno procarionte. O organismo grande e o pequeno entraram em uma simbiose na qual ambos se beneficiaram. A partir de então, formas de vida cada vez mais complexas se estabeleceram no planeta e estabeleceram, a partir de suas necessidades de continuidade estabeleceram uma grande diversidade

de relações. Seres vivos sentem fome, se alimentam, emitem sons, se reproduzem sexuada ou asexuadamente, cantam, dançam, brigam, lutam... Mas é a simbios que possibilita a inovação, a permanência de determinadas espécies de indivíduos em detrimento de outras. A simbiogênese agrupa indivíduos diferentes para formar seres maiores, mais complexos.

**“As formas de vida simbiogênicas são ainda mais diferentes que seus “país” dessemelhantes. Indivíduos estão sempre se fundindo e regulando sua produção. Eles geram novas populações que se tornam novos indivíduos simbiótico compostos por múltiplas unidades. Estes se tornam novos indivíduos em níveis maiores e mais abrangentes de integração. A simbiose não é um fenómeno limitado ou raro. Ela é natural e comum. Residimos num mundo simbiótico.” (MARGULIS, 2001).**

De alguma forma, os sistemas vivos interagem entre si e com o meio em que se inserem ou são inseridos, são interdependentes e estruturalmente dinâmicos. Por sua vez, a dinamicidade estrutural depende das características espaço-temporais.

É justamente a compatibilidade entre o indivíduo e a estrutura do meio, perturbando-se mutuamente, desencadeando alternâncias, mudanças, mas de maneira não destrutiva que se denomina acoplamento estrutural (MATURANA e VARELA, 2001).

Segundo Maturana e Varela (2001) o acoplamento estrutural com o meio é uma condição de existência, abrange todas as dimensões das interações celulares e, portanto, também as que têm a ver com outras células. As células dos sistemas multicelulares normalmente existem em estreita junção com outras células, como meio de realização de sua autopoiese. Sistemas autopoieticos<sup>4</sup> são sistemas que continuamente especificam e produzem sua própria organização através da produção de seus próprios componentes. Tais sistemas são o resultado da deriva natural de

---

<sup>4</sup> Fundamentos epistemológicos de Humberto Maturana e Stephen Toulmin./Iramaia Jorge Cabral de Paulo; Marco Antônio Moreira. Cuiabá: UAB/UFMT, 2010.

linhagens nas quais se manteve essa junção. O acoplamento estrutural entre essas células leva uma junção tão íntima que elas acabam se fundindo levando a formação de um único corpo.

A complexidade aparece quando o grau de interação entre os vários componentes do sistema é suficientemente alto para que a análise dos sistemas em subsistemas não faça mais sentido (ALMEIDA, 2005).

Segundo Maturana e Varela (2001), se simplesmente supomos que há um mundo que é objetivo e fixo, não será possível entender como funciona qualquer sistema em sua dinâmica estrutural, pois ele exige que o meio especifique seu funcionamento. Mas se não afirmamos a objetividade do mundo, parece que estamos dizendo que tudo é pura relatividade, que tudo é possível na negação de toda e qualquer legalidade. Vemo-nos então, diante do problema de entender como nossa experiência está acoplada a um mundo que vivenciamos como contendo regularidades que resultam de nossa história biológica e social. Ainda ressaltam que todo mecanismo na geração de nós mesmos – como descritores e observadores – nos garante e nos explica que nosso mundo, bem como o mundo que produzimos em nosso ser com os outros, será precisamente uma mistura de regularidades e mutabilidade, essa combinação de solidez e areias movediças que é tão típica da experiência humana quando a olhamos de perto.

#### **2.1.4 Geometria Fractal**

Estamos acostumados a descrever o mundo a partir de formas geométricas euclidianas. Aprendemos na escola e na vida que nosso corpo e tudo o que tem altura, largura e comprimento (ou qualquer outra nomenclatura que designa três medidas lineares para descrever o objeto) é tridimensional. Assim como a descrição da medida de uma área ou superfície, é bidimensional e de uma linha é unidimensional. Contudo, nada na natureza é absolutamente tridimensional, cada forma naturalmente apresenta um desenho intrincado com orifícios, saliências, reentrâncias, sinuosidades

e inúmeras irregularidades estruturais. Assim, qual é a forma geométrica e melhor descreve da natureza ?

Na década de 30 o trabalho de Kurt Goedel demonstrou que a matemática, tida como a mais exata das ciências, não pode ser considerada como absolutamente coerente e os conjuntos de teoremas até então desenvolvidos não estavam livres de falhas lógicas, diz ainda que, tal descoberta minimizou a perspectiva de que a matemática poderia oferecer um sistema exato e determinista para a ciência. A partir de então, esta área do conhecimento evoluiu incorporando novas linhas de investigação com uma visão mais probabilística do que exata, tais como a geometria fractal, o estudo das equações diferenciais não lineares e lógica fuzzy.(JORGE NETO, 2009).

A geometria fractal trata dos conjuntos ou estruturas fractais. Os fractais são conjuntos cuja forma é extremamente irregular ou fragmentada e que têm essencialmente a mesma estrutura em todas as escalas. A origem do termo fractal, introduzido por Mandelbrot, está no radical fractus, proveniente do verbo latino frangere, que quer dizer quebrar, produzir pedaços irregulares; vem da mesma raiz fragmentar em português (MOREIRA,2008).

As principais propriedades que caracterizam e que permitem definir os conjuntos fractais são a auto-similaridade, que pode ser exata ou estatística, ou seja, o sistema é invariante mantendo a mesma forma e estrutura sob uma transformação de escala (que produz ou amplia o objeto ou parte dele); a extrema irregularidade no sentido de rugosidade ou fragmentação; possuir em geral, uma dimensão fractal não inteira. A dimensão fractal quantifica, de certo modo, o grau de irregularidade ou fragmentação do conjunto considerado. Os fractais são conjuntos definidos por certas propriedades matemáticas e, portanto, têm legitimidade como um conceito matemático coerentemente definido e correlacionado com outros.

**Notam-se muitas estruturas ou processos naturais com propriedades similares às dos fractais, em particular a simetria de escala, e que podem, no entanto ser descritos por eles, pelo menos em determinados domínios (MOREIRA, 2008).**

A Complexidade como novo paradigma embora jovem, tem se mostrado importante em diversas áreas de conhecimento. Fiedler-Ferrara e Hoffmann (2003), defendem que abordagens complexas em Física, Educação, Química, Linguística, Economia, Artes, Sociologia, e muitas outras áreas, tem possibilitado a essas disciplinas alargarem seus domínios tradicionais na direção de estudos com caráter multidisciplinar e interdisciplinar contribuindo para o enfoque em diversos tópicos tais como: origem da vida, a evolução das espécies, o fundamento do sistema imunológico e do sistema nervoso central, violência urbana, dinâmica de mercado de bolsas de valores, mercado de consumo entre outros exemplos.

### **2.1.5 Aprendizagem Significativa:**

A aprendizagem significativa tem sido largamente utilizada como fundamento teórico e metodológico em situações de ensino. Caracteriza-se fundamentalmente pelo princípio de que o fator mais relevante no episódio de ensino é aquilo que o aluno já sabe. Esse processo é não-litera e não-arbitrário, o novo conhecimento adquire significados para o aprendiz e o conhecimento-prévio fica mais rico, diferenciado e elaborado em termos de significados, e adquire estabilidade. (Moreira e Masini, 1982; Moreira, 1999, 2000).

Na aprendizagem significativa, o aprendiz não é um receptor passivo. Ele faz uso dos significados que já internalizou de maneira substantiva e não arbitrária, para poder captar os significados dos materiais educativos. Nesse processo, ao mesmo tempo em que está progressivamente diferenciando sua estrutura cognitiva, está também fazendo a reconciliação integradora de modo a identificar semelhanças e diferenças e reorganizar seu conhecimento. Devemos destacar algumas premissas da aprendizagem significativa:

**Diferenciação progressiva** é o princípio programático segundo o qual as ideias mais gerais e inclusivas da matéria de ensino devem ser apresentadas desde o início da instrução e, progressivamente, diferenciadas em termos de detalhes e especificidade. Não se trata de um enfoque dedutivo, mas sim de uma abordagem na

qual o que é mais relevante deve ser introduzido desde o início e, logo em seguida, trabalhado através de exemplos, situações, exercícios. As idéias gerais e inclusivas devem ser retomadas periodicamente favorecendo assim sua progressiva diferenciação. É um princípio compatível com a progressividade da aprendizagem significativa.

Por outro lado, a programação da matéria de ensino deve não apenas proporcionar a diferenciação progressiva, mas também explorar, explicitamente, relações entre conceitos e proposições, chamar a atenção para diferenças e semelhanças e reconciliar inconsistências reais e aparentes. É nisso que consiste a **reconciliação integradora**, ou integrativa, como princípio programático de um ensino que visa à aprendizagem significativa.

**A organização sequencial**, como princípio a ser observado na programação do conteúdo com fins instrucionais, consiste em seqüenciar os tópicos, ou unidades de estudo, de maneira tão coerente quando possível (observados os princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa) com as relações de dependência naturalmente existentes entre eles na matéria de ensino.

**A consolidação** como quarto princípio programático de um ensino objetivando a aprendizagem significativa leva a insistir no domínio (respeitada à progressividade da aprendizagem significativa) do que está sendo estudado antes de introduzirem-se novos conhecimentos. É uma decorrência natural da premissa de que o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem subsequente.

**Organizadores prévios** são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si mesmo, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, para servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria saber para que esse material fosse potencialmente significativo ou, mais importante, para mostrar a relacionabilidade do novo conhecimento com o conhecimento prévio.

### **2.1.6. Aprendizagem Significativa Crítica**

A aprendizagem significativa crítica é uma extensão da TAS que potencializa a aplicação da mesma em sala de aula porque seu foco principal é o aluno como preceptor e representador do mundo, parte de uma cultura em geral consolidada socialmente. É através dessa aprendizagem que ele poderá lidar construtivamente com a mudança sem deixar-se dominar por ela, manejar a informação sem sentir-se impotente frente a sua grande disponibilidade e velocidade de fluxo, usufruir e desenvolver a tecnologia sem tornar-se tecnófilo. Por meio dela, poderá trabalhar com a incerteza, a relatividade, a não-causalidade, a probabilidade, a não-dicotomização das diferenças, com a idéia de que o conhecimento é construção (ou invenção) nossa que apenas representamos o mundo e nunca o captamos diretamente. Com embasamento em Postman e Weingartner (1969), Moreira (2005), propõe onze princípios que permitem ao indivíduo construir significados com criticidade. Esses princípios são; contudo relevantes na medida em que o professor os considera para a escolha de metodologia de ensino, material didático, enfim na sua postura de profissional que ensina-aprende. Abaixo destacamos os onze princípios:

**1. Princípio do conhecimento prévio. Aprendemos a partir do que já sabemos.**

Para ser crítico de algum conhecimento, algum enunciado, primeiramente o sujeito tem que aprendê-lo significativamente e, para isso, seu conhecimento prévio é, isoladamente, a variável mais importante.

**2. Princípio da interação social e do questionamento. Ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas.**

Aprender e ensinar com perguntas. “Uma vez que se aprende a formular perguntas -- relevantes, apropriadas e substantivas -- aprende-se a aprender e ninguém mais pode impedir-nos de aprendermos o que quisermos”.

**3. Princípio da não centralidade do livro de texto. Do uso de documentos, artigos e outros materiais educativos. Da diversidade de materiais instrucionais.**

Promover a aprendizagem utilizando-se de diversos materiais didáticos, como artigos científicos, contos, poesias, crônicas, relatos, obras de arte entre outros.

**4. Princípio do aprendiz como preceptor/representador.** É um processo dinâmico de interação, diferenciação e integração entre conhecimentos novos e pré-existentes,

na qual aprendemos ao mesmo tempo em que somos perceptores e representantes do mundo. A ideia de percepção/ representação nos traz a noção de que o que “vemos” é produto do que acreditamos” estar lá no mundo”. Vemos as coisas não como elas são, mas como nós somos. Sempre que dissermos que uma coisa “é”, ela não é. Em termos de ensino, isso significa que o professor estará sempre lidando com as percepções dos alunos em dado momento. Cada aluno já traz uma percepção prévia e que cada um perceberá de maneira única o que for ensinado. (MOREIRA, 2005).

**5. Princípio do conhecimento como linguagem.** A linguagem está totalmente conexa em qualquer e em todas nossas tentativas de perceber a realidade. Cada linguagem, tanto em termos de seu léxico como de sua estrutura, representa uma maneira singular de perceber a realidade. Praticamente tudo que chamamos de “conhecimento” é linguagem. Isso significa que a chave da compreensão de um “conhecimento”, ou de um “conteúdo” é conhecer sua linguagem (MOREIRA, 2005).

**6. Princípio da consciência semântica.** Implica na tomada de consciência de que o significado está nas pessoas, não nas palavras. Sejam quais forem os significados que tenham as palavras, eles foram atribuídos a elas pelas pessoas. Contudo, as pessoas não podem dar às palavras significados que estejam além de sua experiência.

**7. Princípio da aprendizagem pelo erro.** O homem aprende corrigindo seus erros. O conhecimento humano é limitado e construído através da superação do erro.

**8. Princípio da desaprendizagem.** Para aprender de maneira significativa, é fundamental que percebamos a relação entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento. Porém, na medida em que o conhecimento prévio nos impede de captar os significados do novo conhecimento, estamos diante da necessidade da desaprendizagem.

**9. Princípio da incerteza do conhecimento.** Aprender que as definições são invenções, ou criações, humanas, que tudo o que sabemos tem origem em perguntas e que todo conhecimento é metafórico.

**10. . Princípio da não utilização do quadro-de-giz. Da participação ativa do**

**aluno. Da diversidade de estratégias de ensino.** Este princípio é complementar ao segundo, e remete que a aprendizagem deve ser pensada a partir de diversas estratégias de ensino.

**11. Princípio do abandono da narrativa. De deixar o aluno falar.** Este princípio é complementar ao da não utilização do quadro-de-giz que, por sua vez, é complementar ao da não centralidade do livro de texto. Deixar que o aluno interpretasse o que está no livro texto e externalize sua interpretação aos colegas e professores.

O grande desafio dos professores de nível médio talvez seja esse: criar condições para que os alunos contextualizem os conceitos construídos e assimilados no contexto educativo (mais particularmente a sala de aula) com os fenômenos da natureza.

A seguir serão apresentada as pesquisas publicadas em forma de artigos científicos, dissertações e teses, que de alguma forma subsidiam este trabalho.

## **2.2. A Teoria da Complexidade e o Ensino**

Segundo os PCNs<sup>+</sup> a presença do conhecimento de Física na escola ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCN. Trata-se de construir uma visão que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar da realidade. A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construído. Dentro dessa perspectiva pode tornar-se plausível a apresentação da TC nas aulas de Física no ensino médio, pois permite tanto o entendimento da relações e problemas da contemporaneidade.

Os estudos dos sistemas complexos levam-nos a resultados que permitem modelar e tentar explicar os sistemas abertos, tais como: o clima, ecossistemas,

organizações sociais, o ressurgimento de doenças endêmicas e muitos outros; apesar dos resultados obtidos não poderem ser previstos sem algum grau de incerteza calculável. (ALMEIDA,2005).

Segundo Jorge Neto (2009) aborda em sua dissertação, as disciplinas ciências naturais já trabalham há muito com os conceitos de sistemas, mas com muitas simplificações. Chamadas situações ideais, enfatizadas tanto nos livros didáticos como em sala de aula pelo próprio professor. Isso contribui para que o ensino das disciplinas Física, Química e Biologia e as demais áreas do conhecimento dedicadas a decodificar a natureza e as sociedades se mostrem pouco familiares aos alunos nos diferentes níveis escolares.

O autor fez em sua dissertação uma pesquisa que analisa a possibilidade de ensino da TC na educação básica. A experiência foi realizada em uma escola grande da rede particular de Cuiabá-MT conceituada pela forma de ensino. A escola foi escolhida porque professores tinham uma intensa formação acerca da elaboração de mapas conceituais uma das ferramentas necessária a pesquisa. Foi trabalhado com professores da educação básica um curso de extensão em que elencavam tópicos da TC relacionados a Física Ambiental tais como: origem e evolução histórica da TC, Regimes da Natureza, Equação Logística dentre outros conceitos estudados pela TC.

O pesquisador, para a implementação do curso, elaborou um material didático que adaptou os tópicos relacionados ao contexto da Educação Básica, com enfoque no ensino das ciência naturais e matemática. Esse material integrava apresentações multimídia, filmes e imagens que sintetizavam os conceitos e propiciavam as discussões dos temas. Todas as ações pautadas na Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica.

O autor conclui que havia disponibilidade por parte dos professores para apresentar os conceitos abordados no curso, em suas disciplinas e sugere que em pesquisas futuras sejam investigados quais conteúdos dos componentes curriculares são mais propícios à introdução desses conhecimentos na educação básica, bem como que novas investigações sejam realizadas com os alunos. Esse trabalho se mostrou o mais próximo da nossa pesquisa.

**“A complexidade tem se instaurado na pesquisa científica e por isso é necessária uma reflexão sobre o retorno dessas pesquisas para a sociedade e se a mesma se encontra preparada para absorver esses resultados e agir de forma crítica. O meio natural para que se estabeleça esta relação é o de uma educação científica-ambiental que incorpore os conceitos da Teoria da Complexidade.” (JORGE NETO, 2009).**

Em se tratando da Física Contemporânea, apesar de sua importância para compreender diversos tópicos dentro das mais diversas áreas do conhecimento, não tem se mostrado presente dentro da sala de aula, nem mesmo dentro da maioria dos centros universitários. Tópicos de ciência contemporânea estão praticamente ausentes nos cursos relacionados às ciências naturais. Apesar dos conteúdos em algumas vezes estarem nos livros textos, eles são poucos explorados pelo professor. Os artigos periódicos que trabalham com temas de ciência, são também raramente utilizados em sala de aula. (Fiedler-Ferrara e Hoffmann 2003).

Uema e Fiedler-Ferrara (2002) advogam que os conceitos relacionados a Física Moderna e Contemporânea fazem parte do cotidiano atual e fornecem elementos para o desenvolvimento industrializado, informatizado e complexo em que vivemos, a física uma vez apresentada como uma construção humana, não deve ser ensinada somente à luz dos estudos anteriores ao século XX, mas sim historitzada, o que significa na medida do possível, aproximá-la do contemporâneo. Além disso, a educação de um modo geral, deve promover a “inteligência geral” capaz de referir-se ao complexo (etimologicamente, aquilo que é tecido junto), à contextualização de forma multidimensional e numa perspectiva globalizada. De fato a Física Contemporânea, pode possibilitar ao aluno entrar em contato com a dimensão social e histórica da Física, evidenciando-se como uma construção humana “viva” e atual.

**Essa “percepção do saber físico como construção humana constitui-se condição necessária, mesmo que não suficiente, para que se promova a consciência de uma responsabilidade social e ética.”(BRASIL,1999).**

MORALLES et al (2001) apresenta algumas reflexões sobre uma experiência educacional que alguns anos atrás, Marcelo A.F.Gomes, da Universidade Federal de Pernambuco, apresentou no American Journal of Physics uma atividade interessante que envolve o estudo de propriedade fractais em bolas de papel amassado. Esta atividade tem sido empregada já há alguns anos, com sucesso, no laboratório didático do Instituto de Física da USP (IFUSP). Ela é aplicada como terceiro experimento, dentro de uma série destinada a salientar flutuações em medições para ingressantes nos cursos de bacharelado de Física, Geofísica e Meteorologia (Física Experimental 1). É uma experiência de laboratório que possibilita a discussão e conceitualização de objetos com estrutura fractal, tendo em vista sua utilização em experiências motivadoras no laboratório didático.

Os autores argumentam que a motivação que determinada tarefa possa despertar nos estudantes é indiscutivelmente uma componente importante no processo de ensino-aprendizagem. Decorre daí que temas de maior evidência na mídia podem ser explorados com vantagem em atividades didáticas, sempre que isso esteja em acordo com os objetivos gerais colocados no curso e um tema em relativa evidência nos últimos anos se refere a estruturas fractais que é um dos tópicos trabalhados dentro da TC.

Para Moreira (2010) a motivação é um fator fundamental no processo de aprendizagem, o autor faz em seu artigo indagações como: Como provocar a motivação? Muito mais do que a motivação o que está em jogo é a relevância do novo conhecimento para o aluno. Como levá-lo a perceber a perceber como relevante o conhecimento que queremos que construa?

Soares (2009) apresenta em sua dissertação e discute um artigo de Calvacante (1999) que analisa os fatores que influenciam o ensino de Física Moderna no ensino médio de forma a possibilitar ao estudante o pleno exercício da cidadania, que também pode nos ajudar na discussão para a inserção da TC.

Segundo Soares (2009) o primeiro questionamento feito pela autora é “como agir sem o conhecimento da realidade que nos rodeia?”. Segundo ela o exercício da cidadania é baseado no conhecimento das atuais formas de linguagem e no domínio dos princípios científicos e tecnológicos que agem na produção moderna, assim

sendo, não podemos ignorar a necessidade de ensinar uma nova física. Sendo a função do ensino médio formar cidadãos conscientes e participantes da sociedade em que vive acredita-se imprescindível que os estudantes tenham contato com a física produzida a partir do século XX.

A autora não vê como o aluno poderá questionar a utilização do conhecimento produzido pela sociedade em que vive se não possuir acesso a ele. *“Dessa forma torna-se necessário que a escola ofereça ao estudante o conhecimento mínimo para que ele possa avaliar o uso de algumas tecnologias atuais do mundo na qual vive, de forma que possa decidir, conscientemente, o seu uso ou não”*.

Para Moreira (2010) Aprender uma nova linguagem implica novas possibilidades de percepção. A ciência é uma extensão, um refinamento, da habilidade humana de perceber o mundo. Aprender-la implica aprender sua linguagem e, em consequência, falar e pensar diferentemente sobre o mundo. Dentro dessa perspectiva que nos propomos tópicos relacionados à TC no ensino médio, assim como os tópicos de física moderna e contemporânea, a TC também trabalha conceitos essenciais para que o aluno tenha melhor percepção da sua realidade, que entenda o seu entorno e participe verdadeiramente da sociedade a qual esta inserido.

JORGE NETO (2009) nos recorda que algumas iniciativas têm surgido sob a égide de uma pedagogia da complexidade, por exemplo: Diniz & Tomazello (2005) e Guimarães (2007) cujo mentor é Edgar Morin (MORIN, 2000). Mas esses pesquisadores têm se distanciado das ciências naturais e, por conseguinte, dos princípios fundamentais da Teoria da Complexidade, o que rende críticas à profundidade da proposta.

As incursões da Teoria da Complexidade na educação básica se restringem a elaboração de materiais didáticos de apoio como CBPF (2005), artigos de periódicos de divulgação científica como Almeida (2005), dissertações como Jorge Neto (2009), e algumas ações focadas em questões específicas, como a atividade desenvolvida por Uema & Fiedler-Ferrara (2003), que exploram uma das características de sistemas caóticos com alunos de ensino médio.

Paulo (2002) nos mostra que a abordagem necessária exige uma mudança de postura com relação ao aprender, segundo os autores a ênfase não é mais a relação

causa-efeito, mas o processo (não é tão importante saber o porquê, mas o como). Não mais podemos compreender os processos dividindo-os por partes, seguindo um procedimento cartesiano, mas observando as múltiplas partes atuando conjuntamente.

Assim como os demais segmentos da sociedade a Educação sofreu forte influência das leis determinísticas que dominaram por séculos e ainda hoje lida com os resíduos desse pensamento filosófico. Dentro da perspectiva do ensino que chamamos de tradicional, onde o aluno é tido apenas como receptor do conhecimento, não sendo estimulado a questionar o que é transmitido pelo professor, mas apenas utilizando a memorização.

Na perspectiva Kuhniana (1962) a aceitação de um novo paradigma depende da ruptura com o paradigma vigente e isso só é possível porque crenças, modelos, conceitos e procedimentos anteriormente aceitos, são descartados e substituídos por outros. Não é fácil sair do conforto e da passividade de receber informações finalistas, pouco ou nada questionáveis. A ideia de que o mundo é construído por nós, num processo interativo, é um convite à participação ativa nessa construção e também um convite as responsabilidades que ela provoca. (PAULO e MELLO, 2009).

É importante destacar que as implicações educacionais dessa nova teoria são profundamente distintas daquelas proporcionadas pela interpretação usual da teoria darwiniana, por exemplo, que aborda a evolução a partir da competição entre as espécies. A TC pode trazer importantes contribuições para a educação em ciências, na medida em que vem trazer para os jovens, uma perspectiva de evoluir individualmente e coletivamente – através da cooperação. (PAULO et al, 2002).

Para Jorge Neto (2009) o interesse crescente por essa área do conhecimento se deve à necessidade de se lidar com objetos de estudo que têm características de sistemas abertos, particularmente relacionados com os problemas da sociedade atual, a economia globalizada, violência humana e o próprio meio ambiente que tem se mostrado altamente sensível e mutável frente à temporalidade e as ações antrópicas. Com as evidências de ocorrência de distúrbios climáticos em escala mundial, o

estudo do meio ambiente tem sido considerado particularmente importante pela comunidade científica.

São escassas as referências na literatura á inserção de tópicos da Teoria da Complexidade no ensino em qualquer nível. Os trabalhos mais sugestivos são na verdade, tentativas de associação entre complexidade e uma nova visão de mundo, fundamentados principalmente em Edgar Morin, algo que foge ao propósito desse trabalho. Procuramos nos fundamentar na literatura básica dos principais autores da Teoria da Complexidade e alguns artigos referentes ao ensino de tópicos de complexidade. Não podemos deixar de dizer que já existe uma possibilidade de extensão para outras literaturas como mostra o artigo entitulado abordagem sistêmica e complexidade na geografia de LIMBERGE (2006) mestranda em geografia pela Unesp. (JORGE NETO,2009).

Existem vários trabalhos referentes a física moderna e contemporânea, mas nenhum deles estuda a TC, entre eles podemos citar os trabalhos de GRECA E MOREIRA (2001) que aborda uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino de mecânica quântica, CAVALCANTE e TAVOLARO (2001) Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio, CAVALCANTE et al (2001) O uso da internet na compreensão de Física para o ensino médio, CATELLI e PEZZINI (2002) Laboratório caseiro: observando espectros luminosos – espectroscópio portátil, ABREL e CARVALHO (2005). A perspectiva de estudantes sobre a inserção da física moderna no ensino médio, LOBATO e GRECA (2005) Análise da inserção de conteúdos de teoria quântica nos currículos do ensino médio, MARQUES e CALUZI (2005) Contribuições da história da ciência no ensino de ciências: alternativa de inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio, OSTERMANN e MOREIRA (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física moderna e contemporânea no ensino médio”, SOARES (2009) Introdução de tópicos de física moderna e contemporânea no ensino médio por meio do estudo de ondas eletromagnéticas, dentro outros que não serão citados aqui.

Há fortes motivos para se inserir a Teoria da Complexidade no ensino médio, já que os conceitos desenvolvidos dentro dessa ciência fazem parte do cotidiano dos alunos, e eles estão constantemente sendo bombardeados pela mídia, pela escola, sobre temas acerca das mudanças climáticas, aquecimento global, sociedade, economia. Os conceitos pesquisados dentro da TC, não só lançam luz sobre esses temas, como também ajudam os alunos na compreensão do seu próprio papel dentro da sociedade, permitindo-lhes uma formação de cidadãos críticos, reflexivos e atuantes.

### **3. MATERIAS E MÉTODOS**

#### **3.1. Delineamentos Metodológicos**

A metodologia de pesquisa, empregada neste estudo, é sustentada por duas bases sendo uma metodológica e outra conceitual. É de caráter qualitativo, pois faz um estudo focado na descrição, análise e categorização das concepções dos alunos em relação aos tópicos da TC apresentados a eles durante o mini-curso, bem como do desafio de se trabalhar tópicos da TC no Ensino Médio. A pesquisa foi desenvolvida no contexto da sala de aula, respeitando o calendário escolar, a grade curricular, como também a carga horário do professor de Física, pois a pesquisadora não fazia parte do corpo docente das instituições escolares e dependia da carga horária das disciplinas relacionadas às ciências naturais.

A pesquisa de natureza qualitativa tem uma característica participativa, interpretativa e naturalista. A intenção da pesquisa qualitativa é chegar a uma interpretação dos significados que os aprendizes – sujeitos da investigação atribuem as suas ações e ao conhecimento adquirido. Só sendo possível a interpretação através da observação participativa do investigador que se insere no fenômeno de interesse. (PAULO, 2006).

Segundo Bordam e Biklen (1994), são cinco as características da investigação qualitativa:

1. Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal. Os investigadores introduzem-se e dispõem grande quantidade de tempo em escolas, famílias, bairros e outros locais tentando elucidar questões educativas.
2. A investigação qualitativa é descritiva. Os dados recolhidos são em forma de palavras ou imagens e não números. Os resultados escritos da investigação contêm citações feitas com base nos dados para ilustrar e substanciar a apresentação. Tentam analisar os dados em toda sua riqueza, respeitando, tanto quanto o possível, a forma em que estes foram registrados ou transcritos.

3. Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos. Como é que as pessoas negociam os significados? Como é que se começa a utilizar certos termos e rótulos? Como é que determinadas noções começaram a fazer parte daquilo que consideramos ser o “senso comum”? Qual a história natural da atividade ou acontecimentos que pretendemos estudar? Entre outros questionamentos. As estratégias qualitativas patentearam o modo como as expectativas se traduzem nas atividades, procedimentos e interações diárias.
4. Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma intuitiva. Não recolhem dados ou provas com o objetivo de confirmar ou infirmar hipóteses construídas previamente; ao invés disso, as abstrações são construídas na medida em que os dados particulares que foram recolhidos se vão agrupando.
5. O significado é de importância vital na abordagem qualitativa. Os investigadores que fazem uso deste tipo de abordagem estão interessados no modo como diferentes pessoas dão sentido às suas vidas. Centram-se em questões como: quais as conjecturas que as pessoas fazem sobre as suas vidas? O que consideram serem “dados adquiridos”? Os investigadores qualitativos fazem questão de se certificarem de que estão a apreender as diferentes perspectivas adequadamente.

Esta proposta visa propor indicativos possíveis para mudança curriculares, procedimentais e atitudinais. Durante o curso, devido o envolvimento da pesquisadora com o grupo escolhido, é coerente a sua classificação como pesquisa-ação. A pesquisa-ação segundo Bogdan e Biklen (1994) consiste no recolhimento de informações sistemáticas com o objetivo de promover mudanças sociais. Ter conhecimento direto dos fatos significa aumentar a consciência e dedicação relativamente a questões particulares.

Embora seu objetivo central consista em melhorar a prática em vez de gerar conhecimentos, entende-se que no âmbito desta pesquisa a construção de novos conhecimentos depende intimamente da compreensão do processo de mudanças pessoais a partir da reflexão-ação, o que possibilita o reconhecimento da realidade

que se enfrenta na prática educativa em seu caráter concreto e sua engenhosa complexidade (JORGE NETO, 2009).

### **3.2. Coleta de Dados**

Para averiguar a possibilidade de ensino-aprendizagem e dificuldades da inserção da TC no Ensino Médio, foi elaborado e implementado um mini curso introdutório sobre tópicos da TC, em duas escolas públicas de Cuiabá. Foram selecionados três temas para serem abordados no curso: sistemas abertos, acoplamento estrutural e geometria fractal, esta escolha foi baseada em condições de contorno estabelecidas pela própria situação de ensino que se configurou ao longo da pesquisa. Foram cedidas a princípio 8 aulas de Física, em turmas de 3<sup>a</sup>. série do ensino médio, no mês de junho de 2010. Foi realizado um estudo dos PCNs de Física, Biologia e Matemática onde se verificou que supostamente esses alunos já teriam subsunçores para captar significados novos advindos destes tópicos que constituem a base conceitual da TC, sendo eles: sistemas abertos, fechados e isolados, noções de equilíbrio, equações de 1<sup>o</sup>. Grau, funções simples, relações de simbiose. Durante o curso esse curso foi ministrado em forma de aulas utilizando-se tanto dos recursos multimídia disponíveis na escola, bem como, em algumas situações foi necessário também a utilização do quadro e giz. Duas atividades práticas também foram propostas: os alunos deveriam dividir uma tira de papel em três partes iguais e retirar a parte central, depois dividir cada uma das partes restantes em três e retirar novamente as partes centrais e assim sucessivamente até que não fosse mais possível a divisão, essa foi uma atividade introdutória para se trabalhar o conceito de dimensionalidade fractal; a segunda atividade proposta foi assistir a um vídeo que mostrava alguns conjuntos de fractais em seguida foi pedido aos alunos que falassem sobre o que haviam observado no vídeo para em seguida iniciar as discussões acerca dos objetos fractais. As aulas ministradas foram planejadas e ministradas com a intenção de contribuir com formação dos alunos que estão finalizando o nível médio, de forma que eles concluíssem o ensino médio com

conceitos mais atualizados referentes às ciências naturais e ao mundo que os cercam. O grupo de alunos era composto por estudantes do 3º ano do ensino médio de duas escolas de Cuiabá, apesar das escolas serem diversificadas quanto a estrutura física sendo uma maior que a outra, são semelhantes em termos de recursos, ambas tinham auditório e multimídia, sendo bastante acessíveis a utilização desses recursos ao todo trabalhamos com 6 turmas, sendo duas na escola de menor porte que chamaremos de H.C e 4 turmas de maior porte que chamaremos de AA todas no período matutino.

A sequência a seguir corresponde ao conteúdo programático do curso:

1. Sistema Abertos: sistemas; sistemas fechados; sistemas isolados; sistema dinâmicos ou abertos.
2. Objetos Fractais: dimensionalidade dos objetos; conjunto de cantor; conjunto de mandelbrot; semelhanças; auto-semelhança; aplicações da geometria fractal; matemática fractal.
3. Acoplamento Estrutural: simbiose; inseparabilidade entre sujeito e objeto.

Para verificar as dificuldades no processo de ensino aprendizagem da TC elaborou-se um pré e pós-teste, constituído de questões abertas, como também algumas questões objetivas. As questões abertas, do tipo papel e lápis, e as objetivas eram questões que os alunos deveriam marcar conforme houvesse relação entre os dois conceitos relacionados numa tabela (apêndice A). O material didático é composto por notas de aula, apresentações multimídia, imagens e vídeos que sintetizam os conteúdos apresentados e propiciam a discussão dos mesmos. Outra fonte de coleta de dados foi à elaboração de um diário de aulas onde foram feitas anotações pertinentes às interações ocorridas em sala de aula. As atividades foram desenvolvidas de maneira que a sequência de ações promovessem a aprendizagem significativa, a partir da interação professor-aluno-material didático. Para facilitar a captação de significados, pretendeu-se instigar no decorrer das aulas, a externalização de conceitos por parte dos alunos, facilitando a aprendizagem significativa dos mesmos.

A evolução conceitual foi verificada através da análise do pós-teste com as mesmas questões do pré-teste e para inferir acerca da aceitação do curso e da metodologia utilizada.

Os testes foram validados por cinco especialistas da área, professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, bem como as escolhas dos tópicos essenciais, abordados aos alunos.

### **3.3. Sujeito da pesquisa**

Em ambas as escolas tivemos o apoio irrestrito da direção e coordenação da escola, como também dos professores de Física, o que acreditamos ser uma grande contribuição para o bom desenvolvimento da pesquisa.

O curso “Complexidade?” foi trabalhado em forma de mini-curso em quatro encontros com duração de 2h cada um. A escolha da amostra se deu em função da disponibilidade da escola em oferecer o curso como também da disposição dos professores de ciências naturais em conceder oito horas de sua carga horária para aplicação do curso.

O curso denominado “Complexidade?” proposto e implementado para os alunos do ensino médio, foi elaborado tendo como referencial primeiro a disciplina do mestrado, Fundamentos da Teoria da Complexidade (FTC) ministrada na pós graduação em Física Ambiental, o qual a pesquisadora teve o primeiro contato com a teoria. No mestrado, a disciplina é trabalhada com um formalismo matemático pertinente ao desenvolvimento de equações que regem o comportamento dos sistemas abertos fora do equilíbrio que são não lineares (equação mestre, equação logística). Utiliza-se também artigos mais recentes da pesquisa, aplicação da TC ao meio ambiente, recursos de planilhas eletrônicas que permitem plotar e analisar, no espaço de fase, o comportamento de fenômenos que podem ser descritos por atratores. Utilizou-se também bibliografias pertinentes ao tema na elaboração do curso. No curso ministrado aos alunos foram abordados essencialmente três tópicos fundamentais da Teoria, que já foram apresentados. Nesta experiência de ensino-aprendizagem, como se tratava de uma primeira incursão da TC para os alunos do nível médio, foi necessária uma seleção de tópicos. Para a escolha dos tópicos foi

considerado quais seriam mais adequados e interessantes a essa etapa do ensino, sendo possível fazer uma transposição didática dos mesmos. Trabalhamos na perspectiva da TAS em que ensinar qualquer “matéria” em última análise é ensinar uma nova linguagem, um jeito de falar e, conseqüentemente um jeito de ver o mundo. Aprender uma nova linguagem implica novas possibilidades de percepção. A ciência apresentada à luz desses tópicos possibilitará o entendimento de uma linguagem que pode nos ajudar na compreensão de alguns fenômenos naturais, como também entender e talvez até propor soluções para problemas que nos afetam diariamente. Depois da seleção de tópicos, preparamos uma apresentação de slide com o projeto e levamos a proposta a duas escolas (apêndice B).

O contato inicial não foi fácil, pois as escolas têm uma carga horária muito limitada para as disciplinas relacionadas às ciências naturais. Os alunos no nível médio são contemplados com apenas duas horas aula por semana dessas disciplinas, o que dificulta a aplicação de um curso no horário de aula desse professor, pois ele tem os conteúdos obrigatórios da disciplina para apresentar a seus alunos. Conscientes dessa dificuldade que iríamos encontrar entramos em contato com duas escolas da rede pública de Cuiabá-MT e apresentamos nossa proposta de curso. Em ambas houve receptividade, permitindo desenvolver o curso nas duas. As escolas tinham perfil bem diferenciado na estrutura física, uma escola é de porte pequeno, com apenas duas turmas de terceiros anos no período matutino, o empenho dos alunos em assistir as aulas possibilitou que fizéssemos bom trabalho. A segunda escola é grande porte com seis turmas de terceiro ano a qual trabalhamos com as quatro turmas no período matutino. As duas possuíam instalações adequadas para seminários, recursos multimídia, o que facilitou a aplicação do curso.

Definiu-se com as direções da escola em colaboração com os professores que ministravam a disciplina de Física que o curso seria realizado no horário das aulas, numa sequência de quatro encontros, perfazendo um total de 8 horas.

Merece reconhecimento a dedicação e a disposição dos professores que cederam parte de suas aulas para a aplicação do curso. Os dois professores de Física incentivaram os alunos a participarem, como também tiveram uma participação ativa sempre que podiam estar presente.

Durante o curso tivemos dois grupos distintos de alunos. Na escola de pequeno porte tivemos alguns ausentes que consideramos desistentes e os participantes oscilaram entre 25 a 30 alunos. Já na escola de maior porte tivemos a participação de cerca 100 alunos divididos em quatro turmas distintas.

As discussões que seriam levadas até os alunos foram organizados pela pesquisadora, com acompanhamento dos mesmos docentes que ministraram a disciplina ofertada na PGFA/UFMT. Os mesmos recursos didático-pedagógicos também estiveram disponíveis e foram utilizados: apresentação multimídia, simulações, vídeos e uma atividade prática em sala de aula.

Serviram como ferramentas avaliativas da proposta, e fonte de dados, as manifestações dos participantes, as observações e registros do pesquisador e dos docentes, o pré-teste e pós-teste contendo as mesmas perguntas para se fazer uma avaliação comparativa.

A seguir será feita uma descrição das aulas ministradas em ambas às escolas.

#### **3.4.1. O curso – primeiro encontro**

O trabalho se iniciou com a apresentação multimídia. Primeiro apresentamos uma questão motivadora que viria a abrir a discussão sobre o significado da palavra Complexidade sob a ótica da Teoria da Complexidade.



**Figura 1** - Complexidade: questões iniciais

A intenção era investigar o que o aluno entendia por “complexo” e a partir das suas respostas começamos discutir acerca do que vem a ser complexo de modo geral. Qual a aceção que cada um tinha da palavra, sem preocupação, nesse primeiro momento, em dar uma resposta definitiva para o conceito de complexidade.

**“Coisas” Complicadas são complexas??**

**Complicado:** difícil; menos simples de aprender.



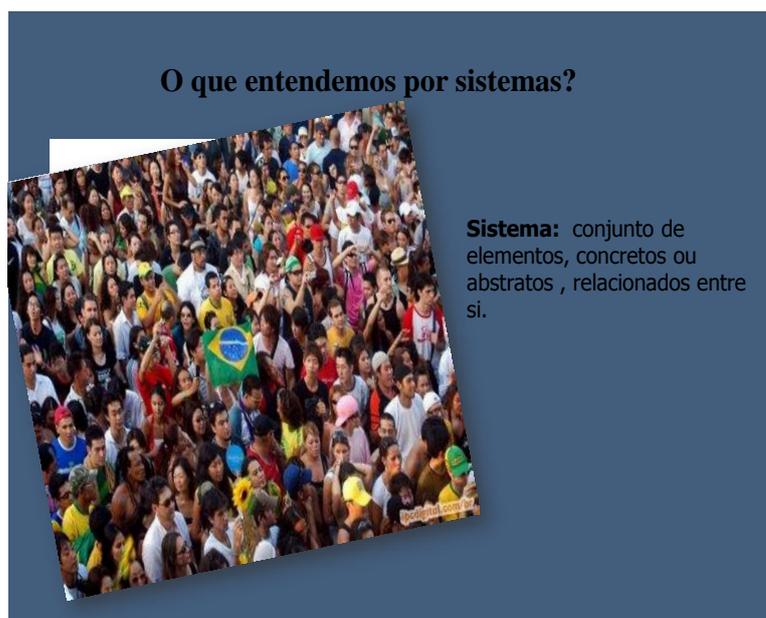
**Complexo:** que se compõe de elementos diversos relacionados entre si; conjunto, aglomerado. (Houaiss).



The cartoon shows Donald Duck sitting at a desk, looking at a piece of paper. The paper is covered with mathematical formulas and symbols, including  $a^2 + b^2 = c^2$ ,  $n, a, b, c \in \mathbb{N}$ ,  $n > 2$ ,  $\varphi(x) = \sum_{d|x} \mu(d) \varphi(x/d)$ ,  $\varphi(x) = \prod_{p|x} (1 - \frac{1}{p}) \varphi(x)$ ,  $\int_0^{\infty} \frac{1}{x^2} \int_0^x \frac{1}{t} dt dx$ ,  $\varphi(x) = \sum_{d|x} \mu(d) \varphi(x/d)$ , and  $\delta_{ij} = \delta_{ji}$ . The cartoon is signed "Dan Snee" and "D. P. F. P."

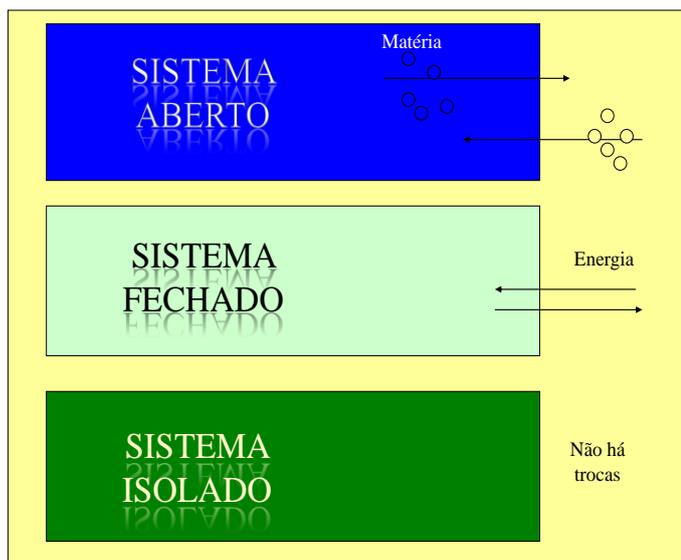
**Figura 2** - Diferença entre “difícil” e complexo”.

Fazia-se necessário a diferença clara entre o significado da palavra difícil e do termo complexo. São palavras que possuem significados distintos e na maioria das vezes no nosso cotidiano são usadas como sinônimos. Sem um consenso do que ambas significam não poderíamos avançar em nosso curso, pois a linguagem é um instrumento fundamental, se não o único para a compreensão do mundo que nos cerca.



**Figura 3 -** Definição de Sistemas

Para se compreender a Teoria da Complexidade é imprescindível que se saiba a definição de sistemas. Partimos das definições gerais para depois adentrarmos nos significados atribuídos para a ciência.



**Figura 4 - Sistemas Físicos**

Classicamente falando temos três tipos de sistemas. Os sistemas abertos, que trocam matéria com o meio, os sistemas fechados, que trocam energia com o meio e o sistema isolado; que não faz trocas. Ressaltamos que estamos falando de modelos, e esses são três modelos clássicos. São ditos clássicos porque comumente os estudamos nos livros didáticos e nas instituições de ensino. Mas o que gostaríamos aqui de deixar claro, é que no âmbito da TC um sistema aberto, não troca só matéria com o meio, trocam matéria e energia e por vezes momento, ou seja um sistema pode alterar a velocidade de outro a partir da interação com o meio.



**Terrário transparente, mas totalmente fechado:** modelo de sistema fechado.

**Terrário Aberto:** modelo de sistema aberto.



**Figura 5 - Exemplos clássicos de sistema aberto e fechado**

O terrário Aberto pode ser um modelo de sistema aberto, pois está fazendo troca de matéria e energia com o meio. Já no Terrário Fechado temos um modelo de sistema fechado, onde temos apenas troca de energia com o meio. Esses exemplos foram utilizados para organizar o conceito de sistemas. A luz que penetra no recipiente fechado é um bom indicador de troca de energia e facilita a captação do conceito.

**Figura 6 - A Terra como Sistema Aberto**

Trouxemos os estudos de sistemas para a natureza e começamos a discutir os vários sistemas. Discutimos os ecossistemas e suas relações, a nossa relação com a natureza e por último fizemos uma análise do que seria a Terra se a olhássemos de fora com todas as suas relações e interações.

### **3.4.2. O curso – segundo encontro**

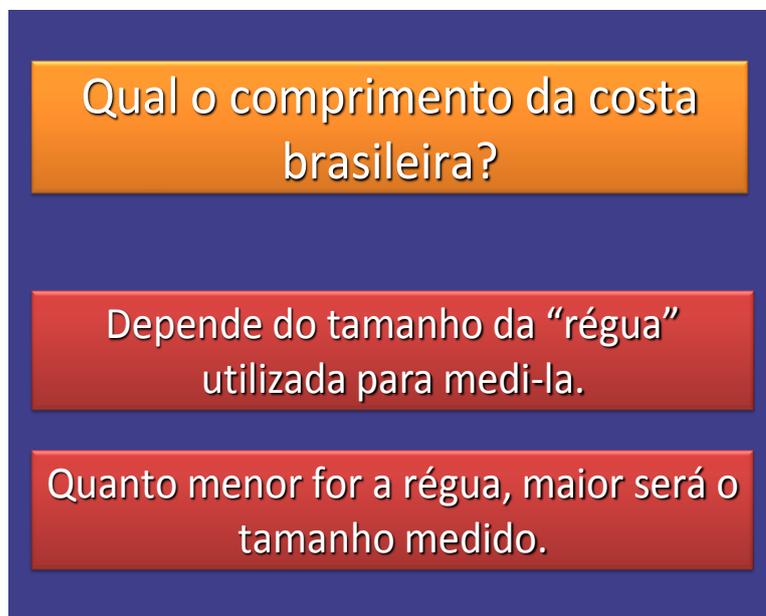
O segundo encontro começou retomando as discussões do encontro anterior. Na perspectiva da reconciliação integradora e diferenciação progressiva da TAS, essa retomada do tema abordado na aula anterior facilita a relação entre professor e aluno e ajuda na externalização dos subsunçores que estão sendo estruturados nos aprendizes. Voltamos a tratar dos sistemas e retomamos a ideia de que a natureza se comporta como um grande sistema aberto e para estudá-la temos que levar em consideração que os sistemas abertos trocam constantemente matéria e energia com o meio.

Nosso objetivo nesta aula foi trabalhar a Geometria Fractal. Estudos recentes têm mostrado que modelos matemáticos euclidianos não são os mais apropriados para representar a natureza, porque as formas encontradas na natureza, na sua maioria não são círculos e triângulos, conforme definidos na geometria clássica de Euclides (300 a.C), cujos teoremas possuem lugar de destaque nos textos matemáticos. O estudo da Geometria Fractal nos possibilita uma representação mais real da natureza. Mas, antes de apresentar a Geometria Fractal aos alunos, se fazia necessário a inserção do conhecimento prévio do conceito de dimensionalidade. Para início da discussão perguntamos: Qual o comprimento da Costa Brasileira? E a partir desse questionamento iniciamos a aula.



**Figura 7** - Comprimento da Costa Brasileira

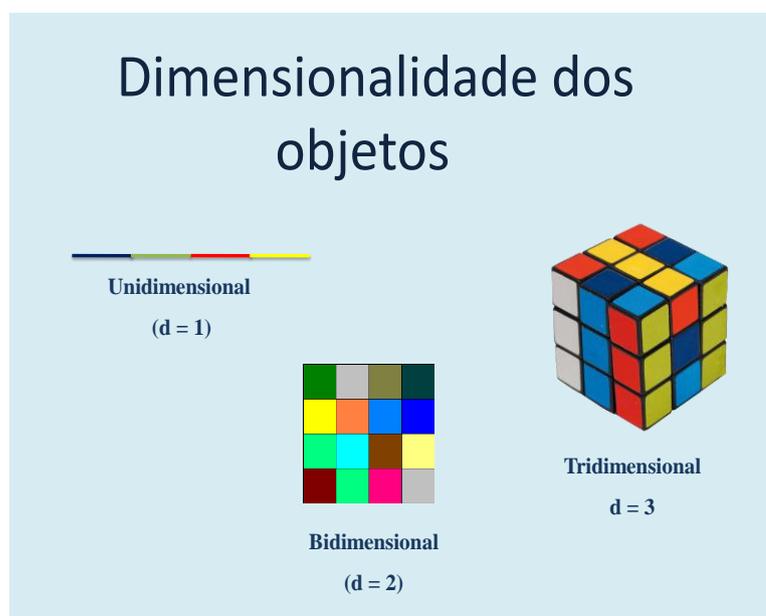
Sabemos que o comprimento da Costa Brasileira vai variar com o instrumento de medida.



**Figura 8** - “régua” para medir a Costa Brasileira

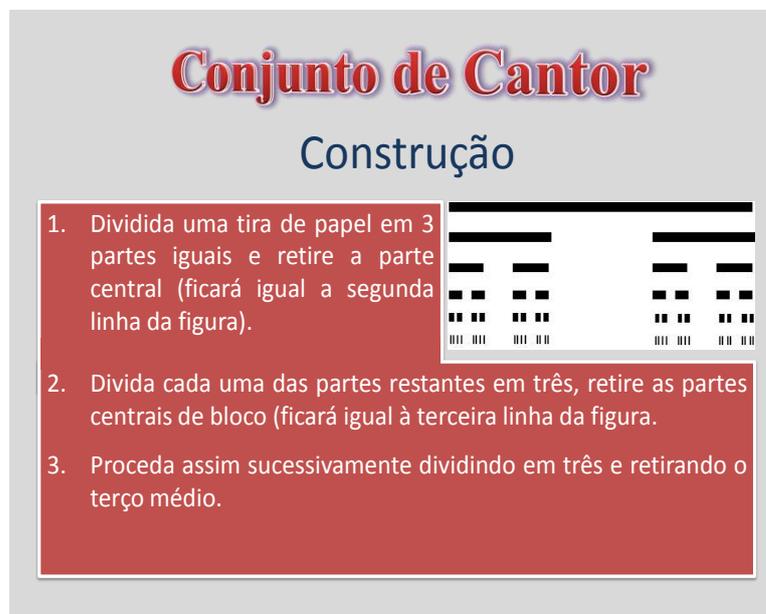
Quando mais nos aproximamos da Costa Brasileira, melhor percebemos as saliências e entrâncias, o que nos leva a questionar se vários instrumentos de medida diferentes podem nos dar a mesma medida da Costa. A resposta é um sonoro não. Com os instrumentos de menores/maiores escalas, teremos medidas diferentes e certamente aqueles que conseguirem medir com maior precisão as saliências e reentrâncias da superfície nos darão uma medida mais precisa. Quanto menor for nosso instrumento de medida certamente maior será o tamanho medido.

Estamos tomando como exemplo a medida da Costa Brasileira, mas o estudo é válido para todos os objetos da natureza. Não temos um único objeto na natureza que não tenha rugosidades, saliências e reentrâncias. Podemos também dar outros nomes como buracos, poros entre outros. Na natureza não há nenhuma forma perfeitamente lisa, por isso que sempre que inferimos uma medida, temos uma aproximação do real e existem os instrumentos que nos darão resultados melhores, mais exatos, mais próximos da medida real.



**Figura 9** - Dimensionalidade dos objetos

Usualmente estamos acostumados a “ver” os objetos como, unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais. Temos como exemplos dessas dimensões uma reta, uma área e um volume e levamos essas representações também para a natureza, já que enxergamos em três dimensões.



**Figura 10** - Conjunto de Cantor

O Conjunto de Cantor é um objeto fractal constituído da seguinte maneira: tomamos um segmento de reta e o partimos em três segmentos iguais. Em seguida, o pedaço intermediário é retirado. Os dois segmentos restantes são de novo repartidos em três segmentos iguais e os segmentos intermediários são retirados. O processo de repartir os segmentos e de retirar o pedaço intermediário prossegue *ad infinitum*. O conjunto de Cantor é o conjunto de pontos restantes após infinitas operações terem sido realizadas (MOREIRA, 2008). Essa atividade foi proposta em sala de aula com o objetivo de entender o conceito de Fractais.

## Conjunto de Cantor

### Dimensionalidade

Ao se fazer uma ampliação  $k=3$



N=2 : número de objetos formados

$N = k^d$  |  $d = \log_k N$  |  $d = \log_3 2 = 0,63$

**Figura 11** - Conjunto de Cantor e dimensionalidade

Com a técnica Conjunto de Cantor fica fácil perceber que um objeto fracionado não possui dimensão inteira, ou seja, não é unidimensional, não é bidimensional e não é tridimensional. Isso nos leva a pensar uma nova forma de ver a dimensionalidade dos objetos na natureza.

## Objetos Fractais



Possuem dimensionalidade não inteira  
(fracionária)

Esse conceito também se aplica aos fenômenos.

**Figura 12** - Objetos Fractais

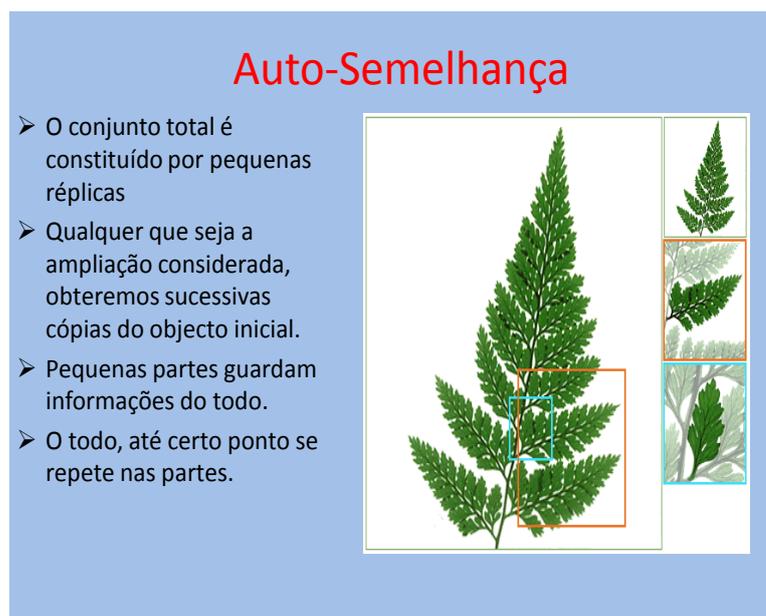
Ao contrário da geometria euclidiana, na geometria fractal a dimensão de um fractal não é um número inteiro, ela é uma quantidade fracionária, representando o grau de ocupação da estrutura no espaço que a contém.

Os Fractais são conjuntos cuja forma é extremamente irregular ou fragmentada e têm essencialmente a mesma estrutura em todas as escalas (MOREIRA, 2008).



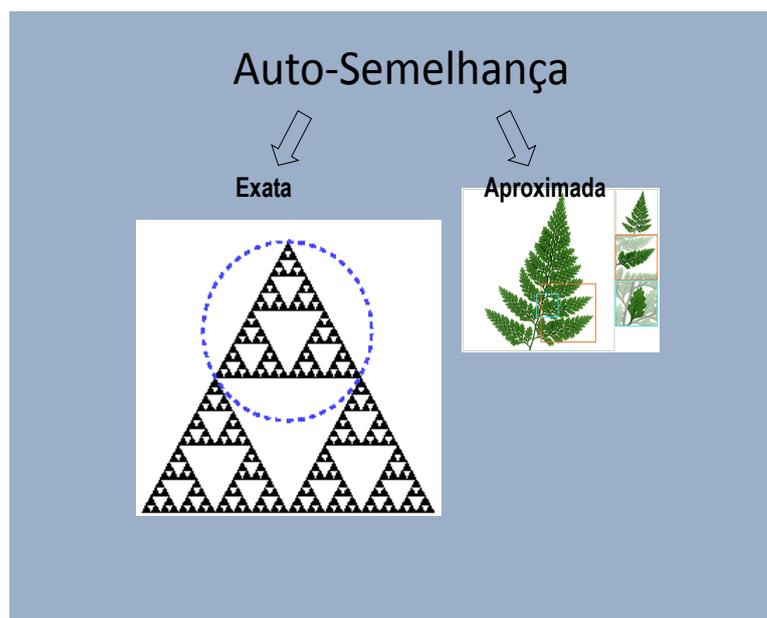
**Figura 13** - Conjunto de Mandelbrot

O termo Fractal começou a ser empregado no ano de 1975, quando Benoit Mandelbrot pela primeira vez fez uso dele. Benoit Mandelbrot (1924-2010) se preocupou em encontrar um nome para descrever a geometria com que buscava representar as reais formas da natureza. Ele encontrou num dicionário de latim o adjetivo fractus, do verbo frangere, que significa quebrar. Assim nasceu a palavra Fractal. A partir deste trabalho de Mandelbrot, questões relativas à similitude entre uma figura e a sua ampliação começaram a aparecer, cada vez com maior frequência, na literatura científica.



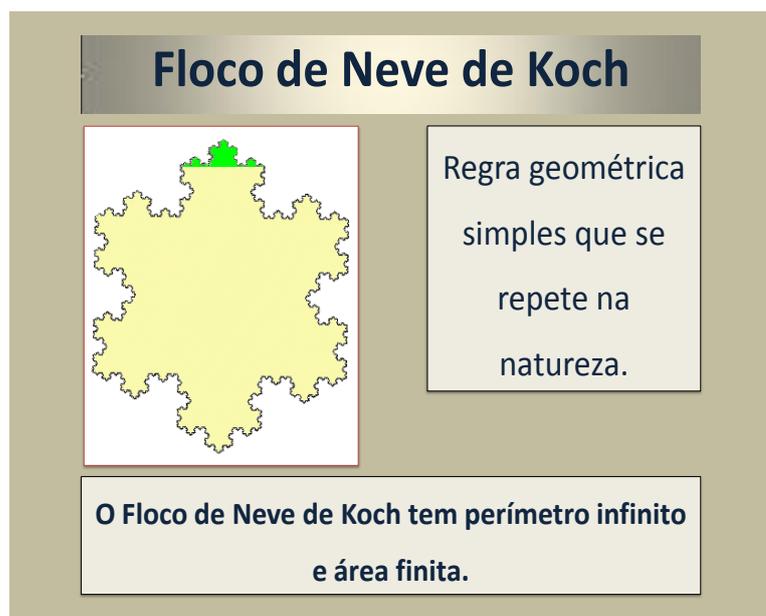
**Figura 14** - Auto-semelhança

A auto-semelhança é identificada quando uma porção, de uma figura ou de um contorno, pode ser vista como uma réplica do todo, numa escala menor, essa é uma das propriedades dos fractais. É uma característica associada aos fractais gerados por sistemas de funções iterativas chamada também de auto-similaridade, ou seja, a variação do comprimento da escala, sob a qual o fractal é analisado, leva a sucessivas configurações idênticas à configuração inicial.



**Figura 15** - Auto-semelhança exata e aproximada

Temos a auto-semelhança exata quando a variação do comprimento da escala, sob a qual o fractal é analisado, leva sucessivamente a configurações idênticas à configuração inicial. Contudo, existem fractais que são igualmente formados por mini cópias, mas estas são anisotrópicas, ou seja, não são mantidas fixas às proporções originais em todas as direções. Ao passar de uma escala para outra, observa-se que o tamanho destas cópias não varia uniformemente em todas as direções do espaço, a esses damos o nome de fractais aproximados. Na natureza temos alguns exemplos desses fractais aproximados como as células tumorais pertencentes à evolução do câncer. Estudos feitos nessa área afirmam que na transição de um tumor benigno para um maligno, a interface tumor/tecido sadio torna-se irregular. Existem outros exemplos de configurações aproximadas como precipitações, atividades financeiras, entre outras áreas de investigação.



**Figura 16** - Floco de Neve de Koch

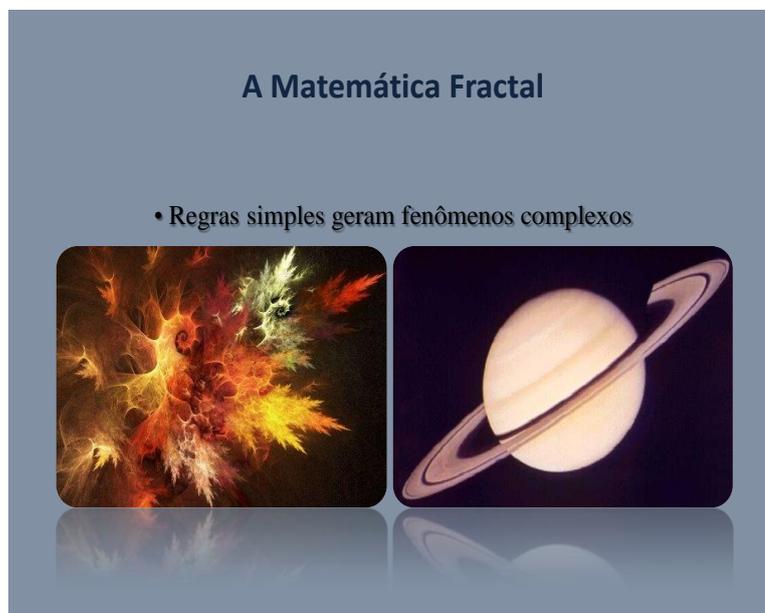
Outra propriedade importante dos fractais é sua complexidade infinita que se refere ao fato de que o processo de geração de uma figura, definida como sendo um fractal, é recursivo. Isto significa que, quando se executa um determinado procedimento, no decorrer da mesma encontra-se um sub-procedimento anteriormente definido, dispõe-se de um número infinito de procedimentos a serem executados, gerando assim uma estrutura infinitamente complexa.

Considere por exemplo, a curva de Koch, conforme mostrado na fig. 16. A construção se dá a partir de um segmento de reta que, em seguida, é dividido em três segmentos iguais. Depois disto, substitui-se o terço médio por um triângulo equilátero retirando-lhe a base. O processo iterativo consiste em aplicar a mesma regra a cada um dos segmentos de reta que resultam da iteração imediata anterior. Observa-se numa curva desse tipo, que devido à sua complexidade infinita, contém um número de infinitas “dobras” que, se ampliadas, continuam aparecendo indefinidamente. Desta forma o conceito de dimensão fractal, está intimamente relacionado com a estrutura de ocupação do espaço.



**Figura 17** - Aplicações da Geometria Fractal

Uma aplicação da geometria fractal está na medicina sendo usada como método de diagnóstico quantitativo e objetivo de várias patologias entre elas o diagnóstico do câncer.



**Figura 18** - Matemática Fractal

Matematicamente os fractais são construídos a partir de equações não-lineares e regras. y é uma função não linear de x, se x é multiplicado por outra variável (não

constante) ou por si mesmo (isto é, por algum expoente). Os fractais são formados a partir de uma iteração, ou seja, aplicação repetida de uma função usando o resultado de uma como valor de entrada para a seguinte. São equações simples que a partir de iterações geram estruturas complexas que Mandelbrot denominou de fractais.

### 3.4.3. O curso – Terceiro Encontro

Nosso terceiro encontro começou revisitando as ideias do encontro anterior. Fizemos uma revisão acerca da dimensionalidade, dos objetos fractais e por fim da matemática fractal que é uma matemática simples, (isso não quer dizer que seja fácil a resolução das equações), mas comparadas com as equações lineares, podemos dizer que as equações não lineares são equações simples. Nesta ocasião discutimos o último tópico preparado para os alunos: o Acoplamento Estrutural.



**Figura 19 - Simbiose**

Aqui tivemos a intenção de resgatar um conceito que é tratado dentro da biologia como simbiose, (até porque esse conceito é conteúdo da grade curricular escolar dos alunos). Na natureza entendemos uma relação entre dois organismos

como simbiótica quando os dois organismos estão acoplados um ao outro, mas em caso de separação, ambos têm grande probabilidade de sobrevivência, ou seja, eles vivem juntos, mas não necessariamente precisam estar juntos para sua sobrevivência.



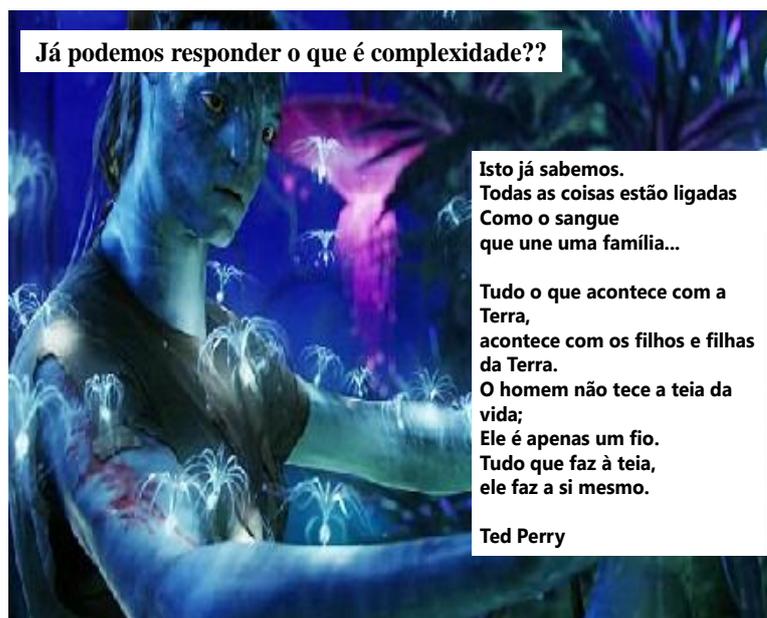
**Figura 20** - Acoplamento Estrutural

Diferentemente da relação simbiótica, o acoplamento estrutural entre dois ou mais organismos não permite a sobrevivência dos organismos em caso de separação. No acoplamento estrutural temos uma relação de interdependência entre os organismos. Na figura 20 mostramos dois organismos as briófitas e os xenofióforos, são organismos que dependem um do outro para sobrevivência e dificilmente sobreviverão sozinhos.



**Figura 21** - Inseparabilidade entre sujeito e objeto

Foi discutindo o significado do termo acoplamento estrutural essa discussão nos levou até a inseparabilidade entre objeto e sujeito. Não estamos descrevendo aqui, muitas vezes, uma relação harmoniosa, o importante é a característica de interdependência entre as partes dos organismos para sua própria sobrevivência. Existem na natureza alguns exemplos dessa relação. As Briófitas ao serem olhadas como um único ser vivo nos dá a percepção de um único organismo (um indivíduo), que num detalhamento maior, com mais acuidade tem-se a real dimensão de que ali se encontram múltiplos indivíduos interagindo uns com os outros.



**Figura 22 - Relação do homem com a natureza**

Com as idéias de Descartes e as equações de Newton o homem ganhou de herança a “certeza” de um mundo regido por leis determinísticas, onde ele se situava como elemento (ser) mais importante e podia se apropriar da natureza, pois se sentia superior a ela e a todas as demais espécies. Mas com o advento da Mecânica Quântica (o estudo do mundo do muito pequeno em nível atômico) esse mundo começou a ruir, e as certezas agora se tornaram probabilidades.

Diante de alguns eventos da natureza o homem percebeu que não podia prever o futuro e que todas as previsões só são plausíveis num intervalo de tempo muito pequeno. As ideias que se originam de estudos recentes nos colocam como parte do sistema Terra – Não somos os proprietários, gerentes, comissários ou pessoas encarregadas, somos uma ínfima sistema Terra. A Terra não evoluiu unicamente para nosso benefício, e quaisquer mudanças que efetuemos nela serão por nossa própria conta e risco. Essa maneira de pensar-nos deixa claro que não temos direitos humanos especiais; somos apenas uma das espécies parceira no grande empreendimento do Sistema Terra. Somos criaturas da evolução darwiniana, uma espécie transitória com um tempo de vida limitado, como todos os nossos inúmeros ancestrais distantes. Por fim, finalizamos a discussão com a ideia que somos uma ínfima parte do universo, que fazemos parte da natureza e tudo que fazemos a ela,

fazemos a nós mesmos, podemos estudá-la e compreendê-la, mas não dominá-la. (LOVELOCK, 2010).

Ao final desta discussão pedimos aos alunos que fizessem o pós-teste.

## 4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os instrumentos utilizados na investigação da aprendizagem dos alunos foram avaliações escritas com questões objetivas (apêndice) e questões abertas. Investigou-se a possibilidade de captação de significados sobre Sistemas Abertos, Geometria Fractal e Acoplamento Estrutural. As questões abordadas no pré e pós-teste trazem conceitos importantes que se deseja investigar, todos referentes aos três tópicos apresentados. Como já dito em outros momentos, esses conceitos são importantes para a percepção, reflexão e leitura das questões pertinentes ao meio-ambiente, bem como, a elaboração dos planos de pesquisas, interpretações de dados e propostas viáveis para minimizar e/ou solucionar problemas relacionados a ele. Segundo a TAS e a TASC, teorias que subjazem este trabalho, para que o aluno aprenda significativamente, devem ser instigados com perguntas que permitam a reflexão, a criticidade e o domínio conceitual.

Primeiro apresentamos aos alunos as questões objetivas. Essa atividade teve como propósito averiguar se eles percebiam alguma relação entre os conceitos apresentados. Para facilitar o entendimento os conceitos foram relacionados da seguinte forma:

- A** – Sistema x Complexidade;
- B** – Sistemas Aberto x Ecossistema;
- C** – Sistemas Fechados x Ecossistemas;
- D** – Geometria Fractal x Natureza;
- E** – Sistema Isolado x Planeta Terra;
- F** - Ecossistema x Sistema Fechado;
- G** – Sistemas Aberto x Acoplamento Estrutural;
- H** – Comprimento da Costa Brasileira x Objetos Fractais;
- I**– Dimensão x Fractais;
- J** – Acoplamento Estrutural x Auto-Semelhança;
- L**– Simbiose x Acoplamento Estrutura;
- M** – Terra x Sistema Fechado;
- N** – Sistemas Aberto x Terra;

### O - Acoplamento Estrutural x Natureza

O aluno deveria expressar se havia ou não relação entre os conceitos mediante os seguintes critérios:

- 0** – Se você **nunca estudou, nem ouviu falar** sobre nenhum dos conceitos apresentados, por isso não sabe dizer se há relação entre eles. **(N.E)**
- 1** – Se você acredita que **não há relação** entre esses conceitos. **(N.R)**
- 2** – Se você **vê pouca** relação entre esses conceitos. **(P.R)**
- 3** - Se você nunca estudou esses conceitos, mas **vê relação** entre eles. **(R)**
- 4** – Se você já estudou esses conceitos e acredita que **há uma relação entre eles**. **(E.R)**
- 5** - Se você tem **certeza** que esses conceitos estão completamente relacionados. **(C.R)**

Esse questionário foi aplicado como pré-teste e ao final do curso como pós-teste. As respostas estão sistematizadas em tabelas. Discutiremos primeiro o pré-teste.

**Tabela 1** - Respostas dos alunos do pré-teste

<b>Conceitos Relacionados</b>	<b>N.E.</b>	<b>N.R.</b>	<b>P.R.</b>	<b>R.</b>	<b>E.R.</b>	<b>C.R.</b>
<b>A</b>	73	19	8	14	16	5
<b>B</b>	41	23	22	18	23	8
<b>C</b>	51	31	25	11	15	2
<b>D</b>	71	21	18	10	7	8
<b>E</b>	49	19	26	17	17	7
<b>F</b>	43	28	28	19	14	3
<b>G</b>	72	12	31	17	1	2
<b>H</b>	74	20	16	18	4	3
<b>I</b>	91	14	16	12	0	2
<b>J</b>	75	15	23	11	9	2
<b>L</b>	83	11	15	14	8	4
<b>M</b>	74	21	26	8	2	4
<b>N</b>	66	22	18	11	10	8
<b>O</b>	70	11	19	19	10	6

Contamos com a participação de 135 alunos. Eles responderam tanto o pré-teste como o pós-teste. Apesar de trabalharmos em duas escolas distintas em termos de estrutura física, aplicamos o mesmo curso com os mesmos recursos em ambas, o que não possibilita uma análise separada. A tabela 1 mostra as respostas dos alunos no pré-teste. A coluna 1 demonstra o número de alunos que responderam nunca terem estudado os conceitos apresentados no questionário durante sua vida escolar. Tivemos um número significativo nessa categoria de resposta, o que nos permite inferir que os tópicos que apresentamos no curso eram inéditos para esses alunos. Na coluna 2 temos a número de alunos que responderam que não havia relação entre os conceitos apresentados, mas existem conceitos relacionados como os representados pelas letras A, B, D, G, H, N, I e O. Podemos coligir dessas respostas que esses alunos não conseguiram naquele momento enxergar nenhuma relação entre os conceitos. Na coluna 3 temos o número de alunos que responderam que os conceitos estavam parcialmente relacionados e alguns alunos conseguiram ver relação entre os conceitos apresentados nas letras C e M que a luz dos tópicos da TC que iríamos apresentar não haveria nenhuma relação, mas não podemos julgar como erradas as

respostas já que não investigamos quais relações eles estavam se referindo e qual o entendimento deles acerca dos mesmos.

Nas colunas 4 e 5 estão o número de alunos que conseguiram inferir que haviam relação entre os conceitos apresentados, podemos observar que a quantidade de respostas é inferior aos que responderam que não haviam estudado e a última coluna (6) mostra a quantidade de alunos que afirmaram terem certeza que os conceitos estavam relacionados. Também nessa categoria tivemos alguns que relacionaram conceitos como os representados pelas letras C e M que a luz da TC não há relação, porém não podemos classificar as respostas como erradas, pois não temos dados sobre quais aspectos eles enxergavam relações nesses conceitos.

Dessas respostas podemos concluir que os tópicos que apresentamos no curso eram inéditos para a maioria deles. A partir das evidências nas respostas utilizamos o princípio da TASC deve-se ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas e da TAS é preciso a introdução das ideias mais gerais e inclusivas e progressivamente devem ser diferenciadas até que se alcance as especificidades. É perceptível que esses dois princípios implicaram nas respostas dos pós-teste apresentados na tabela abaixo.

**Tabela 2 - Respostas dos alunos do Pós-teste**

<b>Conceitos</b>	<b>N.E.</b>	<b>N.R.</b>	<b>P.R.</b>	<b>R.</b>	<b>E.R.</b>	<b>C.R.</b>
<b>Relacionados</b>						
<b>A</b>	0	3	10	5	61	56
<b>B</b>	0	1	8	5	43	78
<b>C</b>	1	81	19	6	16	12
<b>D</b>	0	13	11	2	52	57
<b>E</b>	3	95	10	6	15	6
<b>F</b>	1	91	19	5	10	8
<b>G</b>	1	18	19	10	50	37
<b>H</b>	4	11	13	11	43	53
<b>I</b>	0	25	24	5	50	31
<b>J</b>	1	14	23	5	57	35
<b>L</b>	2	40	29	6	21	37
<b>M</b>	4	85	11	5	15	15
<b>N</b>	0	6	6	3	39	80
<b>O</b>	0	14	7	5	40	69

No pós-teste observamos na coluna 1 que poucos alunos disseram não haver estudado e/ou ouvido falar sobre os conceitos apresentados e que a maior concentração de respostas para os conceitos representados pelas letras A, B, D, G, H, N, I e O que são conceitos relacionados segundo os tópicos da TC que havíamos estudado no curso estão nas colunas 4 e 5, o que é um bom resultado, mas não podemos afirmar que as respostas são indícios da aprendizagem significativa, e que de que fato eles conseguiram enxergar todas as relações existentes nesses conceitos. Mas como a TAS nos diz: Na verdade, nos falta muito. A começar pela questão da pré-disposição para aprender. Como provocá-la? Muito mais do que motivação, o que está em jogo é a relevância do novo conhecimento para o aluno. Como levá-lo a perceber como relevante o conhecimento que queremos que construa?

Tanto as aulas como o pré-teste, como as do pós-teste foram uma tentativa de provocação, queríamos instigá-los a pensar, a questionar, a conhecer uma nova linguagem da natureza que estamos descobrindo e que pode nos ajudar na compreensão de seus fenômenos. Na prática, na dinâmica de ensino- aprendizagem, sabemos que não se pode inferir muito a partir de questões objetivas, mas são importantes provocadoras na suscitação ao conhecimento. Contudo, pode-se inferir que o exercício de co-relacionar os conceitos, não foi inócuo pois, pode-se observar da tabela 2 que uma quantidade significativa de alunos responderam N.R. para os itens C, E, F, M que de acordo com a TC de fato não tem relação. Isso aponta para uma compreensão, que é fundamental para a teoria, de que o sistemas naturais não são sistemas fechados.

No segundo momento apresentamos um questionário com questões subjetivas (tipo papel e lápis), onde eles deveriam ser capazes de responder de acordo com o que já haviam estudado nas disciplinas relacionadas a Ciências Naturais e Matemática, se não soubessem responder, podiam deixar a questão em branco ou simplesmente responder que não sabiam. Esse segundo momento aconteceu logo após a aplicação das questões objetivas. Essas foram às questões propostas:

1. Para você, algo **complexo** é necessariamente **complicado**?
2. O que quer dizer a palavra **sistema**?

3. Considerando a sua compreensão do que é um sistema, dê um exemplo.
4. Esse sistema que na questão acima você utilizou como exemplo é aberto ou fechado? Por quê?
5. Fenômenos complexos tem causas complexas?
6. Vamos supor que medimos um mesmo objeto com uma trena de 50 metros, depois com uma régua de 30 centímetros e depois com um micrômetro. Os três instrumentos (trena, régua e micrômetro), nos darão o mesmo resultado de medida do objeto? Melhor explicando: teremos o mesmo resultado da medida independente do instrumento que estamos utilizando para medir o objeto?
7. A auto-semelhança é identificada quando uma porção, de uma figura ou de um contorno, pode ser vista como uma réplica do todo, numa escala menor. Essa pode ser uma definição para o conceito de auto-semelhança. Existe auto-semelhança na Natureza? Dê um exemplo.
8. Na **Natureza** o que propicia a vida e a conservação das espécies é a **competição** ou a **cooperação** entre os seres vivos?
9. Você já ouviu falar em acoplamento? O que será isso?
10. O termo “acoplamento estrutural” lhe diz algo? O que?

#### **4.1. Concepções sobre os fundamentos da Teoria da Complexidade – Análise das respostas**

Numa primeira etapa, foi feita uma leitura de todas as respostas dos alunos das duas escolas destacando-se aspectos diferenciados (ou semelhantes) com o que os aprendizes se reportavam aos assuntos abordados. Verificou-se que as respostas dos alunos poderiam ser classificadas em ordem crescente em relação ao grau de aproximação entre o conceito apresentado pelo aluno e o compartilhado pela comunidade científica acerca dos três conceitos apresentados que se encontram dentro dos fundamentos da Teoria da Complexidade.

Para identificar os alunos foi elaborada uma lista contendo todos os nomes dos participantes do curso que haviam respondido o pré e o pós-teste. Tivemos um total de 135 participantes. Para codificá-los usamos o alfabeto, mas como temos 23 letras no alfabeto e precisamos codificar 135, usamos a seguinte estratégia: quando chegamos ao aluno 23 (letra Z), chamamos o aluno 24 de A1 e assim sucessivamente. Não se fazia necessário a análise por escola, devido a semelhança

entre os sujeitos da pesquisa, então a lista contendo os nomes dos participantes foi elaborada aleatoriamente.

**Tabela 3** - Exemplo de codificação dos nomes dos alunos

Nome do aluno	Código de apresentação
Aluno 1	A
Aluno 2	B
Aluno 3	C
Aluno 4	D
Aluno 23	Z
Aluno 24	A1

De acordo com os conceitos apresentados encontramos respostas semelhantes que agrupamos em categorias. Essas categorias foram escolhidas porque foram as que mais se repetiram nas respostas. Primeiro vamos apresentar as respostas do pré-teste dos alunos e num segundo momento as do pós-teste. Optamos por essa apresentação pela organização das ideias, já que não é possível colocar num mesmo quadro as respostas do pré e pós-teste devido serem frases que se desorganizam quando colocadas em tabela.

- 1) Algo complexo é necessariamente complicado:** Alguns alunos entendem o significado da palavra complexo como sinônimo de complicado.

*...complexo tem que resolver algo de vários modos, visão.*

*Aluno (A-1)*

*Complexo é algo complicado porque tem vários tipos de complexos, depende da situação.*

*Aluno (O-1)*

*...complexo vem de demorado, de consistente, algo que precisa-se de mais pensamento.*

*Aluno (C-1)*

- 2) Algo complexo não é necessariamente complicado:** complexo não é sinônimo de complicado. Vários alunos admitem que complexo e complicado tenha significados diferentes, mas não conseguem explicar a diferença entre os termos.

*Não. Não é porque a palavra é complexo que vai ser complicado.*

*Aluno (N-1)*

*Não. Pois a partir do conhecimento e compreensão de alguma coisa complexa, torna-se menos complicado o processo.*

*Aluno (R-1)*

*Depende muito do que você acha complexo... as vezes é super simples e as pessoas consideram complicadas.*

*Aluno (V-1)*

*Não, o complexo não pode ser complicado, isso é questão de raciocínio.*

*Aluno (E – 1)*

*Sim, porque algo complexo de certa forma é algo que temos uma certa dificuldade, por isso então acho que complexo é complicado.*

*(D – 2)*

- 3) Sistema é um conjunto de pessoas ou coisas que trabalham em prol de algo:** Alguns alunos associaram a palavra sistema com organizações empresariais, com a área de informática, o sistema de leis de um país ou simplesmente um conjunto de alguma coisa.

*Sistema é um conjunto de uma ordem que só cumpri o que tiver dentro das normas.*

Aluno (A-1)

*Sistema é um grupo ou conjunto de uma determinada coisa.*

Aluno (C-1)

*É algo que consiste em um conjunto de complexas regras que necessariamente devem ser seguidas.*

Aluno (R-1)

- 4) Fenômenos complexos tem causas complexas:** vários alunos acreditam que os fenômenos complexos tem origem em causas complexas.

*Se são fenômenos complexos com certeza as causas são complexas.*

Aluno (O-1)

*Sim*

Aluno (A – 1)

*Sim, por haver necessidade de ser correto.*

Aluno (D – 1)

- 5) Fenômenos complexos nem sempre tem causas complexas:** Alguns alunos conseguem perceber que nem sempre os fenômenos complexos nasceram de causas complexas, mas não conseguem se expressar com coerência nas suas respostas.

*Não. O termo das duas palavras tem o mesmo sentido, mas ligação diferente.*

Aluno (B-1)

*...há vários “fenômenos” uns difíceis outros nem tanto de se resolver.*

Aluno (M-1)

- 6) Os objetos medem o mesmo tamanho independente do instrumento de medida:** alguns afirmam que a medida de um objeto sempre será a mesma independente do instrumento utilizado para fazer essa medida. Para eles a medida só será diferente se a unidade de medida for diferente.

*Sim, mas medidas diferentes em metros, centímetros e milímetros.*

Aluno (M-1)

*Sim. Dependendo do instrumento o objeto continuará do mesmo tamanho e a mesma medida.*

Aluno (G-1)

*... se você utilizou a trena de 50 metros não vai dar o mesmo resultado que uma régua de 30cm.*

Aluno (N-1)

- 7) Não existe auto-semelhança na natureza:** alguns aprendizes simplesmente dizem que não existem auto-semelhança na natureza, porém conseguem ver semelhanças.

*Uma pessoa e outra mostram pouca semelhança.*

Aluno (B-1)

*Uma árvore pode ser parecida com outra.*

Aluno (T-1)

- 8) O que propicia a vida é a competição e a cooperação em conjunto:**

Poucos alunos acreditam que na natureza prevalecem os mais aptos ao meio, ou seja, os mais resistentes, os mais fortes, porém a grande maioria dos alunos respondeu que a vida é propicia tanto na competição quanto na cooperação.

*Na natureza o que propicia a vida é a cooperação e a competição, depende do referencial.*

Aluno (F-1)

*Os dois, pois a competição serve para manter o equilíbrio das espécies e a cooperação porque sempre um individuo necessita do outro.*

Aluno (N-2)

- 9) Acoplamento Estrutural é a junção de alguma coisa:** Grande parte dos aprendizes disse nunca ter estudo sobre acoplamento estrutural, mas acreditam que seja alguma coisa que está junto à outra.

*Creio que seja “junto” aglomerar as coisas.*

Aluno (L-1)

*...é um encaixe estrutural.*

Aluno (I-1)

*A junção de algo forma uma estrutura.*

Aluno (P-1)

Esses alunos foram escolhidos porque suas respostas expressam o pensamento (respostas) do grupo estudado nesta pesquisa.

**Tabela 4** - número de respostas segundo cada categoria identificada nas respostas dos alunos às questões abertas no pré-teste

	<b>Categoria</b>	<b>Nº de Resposta</b>
<b>1</b>	Algo complexo é necessariamente complicado	56
<b>2</b>	Algo complexo não é necessariamente complicado	79
<b>3</b>	Sistema é um conjunto de pessoas ou coisas que trabalham em uma organização.	101
<b>4</b>	Fenômenos complexos têm causas complexas	51
<b>5</b>	Fenômenos complexos nem sempre tem causas complexas	22
<b>6</b>	Os objetos medem o mesmo tamanho independente do instrumento de medida	60
<b>7</b>	Alunos que não responderam ou disseram não saber responder a questão 6	75
<b>8</b>	Não existe auto-semelhança na natureza	44
<b>9</b>	Alunos que não responderam a questão 7	91
<b>10</b>	O que propicia a vida é a competição	28
<b>11</b>	O que propicia a vida é a competição e a cooperação em conjunto	20
<b>12</b>	Alunos que não responderam a questão 8 e/ou argumentam não saber.	87
<b>13</b>	Acoplamento Estrutural é a junção de alguma coisa	25
<b>14</b>	Alunos que não responderam e/ou disseram não saber as questões 9 e 10	110

As respostas dos alunos no pré-teste reforçam o levantamento das questões objetivas grande parte dos alunos não haviam tido contato algum com os conceitos apresentados, pois a resposta em sua maioria não tem contextualização com a Ciência ,

ou seja, não atendem aos conceitos cientificamente aceitos pelo tema. Verifica-se pouca clareza e certa incerteza nas asserções acerca dos tópicos apresentados. Já esperávamos por essa dificuldade, pois a Teoria da Complexidade, ou Ciência da Complexidade, ainda é muito jovem e mesmo nos centros científicos os estudos são relativamente novos. Isto pode ser percebido nas afirmações dos alunos transcritos abaixo.

verifica-se através das respostas um salto qualitativo que denota evolução conceitual no sentido de captação de significados. Observamos as seguintes categorias de resposta que são ilustradas com algumas considerações dos alunos:

- 1) Algo complexo não é sinônimo de complicado:** Os aprendizes conseguem perceber a diferença no significado das palavras complexo e complicado.

*...complicado é algo difícil de aprender e menos simples. Complexos são diversos elementos que estão relacionados entre si; conjunto, aglomerado.*

Aluno (G-2)

*Complexo que se compõe de elementos diversos relacionado entre si e complicado são coisas difíceis.*

Aluno (G-3)

- 2) Fenômenos Complexos não necessariamente tem causas Complexas:** Os alunos inferiram que regras simples geram fenômenos complexos.

*Regras simples geram fenômenos complexos.*

Aluno (T-2)

*Uma regra simples pode causar um fenômeno complexo.*

Aluno (V-2)

- 3) A natureza tem características de Sistemas Abertos:** Os alunos conseguiram fazer inferência que a natureza é caracterizada por sistemas abertos, sistemas que fazem troca de matéria e energia com o meio.

*Os ecossistemas são sistemas abertos porque trocam matéria e energia com o meio.*

Aluno (V-3)

*A vida na natureza é sistema aberto porque há troca de matéria e energia com o meio.*

Aluno (L-3)

- 4) A medida de um objeto depende do instrumento utilizado para medi-lo:** Grande parte dos alunos respondeu que a medida do objeto vai variar de acordo com o instrumento de medida utilizado para fazer a medida, isso não é devido à unidade de medida e sim da característica de cada instrumento bem como a do objeto medido.

*...dependendo do tamanho de cada instrumento a medida será maior ou menor.*

Aluno (P-2)

*Quanto menor a “régua” maior a medida.*

Aluno (R-2)

*Depende do instrumento utilizado quanto menor a “régua” maior o comprimento.*

Aluno (A-3)

- 5) A auto-semelhança é identificada na natureza:** Os aprendizes conseguiram constatar padrões de auto-semelhança na natureza.

*A samambaia é um exemplo de auto-semelhança na natureza.*

Aluno (B-2)

*A samambaia e o pinheiro são exemplos de auto-semelhança.*

Aluno (Z-2)

**6) Na natureza o que propicia a vida é cooperação entre os seres vivos:**

Os alunos inferiram que a cooperação é o fator principal para as relações dentro da natureza.

*Cooperação.* Aluno (A-1)

**7) Acoplamento Estrutural é a interdependência entre as espécies:**

*É quando não pode se separar, ou seja, organismos interdependem um do outro.*

Aluno (C-3)

*São estruturas que vivem juntas por necessidade, ambas precisam uma da outra; inseparabilidade entre sujeito e objeto.*

Aluno (T-3)

*Sim. Organismos que vivem no mesmo lugar e dependem um do outro para viver.*

Aluno (D – 1)

*É quando dois ou mais organismos estão acoplados e um depende do outro para sobreviver, se forem separados os organismos morrem.*

Aluno (E – 1)

*É uma estrutura que depende da outra para viver.*

Aluno (C – 1)

As respostas apontam que houve compreensão por parte dos alunos dos conteúdos ministrados em sala de aula e que sua concepção acerca dos tópicos apresentados antes como desconhecidos pela maioria, agora já fazem parte da percepção científica desses alunos. No entanto não estamos afirmando que todos os conceitos foram internalizados em forma de aprendizagem significativa, mas podemos inferir pelas respostas e pelas participações em sala de aula, que houve predisposição por parte do aluno para aprender os conteúdos.

**Tabela 5-** número de resposta segundo cada categoria identificada nas respostas dos alunos às questões abertas no pós-teste.

	<b>Categoria</b>	<b>Nº de Resposta</b>
<b>1</b>	Algo complexo não é sinônimo de complicado	<b>127</b>
<b>2</b>	Fenômenos Complexos não necessariamente tem causas Complexas	<b>80</b>
<b>3</b>	A natureza apresenta características de Sistemas Abertos	<b>128</b>
<b>4</b>	A medida de um objeto depende do instrumento utilizado para medi-lo	<b>118</b>
<b>5</b>	A auto-semelhança é identificada na natureza	<b>131</b>
<b>6</b>	Na natureza o que propicia a vida é cooperação entre os seres vivos	<b>97</b>
<b>7</b>	Acoplamento Estrutural é uma relação de interdependência entre as espécies	<b>124</b>

Temos 7 categorias de respostas no pós-teste. Isso se deve ao fato de algumas categorias do pré-teste não se repetirem. Também é observada a convergência maior

para algumas respostas o que demonstra (não podendo afirmar se em maior ou menor grau) pré-disposição para aprender.

A partir da análise comparativa das respostas dos alunos nos questionários do pré do pós-teste, pode-se inferir que, a metodologia utilizada foi eficiente permitindo aos aprendizes a captação de uma noção científica acerca dos tópicos trabalhados em sala de aula, pois grande parte dos alunos, como mostra a tabela 5, consegue distinguir a diferença entre os significados dos termos complexo e complicado; também conseguem demonstrar nas suas respostas que na natureza os fenômenos complexos não necessariamente tem causas complexas, mas podem ser gerados a partir de regras simples.

Parece consensual na maioria das respostas que a medida de um objeto varia de acordo com o instrumento utilizado para medi-lo e isso não se deve a unidade de medida dos instrumentos e sim as características do instrumento que está sendo utilizado para inferir uma medida, bem como do objeto a ser medido.

Tiveram também a concepção majoritária que a vida é propícia quando os seres vivos cooperam uns com os outros, embora nem sempre essa cooperação seja “amigável,” em muitos casos é uma cooperação necessária para a sobrevivência e conservação das espécies, essa concepção acerca da natureza levou parte dos alunos terem como resposta no pós-teste que acoplamento estrutural é uma relação de interdependência entre as espécies, e que inclusive nós somos parte dessa rede de ligações e interdependência, somos também uma dessas espécies e fazemos parte da natureza como todas as demais. Compreendemos isso quando observamos os biomas, os ecossistemas, a cadeia alimentar e a natureza e suas relações como um todo. Necessitamos dos recursos naturais como qualquer outra espécie.

Os resultados apresentados têm o mérito de mostrar que existem tanto dificuldades, como viabilidade de inserção dos três tópicos referentes à TC trabalhados no curso. No pré-teste apresentaram-se muitas dificuldades como ausência de leitura/ interpretação e entendimento dos conceitos apresentados. Já nas participações em sala de aula e nas respostas do pós-teste observamos uma pré-disposição para aprender, pelo menos no momento em que responderam o questionário e assistiram às aulas.

As dificuldades podem ou não ser suplantadas, isso dependerá do contexto escolar, da capacitação de professores e outros fatores que influenciam no processo de aprendizagem como a pré-disposição para aprender, por exemplo, da mesma forma que podem ser viáveis num contexto com fatores que favoreçam o processo de ensino-aprendizagem. Nesse trabalho a pré-disposição para aprender está ligada com a proposta elaborada para as aulas. A elaboração das aulas fundamentadas nos princípios da TAS e TASC foram essenciais para o sucesso da pesquisa, pois só com a utilização de uma teoria de aprendizagem como esta é possível perceber as dificuldades, as limitações na prática da sala de aula e os possíveis “caminhos” para se obter a aprendizagem com significados para os aprendizes.

Os resultados corroboram com as pesquisas de Jorge Neto (2009) onde seu trabalho apontou disponibilidade por parte dos professores para inserir alguns tópicos de TC nas disciplinas relacionadas a ciências naturais. Como também com o trabalho de Soares (2009) que mostrou que os alunos estão receptivos a conteúdos relacionados a Física Moderna e Contemporânea.

De todos os trabalhos referendados o que mais se aproxima de nossa proposta é de Jorge Neto (2009), mas todos os demais vem corroborar com a ideia que é possível ensinar Física Moderna e Contemporânea no ensino médio.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho de pesquisa tínhamos como meta averiguar a viabilidade e as dificuldades no processo de ensino-aprendizagem de alguns tópicos da TC no ensino médio. Buscamos evidências que os alunos eram capazes de aprender com significado os tópicos propostos a eles durante as nossas aulas.

Os conteúdos foram selecionados com a preocupação que seriam adequados ao nível de ensino sendo possível a compreensão dos mesmos, o que nos parece ser um dos fatores que corroborou com o sucesso de nossa proposta.

A partir dos dados que coletamos, constatamos que os estudantes das seis turmas dos terceiros anos do ensino médio que participaram do curso, aprenderam significativamente os conteúdos de TC apresentados a eles, e mais, que a introdução desses conteúdos podem proporcionar a esses alunos uma forma de ver e entender o meio ambiente que os cercam.

Durante as aulas pudemos identificar o interesse dos estudantes em relação aos conteúdos apresentados. Tivemos participação voluntária nas discussões, curiosidades acerca dos conteúdos, a participação nas atividades propostas e a presença durante todo curso.

Os resultados positivos que obtivemos se deve principalmente ao material que elaboramos, que foi todo fundamentado no tripé da TAS e nos onze princípios da TASC, proporcionando a professora pesquisadora maior segurança na apresentação e aplicação do curso aos estudantes.

Os dados apontam que os conteúdos apresentados se mostraram adequados ao nível de ensino, e ao tempo que dispúnhamos para a aplicação do curso, uma vez que tivemos 8 horas/aula para sua aplicação.

Diante dessas evidências nos parece viável a apresentação desses tópicos nas turmas de terceiro ano do ensino médio. Esses conhecimentos serão úteis para o entendimento de alguns fenômenos naturais e possibilitarão maior entendimento do meio a qual pertencem. A guisa de finalização, vale lembrar que os obstáculos encontrados por alunos e professores na dinâmica do ensino-aprendizagem são parte de um fenômeno complexo que se estabeleceu em nosso país ao longo de décadas de descaso com a educação. Portanto o mérito de trabalhos como este, está em

evidenciar que é possível mudar essas condições em pequenos espaços porque os alunos querem aprender, mas o que e como, definitivamente, a maioria não sabe.

Deixamos como sugestão para trabalhos futuros que se verifique a inserção de outros tópicos da TC no ensino médio, ou que se verifique os mesmos tópicos em outro contexto e em níveis diversificados de ensino.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 6.1. BIBLIOGRAFIA CITADA

ABREU, R; CARVALHO, W.L.P. **A perspectiva de estudantes sobre a inserção da Física Moderna no ensino médio.** In: V ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2005, *Bauru. Caderno de Resumos.* Bauru: ABRAPEC, 2005. v. 5.p. 108-108.

ALMEIDA, R. M. C. – **A Ciência da Complexidade.** Física na Escola, v. 6, n. 1, f. 48-53. 2005.

BIGLIARDI, R. V.; CRUZ, R. G. - **A Teoria da Complexidade como Base para o Enfrentamento da Crise Ambiental e da Racionalidade Teórico Instrumental.** Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, v. 15, f. 149-156, 2005.

BOHR, N.D. **Física atômica. Ensaios.**Instituto de Física.UFRJ.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica. PCN+ Ensino Médio: **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais.** Brasília: MEC; SEMTEC,2002.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. – **Investigação qualitativa em educação.** Porto. Portugal. Porto Editora. 1994. 338f.

CAPRA, F. – **A teia da vida – uma nova compreensão científica dos sistemas vivos.** São Paulo. Ed. Cultrix. 1996. 258f.

CATELLI,F.; PEZZINI,S. **Laboratório Caseiro: observando espectros luminosos-espectroscópio portátil.**Caderno Brasileiro de Ensino de Física. V.19, n.2,2002.  
<http://www.fsc.ufsc.br/ccef/port/19-2/index.html>

CAVALCANTE,M.A.; TAVOLARO,C.R.C. **Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio.** Cad. Cat.Ens.Fís.Florianópolis,v. 18, n. 3: p. 298-316,dez. 2001.

FIEDLER-FERRARA JUNIOR, N -. **O pensar complexo: construção de um novo paradigma.** In: XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2003, Curitiba. Atas do XV Encontro Nacional de Ensino de Física, 2003. p. 69-81.

GRECA, I.M.;MOREIRA,M.A. **Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino de mecânica quântica introdutória.** Investigação em Ensino de Ciências. Porto Alegre. V.6, n. 01,2001. [http://www.fc.unesp.br/pos/revista/pdf/revista\\_11vol\\_11/ar\\_10r\\_11\\_v1.pdf](http://www.fc.unesp.br/pos/revista/pdf/revista_11vol_11/ar_10r_11_v1.pdf)

HOFFMANN, G.; FIEDLER-FERRARA, N. - **Explorando complexidade com alunos de licenciatura e bacharelado em física.** XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2003, Curitiba. Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2003. f. 2011-2021.

JORGE NETO, M. **Física ambiental e teoria da complexidade: possibilidades de ensino na educação básica.** Cuiabá-MT, 2009. **Dissertação (Mestrado em Física Ambiental)**, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

KUHN, T. S. - **A Estrutura das Revoluções Científicas.** Editora Perspectiva. 1962.

PAULO,I.J.C; MELO, I.C. **Fundamentos Epistemológicos da Contemporaneidade/ThomasKhun e Gaston Bachelard.**1.ed.Cuiabá:UAB,2009.45,1v.

PAULO,I.J.C; MELO, I.C.**Fundamentos epistemológicos de Humberto Maturana e Stephen.**1.ed.Cuiabá:UAB,2009.43,1v.

LOVELOCK, J. – **The Ages of Gaia** – W.W.Norton, New York, 2010.

MARGULIS, LYNN E DORION SAGAN, **microcosmos**, Summit, Nova York, 1995.

MARQUES, D.M.; CALUZI, J.J. **Contribuições da história da ciência no ensino médio de ciências: alternativa e inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio**. Enseñanza De Las Ciencias, 2005. Número Extra. VII Congreso.

MARGULIS, L. (2001). **O Planeta simbiótico. Uma nova perspectiva da evolução**.

MATURANA, H.R. E VARELA, F. (2001). **A árvore do conhecimento. As bases biológicas da compreensão humana**. São Paulo, Palas Athena.

MOREIRA, I.C. – **Complexidade e Caos** – Editora UFRJ/COPEA. 2008.

MOREIRA, M. A – **Aprendizagem significativa: um conceito subjacente**. Actas del II Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos: Universidade de Burgos, 1997. f. 19-44.

\_\_\_\_\_. – **Aprendizagem significativa**. Editora Universidade de Brasília, Brasília. 1999.

– **Aprendizagem significativa crítica**. Porto Alegre. 2005. 47f.

NUSSENZVEIG, H.M. **Complexidade e Caos**. 3.ed. Editora UFRJ/COPEA, 2008.

OSTERMANN, F.; RICCI, T.F. **Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis. V.22, n. 01, 2005.

PAULO, S. R. ; PAULO, I. J. C. ; RINALDI, C. - . **Bases conceituais e filosóficas para uma proposta de reestruturação curricular da Educação em Ciências no Ensino Médio.** Grupo de Pesquisa em Ensino de Física – IF – UFMT. 2002 (Artigo Científico em Preparação)

PAULO, I. J. C. - **A Aprendizagem Significativa Crítica de Conceitos da Mecânica Quântica Segundo a Interpretação de Copenhagen e o Problema da Diversidade de Propostas de Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.** 2006. 235f. Tese (Doutorado em Enseñanza de las Ciencias), Universidad de Burgos. Burgos. Espanha. 2006.

PESSOA JR., O. - **Auto-Organização e Complexidade: Uma Introdução Histórica e Crítica.** Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira 78. de Santana. Salvador. 2001. Disponível em <http://www.fflch.usp.br/>

PRIGOGINE, I – **As leis do caos.** São Paulo. Editora UNESP. 1996. 202f.  
\_\_\_\_\_. – **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza.** São Paulo. Editora UNESP. 2002. 114f.

UEMA, S. N.; FIEDLER-FERRARA, N. - **Atividades curtas multi-abordagem para o ensino médio: trabalhando o conceito de dependência sensível às condições iniciais.** IX Encontro Nacional De Pesquisa Em Ensino De Física. Curitiba. 2003. Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2003. f. 2980-2990.

SOARES, M.S. **Introdução de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio por meio do estudo de ondas eletromagnéticas.** Brasília-DF, 2009. **Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências),** Instituto de Física Universidade Federal de Brasília.

WALDROP, M. M. – **Complexity, the Emerging Science at the Edge of Order and Chaos** – Touchstone, New York, 1992.

## 6.2. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BASTOS FILHO, J. B. - **Reduccionismo (uma abordagem epistemológica)**. Maceió. Editora da Universidade Federal de Alagoas (EDUFAL), 2005. v. 1. 142 f.

\_\_\_\_\_. **Causalidade, (in) determinismo e (im) previsibilidade: por que o conceito de causa é tão importante?** .Revista Brasileira de Ensino de Física, jul./set. 2008, vol.30, nº 3, f. 3304.1-3304.12.

BELLINI, L. M. - **Educação ambiental como educação científica no processo educativo escolar**. Educar, Curitiba, n. 19, f. 99-110. 2002. Editora da UFPR.

BRASIL. Ministério da Educação. - **Orientações curriculares para o ensino médio - volume 2: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Secretaria de Educação Básica. Brasília. 2006.

GLEICK, J. – **Caos: a criação de uma nova ciência**. Rio de Janeiro. Ed. Elsevier / Campus. 1989. 316f.

JACOBI, P. R. -. **Educação ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo**. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 2, f. 234-250, 2005.

KOKUBUN, F. - **Complexidade versus Simplicidade na Física**. Rev. Eletrônica Mestrado em Educação Ambiental. v. especial, f. 110-117. 2004.

KURTZ DOS SANTOS, A. C. - **Algumas idéias sobre universo, vida e complexidade**. Revista Eletrônica Espaço Acadêmico, Maringá, v. 33, f. 1-9, 2004.

LOVELOCK, J – **Gaia: cura para um planeta doente**. São Paulo. Ed. Cultrix. 2006. 194f.

MARTINS, R. L. C. – **A utilização de mapas conceituais no estudo de física no ensino médio: uma proposta de implementação**. Dissertação (Mestrado). UNB. Brasília. 2006. 188f.

MOREIRA, M. A. – **Pesquisa em ensino: aspectos metodológicos**. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos. Burgos. Espanha. Texto de Apoyo n° 19. 2003. 38f.

\_\_\_\_\_ – **Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal**. Porto Alegre. 2004. <http://www.if.ufrgs.br/~moreira>

\_\_\_\_\_ – **Mapas conceituais e diagramas V**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. IF. 2006. <http://www.if.ufrgs.br/~moreira>.

AMAKU,M; MORALES,M;HORODYNSKI,L..B;PASCHOLATI,P.R. **Fractais no Laboratório Didático**.Revista Brasileira de Ensino de Física,São Paulo,v.23.n 4,Nov.2001.

NICOLIS,G.; PRIGOGINE, I. – **Exploring Complexity** – W.H. Freeman, New York,1989.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S. – **Diretrizes para elaboração de dissertações e teses no programa de pós-graduação em física ambiental**. Cuiabá. UFMT. 2008

SILVEIRA, F.L. - **Determinismo, previsibilidade e caos**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.10, n.2: f.137-147, ago.1993.

VON BAEYR, H. C. - **A física e o nosso mundo: como entender fenômenos e mistérios através da física**. Rio de Janeiro. Ed. Elsevier / Campus. 2004. 178f.

## APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO

	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO</p> <p>INSTITUTO DE FÍSICA</p> <p>PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL</p>
---	--

Em cada letra abaixo, alguns conceitos são apresentados em dupla. Ao lado temos uma tabela com os mesmos conceitos representados por letras de **a** a **g**, na horizontal números de 1 a 5. Com base no que você já estudou ou ouviu falar sobre esses temas, marque o **x** em:

- 0** – Se você **nunca estudou, nem ouviu falar** sobre nenhum dos conceitos apresentados, por isso não sabe dizer se há relação entre eles.
- 1** – Se você acredita que **não há relação** entre esses conceitos.
- 2** – Se você **vê pouca** relação entre esses conceitos.
- 3** – Se você nunca estudou esses conceitos, mas **vê relação** entre eles.
- 4** – Se você já estudou esses conceitos e acredita que **há uma relação entre eles**.
- 5** – Se você tem **certeza** que esses conceitos estão completamente relacionados.

**a** – Sistemas - Complexidade

**b** – Sistemas Abertos – Ecossistemas

**c** – Sistemas Fechados – Ecossistemas

**d** - Geometria Fractal – Natureza

**e** - Sistema isolado – Planeta Terra

**f**- Ecossistemas – Sistema Fechado

**g** – Sistemas Abertos – Acoplamento Estrutural

**h** – Comprimento da Costa Brasileira – Objetos Fractais

**i** – Dimensão – Fractais

**j** – Acoplamento Estrutural – Auto Semelhanças

**k**- Simbiose – Acoplamento estrutural

**l**- Terra – sistema fechado

**m** - Sistema aberto- Terra

**n**- Acoplamento estrutural – natureza

...

	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>A</b>						
<b>B</b>						
<b>C</b>						
<b>D</b>						
<b>E</b>						
<b>F</b>						
<b>G</b>						
<b>H</b>						
<b>I</b>						
<b>J</b>						
<b>L</b>						
<b>M</b>						
<b>N</b>						

## APÊNDICE B – APRESENTAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA NAS ESCOLAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

PROJETO DE PESQUISA

ANDRÉIA DA SILVA TAVARES

PROF.<sup>a</sup> DR.<sup>a</sup> IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO  
ORIENTADORA  
PROF.Msc. MIGUEL JORGE NETO  
COLABORADOR

PROPOSTA DE INSERÇÃO DE TÓPICOS DA TEORIA DA COMPLEXIDADE NO ENSINO MÉDIO





✓ O objetivo geral do trabalho é averiguar a possibilidade de inclusão de tópicos da Teoria da Complexidade no currículo do ensino médio através da elaboração e implementação de um material didático de apoio.

Como objetivos específicos temos:

- subsidiar alunos da educação básica com um conhecimento que lhes permita compreender a temas relacionados a Teoria da Complexidade.
  
- sugerir atualizações no currículo de Ciências da Natureza e Matemática visando diminuir a distância entre a ciência estudada na escola e a ciência estudada na comunidade científica.



✓ Essa pesquisa será realizada em duas escolas da rede estadual de Cuiabá capital de MT.

✓ no trabalho de implementação da proposta didática serão utilizados recursos tais como: alas de aula, quadro negro, giz e materiais de multimídia (computador, data show), filmes, aulas experimentais e aulas de campo.

## **APÊNDICE C – PLANOS DE AULA PARA O MINI-CURSO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PÓS GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**Mini-curso: Uma introdução à Teoria da Complexidade para o  
Ensino Médio**

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Iramaia Jorge Cabral de Paulo

**Co-orientador:** Prof. MS. Miguel Jorge Neto

**Mestranda:** Andréia da Silva Tavares

Mesmo que já tenhas feito uma longa caminhada, há sempre um caminho a fazer. (S. Agostinho)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA

### Plano de Curso

Denominação:	Introdução à Teoria da Complexidade
Nível:	Ensino Médio
Professora	Andréia da Silva Tavares
Objetivos Gerais da Disciplina	<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Este curso tem como metas fundamentais: a familiarização do estudante do ensino médio com os conceitos de uma nova ciência denominada Teoria da Complexidade e capacitação dos estudantes para a solução de situações-problema.</li> </ul>
Objetivos Específicos da Disciplina	<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Estudar alguns conceitos pautados na Teoria da Complexidade.</li> <li>★ Exemplificar e objetivar o que é um sistema.</li> <li>★ Dar ênfase nas trocas de energia e matéria num sistema aberto.</li> <li>★ Conceituar um sistema aberto.</li> <li>★ Descrever e analisar os Fractais Estabelecer conexões lógicas entre os subsunçores já existentes</li> </ul>

	<p>[medidas, frações, fragmentação] e os atributos criteriosos dos novos conceitos apresentados;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★ Compreender a natureza dos Fractais.</li> <li>★ Estudar o que se conceitua como acoplamento estrutural.</li> <li>★ Fazer simulações e atividades que visualize a nova ciência em estudo (Teoria da Complexidade), na Natureza.</li> </ul>
Ementa	<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Estudo de três conceitos preliminares dentro da Teoria da Complexidade. Esses conceitos são:</li> <li>★ Sistemas abertos;</li> <li>★ Fractais e Acoplamento Estrutural</li> <li>★ Realização de aulas multimídia e de simulação.</li> <li>★ Atividades práticas realizadas pelos alunos em sala de aula para a compreensão dos conceitos de dimensionalidade e Fractais.</li> </ul>
Programa Resumido	<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Compreender a Natureza sob a perspectiva da Teoria da Complexidade.</li> <li>★ Criar uma relação entre o que já se sabe e os novos conceitos.</li> <li>★ Questionar, perceber e agir em sala de aula.</li> </ul>
Conteúdo Programático	<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Complexidade: Diferenciar a utilização da palavra complexidade dentro da Teoria da Complexidade, da palavra Complexidade utilizada pelo senso comum, comumente usada como sinônimo de difícil.</li> <li>★ Sistemas abertos: Sistemas onde existe troca de energia e matéria com o meio. Focalizando o estudo</li> </ul>

	<p>da natureza.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★ Acoplamento Estrutural: Relação de interdependência entre os seres vivos.</li> </ul>
Procedimentos de Ensino	<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Aulas Dialogadas.</li> <li>★ Aulas com algumas atividades práticas desenvolvidas em grupos.</li> <li>★ Multimídia</li> </ul>
Bibliografia	<p>CAPRA, F. – A teia da vida – uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo. Ed. Cultrix. 1996. 258f.</p> <p>ALMEIDA, R. M. C. – A Ciência da Complexidade. Física na Escola, v. 6, n. 1, f. 48-53. 2005.</p> <p>JORGE NETO, M. <b>Física ambiental e teoria da complexidade: possibilidades de ensino na educação básica. Cuiabá-MT, 2009. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.</b></p> <p>PRIGOGINE, I – <b>As leis do caos. São Paulo. Editora UNESP. 1996. 202f</b></p> <p>PAULO, S. R. ; PAULO, I. J. C. ; RINALDI, C. - . Bases conceituais e filosóficas para uma proposta de reestruturação curricular da Educação em Ciências no Ensino Médio. Grupo de Pesquisa em Ensino de Física – IF – UFMT. 2002 (Artigo Científico em Preparação)</p>

Avaliação	★ A avaliação será feita durante todo o processo do mini-curso, também será aplicado um pré-teste e um pós-teste.

**Identificação:****Turma/Turno:** Matutino**Período:** 1º Encontro**Disciplina:** Física**Professora:** Andréia da Silva Tavares**Assunto: Complexidade e Sistemas abertos****Tema: Complexidade****Título: Complexidade?****Objetivos Específicos:**

- Compreender a diferença entre a palavra Complexidade dentro da Teoria da Complexidade da sua utilização no cotidiano das pessoas.
- Criar novos subsunçores sobre o que entendemos por complexo e complicado.
- Entender basicamente os Sistemas dentro da Teoria da complexidade.

**□ Conteúdos:**

- Compreensão do conceito de Complexidade dentro da nova ciência denominada Teoria da Complexidade.
- Sistema abertos

**□ Recursos**

- Humano: Professores de Física.
- Material: Multimídia

**□ Metodologia**

- Nos primeiros 10 minutos, questionaremos os alunos sobre o que eles entendem como Complexo, como utilizam essa palavra no dia-a-dia deles. Começaremos com a pergunta “Coisas Complicadas são Complexas? Esses questionamentos serão usados para averiguar os subsunçores que o aluno já possui as inclinações e predisposições de cada aluno em relação ao assunto e as possíveis alterações que poderão ser feitas para que este assunto torne-se

potencialmente significativo. Este primeiro momento da aula tem como diretriz o princípio da interação social e do questionamento, isto é, ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas;

- Ao obtermos respostas, analisaremos se estas são coerentes ou não. Se não, utilizaremos o Princípio da aprendizagem pelo erro e reconstruiremos e/ou adaptaremos respostas.
- Nos 10 minutos que se seguem, exploraremos a diferença entre complicado e complexo. Utilizaremos três imagens como organizadores prévios, ou seja, como uma âncora para a nova aprendizagem subsequente, uma imagem com A teia de Aranha do Homem-Aranha, para chamar a atenção, outra imagem de uma teia de aranha real e um desenho mostrando o Pato Donald tentando resolver algumas equações complicadas ou difíceis para chegar à diferenciação entre o adjetivo complexo de complicado. (Segundo Ausubel, “a principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, a fim de que o material possa ser aprendido na forma mais significativa”). Com esse intuito, faremos uso do *data show*, o qual permite que o Princípio da não-utilização do quadro-de-giz seja realizado;
- Nos 25 minutos seguintes começaremos a questionar sobre o que é um sistema, respondida esse questionamento, partiremos para o entendimento do que caracteriza um sistema fechado, um sistema isolado e por último um sistema aberto, dando ênfase para os sistemas abertos e o comportamento da Natureza.
- Nos últimos 15 minutos concluiremos o conceito de Sistemas abertos e deixamos a seguinte pergunta para o próximo encontro: Qual a dimensionalidade da Costa Brasileira?

#### □ **Avaliação**

A avaliação será somativa, formativa e diagnóstica: os alunos serão avaliados durante todo o processo, sob todos os aspectos da formação. Nesse processo, serão diagnosticados os equívocos e estes serão contornados sempre que aparecerem.

Um tipo de avaliação que deve ser ressaltada é a hierarquização de conceitos, um tipo mais simplificado de mapa conceitual. Analisaremos as respostas orais e esta hierarquização de acordo com os critérios abaixo.

O intuito desta avaliação é, segundo a TAS, ajudar os estudantes na consolidação e na organização sequencial dos vários novos conceitos assimilados. Segundo a TASc, esta avaliação é pautada no princípio do

aprendiz como perceptor/representador, isto é, o aluno percebe os novos conceitos, representa-os e tenta estruturá-los cognitivamente, o que leva a uma representação. Ao hierarquizar conceitos, os alunos estarão nos dizendo suas representações, fruto da aprendizagem.

Além disso, a hierarquização de conceitos será um exercício de escrita e de raciocínio.

### i) Critérios

- ☐ Capacidade de resolver situações-problema;
- ☐ Desenvolvimento das tarefas propostas;
- ☐ Coerência;
- ☐ Evolução durante o processo;

### ii) Instrumentos

- ☐ Perguntas orais;
- ☐ Dialética;
- ☐ Atividades em sala de aula

### ☐ Bibliografia

- ☐ CAPRA, F. – A teia da vida – uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo. Ed. Cultrix. 1996. 258f.
- ☐ ALMEIDA, R. M. C. – A Ciência da Complexidade. Física na Escola, v. 6, n. 1, f. 48-53. 2005.
- ☐ JORGE NETO, M. **Física ambiental e teoria da complexidade: possibilidades de ensino na educação básica. Cuiabá-MT, 2009. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.**
- ☐ PRIGOGINE, I – **As leis do caos. São Paulo. Editora UNESP. 1996. 202f**
- ☐ PAULO, S. R. ; PAULO, I. J. C. ; RINALDI, C. - . Bases conceituais e filosóficas para uma proposta de reestruturação curricular da Educação em

Ciências no Ensino Médio. Grupo de Pesquisa em Ensino de Física – IF – UFMT. 2002 (Artigo Científico em Preparação)

□ Observações:

→ A bibliografia das aulas não estará centralizada no livro-texto e será sempre distribuída por artigos, sites, livros didáticos, etc. Esta escolha advém da utilização do Princípio da não-centralização do livro texto.

**Identificação:****Turma/Turno:** Matutino**Período:** 2º Encontro**Disciplina:** Física**Professoras:** Andréia da Silva Tavares**Assunto:** Fractais**Tema:** Fractais**Título:** Qual o comprimento da costa Brasileira?**▣ Objetivos Específicos:**

- ▣ Entender o termo dimensão;
- ▣ Compreender o que é a dimensionalidade;
- ▣ Compreender que um fractal é um objeto com dimensionalidade não inteira;
- ▣ Estudar os fractais e suas aplicações nos diversos ramos dentro das ciências.

**▣ Conteúdos:**

- ▣ Dimensão;
- ▣ Dimensionalidade;
- ▣ Fractais

**▣ Recursos**

- ▣ Humano: Professores de Física.
- ▣ Material: Multimídia: para apresentação do conteúdo.
- ▣ Material didático para atividade em grupo realizado em sala de aula: Tiras de papel feitos com cartolina, tesouras, isopor, alfinete.

**▣ Metodologia**

- ▣ Nos primeiros 20 minutos do segundo encontro, dialogaremos com os alunos

a respeito do que entendemos por dimensão, explicaremos que a dimensão tem como principais características o espaço, a extensão e a medida, em seguida vamos entender o que é a dimensionalidade. Iniciaremos com a pergunta “Qual o comprimento da Costa Brasileira”? A partir dessa pergunta começaremos a discussão indagando se os instrumentos de medida interferem no resultado das medidas, por exemplo, se fizermos uma medida com uma trena, uma régua cuja unidade de medida é o metro, teremos a mesma medida do que se medisse com a palma? . Esta primeira parte será um organizador prévio e utilizará o Princípio da Incerteza do Conhecimento, visto que os resultados das medidas dependem sim, dos instrumentos utilizados para fazer essa medida.

- Nos 20 minutos que seguem, faremos uma atividade em sala de aula denominada conjunto de Cantor. Tem esse nome porque foi um trabalho publicado pelo matemático George Cantor (1845-1918). Cantor foi o primeiro matemático a estudar a teoria dos conjuntos. A atividade consiste em:
  - Considerar um segmento de reta;
  - Dividir o segmento em três partes iguais e eliminar a central;
  - Repetir a construção 2 em cada segmento e, assim, sucessivamente e indefinidamente.

A atividade proporcionará aos alunos o entendimento do que é um terço médio na linguagem matemática, como também de dimensionalidade.

- Nos 20 minutos restantes, introduziremos o conceito de fractais e suas aplicações. E assim o segundo encontro será finalizado.

### □ **Avaliação**

A avaliação dessa aula será somativa, formativa e diagnóstica: os alunos serão avaliados durante todo o processo, sob todos os aspectos da formação. Nesse processo, serão diagnosticados os equívocos e estes serão melhorados sempre que aparecerem. Analisaremos as respostas orais e a escrita de acordo com os critérios abaixo.

O intuito desta avaliação é ajudar os estudantes na consolidação e na organização seqüencial dos vários novos conceitos assimilados. Além disso, almejamos que os alunos entendam que o conhecimento é também linguagem e que saibam transformam o conhecimento construído em linguagem clara e transferível.

## i) **Critérios**

- Capacidade de resolver questionamentos;
- Desenvolvimento das tarefas propostas;
- Coerência e clareza nos conceitos;
- Evolução durante o processo;

## ii) Instrumentos

- Perguntas orais;
- Dialética;
- Pergunta inicial a ser respondida ao final da aula;

## □ Bibliografia

- <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>
- CAPRA, F. – A teia da vida – uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo. Ed. Cultrix. 1996. 258f.
- ALMEIDA, R. M. C. – A Ciência da Complexidade. Física na Escola, v. 6, n. 1, f. 48-53. 2005.
- JORGE NETO, M. **Física ambiental e teoria da complexidade: possibilidades de ensino na educação básica. Cuiabá-MT, 2009. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.**
- PRIGOGINE, I – **As leis do caos. São Paulo. Editora UNESP. 1996. 202f**
- PAULO, S. R.; PAULO, I. J. C.; RINALDI, C. -. Bases conceituais e filosóficas para uma proposta de reestruturação curricular da Educação em Ciências no Ensino Médio. Grupo de Pesquisa em Ensino de Física – IF – UFMT. 2002 (Artigo Científico em Preparação)

**Identificação da Escola****Turma/Turno: 3º Encontro****Período: Matutino****Disciplina:** Introdução a Teoria da Complexidade**Assunto:** Teoria da Complexidade**Tema:** Acoplamento Estrutural**Título:** Acoplamento Estrutural**Professoras:** Andréia da Silva Tavares**▣ Objetivos específicos:**

- ▣ Estudar o conceito de simbiose ;
- ▣ Importância das lagoas para o controle de salinidade do mar

**▣ Conteúdos:**

- ▣ Acoplamento Estrutural;

**▣ Recursos:**

- ▣ Humano: Professores de Física.
- ▣ Material: multimídia

**▣ Metodologia**

Nos primeiros 20 minutos vamos estudar a formação de lagoas e a importância dos Recifes de Corais. Nos próximos 20 minutos continuaremos a discutir esses conceitos e também vamos trabalhar o conceito de interdependência entre os seres vivos. Vamos terminar a aula abordando a importância do trabalho de interligação dos seres vivos, o trabalho em conjunto por necessidade de sobrevivência, aqui vamos dar ênfase a cooperação no lugar da competição.

**▣ Avaliação:**

A avaliação dessa aula será somativa, formativa e diagnóstica: os alunos serão avaliados durante todo o processo, sob todos os aspectos da formação. Nesse processo, serão diagnosticados os equívocos e estes serão aperfeiçoados sempre

que aparecerem. Analisaremos as respostas orais e a escrita de acordo com os critérios abaixo.

O intuito desta avaliação é ajudar os estudantes na consolidação e na organização sequencial dos vários novos conceitos assimilados. Além disso, almejamos que os alunos entendam que o conhecimento é também linguagem e que saibam transformam o conhecimento construído em linguagem clara e transferível.

□ **Critérios:**

- Desenvolvimento das tarefas propostas;
- Coerência;
- Evolução durante o processo;

□ **Instrumentos:**

- Perguntas Orais;
- Exercícios

**Bibliografia:**

- <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>
- CAPRA, F. – A teia da vida – uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo. Ed. Cultrix. 1996. 258f.
- ALMEIDA, R. M. C. – A Ciência da Complexidade. Física na Escola, v. 6, n. 1, f. 48-53. 2005.
- JORGE NETO, M. **Física ambiental e teoria da complexidade: possibilidades de ensino na educação básica. Cuiabá-MT, 2009. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental)**, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.
- PRIGOGINE, I – **As leis do caos. São Paulo. Editora UNESP. 1996. 202f**
- PAULO, S. R.; PAULO, I. J. C.; RINALDI, C. -. Bases conceituais e filosóficas para uma proposta de reestruturação curricular da Educação em Ciências no Ensino Médio. Grupo de Pesquisa em Ensino de Física – IF –

UFMT. 2002 (Artigo Científico em Preparação)

## APÊNDICE D – RESPOSTAS DOS ALUNOS

Pós-teste (3P)

**Responda com suas palavras as questões abaixo:**

1. Para você, algo **complexo** é necessariamente **complicado**?
2. O que quer dizer a palavra **sistema**?
3. Considerando a sua compreensão do que é um sistema, dê um exemplo?
4. Esse sistema que na questão acima você utilizou como exemplo é aberto ou fechado? Por quê?
5. Fenômenos complexo tem causas complexas?
6. Vamos supor que medimos um mesmo objeto com uma trena de 50 metros, depois com uma régua de 30 centímetros e depois com um micrômetro. Os três instrumentos (trena, régua e micrômetro), nos darão o mesmo resultado de medida do objeto? Melhor explicando: teremos o mesmo resultado da medida independente do instrumento que estamos utilizando para medir o objeto?
7. A auto-semelhança é identificada quando uma porção, de uma figura ou de um contorno, pode ser vista como uma réplica do todo, numa escala menor. Essa pode ser uma definição para o conceito de auto-semelhança. Existe auto - semelhança na Natureza? Dê um exemplo.
8. Na **Natureza** o que propicia a vida e a conservação das espécies é a **competição** ou a **cooperação** entre os seres vivos?
9. Você já ouviu falar em acoplamento? O que será isso?
10. O termo "acoplamento estrutural" lhe diz algo? O que?

Resposta

- 1) Complicados: difícil; menos simples de aprender  
complexos: que se compõe de elementos diversos entre si.
- 2) Uma conjunção de elementos, concretos ou abstratos, relacionados entre si.
- 3) Tudo que se vê é um sistema.
- 4) É aberto porque envolve os.
- 5) Sim, porque há vários elementos diversos.
- 6) Não.
- 7) Sim, pois o bloco é um exemplo.
- 8) a cooperação.
- 9) Sim é o contrário → não pode se separar.
- 10) Que os organismos são interdependentes um dos outros.

Responda com suas palavras as questões abaixo:

1. Para você, algo **complexo** é necessariamente **complicado**?
2. O que quer dizer a palavra **sistema**?
3. Considerando a sua compreensão do que é um sistema, dê um exemplo?
4. Esse sistema que na questão acima você utilizou como exemplo é aberto ou fechado? Por quê?
5. Fenômenos complexo tem causas complexas?
6. Vamos supor que medimos um mesmo objeto com uma trena de 50 metros, depois com uma régua de 30 centímetros e depois com um micrômetro. Os três instrumentos (trena, régua e micrômetro), nos darão o mesmo resultado de medida do objeto? Melhor explicando: teremos o mesmo resultado da medida independente do instrumento que estamos utilizando para medir o objeto?
7. A auto-similaridade é identificada quando uma porção, de uma figura ou de um contorno, pode ser vista como uma réplica do todo, numa escala menor. Essa pode ser uma definição para o conceito de auto-similaridade. Existe auto-similaridade na Natureza? Dê um exemplo.
8. Na **Natureza** o que propicia a vida e a conservação das espécies é a **competição** ou a **cooperação** entre os seres vivos?
9. Você já ouviu falar em acoplamento? O que será isso?
10. O termo "acoplamento estrutural" lhe diz algo? O que?

Resposta:

1) Sim (N sei)

2) Tem vários tipos de sistema **diversos**. (N sei)

3) (N sei)

4) (N sei)

5) (N sei)

6) (N sei)

7) (N sei)

8) (N sei)

9) (N sei)

10) (N sei)

7

Responda com suas palavras as questões

1. Para você, algo **complexo** é necessariamente complicado? *mais ou menos*
2. O que quer dizer a palavra **sistema**?
3. Considerando a sua compreensão do que é um sistema, dê um exemplo?
4. Esse sistema que na questão acima você utilizou como exemplo é aberto ou fechado? Por quê?
5. Fenômenos complexos têm causas complexas?
6. Vamos supor que medimos um mesmo objeto com uma trena de 50 metros, depois com uma régua de 30 centímetros e depois com um micrômetro. Os três instrumentos (trena, régua e micrômetro), nos darão o mesmo resultado de medida do objeto? Melhor explicando: teremos o mesmo resultado da medida independente do instrumento que estamos utilizando para medir o objeto?
7. A auto-semelhança é identificada quando uma porção, de uma figura ou de um contorno, pode ser vista como uma réplica do todo, numa escala menor. Essa pode ser uma definição para o conceito de auto-semelhança. Existe auto - semelhança na Natureza? Dê um exemplo.
8. Na **Natureza** o que propicia a vida e a conservação das espécies é a **competição** ou a **cooperação** entre os seres vivos?
9. Você já ouviu falar em acoplamento? O que será isso?
10. O termo "acoplamento estrutural" lhe diz algo? O que?

4- mais ou menos.

2- sistema p/mim é um conjunto entre muitas partes humanas como sistema respiratório, muscular e etc.

3- ~~exemplo~~ sistema respiratório, sistema ~~de~~ muscular ~~etc~~, sistema nervoso e etc

4- ~~aberto~~ e ~~fechado~~ - ~~dependendo~~

5- dependendo do fenômeno.

6- sim.

7- /

8- cooperação.

9- algo que usa uma coisa dependendo a outra.

10- não sei

Responda com suas palavras as questões abaixo:

1. Para você, algo **complexo** é necessariamente **complicado**?
2. O que quer dizer a palavra **sistema**?
3. Considerando a sua compreensão do que é um sistema, dê um exemplo?
4. Esse sistema que na questão acima você utilizou como exemplo é aberto ou fechado? Por quê?
5. Fenômenos complexo tem causas complexas?
6. Vamos supor que medimos um mesmo objeto com uma trena de 50 metros, depois com uma régua de 30 centímetros e depois com um micrômetro. Os três instrumentos (trena, régua e micrômetro), nos darão o mesmo resultado de medida do objeto? Melhor explicando: teremos o mesmo resultado da medida independente do instrumento que estamos utilizando para medir o objeto?
7. A auto-similaridade é identificada quando uma porção, de uma figura ou de um contorno, pode ser vista como uma réplica do todo, numa escala menor. Essa pode ser uma definição para o conceito de auto-similaridade. Existe auto - similaridade na Natureza? Dê um exemplo.
8. Na **Natureza** o que propicia a vida e a conservação das espécies é a **competição** ou a **cooperação** entre os seres vivos?
9. Você já ouviu falar em acoplamento? O que será isso?
10. O termo "acoplamento estrutural" lhe diz algo? O que?

Resposta!

- ① Não
- ② Conjunto de elementos, concreto ou abstrato relacionados entre si
- ③ Tudo que eu vejo na natureza
- ④ É um sistema aberto porque ocorre troca de matéria e energia em um meio
- ⑤ Não.
- ⑥ Não porque depende do objeto não será possível medir as falhas encontradas no objeto.
- ⑦ Sim. um exemplo a Somambria
- ⑧ Cooperação
- ⑨ Sim. São dois organismos que vivem juntos.
- ⑩ Sim. inseparabilidade entre sujeito e objeto. Não podem se separar. De não morrem, um precisa do outro para sobreviver.