

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

**FÍSICA AMBIENTAL E SEU ENSINO:
UMA ABORDAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS PARA
A EDUCAÇÃO BÁSICA**

ADMILSON JUNIOR LEITE

**PROFA. DRA. IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO
Orientadora**

**PROF. DR. JOÃO BASSO MARQUES
Coorientador**

Cuiabá, MT

MAIO/2021

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

**FÍSICA AMBIENTAL E SEU ENSINO:
UMA ABORDAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS PARA
A EDUCAÇÃO BÁSICA**

ADMILSON JUNIOR LEITE

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

PROFA. DRA. IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO
Orientadora

PROF. DR. JOÃO BASSO MARQUES
Coorientador

Cuiabá, MT

MAIO/2021

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

J95f Junior Leite, Admilson.

FÍSICA AMBIENTAL: UMA ABORDAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS
NA EDUCAÇÃO BÁSICA / Admilson Junior Leite. -- 2021
183 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Iramaia Jorge Cabral de Paulo.

Co-orientador: João Basso Marques.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Pensamento Sistêmico. 2. Teoria da complexidade. 3. Processo Educacionais. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: FÍSICA AMBIENTAL: UMA ABORDAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS NA EDUCAÇÃO BÁSICA

AUTOR: MESTRANDO ADMILSON JUNIOR LEITE

Dissertação defendida e aprovada em **15 DE MAIO DE 2021**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. João Basso Marques – Coorientador - Instituto de Física – UFMT

Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo – Examinador Interno – Instituto de Física - UFMT

Profa. Dra. Andréia da Silva Tavares - Examinadora Externa - Centro Universitário de Várzea Grande UNIVAG

Cuiabá-MT, 15/05/2021.



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO, Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 17/05/2021, às 10:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Andréia da Silva Tavares, Usuário Externo**, em 17/05/2021, às 16:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOÃO BASSO MARQUES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 17/05/2021, às 16:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 31/05/2021, às 11:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3505687** e o código CRC **646239AD**.

Referência: Processo nº 23108.036627/2021-39

SEI nº 3505687

DEDICATÓRIA

**A minha maravilhosa mãe, razão do meu ser,
Maria do Carmo da Silva, por confiar em mim
mesmo nos momentos em que eu duvidei de
mim mesmo**

**A minha estimada orientadora, Iramaia Jorge
Cabral de Paulo, pelo apoio incondicional e
por acreditar em mim, mesmo com os
percalços.**

**A madrinha que a vida me deu, Mainara Biazati
Gouveia, por me desafiar a desbravar o
desconhecido.**

**Ao meu eu, outrora sonhador, pelo ímpeto de
continuar seguindo e ter me levado até aqui.**

AGRADECIMENTOS

- ❖ Primeiramente, ao Cosmos, por, em sua Infinitude e Complexidade, propiciar as condições necessárias para a minha existência, e a daqueles que eu amo e admiro;
- ❖ A pessoa que me inspira todos os dias a seguir em frente, Maria do Carmo da Silva, minha mãe. Sem seu exemplo, não sei o que seria de mim;
- ❖ Ao meu pai, acima de todas as adversidades, Geraldo Santos Borges, pela fibra e coragem de seguir em frente;
- ❖ As minhas irmãs, Ana Clara da Silva Leite, Iasmin da Silva Gois, Alexa Aparecida Santos Borges, Durciane Aparecida Santos Borges, Marcela Garcia Borges, Vitória Auxiliadora Santos Borges e a meu irmão Márcio Garcia Borges, pela amizade e por me permitir ser exemplo a eles, mesmo que eu não queira ser;
- ❖ A minha afilhada linda, meu “bichinho de matar com pedra”, Ana Maria. O tio será péssima influência (até parece...);
- ❖ A minha querida Orientadora, Iramaia Jorge Cabral de Paulo, pelo carinho, cumplicidade, paciência, estímulo, paciência, paciência e mais um pouco de paciência, durante toda essa jornada;
- ❖ A ela novamente e a seu marido, meu Orientador de TCC, Sérgio Roberto de Paulo, pela empatia, apoio, sabedoria e carinho, desde minha graduação até o presente momento;
- ❖ A madrinha que a vida me deu, ao meu Pulsar, Mainara Biazati Gouveia, por acreditar no menino magricela, curioso e abelhudo, a ponto de desafiá-lo a cursar Física, num momento em que minhas expectativas eram poucas, escolha que não me arrependo;
- ❖ Ao amigo e irmão da vida, Lucas de Almeida Santiago, pelo carinho, cumplicidade, pelas risadas (extremamente escandalosas), pelas lágrimas e pelo apoio mútuo nessa jornada, chamada vida adulta;
- ❖ Ao Professor João Basso Marques, pelo incentivo, pela orientação e pelo estímulo de continuar seguindo;
- ❖ Ao amigo de graduação mais querido, Jonh Billy da Silva, agora amigo da vida, pela ajuda, carinho, apoio e exemplo de militância e de profissional;
- ❖ A Dinastia, meus amigos Lucas, Jonh e também Walysson Jhoyme Augusto da Silva, Mateus Bruno Rodrigues Cerino e Marcel Victor Ferreira de Souza, pela família mais incrível que a vida poderia me dar;
- ❖ A Vinicius Motta Ferreira, o “Moisés”, pela amizade, e pela ajuda num momento muito difícil da minha vida. Não esqueci minha promessa;
- ❖ A Carolina Moura Leite de Figueiredo, Alfredo Neto Ramos Aires, Bruno Santos Felipe e Alice Marques Aredes Rodrigues, pela amizade incondicional, por acreditarem em mim em momentos que eu já tinha começado a deixar de acreditar, e por aspirarem as mesmas vontades que eu, de uma Ciência e um Ensino melhor a todos;

- ❖ A Paloma Cristina Nogueira da Costa, Lucielly de Souza Alves e Amanda Crystina Araújo da Silva, pela alegria sem igual, pelo profissionalismo, pelas panquecas e por serem exemplos de professoras;
- ❖ A André Rubens Lima, pelo apoio, incentivo e afeto em momentos conturbados;
- ❖ A Rodrigo de Castro Gonçalves Duarte e Victor Marques Araujo, pela amizade e pelo exemplo de profissionais que são. Quando eu crescer, quero ser que nem vocês;
- ❖ Ao Professor Elvis Lira da Silva, por acreditar nas minhas ideias, por ajudar a concretizá-las (o Física na Nuvem é uma das coisas que mais me orgulho em minha vida) e por continuar acreditando em mim;
- ❖ A Professora Andréia da Silva Tavares, por compor esta banca e pelas suas contribuições para a finalização deste trabalho;
- ❖ A todos os Professores do Instituto de Física pelo conhecimento a mim compartilhado;
- ❖ A todos os amigos que fiz na graduação, que são muito (certamente eu escreveria umas dez páginas de nomes se fosse elencar todos), pelo carinho, pelo crédito e por esperarem o melhor da minha vida acadêmica;
- ❖ Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento concedido, que culmina neste trabalho;
- ❖ E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

EPIGRAFE

*"Policeman swear to God
Love's seeping from the guns
I know my friends and i
Would propably turn and run
If you get out the bed
Come find us heading for the bridge
Bring a stone
All the rage
My little dark age"
Little Dark Age – MGMT*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE QUADROS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR	5
2.2 TEORIA DA COMPLEXIDADE NA ABORDAGEM CURRICULAR	11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 TEORIA DA COMPLEXIDADE E PENSAMENTO SISTÊMICO.....	15
3.2. TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	20
3.3 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA (TASC)	22
3.4 UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS: UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS.....	26
4.1 PROPOSTA I - “POR QUE CUIABÁ É TÃO QUENTE?”	28
4.2 PROPOSTA II – “O QUE É REALMENTE PRESERVAR?”	34
4.3 – TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR	40
4.3.1 Introdução aos Sistemas Complexos.....	40
4.3.2 O Pensamento Sistêmico.....	45
4.3.3 O que caracteriza os Sistemas Complexos?	54
4.3.3.1 Adaptabilidade.....	54
4.3.3.2 Estabilidade.....	57
4.3.3.3 Inter-relacionamento.....	58
4.3.3.4 Fronteiras Abertas.....	63
4.3.3.5 Dinamicidade Fundamental	65
4.3.3.6 Interatividade	66
4.3.3.7 Aprendizagem.....	67
4.3.3.8 Frustração.....	68
4.3.3.9 Hierarquia	68
4.3.3.10 Auto-organização	70
4.3.3.11 Propriedades Coletivas Emergentes.....	71

4.3.3.12 Aleatoriedade.....	73
4.3.3.13 Atratores	75
4.3.3.14 Histerese	77
4.3.3.15 Fractalidade e Autossimilaridade	79
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
6.1 - BIBLIOGRAFIA CITADA	91
6.2 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	93
ANEXOS.....	97
ANEXO 1: PORTARIA Nº 1432, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2018 (ADAPTADO)	97
ANEXO 2: MAPAS CONCEITUAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, DE MARCO ANTÔNIO MOREIRA (ADAPTADO).....	103
ANEXO 3: DIAGRAMAS V E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, DE MARCO ANTÔNIO MOREIRA (ADAPTADO).....	114
ANEXO 4: LISTA DE MÍDIAS PARA USO NAS UEPS.....	124
ANEXO 5: INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS COMPLEXOS, DE ADMILSON “DHIMY” JR	125

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Climatologia e histórico da previsão do tempo em Cuiabá – MT.	43
FIGURA 2: Retrato de René Descartes, por Frans Hals.....	47
FIGURA 3: Retrato de Isaac Newton, por Godfrey Kneller.....	48
FIGURA 4: Charles Darwin, por Henry Maul e John Fox	50
FIGURA 5: Ludwig Boltzmann, Desconhecido.	51
FIGURA 6: Meme que ilustra a inseparabilidade entre sujeito e objeto no experimento da fenda dupla.....	52
FIGURA 7: Nu Descendo uma Escada, nº 2 (1912), de Marcel Duchamp	52
FIGURA 8: Paranoiac Visage (1935), de Salvador Dalí	53
FIGURA 9: Ilustração do mutante Darwin.....	55
FIGURA 10: Alfred Wallace, por Henry Maul e John Fox.	56
FIGURA 11: Biomas Terrestres segundo o WWF Global/200.....	59
FIGURA 12: Vista aérea da Amazônia, por Neil Palmer.	59
FIGURA 13: Vista aérea da Mata Atlântica, por Victor Oliveira Sartório	60
FIGURA 14: Vista aérea da Caatinga, por Guilherme Jófili Flicker.....	60
FIGURA 15: Vista aérea do Cerrado, por Angela Paula.	61
FIGURA 16: Vista aérea do Pantanal, por Leandro Almeida Luciano.	61
FIGURA 17: Vista aérea dos Pampas, por Febozza.	62
FIGURA 18: Classificação Climática de Köppen-Geiger.....	62
FIGURA 19: Ilustração de um mapa-múndi político.....	64
FIGURA 20: Continentalidade (influência do continente na amplitude térmica) e Maritimidade (influência do oceano na amplitude térmica).	64
FIGURA 21: Poster do filme interativo Black Mirror: Bandersnatch.	66
FIGURA 22: Ilustração das Patentes das Forças Armadas Brasileiras.	69
FIGURA 23: Classificação da Nobreza (Adaptado pelo autor).	70
FIGURA 24: Comparação entre a faixa de frequência auditiva de humanos e animais.....	72
FIGURA 25: Árvore Genealógica dos hominídeos modernos.	74
FIGURA 26: Atrator de Lorenz, por Dschwen.....	77
FIGURA 27: Edward Lorenz.	77
FIGURA 28: Domínios magnéticos desalinhados.	78
FIGURA 29: Domínios magnéticos alinhados, após ação de campo magnético externo.	78
FIGURA 30: Dimensões euclidianas.	80
FIGURA 31: Vaca Esférica.....	80
FIGURA 32: Benoît Mandelbrot, por Rama.	81
FIGURA 33: Equação de dimensionalidade.....	82
FIGURA 34: Uso de Fractalidade para construção de efeitos especiais no filme Doutor Estranho (2016).....	82
FIGURA 35: Triângulo de Sierpinski, por Nol Aders.....	83
FIGURA 36: Floco de Neve de Koch, por Romero Schmidtke.....	83
FIGURA 37: Esponja de Menger, por Niabot.....	84
FIGURA 38: Invariância de escala em uma estrutura biológica.....	85
FIGURA 39: Ilustração da estrutura fractal de uma árvore (adaptada pelo autor). .	85
FIGURA 40: Romanesco Broccoli, por Ivar Leidus.....	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Quadro de detalhamento da Proposta I.....	30
Quadro 2: Quadro de detalhamento da Proposta II.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

PS – Pensamento Sistêmico

TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa

TASC – Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica

TC – Teoria da Complexidade

UEPS – Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

RESUMO

JUNIOR LEITE, A. **Física Ambiental e seu ensino: uma abordagem de Sistemas Complexos para a Educação Básica**. 183 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

Em um mundo de constantes transformações, se torna evidente que as relações entre homem e ambiente da forma como se dão não é sadia ou benéfica, em especial ao segundo. O trabalho de preservação e conscientização nunca foi tão necessário. Seja como agente de transformação social, seja como um catalisador das ações de combate à desigualdade propostas pela ONU ou ainda como um novo paradigma a ser vivenciado, o Pensamento Sistêmico se desdobra como uma mudança na relação homem-ambiente, bem como uma transformação no processo educacional. O presente trabalho argumenta a favor da mudança de um paradigma cartesiano para um sistêmico, evidenciando os processos sociocientíficos decorrentes da evolução do que hoje é chamado de Teoria da Complexidade ou Teoria dos Sistemas Complexos e de que forma podem ser um catalisador de evolução social. Ainda, avalia de que forma o Pensamento Sistêmico, calcado na Teoria da Complexidade, privilegia a discussão e argumentação crítica dos aprendizes, bem como torna sua formação um ponto de virada na forma como entendemos e nos relacionamos em sociedade. Assim, estimular esse processo soa natural e desenvolver formas de potencializá-lo são interessantes e convenientes. Dessa forma, este trabalho também apresenta, através das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, duas propostas de trabalho alicerçadas nesse Pensamento, como forma de estimular o pensamento crítico e as tomadas de decisão dos aprendizes. Ainda, argumenta que os itinerários formativos, previstos na Base Nacional Comum Curricular, podem ser ferramentas de facilitação de popularização desse novo paradigma, ao privilegiar a tomada de decisão destes. Ademais, um texto de apoio é construído como embasamento para os professores que desejam se aperfeiçoar no Pensamento Sistêmico e na Teoria da Complexidade ou ainda como recurso didático para se apresentar a teoria aos aprendizes. Ao fim, o trabalho sugere passos futuros de forma a catalisar ou ampliar a discussão da relação humana com o ambiente em que vive, de forma a garantir a manutenção dessa relação.

Palavras-chave: Pensamento Sistêmico, Teoria da Complexidade, Processos Educacionais.

ABSTRACT

JUNIOR LEITE, A. **Environmental Physics and its teaching: an approach of Complex Systems for Basic Education**. 183 p. Dissertation (Master's Degree in Environmental Physics) – Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

In a world of constant changing, it is evident that relationship between man and the environmental as they occur is not healthy or beneficial, especially for the latter. Preservation an awareness work has never more necessary. Whether as an agent of social transformation, or as a catalyst for actions to combat inequality proposed by the UN or as a new paradigm to be experienced, Systemic Thinking unfolds as a transformation in the process educational. The present work argues in favor of changing from a cartesian to a systemic paradigm, highlighting the socio-scientific processes resulting from the evolution of what is today called Complexity Theory or Theory of Complex Systems and how they can be a catalyst for social evolution. It also assesses how Systemic Thinking, based on Complexity Theory, privileges the apprentices' critical discussion and argumentation, as well as making their training a turning point in the way we understand and relate to each other in society. So, stimulating stimulate the critical thinking and decision making of the learners. Still, it argues that the formative itineraries, foreseen in the Common National Curricular Base, can be tools to facilitate the popularization of this new paradigm, by privileging their decision making. In addition, a supporting text is constructed as a basis for teacher who wish to improve themselves in Systemic Thinking and Complexity Theory or as didactic resource to present the theory to the learners. In the ed, the work suggests future steps in order to catalyze or expand discussion of the human relationship with the environmental in which it lives, in order to guarantee the maintenance of that relationship.

Keywords: Systemic Thinking, Complexity Theory, Educational Process.

1. INTRODUÇÃO

A Teoria da Complexidade (TC), também conhecida como Teoria dos Sistemas Complexos, ou ainda, Teoria dos Sistemas Não-lineares, nasce na década de 70 como uma resposta emergente aos problemas contemporâneos que envolvem ou demandam uma perspectiva multidisciplinar, sem respostas satisfatórias no paradigma mecanicista vigente nas ciências, principalmente as chamadas Exatas, cuja visão especialista, ou “unidisciplinar”, não oferece soluções satisfatórias á problemáticas emergentes à época, e que perpassam o atual cenário econômico e social.

A visão mecanicista está pautada no determinismo “constante”: todas as facetas da natureza podem ser muito bem determinadas através de análise e experimentação e seus padrões, determinados de forma perfeita através de equações matemáticas. A analogia cartesiana de que o universo funcionava como um relógio e que suas várias componentes funcionavam como suas engrenagens que, quando unidas, descreviam toda a sua arquitetura era uma máxima entre os pensadores das ciências exatas, pensamento esse que permeia o meio até hoje.

A TC é alicerçada, epistemologicamente, no pensamento sistêmico (PS), que subjaz uma ciência baseada nas relações entre seus constituintes ou seus indivíduos, e no produto dessa relação. Dessa forma, entende-se que um sistema possui determinada estrutura através da análise de seu comportamento atual, fruto da relação entre suas partes.

Esses sistemas, com pouca possibilidade de previsão, são constituintes essenciais da realidade humana: o sistema meteorológico; as relações humanas; os processos políticos; o ciclo das águas ou do carbono e as mudanças climáticas e, por consequência, o efeito estufa, as doenças sistêmicas e as pandemias; a conexão globalizada em alta velocidade, etc. Mas, a pouca previsibilidade não faz desses sistemas um problema para a ciência. Na verdade, o enfrentamento desses problemas são indutores de

uma nova visão da Ciência – uma perspectiva refinada metodologicamente para compreender sistemas complexos; ela nos evidencia a necessidade de entender como suas partes se relacionam e quais são as tendências de evolução destes.

Entender que as variáveis meteorológicas são mutuamente influenciáveis, como a temperatura e a umidade relativa do ar é essencial para entender a configuração microclimática e do clima como um todo, mas não só isso, a relação entre a biosfera e a atmosfera de um local, bem como a relação entre as dinâmicas oceânicas e a atmosfera também o são. Percebe-se que “prever” o tempo (condição atual do conjunto de características climáticas de um local) demanda uma abordagem não-linear e que essa abordagem significa uma quebra de paradigma com as formulações deterministas hoje vigentes nas áreas das ciências. Ainda, as relações necessárias para entender um sistema como esse, a qual chamamos de sistema complexo, demandam uma abordagem interdisciplinar que hoje se faz pouco presente, devido ao distanciamento entre as áreas do conhecimento. Além, não apenas desenvolver essa abordagem interdisciplinar, mas também difundi-la, como parte do processo de ruptura paradigmática, de modo que se discutir assuntos sob múltiplos vieses seja uma característica natural do processo de aprendizagem dos estudantes e cientistas deste ponto em diante.

Entender como se dão as características de um sistema complexo, bem como de quais áreas do conhecimento elas se originam é fundamental para compreender a realidade altamente transformadora e dinâmica. A humanidade construiu até aqui uma realidade em constante transformação, altamente conectada, seja através das relações sociais, seja através das relações virtuais. É importante entender como todos esses processos se dão e de que forma influenciam a dinâmica da vida como a entendemos hoje.

As relações humanas perpassam de forma tão evidente a discussão e a evolução das ciências, que ancorada a discussão sobre mudanças climáticas está a de preservação ambiental e a de diferenças sociais. O PS torna evidente a relação entre essas discussões: as diferenças sociais tem

raiz em sociedades capitalistas, cuja exploração do meio ambiente de forma indiscriminada deforma habitats, transforma ecossistemas e, como efeitos posteriores, temos mudanças climáticas a um nível global. Essa relação aqui desenvolvida, simplista inicialmente, carrega dezenas de subtextos e discussões em seu cerne. São essas as discussões, abordadas por várias áreas, vistas hoje como dissociadas, induzem a um modo de pensar sistêmico que se torna tão valioso para as futuras gerações.

As crianças e os jovens serão as responsáveis por difundirem a TC e o PS futuramente. São elas que, ao se apropriarem de suas características, se tornarão o alicerce de mudanças reais do paradigma vigente, propondo ideias, leis e movimentos sociais que levam em consideração as transformações e os impactos ambientais. Serão eles os profissionais que proporão transformações tecnológicas que visem não só o conforto humano, mas também proteção e reconstrução ambiental.

Reconhecer as prerrogativas do PS, bem como as características dos sistemas complexos, se faz importante como forma de conscientizarmos a sociedade acerca dos fenômenos naturais e sociais, suas relações e suas tendências. É reconhecer a importância de todas as áreas do conhecimento para a evolução humana, seja em seus aspectos científicos, sejam em seus aspectos sociais.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), ao preconizar como base um ensino integralizado, ao relacionar as disciplinas a grandes áreas de estudo, promove uma plataforma para que o PS possa ser difundido de forma mais orgânica na Educação Básica. Ao adotar, e defender, uma educação crítica e transformadora, temos uma plataforma para a abordagem dos sistemas complexos não apenas nas universidades e centros de pesquisa.

Diante do apresentado, este trabalho se desenvolve a partir das seguintes premissas:

O pensamento sistêmico, através da TC, está se consolidando como uma epistemologia a ser adotada;

Grandes áreas canônicas do conhecimento como Física, Química, Biologia e grandes áreas aplicadas, como Economia, Ciências Médicas, Engenharia e Gestão, reconhecem a TC e alicerçam seu trabalho no PS;

Existem mecanismos didáticos capazes de transpor o PS à Educação Básica, sem perda de seu cerne e sem empecilhos linguísticos.

A partir dessas premissas, o **objetivo geral** deste trabalho é o de apresentar duas unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS) e um Texto Didático de Apoio como recurso didático instrucional, para aplicação em quaisquer disciplinas, em especial as abarcadas nas ciências da natureza, ou como material de referência para itinerários Formativos, de acordo com o previsto na Base Nacional Comum Curricular, apresentando o PS aos jovens estudantes. A fim de atingir esse objetivo, propõe-se como objetivos específicos:

Análise de produções que visam popularizar a TC ou usar de seus princípios para desenvolver trabalhos interdisciplinares;

Identificar quais áreas do conhecimento já abordam a TC entre seus pares;

Construção de uma sequência didática como sugestão de implementação do produto;

Revisão por pares do produto, de modo a garantir coerência conceitual e científica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fim de tornar abrangente a revisão deste trabalho, através da ferramenta gratuita Google Acadêmico, maior ferramenta de pesquisa gratuita do mundo atualmente, foram selecionados 70 trabalhos, entre livros, teses, dissertações e artigos acadêmicos. A seleção partiu das palavras-chave “Teoria dos Sistemas Complexos/Teoria da Complexidade”, “Pensamento Sistêmico”, “Teoria dos Sistemas Dinâmicos”, “Teoria do Caos” e “Teoria dos Sistemas Não-lineares” e suas equivalentes em língua inglesa.

Destes trabalhos, 5 são livros, todos em língua inglesa; as teses e dissertações são em língua portuguesa; e o restante artigos acadêmicos, majoritariamente em língua inglesa. Da contagem inicial, após uma primeira triagem, 9 artigos foram descartados, pelo trabalho não condizer com a *abordagem sistêmica* previamente esperada¹. Também dessa triagem, os 61 trabalhos restantes foram catalogados em área de interesse, com base no público-alvo dos trabalhos. Foram encontradas abordagem da TC e do PS nas áreas de Economia, Gestão, Psicologia, Engenharia, Pesquisas Simulacionais, Pesquisas em Geral, Enfermagem, Medicina e Administração, correspondendo a 33 dos 61 trabalhos selecionados. Os outros 28 são direcionados ao Ensino/Educação e Gestão de Políticas Educacionais, com ênfase em Ensino. Desses 28 trabalhos, 8 foram descartados dessa Revisão, por não explorarem a TC e o PS de forma explícita, ou por seu foco em ensino/educação ser muito menor em relação ao trabalho como um todo.

2.1 BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR

A Base Nacional Comum Curricular é, hoje, o instrumento norteador do Ensino Básico no Brasil. Ao se olhar para o Ensino Médio, ela objetiva o comprometimento com a *educação integral* e com o *projeto de vida* dos jovens

¹ Nota do Autor: entende-se aqui como abordagem sistêmica esperada aquela pautada no estímulo ao PS e caracterizada como Sistema Complexo.

estudantes. E, afim de atingir esse objetivo, evoca o artigo 35º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (1996) que determina:

I – a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;

II – a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;

III – o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;

IV – a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

Percebe-se, então, um significado característico a ideia de *educação integral* sendo aquela que compreende todas as facetas do desenvolvimento intelectual, fornecendo a base de um conhecimento crítico e transformador, e de *plano de vida* com o uso desse conhecimento como catalisador de mudanças na realidade do estudante, de forma a lhe propiciar condições para uma boa vida, seja em termos familiares ou profissionais. Para tanto, o currículo do EM foi modificado, incluindo a BNCC como norteadora, auxiliado de itinerários formativos. A BNCC é dividida em 4 grandes áreas (Linguagens, Códigos e suas Tecnologias; Matemática e suas tecnologias; Ciências da Natureza e suas Tecnologias; Ciências Humanas e suas Tecnologias) e os itinerários formativos servem como especializações e aprofundamentos nas áreas do conhecimento, bem como aperfeiçoamento profissional, dependendo da realidade e da disponibilidade de cada região do Brasil.

Fazendo um recorte da BNCC, verifica-se que na área de Ciências da natureza, onde a disciplina de Física, a nível médio, se encaixa, não há uma separação clara em disciplinas, e sim em habilidades a serem desenvolvidas

pelos alunos e competências a serem atingidas, de forma que as habilidades sejam dominadas. Dessa forma, garante-se um currículo que valorize a interdisciplinaridade e que, como objetivo, estabelece relações entre as disciplinas, outrora aparentemente desconexas.

Mesmo que as unidades temáticas pareçam, através de suas definições, pouco concretas, a BNCC reitera a ideia de que os conhecimentos construídos nessa área, como a contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia são determinantes para um pensamento que valorize o sustentável, que relacione a evolução humana ao ambiente em que vive. Existe um caráter norteador no que se refere as expectativas da BNCC ao aluno durante o processo de aprendizagem dos conhecimentos dessa área.

Osberg e Biesta (2010) advogam a favor desse caráter *norteador* para o currículo e argumentam que a TC seja uma ferramenta alinhada a esse objetivo. Dessa forma, elimina-se o caráter proposital do Ensino e o torna mais humanizado àqueles que o experimentam. Essa preocupação com o currículo e de que forma as políticas públicas em educação podem ser fatores diretos no processo de aprendizagem é exposto por Bates (2013) que argumenta que, ao tornarmos o ensino apenas um nivelador de performance e estimularmos a competitividade entre os estudantes, de modo que eles aprendam apenas para atingirem objetivos, destruimos o processo no que é chamado de *erosão da qualidade educacional*.

E, mesmo com políticas de inclusão, que valorizem a diversidade e os fatores humanos (TEQJA E DENNIS JR, 2016), se o processo for mecânico e não humanizado, o termo *inclusão* tem seu sentido deturpado, passando a significar a “condição para que você garanta seu lugar no sistema” aniquilando por completo a diversidade de ideias de formas de ver o mundo (OSBERG & BIESTA, 2010).

Assim como o trabalho de Osberg e Biesta (2010) o faz, o trabalho de Hult (2010) valoriza a TC e vai além: estabelece que os processos educacionais, não somente aqueles previstos pelo currículo são sistemas

complexos e devem ser analisados como tais. Hult aponta que desde a relação com os colegas até processos internacionais, por terem como base a relação entre indivíduos, são todos hierárquicos, mas tem essa mesma relação em comum em todos os níveis. A sociedade evolui e se transforma, de forma não-linear, assim como um sistema complexo, e não há razão, ou ainda, não há condições, de se amparar em uma prerrogativa tradicional e/ou determinista para lidar com esses processos (TEQJA & DENNIS JR, 2016).

Teqjia e Dennis Jr (2016) e Mason (2009) argumentam em prol da mudança da abordagem cartesiana em sociedade para uma sistêmica, mas Mason reconhece que o processo é desafiador: o processo de mudança de paradigma deve ser bem discutido e deve estar fortalecido através de uma metodologia, uma teoria de ensino-aprendizagem robusta e uma epistemologia facilitadora. Nesse contexto, Doolittle (2014) advoga pelo que define como *Construtivismo Complexo*, uma união da epistemologia construtivista aos princípios do pensamento complexo. Nela as principais características do construtivismo, em evidencia a participação ativa do aprendiz são aliadas as características do Pensamento Sistêmico, em destaque pelas dinâmicas não-lineares entre as componentes do sistema. Assim, é possível estimular a constante mudança dos modelos internos do indivíduo com base em novas experiências, sejam sociais, sejam ambientais. Ainda, Davis e Sumara (2008) ao avaliar o conceito de sistema complexo e suas ramificações, reconhece o caráter *transfenomenológico*², *transdisciplinar*³, *interdiscursivo*⁴ e *pragmático*⁵ da TC, reconhecendo como uma nova e oportuna teoria de educação e/ou ensino.

² O caráter transfenomenológico diz respeito as semelhanças entre sistemas que, sob um primeiro olhar, parecem desconexos, mas quando entendidos como sistemas abertos, passam a compartilhar das mesmas características.

³ O caráter transdisciplinar diz respeito a uma interpretação dos fenômenos de forma geral, sem possíveis limitações inerentes ao estudo disciplinar fragmentado.

⁴ O caráter interdiscursivo diz respeito a conectividade de ideias díspares, levando o foco do confronto para o de complementação.

⁵ O caráter pragmático diz respeito a inerente transformação dos saberes construídos e a consolidação desse aspecto como fundamental nos processos de formação, aprendizagem e pesquisa.

Porém, Jess et al. (2011) defendem que o pensamento cartesiano (tradicional) deva ser um aporte para o ensino sistêmico, visto que o pensamento tradicional pode ser um mediador da consolidação deste, através um processo gradual de transição até a efetiva mudança de paradigma, ou ainda como uma ferramenta desse novo paradigma.

Quando olhamos para os objetivos esperados pela mudança no currículo sugerida pela BNCC, podemos comparar a grande área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, juntamente com a grande área de Matemática e suas Tecnologias com uma metodologia de ensino/educação americana chamada Educação STEM, sigla para Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática que, segundo Bybee (2010), tem por objetivo desenvolver uma mão de obra qualificada, a fim de assumir ocupações cada vez mais complexas, assim como nossa sociedade o é, com um pensamento crítico e ferramentas teóricas e experimentais apuradas, de modo a serem grandes agentes de transformação na sociedade, com um claro impacto na economia nacional. Bybee (v. 329, p. 996) ainda aponta:

“os alunos devem adquirir habilidades como adaptabilidade, comunicação complexa, habilidades sociais, resolução de problemas fora da rotina, autogestão e pensamento sistêmico para competir na economia moderna. Na medida em que os currículos STEM incorporam atividades em grupo, investigações de laboratório e projetos, eles oferecem a oportunidade para os alunos desenvolverem essas habilidades essenciais do século 21 e prepará-los para se tornarem cidadãos mais capazes de tomar decisões sobre saúde pessoal, eficiência energética, qualidade ambiental, uso de recursos e segurança nacional. Na verdade, as competências de que os cidadãos precisam para compreender e abordar tais questões, desde a perspectiva pessoal até a global, estão tão claramente vinculadas ao conhecimento nas disciplinas STEM quanto à economia, política e valores culturais.”

A comparação mostra-se pertinente, pois assim como a BNCC almeja uma *educação integral* e um plano de *vida*, a educação STEM verbaliza parâmetros sistêmicos, com o devido foco ao pensamento sistêmico, de forma a serem percebidas como potenciais plataformas para o ensino da TC. Osberg e Biesta (2010, p.603-605) argumentam que o desafio de tornar o currículo norteador e não fim, como advoga o PS, passa por quatro etapas. A primeira é de reconhecer que, se o processo educacional é complexo, e que o currículo

é norteador, então não há razão para se definir um fim para esse processo; a segunda, complementar a primeira é que, da mesma forma que o processo educacional não tem um fim, não há razão para se definir um “começo”, um “ponto de partida”, apenas o processo e as relações são significativas; a terceira é de que o processo deve ser político e ético, onde toda a gama de ideias possam ser avaliadas e confrontadas, ou que não se defina como absoluto o que está no currículo; a última é de reconhecer que, ao definirmos o processo como complexo, abrimos mão do controle deste e aceitarmos as incertezas inerentes a esses processos, estimulando a criticidade dos aprendizes e suas tomadas de decisão.

É nesse aspecto, de que a aprendizagem deve ser diversa e decidida pelos aprendizes, que os itinerários formativos, previstos na BNCC, são relevantes para a mudança do papel do currículo. Segundo a Portaria nº 1432, de 28 de dezembro de 2018 (2019⁶), que estabelece os referenciais para a elaboração dos itinerários formativos, são objetivos dos itinerários formativos (p. 94):

- Aprofundar as aprendizagens relacionadas às competências gerais, às Áreas de Conhecimento e/ou à Formação Técnica e Profissional;
- Consolidar a formação integral dos estudantes, desenvolvendo a autonomia necessária para que realizem seus projetos de vida;
- Promover a incorporação de valores universais, como ética, liberdade, democracia, justiça social, pluralidade, solidariedade e sustentabilidade; e
- Desenvolver habilidades que permitam aos estudantes ter uma visão de mundo ampla e heterogênea, tomar decisões e agir nas mais diversas situações, seja na escola, seja no trabalho, seja na vida.

⁶ Ano da veiculação da Portaria no Diário Oficial da União.

Ainda, o documento aponta que esses itinerários formativos devem ser organizados a partir de quatro eixos estruturantes⁷, visando a integração e a integralização de suas possibilidades, que podem ser diversas, e a criação de oportunidades de vivência e experiência educativas para os aprendizes, associadas à realidade contemporânea, através de situações que os permitam criar, intervir na realidade e empreender projetos presentes e futuros.

Ao se propor que o aluno ganhe autonomia e tomada de decisão sobre seu currículo ao poder escolher quais itinerários formativos comporão sua formação, espera-se que o processo educacional se *torne complexo*⁸, e a criticidade dos aprendizes seja estimulada.

2.2 TEORIA DA COMPLEXIDADE NA ABORDAGEM CURRICULAR

O recorte desse trabalho também traz análises de currículo que verificam a aplicabilidade da complexidade na educação básica em nível fundamental II e médio. Boersma et al. (2011) reconheceram conceitos relacionados a complexidade nesses níveis e que, portanto, é possível discutí-los, sem uma mudança abrupta de abordagem curricular. Porém, apontaram dificuldades na percepção dos alunos acerca das características emergentes de sistemas complexos, o que torna dificultoso o processo de transição. No entanto, apontam estratégias para a diminuição dessa dificuldade, como a construção de subsunçores associadas as características emergentes como a relação parte-todo e forma-função, além do conceito de causalidade, que aparentemente se mostram pouco consolidados dentro dos currículos.

Ainda, Chiu et al. (2019), comparam o currículo de 4 países distintos, verificando que existem elementos de pensamento sistêmico neles, que estes

⁷ Os eixos estruturantes são: Investigação Científica, Processo Criativos, Mediação e Intervenção Sociocultural e Empreendedorismo. Mais detalhes, vide Anexo I

⁸ Nota do Autor: tornar-se complexo aqui diz respeito ao argumento exposto por Osberg e Biesta (2010) em seu trabalho.

possuem um elemento norteador a esse pensamento, mas que, efetivamente, não o alcançam. Assim, se reconhece que os currículos não foram desenvolvidos a esse fim, mas que alguns pontos inerentes aos PS estão lá. Além, Cunningham (2001), argumenta que, como as comunidades escolares são formadas por indivíduos com particularidades e vivências próprias, seria prudente tomá-las como sistemas complexos e dessa forma, estimular que seus constituintes começassem a entender as relações com os outros indivíduos são dinâmicas e de que forma isso pode transformar essa comunidade, sempre buscando o bem-estar social.

A abordagem sistêmica tem como um de seus parâmetros norteadores a sustentabilidade: a relação da sociedade com o ambiente de forma saudável. Mahaffy et al. (2019) argumenta que quando utilizamos o caráter sustentável como fio condutor de um ensino sistêmico, é possível estabelecer relações complexas em vários níveis, desde o microscópico, como a interação de átomo e moléculas, até o macroscópico como as dinâmicas gasosas da atmosfera. Vão além: defendem que, ao desenvolverem esse pensamento dentro do currículo, garantem, a médio e longo prazo, atender aos *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*, mediados pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Entende-se que, de forma a garantir que uma aprendizagem sistêmica se concretize, não basta apenas que os aprendizes entrem em contato com ela, deve haver uma transformação educacional junto dos mediadores do conhecimento, no que diz respeito a sua formação, a nível superior. Dentro desse recorte, infelizmente, a abordagem sistêmica se faz pouco presente nas áreas de Física e Matemática, como aponta o trabalho de York et al. (2019) e como é objeto de preocupação de Forsman et al. (2014). A área de Química se destaca no que diz respeito ao estímulo ao ensino sistêmico (YORK et al., 2019; MAHAFFY et al., 2019; CHIU et al., 2019), com especial destaque ao conceito de sustentabilidade. Cabe ressaltar, porém, que como a Química e Física estão em uma mesma grande área, que os trabalhos supracitados evidenciam características de um sistema complexo, e que o pensamento sistêmico é inerente a diversas áreas do conhecimento, estabelecendo

relações entre elas (DAVIS & SUMARA, 2008), seus resultados podem ser extrapolados à Física, mais especificamente, Física Ambiental, uma área interdisciplinar e complexa em seu cerne.

Diante do exposto, este trabalho se mostra relevante, através do foco dado ao Ensino de Física, ao contemplar uma área do conhecimento pouco abrangida em trabalhos acadêmicos. Felizmente, existem trabalhos norteadores a esse processo, como os de Capra (1996) e de Manson (2001) sendo o primeiro um grande resgate histórico do processo de construção da complexidade e o segundo um bom glossário para entender e identificar as características de um sistema complexo. Gleria et al. (2004) traz um viés matemático mais evidente, mas aplicado a diversos sistemas, sejam físicos, geológicos ou sociais, consolidando o caráter agregador que a teoria possui, ao conversar com diversas áreas do conhecimento.

Buscou-se ainda, como aporte para o delineamento dessa pesquisa, as contribuições acadêmicas do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental (PPGFA), nesse sentido, Carrilho Sobrinho (2009) aponta que os recursos didáticos mais comuns, os livros didáticos, não possuem grande coesão conceitual acerca de conceitos relacionados a Física Ambiental, bem como não apresentam ferramentas de estímulo ao pensamento crítico; Jorge Neto (2009) assevera a viabilidade da aplicabilidade de conceitos relacionados a Física Ambiental e TC no nível médio, através da formação de professores; Dorileo (2010) aponta receptividade por parte dos alunos do nível médio pelos conceitos de Física ambiental aliada a tecnologias de informação e comunicação (TICs) e também por conta da recorrência dessas discussões nas mídias regulares (rádio, televisão e internet); Por fim, Tavares (2011), através de um curso de formação complementar para alunos de nível médio, aponta que a apreciação dos alunos por esses temas é relevante, argumentando em prol da viabilidade de inserção de temas ligados a Teoria da Complexidade a nível médio.

Percebe-se uma convergência dos referenciais ao argumento de que o processo educacional precisa ser revisto, seja em termos epistemológicos,

seja em termos pragmáticos. E não só, mas que deixe de ser fim para ser meio para os processos de evolução e revolução política, social e ambiental. O PS e a TC já estão presentes dentro do atual currículo, mesmo que dissolutos e, dentro de uma nova abordagem, podem emergir de forma espontânea desse meio, a partir de processos que valorizem as relações entre o aprendiz, seus professores, a comunidade escolar e o meio ambiente.

Por conseguinte, tornar o processo educacional organicamente sustentável garante a formação de cidadãos conscientes de sua participação na dinâmica das relações que compõe o sistema complexo que definimos como planeta, consolidando futuras lideranças com políticas reais e efetivas de evolução social, baseadas no PS. Em contínuo, verifica-se na proposta da BNCC de um *ensino integral* uma aliada no processo de transformação epistemológica e pragmática almejada pelos referenciais. Assim sendo, estudá-la, aplicá-la e avaliá-la é imperativo no atual cenário, de relevante descaso com o ambiente e a pouco espaço para a tomada de decisão dos aprendizes – e futuros cidadãos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 TEORIA DA COMPLEXIDADE E PENSAMENTO SISTÊMICO

As relações humanas permeiam as discussões sociais atualmente (CAPRA, 1996; JORGE NETO, 2009; DE PAULO et al, 2012, JUNIOR LEITE, 2017), seja através das discussões socioambientais, relacionadas à preservação, ao desmatamento e a pecuária extensiva, seja através de políticas públicas, como combate ao crime organizado, a “guerra as drogas” e as lutas de minorias, seja pelas discussões técnica e tecnológicas, como o combate as *fakes news* e a dependência cada vez maior da tecnologia. Nota-se que o campo de discussão é amplo, permeando todas as áreas do conhecimento

A Teoria da Complexidade (TC) é o nome dado a um conjunto de teorias acerca de sistemas complexos que ganhou forma a partir da década de 1970, com o trabalho de Ilya Prigogine, vencedor do prêmio Nobel de Química que defendeu que essa seria uma nova ciência emergente (JORGE NETO, 2009). A TC estuda os sistemas complexos, ou melhor, os sistemas abertos, sistemas *reais*, que estão em constante processo de troca de matéria, energia, momento e informação com outros sistemas e que possui uma dinâmica de estabilidade fora do equilíbrio, já que são sistemas em constante processo de interação, além de serem sistemas cuja entropia é sempre pequena, pois tendem a se organizar em estruturas.

Segundo Capra (1996), e reiterado em trabalhos posteriores (NUSSSENSWEIG, 2008; DE PAULO et al, 2012) os sistemas complexos possuem uma série de características, mesmo que os objetos de estudo não sejam os mesmos. Nicolis e Prigogine (1989)⁹ apud de Paulo et al. (2012) apontam que os sistemas complexos estão presentes nos mais diversos contextos e tem a ver com a vida e, ao assumir essa característica intrínseca,

⁹ NICOLIS, Gregoire; PRIGOGINE, Ilya. Exploring complexity an introduction. 1989.

lidamos com um estudo profundo, de como a vida surge e se mantém (DE PAULO, 2012). De Paulo et al. (2012, p. 28) nos aponta o que podemos caracterizar como primordial e intrínseco a um sistema complexo, sua *simplicidade*:

“A complexidade que vemos no mundo é resultado de uma simplicidade fundamental. Os sistemas complexos são simples, criativos e geram padrões complexos”

Outras três características são inerentes a esses sistemas: a primeira, a *adaptabilidade*, já que esses sistemas estão em constante modificação de forma a garantir uma melhor relação com suas vizinhanças; a segunda, a *estabilidade*, já que consegue existir e funcionar fora de regimes de equilíbrio, devido a uma intrincada relação de trocas; e por último o *inter-relacionamento*, pautado justamente nessas trocas, no caso, de matéria, energia, momento e informação com outros sistemas vizinhos.

Os trabalhos de Capra (1996) e Nussensweig (2008) apontam outras características, que permeiam a própria história da Teoria da Complexidade, indo de estudos da Biologia, passando pela Psicologia, Física, Química, Matemática e várias outras Ciências Sociais, sem uma ordem clara de importância:

1. Dinamicidade Fundamental: os sistemas complexos não estão em regimes de equilíbrio de nenhum tipo (térmico, químico, mecânico, estrutural) e sim em constantes processos de evolução. As relações entre as partes estão em constante mudança, mas é perceptível, ao fim, uma estabilidade associada ao sistema como um todo, o que não significa uma situação de equilíbrio;
2. Interatividade: os sistemas complexos funcionam através de uma intrincada rede de conexões e interações entre suas constituintes e, caso uma dessas interações de alguma forma se altere, o sistema como um todo responde a essa interação.
3. Sistema Aberto: os sistemas complexos estão em constante interação com sua vizinhança, através de trocas de matéria, energia, momento e

informação de forma que caso essa interação cesse, o sistema deixa de existir;

4. Frustração: em um sistema complexo, nem todas as interações com sua vizinhança promoveram uma mudança na dinâmica de um sistema, já que as interações promoveram uma série de sinais distintos e nem todos eles serão utilizados pelo sistema;
5. Aprendizagem: os sistemas complexos conseguem se adaptar as relações que promove entre si e sua vizinhança. É possível que a estrutura como um todo, ou parte dela se modifique, que *aprenda* a aproveitar ou não aproveitar os processos interativos as quais está submetida;
6. Aleatoriedade: as características de um sistema não seguem um padrão que pode se mensurar ou determinar. O que podemos inferir é que, como resultado, um padrão esperado apareça, mas entender como as constituintes desse sistema se organizaram para esse resultado não é possível;
7. Auto-organização: os sistemas complexos se estruturam de forma espontânea. Essa estrutura seria a síntese dos processos internos ao sistema, que como produto, são sua estrutura aparente e, caso se modiquem, sua estrutura, ou seja, sua síntese, também se modificará;
8. Hierarquia: em um sistema complexo, um mesmo estímulo poderá produzir interações diferentes em níveis diferentes desse mesmo sistema. Dessa forma, percebe-se que a interpretação *real* do sistema seria um produto de todas essas interações;
9. Atratores: sistemas complexos tendem a encontrar condições características para se estabilizarem, em um padrão temporal que se repete;
10. Propriedades coletivas emergentes: da interação entre as constituintes de um sistema complexo ou de uma constituinte com sua vizinhança, surgem propriedades qualitativas que não estão presentes individualmente em cada uma das constituintes;

11. Histerese: os sistemas complexos tendem a permanecer em um dado nível de estabilidade, sem necessariamente transitar entre todas as possíveis, de acordo com o estímulo anterior que o levou a aquele nível de estabilidade;
12. Fractalidade e autossimilaridade: sistemas complexos não estão contidos em dimensões inteiras, que são representações matemáticas ideais da realidade, mas sim em dimensões fracionadas, sempre entre duas dimensões inteiras e ainda, que suas constituintes possuam um padrão fractal que se repete em escalas diferentes, sendo “cópias” do todo.

O Pensamento Sistêmico (PS) se consolida em conjunto com a própria consolidação da TC (CAPRA, 1996; JORGE NETO, 2009; DE PAULO et al., 2012, JUNIOR LEITE, 2017) sendo que suas características pressupostas emergem da própria concepção de que os sistemas não podem ser estudados isolados e fragmentados. Seu embrião está nos movimentos anti-cartesianos como o Romantismo (DE PAULO et al., 2012) que defende a inseparabilidade entre sujeito e objeto, ou seja, de que aquilo que medimos é influenciado por aquilo que usamos para medir, ganhando força com a Teoria da Evolução de Darwin a Teoria Cinética dos gases de Ludwig Boltzmann, que começam a inserir o conceito de aleatoriedade em seus estudos, descrevendo que as características mesoscópicas que coletamos dependem de interações microscópicas puramente probabilísticas.

Outra característica do PS é de que as interações norteiam os sistemas complexos e essa visão ganha mais força com o advento da Mecânica Quântica e da Arte Moderna, pautadas na relação entre o sujeito e o objeto e a forma como o sistema se comporta de acordo com essa interação. Percebe-se uma ascensão do subjetivismo em detrimento do determinismo vigente, sendo uma quebra de paradigma que perpetua até os dias de hoje.

Todavia, a característica mais evidente do PS é a posição de que *o todo é maior que as partes* (CAPRA, 1996; JUNIOR LEITE, 2017), pois

“nos sistemas complexos, cada parte é composta de outros sistemas complexos menores que são autônomos, mas, ainda assim, estão integrados, de forma harmoniosa ao todo, de modo que se torna inconcebível entendê-lo, já que há interdependências e interações entre as partes e para com o todo.” (JUNIOR LEITE, 2017, p. 03)

Essa característica, é o cerne de uma área de estudo da Biologia que nasce durante o processo de construção da TC, que é a ecologia, o “estudo das relações” dos componentes que geram a vida e, a partir dela que são cunhados os termos utilizados para esses “estudos de relações”, como *biosfera*, *meio ambiente* e *ecossistema* e contribuiu para o fortalecimento de mais duas características associadas ao PS, que a de rede (conjunto de relações entre entidades em um mesmo nível de estudo) e comunidade (conjunto de entidades em um mesmo nível de estudo) (CAPRA, 1996; JUNIOR LEITE, 2017).

O PS então, defende a concepção de que não é possível estudarmos o ambiente sem levarmos nossa interação em conta nesse processo, de que essa interação forma uma rede intrincada de relações, que não seriam possíveis de serem avaliadas e analisadas ao tentarmos fragmentar nosso olhar; de que cada indivíduo é um sistema complexo em si e que ele interage o tempo todo com seu externo; de que comunidades não podem ser avaliadas como se todos seus constituintes fossem iguais; de que, ao valorizarmos o homem em detrimento do ambiente que o cerca e na qual ele está inserido, colocamos em cheque toda a intrincada rede de conexões existente e, afinal, colocamos nossa própria existência em cheque.

Capra (1996), há mais de 20 anos já apontava a “falta de tato dos líderes de que suas ações sobre a natureza influenciam diretamente no bem-estar de gerações futuras” (JUNIOR LEITE, 2017). Ele pontua além, de que a humanidade não toma decisões de longo prazo e, portanto, não toma decisões *sustentáveis*, de forma a garantir o bem-estar social futuro. Junior Leite (2017, p. 03) argumenta que o PS estimula a sociedade:

“saindo de um status mecanicista, na qual tudo poderia se “assemelhar” ao funcionamento de um relógio, onde o estudo das partes proporcionaria o entendimento do todo, além de uma sociedade machista e em que a competitividade supera a

cooperatividade e rumando para um status ecológico, onde o mundo é um sistema integrado, de forma que cada parte influencie no todo e que a soma destas, sejam maior que este, percebendo a interdependência fundamental entre os fenômenos naturais e que, de modo a reconhecer a dependência humana à estes fenômenos, estes estejam encaixados nos processos cíclicos da natureza”

3.2. TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) se estabelece com o trabalho de David Ausubel de 1963 e posteriores e no Brasil, pelo trabalho de Marco Antônio Moreira de 2000. Segundo Moreira (2012) novas ou conceitos, se associam de forma substantiva e não-arbitrária com o conhecimento que o aprendiz já possui. A esse conhecimento que o aprendiz já tem, e àquele que esse novo conhecimento se associará, dá-se o nome de *subsunção*, que permite dar um significado ao conhecimento que é apresentado ao aprendiz. Ainda, esse subsunção pode ter maior ou menor estabilidade cognitiva, ou seja, mais ou menos corroborado na estrutura cognitiva desse aprendiz e, segundo Moreira (2012):

“É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela **interação** entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é *não-literal* e *não-arbitrária*. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.”

Moreira (2012) também define as condições para que aprendizagem significativa: a primeira é que o *material seja potencialmente significativo*, ou seja, que tenha significado lógico e que garanta a relação esperada entre o conhecimento prévio e o subsunção do aluno; e a segunda é a *disposição do aluno a aprender*, ou seja, que o aprendiz queira relacionar seus subsunções ao conhecimentos a eles apresentados ou por ele experimentados e, é não só o mais importante, mas também o mais difícil de se obter. Mas, e se o aprendiz não possui subsunções necessários para a construção de um conhecimento?

Nesse caso, a aprendizagem mecânica em baixa escala pode ser uma opção ou então pode-se utilizar organizadores prévios, que são materiais alternativos, como textos, vídeos, músicas, mídias sociais, etc, que servirão como um despertar da atenção do aprendiz para o conceito ou ideia a ser construído, ou seja, desenvolver os subsunçores junto ao aprendiz para tornarem relacionáveis os conhecimentos novos a serem construídos por ele.

Ausubel aponta para o fato de que o aluno aprende a partir do que ele já sabe e Moreira (2005) atribuí essa característica a um conservadorismo cognitivo, que fortalece a necessidade de construir-se conhecimento respeitando essa diretriz.

Moreira (2005; 2006; 2012) apresenta processos inerentes a aprendizagem do aluno associados à sua estrutura cognitiva, estrutura essa, orgânica e dinâmica, intrinsicamente ligadas a esses processos (numa *retroalimentação*), que são a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A *diferenciação progressiva* consiste no processo da especificação dos conceitos ao longo da construção de um conhecimento de forma que, ao longo desse processo ele se refine e possibilite a ancoragem de mais conceitos pelo aluno, devido a sua cada vez maior especificidade. A *reconciliação integradora* é o processo reverso: aqui integramos conceitos, associando-os de forma a eliminar inconsistências associadas aquele subsunçor, de forma a abarcar em um mesmo conceito significados muito abrangentes (e que possibilite diferenciações posteriormente, reiniciando esse ciclo).

Além desses processos reversíveis e comunicáveis, outros dois processos estão inerentes a aprendizagem (MOREIRA, 2012): o primeiro processo é o da *organização sequencial* dos conhecimentos que consiste do uso e proveito das relações naturais entre os conceitos associados para a construção de um conhecimento, e a *consolidação*, que tem a ver com a avaliação do domínio do aprendiz acerca dos conceitos previamente aprendidos, antes da inserção de novos conceitos.

3.3 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA (TASC)

Postman e Weingartner (1969)¹⁰ apud Moreira (2000) apontam que a escola, ao invés de preparar o aluno para uma sociedade em constante transformação, onde o conhecimento, a todo o tempo vem se alterando, assim como verdades, conceitos, técnicas e tecnologias, ainda é reduto de *verdades absolutas e certezas irrefutáveis*; de *que as coisas só tem uma função* e de *que ao se saber seu nome, se sabe o que ela é*; de *que toda ação leva a uma causa direta e inequivocamente*; de *que o mundo só existe através da dicotomia das relações*; e *que o conhecimento é transmitido de uma entidade a outra inquestionavelmente*.

Moreira (2000) ainda acrescenta as constatações de Postman e Weingartner, devido a explosão de informação advinda da internet e da cada vez maior dependência tecnológica do ser humano a ideia de que *toda informação é boa, independentemente de sua fonte*; *a tecnologia é boa para a humanidade pois catalisa os processos formativos e garante melhoria de vida*; e de que *temos que consumir cada vez mais, pois esse é nosso direito*.

Moreira (2000; 2006) aponta para uma série de princípios que, analogamente a TAS, fornece subsídios para que aprendizagem não seja apenas significativa mais crítica: a aprendizagem deve ser crítica, antropológica, *subversiva*; ao mesmo tempo em que vivemos em sociedade e de que precisamos de mecanismos que nos garantam ser parte dela, temos que também sermos críticos, de forma a não nos tornamos reféns, que possamos ao mesmo tempo que usufruirmos dela, sejamos agentes de transformação (MOREIRA, 2006). Esses princípios facilitadores são:

1. **Princípio da interação social e do questionamento:** são as perguntas que fomentam o conhecimento e não as respostas, logo, apenas buscar respostas é uma ação acrítica e que é necessário aprender e ensinar a perguntar;

¹⁰ POSTMAN, Postman N.; WEINGARTNER, Charles. **Teaching as a subversive activity**. Delta, 1969.

2. **Princípio da não-centralidade do livro-texto:** não há apenas um único objeto que carrega todo o conhecimento sobre determinado aspecto ou conceito, logo, depender de apenas uma única referência é uma atitude acrítica e que é necessário buscar mais de uma fonte de consulta;
3. **Princípio do aprendiz como perceptor e representador:** o indivíduo percebe e representa o mundo baseado em suas experiências, logo, aceitar a forma como outros indivíduos o fazem é uma atitude acrítica, isso é, é necessário perceber e representar por si só como parte da construção do conhecimento;
4. **Princípio do conhecimento como linguagem:** a linguagem está presente em toda e qualquer forma do ser humano representar o conhecimento, e está intrinsecamente ligada a forma como percebemos e representamos o mundo. Acreditar que a linguagem é neutra e sem intencionalidade é uma ação acrítica do indivíduo, é necessário que este participe do processo e que ele entenda que a linguagem é a forma como representamos o conhecimento.
5. **Princípio da consciência semântica:** o significado do conhecimento depende da construção e interpretação de um outro indivíduo e aceitá-lo sem entender seus precedentes é uma atitude acrítica, é necessário que entendemos a intencionalidade daqueles que a compartilham de forma a entender a quem esse conhecimento se destina;
6. **Princípio da aprendizagem pelo erro:** errar está no cerne da construção do conhecimento e o omitir desse processo é uma ação acrítica, pois é necessário reconhecermos que errar faz parte do processo e com esses erros podemos vir a tomar melhores decisões posteriormente;
7. **Princípio da desaprendizagem:** existem certos conhecimentos que não são coerentes ou que não foram construídos de forma coerente e que, se não forem desconstruídos, ou seja, ressignificados ou reconstruídos, poderão levar a um pensamento acrítico, logo, é essencial que tenhamos conhecimento de que nem tudo que sabemos

é o correto ou a forma mais crítica de se consolidar um novo conhecimento;

8. **Princípio da incerteza do conhecimento:** o conhecimento não é fixo e imutável e isso muito tem a ver com o fato de que aqueles que o constroem carregam intenções e não só, mas também experiências. Aceitar todo conhecimento como verdade universal é uma atitude acrítica, pois é necessária nossa compreensão de que o conhecimento é uma construção humana, que usa de analogias e metáforas para serem construídas bem como dependem do conhecimento daqueles que se dispõem a construir novos conhecimentos;
9. **Princípio da não utilização do quadro-de-giz:** o conhecimento não deve ser construído de apenas uma única forma, com a devida evidência ao caráter expositivo, mas sim através de diversas ferramentas e metodologias distintas. Acreditar que há apenas uma única forma de construir conhecimento é uma atitude acrítica pois, o protagonismo do aprendiz na construção de seu conhecimento, deve ser estimulado por aqueles que ensinam.

Mesmo que pareça “*muito a ser feito*”, Moreira (2000) defende que esses princípios podem ser prontamente aplicáveis em sala pois, além de viáveis, conferem a subversão ao ensino que a TASC estimula em sua formulação, justamente ao evidenciar o protagonismo do aluno no processo de sua aprendizagem.

3.4 UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS

Diante do panorama exposto por Ausubel e potencializado por Moreira, se faz necessária a pergunta de como desenvolver um ensino significativo e crítico nos processos de instrução dos alunos em todos os níveis. Nossa sociedade ainda implementa um ensino pautado na memorização de termos e conceitos a serem reproduzidos em avaliações quantitativas e, logo após, passíveis de descarte (MOREIRA, 2000; 2006; 2012), não desenvolvendo um

processo de consolidação real desses conceitos, nem promovendo uma associação ao conhecimento prévio do aluno, e ainda, não estimulando o pensamento crítico do aprendiz, uma das bases do Pensamento Sistêmico.

Moreira (2012) propõe então as *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas* – UEPS –, definidas como sequências didáticas fundamentadas teoricamente, ou seja, construídas sob o alicerce da Aprendizagem Significativa e Crítica, de modo a estimular um ensino potencialmente significativo, não mecânico e que fortaleça a contextualização e discussão crítica, além de serem instrumentos potenciais para pesquisas voltadas a área de Ensino.

As UEPS têm como princípios norteadores as prerrogativas desenvolvidas na TAS e na TASC e podem aliar ainda o uso de outros recursos instrucionais como Diagramas V e Mapas Conceituais em sua formulação. Elas são construídas sob a perspectiva de aspectos sequenciais, ou melhor, *passos*, cuja finalidade é garantir a eficiência das prerrogativas norteadoras desse recurso instrucional, começando sempre de aspectos mais abrangentes e introdutórios e caminhando, junto do aluno, a conceitos mais específicos.

De uma forma geral, pode-se estruturar uma UEPS em torno de um objetivo esperado, da construção de situações-problema, que levam a construção do conhecimento, inicialmente abrangentes, e aos poucos cada vez mais específicos, atividades qualitativas que visem avaliar os conhecimentos construídos em cada fase, reconciliação integradora, numa proposta de culminância do trabalho desenvolvido e uma avaliação qualitativa e quantitativa da aprendizagem. Em termos mais específicos, Moreira (2012) propõe 8 passos básicos:

1. Definir o tópico específico a ser abordado;
2. Criar/propor situação(ões) que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio;

3. Propor situações-problema que preparam o terreno para a introdução do conhecimento que se pretende ensinar, como organizadores prévios;
4. Apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva de forma menos complexa;
5. Retomar esses conceitos, através de novas situações-problema, aumentando o nível de complexidade do conhecimento;
6. Estabelecer a relação de conexão entre os termos mais abrangentes e os mais específicos abordados até esse momento, através de situações-problemas com um nível de complexidade ainda maior;
7. Avaliar a aprendizagem através da UEPS através de uma avaliação somativa;
8. Avaliar o êxito da UEPS através da análise de evidências de aprendizagem significativa.

4. MATERIAIS E MÉTODOS: UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS

Foram preparadas duas propostas de UEPS com públicos-alvo diferentes. A primeira é orientada ao Nível Médio, já que conta com conhecimentos mais profundos acerca das Ciências da Natureza (agora divididas em Física, Química e Biologia) como a de estrutura atômica, efeitos microscópicos da termometria, reações químicas mais complexas, radioatividade entre outras mais, o que sugere um amadurecimento dos aprendizes e maior capacidade de abstração. A segunda é voltada ao Anos Finais do Nível Fundamental, lidando com aspectos mais gerais e de forma transdisciplinar relacionados as Ciências da Natureza como clima, biomas, produção de energia, metabolismo e mecanismos de funcionamento dos animais, em especial, o do corpo humano, o que sugere que as relações entre as Ciências englobadas devem ser muito mais discutidas, de forma que os alunos reconheçam seus aspectos posteriormente e consigam reassociá-los

mesmo que isso não seja evidenciado nas disciplinas no nível médio, por exemplo.

A primeira proposta tem por objetivo geral ajuda-los a entender quais são os mecanismos que propiciam a alta temperatura da Capital Cuiabá (e que pode ser alterada para qualquer cidade sem muita dificuldade) e como secundário associá-los a esses mecanismos como forma de ressignificar o que eles entendam por preservação ambiental.¹¹

A segunda proposta trata diretamente da preservação ambiental como objetivo geral, já que é nesse momento que os aprendizes começam a ser incluídos nessas discussões. Para isso, a proposta sugere fortalecer a percepção de que eles fazem parte do ambiente e que suas ações, mesmo que eles não enxerguem essa relação (que deve ser explorada) reverberam no ambiente ao seu redor. E como objetivo secundário propor uma aproximação entre os aprendizes e o ambiente, através de atividades físicas diversas ao ar livre e em ambientes fechados e comparar essas experiências.¹²

Para a execução da primeira proposta, sugere-se aplicá-la nos segundos e terceiros anos do Ensino Médio e, para aplicação da segunda, nos oitavos e nonos anos do Ensino Fundamental, já que até esse momento eles já terão, ou estarão, tendo contatos em sala e aula com os conhecimentos prévios necessários. Porém, a situação de não as aplicar em séries anteriores não é desestimulado, todavia a sequência didática deverá ser revista ou adaptada e, conseqüentemente, deverá ter duração maior. O detalhamento das Propostas¹³ encontra-se abaixo de cada uma, com descrição das ações, seus objetivos, os produtos construídos e o tempo estimado de execução (Quadros 1 e 2). Ainda, anexos a esse trabalho, encontram-se referenciais que o Professor que deseja implementar essas propostas, mas que não tem

¹¹ Nota do Autor: de forma que os Professores tenham autonomia na hora de aplicar a UEPS, não se sugere mídias na Proposta, identificando seus respectivos pontos com colchetes.

¹² Nota do Autor: idem 11

¹³ Nota do Autor: Foram sugeridos também os tempos de aplicação das mídias, que podem ser revistos.

conhecimento dos recursos didáticos sugeridos (mapas conceituais¹⁴, V epistemológico¹⁵ e análise de conteúdo¹⁶) possa começar seu estudo acerca destes, e também uma lista de possíveis mídias que podem ser implementadas durante o desenvolvimento das UEPS¹⁷.

Um contexto atrativo a aplicação de ambas é o período de estiagem em que a temperatura local tende a aumentar, e começa-se o período de combate as queimadas, sendo energia um conceito norteador dessas discussões.

4.1 PROPOSTA I - “POR QUE CUIABÁ É TÃO QUENTE?”

Objetivo: Facilitar a aquisição de significados de conceitos relacionados a TC, a fim de entender porque Cuiabá é tão quente e qual o papel da sensação térmica nesta impressão.

Situação Inicial: Os alunos serão confrontados acerca do que eles imaginam ser o responsável pela alta temperatura na cidade; os termos que acharem mais importantes serão colocados no quadro. Junto com eles, estabelecer uma hierarquia desses termos e, por fim, elaborar um texto que ligue esses termos; o trabalho de elaboração textual será grupal, com posterior explanação aos colegas e entrega do texto ao professor.

¹⁴ Anexo 2: MOREIRA, Marco Antonio. Mapas conceituais e aprendizagem significativa (concept maps and meaningful learning). **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, digramas V e Unidades de ensino potencialmente significativas**, p. 41, 2012.

¹⁵ Anexo 2: MOREIRA, Marco Antonio. Diagramas V e aprendizagem significativa (V diagramns and meaningful learning). **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, digramas V e Unidades de ensino potencialmente significativas**, p. 41, 2012.

¹⁶ Anexo 3: CAREGNATO, Rita Catalina Aquino; MUTTI, Regina. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. **Texto & Contexto-Enfermagem**, v. 15, n. 4, p. 679-684, 2006.

¹⁷ Anexo 4

Situações-problema: Baseado nas respostas dos alunos, elaborar situações-problema para apreciação deles. Não será necessário nada escrito, apenas discussão mediada; posteriormente, distribuir [texto sobre TC] e, a partir deste texto, elaborar tabela explicativa, pelos alunos, dos termos que considerarem importantes, em grupos de até 5 pessoas; após, coletar as tabelas produzidas e distribuí-las entre os grupos, de modo que eles possam corrigir, comentar e sugerir alterações nas tabelas de outros grupos; ao fim, cada grupo recebe sua tabela original e pode aderir as correções, comentários e sugestões ou não, e entregá-la ao professor.

Revisão: Aula expositiva de revisão acerca dos termos relevantes levantados nos itens anteriores, com espaço para perguntas dos alunos; após, apresentação de [vídeo] que corrobora com a aula ministrada; apresentação de [artigo ou trecho de artigo, livro ou trecho de livro] e pedir que os alunos façam uma mapa conceitual acerca dos conteúdos relacionados a TC encontrados no texto; se necessário, apresentar a estrutura de um mapa conceitual, bem como a forma de produzi-lo; alguns trabalhos serão sorteados e apresentados a todos. Os mapas serão recolhidos, revisados e comentados pelo professor, devolvidos aos alunos, para que corrijam ou não, a fim de chegar a uma versão final, recolhida pelo professor.

Novas Situações-problema: Apresentar a funcionalidade de um diagrama V e após, propor a construção de um, em grupos de até 5 pessoas, para a TC; esse diagrama terá como pergunta-foco: como a TC pode ajudar nos processos de preservação ambiental e de que forma isso influencia na temperatura de Cuiabá?; alguns diagramas serão sorteados e apresentados a todos; após recolhidos, serão revisados e avaliados pelo professor, depois entregues aos alunos para correção ou não, a fim de chegar a uma versão final que será recolhida pelo professor.

Avaliação Somática: Uma avaliação conceitual será realizada; as perguntas deverão lidar com situações-problema e o uso da TC para tentar saná-las; além, os alunos deverão construir um mapa conceitual.

Apresentação Expositiva: Retomar todos os assuntos abordados na UEPS; dialogar sobre o potencial da TC como filosofia e epistemologia; comentar sobre a evolução histórico-científica da teoria, as dificuldades e o atual status da mesma.

Avaliação da UEPS: Será composta pela somatória dos trabalhos realizados em sala, das observações conceituais feitas pelo professor e da Avaliação Somática.

Avaliação da Proposta de UEPS: Ponderar se o objetivo de cada item foi obtido e a eficiência desses resultados; avaliar o quanto cada item contribuiu para o alcance do objetivo principal; reformular quaisquer itens, de forma a melhorar sua contribuição e eficiência para possíveis aplicações posteriores.

Quadro 1: Quadro de detalhamento da Proposta I.

Fonte: de própria autoria

Detalhamento da Proposta I					
Etapa	Atividade	Descrição	Produto	Objetivo	Tempo Estimado
Situação Inicial	Notícia	Apresentação de uma manchete sobre o tempo seco e as altas temperaturas de Cuiabá	-	Verificar os conhecimentos prévios dos alunos	10 min
	Debate	Verificar o que os alunos conhecem sobre o tema suas percepções acerca dele	-	Verificar como os alunos conectam seus conhecimentos prévios	20 a 30 min

	Hierarquização	Captação e hierarquização dos termos mais importantes nas falas dos alunos e posterior hierarquização, em nível de abrangência	Lista de termos produzidos pela turma	Desenvolver a Diferenciação Progressiva	20 a 30 min
	Produção	Desenvolvimento de um texto pelos alunos que conecte os termos destacados como importantes	Textos produzidos pela turma	Desenvolver a Diferenciação Progressiva e avaliar as habilidades textuais dos alunos	30 a 40 min
	Apresentação	Apresentação dos textos criados por eles	-	Desenvolver o diálogo e a criticidade dos alunos	30 a 40 min
Situações-Problema	Apreciação	Criação de situações-problema a partir do produto das apresentações e posterior discussão	-	Verificar os processos de tomada de decisão dos alunos e sua criticidade	20 a 30 min
	Leitura	Leitura de texto previamente escolhido	-	Desenvolver a Reconciliação Integradora	20 a 30 min
	Produção	Desenvolvimento de uma tabela com os termos que os alunos acreditam ser importantes no texto	Tabelas de termos elaboradas pela turma	Verificar se os conhecimentos prévios foram subsunçores para os novos	10 min
	Correção	Os alunos avaliarão as tabelas uns dos outros fazendo, comentando ou sugerindo alterações	Tabelas de termos corrigidos da turma	Desenvolver o diálogo e a criticidade dos alunos	15 a 20 min
	Recepção	Os alunos avaliam as sugestões, comentários e alterações e decidem se as acatarão ou não	Tabelas de termos refeitas (ou não) pela turma	Desenvolver a criticidade dos alunos	15 a 20 min - Aula seguinte

Revisão	Aula	Aula expositiva acerca dos temas que forem considerados relevantes aos alunos	-	Construir novos conceitos e consolidar as atividades desenvolvidas até esse ponto	A depender do Professor
	Vídeo	Apresentação de vídeos acerca dos temas escolhidos no item anterior	-	Consolidar os conhecimentos construídos	A depender do Professor
	Leitura	Leitura de texto previamente escolhido e que fortaleça os conhecimentos sobre TC	-	Desenvolver a criticidade dos alunos	10 a 20 min
	Produção	Desenvolvimento de mapas conceituais pelos alunos	Mapas conceituais desenvolvidos pela turma	Desenvolver a Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integradora	1 aula
	Apresentação	Alguns alunos apresentaram seus mapas conceituais aos colegas	-	Desenvolver o diálogo e a criticidade dos alunos	A depender do Professor
	Correção	O professor fará comentários e sugestões sobre os mapas criados pelos alunos	-	Verificar a consolidação dos conhecimentos construídos	-
	Recepção	Os alunos avaliam as sugestões e comentários e decidem se as acatarão ou não	Mapas conceituais refeitos (ou não) pela turma	Desenvolver a criticidade dos alunos	20 a 30 min- Aula seguinte
Novas Situações-Problema	Produção	Desenvolvimento de um V epistemológico	V epistemológicos desenvolvidos pela turma	Desenvolver a Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integradora	1 aula
	Correção	O professor fará comentários e sugestões sobre os V epistemológicos criados pelos alunos	-	Verificar a consolidação dos conhecimentos construídos	-

	Recepção	Os alunos avaliam as sugestões e comentários e decidem se as acatarão ou não	V epistemológicos refeitos (ou não) pela turma	Desenvolver a criticidade dos alunos	30 a 40 min - Aula seguinte
Avaliação Somática	Avaliação Conceitual	Verificar se os alunos consolidaram os conhecimentos acerca da TC expondo-o a avaliações de novas situações-problema	Avaliação da Turma	Verificar a consolidação dos conhecimentos construídos	A depender do Professor
Apresentação Expositiva	Retomada	Síntese de tudo o que foi abordado durante o processo	-	Consolidar os conhecimentos construídos e estimular a criticidade dos alunos	A depender do Professor
Avaliação da UEPS	Avaliação Qualitativa	Verificar o nível de aprendizado dos alunos ao comparar todas as suas produções ao longo do processo	-	-	-
Avaliação da Proposta	Balanço	Verificação do andamento do processo e se todos eles foram formalmente realizados	-	-	-
	Retrospecto	Avaliar se os passos desenvolvidos são relevantes para o desenvolvimento da UEPS	-	-	-
	Reformulação	Adaptar a UEPS de acordo com as constatações apontadas nos itens anteriores desta etapa	Nova Proposta de UEPS	-	-

4.2 PROPOSTA II – “O QUE É REALMENTE PRESERVAR?”

Objetivo: Associar os conceitos de TC a discussão de preservação ambiental.

Situação Inicial: Apresentar um [vídeo] sobre a discussão da preservação ambiental; após, abrir um diálogo com os mesmos sobre o que eles entendem sobre a preservação ambiental e o que ele acreditam interferirem nesse processo e o que surge como consequência disso; pedir que cada aluno escreva no quadro um conceito que ache inerente a preservação ambiental; depois, que elaborem textos que envolvam todos os termos pedindo que criem uma ordem de importância e a respeite ao construir o texto; alguns textos serão sorteados e lidos a todos e, após, serão recolhidos pelo professor.

Situações-problema: Baseado nos textos recolhidos, elaborar situações-problema a serem discutidos em sala, sem necessidade de se chegar a um consenso, apenas discussão; após entregar um [trecho sobre a TC] para leitura individual; ao término da leitura, elaboração, em grupo, de um objeto educacional, seja resumo, diagrama V, mapa conceitual ou desenho interativo; os trabalhos serão distribuídos entre os grupos, para que façam uma análise qualitativa, julgando se o trabalho os ajudou no entendimento do tema; os trabalhos serão entregues ao professor que os avaliará e os devolverá aos grupos para correção, ou não; após novamente, os trabalhos serão distribuídos e estes farão nova análise qualitativa; ao fim, o professor recolherá os trabalhos.

Revisão: Aula expositiva de revisão acerca dos conceitos abordados nos itens anteriores, com espaço para perguntas dos alunos; ao final, serão separados grupos e estes farão uma pesquisa sobre como a preservação ambiental vem sendo abordada na mídia; alguns farão uma breve fala sobre as informações encontradas para todos; os textos serão distribuídos entre os grupos, que farão uma breve análise de conteúdo; se necessário, o professor

deverá explicar, de forma sucinta como a análise de conteúdo funciona; após, os trabalhos serão recolhidos pelo professor.

Novas Situações-problema: Com base nos resultados obtidos no item anterior, uma série de situações-problema serão criadas; nesse caso, cada grupo deverá usar um recurso didático para responder a situação-problema a qual foi designado; ao final, [filme ou vídeo] será apresentado, com uma posterior roda de conversa, tentando associar as situações-problema ao conteúdo do filme.

Avaliação Somática: Para esta avaliação, cada grupo criará uma pergunta, a fim de elaborar um questionário integrado a ser respondido de forma individual; qualquer dúvida nas questões deverá ser corrigida pelo professor.

Aula Expositiva: Uma apresentação será feita pelo professor criando uma linha do tempo sobre a discussão acerca da preservação; ao longo dela, os conceitos associados a TC devem ser abordados e contextualizados; discutir com os alunos o futuro do planeta e de que forma a TC pode ajudar nesse processo.

Avaliação da UEPS: Levará em conta as impressões do professor ao longo das aulas e das atividades desenvolvidas, o trabalho desenvolvido pelos alunos em sala e fora dela e a Avaliação Somática.

Avaliação do Projeto de UEPS: percepção do professor, aliada a percepção dos alunos participantes acerca do que foi desenvolvido para posterior melhora.

Quadro 2: Quadro de detalhamento da Proposta II.

Fonte: de própria autoria

Detalhamento da Proposta II					
Etapa	Atividade	Descrição	Produto	Objetivo	Tempo Estimado
Situação Inicial	Vídeo	Apresentação de vídeo introdutório sobre a problemática da preservação ambiental	-	Verificar os conhecimentos prévios dos alunos	10 a 20 min
	Diálogo	Verificar o que os alunos conhecem acerca do tema e suas percepções acerca dele	-	Verificar como os alunos conectam seus conhecimentos prévios	20 a 30 min
	Hierarquização	Captação e hierarquização dos termos mais importantes destacados pelos alunos e posterior hierarquização, em nível de abrangência	Lista de termos produzidos pela turma	Desenvolver a Diferenciação Progressiva	20 a 30 min
	Produção	Desenvolvimento de um texto a partir das palavras escolhidas, seguindo a hierarquização estabelecida no item anterior	Textos produzidos pela turma	Desenvolver a Diferenciação Progressiva e avaliar as habilidades textuais dos alunos	30 a 40 min
	Apresentação	Apresentação dos textos criados por eles	-	Desenvolver o diálogo e a criticidade dos alunos	30 a 40 min
Situações-Problema	Apreciação	Criação de situações-problema a partir do produto das apresentações e posterior discussão	-	Verificar os processos de tomada de decisão dos alunos e sua criticidade	20 a 30 min

	Leitura	Leitura de texto previamente escolhido	-	Desenvolver a Reconciliação Integradora e a Capacidade de interpretação dos alunos	20 a 30 min
	Produção	Desenvolvimento de objetos de aprendizagem a com o que os alunos acreditam ser importantes no texto	Objetos de aprendizagem produzidos pela turma	Verificar se os conhecimentos prévios foram subsunções para os novos	A depender do Professor
	Avaliação	Os alunos avaliarão os objetos de aprendizagens uns dos outros fazendo, de acordo com seus graus de entendimento	Objetos de aprendizagem corrigidos pela turma	Desenvolver o diálogo e a criticidade dos alunos	20 a 30 min
	Correção	O professor fará comentários a respeito dos produtos educacionais produzidos	Objetos de aprendizagem refeitos (ou não) da turma	Desenvolver a criticidade dos alunos	-
	Recepção	Os alunos avaliam as sugestões, comentários e alterações e decidem se as acatarão ou não	-	Desenvolver a criticidade dos alunos	15 a 20 minutos - Aula seguinte
Revisão	Aula	Aula expositiva acerca dos temas que forem considerados relevantes aos alunos	-	Construir novos conceitos e consolidar as atividades desenvolvidas até esse ponto	A depender do Professor
	Pesquisa	Pesquisa sobre a repercussão midiática dos trabalhos de preservação já desenvolvidos	Pesquisas desenvolvidas pela turma	Consolidar os conhecimentos construídos	A depender do Professor
	Apresentação	Apresentação das pesquisas	-	Desenvolver a criticidade dos alunos	20 a 30 min

		realizadas pelos alunos			
	Correção	Os alunos avaliarão o conteúdo das pesquisas dos colegas, fazendo comentários	Pesquisas corrigidas pela turma	Desenvolver a criticidade dos alunos	30 a 40 min - Aula seguinte
Novas Situações-Problema	Resolução	Os alunos usarão recursos didáticos diversos para desenvolver soluções para as situações-problema desenvolvidas a partir do produto da etapa anterior	Objetos Educacionais desenvolvidos pela turma	Desenvolver a Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integradora	A depender do Professor
	Filme	Um filme será transmitido aos alunos	-	Desenvolver a interpretação e a criticidade dos alunos	A depender do Professor
	Debate	Os alunos compararão as situações-problema com as problemáticas do filme e verificarão se suas soluções também se aplicam ao filme	-	Verificar a consolidação dos conhecimentos construídos	30 a 40 min - 1 aula
Avaliação Somática	Produção	Os alunos produzirão uma série de questões conceituais, a serem utilizadas em posterior avaliação dos mesmos	Questões para a Avaliação Conceitual	Verificar a consolidação dos conhecimentos construídos	10 min
	Avaliação Conceitual	Verificar se os alunos consolidaram os conhecimentos acerca da TC expondo-o a avaliações das questões elaboradas por eles mesmos	Avaliação da Turma	Desenvolver a criticidade dos alunos	1 aula

Apresentação Expositiva	Retomada	Síntese de tudo o que foi abordado durante o processo	-	Desenvolver a Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integradora	30 a 40 min - Aula seguinte
	Culminância	Discutir com os alunos a aplicação dos conhecimentos construídos em novas propostas de preservação ambiental para posteridade	-	Verificar a consolidação dos conhecimentos construídos	A depender do Professor
Avaliação da UEPS	Avaliação Qualitativa	Verificar o nível de aprendizado dos alunos ao comparar todas as suas produções ao longo do processo	-	Desenvolver a criticidade dos alunos	-
Avaliação da Proposta	Balanço	Verificação do andamento do processo e se todos eles foram formalmente realizados	-	Verificar a consolidação dos conhecimentos construídos	-
	Retrospecto	Avaliar se os passos desenvolvidos são relevantes para o desenvolvimento da UEPS	-	Consolidar os conhecimentos construídos e estimular a criticidade dos alunos	-
	Reformulação	Adaptar a UEPS de acordo com as constatações apontadas nos itens anteriores desta etapa	Nova Proposta de UEPS	-	-

4.3 – TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR

Esse tema não é comum nos cursos de formação de professores de Física e Ciências Naturais, de forma que se faz prudente conhecer os princípios básicos da TC e do PS antes do desenvolvimento das Propostas supracitadas. Um texto de apoio foi construído com esse fim, sendo uma breve apresentação e um recurso introdutório, sem ter a pretensão de esgotar o tema, além de que pode se tornar referencial didático, feitas devidas adaptações em seu corpo, ou então como base para um recurso didático próprio do professor. Todavia, seu uso integral como recurso didático não é desestimulado, por possuir referências comuns aos jovens, mas demandará conhecimentos prévios dos alunos, o que pode vir a tornar o processo mais custoso, já que pode exigir alguma habilidade por parte deles.

O texto se organiza em três partes, ou capítulos: o primeiro apresenta uma abordagem inicial sobre o que são sistemas complexos; o segundo fala do PS; e o terceiro apresenta as características dos sistemas complexos, como se segue. Anexo a este trabalho, encontra-se uma versão do referido texto, que pode ser utilizada como referencial didático, caso o professor deseje implementá-lo como tal¹⁸.

4.3.1 Introdução aos Sistemas Complexos

A Física é definida como a Ciência que estuda a Natureza, avaliando padrões e a partir deles, estabelece “regras” que ditam o funcionamento dela. Assim, durante o Ensino Médio e muitas vezes antes, já no Ensino Fundamental, os aprendizes se veem diante dessa primordial área da Ciência, que hoje serve de base para as mais variadas áreas tecnológicas como engenharia, nanotecnologia, medicina e além.

É comum associarmos os conceitos físicos construídos a situações do cotidiano, como velocidade e aceleração a um carro que se movimenta; a

¹⁸ Anexo 5

pressão e empuxo a uma pessoa que nada em um rio ou ainda calor e temperatura às sensações térmicas as quais as pessoas experimentam cotidianamente. No contexto de sala de aula, essas associações tornam-se importantes pois ajudam os alunos a captarem significados de conceitos, que de início podem parecer de difícil compreensão. Conceitos e princípios científicos, quando associados à sua realidade vivida acabam consolidando o aprendizado e garantindo que eles tenham condições de perceberem a relevância desses mesmos a compreensão de situações e solução de problemas com que se deparam.

Mas... (*sempre tem um, não é?*), é comum que limitemos o poder explicativo dos conceitos, ou seja, seu âmbito de validade sempre é circunstancial, vale para alguns fenômenos. Por exemplo, para obtermos valores de velocidade que façam sentido, geralmente usamos o que em Física chamamos de **condição de contorno**: o conjunto de características que limitam e definem “de que forma” avaliaremos um fenômeno. Dessa forma, para “facilitar” o estudo, utilizamos delimitações que devem sempre estar muito claras para aqueles que se desafiam a resolver aquele problema – e que geralmente, *nós nem vemos* –, como desprezar os efeitos da resistência do ar e do atrito, que tendem a se opor ao movimento analisado, ou tomar o carro como um ponto material, um objeto que não possui dimensões consideráveis. A esses **fenômenos**, *analisados a partir dos vieses das condições de contorno*, damos o nome de **ideais**. Para tanto, são utilizados modelos ou representações simplificadas cujo objetivo é que possamos aplicar e extrapolar os conceitos e equações estudadas em sala de aula. Estamos “roubando”. Entretanto, a ideia principal, de entendermos o fenômeno e, sempre que possível, associá-lo ao cotidiano está lá. E isso é, de certa forma, intencional.

E não só isso: Física é apenas **uma** das ciências que estuda a natureza. Se nos lembramos bem, existem ainda outras duas: a Biologia e a Química. A Natureza, em sua *complexidade* (guardem essa palavra), trata de uma série de processos e fenômenos que nós, humanos, qualificamos a uma dessas grandes Ciências Naturais, como forma de tentar entender um sistema

único. E esse sistema, não se apresenta aos pesquisadores da forma que eles querem, hora um *sistema físico*, hora um *sistema biológico*, hora um *sistema químico*, mas sim em sua totalidade, sendo então tarefa destes o papel de reconhecer os objetos de estudo de cada uma dessas ciências.

Assim, de uma forma geral, as condições de contorno são importantes não só para tornar mais atraente os problemas *reais*, mas também para dividirmos as Ciências da Natureza, algo que vem, gradativamente entrando em desuso (*afinal, esta é a ideia aqui!*), ou seja, para compreender a natureza e os fenômenos cotidianos parece insatisfatório, por exemplo, um único olhar da Física, que pode representar o que separa uma “visão física” do fenômeno de uma “visão química” (como é muito comum na área de Termodinâmica), ou deixar escapar uma perspectiva desde o ponto de vista da Biologia. Porém (*outro “mas”, só que escrito diferente*), é nas conexões, na “visão transdisciplinar” que grande parte dos processos cotidianos realmente estão presentes.

Vamos pensar sobre o corpo humano: a Biologia diz que somos seres endotérmicos, que regulam sua temperatura (conceito físico) corporal através de processos metabólicos (conceito químico). O metabolismo, segundo a Química é, grosso modo, o conjunto de transformações químicas que por efeito liberam energia (conceito físico e biológico). Quando dois corpos com temperaturas diferentes entram, de alguma forma em contato, segundo a Física, energia térmica em forma de calor, flui do corpo mais quente para o mais frio e desse processo é que sentimos (conceito biológico) frio ou que está quente (adendo: *sentir calor* não existe viu!).

Agora, veja a *magia acontecer*: a temperatura corporal do ser humano é, em média (conceito matemático), de 36 °C (graus Celsius). Isso acontece porque os processos metabólicos não são os mesmos e na mesma intensidade em todos os pontos do nosso corpo, sendo mais intensos na cabeça – *adivinhem o porquê*. De qualquer forma, nosso corpo é um *corpo* (vamos tomar o sentido físico aqui) e, troca calor com outros *corpos* e com o próprio meio ambiente. Olhando para o meio ambiente, cuja temperatura

média é de 25 °C – os moradores de Cuiabá discordam dessa afirmação... (Figura 1) –, haverá constante troca de calor entre nosso corpo, com maior temperatura, e o meio, com menor temperatura. Se nosso corpo fosse um *corpo idealizado*, do ponto de vista da Física a qual estamos acostumados a ensinar e aprender, a temperatura se estabilizaria com a do meio e o fluxo de calor cessaria. Porém, como nosso *corpo é uma estrutura viva* que, após milhares de anos de evolução, encontrou na temperatura média de 36 °C a temperatura ideal para que suas funções básicas funcionem de forma perfeita, nosso corpo possui uma série de mecanismos de defesa que reagem a esse processo de diminuição de temperatura. Nosso *corpo real* se arrepia, tentando regular nossa temperatura; começamos instintivamente a ou esconder nossas mãos e pés ou a esfregá-los uns nos outros, na tentativa de aquecê-los, já que são pontos onde os fluxos de calor ocorrem com maior intensidade; começamos a usar nossas reservas energéticas e por aí vai. E esse processo seria semelhante, se analisássemos a situação em que a temperatura do meio é maior que a temperatura corporal.

📍 Cuiabá - BR

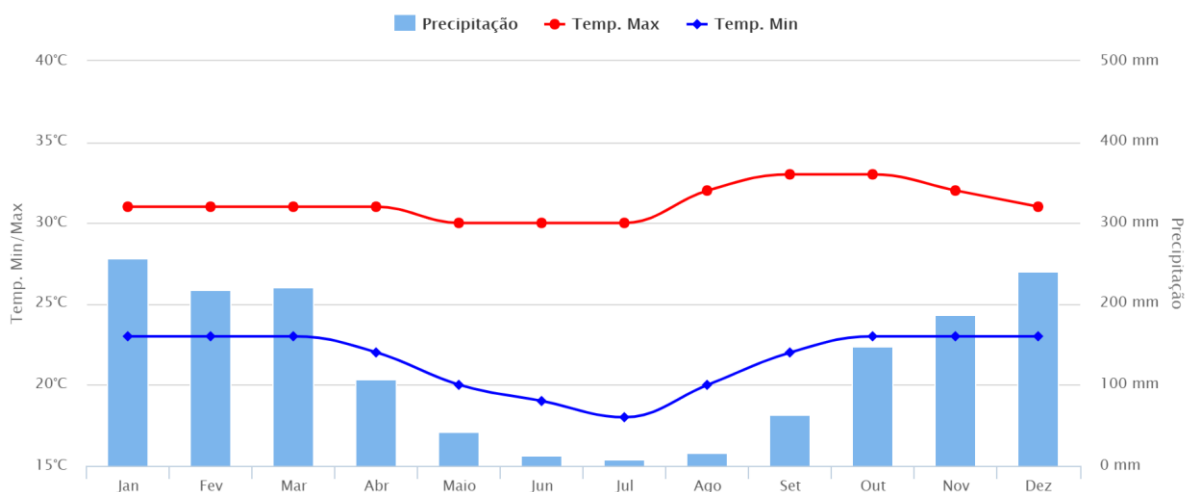


FIGURA 1: Climatologia e histórico da previsão do tempo em Cuiabá – MT.

FONTE: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/218/cuiaba-mt>.

A regulação térmica, processo acima descrito, foi plenamente construído não só com os conhecimentos de Biologia, mas também de Química e Física para que assim, por exemplo, entendamos as consequências da hipotermia sobre uma pessoa. Foi somente quando

olhamos o fenômeno da regulação térmica como único, não fragmentado, é que entendemos seus pormenores e os detalhes que ficam pouco claros quando lidamos com uma abordagem da ciência de forma fragmentada. Ao levarmos em conta toda a gama de processos que podem acontecer somente da premissa de avaliarmos o que acontece com o corpo humano quando em contato com o meio que o cerca, passamos a estudar um fenômeno *real*, ou aquele que mais se aproxima da *realidade*, avaliada pelos pesquisadores, que precisam perceber todos os processos possíveis a partir de uma interação inicial.

Quando observamos a natureza de forma integral e não de forma fragmentada, percebemos processos e interações que jamais seriam detectados ao se avaliar apenas partes do fenômeno, o que sugere uma complexidade própria aos fenômenos reais. *Complexidade* aqui não significa difícil, mas sim exprime processos interativos, trocas de matéria, energia e informação que não são considerados, não ocorrem ou não são desejáveis nos modelos ideais, que são preparados para os processos de aprendizado que temos tradicionalmente. Apesar da palavra Complexidade carregar um significado muito forte, um fenômeno real é, primordialmente simples, criativo e seus padrões, complexos.

Por fim, ao tornarmos Física, Biologia e Química a *Ciência da Natureza*, reforçamos a diretriz de que os conhecimentos são relacionáveis e se relacionem ao cotidiano do aluno, mas vamos além: damos ferramentas para que eles se tornarem questionadores, que eles critiquem a realidade que eles vivem, que se tornem cidadãos críticos. Reconhecer que a Natureza é única é se reconhecer como parte dela, é defendê-la, é evoluir em comunhão com o meio ambiente.

Assim, apresentamos este texto como uma introdução aos Fenômenos (ou Sistemas) complexos. A partir daqui, diferenciaremos um sistema ideal de um complexo, bem como apresentaremos a série de características inerentes a esses sistemas, oferecendo exemplos que permeiam as Ciências da Natureza, mas que não necessariamente se limitam a ela (sobre isso,

discutiremos mais adiante). Esperamos que, ao final, sejam todos capazes de não só resolverem problemas, mas de que esses conhecimentos sejam agentes de transformação na vida de todos.

4.3.2 O Pensamento Sistêmico

Quando estipulamos como base de nossos estudos que os sistemas são *reais*, adotamos de forma quase que espontânea o Pensamento Sistêmico (PS). Mas, o que seria esse pensamento? Para compreendê-lo, precisamos, primeiro, voltar um pouco no tempo.

Podemos elencar como cerne de todo o *método científico*, uma sequência de processos pelas quais o conhecimento passa até se tornar *científico*, ou seja, que respeite os pressupostos fundamentais do que chamamos de “fazer ciência”, a curiosidade humana por entender o *mundo ao seu redor*.

Os gregos pensavam que tudo que “existe” era formado pelos quatro elementos primordiais (ar, fogo, terra e água); na idade média, o que se pensava era que a realidade era fruto da bondade divina e que aquilo que poderia ser estudado era decidido pelos “representantes” divinos, de forma que a humanidade não caísse em heresia e, de alguma forma, questionasse o divino.

O Renascimento, a partir do Séc. XVI, um dos marcos do início da Idade Moderna, não recebe esse nome à toa: um movimento artístico, científico e social que coloca o homem sob a luz, tornando-o protagonista da própria realidade, valorizando suas expressões, como a arte, a racionalidade, a natureza e a Ciência em si, em detrimento a visão dogmática e mística da idade medieval. É nesse período que nasce a imprensa e com ela a expansão do conhecimento. Fazendo um recorte das Ciências, é nesse período que se discute em maior grau a necessidade de se estabelecer uma forma homogênea de se discutir e propagar o conhecimento científico. Dessa forma, a idade moderna deixa de aliar a explicação do universo a características

místicas e inexplicáveis e passa a relevar a razão como fator predominante na forma de entendermos a realidade.

O grande expoente do pensamento que valoriza a razão, hoje sob a denominação de racionalismo, foi o criador do plano cartesiano, o filósofo francês René Descartes (1596-1650) (Figura 2) (uma curiosidade: nessa época, *ser* filósofo envolvia ser “multitarefa”, já que esses pensadores trabalhavam em diversos ramos, que hoje são especialidades distintas, como as artes, matemática, engenharia, química, física e por aí vai...), que ponderou sobre novas formas de se fazer Ciência, que valorizassem a racionalidade, a experimentação e regras “básicas”, que ditassem o funcionamento do Universo. Seus pensamentos se norteavam, porém, por três considerações básicas:

- A primeira, trata de que todo e qualquer fenômeno natural possui uma explicação lógica e racional;
- A segunda, trata de que as condições finais de um sistema (o que chamamos de *efeito*) se dão de forma inequívoca (ou melhor, com toda a certeza) através de uma ação anterior primordial (o que chamamos de *causa*) e vice-versa;
- A terceira, trata de que não é necessário olharmos para o universo como um todo, mas sim que podemos avaliar seu funcionamento através de suas constituintes e, por fim, juntá-las, como se fosse um quebra-cabeça, ou as engrenagens de um relógio, e obtermos como produto o funcionamento do universo como entidade única.



FIGURA 2: Retrato de René Descartes, por Frans Hals.

FONTE: HATALA, 1997 – Domínio Público – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons¹⁹.

Essas três considerações podem ser resumidas em três palavras: **Racionalidade, Determinismo e Compartimentalização**, e a partir de suas publicações, ganham destaque e passam a constituir as bases filosóficas e metodológicas do conhecimento científico, tendo retumbante destaque dentro do trabalho de Isaac Newton (1643-1727) (Figura 3), que formulou suas Leis de Newton e da Gravitação Universal sobre esses alicerces.

A Ciência a partir daí, evoluiu muito, trazendo uma série de avanços tecnológicos sem precedentes e fortalecendo ainda mais o Pensamento Cartesiano, pautado nestas três considerações básicas, mas formalmente poderosas. Essas bases se fortalecem ainda mais com o movimento iluminista e ecoam em nossa sociedade até hoje, de forma que inconscientemente estamos sob sua influência, seja em termos econômicos ou sociais: nossas leis, nossas formas de relacionamento e nossas formas de pensar são fortemente cartesianas.

¹⁹ HATALA, André. *Frans Hals – Portret van René Descartes*. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frans_Hals_-_Portret_van_René_Descartes.jpg> sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.



FIGURA 3: Retrato de Isaac Newton, por Godfrey Kneller.

FONTE: <http://www.phys.uu.nl/~vgent/astrology/images/newton1689.jpg>, 2017– Domínio Público – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons²⁰.

Mas, desde sua concepção, o Pensamento Cartesiano não está livre de críticas. Muitos pensadores, logo que os preceitos de Descartes foram publicados, prontamente apresentaram diversos aspectos a serem avaliados. O principal residia na consequência direta da segunda consideração: se todo sistema é determinístico, então poderíamos *prever* qualquer situação futura através das Leis que regiam esse fenômeno.

Bem, se olharmos para os problemas que envolvem as Leis de Newton, seja no Ensino Médio, seja no Superior, a maioria está pautado em sua capacidade preditiva: devemos avaliar quais serão as condições do sistema de acordo com as condições iniciais. E essa característica se expande para toda Ciência moderna. Entretanto, dessa perspectiva surge uma pergunta bastante relevante: se nossa ciência é preditiva por que, na meteorologia, falamos em previsão do tempo e não em *afirmação* do tempo? A resposta, para os cartesianos, se encontra na pouca precisão de nossos instrumentos

²⁰ <http://www.phys.uu.nl/~vgent/astrology/images/newton1689.jpg>. Sir Issac Newton. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sir_Isaac_Newton_\(1643-1727\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sir_Isaac_Newton_(1643-1727).jpg) > sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.

de medida. Conforme a Ciência evolui, evolui junto a forma como medimos e consequentemente, é uma questão de tempo até que encontremos a melhor forma de medir e com isso, atinjamos nosso total potencial preditivo.

Se essas são as condições necessárias para atingirmos nosso potencial preditivo, então tiraríamos o emprego de uma parcela da população, já que poderíamos prever o futuro e não só isso, esse futuro já estaria pré-determinado a partir das condições iniciais, já que nossa precisão seria absoluta. *Quem não queria saber se vai enriquecer não é...*

Apesar de ser criticado desde o início, apenas no século XIX, com o advento do Romantismo é que se percebe um primeiro ponto de ruptura da estrutura social cartesiana. O Romantismo é um movimento anti-cartesiano, já que coloca em discussão a função do ser humano em um universo determinista e confronta a perspectiva de que tudo que fazemos é fruto de leis que podem ser escritas, medidas e reproduzidas, tirando todo o aspecto emocional e subjetivo da realidade em que vivemos. Quem é que concordaria que sofre *por que sim*?

O movimento romântico evoca um princípio que hoje toma-se como cerne da Teoria dos Sistemas Complexos: a inseparabilidade entre sujeito e objeto. Pensemos o seguinte: por que as cores do arco-íris são aquelas e melhor, naquela ordem? Quem garante que o azul *que você enxerga* é igual ao que *seu colega enxerga*? Se nós chamamos de espectro visível a faixa das ondas eletromagnéticas que caracterizam as cores do que chamamos de arco-íris, como é que enxergamos o rosa, o cinza e o marrom? De forma simplificada, o que podemos concluir é que a concepção de cores que temos, bem como do que é “visível” depende diretamente da nossa forma de perceber o mundo, ou melhor, do que usamos para *visualizar* o mundo: dos nossos olhos.

Além, a evolução da própria Ciência nos trouxe um segundo ponto de ruptura: a aleatoriedade. As obras de Charles Darwin (1809-1882) (Figura 4), que argumenta que o que possibilita que uma ou outra espécie seja apta a viver em um determinado local tem a ver com variação genética que acontece

de forma imprevisível, e de Ludwig Boltzmann (1844-1906) (Figura 5), que inclui o conceito na dinâmica de movimentos das partículas constituintes de um gás, de modo que o efeito que medimos em nossa escala é obtido através de uma função estatística de suas componentes microscópicas, foram de vital importância para a formalização de um terceiro ponto de ruptura: a probabilidade.

O advento da Mecânica Quântica, como processo natural de unificação do Eletromagnetismo com a Termodinâmica, nos fornece duas conclusões que contrastam frontalmente com o Pensamento Cartesiano: a primeira diz respeito a natureza da matéria, que não pode ser compreendida a não ser que seja através da forma como interagimos com ela (Figura 6), e a segunda de que por interagirmos com ela, a modificamos de uma forma não previsível, sendo apenas possível calcularmos a probabilidade desse sistema assumir determinadas configurações após essa interação, o que corrobora os pressupostos do romantismo de inseparabilidade entre sujeito e objeto.

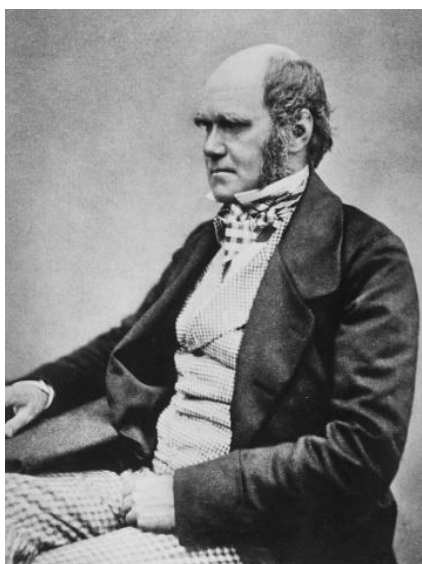


FIGURA 4: Charles Darwin, por Henry Maul e John Fox

FONTE: Charles_Darwin_seated.jpg, 2012 – Domínio Público – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons²¹.

²¹ MAULL, Henry; FOX, John. *Charles_Darwin_seated.jpg*. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charles_Darwin_seated_crop.jpg> sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.

A arte moderna também se faz presente no processo de ruptura do Pensamento Cartesiano: os modernistas passaram a produzir obras que podem ser interpretadas e cujo significado é atribuído por quem as aprecia, tornando a experiência artística dependente da forma como a obra e o indivíduo interagem (Figuras 7 e 8).

Após a Mecânica Quântica e os movimentos artísticos modernistas, é na Biologia que encontramos as últimas características do que chamamos de Pensamento Sistêmico, mas que em suma, são o seu cerne. A ecologia, área da Biologia que estuda as relações entre os seres vivos e o ambiente em que vivem, cunha termos como *biosfera*, *meio ambiente* e *ecossistema* e nos ajuda a vislumbrar que os processos biológicos dependem também de fatores físicos e químicos, que são indissociáveis entre si, já que dependem uns dos outros. É a partir da ecologia que estabelecemos mais um ponto de ruptura com o Pensamento Cartesiano: o todo é maior que as partes ou, o todo transcende suas partes. Processos naturais possuem características que só aparecem quando avaliamos o processo como um todo, sendo propriedades do processo interativo entre suas constituintes, e que não somos capazes de detectar ou medir ao fragmentarmos um fenômeno.



FIGURA 5: Ludwig Boltzmann, Desconhecido.

FONTE: Boltzmann Ludwig Dibner coll SIL14-B5-06a.jpg, 2005 – Domínio Público – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons²².

²²

http://www.sil.si.edu/digitalcollections/hst/scientific-identity/CF/group_by_name.cfm. Boltzmann Ludwig Dibner coll SIL14-B5-06a.jpg. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca

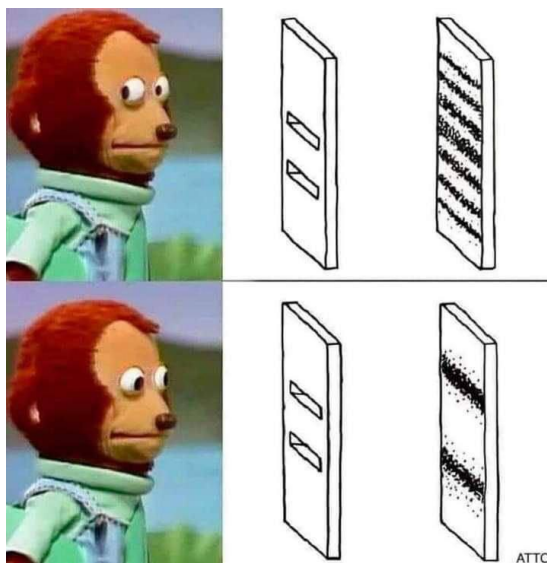


FIGURA 6: Meme que ilustra a inseparabilidade entre sujeito e objeto no experimento da fenda dupla.

FONTE: Internet.



FIGURA 7: Nu Descendo uma Escada, nº 2 (1912), de Marcel Duchamp

FONTE: <https://www.wikiart.org/pt/marcel-duchamp/nu-descendo-uma-escada-no-2-1912>.



FIGURA 8: Paranoiac Visage (1935), de Salvador Dalí

FONTE: <https://www.wikiart.org/en/salvador-dali/paranoiac-visage>

Ora, podemos entender como todos os sistemas associados ao corpo humano funcionam de forma separada, mas a característica emergente, que nasce da interação entre esses sistemas, que chamamos de *vida*, não é entendida somente avaliando o sistema esquelético, ou o endócrino, ou nervoso, por exemplo. Isso vale para os processos regulatórios do nosso corpo, que dependem da dinâmica entre nós e o ambiente que nos cerca.

Finalmente, podemos definir o Pensamento Sistêmico àquele pautado sobre três aspectos básicos, antíteses daqueles que formalmente definem o Pensamento cartesiano:

- O primeiro, diz respeito a própria interação do sujeito com o meio, sendo que sua realidade é limitada pela sua percepção;
- O segundo, diz respeito a não previsibilidade, estabelecida através da não relação direta entre *causa* e *efeito*, sendo possível apenas estimar estados possíveis para um fenômeno após as condições iniciais;
- O terceiro, diz respeito a condição de que só é possível entender um fenômeno através das relações entre suas constituintes e não apenas do funcionamento dessas constituintes de forma isolada.

Esses três aspectos podem ser resumidos em três palavras que norteiam o Pensamento Sistêmico: **Subjetividade, Probabilidade e Integralidade**. O Pensamento Sistêmico é, em resumo, a concepção de que não é possível estudarmos o ambiente sem levarmos nossa interação em conta nesse processo, de que essa interação forma uma rede intrincada de relações, que não seriam possíveis de serem avaliadas e analisadas ao tentarmos fragmentar nosso olhar; de que cada indivíduo é um sistema complexo em si e que ele interage o tempo todo com seu externo; de que comunidades não podem ser avaliadas como se todos seus constituintes fossem iguais; de que, ao valorizarmos o homem em detrimento do ambiente que o cerca e na qual ele está inserido, colocamos em cheque toda a intrincada rede de conexões existente e, afinal, colocamos nossa própria existência em cheque.

Uma sociedade pautada sob os alicerces do Pensamento Sistêmico é uma sociedade preocupada com a natureza, que defende políticas de preservação ambiental, que entende que os fenômenos climáticos dependem de forma sutil das configurações naturais e que, quando radicalmente alteradas, podem gerar mudanças climáticas inimagináveis, que a exploração da natureza deve ser consciente, já que é um fato de que os recursos naturais não são inesgotáveis, que valoriza as políticas de reflorestamento e reutilizam dos recursos já explorados, que se vê evoluindo junto com a natureza, já que a evolução humana e a preservação ambiental não são excludentes. Com base nesses preceitos, é ponderável se perguntar: somos uma sociedade sistêmica?

4.3.3 O que caracteriza os Sistemas Complexos?

4.3.3.1 Adaptabilidade

Darwin (Figura 9), cujo nome é uma clara homenagem a um dos maiores biólogos que se tem conhecimento, possui uma das habilidades mais interessantes que já apareceram entre os *mutantes* dos quadrinhos dos *X-men*: possui a habilidade de se *adaptar*. De pronto, se compararmos com

telepatia ou telecinesia, parece pouca coisa, mas é uma habilidade única e bastante subestimada: esse mutante pode alterar seu corpo para se adaptar a qualquer ambiente ao qual esteja inserido. Está de noite? Visão noturna; foi nadar em um lugar nada raso como... a *Fossa das Marianas*? Gueiras e controle da pressão interna do corpo como um peixe; acabou saindo de uma nave espacial sem a roupa adequada? Resistência a radiação espacial e a não necessidade de respirar. Essa habilidade, na verdade, é “A” habilidade.

Mas não começamos com o Darwin à toa. Darwin, biólogo britânico (1809-1882) foi o responsável por nos apresentar, juntamente com Alfred Wallace (1823-1913) (Figura 10), as bases do que chamamos hoje de síntese evolutiva moderna, na qual observa-se que os seres vivos evoluem sempre valorizando características que garantam a manutenção da espécie, e descartando aquelas que não, reagindo as mudanças do ambiente em que vivem, ou seja *adaptando-se*.

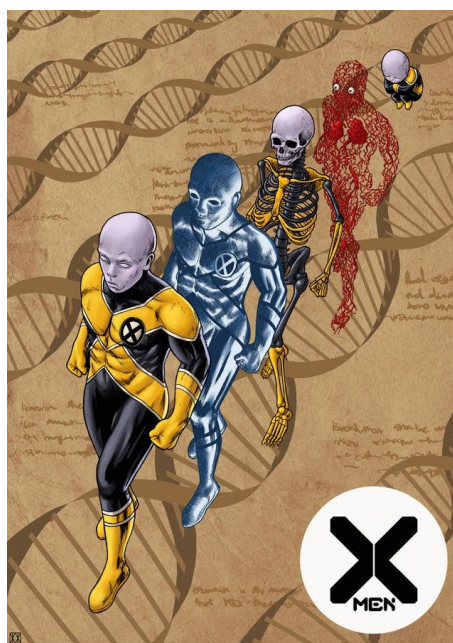


FIGURA 9: Ilustração do mutante Darwin.
FONTE: Internet

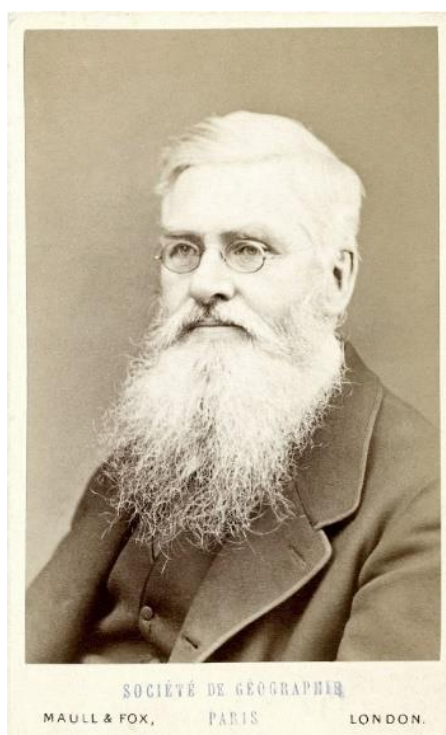


FIGURA 10: Alfred Wallace, por Henry Maul e John Fox.

FONTE: Bibliothèque Nationale de France, 2013 – Domínio Público – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons ²³.

Esse conceito pode ser extrapolado para qualquer sistema complexo e pode ser definido como a capacidade de se adaptarem aos estímulos externos de forma a garantir a *existência* do sistema. A ideia é que, com modificações em partes do sistema, como efeito, ele apresente as mesmas características externas, ou as mais semelhantes possíveis. Assim, é possível, mesmo como estrutura semelhante, o ser humano, por exemplo, existir em uma série de locais distintos, com climas diferentes e ainda assim perpetuar sua existência como espécie. Como vimos, como os ambientes são diferentes, as características externas são semelhantes; existem algumas características inerentes a cada localidade e falaremos delas mais adiante.

²³ MAULL, Henry; FOX, John. *Charles Alfred Russel Wallace Maull&Fox BNF Gallica.jpg*. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alfred_Russel_Wallace_Maull%26Fox_BNF_Gallica.jpg> sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.

4.3.3.2 Estabilidade

A palavra *estabilidade* é recorrente na nossa vida. *Sempre* buscamos a estabilidade. Muitas pessoas *vendem* a receita da estabilidade. Outras, seguem um estilo de vida que para elas, de alguma forma, permite *atingir* a estabilidade. Muitas vezes, estabilidade é entendida como um estado de *equilíbrio*, um ponto de média, uma condição ideal que se quer atingir, na qual não há nada para se modificar.

Porém, para os sistemas complexos, estabilidade e equilíbrio são conceitos distintos. Equilíbrio, para as ciências, são condições ideais nas quais os processos deixam de acontecer devido a não variação de uma determinada grandeza ou quantidade. Assim, por exemplo, o equilíbrio térmico é atingido quando todos os corpos ou sistemas estão a mesma temperatura; equilíbrio energético, a mesma quantidade de energia; equilíbrio químico, a mesma quantidade de reagentes e de produtos; equilíbrio estrutural, quando todos os sistemas estão reduzidos a átomos; e por aí vai.

Assim, se olharmos por exemplo para uma árvore, um sistema complexo, vemos que ele funciona fora do regime de equilíbrio: A estrutura da árvore é complexa, formando todos os seus componentes, muito bem definidos, desde a raiz até as folhas, ela está em constante troca de nutrientes com o solo e com o ar; ela possui mecanismos de regulação térmica do local em que ela está plantada, garantido a permanência da espécie naquele local; a interação biológica que a árvore possui com os animais e com outras plantas é harmoniosa o suficiente para que possamos incluí-la em um ecossistema específico. Apenas quando a árvore morrer é que sua estrutura se desfará; as reações químicas serão irreversíveis; não participará do processo de regulação térmica do ambiente por estar a mesma temperatura que ele; não garantirá nenhum processo de coexistência biótica: atingirá “vários” *equilíbrios*.

Estar fora do equilíbrio é uma característica inerente aos sistemas complexos: somente fora do equilíbrio é que há vida. Mas mesmos nesses estados fora do equilíbrio, um sistema complexo não assume qualquer um,

ele assume aquele que lhe dá maior *estabilidade*, ou seja, maior garantia de funcionamento ou ainda, a melhor eficiência de funcionamento. Estabilidade então, para os sistemas complexos, é a capacidade de existir em condições fora do equilíbrio, capacidade garantida através da **adaptabilidade** dos sistemas complexos as suas vizinhanças.

4.3.3.3 Inter-relacionamento

Como vimos, os sistemas complexos são sistemas abertos e consequentemente trocam matéria, energia e informação com as vizinhanças e com outros meios. O conceito de inter-relacionamento abarca justamente essa capacidade: ao realizarem essas trocas, os sistemas passam a coexistir de forma *harmoniosa* e tendem a interagirem cada vez mais, se tornando indissociáveis.

Um bioma (Figuras 11 a 17) é um exemplo claro de como a atmosfera, a biosfera e o solo interagem entre si e como produto interpretamos um conjunto de características únicas, dos quais a pouca variabilidade de um deles é capaz de caracterizar um bioma novo, já que é capaz de alterar características inerentes a cada uma das três componentes, como é o caso da temperatura, da pluviosidade (ou seja, do quanto chove) e da altitude. Se olharmos, por exemplo, para a Classificação de Köppen-Geiger (Figura 18), que utilizamos hoje para avaliar os climas mundiais, percebemos que o Brasil, possui uma variabilidade climática gigantesca, o que permite a presença de uma série de biomas distintos, com uma série de características próprias e que se relacionam entre si, o que nos permite mensurar, de alguma forma, a mudança dessas características.

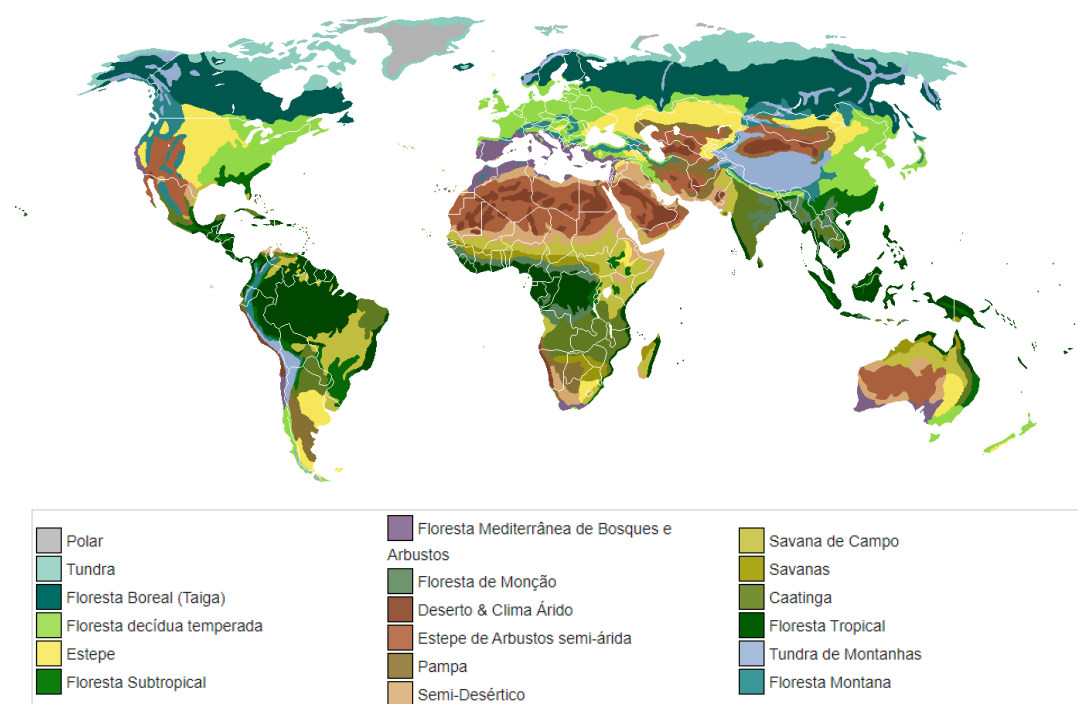


FIGURA 11: *Biomos Terrestres segundo o WWF Global/200.*

FONTE: PORSE, 2020 – CC BY-SA 3.0 – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons²⁴.



FIGURA 12: *Vista aérea da Amazônia, por Neil Palmer.*

FONTE: PALMER, 2013 – CC BY-AS 2.0 – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons²⁵.

²⁴ PORSE, Sten. *Vegetation-no-legend.PNG*. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vegetation-no-legend.PNG>> sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.

²⁵ PALMER, Neil. *Amazon CIAT (5).jpg*. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amazon_CIAT_\(5\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amazon_CIAT_(5).jpg)> sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

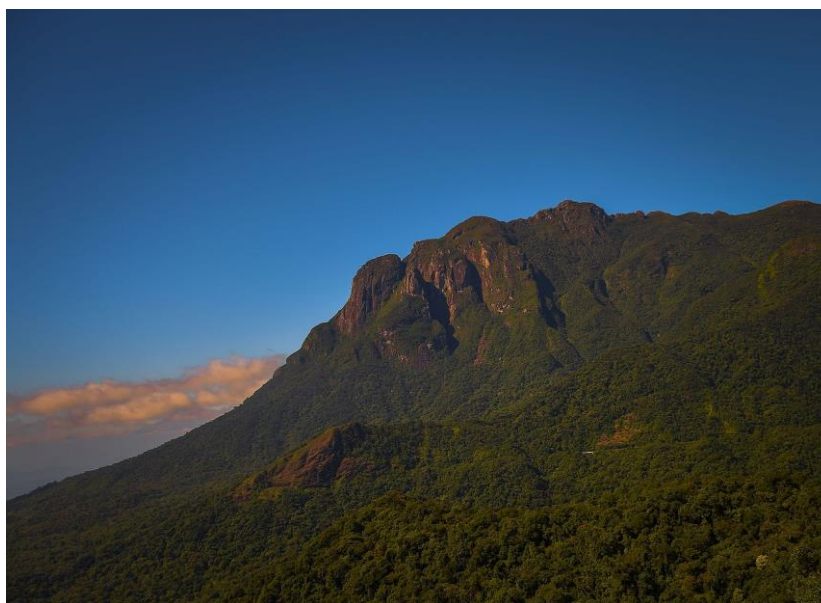


FIGURA 13: Vista aérea da Mata Atlântica, por Victor Oliveira Sartório
FONTE: SARTÓRIO, Victor Oliveira, 2016 – CC BY-SA 4.0 disponível no repositório digital da Wikimedia Commons²⁶



FIGURA 14: Vista aérea da Caatinga, por Guilherme Jófilí Flickr.
FONTE: FLICKER, Guilherme Jófilí, 2012 – CC BY-AS 2.0 – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons²⁷.

²⁶ SARTÓRIO, Victor Oliveira *Serra da Graciosa, de Curitiba a Morretes.jpg*. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Serra_da_Graciosa,_de_Curitiba_a_Morretes.jpg > sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

²⁷ FLICKR, Guilherme Jófilí *Parque Nacional do Catimbau - Pernambuco - Brasil.jpg*. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parque_Nacional_do_Catimbau_-_Pernambuco_-_Brasil.jpg > sob CC BY-SA 2.0. Acesso em: 11 mai. 2021.



FIGURA 15: Vista aérea do Cerrado, por Angela Paula.
FONTE: PAULA, Angela, 2014 - CC BY-AS 3.0 – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons²⁸.



FIGURA 16: Vista aérea do Pantanal, por Leandro Almeida Luciano.
FONTE: LUCIANO, Leandro de Almeida, 2018 - CC BY-AS 4.0 – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons²⁹.

²⁸ PAULA, Angela *Morro cabeludo - Parque dos Pireneus - Pirenópolis - Goiás 01.jpg* In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Morro_cabeludo_-_Parque_dos_Pireneus_-_Pirenópolis_-_Goiás_01.jpg> sob CC BY-SA 2.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

²⁹ LUCIANO, Leandro de Almeida *Pantanal em Itiquira.jpg* In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pantanal_em_Itiquira.jpg> sob CC BY-SA 2.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

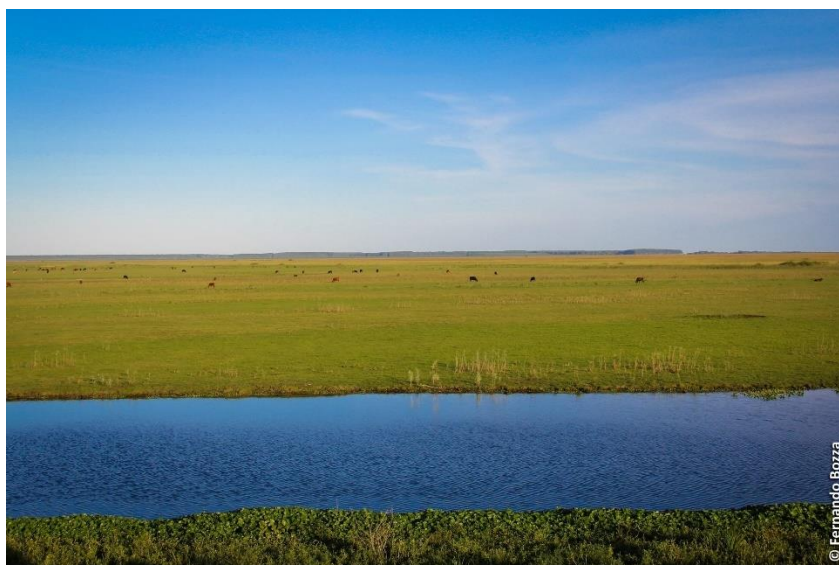


FIGURA 17: Vista aérea dos Pampas, por Febozza.

FONTE: FEBOZZA, 2014 – CC BY – AS 3.0 - disponível no repositório digital da Wikimedia Commons³⁰.

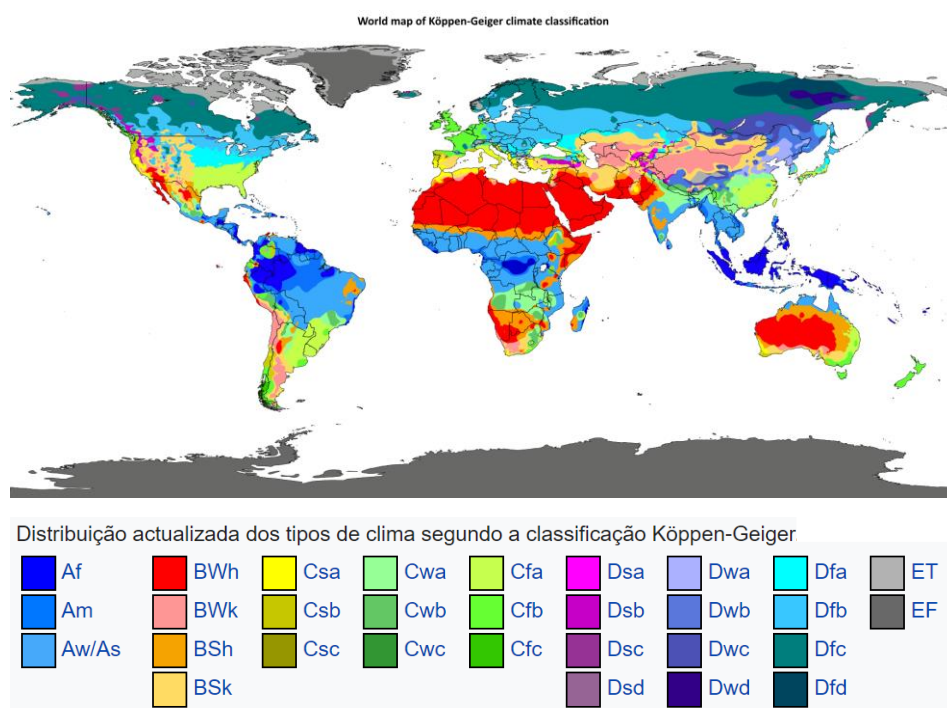


FIGURA 18: Classificação Climática de Köppen-Geiger.

FONTE: PEEL et al., 2016 – CC BY-SA 4.0 – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons³¹.

³⁰ FEBOZZA, *Estação Ecológica do Taim.jpg* In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Estação_Ecológica_do_Taim.jpg> sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

³¹ PEEL, M.C; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. *World Köppen Classification (without labels).svg*. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <

4.3.3.4 Fronteiras Abertas

Ao observarmos um mapa-múndi político (Figura 19), uma das coisas mais curiosas que podemos pensar é: será que essas linhas que limitam os países realmente existem? Se eu chegar na divisa do Brasil com o Uruguai, será que existe um grande muro que separa os dois países? Como é possível que de um lado dessa linha se fale português e do outro, espanhol?

A ideia de limites é puramente humana. Por ser imprevisível a quantidade de influências sobre um fenômeno, tendemos a limitá-lo para que possamos estudá-lo. Mas em um sistema real, muitas das respostas podem não ser encontradas dentro de um ambiente controlado. Por que a América do Sul e a África, mesmo estando na mesma zona climática, têm relevos e climas tão diferentes? Por que as estações no Hemisfério Norte são bem definidas e no Hemisfério Sul não? Por que Cuiabá, mesmo estando a quase 800m acima do nível do mar, é muito quente, enquanto as cidades próximas não são?

As respostas a esses questionamentos devem considerar as coisas como são de fato. Ou seja, os sistemas como partes de um sistema ainda maior, sistemas esses que interagem entre si e trocam matéria, energia e informação. Por exemplo, há evidências de que a areia do Deserto do Saara ajudou na fertilização do solo da Floresta Amazônica, sendo encontrada tanto no solo quanto no ar acima da floresta. Como seria possível entender esse Bioma sem entender suas relações com os outros? Isso vale para a relação quantidade de solo e oceano (Figura 20). O hemisfério sul não tem estações definidas porque a variação de temperatura é muito pequena, devido a quantidade de água dos Oceanos ao redor dos continentes. Basta lembrar que a água tem grande capacidade térmica. E isso influencia na vegetação, que por sua vez, influencia na temperatura e as conexões vão se tornando cada vez mais intrincadas.



FIGURA 19: Ilustração de um mapa-múndi político.

FONTE: <https://www.madeiramadeira.com.br/quadro-mapa-mundi-pinar-viagens-100x65cm-vintage-moldura-b-1016809.html>.

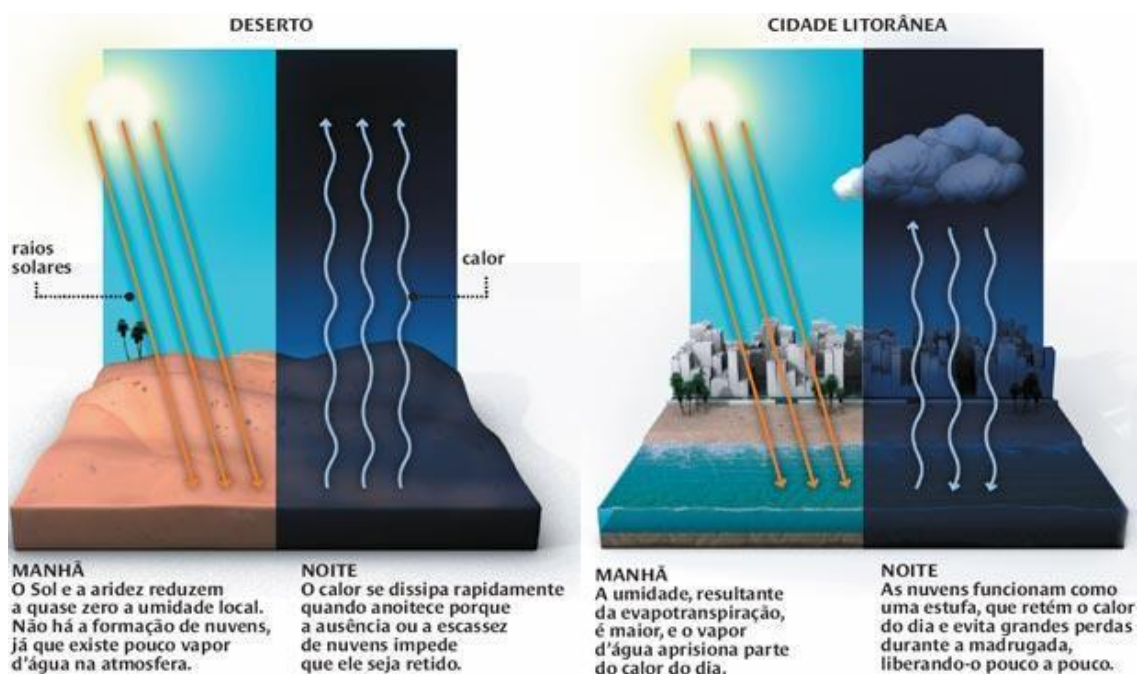


FIGURA 20: Continentalidade (influência do continente na amplitude térmica) e Maritimidade (influência do oceano na amplitude térmica).

FONTE: Internet.

Evidentemente, sistemas complexos são sistemas abertos: não há limitações entre suas interações e possivelmente para a influência de um estímulo de um sistema sobre outro. Isso vale para o mapa-múndi: os limites definidos por aquelas linhas não são suficientes para limitar o intercâmbio cultural e a influência de sistemas sociais sobre outros, basta vermos a força da filosofia e cultura grega antiga sobre todas as grandes sociedades ocidentais até hoje.

4.3.3.5 Dinamicidade Fundamental

É fácil perceber que uma xícara de café quente tende a esfriar em contato com o ambiente, porém o corpo humano insiste em manter sua temperatura em qualquer ambiente. Porque é assim? Lembrando que as leis da Física são as mesmas para qualquer fenômeno térmico. Naturalmente, todo e qualquer sistema tende a encontrar um nível energético confortável, de forma a não haver fluxos de nenhum tipo com suas vizinhanças. Se há excesso de elétrons, eles são distribuídos, se um corpo tem muita energia, ela é dissipada de alguma forma, se um corpo tem mais movimento que outro, essa quantidade pode ser perdida.

Sistemas complexos estão em constante interação com suas vizinhanças. Porém, ao mesmo tempo, estão interagindo entre suas constituintes, evoluindo, se modificando, assumindo novas configurações e como efeito macroscópico, estão sempre fora dos regimes de equilíbrio. Sistemas complexos não deixam de trocar matéria, energia e informação com o seu entorno e mesmo assim são estáveis, por possuírem uma dinamicidade fundamental, intrínseca a ele.

Isso significa que todo sistema complexo está em constante evolução, interagindo e reagindo a essas interações. Sua estrutura é coesa, estável, mas não porque ele parou de interagir ao encontrar um estado energético “confortável”, mas sim por que essa estabilidade é oriunda dos processos que permitem que o sistema funcione fora do equilíbrio.

4.3.3.6 Interatividade

O filme da Netflix Black Mirror: *Bandersnatch* (2018) (figura 21) gerou bastante discussão antes e depois de seu lançamento. Isso porque o filme emulava um dos grandes atrativos dos jogos de *RPG*, que é a possibilidade de escolher as decisões que o personagem que você controla vai realizar.

A cada situação, o telespectador poderia escolher entre as possibilidades de ação e ver o filme se modificar por completo, o que torna a experiência divertida, já que permite que a história possa ser revisitada diversas vezes, promovendo experiências diferentes em cada uma delas. Mesmo que a experiência seja limitada, já que uma pessoa não vai sempre ter *apenas duas opções*, o filme é um excelente exemplo de como uma interação é capaz de modificar o sistema, o que torna a interatividade uma característica típica dos sistemas complexos.

Não precisamos ir muito longe para observarmos mais exemplos dos processos interativos, basta olharmos para nós mesmos. Uma reação alérgica, ou uma febre são exemplos de processos interativos do nosso corpo com determinadas substâncias ou outros organismos, o mesmo vale para os sentimentos que expressamos durante relações sociais ou individuais.

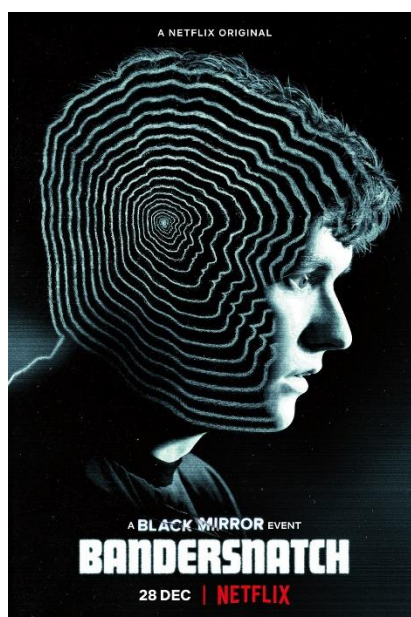


FIGURA 21: Poster do filme interativo Black Mirror: Bandersnatch.
FONTE: Divulgação.

Se pararmos para pensar, todo e qualquer processo natural é interativo. Quem lê esse texto, está interagindo com ele, seja diretamente, ou indiretamente quando segura o objeto que o contém. Portanto, podemos concluir que a interatividade é inerente ao próprio processo de existir de qualquer sistema.

4.3.3.7 Aprendizagem

Quem nunca enfiou o dedo na tomada? *Eu não...*

A característica de aprendizagem dos sistemas complexos é literal: os sistemas aprendem. Aprendem quais são as interações que lhe propiciam maiores sucessos e aprendem quais não. Aprendem a não repetir processos maléficos e a aprimorar os processos benéficos.

Podemos reduzir essa característica a própria experiência de tomar um choque: a corrente elétrica, proveniente de uma tomada ao passar por nosso corpo, atrapalha o sistema nervoso, por ser um estímulo elétrico muito maior que o necessário para o funcionamento das funções humanas. Logo, há contração muscular involuntária, o que explica as pessoas ficarem “grudadas” na tomada. Ao mesmo tempo, nosso organismo é extremamente resistivo, impedindo o fluxo das cargas elétricas. Como efeito, é possível que haja queimaduras provenientes do choque elétrico, já que parte da energia que a corrente elétrica carrega é convertida em calor.

Assim, logo depois de levarmos um choque, nosso sistema aprende que *enfiar o dedo na tomada não é lá bastante benéfico assim...* e posteriormente passamos a evitar repetir o ato.

O mesmo vale para os sistemas naturais. Uma região possui uma determinada vegetação e um determinado clima por uma série de fatores interativos, como disponibilidade luminosa, umidade do ar, pressão e além. Se uma dessas características muda de forma permanente ou suficientemente longa, percebemos que todo o sistema se modifica para uma configuração que melhor garanta a subsistência do sistema, ou melhor, ele *aprende*, ao se adaptar as adversidades.

4.3.3.8 Frustração

Por mais interativo que os sistemas possam ser, eles não reagem a todos os estímulos que chegam até ele. Parece ser até paradoxal, já que se pontua tanto que os sistemas estão em constante interação. O que acontece é que mais de um estímulo recebido pode ter a ver com o mesmo processo interativo. Esses estímulos podem ser conflituosos, ou até antagônicos e, de forma a garantir a manutenção do sistema, algumas vezes, alguns desses estímulos podem ser ignorados.

Se pode pensar que os estímulos ignorados são específicos, mas não. Como as interações são diversas e o sistema está em constante interação, os estímulos frustrados são aleatórios, mesmo que a situação geral do sistema possa ser prevista.

4.3.3.9 Hierarquia

Ao lermos a palavra *hierarquia*, logo pensamos nas forças armadas e nas suas patentes (Figura 22). Lá, quanto mais alto se está, maior é seu grau de importância. Ou podemos pensar em um sistema monárquico (figura 23), tendo na figura do rei o indivíduo de maior importância, *o xadrez que o diga*.

Num formigueiro, assim como na colmeia, a formiga que identificamos como a rainha, não manda, nem tem regalias. Mas ela é de extrema importância para a manutenção da comunidade. Se uma formiga ou abelha morre, a comunidade continua, mas se a rainha morre, a comunidade deixa de existir.

A hierarquia nos sistemas complexos tem a ver com a forma como cada nível desse sistema lida com o estímulo externo que ele recebe. Não tem a ver com grau de importância, mas sim com escala funcional. Uma célula fotossensível do nosso olho lida com a luz de forma a produzir uma resposta a essa interação. Porém o fenômeno da visão não é oriundo da interpretação de apenas uma célula e sim do conjunto.

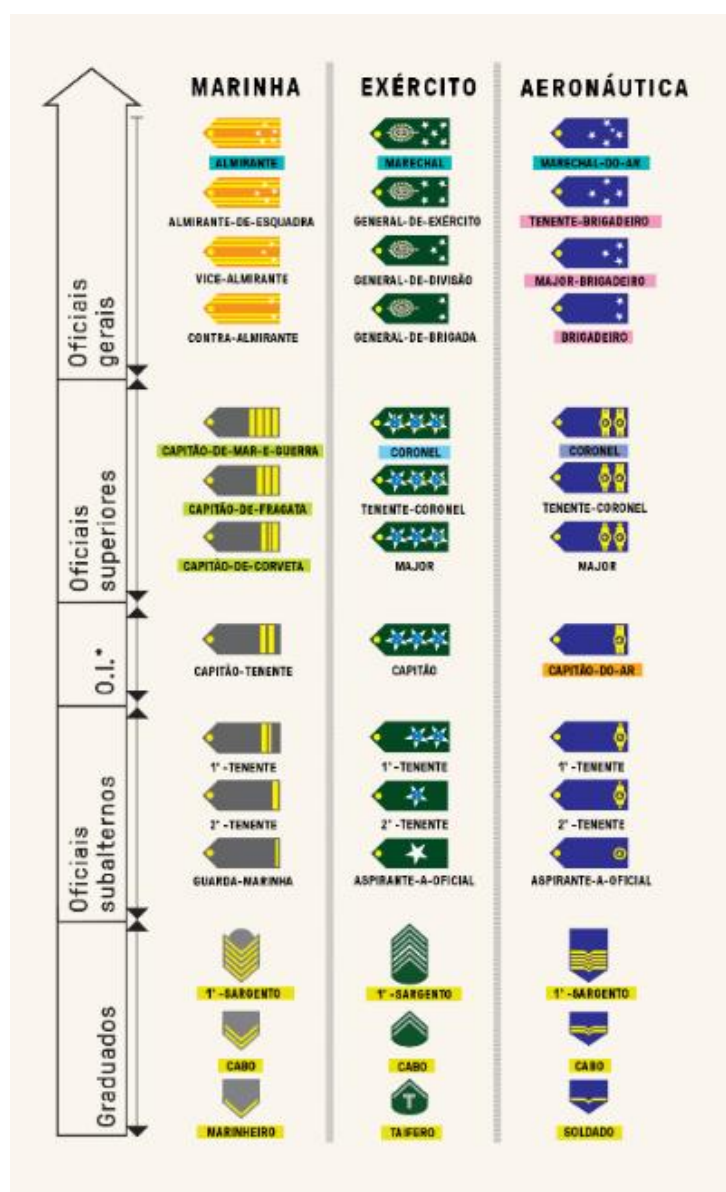


FIGURA 22: Ilustração das Patentes das Forças Armadas Brasileiras.
FONTE: <https://super.abril.com.br/historia/como-reconhecer-a-patente-de-um-militar/>.

O mesmo vale para o processo de bronzeamento, já que como efeito em outra escala da absorção de luz pelos melanócitos e consequentemente produção de melanina é que se produz o efeito da “pele queimada de sol”. É fundamental compreender que todo sistema complexo possui constituintes que por si só são sistemas complexos, tornando a estrutura do sistema intrincada: são sistemas dentro de sistemas e suas reações individuais, quando somadas, geram uma reação em uma escala acima que

aparentemente não tem a ver com a reação de cada um dos componentes de forma isolada.

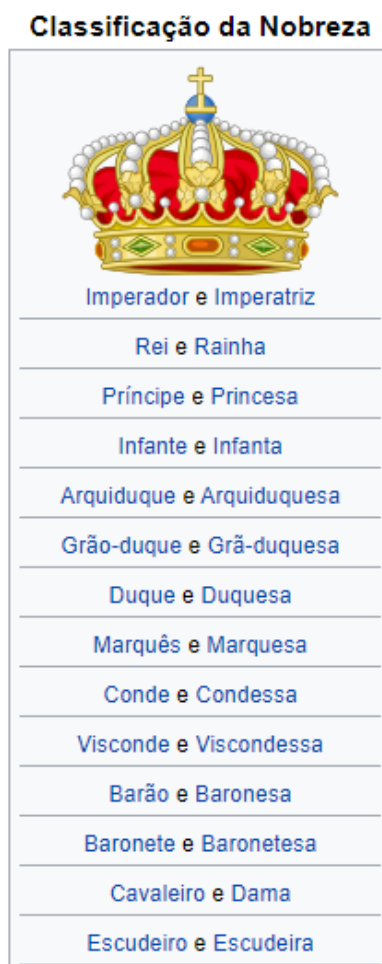


FIGURA 23: Classificação da Nobreza (Adaptado pelo autor).
FONTE: https://pt.wikipedia.org/wiki/Predefinição:Classificação_da_Nobreza.

4.3.3.10 Auto-organização

É um exercício bastante imersivo ao mesmo tempo que intrigante o de se perguntar o porquê nós, seres humanos, somos *assim*. Por que nossa estrutura é essa e não a do animal que chamamos de cachorro ou gato? Melhor ainda, por que há tantas estruturas diferentes e todas elas possuem uma característica em comum, a vida?

Se olharmos apenas para nós, podemos ainda se perguntar: se todas as células possuem estrutura semelhante, como elas se especializaram e

formaram determinados tecidos e estes determinados órgãos? O que faz com que esse amontoado de células se mantenha coeso?

Uma característica própria dos sistemas complexos vivos é o que chamamos de auto-organização. Sistemas vivos se organizam de forma espontânea e a estrutura final, aquilo que definimos como ser humano, e que aprendemos a diferenciar de um cachorro ou de uma baleia é fruto de uma série de conexões entre esses microssistemas que compõe esse macrossistema, e das trocas constantes de matéria, energia e informação entre eles e com o meio externo, numa dinâmica que sempre mantém os sistemas vivos fora do equilíbrio.

Somos seres autônomos por sermos *auto-organizantes*. Nossa estrutura se adequa e se modifica para atender as demandas energéticas e as mudanças que ocorrem no meio circundante. Nós evoluímos, por sermos *auto-organizantes*. A auto-organização trata de uma dinâmica molecular, um processo que acontece na molécula e nas classes de moléculas que compõem as estruturas celulares, em uma interconexão que se retroalimenta e, por efeito, especifica as células, as estruturam e as interligam.

O ser vivo, afinal, é uma dinâmica molecular e não apenas um amontoado de moléculas e o ato de viver é o constante processo indutor dessa dinâmica, em uma configuração que permite que essa dinâmica se perpetue, ou seja, fora das condições de equilíbrio. É a auto-organização que propicia condições para que o ser vivo assim o seja, é uma forma de interpretarmos o conceito de vida.

4.3.3.11 Propriedades Coletivas Emergentes

Gatos e cães são ágeis, possuem um ótimo olfato e escutam melhor que um humano (Figura 24). Se compararmos, possuímos o mesmo número de narinas e orelhas que eles e não sentimos tantos cheiros ou ouvimos tantos sons quanto eles. Em contrapartida, somos seres pensantes que não dependem apenas de instintos para sobreviverem e graças a essa habilidade,

fomos capazes de viver em sociedade, de produzir bens de consumo e evoluir tecnologicamente.

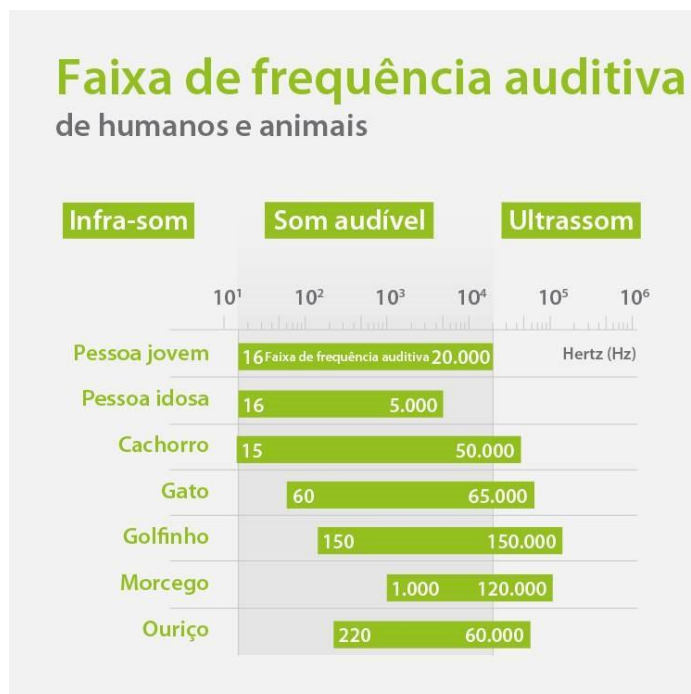


FIGURA 24: Comparação entre a faixa de frequência auditiva de humanos e animais.
FONTE: <https://www.audiumbrasil.com.br/blog/audicao-e-deficiencia-auditiva/audicao-humana-comparada/>.

Se nos compararmos, vemos que existem pessoas que possuem uma habilidade musical que outras não tem, outras são ágeis, excelentes corredoras ou nadadoras, outras *não tem habilidade nenhuma*. Mas de onde vem essas habilidades? Se somos todos iguais, em termos estruturais, porque destoamos tanto uns dos outros?

Se formos avaliar a estrutura de um ser humano, possuímos todas as mesmas estruturas, alguns com mais de um tipo do que outros, mas ainda assim, isso não define se um indivíduo ou comunidade vai desenvolver determinada habilidade ou não.

O que se percebe é que algumas características qualitativas de um sistema complexo não têm origem em suas estruturas constituintes e sim nos processos interativos entre elas, ou de algumas dessas partes com o meio

externo. Logo, não há razão em procurar em suas partes pelo que originou essas características, já que elas não estarão lá.

A consolidação da teoria dos sistemas complexos nos mostrou que esses sistemas não podem ser compartimentalizados, já que *o todo é maior que as partes*. Há propriedades que só podem ser detectadas, estudadas ou medidas, quando avaliamos o sistema como um todo e são chamadas de propriedades coletivas emergentes. *Coletivas* porque se trata de uma propriedade de todas as constituintes do sistema e ao mesmo tempo apenas do sistema, e *emergentes* por só aparecerem durante os processos interativos. Nunca o ditado “não julgue o livro pela capa” fez tanto sentido...

4.3.3.12 Aleatoriedade

Essa característica é, literalmente o que o nome é, *aleatória*. Não a *característica*, mas *A* característica.

Se partirmos do ponto de vista cartesiano, o todo de um sistema pode ser entendido através de suas constituintes e pelas características dessas constituintes, não necessariamente integrando-as para isso. E, baseado no *poder preditivo* desse pensamento, é o mesmo que dizer que se eu misturar *açúcar, tempero e tudo o que há de bom*, eu terei como produto as *meninas superpoderosas*. Em termos mais gerais: com uma série de características, que a princípio já são conhecidas, eu posso reproduzir quaisquer fenômenos, ao associá-las a determinados constituintes desse fenômeno que eu quero reproduzir.

Entretanto, sistemas complexos não funcionam assim. Mesmo sistemas semelhantes podem não possuir constituintes com características semelhantes, já que elas são distribuídas ao acaso. Isso significa que nenhum fenômeno é, em seu cerne igual ao outro, mesmo que qualitativamente, o que vemos é que sim. Na *média*, eles são parecidos, mas isso tem muito mais a ver com a forma com que seus constituintes se relacionam do que necessariamente compartilhar *da mesma receita*.

Um bom exemplo dessa aleatoriedade tem a ver com a própria evolução. Os seres que existem hoje são fruto de uma série de processos adaptativos que dependem de pequenas variações genéticas anteriores, estimuladas através de pequenas flutuações, ou melhor, mudanças do meio, e que passaram no teste da adaptação. Somos as melhores versões de nossos ancestrais (Figura 25), justamente por possuímos particularidades que eles não possuíam, mesmo sendo *iguais a eles*, particularidades essas que são distribuídas ao acaso e postas a prova.

ÁRVORE GENEALÓGICA: A LINHAGEM DOS HOMENS MODERNOS

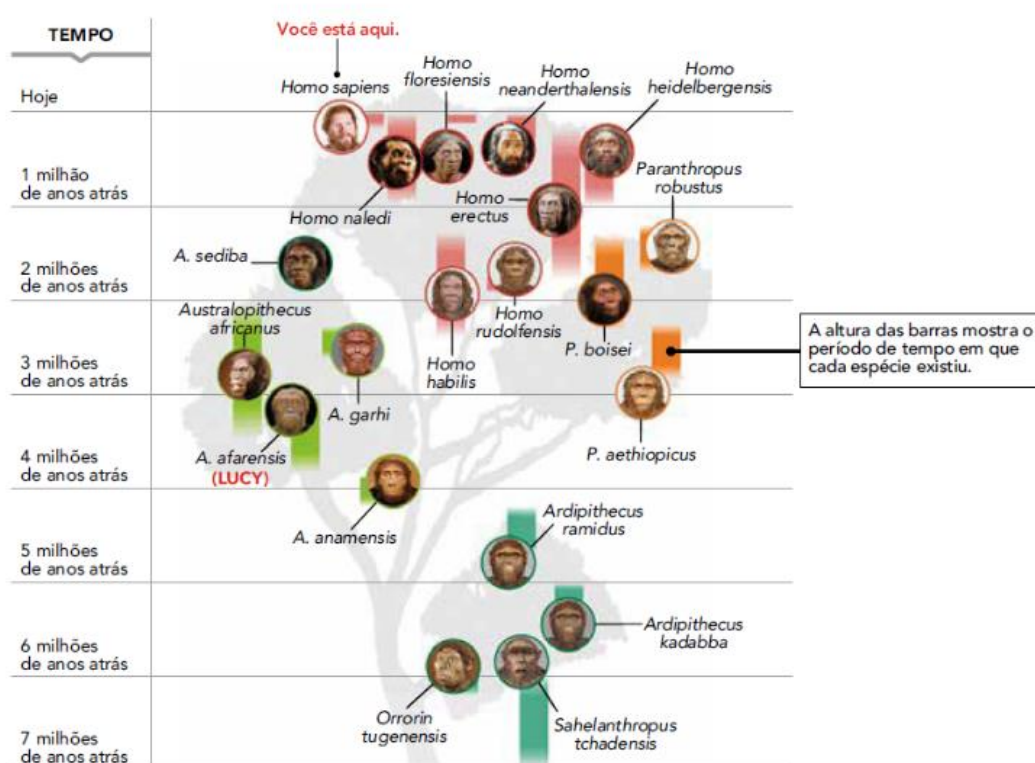


FIGURA 25: Árvore Genealógica dos hominídeos modernos.

FONTE: Internet.

Outra forma de vermos a aleatoriedade como característica de um sistema complexo pode estar na forma como cada pessoa lida com um resfriado. Algumas são capazes de sozinhas, apenas com seus mecanismos de defesa, combaterem o vírus. Outras, demandam um auxílio externo, através de remédios, por exemplo.

4.3.3.13 Atratores

Relembrando: sistemas complexos não possuem relações diretas de causa e efeito. Isso significa que, dada uma condição inicial, não há certeza se ela se encaminhará para uma situação final específica, como se esperava nos processos deterministas do pensamento cartesiano. Então, como podemos avaliar um sistema complexo?

O pensamento cartesiano pauta suas análises na aplicação de equações, que traçam as características passadas e futuras de um fenômeno. Isso é possível pelo fato de que as relações cartesianas são lineares, onde uma variável influencia outra de uma forma bem determinada e limitada. Como vimos, as relações *complexas* são interrelações não lineares, de tal forma que uma variável pode influenciar um certo número de variáveis que por sua vez influenciam a primeira. Assim, as mesmas condições iniciais podem gerar panoramas futuros distintos entre si.

Mas, ao contrário do que se pensa, as evoluções de um sistema complexo não são completamente aleatórias, é possível estimá-las. Essa evolução pode ser visualizada em **diagramas ou representações espaciais denominadas espaços de fase**.

No espaço de fases são representados diagramas que podem ser considerados uma “foto” da evolução temporal do estado do sistema. Assim, em cada ponto desse diagrama, que representa um instante de tempo, é possível perceber um conjunto de características que definem o estado do sistema nesse instante.

Se estudássemos um fenômeno ideal, esse diagrama seria uma figura fechada, já que o diagrama repetiria, após determinado intervalo de tempo, as mesmas configurações iniciais, o que significa que as variáveis se influenciam até um certo limite. No caso de um fenômeno complexo, a figura que representa a evolução do sistema não é simples e nem mesmo fechada, já que é improvável que em algum momento as configurações iniciais voltem a se repetir, devido a interdependência entre as variáveis.

Outra característica de um diagrama de espaço de fase as são posições que se repetem no tempo com determinada frequência. Essas posições podem ser interpretadas como pontos de estabilidade para o sistema, pontos em que ele poderia permanecer sem correr o risco de deixar de existir, ou que o gasto energético para permanecer ali seja o mínimo. No caso de sistemas cartesianos, essas posições são muito bem definidas e se repetem ao longo do tempo. Mas no caso de um sistema complexo esse não é o caso.

Devido a interdependência entre as variáveis, o sistema sempre evolui e encontra pontos de estabilidade que não se repetem, mas que temporalmente, ou seja, em intervalos de tempo calculáveis, são próximos o suficiente (no diagrama) para que possamos definirmos um padrão de evolução para o sistema. E a esses pontos de estabilidades damos o nome de *atratores*.

Assim, em sistemas complexos, os atratores sempre seguem esse padrão de *quase repetição* de suas posições de estabilidade, e formam os chamados **atratores estranhos**. O mais famoso é o que cunhou o nome para o *Efeito Borboleta*, o atrator de Lorenz (Figura 26), em homenagem ao meteorologista e matemático estadunidense, Edward Lorenz (1917-2008) (Figura 27), que trata justamente de analisar as situações iniciais de sistemas complexos e ver a divergência de suas evoluções devido a pequenas modificações nessas condições, pautada diretamente na premissa da interdependência entre as variáveis gerarem padrões imprevisíveis, por suas relações serem não-lineares.

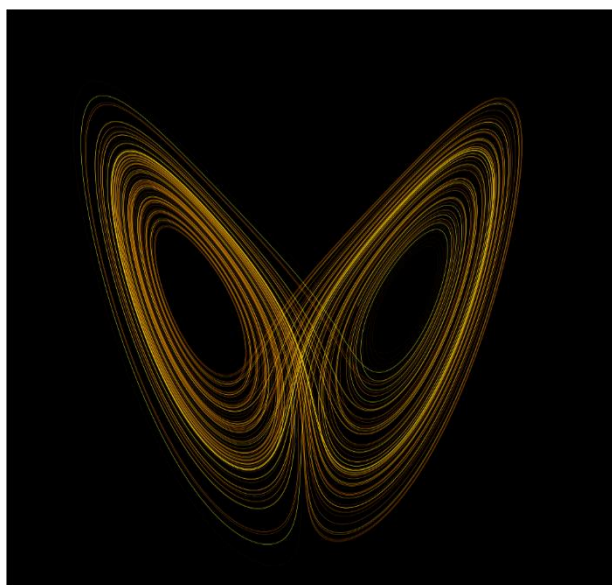


FIGURA 26: Atrator de Lorenz, por Dschwen.
FONTE: Dschwen, 2006 CC BY-AS 3.0 0 – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons³².



FIGURA 27: *Edward Lorenz.*
FONTE: https://www.kyotoprize.org/en/laureates/edward_norton_lorenz/.

4.3.3.14 Histerese

Apesar de não ser um exemplo tão evidente, é possível que você já tenha se deparado com ele: uma chave de fenda na qual o parafuso fica

³² DSCHWEN, *Lorenz attractor yb.svg* In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lorenz_attractor_yb.svg> sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

atraído, após você soltá-lo. Fisicamente dizendo, essa chave de fenda está imantada, ou sua composição é a mesma de um ímã, de modo que ela exerce influência magnética sobre outros materiais.

É comum que eletricitistas e mecânicos coloquem um ímã dentro de sua caixa de ferramentas, de modo que após um tempo, todas as chaves que estão lá, adquiram propriedades magnéticas, e mesmo que o ímã seja retirado da caixa, elas permaneçam com essa propriedade. No material, o que acontece é que seus domínios magnéticos (que podemos definir, grosso modo, como regiões na qual a magnetização está em uma direção uniforme) desemparelhados passam a se alinhar, de acordo com a orientação das linhas de campo magnético do ímã, de modo que, como efeito macroscópico, esse material também se torne um ímã, mas artificial (Figuras 28 e 29).

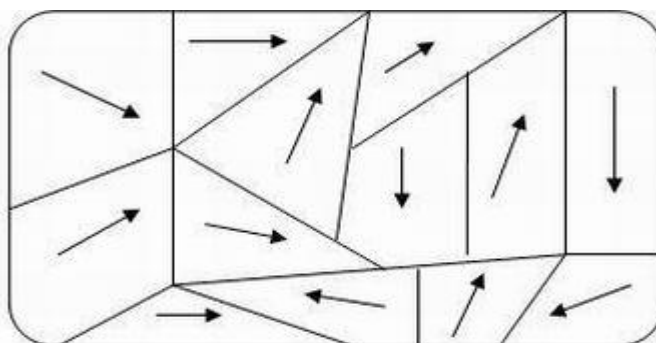


FIGURA 28: Domínios magnéticos desalinhados.

FONTE: <http://www.fisica.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=227>.

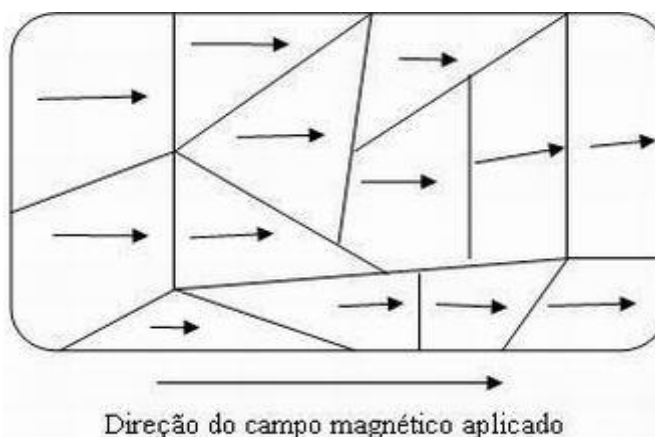


FIGURA 29: Domínios magnéticos alinhados, após ação de campo magnético externo.

FONTE: <http://www.fisica.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=227>.

Materiais ditos *ferromagnéticos* possuem uma facilidade de permanecerem com seus domínios magnéticos alinhados, ou seja, imantados, mesmo depois do campo magnético que os alinhou deixe de existir. Isso implica que esse material mantém as propriedades adquiridas mesmo depois que os estímulos que as geraram acabem, e a essa propriedade damos o nome de *histerese* e, *olha só*, é uma das características dos sistemas complexos: o estado de imantação é um estado de estabilidade para esse material, já que demandaria energia retornar ao estado estável anterior.

A variação de temperatura, umidade e vegetação durante as estações do ano pode ser entendida como um processo de histerese pela qual o clima local passa. As variações de temperatura não são instantâneas ou abruptas e são necessários estímulos externos para que ocorram novamente, como o aumento ou a diminuição da disponibilidade de luz solar, influência dos oceanos e deslocamentos de massa de ar (devido a variação de pressão).

4.3.3.15 Fractalidade e Autossimilaridade

Umas das consequências do pensamento cartesiano é o conceito de dimensionalidade que possuímos hoje. Com a premissa é de que todos os fenômenos e todos os constituintes da natureza sejam avaliados pelos construtos humanos, fez-se necessário dimensionar todos os objetos de estudo dentro das dimensões de geometria euclidiana conhecida, extremamente coerente e já consolidada entre a comunidade científica (Figura 30). Dessa forma, os fenômenos naturais estudados sempre são definidos em uma, duas ou três dimensões inteiras, e suas constituintes simplificadas a figuras geométricas já conhecidas, com propriedades conhecidas e possibilidades de simplificação.

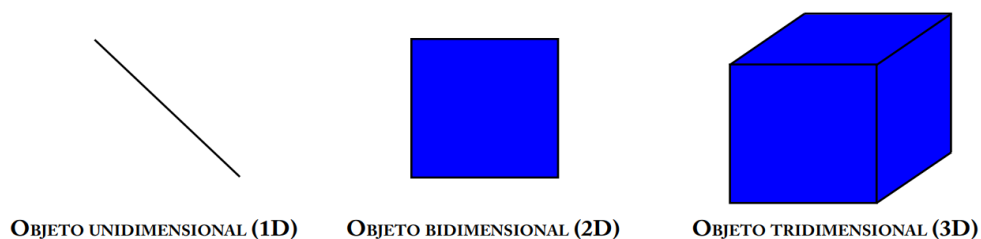


FIGURA 30: Dimensões euclidianas.
FONTE: DE PAULO et al., 2012.

Daí vem a piada da *vaca esférica* (Figura 31).

Nenhuma *estrutura* complexa possui dimensão inteira. Se quisermos medir o volume de um humano, precisamos fazer uma série de aproximações, tornando-o um *conjunto de cilindros* de volumes bem definidos, que podem ser somados posteriormente. O mesmo para uma árvore, para um cachorro, para as limitações costeiras dos continentes, para uma folha, *para uma vaca*.

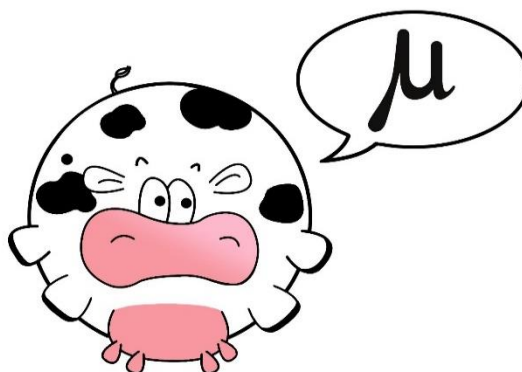


FIGURA 31: Vaca Esférica.
FONTE: Internet.

Benoît Mandelbrot (1924-2010) (Figura 32), matemático francês, cunhou o termo que hoje usamos para todas as estruturas reais: *fractais*. Todo sistema real possui *Fractalidade*, ou seja, dimensões não inteiras, fracionadas, que levam em consideração todas as características que definem os limites, e conseqüentemente, a dimensão, dessas estruturas: ranhuras, buracos, vales reentrâncias, picos, deformações e tudo o mais que ajude a qualificar esses limites.



FIGURA 32: Benoît Mandelbrot, por Rama.

FONTE: RAMA. 2007. CC BY – AS 2.0 fr – disponível no repositório digital da Wikimedia Commons³³.

A matemática fractal, associada a essa nova *geometria*, é bastante *complexa* (aqui vale a intenção de difícil), mas o cálculo da dimensionalidade de um sistema complexo é fácil de ser feito (Figura 33). Ainda, o avanço dessa área foi essencial para os desenvolvimentos dos efeitos especiais nas produções cinematográficas, já que muitos efeitos surgem da computação baseada em geometria fractal (Figura 34).

Os padrões fractais, na matemática, surgem de padrões simples que são reproduzidos dentro de um algoritmo bem determinado, geralmente substituições geométricas, o que é chamado de **função iterativa**. Exemplos de funções iterativas que geram objetos fractais são o *Triângulo de Sierpinski* (que possui perímetro tendendo ao infinito em uma área bem definida) (Figura 35), o *Floco de Neve de Koch* (Figura 36) e a *Esponja de Menger* (que possui volume tendendo a zero enquanto sua superfície tende ao infinito) (Figura 37). Mas o que o advento computacional nos forneceu de muito importante na análise dos sistemas complexos a partir de fractais é que eles são *invariáveis em escala*.

³³ RAMA, *Benoit Mandelbrot mg 1804-d.jpg*. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Benoit_Mandelbrot_mg_1804-d.jpg> sob CC BY-SA 2.0 fr. Acesso em: 11 mai. 2021.

$$d = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\text{Log } N_{\epsilon}}{\text{Log } (1/\epsilon)}$$

N_{ϵ} = quantidade de segmentos
 ϵ = tamanho relativo de um segmento

FIGURA 33: Equação de dimensionalidade.

FONTE: DE PAULO et al., 2012.

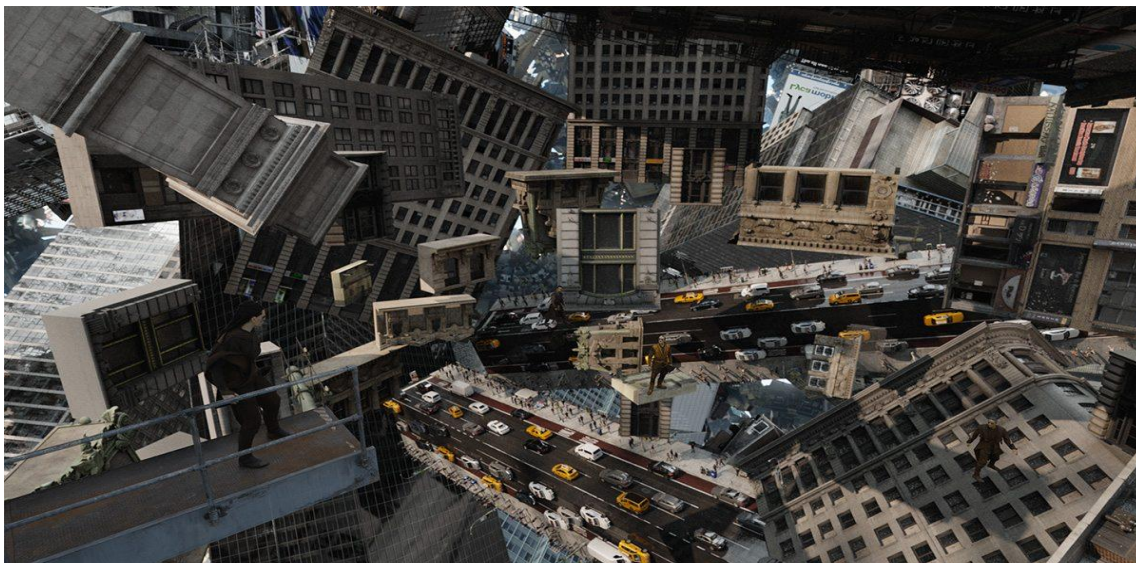


FIGURA 34: Uso de Fractalidade para construção de efeitos especiais no filme Doutor Estranho (2016).

FONTE: <https://www.cartoonbrew.com/vfx/ilm-made-insane-bending-buildings-doctor-strange-144770.html>.

Isso significa que, se dermos um “zoom” numa estrutura fractal, suas constituintes são exatamente iguais ao todo, e de forma contrária, não saberíamos dizer se o que estamos avaliando é uma constituinte ou o todo de uma estrutura fractal, sem que haja uma referência externa. A essa característica foi dado o nome de *autossimilaridade*, e ela pode ser entendida como uma consequência da geometria fractal.

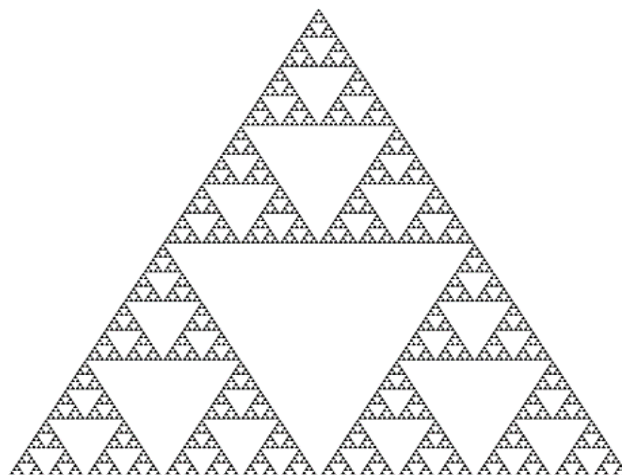


FIGURA 35: Triângulo de Sierpinski, por Nol Aders.

FONTE: ADERS, Nol, 2005, Domínio Público - disponível no repositório digital da Wikimedia Commons³⁴.

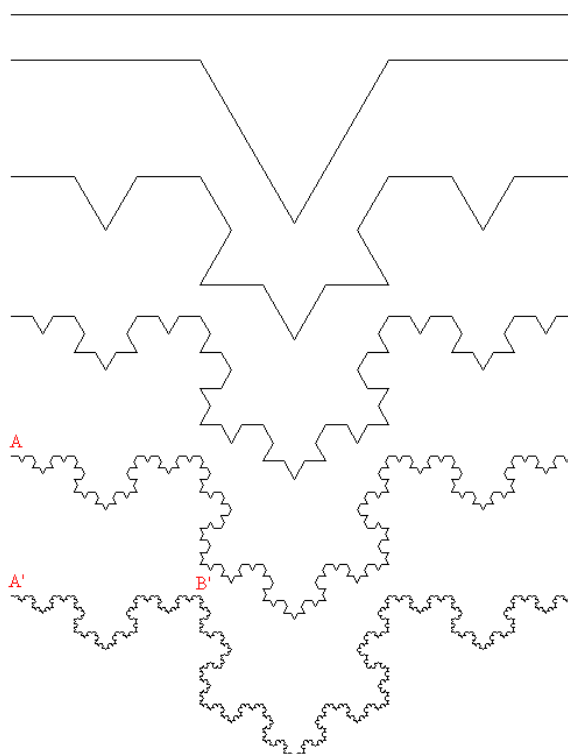


FIGURA 36: Floco de Neve de Koch, por Romero Schmidtke.

FONTE: Schmidtke, Romero, 2006 CC BY – SA 3.0- disponível no repositório digital da Wikimedia Commons³⁵.

³⁴ ANDERS, Nol. *SierpinskiTriangle.PNG* In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SierpinskiTriangle.PNG>> sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

³⁵ SCHMIDTKE, Romero. *Koch snowflake0192.png* In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koch_snowflake0192.png> sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

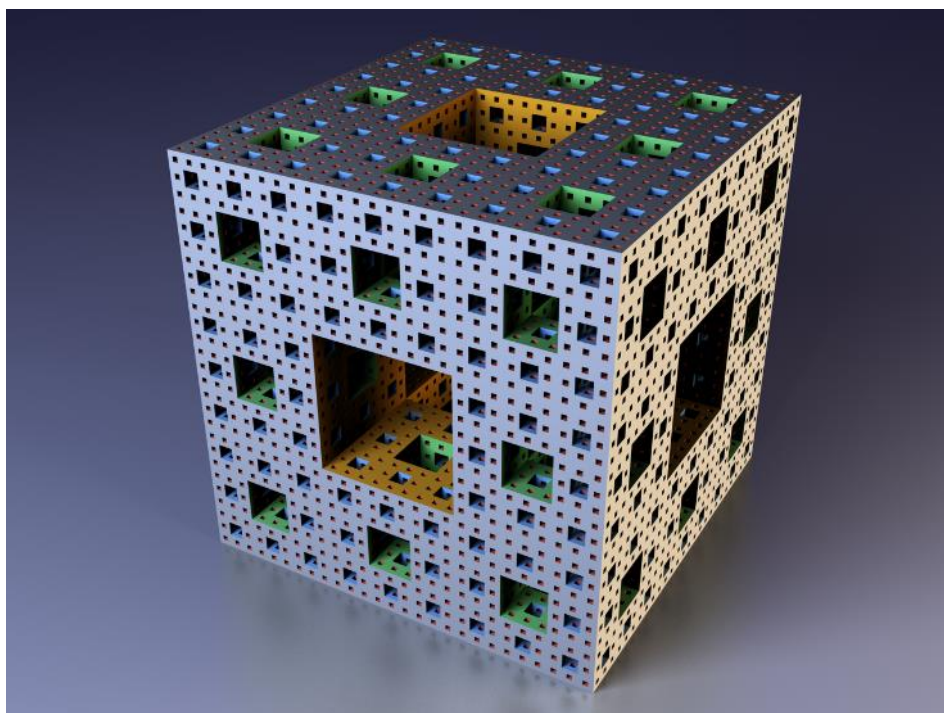


FIGURA 37: Esponja de Menger, por Niabot.

FONTE: NIABOT, 2009 CC BY – SA 3.0- disponível no repositório digital da Wikimedia Commons³⁶.

Em sistemas complexos reais, essa autossimilaridade não é infinita, já que as estruturas estão limitadas as suas próprias constituintes mais simples, os átomos, mas é possível perceber autossimilaridade em algumas escalas (Figura 38). E nem precisamos ir muito longe, basta olhar pra uma árvore: seu tronco se divide nos galhos principais, que se dividem em ramos secundários, esses em terciários e por fim as folhas (Figura 39). Outro exemplo que é lindo, mas que nos faz questionar se seria *prudente comê-lo*, é o romanesco (Figura 40), uma das mais lindas, e estranhas, estruturas fractais da natureza.

³⁶ NIABOT. Menger-Schwamm-farbig.png In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Menger-Schwamm-farbig.png>> sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

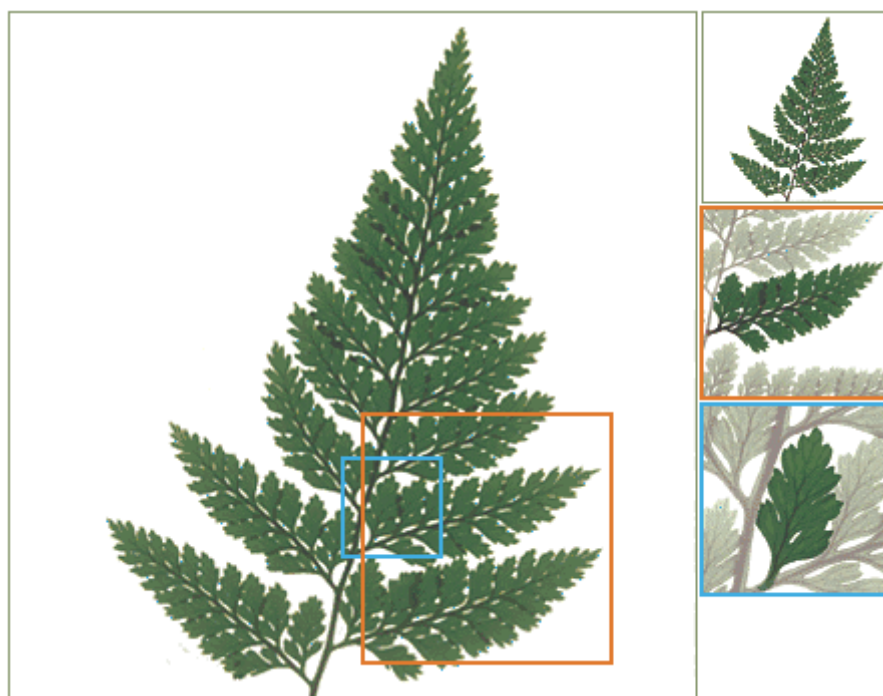


FIGURA 38: Invariância de escala em uma estrutura biológica.

FONTE: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Exemplo-de-invariancia-de-escala-Desenhos-em-diferentes-escalas-conservam_fig1_264848008.



FIGURA 39: Ilustração da estrutura fractal de uma árvore (adaptada pelo autor).

FONTE: <https://www.ime.usp.br/~pf/estruturas-de-dados/aulas/st-bst.html>.



FIGURA 40: Romanesco Broccoli, por Ivar Leidus.

FONTE: LEIDUS, Ivar 2021 CC BY – SA 4.0- disponível no repositório digital da Wikimedia Commons³⁷.

³⁷ LEIDUS, Ivar *Romanesco broccoli (Brassica oleracea).jpg* In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Romanesco_broccoli_\(Brassica_oleracea\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Romanesco_broccoli_(Brassica_oleracea).jpg)> sob CC BY-SA 4.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de processos sociais e tecnológicos cada vez mais sofisticados e, também, efêmeros, reconhecer no PS uma epistemologia educacional coerente com esses processos e com o processo educacional é salutar. A necessidade de efetivamente levar a TC para a Educação Básica urge e como visto, existe um referencial que fortalece essa premissa, e que é relativamente recente, o que sugere que a preocupação com o desenvolvimento sustentável da sociedade vem ganhando relevância.

Dito isso, é notável o pouco referencial em Língua Portuguesa – ou de autores que falam a língua – que possibilite o seu desenvolvimento no Brasil, fortalecendo a necessidade de se discutir e difundir esse pensamento entre a comunidade acadêmica. Além, uma fundamentação em Física arrojada permite, como visto, garantir que os processos conectivos da TC sejam plenamente desenvolvidos e, com uma fundamentação ou prática de Ensino bem desenvolvida, podem ser a garantia de que o PS se fortaleça como uma teoria de ensino-aprendizagem não seja apenas viável como necessária para que as mudanças de paradigmas esperadas por ele. Este trabalho, assim como os outros desenvolvidos na Pós-Graduação em Física Ambiental, voltados ao Ensino, oportunamente, sobressaem-se como referenciais, tanto para aprendizes, quanto para professores, que desejem conhecer mais a fundo os preceitos do PS, mesmo que a nível fundamental.

Ademais, é relevante a falta de trabalhos na área de Física que fortaleçam a popularização do PS, seja no meio acadêmico, seja entre os Profissionais que atuam na Educação Básica, evidenciando que um trabalho como esse, realizado na Pós-Graduação de Física Ambiental como um indicativo de que o Mato Grosso pode ser um polo de referência na disseminação do PS no Brasil.

Como visto, e de vital importância como indicam a TAS e a TASC, que os jovens aprendizes possuam interesse e subsunçores suficientes – e caso não, possam desenvolvê-los – para participar ativamente das discussões

sobre preservação ambiental e como a relação homem-ambiente impacta diretamente em seu futuro e nas futuras gerações. Estimular nos aprendizes a criticidade e a tomada de decisão é uma ferramenta de transformação social bastante promissora, dado a facilidade com que se habitua com as transformações tecnológicas, o que os tornam potenciais agentes de real transformação na sociedade.

Mas, acima do aprendizado do aluno, está o aprendizado do Professor. Certamente, além da vontade de aplicar e do desejo de transformação intrínseco a mudança de abordagem educacional aqui proposta, o Professor deve ter se apropriado dos conceitos e conhecimentos inerentes aos processos que gostaria de iniciar. Primordialmente, o Professor deve se apropriar das ferramentas tecnológicas atualmente disponíveis. Conhecimento acerca do uso de ferramentas interativas de questionários como o *Google Forms*, *Kahoot*³⁸ e *Quizizz*³⁹, passando por plataformas Simulacionais como o *PhET Colorado*⁴⁰, que possuem interfaces tanto em computadores quanto em celulares, são de suma importância na mudança da forma como a relação professor-aluno se dá, o que pode ainda aumentar o interesse destes pelo conhecimento a ser construído. Ainda, inserir atividades externas a sala de aula fortalece o interesse dos aprendizes por esses conhecimentos, ainda mais numa realidade em que valorizam o caráter utilitário do que aprendem – o que não deve ser o foco do aprendizado, mas que pode ser usado como facilitador para essa finalidade.

Quanto ao PS e as características dos sistemas complexos, leituras como a do Livro *A Teia da Vida*, de Fritjof Capra (1996) e *Introdução a Teoria da Complexidade*, de De Paulo et. Al (2012), referenciais utilizados neste trabalho, podem ser a entrada para àqueles que desconhecem a área. E, de modo a entender as bases da Matemática Fractal, o curso *Fractals and Scaling*, do Instituto Santa Fe⁴¹, sempre aberto ao público, gratuito e on-line

³⁸ <https://kahoot.com/pt/>

³⁹ <https://quizizz.com>

⁴⁰ https://phet.colorado.edu/pt_BR/

⁴¹ <https://www.complexityexplorer.org>

(o que fortalece a necessidade da familiaridade do Professor com ferramentas tecnológicas).

O professor também deve se familiarizar com a epistemologia da TAS e da TASC, aqui posta como cerne do desenvolvimento didático deste trabalho, e creditado como àquela que melhor se adequa as mudanças nos processos educacionais previstos pelos referenciais aqui apresentados, bem como com recursos didáticos instrucionais, como as próprias UEPS aqui utilizadas, diagramas V, mapas conceituais e análise de conteúdo (com referenciais introdutórios apresentados anexos). Esse exercício deve também ser feito com a própria BNCC⁴², tanto de forma individual quanto com a comunidade escolar, de forma que sua implementação seja coerente com o que ela prevê e, acima de tudo, respeitando as idiossincrasias dessa comunidade.

Por fim, o Professor deve se atualizar sempre, assim como estimular os alunos a fazerem o mesmo, acerca dos temas de grande impacto, com especial enfoque naqueles relacionadas a preservação ambiental e as mudanças climáticas. Avaliando os estágios de apropriação propostos, vê-se que o aprimoramento próprio e o desenvolvimento crítico e tecnológico são processos gradativos e contínuos, basilares ao desenvolvimento de mudanças na realidade em que tanto os aprendizes quanto os Professores vivem, afinal, ainda que mestres, estes também são aprendizes, em constante aprendizado.

Verificar a efetividade das UEPS propostas surge de forma natural como um trabalho futuro a ser desenvolvido, assim como a transposição do texto de apoio em livro paradidático implementável dentro do regime de itinerários formativos propostos pela nova BNCC. Os itinerários como potencializadores da popularização das Ciências Ambientais como um todo também são uma forma interessante de avaliar a versatilidade dos mesmos como processo educacional complexo na formação dos aprendizes a partir de sua implementação efetiva dentro da realidade da nova Educação Básica. A

⁴² <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/a-base>

BNCC apenas como uma “Base Comum” soa uma apresentação imprópria para uma proposta de currículo norteador bastante promissora e deve ser estudada com cuidado e esmero.

Ainda sobre a BNCC, este trabalho não faz juízos de valor a favor ou contra sua implementação, que por si só, já é um tema abrangente e, merecidamente, deve ser discutido com mais afinco em trabalhos posteriores, seja em conjunto com a implementação das propostas desenvolvidas aqui, seja não. A BNCC é recente e seus desdobramentos ainda não foram efetivamente mensuradas, assim como os itinerários formativos. Verifica-se que, em seu cerne, seus objetivos coadunam com os estimulados pelo PS, o que torna seu uso apreciável, mas não dignos de asserções de valor mais incisivas do que as expressas durante o desenvolvimento deste.

Finalmente, espera-se que este trabalho traga à tona a importância de uma mudança na abordagem educacional vigente de forma a desenvolver-se cidadãos conscientes e que trabalhem efetivamente na evolução da relação homem-ambiente, de forma que sua coexistência não só seja estimulada, mas que também seja potencializadora de uma melhor qualidade de vida de toda a sociedade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1 - BIBLIOGRAFIA CITADA

BATES, Agnieszka. Transcending systems thinking in education reform: Implications for policy-makers and school leaders. **Journal of Education Policy**, v. 28, n. 1, p. 38-54, 2013.

BOERSMA, Kerst; WAARLO, Arend Jan; KLAASSEN, Kees. The feasibility of systems thinking in biology education. **Journal of Biological Education**, v. 45, n. 4, p. 190-197, 2011.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, **LDB**. 9394/1996. BRASIL.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018

BRASIL. Ministério da Educação. Gabinete do Ministro. Portaria nº 1.432, de 28 de dezembro de 2018. Estabelece os referenciais para a elaboração dos itinerários formativos conforme preveem as Diretrizes Nacionais do Ensino Médio. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 05 abr. 2019. p. 94-97.

BYBEE, Rodger W. What is STEM education?. 2010.

CAPRA, Fritjof. A teia da vida: uma nova concepção científica dos sistemas vivos. **São Paulo: Pensamentos**, 1996.

CARRILHO SOBRINHO, Flair J. **Análise de livros didáticos do nível médio quanto à potencialidade para uma possível aprendizagem significativa de física ambiental**. Cuiabá, 2009. 202f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

CHIU, Mei-Hung; MAMLOK-NAMAN, Rachel; APOTHEKER, Jan. Identifying systems thinking components in the school science curricular standards of four countries. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 12, p. 2814-2824, 2019.

CUNNINGHAM, Rod. Chaos, complexity and the study of education communities. 2001.

DAVIS, Brent; SUMARA, Dennis. Complexity as a theory of education. **TCI (Transnational Curriculum Inquiry)**, v. 5, n. 2, p. 33-44, 2008.

DE PAULO, Iramaia Jorge Cabral; JORGE NETO, Miguel; DE PAULO, Sérgio Roberto. **Introdução a Teoria da Complexidade**. Cuiabá: EdUFMT, 2012.

DOOLITTLE, Peter E. Complex constructivism: A theoretical model of complexity and cognition. **International Journal of teaching and learning in higher education**, v. 26, n. 3, p. 485-498, 2014.

DORILEO, Gonçalo G.J. **Ensino de tópicos básicos da teoria em física ambiental no ensino médio com recursos de tecnologia da informação e**

comunicação (TIC). Mato Grosso, 2010. 55p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

FORSMAN, Jonas et al. A new approach to modelling student retention through an application of complexity thinking. **Studies in Higher Education**, v. 39, n. 1, p. 68-86, 2014.

GLERIA, Iram; MATSUSHITA, Raul; SILVA, Sergio Da. Sistemas complexos, criticalidade e leis de potência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 99-108, 2004.

HULT, Francis M. The complexity turn in educational linguistics. **Language, Culture and Curriculum**, v. 23, n. 3, p. 173-177, 2010.

JESS, Mike; ATENCIO, Matthew; THORBURN, Malcolm. Complexity theory: Supporting curriculum and pedagogy developments in Scottish physical education. **Sport, Education and Society**, v. 16, n. 2, p. 179-199, 2011.

JORGE NETO, Miguel. **Física ambiental e teoria da complexidade: possibilidades de ensino na educação básica.** Cuiabá - MT, 2009. 99f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

JUNIOR LEITE, Admilson. **Um Ensaio Sobre a Teoria da Complexidade na Perspectiva de Fritjof Capra.** Cuiabá – MT. 2017. (Trabalho de Conclusão de Curso), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

MAHAFFY, Peter G. et al. Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 5, p. 362-370, 2019.

MANSON, Steven M. Simplifying complexity: a review of complexity theory. **Geoforum**, v. 32, n. 3, p. 405-414, 2001.

MASON, Mark. Making educational development and change sustainable: Insights from complexity theory. **International Journal of Educational Development**, v. 29, n. 2, p. 117-124, 2009.

MOREIRA, Marco A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.** In: SILVA. Márcia Gorette Lima da. et. al (org). Temas de ensino e formação de professores de ciências. Natal, RN: EDUFRRN, 2012b. p. 45 - 57.

MOREIRA, Marco Antônio. Aprendizagem significativa crítica (critical meaningful learning). **Teoria da Aprendizagem Significativa**, v. 47, 2000.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica (Meaningful learning: from the classical to the critical view). In: **Conferência de encerramento do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Madrid, Espanha, setembro de.** sn, 2006.

MOREIRA, Marco Antonio. Mapas conceptuales y aprendizaje significativo. **Revista Chilena de Educación en Ciencias**, v. 4, n. 2, p. 38-44, 2005.

NUSSENZVEIG, Moysés. H. Complexidade & Caos. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2008.

OSBERG, Deborah; BIESTA, Gert. The end/s of education: Complexity and the conundrum of the inclusive educational curriculum. **International Journal of Inclusive Education**, v. 14, n. 6, p. 593-607, 2010.

TAVARES, Andréia. 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. 2011. 113f. (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

TEQJA, Zydi; DENNIS, Samuel. Creative thinking, critical thinking and systemic thinking-key instruments to deeply transform the higher education system in Albania: The case of landscape architecture. **Educational Alternatives**, v. 14, p. 543-555, 2016.

YORK, Sarah et al. Applications of systems thinking in STEM education. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 12, p. 2742-2751, 2019.

6.2 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALDRICH, Rebecca M. From complexity theory to transactionalism: Moving occupational science forward in theorizing the complexities of behavior. **Journal of Occupational Science**, v. 15, n. 3, p. 147-156, 2008.

ARNOLD, Ross D.; WADE, Jon P. A complete set of systems thinking skills. **Insight**, v. 20, n. 3, p. 9-17, 2017.

BERNSTEIN, Ethan; VAZIRANI, Umesh. Quantum complexity theory. **SIAM Journal on computing**, v. 26, n. 5, p. 1411-1473, 1997.

BORELLI, Verena Alice et al. Cursos superiores tecnológicos: uma análise sob a ótica dos conceitos do pensamento sistêmico. **Revista ESPACIOS| Vol. 36 (Nº 09) Año 2015**, 2015.

BOSCH, Ockie; NGUYEN, Nam; HA, T. Can advancements in economic and managerial practice be achieved without systems thinking education as the foundation?. 2014.

BOUSQUET, Antoine; CURTIS, Simon. Beyond models and metaphors: complexity theory, systems thinking and international relations. **Cambridge review of international affairs**, v. 24, n. 01, p. 43-62, 2011.

BURNES, Bernard. Complexity theories and organizational change. **International journal of management reviews**, v. 7, n. 2, p. 73-90, 2005.

BURNS, Tom R.; DEVILLE, Philippe. Teorias dos sistemas dinâmicos: teorizações sobre o capitalismo e a sua evolução. **BURNS**, 2006.

COOPER, Melanie M.; KLYMKOWSKY, Michael W. The trouble with chemical energy: why understanding bond energies requires an interdisciplinary systems approach. **CBE—Life Sciences Education**, v. 12, n. 2, p. 306-312, 2013.

COSTA, Juarez Soares. Introdução ao pensamento sistêmico. **Porto Alegre: Domus**, 2012.

COSTA, Tiago André Frazão. **Desenvolvimento grupal: uma abordagem com base na teoria dos sistemas dinâmicos não lineares: construção-adaptação e validação de conteúdo de instrumento de medida**. 2013. Tese de Doutorado.

CURTIS, Sarah; RIVA, Mylène. Health geographies I: complexity theory and human health. **Progress in Human Geography**, v. 34, n. 2, p. 215-223, 2010.

DA SILVA FILHO, Reginaldo Inojosa; AGUIAR, Mariana Antonia; KOVÁCS, Zsolt L. Um estudo de caso genérico de diagnóstico preditivo para sistemas complexos. 2005.

DAELLENBACH, Hans; MCNICKLE, Donald; DYE, Shane. **Management science: decision-making through systems thinking**. Macmillan International Higher Education, 2012.

DAVIES, Lynn. Education and conflict: Complexity and chaos. 2003.

DE ALBUQUERQUE NOGUEIRA, Romildo; DE SOUZA, Paulo Fernando Lima; OLIVEIRA, Rubens Filipe de Arruda Amorim. TRANSDISCIPLINARIDADE E A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: RELATOS DE EXPERIÊNCIAS DIDÁTICAS. **Revista Inter-Legere**, n. 16, p. 214-242, 2015.

DE MATTOS, Sérgio Henrique Vannucchi Lemes; PEREZ FILHO, Archimedes. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, 2004.

DOLCI, Pietro Cunha; BERGAMASCHI, Eloisio; VARGAS, Lilia. Visão sistêmica do Pensamento Sistêmico: uso de mapas conceituais. **Revista de Administração FACES Journal**, 2013.

ERÇETIN, Şefika Şule; BANERJEE, Santo (Ed.). **Chaos, complexity and leadership 2013**. Springer, 2015.

FARIA, Allbens Atman Picardi. **Aspectos Fractais em Sistemas Complexos**. 2002. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, UFMG.

FERRARI, Paulo Celso; ANGOTTI, José André Peres; TRAGTENBERG, Marcelo Henrique Romano. Educação problematizadora a distância para a inserção de temas contemporâneos na formação docente: uma introdução à Teoria do Caos. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 15, n. 1, p. 85-104, 2009.

FIALHO, Francisco Antonio Pereira et al. Organizações como sistemas complexos. **Tuiuti: Ciência e Cultura**, v. 2, n. 33-32, 2002.

FURTADO, Bernardo Alves; SAKOWSKI, Patrícia AM; TÓVOLLI, Marina H. Modelagem de sistemas complexos para políticas públicas. 2015.

GHARAJEDAGHI, Jamshid. **Systems thinking: Managing chaos and complexity: A platform for designing business architecture**. Elsevier, 2011.

GOMES, Lauren Beltrão et al. As origens do pensamento sistêmico: das partes para o todo. **Pensando famílias**, v. 18, n. 2, p. 3-16, 2014.

GONNERING, Russell S. Complexity theory and the “puzzling” competencies: Systems-based practice and practice-based learning explored. **Journal of surgical education**, v. 67, n. 2, p. 122-124, 2010.

HYLAND, M. E.; LEWITH, G. T. Oscillatory effects in a homeopathic clinical trial: an explanation using complexity theory, and implications for clinical practice. **Homeopathy**, v. 91, n. 3, p. 145-149, 2002.

KAYUNI, Happy M. CHAOS-COMPLEXITY THEORY AND EDUCATION POLICY: LESSONS FROM MALAWI'S COMMUNITY DAY SECONDARY SCHOOLS. **Bulgarian Journal of Science & Education Policy**, v. 4, n. 1, 2010.

KIRALY, Donald C. Beyond social constructivism: Complexity theory and translator education. **Translation and Interpreting Studies. The Journal of the American Translation and Interpreting Studies Association**, v. 1, n. 1, p. 68-86, 2006.

LEITE, Maria Silene Alexandre et al. Proposta de uma modelagem de referência para representar sistemas complexos. 2004.

MACAU, Elbert EN. Sistemas Complexos. In: **Anais do I Congresso de Dinâmica e Aplicações, Rio Claro**. 2002. p. 29-49.

MELO, TATIANA; FUCIDJI, José RicaRdo. Racionalidade limitada e a tomada de decisão em sistemas complexos. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 36, n. 3, p. 622-645, 2016.

MINGERS, John; WHITE, Leroy. A review of the recent contribution of systems thinking to operational research and management science. **European journal of operational research**, v. 207, n. 3, p. 1147-1161, 2010.

MITLETON-KELLY, Eve. A complexity theory approach to sustainability: A longitudinal study in two London NHS hospitals. **The Learning Organization: An International Journal**, v. 18, n. 1, p. 45-53, 2011.

PARREIRAS, Vicente Aguiar et al. A sala de aula digital sob a perspectiva dos sistemas complexos: uma abordagem qualitativa. 2005.

PASCUCCI, Lucilaine; MEYER JR, Victor. Formação de estratégias em sistemas complexos: estudo comparativo de organizações hospitalares sob a perspectiva prática. **XXXV Encontro Anual da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, Anais, Rio de Janeiro: ANPAD, Setembro**, 2011.

RÉGIS, Fátima. Ciborgue, Comunicação e Sistemas Complexos: uma alternativa à tese da desmaterialização. In: **E-Compós**. 2007.

RICHARDSON, Kurt A. Systems theory and complexity: Part 2. **Emergence: Complexity & Organization**, v. 6, n. 4, p. 77-82, 2004.

SANTOS, Gonçalo Pereira dos. **Desenvolvimento grupal: uma abordagem com base na teoria dos sistemas dinâmicos não lineares: construção-adaptação e validação de conteúdo de técnicas de recolha de dados para o comprometimento, a satisfação, a liderança, a potência, a comunicação e o conflito**. 2013. Tese de Doutorado.

SEMETSKY, Inna. On the Creative Logic of Education, or: Re-reading Dewey through the lens of complexity science. **Educational Philosophy and Theory**, v. 40, n. 1, p. 83-95, 2008.

SOUZA, Gustavo M.; BUCKERIDGE, Marcos S. Sistemas complexos: novas formas de ver a Botânica. **Brazilian Journal of Botany**, v. 27, n. 3, p. 407-419, 2004.

STAVRAKAS, André AB; MORO, Jefferson Z.; RIBEIRO, Moisés RN. AUTO-ORGANIZAÇÃO NA DINÂMICA DE SISTEMAS GRANULARES: UM ENFOQUE EXPERIMENTAL PARA SISTEMAS COMPLEXOS NO ENSINO DE ENGENHARIA.

THOMPSON, David S. et al. Scoping review of complexity theory in health services research. **BMC health services research**, v. 16, n. 1, p. 1-16, 2016.

TORQUATO, Mario Leonardo; FANTONI, Bruna Barbosa; NETO, Alfredo Iarozinski. As células de produção no canteiro de obras sob a perspectiva dos sistemas complexos. **Journal of Lean Systems**, v. 1, n. 4, p. 112-124, 2016.

WALSH, Stephen J. et al. Complexity theory, spatial simulation models, and land use dynamics in the Northern Ecuadorian Amazon. **Geoforum**, v. 39, n. 2, p. 867-878, 2008.

ANEXOS

ANEXO 1: PORTARIA Nº 1432, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2018 (ADAPTADO)

Ministério da Educação

GABINETE DO MINISTRO

PORTARIA Nº 1.432, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2018 (*)

Estabelece os referenciais para elaboração dos itinerários formativos conforme preveem as Diretrizes Nacionais do Ensino Médio.

O MINISTRO DE ESTADO DA EDUCAÇÃO, no uso das atribuições que lhe confere o art. 87, parágrafo único, inciso II, da Constituição, em conformidade com o art. 36 da Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017, e o art. 33 da Resolução nº 3, de 21 de novembro de 2018, e tendo em vista o que consta dos autos do Processo nº 23000.041127/2018-11, resolve:

Art. 1º Ficam estabelecidos os Referenciais para a Elaboração dos Itinerários Formativos de modo a orientar os sistemas de ensino na construção dos itinerários formativos, visando atender as Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio, publicadas na Resolução MEC/CNE/CEB nº 3, de 21 de novembro de 2018, e a Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017, na forma do anexo a esta Portaria.

Art. 2º Esta Portaria entra em vigor no ato de sua publicação.

RICARDO VÉLEZ RODRÍGUEZ

(*) Republicada por ter saído, no Diário Oficial da União nº 250, de 31-12-2018, Seção 1, página 60, com incorreção no original.

ANEXO

REFERENCIAIS CURRICULARES PARA A ELABORAÇÃO DE ITINERÁRIOS FORMATIVOS

1. Introdução:

O Novo Ensino Médio pretende atender às necessidades e expectativas dos estudantes, fortalecendo seu interesse, engajamento e protagonismo, visando garantir sua permanência e aprendizagem na escola. Também busca assegurar o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores capazes de formar as novas gerações para lidar com desafios pessoais, profissionais, sociais, culturais e ambientais do presente e do futuro, considerando a intensidade e velocidade das transformações que marcam as sociedades na contemporaneidade.

Coerentes com essa perspectiva, as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), atualizadas pelo Conselho Nacional de Educação - CNE em novembro de 2018, indicam que os currículos dessa etapa de ensino devem ser compostos por:

- Formação Geral Básica: Conjunto de competências e habilidades das áreas de Conhecimento (Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Ciências Humanas e Sociais Aplicadas) previstas na etapa do Ensino Médio da Base Nacional Comum Curricular - BNCC, que aprofundam e consolidam as aprendizagens essenciais do Ensino Fundamental, a compreensão de problemas complexos e a reflexão sobre soluções para eles, com carga horária total máxima de 1.800 horas;

- Itinerários Formativos: Conjunto de situações e atividades educativas que os estudantes podem escolher conforme seu interesse, para aprofundar e ampliar aprendizagens em uma ou mais áreas de Conhecimento e/ou na Formação Técnica e Profissional, com carga horária total mínima de 1.200 horas.

O parágrafo 2º do art. 12 das DCNEM estabelece, ainda, que os Itinerários Formativos organizam-se a partir de quatro eixos estruturantes (Investigação Científica, Processos Criativos, Mediação e Intervenção Sociocultural e Empreendedorismo), que serão apresentados em maior detalhe na seção 4 deste documento.

Tais eixos estruturantes visam integrar e integralizar os diferentes arranjos de Itinerários Formativos, bem como criar oportunidades para que os estudantes vivenciem experiências educativas profundamente associadas à realidade contemporânea, que promovam a sua formação pessoal, profissional e cidadã. Para tanto, buscam envolvê-los em situações de aprendizagem que os permitam produzir conhecimentos, criar, intervir na realidade e empreender projetos presentes e futuros.

2. Objetivos dos Itinerários Formativos:

- Aprofundar as aprendizagens relacionadas às competências gerais, às áreas de Conhecimento e/ou à Formação Técnica e Profissional;
- Consolidar a formação integral dos estudantes, desenvolvendo a autonomia necessária para que realizem seus projetos de vida;
- Promover a incorporação de valores universais, como ética, liberdade, democracia, justiça social, pluralidade, solidariedade e sustentabilidade; e

- Desenvolver habilidades que permitam aos estudantes ter uma visão de mundo ampla e heterogênea, tomar decisões e agir nas mais diversas situações, seja na escola, seja no trabalho, seja na vida.

3. Implementação dos Itinerários Formativos:

Como os quatro eixos estruturantes são complementares, é recomendado que os Itinerários Formativos incorporem e integrem todos eles, a fim de garantir que os estudantes experimentem diferentes situações de aprendizagem e desenvolvam um conjunto diversificado de habilidades relevantes para sua formação integral.

Cabe às redes e escolas definir:

a) a sequência em que os eixos estruturantes serão percorridos e as formas de conexão entre eles;

b) o tipo de organização curricular a ser mobilizado: por disciplinas, por oficinas, por unidades/campos temáticos, por projetos, entre outras possibilidades de flexibilização dos currículos no Ensino Médio;

c) se os Itinerários Formativos terão como foco uma ou mais áreas de Conhecimento, a combinação de uma área de Conhecimento com a Formação Técnica e Profissional ou apenas a Formação Técnica e Profissional.

Essas decisões precisam levar em conta, também, a indicação das DCNEM de que os sistemas de ensino devem garantir a oferta de mais de um Itinerário Formativo em cada município, em áreas distintas.

No caso da Formação Técnica e Profissional, os Itinerários também se organizam a partir da integração dos diferentes eixos estruturantes, ainda que as habilidades a eles associadas somem-se a outras habilidades básicas requeridas indistintamente pelo mundo do trabalho e a habilidades específicas requeridas pelas distintas ocupações, conforme previsto no Catálogo Nacional de Cursos Técnicos - CNCT e na Classificação Brasileira de Ocupações - CBO.

Os estudantes deverão realizar um Itinerário Formativo completo, passando, necessariamente, por um eixo estruturante ou, preferencialmente, por todos os quatro eixos.

Após a conclusão da carga horária total do Ensino Médio, os estudantes poderão cursar novos Itinerários Formativos, caso haja disponibilidade de vaga na rede.

4. Eixos Estruturantes dos Itinerários Formativos:

4.1. Investigação Científica

Este eixo tem como ênfase ampliar a capacidade dos estudantes de investigar a realidade, compreendendo, valorizando e aplicando o conhecimento sistematizado, por meio da realização de práticas e produções científicas relativas a uma ou mais áreas de Conhecimento, à Formação Técnica e Profissional, bem como a temáticas de seu interesse.

Justificativa: Para participar da sociedade da informação, os estudantes precisam se apropriar cada vez mais de conhecimentos e habilidades que os permitam acessar, selecionar, processar, analisar e utilizar dados sobre os mais diferentes assuntos, seja para compreender e intervir na realidade, seja para lidar de forma crítica, reflexiva e produtiva com a quantidade cada vez maior de informações disponíveis.

Objetivos:

- Aprofundar conceitos fundantes das ciências para a interpretação de ideias, fenômenos e processos;

- Ampliar habilidades relacionadas ao pensar e fazer científico;

- Utilizar esses conceitos e habilidades em procedimentos de investigação voltados à compreensão e enfrentamento de situações cotidianas, com proposição de intervenções que considerem o desenvolvimento local e a melhoria da qualidade de vida da comunidade.

Foco Pedagógico: Neste eixo, os estudantes participam da realização de uma pesquisa científica, compreendida como procedimento privilegiado e integrador de áreas e componentes curriculares. O processo pressupõe a identificação de uma dúvida, questão ou problema; o levantamento, formulação e teste de hipóteses; a seleção de informações e de fontes confiáveis; a interpretação, elaboração e uso ético das informações coletadas; a identificação de como utilizar os conhecimentos gerados para solucionar problemas diversos; e a comunicação de conclusões com a utilização de diferentes linguagens.

4.2. Processos Criativos

Este eixo tem como ênfase expandir a capacidade dos estudantes de idealizar e realizar projetos criativos associados a uma ou mais áreas de Conhecimento, à Formação Técnica e Profissional, bem como a temáticas de seu interesse.

Justificativa: Para participar de uma sociedade cada vez mais pautada pela criatividade e inovação, os estudantes precisam aprender a utilizar conhecimentos, habilidades e recursos de forma criativa para propor, inventar, inovar.

Objetivos:

- Aprofundar conhecimentos sobre as artes, a cultura, as mídias e as ciências aplicadas e sobre como utilizá-los para a criação de processos e produtos criativos;

- Ampliar habilidades relacionadas ao pensar e fazer criativo;

- Utilizar esses conhecimentos e habilidades em processos de criação e produção voltados à expressão criativa e/ou à construção de soluções inovadoras para problemas identificados na sociedade e no mundo do trabalho.

Foco Pedagógico: Neste eixo, os estudantes participam da realização de projetos criativos, por meio da utilização e integração de diferentes linguagens, manifestações sensoriais, vivência artísticas, culturais, midiáticas e científicas aplicadas. O processo pressupõe a identificação e o aprofundamento de um tema ou problema, que orientará a posterior elaboração, apresentação e difusão de uma ação, produto, protótipo, modelo ou solução criativa, tais como

obras e espetáculos artísticos e culturais, campanhas e peças de comunicação, programas, aplicativos, jogos, robôs, circuitos, entre outros produtos analógicos e digitais.

4.3. Mediação e Intervenção Sociocultural

Este eixo tem como ênfase ampliar a capacidade dos estudantes de utilizar conhecimentos relacionados a uma ou mais reas de Conhecimento, à Formação Técnica e Profissional, bem como a temas de seu interesse para realizar projetos que contribuam com a sociedade e o meio ambiente.

Justificativa: Para participar de uma sociedade desafiada por questões socioculturais e ambientais cada vez mais complexas, os estudantes precisam se apropriar de conhecimentos e habilidades que os permitam atuar como agentes de mudanças e de construção de uma sociedade mais ética, justa, democrática, inclusiva, solidária e sustentável.

Objetivos:

- Aprofundar conhecimentos sobre questões que afetam a vida dos seres humanos e do planeta em nível local, regional, nacional e global, e compreender como podem ser utilizados em diferentes contextos e situações;
- Ampliar habilidades relacionadas à convivência e atuação sociocultural;
- Utilizar esses conhecimentos e habilidades para mediar conflitos, promover entendimentos e propor soluções para questões e problemas socioculturais e ambientais identificados em suas comunidades.

Foco Pedagógico: Neste eixo, privilegia-se o envolvimento dos estudantes em campos de atuação da vida pública, por meio do seu engajamento em projetos de mobilização e intervenção sociocultural e ambiental que os levem a promover transformações positivas na comunidade. O processo pressupõe o diagnóstico da realidade sobre a qual se pretende atuar, incluindo a busca de dados oficiais e a escuta da comunidade local; a ampliação de conhecimentos sobre o problema a ser enfrentado; o planejamento, execução e avaliação de uma ação social e/ou ambiental que responda às necessidades e interesses do contexto; a superação de situações de estranheza, resistência, conflitos interculturais, dentre outros possíveis obstáculos, com necessários ajustes de rota.

4.4. Empreendedorismo

Este eixo tem como ênfase expandir a capacidade dos estudantes de mobilizar conhecimentos de diferentes áreas para empreender projetos pessoais ou produtivos articulados ao seu projeto de vida.

Justificativa: Para participar de uma sociedade cada vez mais marcada pela incerteza, volatilidade e mudança permanente, os estudantes precisam se apropriar cada vez mais de conhecimentos e habilidades que os permitam se adaptar a diferentes contextos e criar novas oportunidades para si e para os demais.

Objetivos:

- Aprofundar conhecimentos relacionados ao contexto, ao mundo do trabalho e à gestão de iniciativas empreendedoras, incluindo seus impactos nos seres humanos, na sociedade e no meio ambiente;
- Ampliar habilidades relacionadas ao autoconhecimento, empreendedorismo e projeto de vida;
- Utilizar esses conhecimentos e habilidades para estruturar iniciativas empreendedoras com propósitos diversos, voltadas a viabilizar projetos pessoais ou produtivos com foco no desenvolvimento de processos e produtos com o uso de tecnologias variadas.

Foco Pedagógico: Neste eixo, os estudantes são estimulados a criar empreendimentos pessoais ou produtivos articulados com seus projetos de vida, que fortaleçam a sua atuação como protagonistas da sua própria trajetória. Para tanto, busca desenvolver autonomia, foco e determinação para que consigam planejar e conquistar objetivos pessoais ou criar empreendimentos voltados à geração de renda via oferta de produtos e serviços, com ou sem uso de tecnologias. O processo pressupõe a identificação de potenciais, desafios, interesses e aspirações pessoais; a análise do contexto externo, inclusive em relação ao mundo do trabalho; a elaboração de um projeto pessoal ou produtivo; a realização de ações-piloto para testagem e aprimoramento do projeto elaborado; o desenvolvimento ou aprimoramento do projeto de vida dos estudantes.

5. Habilidades Relacionadas aos Itinerários Formativos

As habilidades associadas aos Itinerários Formativos encontram-se detalhadas nas tabelas a seguir.

A Tabela 1 traz as habilidades relacionadas às competências gerais da Base Nacional Comum Curricular - BNCC, a serem desenvolvidas indistintamente por todos os Itinerários Formativos.

A Tabela 2 apresenta as habilidades de natureza mais específica, associadas a cada uma das reas de Conhecimento e à Formação Técnica e Profissional.

Tabela 1: Habilidades dos Itinerários Formativos Associadas às Competências Gerais da BNCC

Eixo estruturante	Área de Linguagem e suas Tecnologias	Área de Matemática e suas Tecnologias	Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas	Formação Técnica e Profissional
Investigação Científica	HABILIDADES RELACIONADAS AO PENSAR E FAZER CIENTÍFICO: (EMIFCG01) Identificar, selecionar, processar e analisar dados, fatos e evidências com curiosidade, atenção, criticidade e ética, inclusive utilizando o apoio de tecnologias digitais. (EMIFCG02) Posicionar-se com base em critérios científicos, éticos e estéticos, utilizando dados, fatos e evidências para respaldar conclusões, opiniões e argumentos, por meio de afirmações claras, ordenadas, coerentes e compreensíveis, sempre respeitando valores universais, como liberdade, democracia, justiça social, pluralidade, solidariedade e sustentabilidade. (EMIFCG03) Utilizar informações, conhecimentos e ideias resultantes de investigações científicas para criar ou propor soluções para problemas diversos.				
Processos Criativos	HABILIDADES RELACIONADAS AO PENSAR E FAZER CRIATIVO: (EMIFCG04) Reconhecer e analisar diferentes manifestações criativas, artísticas e culturais, por meio de vivências presenciais e virtuais que ampliem a visão de mundo, sensibilidade, criticidade e criatividade. (EMIFCG05) Questionar, modificar e adaptar ideias existentes e criar propostas, obras ou soluções criativas, originais ou inovadoras, avaliando e assumindo riscos para lidar com as incertezas e colocá-las em prática. (EMIFCG06) Difundir novas ideias, propostas, obras ou soluções por meio de diferentes linguagens, mídias e plataformas, analógicas e digitais, com confiança e coragem, assegurando que alcancem os interlocutores pretendidos.				
Mediação e Intervenção Sociocultural	HABILIDADES RELACIONADAS À CONVIVÊNCIA E ATUAÇÃO SOCIOCULTURAL: (EMIFCG07) Reconhecer e analisar questões sociais, culturais e ambientais diversas, identificando e incorporando valores importantes para si e para o coletivo que assegurem a tomada de decisões conscientes, consequentes, colaborativas e responsáveis. (EMIFCG08) Compreender e considerar a situação, a opinião e o sentimento do outro, agindo com empatia, flexibilidade e resiliência para promover o diálogo, a colaboração, a mediação e resolução de conflitos, o combate ao preconceito e a valorização da diversidade. (EMIFCG09) Participar ativamente da proposição, implementação e avaliação de solução para problemas socioculturais e/ou ambientais em nível local, regional, nacional e/ou global, corresponsabilizando-se pela realização de ações e projetos voltados ao bem comum.				
Empreendedorismo	HABILIDADES RELACIONADAS AO AUTOCONHECIMENTO, EMPREENDEDORISMO E PROJETO DE VIDA: (EMIFCG10) Reconhecer e utilizar qualidades e fragilidades pessoais com confiança para superar desafios e alcançar objetivos pessoais e profissionais, agindo de forma proativa e empreendedora e perseverando em situações de estresse, frustração, fracasso e adversidade. (EMIFCG11) Utilizar estratégias de planejamento, organização e empreendedorismo para estabelecer e adaptar metas, identificar caminhos, mobilizar apoios e recursos, para realizar projetos pessoais e produtivos com foco, persistência e efetividade. (EMIFCG12) Refletir continuamente sobre seu próprio desenvolvimento e sobre seus objetivos presentes e futuros, identificando aspirações e oportunidades, inclusive relacionadas ao mundo do trabalho, que orientem escolhas, esforços e ações em relação à sua vida pessoal, profissional e cidadã.				

Tabela 2: Habilidades Específicas dos Itinerários Formativos Associadas aos Eixos Estruturantes

Eixo estruturante	Área de Linguagem e suas Tecnologias	Área de Matemática e suas Tecnologias	Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas	Formação Técnica e Profissional
Investigação Científica	(EMIFLGG01) – Investigar e analisar organização, o funcionamento e/ou os efeitos de sentido de enunciados e discursos materializados nas diversas línguas e linguagens (imagens estáticas e em movimento; música; linguagens corporais e do movimento, entre outras), situando-os no contexto de um ou mais campos de atuação social e considerando dados e informações disponíveis em diferentes mídias.	(EMIFMAT01) – Investigar e analisar situações-problema identificando e selecionando conhecimentos matemáticos relevantes para uma dada situação, elaborando modelos para sua representação.	(EMIFCNT01) – Investigar e analisar situações-problema e variáveis que interferem na dinâmica de fenômenos da natureza e/ou de processos tecnológicos, considerando dados e informações disponíveis em diferentes mídias, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais.	(EMIFCHS01) – Investigar e analisar situações-problema envolvendo temas e processos de natureza histórica, social, econômica, filosófica, política e/ou cultural, em âmbito local, regional, nacional e/ou global, considerando dados e informações disponíveis em diferentes mídias.	(EMIFFTP01) – Investigar, analisar e resolver problemas do cotidiano pessoal, da escola e do trabalho, considerando dados e informações disponíveis em diferentes mídias, planejando, desenvolvendo e avaliando as atividades realizadas, compreendendo a proposição de soluções para o problema identificado, a descrição de proposições lógicas por meio de fluxogramas, a aplicação de variáveis e constantes, a aplicação de operadores lógicos, de operadores aritméticos, de laços de repetição, de decisão e de condição.
	(EMIFLGG02) – Levantar e testar hipóteses sobre a organização, o funcionamento e/ou os efeitos de sentido de enunciados e discursos materializados nas diversas línguas e linguagens (imagens estáticas e em movimento; música; linguagens corporais e do movimento, entre outras), situando-os no contexto de um ou mais campos de atuação social e utilizando procedimentos e linguagens adequados à investigação científica.	(EMIFMAT02) –Levantar e testar hipóteses sobre variáveis que interferem na explicação ou resolução de uma situação-problema elaborando modelos com a linguagem matemática para analisá-la e avaliar sua adequação em termos de possíveis limitações, eficiência e possibilidades de generalização.	(EMIFCNT02) – Levantar e testar hipóteses sobre variáveis que interferem na dinâmica de fenômenos da natureza e/ou de processos tecnológicos, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, utilizando procedimentos e linguagens adequados à investigação científica.	(EMIFCHS02) – Levantar e testar hipóteses sobre temas e processos de natureza histórica, social, econômica, filosófica, política e/ou cultural, em âmbito local, regional, nacional e/ou global, contextualizandoos conhecimentos em sua realidade local e utilizando Procedimentos e linguagens Adequados à investigação científica.	(EMIFFTP02) – Levantar e testar hipóteses para resolver problemas do cotidiano pessoal, da escola e do trabalho, utilizando procedimentos e linguagens adequados investigação científica.
	(EMIFLGG03) – Selecionar e sistematizar, com base em estudos e/ou pesquisas (bibliográfica, exploratória, de campo, experimental etc.) em fontes confiáveis, informações sobre português brasileiro, língua(s) e/ou linguagem(ns) específicas, visando fundamentar reflexões e hipóteses sobre a organização, o funcionamento e/ou os efeitos de sentido de enunciados e discursos materializados nas diversas línguas e linguagens (imagens estáticas e em movimento; música;	(EMIFMAT03) – Selecionar e sistematizar, com base em estudos e/ou pesquisas (bibliográfica, exploratória, de campo, experimental etc.) em fontes confiáveis, informações sobre a contribuição da Matemática na explicação de fenômenos de natureza científica, social, profissional, cultural, de processos tecnológicos, identificando os diversos pontos de vista e posicionando-se mediante argumentação, com o cuidado de citar as fontes dos recursos utilizados na pesquisa e buscando apresentar conclusões com o	(EMIFCNT03) – Selecionar e sistematizar, com base em estudos e/ou pesquisas (bibliográfica, exploratória, de campo, experimental etc.) em fontes confiáveis, informações sobre a dinâmica dos fenômenos da natureza e/ou de processos tecnológicos, identificando os diversos pontos de vista e posicionando-se mediante argumentação, com o cuidado de citar as fontes dos recursos utilizados na pesquisa e buscando apresentar conclusões com o uso de diferentes mídias.	(EMIFCHS03) – Selecionar e sistematizar, com base em estudos e/ou pesquisas (bibliográfica, exploratória, de campo, experimental etc.) em fontes confiáveis, informações sobre temas e processos de natureza histórica, social, econômica, filosófica, política e/ou cultural, em âmbito local, regional, nacional e/ou global, identificando os diversos pontos de vista e posicionando-se mediante argumentação, com o	(EMIFFTP03) – Selecionar e sistematizar, com base em estudos e/ou pesquisas (bibliográfica, exploratória, de campo, experimental etc.) em fontes confiáveis, informações sobre problemas do cotidiano pessoal, da escola e do trabalho, identificando os diversos pontos de vista e posicionando-se mediante argumentação, com o cuidado de citar as fontes dos recursos utilizados na pesquisa e buscando apresentar conclusões com o uso de

	linguagens corporais e do movimento, entre outras), identificando os diversos pontos de vista e posicionando-se mediante argumentação, com o cuidado de citar as fontes dos recursos utilizados na pesquisa e buscando apresentar conclusões com o uso de diferentes mídias.	uso de diferentes mídias.		cuidado de citar as fontes dos recursos utilizados na pesquisa e buscando apresentar conclusões com o uso de diferentes mídias.	diferentes mídias.
Processos Criativos	(EMIFLGG04) – Reconhecer produtos e/ou processos criativos por meio de fruição, vivências e reflexão crítica sobre obras ou eventos de diferentes práticas artísticas, culturais e/ou corporais, ampliando o repertório/domínio pessoal sobre o funcionamento e os recursos da(s) língua(s) ou da(s) linguagem(ns).	(EMIFMAT04) – Reconhecer produtos e/ou processos criativos por meio de fruição, vivências e reflexão crítica na produção do conhecimento matemático e sua aplicação no desenvolvimento de processos tecnológicos diversos.	(EMIFCNT04) – Reconhecer produtos e/ou processos criativos por meio de fruição, vivências e reflexão crítica sobre a dinâmica dos fenômenos naturais e/ou de processos tecnológicos, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).	(EMIFCHS04) – Reconhecer produtos e/ou processos criativos por meio de fruição, vivências e reflexão crítica sobre temas e processos de natureza histórica, social, econômica, filosófica, política e/ou cultural, em âmbito local, regional, nacional e/ou global.	(EMIFFTP04) – Reconhecer produtos, serviços e/ou processos criativos por meio de fruição, vivências e reflexão crítica sobre as funcionalidades de ferramentas de produtividade, colaboração e/ou comunicação.
	(EMIFLGG05) – Selecionar e mobilizar intencionalmente, em um ou mais campos de atuação social, recursos criativos de diferentes línguas e linguagens (imagens, estáticas e em movimento; música; linguagens corporais e do movimento, entre outras), para participar de projetos e/ou processos criativos.	(EMIFMAT05) – Selecionar e mobilizar intencionalmente recursos criativos relacionados à Matemática para resolver problemas de natureza diversa, incluindo aqueles que permitam a produção de novos conhecimentos matemáticos, comunicando com precisão suas ações e reflexões relacionadas a constatações, interpretações e argumentos, bem como adequando-os às situações originais.	(EMIFCNT05) – Selecionar e mobilizar intencionalmente recursos criativos relacionados às Ciências da Natureza para resolver problemas reais do ambiente e da sociedade, explorando e contrapondo diversas fontes de informação.	(EMIFCHS05) – Selecionar e mobilizar intencionalmente recursos criativos para resolver problemas reais relacionados a temas e processos de natureza histórica, social, econômica, filosófica, política e/ou cultural, em âmbito local, regional, nacional e/ou global.	(EMIFFTP05) – Selecionar e mobilizar intencionalmente recursos criativos para resolver problemas reais relacionados à produtividade, colaboração e/ou comunicação.
	(EMIFLGG06) – Propor e testar soluções éticas, estéticas, criativas e inovadoras para problemas reais, utilizando as diversas línguas e linguagens (imagens estáticas e em movimento; línguas; linguagens corporais e do movimento, entre outras), em um ou mais campos de atuação social, combatendo a esterDeotipia, o lugar-comum e o clichê.	(EMIFMAT06) – Propor e testar soluções éticas, estéticas, criativas e inovadoras para problemas reais, considerando a aplicação dos conhecimentos matemáticos associados ao domínio de operações e relações matemáticas simbólicas e formais, de modo a desenvolver novas abordagens e estratégias para enfrentar novas situações.	(EMIFCNT06) – Propor e testar soluções éticas, estéticas, criativas e inovadoras para problemas reais, considerando a aplicação de design de soluções e o uso de tecnologias digitais, programação e/ou pensamento computacional que apoiem a construção de protótipos, dispositivos e/ou equipamentos com o intuito de melhorar a qualidade de vida e/ou os processos produtivos.	(EMIFCHS06) – Propor e testar soluções éticas, estéticas, criativas e inovadoras para problemas reais relacionados a temas e processos de natureza histórica, social, econômica, filosófica, política e/ou cultural, em âmbito local, regional, nacional e/ou global.	(EMIFFTP06) – Propor e testar soluções éticas, estéticas, criativas e inovadoras para problemas reais relacionados à produtividade, colaboração e/ou à comunicação, observando a necessidade de seguir as boas práticas de segurança da informação no uso das ferramentas.
Mediação e Intervenção Sociocultural	(EMIFLGG07) – Identificar e explicar questões socioculturais e ambientais passíveis de mediação e intervenção por meio de práticas de linguagem.	(EMIFMAT07) – Identificar e explicar questões socioculturais e ambientais aplicando conhecimentos e habilidades matemáticas para avaliar e tomar decisões em relação ao que foi observado.	(EMIFCNT07) – Identificar e explicar questões socioculturais e ambientais relacionadas a fenômenos físicos, químicos e/ou biológicos.	(EMIFCHS07) – Identificar e explicar situações em que ocorram conflitos, desequilíbrios e ameaças a grupos sociais, à diversidade de modos de vida, às diferentes identidades culturais e ao meio ambiente, em âmbito local, regional, nacional e/ou global, com base em fenômenos Relacionados às Ciências Humanas e Sociais Aplicadas.	(EMIFFTP07) – Identificar e explicar normas e valores sociais relevantes à convivência cidadã no trabalho, considerando os seus próprios valores e crenças, suas aspirações profissionais, avaliando o próprio comportamento frente ao meio em que está inserido, a importância do respeito às diferenças individuais e a preservação do meio ambiente.
	(EMIFLGG08) – Selecionar e mobilizar intencionalmente conhecimentos e recursos das práticas de linguagem para propor ações individuais e/ou coletivas de mediação e intervenção individuais e/ou coletivas de mediação e intervenção sobre formas de interação e de atuação social, artístico-cultural ou ambiental, visando colaborar para o convívio democrático e republicano com a social, artístico-cultural ou diversidade humana e para o cuidado com o meio ambiente.	(EMIFMAT08) – Selecionar e mobilizar intencionalmente conhecimentos e recursos matemáticos para propor ações individuais e/ou coletivas de mediação e intervenção sobre problemas socioculturais e problemas ambientais.	(EMIFCNT08) – Selecionar e mobilizar intencionalmente conhecimentos e recursos das Ciências da Natureza para propor ações individuais e/ou coletivas de mediação e intervenção sobre problemas socioculturais e problemas ambientais.	(EMIFCHS08) – Selecionar e mobilizar intencionalmente conhecimentos e recursos das Ciências Humanas e Sociais Aplicadas para propor ações individuais e/ou coletivas de mediação e intervenção sobre problemas de natureza sociocultural e de natureza ambiental, em âmbito local, regional, nacional e/ou global, baseadas no respeito às diferenças, na escuta, na empatia e na responsabilidade socioambiental.	(EMIFFTP08) – Selecionar e mobilizar intencionalmente conhecimentos sobre o mundo do trabalho, demonstrando comprometimento em suas atividades pessoais e profissionais realizando as atividades dentro dos prazos estabelecidos, o cumprimento de suas atribuições na equipe de forma colaborativa, valorizando as diferenças socioculturais e a conservação ambiental.
	(EMIFLGG09) – Propor e testar estratégias de mediação e intervenção sociocultural e ambiental, selecionando adequadamente elementos das diferentes linguagens.	(EMIFMAT09) – Propor e testar estratégias de mediação e intervenção para resolver problemas de natureza sociocultural e de natureza ambiental relacionados à Matemática.	(EMIFCNT09) – Propor e testar estratégias de mediação e intervenção para resolver problemas de natureza sociocultural e de natureza ambiental relacionados às Ciências da Natureza.	(EMIFCHS09) – Propor e testar estratégias de mediação e intervenção para resolver problemas de natureza sociocultural e de natureza ambiental, em âmbito local, regional, nacional e/ou global, relacionados às Ciências Humanas e Sociais Aplicadas.	(EMIFFTP09) – Propor e testar estratégias de mediação e intervenção para atuar em equipes de forma colaborativa, respeitando as diferenças individuais e socioculturais, níveis hierárquicos, as ideias propostas para a discussão e a contribuição necessária para o alcance dos objetivos da equipe, desenvolvendo uma avaliação crítica dos desempenhos individuais de acordo com critérios estabelecidos e o feedback aos seus pares, tendo em vista a melhoria de desempenhos e a conservação ambiental.

Empreendedorismo	(EMIFLGG10) – Avaliar como oportunidades, conhecimentos e recursos relacionados às várias linguagens podem ser utilizados na concretização de projetos pessoais ou produtivos, considerando as diversas tecnologias disponíveis e os impactos socioambientais.	(EMIFMAT10) – Avaliar como oportunidades, conhecimentos e recursos relacionados à Matemática podem ser utilizados na concretização de projetos pessoais ou produtivos, considerando as diversas tecnologias disponíveis e os impactos socioambientais.	(EMIFCNT10) – Avaliar como oportunidades, conhecimentos e recursos relacionados às Ciências da Natureza podem ser utilizados na concretização de projetos pessoais ou produtivos, considerando as diversas tecnologias disponíveis e os impactos socioambientais.	(EMIFCHS10) – Avaliar como oportunidades, conhecimentos e recursos relacionados às Ciências Humanas e Sociais Aplicadas podem ser utilizadas na concretização de projetos pessoais ou produtivos, em âmbito local, regional, nacional e/ou global, considerando as diversas tecnologias disponíveis, os impactos socioambientais, os direitos humanos e a promoção da cidadania.	(EMIFFTP10) – Avaliar as relações entre a formação escolar, geral e profissional, e a construção da carreira profissional, analisando as características do estágio, do programa de aprendizagem profissional, do programa de trainee, para identificar os programas alinhados a cada objetivo profissional.
	(EMIFLGG11) – Selecionar e mobilizar intencionalmente conhecimentos e recursos das práticas de linguagem para desenvolver um projeto pessoal ou um empreendimento produtivo.	(EMIFMAT11) – Selecionar e mobilizar intencionalmente conhecimentos e recursos da Matemática para desenvolver um projeto pessoal ou um empreendimento produtivo.	(EMIFCNT11) – Selecionar e mobilizar intencionalmente conhecimentos e recursos das Ciências da Natureza para desenvolver um projeto pessoal ou um empreendimento produtivo.	(EMIFCHS11) – Selecionar e mobilizar intencionalmente conhecimentos e recursos das Ciências Humanas e Sociais Aplicadas para desenvolver um projeto pessoal ou um empreendimento produtivo, em âmbito local, regional, nacional e/ou global.	(EMIFFTP11) – Selecionar e mobilizar intencionalmente conhecimentos sobre o mundo do trabalho para desenvolver um projeto pessoal, profissional ou um empreendimento produtivo, estabelecendo objetivos e metas, avaliando as condições e recursos necessários para seu alcance e definindo um modelo de negócios.
	(EMIFLGG12) – Desenvolver projetos pessoais ou produtivos, utilizando as práticas de linguagens socialmente relevantes, em diferentes campos de atuação, para formular propostas concretas, articuladas com o projeto de vida.	(EMIFMAT12) – Desenvolver projetos pessoais ou produtivos, Utilizando processos e conhecimentos matemáticos para formular propostas concretas, articuladas com o projeto de vida.	(EMIFCNT12) – Desenvolver projetos pessoais ou produtivos, utilizando as Ciências da Natureza e suas Tecnologias para formular propostas concretas, articuladas com o projeto de vida.	(EMIFCHS12) – Desenvolver projetos pessoais ou produtivos, utilizando as Ciências Humanas e Sociais Aplicadas para formular propostas concretas, articuladas com o projeto de vida, em âmbito local, regional, nacional e/ou global.	(EMIFFTP12) – Empreender projetos pessoais ou produtivos, considerando o contexto local, regional, nacional e/ou global, o próprio potencial, as características dos cursos de qualificação e dos cursos técnicos, do domínio de idiomas relevantes para o mundo do trabalho, identificando as oportunidades de formação profissional existentes no mundo do trabalho e o alinhamento das oportunidades ao projeto de vida.

ANEXO 2: MAPAS CONCEITUAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, DE MARCO ANTÔNIO MOREIRA (ADAPTADO)

MAPAS CONCEITUAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA⁴³

(Concept maps and meaningful learning)

Marco Antonio Moreira

Instituto de Física - UFRGS
90501-970
Porto Alegre - RS, Brasil
<http://moreira.if.ufrgs.br>

Resumo

Mapas conceituais são propostos como uma estratégia potencialmente facilitadora de uma aprendizagem significativa. Além disso, apresenta-se sua fundamentação teórica e são dados exemplos, particularmente na área de ciências.

Palavras-chave: mapas conceituais, aprendizagem significativa, ensino de ciências

Abstract

Concept maps are proposed as a strategy potentially useful to facilitate meaningful learning. In addition, its theoretical background is presented and some examples are given, specially in the area of sciences.

Keywords: concept maps, meaningful learning, science teaching.

O que são mapas conceituais

De um modo geral, mapas conceituais, ou mapas de conceitos, são apenas diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos. As Figuras 1 e 2 mostram dois desses diagramas, um em “Ciências” e outro, mais específico, em Biologia.

⁴³ Adaptado e atualizado, em 1997, de um trabalho com o mesmo título publicado em O ENSINO, Revista Galáico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sócio-Linguística, Pontevedra/Galícia/Espanha e Braga/Portugal, N°23 a 28: 87-95, 1988. Publicado também em *Cadernos do Aplicação*, 11(2): 143-156, 1998. Revisado e publicado em espanhol, em 2005, na *Revista Chilena de Educación Científica*, 4(2): 38-44. Revisado novamente em 2012.

Embora normalmente tenham uma organização hierárquica e, muitas vezes, incluam setas, tais diagramas não devem ser confundidos com organogramas ou diagramas de fluxo, pois não implicam sequência, temporalidade ou direcionalidade, nem hierarquias organizacionais ou de poder. Mapas conceituais são diagramas de significados, de relações significativas; de hierarquias conceituais, se for o caso. Isso também os diferencia das redes semânticas que não necessariamente se organizam por níveis hierárquicos e não obrigatoriamente incluem apenas conceitos. Mapas conceituais também não devem ser confundidos com mapas mentais que são livres, associacionistas, não se ocupam de relações entre conceitos, incluem coisas que não são conceitos e não estão organizados hierarquicamente. Não devem, igualmente, ser confundidos com quadros sinópticos que são diagramas classificatórios. Mapas conceituais não buscam classificar conceitos, mas sim relacioná-los e hierarquizá-los.

Muitas vezes utiliza-se figuras geométricas -- elipses, retângulos, círculos -- ao traçar mapas de conceitos, mas tais figuras são, em princípio, irrelevantes. É certo que o uso de figuras pode estar vinculado a determinadas regras como, por exemplo, a de que conceitos mais gerais, mais abrangentes, devem estar dentro de elipses e conceitos bem específicos dentro de retângulos. Em princípio, no entanto, figuras geométricas nada significam em um mapa conceitual. Assim como nada significam o comprimento e a forma das linhas ligando conceitos em um desses diagramas, a menos que estejam acopladas a certas regras. O fato de dois conceitos estarem unidos por uma linha é importante porque significa que há, no entendimento de quem fez o mapa, uma relação entre esses conceitos, mas o tamanho e a forma dessa linha são, *a priori*, arbitrários.

Mapas conceituais podem seguir um modelo hierárquico no qual conceitos mais inclusivos estão no topo da hierarquia (parte superior do mapa) e conceitos específicos, pouco abrangentes, estão na base (parte inferior). Mas este é apenas um modelo, mapas conceituais não precisam necessariamente ter este tipo de hierarquia. Por outro lado, sempre deve ficar claro no mapa quais os conceitos contextualmente mais importantes e quais os secundários ou específicos. Setas podem ser utilizadas para dar um sentido de direção a determinadas relações conceituais, mas não obrigatoriamente.

Pode-se, então, definir certas diretrizes para traçar mapas conceituais como a regra das figuras, mencionada antes, ou a da organização hierárquica piramidal, mas são diretrizes contextuais, ou seja, válidas, por exemplo, para uma pesquisa ou para uma determinada situação de sala de aula. Não há regras gerais fixas para o traçado de mapas de conceitos. O importante é que o mapa seja um instrumento capaz de evidenciar significados atribuídos a conceitos e relações entre conceitos no contexto de um corpo de conhecimentos, de uma disciplina, de uma matéria de ensino. Por exemplo, se o indivíduo que faz um mapa, seja ele, digamos, professor ou aluno, une dois conceitos, através de uma linha, ele deve ser

capaz de explicar o significado da relação que vê entre esses conceitos.

Uma ou duas palavras-chave escritas sobre essa linha (vide Figuras 1 e 2) podem ser suficientes para explicitar a natureza dessa relação. Os dois conceitos mais as palavras-chave formam uma proposição e esta evidencia o significado da relação conceitual. Por esta razão, o uso de palavras-chave sobre as linhas conectando conceitos é importante e deve ser incentivado na confecção de mapas conceituais, mas esse recurso não os torna auto-explicativos. Mapas conceituais devem ser explicados por quem os faz; ao explicá-lo, a pessoa externaliza significados. Reside aí o maior valor de um mapa conceitual. É claro que a externalização de significados pode ser obtida de outras maneiras, porém mapas conceituais são particularmente adequados para essa finalidade.

Como podem ser usados

O mapeamento conceitual é uma técnica muito flexível e em razão disso pode ser usado em diversas situações, para diferentes finalidades: instrumento de análise do currículo, técnica didática, recurso de aprendizagem, meio de avaliação (Moreira e Buchweitz, 1993).

É possível traçar-se um mapa conceitual para uma única aula, para uma unidade de estudo, para um curso ou, até mesmo, para um programa educacional completo. A diferença está no grau de generalidade e inclusividade dos conceitos colocados no mapa. Um mapa envolvendo apenas conceitos gerais, inclusivos e organizacionais pode ser usado como referencial para o planejamento de um curso inteiro, enquanto que um mapa incluindo somente conceitos específicos, pouco inclusivos, pode auxiliar na seleção de determinados materiais instrucionais. Isso quer dizer que mapas conceituais podem ser importantes mecanismos para focalizar a atenção do planejador de currículo na distinção entre o conteúdo curricular e conteúdo instrumental, ou seja, entre o conteúdo que se espera que seja aprendido e aquele que serve de veículo para a aprendizagem. O conteúdo curricular está contido em fontes de conhecimento tais como artigos de pesquisa, ensaios, poemas, livros. Mapas conceituais podem ser úteis na análise desses documentos a fim de tornar adequado para instrução o conhecimento neles contido. Considera-se aqui que o currículo se refere a um conjunto de conhecimentos. Sendo assim, a análise da estrutura do conhecimento implica a análise do currículo e o mapeamento conceitual pode ser um instrumento útil nessa análise.

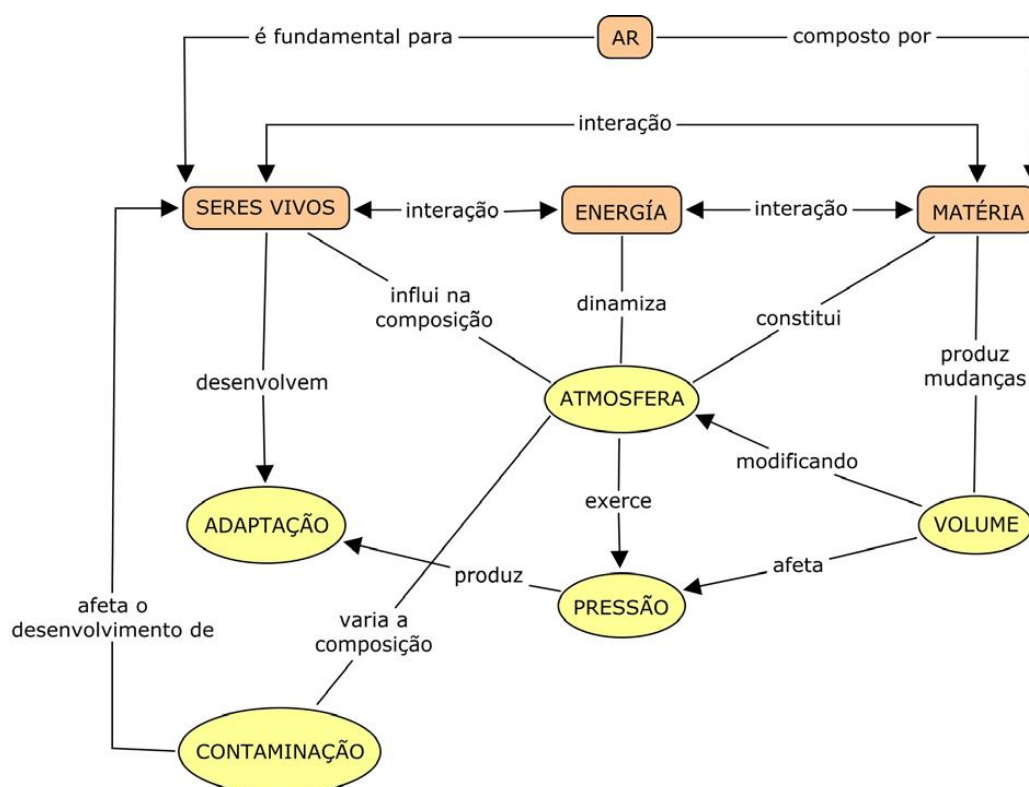


Figura 1: Mapa conceitual para o núcleo interdisciplinar de ciências do 1º ano, elaborado pelos professores Hugo Fernandez, Marta Ramirez e Ana Schnersch em uma oficina pedagogia sobre mapas conceituais realizada em Bariloche, Argentina, 1994.

De maneira análoga, mapas conceituais podem ser usados para mostrar relações significativas entre conceitos ensinados em uma única aula, em uma unidade de estudo ou em um curso inteiro. São representações concisas das estruturas conceituais que estão sendo ensinadas e, como tal, provavelmente facilitam a aprendizagem dessas estruturas. Entretanto, diferentemente de outros materiais didáticos, mapas conceituais não são auto-instrutivos: devem ser explicados pelo professor. Além disso, embora possam ser usados para dar uma visão geral do tema em estudo, é preferível usá-los quando os alunos já têm uma certa familiaridade com o assunto, de modo que sejam potencialmente significativos e permitam a integração, reconciliação e diferenciação de significados de conceitos (Moreira, 1980, 2010).

Na medida em que os alunos utilizarem mapas conceituais para integrar, reconciliar e diferenciar conceitos, na medida em que usarem essa técnica para analisar artigos, textos, capítulos de livros, romances, experimentos de laboratório, e outros materiais educativos do currículo, eles estarão usando o mapeamento conceitual como um recurso de aprendizagem.

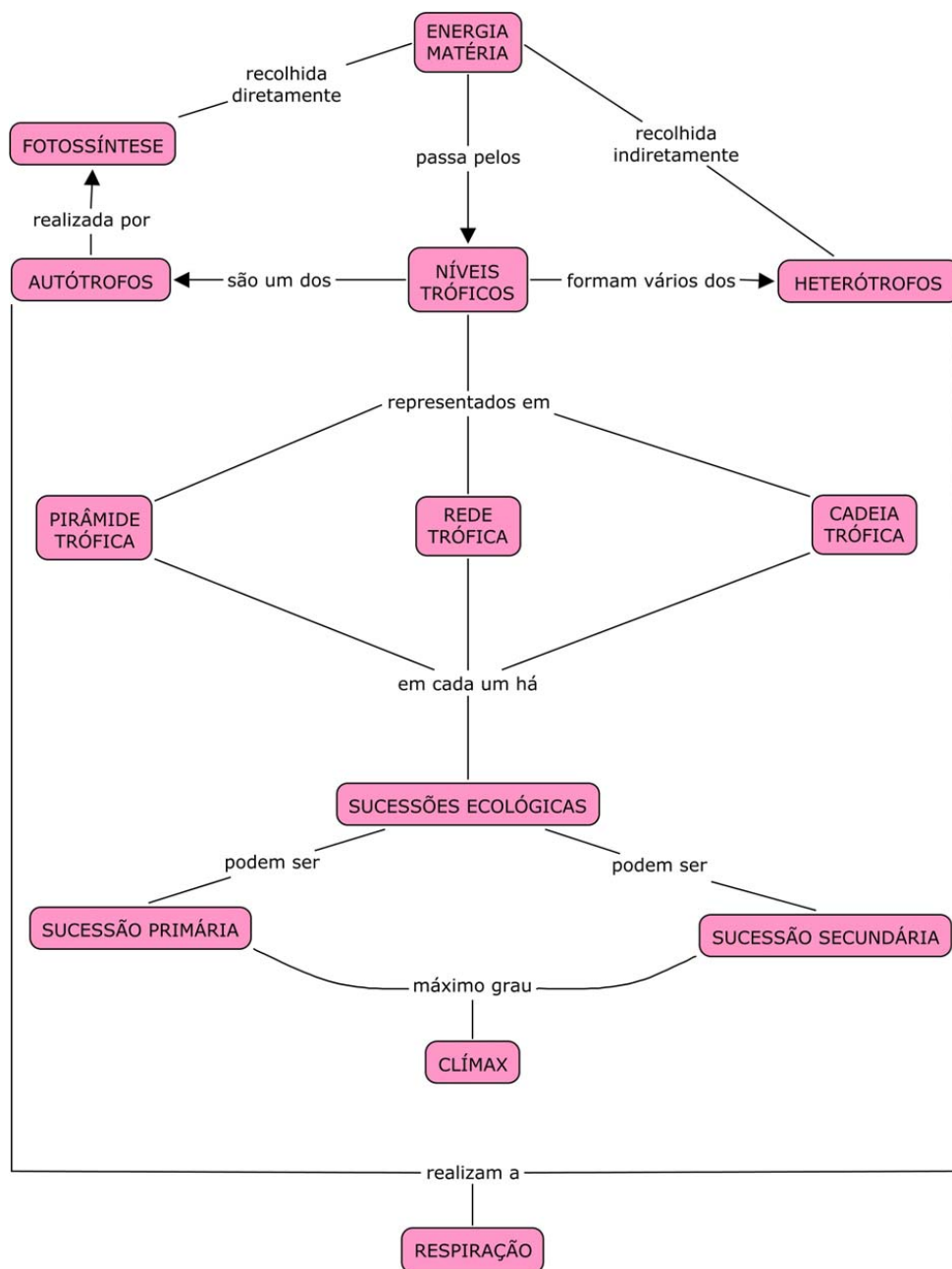


Figura 2: Mapa conceitual elaborado por um grupo de estudantes de 1º BUP (14/15 anos) para a dinâmica dos ecossistemas (Curso 1995/96). (Cedido por M^a Luz Rodríguez Palmero, I.B. Dr. Antonio González y González, Tejina, La Laguna, Sta. Cruz de Tenerife.)

Como instrumento de avaliação da aprendizagem, mapas conceituais podem ser usados para se obter uma visualização da organização conceitual que o aprendiz atribui a um dado conhecimento. Trata-se basicamente de uma técnica não tradicional de avaliação que busca informações sobre os significados e relações significativas entre conceitos-chave da matéria de ensino segundo o ponto de vista do aluno. É

mais apropriada para uma avaliação qualitativa, formativa, da aprendizagem.

Fundamentação teórica

A teoria que está por trás do mapeamento conceitual é a teoria cognitiva de aprendizagem de David Ausubel (Ausubel et al., 1978, 1980, 1981, 2003; Moreira e Masini, 1982, 2006; Moreira, 1983, 1999, 2000; Masini e Moreira, 2009; Valadares e Moreira, 2009; Moreira, 2011a). Trata-se, no entanto, de uma técnica desenvolvida em meados da década de setenta por Joseph Novak e seus colaboradores na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos. Ausubel nunca falou de mapas conceituais em sua teoria.

O conceito básico da teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa. A aprendizagem é dita significativa quando uma nova informação (conceito, ideia, proposição) adquire significados para o aprendiz através de uma espécie de ancoragem em aspectos relevantes da estrutura cognitiva preexistente do indivíduo, isto é, em conceitos, ideias, proposições já existentes em sua estrutura de conhecimentos (ou de significados) com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação. Esses aspectos relevantes da estrutura cognitiva que servem de ancoradouro para a nova informação são chamados “subsunçores”. O termo ancorar, no entanto, apesar de útil como uma primeira ideia do que é aprendizagem significativa não dá uma imagem da dinâmica do processo. Na aprendizagem significativa há uma interação entre o novo conhecimento e o já existente, na qual ambos se modificam. À medida que o conhecimento prévio serve de base para a atribuição de significados à nova informação, ele também se modifica, ou seja, os subsunçores vão adquirindo novos significados, se tornando mais diferenciados, mais estáveis. Novos subsunçores vão se formando; subsunçores vão interagindo entre si. A estrutura cognitiva está constantemente se reestruturando durante a aprendizagem significativa. O processo é dinâmico; o conhecimento vai sendo construído.

Na aprendizagem significativa o novo conhecimento nunca é internalizado de maneira literal, porque no momento em que passa a ter significado para o aprendiz entra em cena o componente idiossincrático da significação. Aprender significativamente implica atribuir significados e estes têm sempre componentes pessoais. Aprendizagem sem atribuição de significados pessoais, sem relação com o conhecimento preexistente, é mecânica, não significativa. Na aprendizagem mecânica, o novo conhecimento é armazenado de maneira arbitrária e literal na mente do indivíduo. O que não significa que esse conhecimento seja armazenado em um vácuo cognitivo, mas sim que ele não interage significativamente com a estrutura cognitiva preexistente, não adquire significados. Durante um certo período de tempo, a pessoa é inclusive capaz de reproduzir o que foi

aprendido mecanicamente, mas não significa nada para ela.

No curso da aprendizagem significativa, os conceitos que interagem com o novo conhecimento e servem de base para a atribuição de novos significados vão também se modificando em função dessa interação, i.e., vão adquirindo novos significados e se diferenciando progressivamente. Imagine-se o conceito de “conservação”; sua aquisição diferenciada em ciências é progressiva: à medida que o aprendiz vai aprendendo significativamente o que é conservação da energia, conservação da carga elétrica, conservação da quantidade de movimento, o subsunçor “conservação” vai se tornando cada vez mais elaborado, mais diferenciado, mais capaz de servir de âncora para a atribuição de significados a novos conhecimentos. Este processo característico da dinâmica da estrutura cognitiva chama-se **diferenciação progressiva**.

Outro processo que ocorre no curso da aprendizagem significativa é o estabelecimento de relações entre ideias, conceitos, proposições já estabelecidos na estrutura cognitiva, i.e., relações entre subsunçores. Elementos existentes na estrutura cognitiva com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação são percebidos como relacionados, adquirem novos significados e levam a uma reorganização da estrutura cognitiva. É o que ocorreria, por exemplo, se o aluno tivesse conceitos de campo elétrico e magnético claros e estáveis na estrutura cognitiva, os percebesse intimamente relacionados e reorganizasse seus significados de modo a vê-los como manifestações de um conceito mais abrangente, o de campo eletromagnético. Essa recombinação de elementos, essa reorganização cognitiva, esse tipo de relação significativa, é referido como **reconciliação integrativa**.

A reconciliação integrativa e a diferenciação progressiva são dois processos relacionados que ocorrem no curso da aprendizagem significativa. Toda aprendizagem que resultar em reconciliação integrativa resultará também em diferenciação progressiva adicional de conceitos e proposições. A reconciliação integrativa é uma forma de diferenciação progressiva da estrutura cognitiva. É um processo cujo resultado é o explícito delineamento de diferenças e similaridades entre ideias relacionadas.

Mapas conceituais foram desenvolvidos para promover a aprendizagem significativa. A análise do currículo e o ensino sob uma abordagem ausubeliana, em termos de significados, implicam: 1) identificar a estrutura de significados aceita no contexto da matéria de ensino; 2) identificar os subsunçores (significados) necessários para a aprendizagem significativa da matéria de ensino; 3) identificar os significados preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz; 4) organizar sequencialmente o conteúdo e selecionar materiais curriculares, usando as ideias de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa como princípios programáticos; 5) ensinar usando organizadores prévios, para fazer pontes

entre os significados que o aluno já tem e os que ele precisaria ter para aprender significativamente a matéria de ensino, bem como para o estabelecimento de relações explícitas entre o novo conhecimento e aquele já existente e adequado para dar significados aos novos materiais de aprendizagem.

Mapas conceituais podem ser utilizados como recursos em todas essas etapas, assim como na obtenção de evidências de aprendizagem significativa, ou seja, na avaliação da aprendizagem. A Figura 3 apresenta um mapa conceitual sobre alguns conceitos básicos da teoria de Ausubel, tanto para estruturar o que foi dito nesta seção como para prover outro exemplo de mapa conceitual.

Mapas conceituais e aprendizagem significativa

Como a aprendizagem significativa implica, necessariamente, atribuição de significados idiossincráticos, mapas conceituais, traçados por **professores** e **alunos**, refletirão tais significados. Quer dizer, tanto mapas usados por professores como recurso didático como mapas feitos por alunos em uma avaliação têm componentes idiossincráticos. Isso significa que não existe mapa conceitual “correto”. Um professor nunca deve apresentar aos alunos **o** mapa conceitual de um certo conteúdo e sim **um** mapa conceitual para esse conteúdo segundo os significados que ele atribui aos conceitos e às relações significativas entre eles. De maneira análoga, nunca se deve esperar que o aluno apresente na avaliação o mapa conceitual “correto” de um certo conteúdo. Isso não existe. O que o aluno apresenta é o seu mapa e o importante não é se esse mapa está certo ou não, mas sim se ele dá evidências de que o aluno está aprendendo significativamente o conteúdo.

Naturalmente, o professor ao ensinar tem a intenção de fazer com que o aluno adquira certos significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino, que são compartilhados por certa comunidade de usuários. O ensino busca fazer com que o aluno venha também a compartilhar tais significados. Mapas de conceitos podem ser valiosos na consecução desse objetivo e podem fornecer informação sobre como está sendo alcançado. Todavia, mapas conceituais – tanto do aluno como do professor – têm significados pessoais. Basta pedir a dois professores, com igual conhecimento, que tracem um mapa de conceitos para certo conteúdo: seus mapas terão semelhanças e diferenças. Os dois mapas poderão evidenciar bom entendimento da matéria sem que se possa dizer que um é melhor do que outro e muito menos que um é certo e outro errado. O mesmo é válido em relação a mapas conceituais traçados por dois alunos na avaliação da aprendizagem de um mesmo conteúdo. Contudo, é preciso cuidado para não cair em um relativismo onde “tudo vale”: alguns mapas são definitivamente pobres e sugerem falta de compreensão.

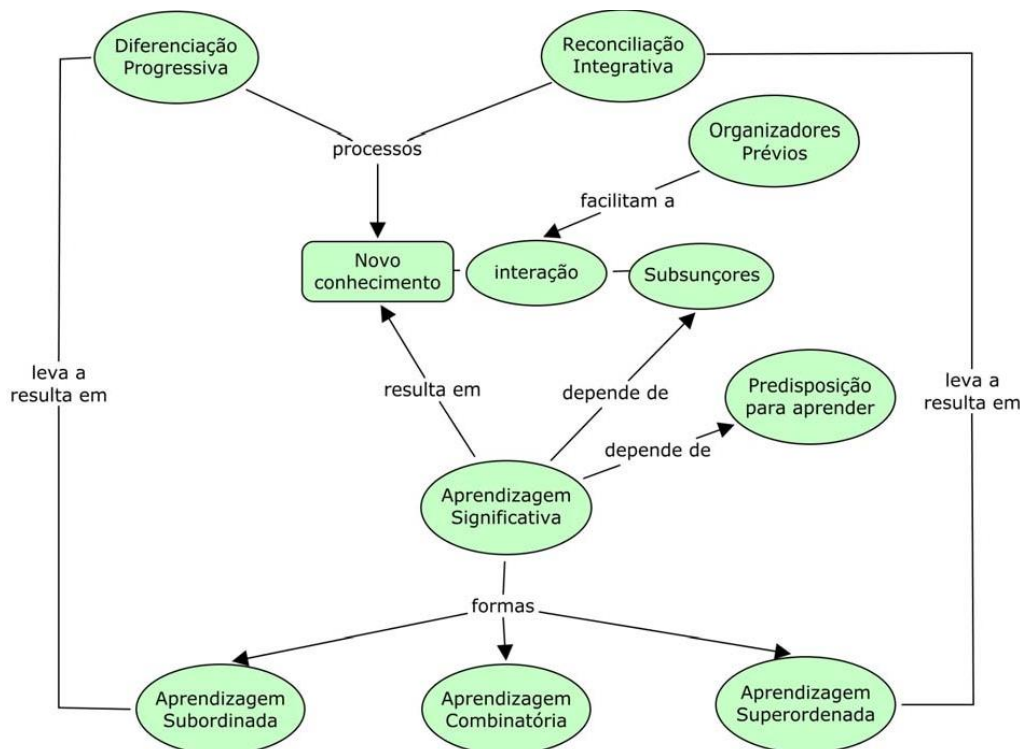


Figura 3: Alguns conceitos básicos da teoria de Ausubel (Moreira e Buchweitz, 1993)

No momento em que um professor apresentar para o aluno um mapa conceitual como sendo o mapa correto de um certo conteúdo, ou no momento em que ele exigir do aluno um mapa **correto**, estará promovendo (como muitos outros recursos instrucionais) a aprendizagem mecânica em detrimento da significativa. Mapas conceituais são dinâmicos, estão constantemente mudando no curso da aprendizagem significativa. Se a aprendizagem é significativa, a estrutura cognitiva está constantemente se reorganizando por diferenciação progressiva e reconciliação integrativa e, em consequência, mapas traçados hoje serão diferentes amanhã.

De tudo isso, depreende-se facilmente que mapas conceituais são instrumentos diferentes e que não faz muito sentido querer avaliá-los como se avalia um teste de escolha múltipla ou um problema numérico. A análise de mapas conceituais é essencialmente qualitativa. O professor, ao invés de preocupar-se em atribuir um escore ao mapa traçado pelo aluno, deve procurar interpretar a informação dada pelo aluno no mapa a fim de obter evidências de aprendizagem significativa. Explicações do aluno, orais ou escritas, em relação a seu mapa facilitam muito a tarefa do professor nesse sentido.

Seguramente, tudo o que foi dito até aqui sobre mapas conceituais pode dar ideia de que é um recurso instrucional de pouca utilidade porque é muito pessoal e difícil avaliar (quantificar). De fato, de um ponto de vista

convencional, mapas conceituais podem não ser muito atraentes nem para professores, que podem preferir a segurança de ensinar conteúdos sem muita margem para interpretações pessoais, nem para alunos habituados a memorizar conteúdos para reproduzi-los nas avaliações. No ensino convencional não há muito lugar para a externalização de significados, para a aprendizagem significativa. Mapas conceituais apontam em outra direção, requerem outro enfoque ao ensino e à aprendizagem.

Conclusão

Aparentemente simples e às vezes confundidos com esquemas ou diagramas organizacionais, mapas conceituais são instrumentos que podem levar a profundas modificações na maneira de ensinar, de avaliar e de aprender. Procuram promover a aprendizagem significativa e entram em choque com técnicas voltadas para aprendizagem mecânica. Utilizá-los em toda sua potencialidade implica atribuir novos significados aos

conceitos de ensino, aprendizagem e avaliação. Por isso mesmo, apesar de se encontrar trabalhos na literatura ainda nos anos setenta, até hoje o uso de mapas conceituais não se incorporou à rotina das salas de aula.

Mas há relatos de estudos com mapas conceituais nas mais diversas áreas e em todos os níveis de escolaridade (Novak e Gowin, 1996). A Figura 4 é um mapa na área da literatura tirado de um estudo nessa área (M. Moreira, 1988) para corroborar esta afirmativa. Para concluir, provendo ao leitor mais dois exemplos de mapas conceituais, a Figura 5 mostra um mapa na área de epistemologia e a Figura 6 um no campo da Física.

Referências

Ausubel, D.P., Novak, J.D. and Hanesian, H. (1978). *Educational psychology*. New York: Holt, Rinehart and Winston. Publicado em português pela Editora Interamericana, Rio de Janeiro, 1980. Em espanhol por Editorial Trillas, México, 1981. Reimpresso em inglês por Werbel & Peck, New York, 1986.

Ausubel, D.P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. Tradução de *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. (2000). Kluwer Academic Publishers.

Masini, E.A.F. e Moreira, M. A. (2009). *Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos*. São Paulo: Vetor Editora Psico- Pedagógica.

Moreira, M.A. (1980). Mapas conceituais como instrumentos para promover a diferenciação conceitual progressiva e a reconciliação integrativa. *Ciência e Cultura*, 32(4): 474-479.

Moreira, M.A. (1983). *Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física*. Porto Alegre: Editora de Universidade.

Moreira, M.A. (1999). *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB.

Moreira, M.A. (2000). *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*. Madrid: Visor.

Moreira, M.A. (2010). *Mapas conceituais e aprendizagem significativa*. São Paulo: Centauro Editora.

Moreira, M.A. (2011a). *Aprendizagem significativa: a teoria e texto complementares*. São Paulo: Editora Livraria da Física.

Moreira, M.A. (2011b). *Física de Partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica*. São Paulo: Editora Livraria da Física.

Moreira, M.A. e Buchweitz, B. (1993). *Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.

Moreira, M.A. e Masini, E.F.S. (1982) *Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel*. São Paulo: Editora Moraes.

Moreira, M.A. e Masini, E.F.S. (2006) *Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel*. São Paulo: Centauro Editora. 2ª edição.

Moreira, M.A. e Massoni, N.T. (2011). *Epistemologias do Século XX*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.

Moreira, M.M. (1988). *The use of concept maps and the five questions in a foreign language classroom: effects on interaction*. Tese de doutorado. Ithaca, NY, Cornell University.

Novak, J.D. e Gowin, D.B. (1996). *Aprender a aprender*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. Tradução de *Learning how to learn*. (1984). Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.

Valadares, J.A. e Moreira, M.A. (2009). *A teoria da aprendizagem significativa. Sua fundamentação e implementação*. Coimbra: Almedina.

ANEXO 3: DIAGRAMAS V E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, DE MARCO ANTÔNIO MOREIRA (ADAPTADO)

DIAGRAMAS V E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA⁴⁴

(V diagrams and meaningful learning)

Marco Antonio Moreira
Instituto de Física da UFRGS
Caixa Postal 15051 – Campus
91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil
<http://moreira.if.ufrgs.br>

Resumo

A intenção deste trabalho é a de propor o diagrama V como instrumento heurístico potencialmente facilitador de uma aprendizagem significativa, desde uma perspectiva epistemológica, ou seja, de conhecimento como produção humana. Sua estrutura é explicada detalhadamente e são apresentados vários exemplos em ensino e aprendizagem, particularmente em ciências.

Palavras-chave: diagramas V; aprendizagem significativa; ensino de ciências.

Abstract

The purpose of this paper is to propose the V diagram as an heuristic instrument potentially helpful in facilitating meaningful learning from an epistemological perspective, that is, from knowledge as a human production. The structure of this diagram is explained with details and several examples are given of its use in teaching and learning, specially in science.

Keywords: V diagrams; meaningful learning; science teaching.

Introdução

Diagrama V é um instrumento heurístico proposto, originalmente, por D.B. Gowin (1981; Gowin e Alvarez, 2005), para a análise do processo de produção de conhecimento (ou seja, análise das partes desse processo e a maneira como se relacionam) ou para "desempacotar" conhecimentos documentados em artigos de pesquisa, livros, ensaios, etc.. Por isso mesmo, é também chamado de Vê epistemológico, Vê do conhecimento,

⁴⁴ Publicado na *Revista Chilena de Educación Científica*, 2007, vol. 6, N. 2, pp. 3-12. Revisado em 2012.

Vê heurístico ou, ainda, Vê de Gowin.

Antes do Vê, Gowin propunha um conjunto de cinco questões para analisar conhecimentos documentados (op. cit., p. 88):

1. Qual(is) a(s) questão(ões)-foco?
2. Quais os conceitos-chave? (Qual a estrutura conceitual?)
3. Qual(is) o(s) método(s) usado(s) para responder a(s) questão(ões)-foco? (Qual a sequência de passos?)
4. Quais as asserções de conhecimento? (Qual o conhecimento produzido?)
5. Quais as asserções de valor? (Qual o valor do conhecimento produzido?)

Tais questões, as chamadas "cinco questões de Gowin", constituem uma maneira mais simples, porém não tão completa, de analisar a produção de conhecimentos. Elas constituíram-se em uma espécie de embrião do Vê. Em princípio, poderiam ter originado algum outro tipo de diagrama, mas a forma de V é muito útil porque mostra claramente a produção de conhecimentos como resultante da interação entre dois domínios, um teórico- conceitual e outro metodológico, para responder questões, que são formuladas envolvendo esses dois domínios, a respeito de eventos ou objetos de estudo sobre os quais convergem tais domínios.

O diagrama V

A figura 1 apresenta um diagrama V com todos seus componentes.

O lado esquerdo do Vê se refere ao domínio teórico-conceitual do processo de produção do conhecimento: ali estão os conceitos, propriamente ditos, com os quais podem ser gerados princípios e leis que, por sua vez, podem ser organizados em teorias que têm sistemas de crenças, ou filosofias, subjacentes. Esse lado do Vê corresponde ao "pensar".

Na base do Vê estão objetos a serem estudados ou eventos que acontecem naturalmente ou que se faz acontecer a fim de fazer registros através dos quais os fenômenos de interesse possam ser estudados.

O lado direito do Vê corresponde ao domínio metodológico na produção de conhecimento. A partir dos registros dos eventos chega-se a dados, através de transformações como atribuição de parâmetros, índices, coeficientes; os dados sofrem novas transformações metodológicas, como gráficos, correlações, categorizações, que servem de base para a formulação de asserções de conhecimento, ou seja, o conhecimento produzido em resposta à(s) questão(ões)-foco. Esse lado do Vê é o "fazer". Observe-se, no entanto, que há uma permanente interação entre os dois lados de modo que tudo o que é feito no lado metodológico é guiado por

conceitos, princípios, teorias e filosofias do lado teórico- conceitual. Reciprocamente, novas asserções de conhecimento podem levar a novos conceitos, à reformulação de conceitos já existentes ou, ocasionalmente, a novos princípios, teorias e filosofias.

No caso de uma pesquisa qualitativa, muitas vezes, a teoria vai sendo construída ao longo do processo, mas, ainda assim, permanece, dialeticamente, a interação pensar-fazer, ou teoria-metodologia.

As questões-foco – questões básicas ou questões-chave – estão no centro do Vê porque, a rigor, pertencem tanto ao domínio teórico-conceitual como ao metodológico. A *questão-foco* de um estudo é aquela que não somente pergunta alguma coisa mas também diz algo. É a questão que identifica o *fenômeno de interesse* de tal forma que é provável que alguma coisa seja construída, medida ou determinada ao respondê-la. É a pergunta que informa sobre o ponto central de um estudo, de uma pesquisa; ela diz o que, em essência, foi estudado, pesquisado.

Questão-foco não é o mesmo que hipótese. Para Gowin (op.cit., p. 91), hipótese é um enunciado técnico do tipo "se...então", "mudando tal condição então acontecerá isso ou aquilo". Questão-foco é uma questão que organiza e dirige o pensamento que dá sentido ao que está sendo feito. Para ele, a formulação e testagem de hipóteses está vinculada ao conhecimento técnico enquanto a busca de respostas a questões-foco leva à produção de desconhecimento.

Diagramas V e aprendizagem significativa

Em primeiro lugar, como instrumento de ensino o Vê epistemológico é extremamente útil por transmitir ao aluno a noção de que o conhecimento humano é *produzido, construído*, no interagir do pensar e do fazer, na busca de respostas a questões-foco sobre os mais diversos fenômenos de interesse. Essa visão epistemológica é importante no ensino, pois todo episódio de ensino envolve compartilhar significados sobre algum conhecimento e esse conhecimento é uma construção humana. O aluno, frequentemente, não percebe isso.

O Vê pode, então, ser usado para analisar criticamente artigos de pesquisa, ensaios, produções literárias, enfim, qualquer forma de conhecimento documentado, mas seu uso implica uma postura construtivista e, em muitos casos, uma reformulação de crenças epistemológicas.

O diagrama V é também muito útil no ensino de laboratório (Figura 2): por um lado, o professor pode fazer um desses diagramas para um experimento que o aluno irá realizar, a fim de analisar o potencial do experimento para a aprendizagem do aluno e este, por outro lado, ao final

do experimento, ao invés de um relatório poderá construir um Vê. O diagrama V do professor se constitui em uma análise do currículo (objetivos pretendidos de aprendizagem) eo do aluno em instrumento de avaliação.

É também um instrumento adequado para resumir uma tese ou uma dissertação (Figura 3). Enfim, trata-se de um dispositivo heurístico que pode ser aplicado a qualquer instância de ensino, aprendizagem e avaliação que envolva produção e documentação de conhecimentos. Inclusive, um poema (Figura 4) ou qualquer outra forma de criação de conhecimento. Pode ser feito por professores (Figura 2) ou alunos (Figura 5). Contudo, o Vê não deve ser encarado como uma espécie de formulário a ser preenchido por alunos ou professores. O importante é a questão epistemológica subjacente a ele. Interpretá-lo como formulário é uma completa distorção e um grande desperdício de sua potencialidade instrucional e curricular.

Mas qual a relação entre esse instrumento e a aprendizagem significativa? Vejamos!

Aprendizagem significativa é aquela em que os novos conhecimentos adquirem significado por interação com conhecimentos prévios especificamente relevantes, os chamados subsunçores. Essa interação é não-arbitrária e não-literal. Quer dizer, a internalização não é ao pé-da-letra, o aprendiz atribui também significados idiossincráticos aos novos conhecimentos.

O professor, como mediador, deve "negociar significados" a fim de que em um episódio de ensino o aluno venha a compartilhar os significados já aceitos no contexto da matéria de ensino.

As condições para a aprendizagem significativa são que o material seja potencialmente significativo e que o aprendiz manifeste uma predisposição para aprender. Potencialmente significativo quer dizer que o material tem significado lógico e que o sujeito tem os subsunçores adequados em sua estrutura cognitiva. Disposição para aprender significa que o

sujeito deve apresentar uma intencionalidade de relacionar o novo conhecimento com seus conhecimentos prévios.

Se estas condições estiverem perfeitamente satisfeitas, se o professor exercer bem o seu papel de mediador, se a aprendizagem significativa, de fato, ocorrer qual a importância dos diagramas V nesse processo?

Acontece que não basta o aluno aprender significativamente os conceitos, as definições, as metáforas de um certo corpo de conhecimento. É preciso também aprender que tudo isso é construção humana, é invenção do homem. Ou seja, o conhecimento humano é construído.

O DIAGRAMA V

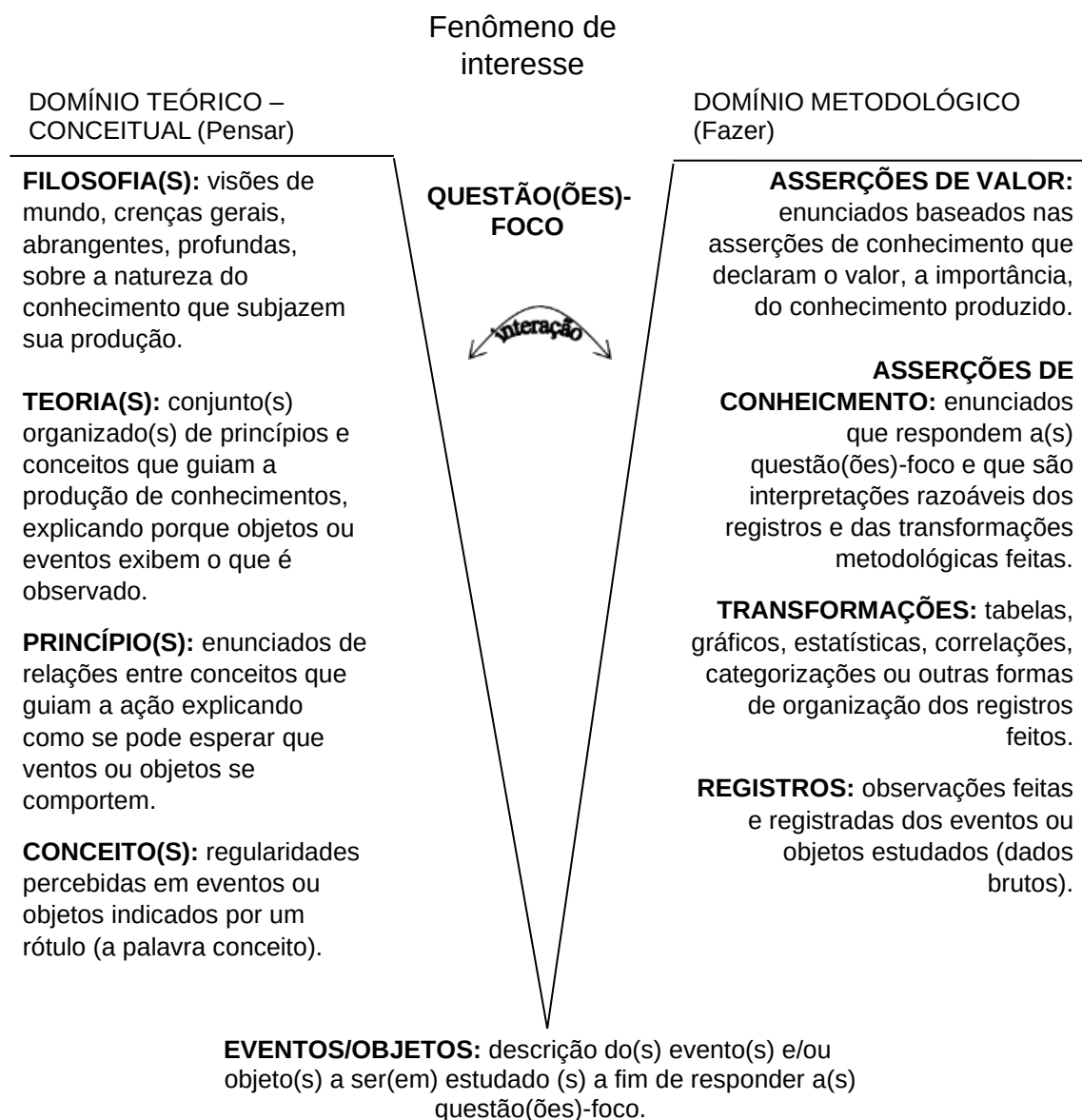


Figura 1: O diagrama V, Vê epistemológico, Vê do conhecimento, Vê heurístico, ou Vê deGowin e seus componentes.

Precisamente aí entra o diagrama V e por isso mesmo é também conhecido como Vê epistemológico: é um instrumento heurístico para ajudar a desvelar o processo de produção de conhecimento. Como foi dito bem no início deste trabalho, o conhecimento humano geralmente está "empacotado" em artigos, livros, ensaios, teses, dissertações e outras formas de documentá-lo. Ao utilizar o diagrama V, o aprendiz deverá identificar os conceitos, as teorias, os registros, as metodologias, utilizados na produção de um determinado conhecimento. Com isso, provavelmente perceberá que tal conhecimento foi produzido como resposta a uma

determinada pergunta. Poderá também perceber que nas perguntas está a fonte do conhecimento humano e que se as perguntas forem diferentes o conhecimento também o será. Poderá igualmente se dar conta de que se os conceitos, as teorias, os registros, as metodologias forem distintos serão outras as respostas (ou seja, o conhecimento) às perguntas-foco.

Naturalmente, para que isso aconteça o diagrama V deverá ser "negociado", discutido, reconstruído. Nesse processo, a interação social e o papel mediador do professor são fundamentais.

Exemplos

Nas Figuras 2, 3 e 4 são apresentados três exemplos de diagramas V, em áreas bem distintas para chamar atenção que tais diagramas não são específicos de determinada área de conhecimentos. São apenas exemplos, não exemplares.

Conclusão

A finalidade deste trabalho foi a de apresentar o diagrama V como um instrumento heurístico, de cunho epistemológico, potencialmente facilitador de uma aprendizagem significativa em ciências. Aprender ciências não é apenas dar significado aos conceitos e modelos científicos⁴⁵ e usá-los na resolução de problemas. É também aprender que esses conceitos e modelos são construídos, isto é, inventados pelo homem. Nesse sentido, o diagrama V pode ser um recurso instrucional muito útil.

⁴⁵ Modelos não aparecem no diagrama V, mas poderiam ser inseridos no domínio teórico-conceitual entre princípios e teorias.

Um diagrama V para um experimento de laboratório

DOMÍNIO TEÓRICO – CONCEITUAL (Pensar)

FILOSOFIA(S): o conhecimento científico sobre a natureza repousa na observação e na experimentação baseadas em teorias que organizam os fatos e o raciocínio do homem, aprofundando sua compreensão.

TEORIA(S): a teoria eletromagnética.

LEIS: leis da reflexão; leis da refração.

CONCEITOS BÁSICOS: luz, reflexão e refração.

CONCEITO(S): ângulo de incidência, ângulo de reflexão, ângulo de refração, índice de refração.

Questões-básicas
Qual é a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão?

Qual é a relação entre o índice de refração e o ângulo de incidência?



DOMÍNIO METODOLÓGICO (Fazer)

ASSERÇÕES DE VALOR: o experimento ajuda a clarificar os conceitos, leis e fenômenos nele envolvidos. As leis da refração têm aplicações úteis em espelhos e lentes.

ASSERÇÕES DE CONHEICIMENTO:

1 - $\beta' = \beta$ (lei da reflexão).
2 - η não depende de β , isto é
$$\eta(\beta) = \frac{\sin \beta}{\sin \delta} = k$$

(lei da refração)

TRANSFORMAÇÕES: médias e desvios padrão de β e δ , e do índice de refração η . Gráficos $\beta' \times \beta$ e $\eta \times \beta$.

REGISTROS: valores dos ângulos de reflexão β' e refração δ para cada ângulo de incidência β escolhido.

EVENTO: quando a luz incide sobre uma superfície transparente que separa dois meios, parte da luz incidente volta ao meio de origem e parte penetra no segundo meio.

Figura 2: Estrutura conceitual e metodológica de um experimento de laboratório sobre reflexão e refração da luz (Jamett et al., 1986). Este diagrama V pode ser interpretado como uma análise do currículo do experimento correspondente. Foi feito por um professor para analisar as potencialidades instrucionais do experimento, quer dizer, o que poderia o aluno aprender fazendo-o no laboratório. Uma vez feito o experimento, o aluno construiria o seu diagrama V. O professor, então, poderia comparar o "V pretendido" e o "V obtido". Contudo, o V do professor não deve ser interpretado como o "V certo" ou o gabarito; é apenas o "V esperado"; deve refletir apenas a expectativa do docente.

Um diagrama V para a pesquisa em ensino

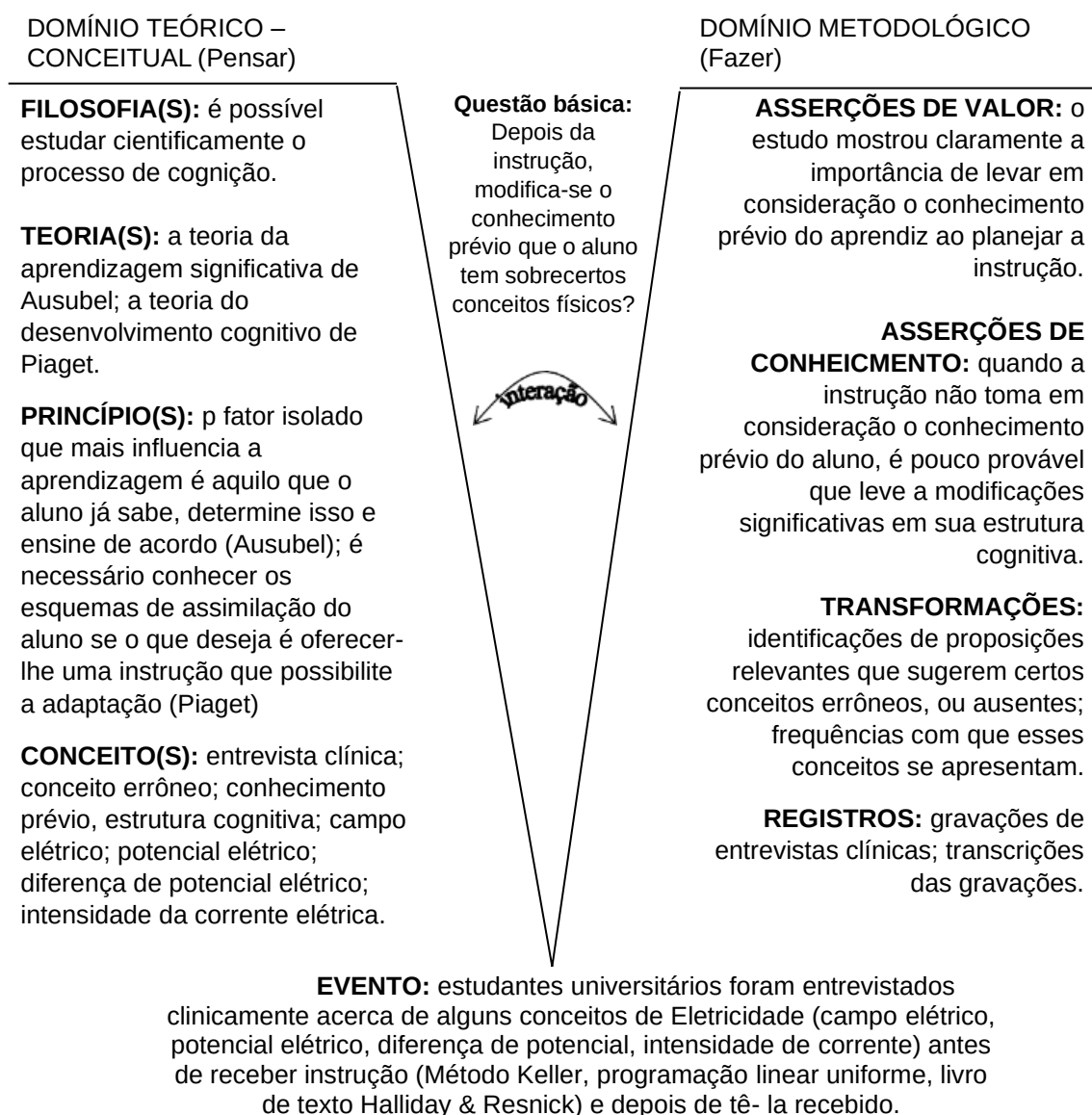


Figura 3: Vê de uma pesquisa em ensino (Domínguez, María E., 1985; Moreira, Marco A., 1990). Este diagrama V corresponde ao trabalho de dissertação da autora. Tal diagrama pode ser feito, por exemplo, para um artigo de pesquisa, para uma dissertação ou para uma tese. É um instrumento para explicitar a estrutura do processo de produção do conhecimento.

Um diagram V para a poesia

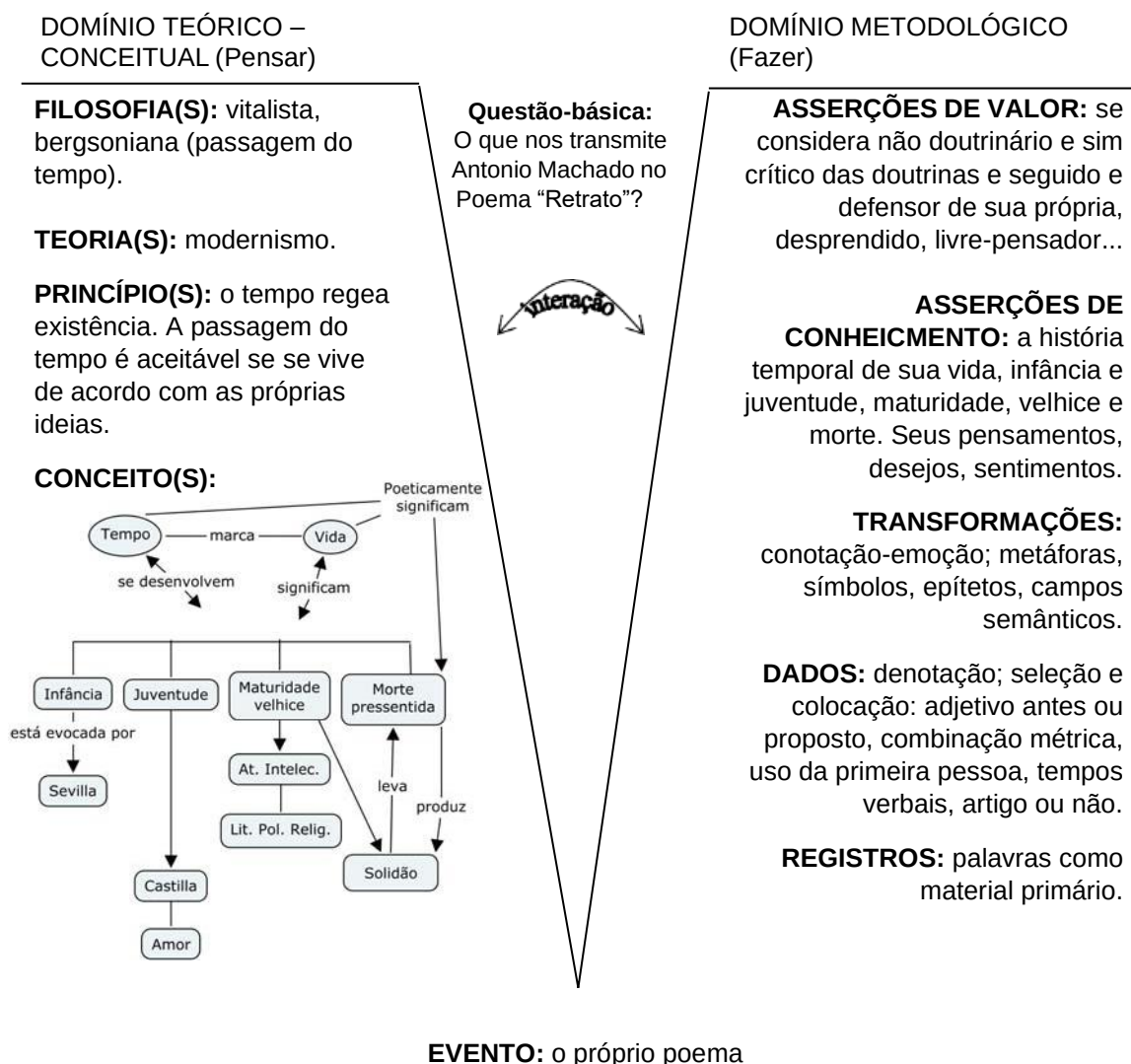


Figura 4: Um diagrama V para o poema "Retrato", de Antonio Machado, elaborado como tarefa de avaliação em um curso sobre aprendizagem significativa e estratégias facilitadoras. Este diagrama foi construído por duas professoras de língua e literatura espanhola (Rosa Bello Medina e Carmen Delgado Sosa, Tenerife, 1996) na condição de alunas do curso. Observe-se que na parte de conceitos do V foi feito um mapa conceitual. Note-se também que este V ilustramuito bem o fato de que tal instrumento não é aplicável somente às ciências, como se poderia pensar.

Bibliografia

Domínguez, M.E. (1985). *A entrevista clínica como instrumento de avaliação da aprendizagem de conceitos físicos em eletricidade*. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS. Gowin, D.B. (1981). *Educating*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Gowin, D.B.; Alvarez, M. (2005). *The art of educating with V diagrams*. New York: Cambridge University Press.

Jamett, C.H.D.; Buchweitz, B.; Moreira, M.A. (1986). Laboratório de Física: uma análise do currículo. *Ciência e Cultura*, 38(12): 1995-2003.

Moreira, M.A. (1990). *Pesquisa em ensino: o Vê epistemológico de Gowin*. São Paulo: Editora Pedagógica Universitária.

Moreira, M.A. (2006). *Mapas conceituais e diagramas V*. Porto Alegre: Ed. do Autor.

Moreira, M.A. (2011). *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo: Editora Livraria da Física.

Moreira, M.A.; Massoni, N.T. (2011). *Epistemologias do século XX*. São Paulo: E.P.U.

ANEXO 4: LISTA DE MÍDIAS PARA USO NAS UEPS

O presente anexo traz uma lista de mídias que podem ser utilizados como recursos instrucionais durante a aplicação das UEPS propostas neste trabalho, bem como outras produzidas por aqueles que se interessem pelas propostas aqui abordadas. As mídias estão em ordem alfabética e, entre parênteses, onde podem ser encontradas. É prudente comentar que esta lista se trata apenas de sugestões, e o uso de outras além destas é bem-vindo e estimulado.

A Era dos Dados: A Ciência Por Trás de Tudo (Filme Documentário. Netflix)

A Fuga das Galinhas (Filme. Netflix)

A Vida Secreta do Caos (Filme Documentários. Várias Plataformas)

Em Busca dos Corais (Filme Documentário. Netflix)

Explicando (Série. Netflix)

Forget Shorter Showers (Curta-Documentário (Vídeo). YouTube)

Greg News (Canal de Vídeos do Youtube)

Luto Climático – Philosophy Tube (Vídeo. YouTube)

Nerdologia (Canal de Vídeos do YouTube)

Nosso Planeta (Série Documentário. Netflix)

O Apocalipse – Contrapoints (Vídeo. YouTube)

O Dilema das Redes (Filme Documentário. Netflix)

O Mundo Sem Ninguém (Série Documentário. Várias plataformas)

Oceanos de Plástico (Filme Documentário. Netflix)

Os Sem-Floresta (Filme. Netflix)

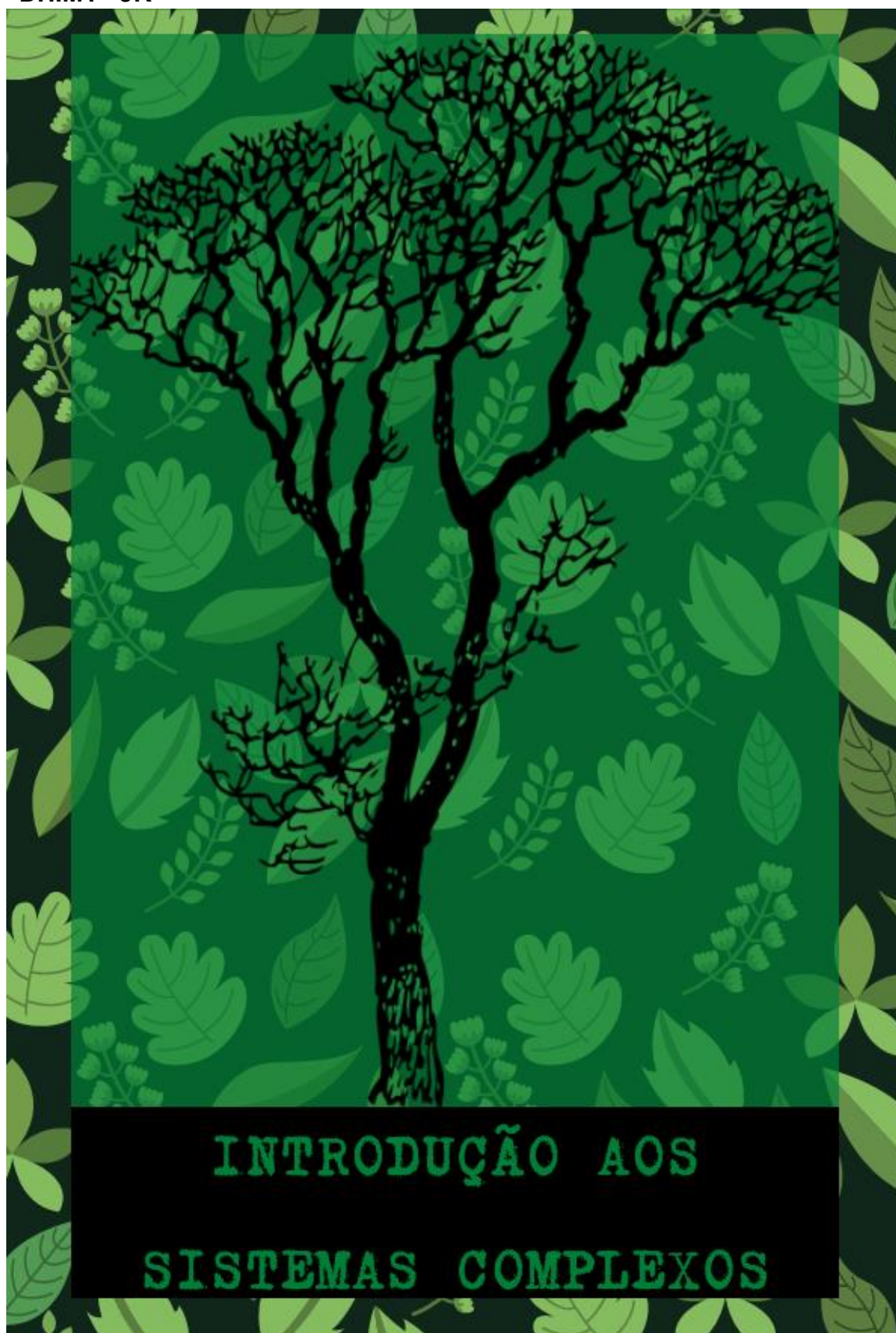
Seaspiracy: Mar Vermelho (Filme Documentário. Netflix)

Ser Tão Velho Cerrado (Filme Documentário. Netflix)

Um Novo Capitalismo (Filme Documentário. Netflix)

Uma Verdade Inconveniente (Filme Documentário. Várias plataformas)

**ANEXO 5: INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS COMPLEXOS, DE ADMILSON
“DHIMY” JR**

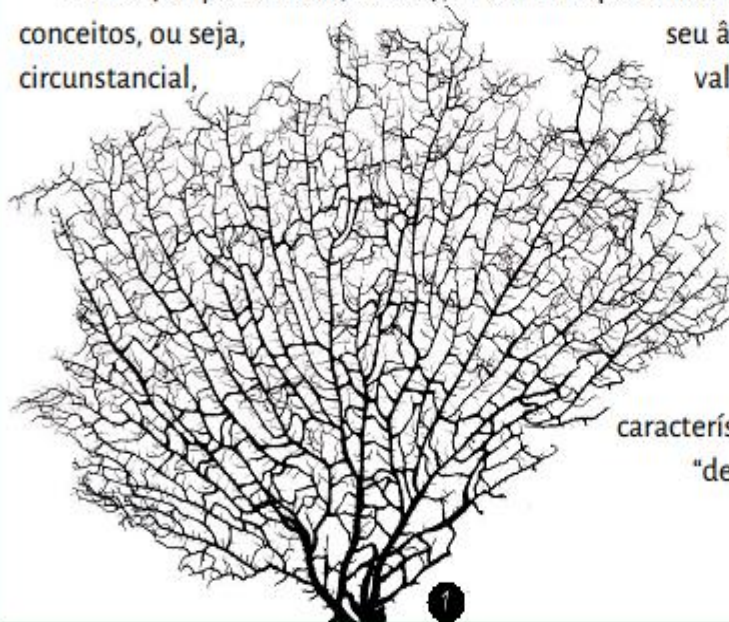


Introdução aos Sistemas Complexos

A Física é definida como a Ciência que estuda a Natureza, avaliando padrões e a partir deles, estabelece "regras" que ditam o funcionamento dela. Assim, durante o Ensino Médio e muitas vezes antes, já no Ensino Fundamental, os aprendizes se veem diante dessa primordial área da Ciência, que hoje serve de base para as mais variadas áreas tecnológicas como engenharia, nanotecnologia, medicina e além.

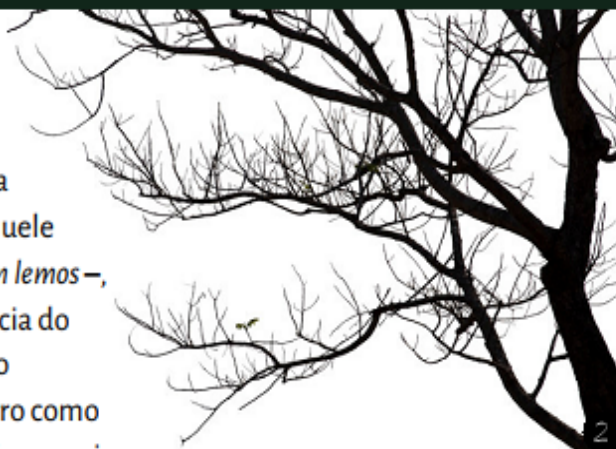
É comum associarmos os conceitos físicos construídos a situações do cotidiano, como velocidade e aceleração a um carro que se movimenta; a pressão e empuxo a uma pessoa que nada em um rio ou ainda calor e temperatura às sensações térmicas as quais as pessoas experimentam cotidianamente. No contexto de sala de aula, essas associações tornam-se importantes pois ajudam os alunos a captarem significados de conceitos, que de início podem parecer de difícil compreensão. Conceitos e princípios científicos, quando associados à sua realidade vivida acabam consolidando o aprendizado e garantindo que eles tenham condições de perceberem a relevância desses mesmos a compreensão de situações e solução de problemas com que se deparam.

Mas... (sempre tem um, não é?), é comum que limitemos o poder explicativo dos conceitos, ou seja, circunstancial, seu âmbito de validade sempre é vale para alguns fenômenos.



Por exemplo, para obtermos valores de velocidade que façam sentido, geralmente usamos o que em Física chamamos de condição de contorno: o conjunto de características que limitam e definem "de que forma" avaliaremos um fenômeno.

Dessa forma, para “facilitar” o estudo, utilizamos delimitações que devem sempre estar muito claras para aqueles que se desafiam a resolver aquele problema – e que geralmente, *nós nem lemos* –, como desprezar os efeitos da resistência do ar e do atrito, que tendem a se opor ao movimento analisado, ou tomar o carro como um ponto material, um objeto que não possui dimensões consideráveis. A esses fenômenos, analisados a partir dos vieses das condições de contorno, damos o nome de ideais. Para tanto, são utilizados modelos ou representações simplificadas cujo objetivo é que possamos aplicar e extrapolar os conceitos e equações estudadas em sala de aula. Estamos “roubando”. Entretanto, a ideia principal, de entendermos o fenômeno e, sempre que possível, associá-lo ao cotidiano está lá. E isso é, de certa forma, intencional.



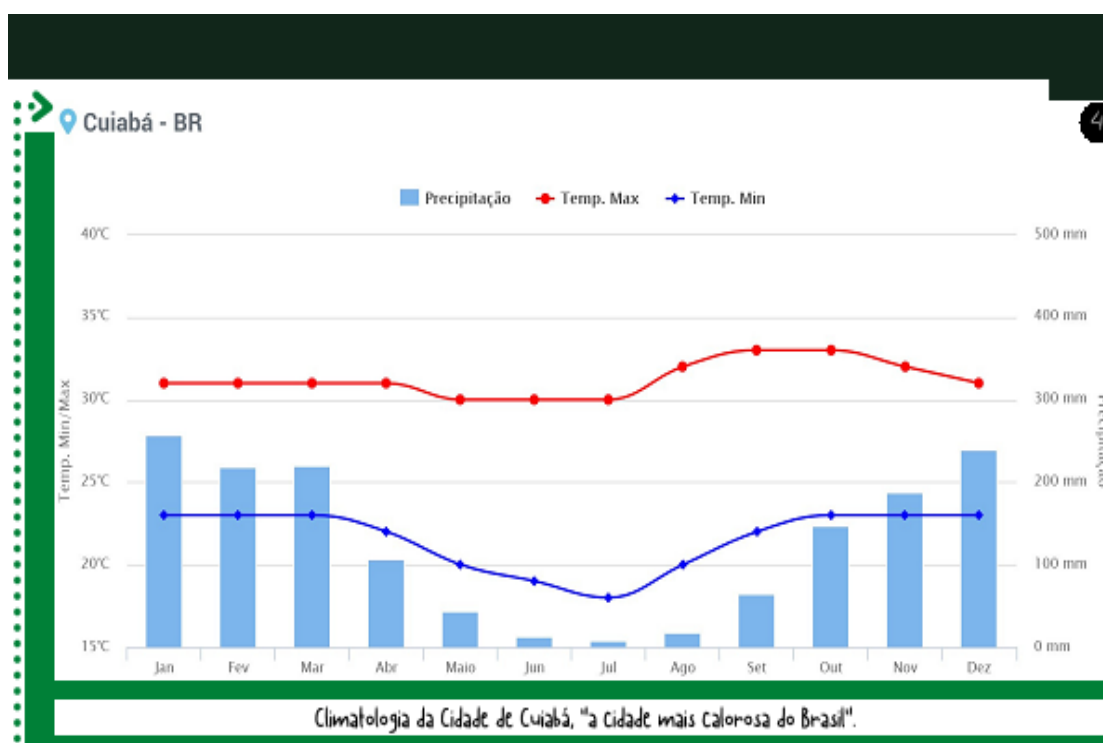
E não só isso: Física é apenas uma das ciências que estuda a natureza. Se nos lembramos bem, existem ainda outras duas: a Biologia e a Química. A Natureza, em sua *complexidade* (guardem essa palavra), trata de uma série de processos e fenômenos que nós, humanos, qualificamos a uma dessas grandes Ciências Naturais, como forma de tentar entender um sistema único. E esse sistema, não se apresenta aos pesquisadores da forma que eles querem, hora um *sistema físico*, hora um *sistema biológico*, hora um *sistema químico*, mas sim em sua totalidade, sendo então tarefa destes o papel de reconhecer os objetos de estudo de cada uma dessas ciências.

Assim, de uma forma geral, as condições de contorno são importantes não só para tornar mais atraente os problemas reais, mas também para dividirmos as Ciências da Natureza, algo que vem, gradativamente entrando em desuso (afinal, esta é a ideia aqui!), ou seja, para compreender a natureza e os fenômenos cotidianos parece insatisfatório, por exemplo, um único olhar da Física, que pode representar o que separa uma “visão física” do fenômeno de uma “visão química” (como é muito comum na área de Termodinâmica), ou deixar escapar uma perspectiva desde o ponto de vista da Biologia. Porém (*outro “mas”, só que escrito diferente*), é nas conexões, na “visão transdisciplinar” que grande parte dos processos cotidianos realmente estão presentes.

Vamos pensar sobre o corpo humano: a Biologia diz que somos seres endotérmicos, que regulam sua temperatura (conceito físico) corporal através de processos metabólicos (conceito químico). O metabolismo, segundo a Química é, grosso modo, o conjunto de transformações químicas que por efeito liberam energia (conceito físico e biológico). Quando dois corpos com temperaturas diferentes entram, de alguma forma em contato, segundo a Física, energia térmica em forma de calor, flui do corpo mais quente para o mais frio e desse processo é que sentimos (conceito biológico) frio ou que está quente (adendo: *sentir calor não existe viu!*).

Agora, veja a magia acontecer: a temperatura corporal do ser humano é, em média (conceito matemático), de 36 °C (graus Celsius). Isso acontece porque os processos metabólicos não são os mesmos e na mesma intensidade em todos os pontos do nosso corpo, sendo mais intensos na cabeça – *adivinhem o porquê*. De qualquer forma, nosso corpo é um *corpo* (vamos tomar o sentido físico aqui) e, troca calor com outros corpos e com o próprio meio ambiente. Olhando para o meio ambiente, cuja temperatura média é de 25 °C – *os moradores de Cuiabá discordam dessa afirmação...*, haverá constante troca de calor entre nosso corpo, com maior temperatura, e o meio, com menor temperatura. Se nosso corpo fosse um *corpo idealizado*, do ponto de vista da Física a qual estamos acostumados a ensinar e aprender, a temperatura se estabilizaria com a do meio e o fluxo de calor cessaria. Porém, como nosso corpo é uma *estrutura viva* que, após milhares de anos de evolução, encontrou na temperatura média de 36 °C a temperatura ideal para que suas funções básicas funcionem de forma perfeita, nosso corpo possui uma série de mecanismos de defesa que reagem a esse processo de diminuição de temperatura. Nosso *corpo real* se arrepia, tentando regular nossa temperatura; começamos instintivamente a ou esconder nossas mãos e pés ou a esfregá-los uns nos outros, na tentativa de aquecê-los, já que são pontos onde os fluxos de calor ocorrem com maior intensidade; começamos a usar nossas reservas energéticas e por aí vai. E esse processo seria semelhante, se analisássemos a situação em que a temperatura do meio é maior que a temperatura corporal.





A regulação térmica, processo acima descrito, foi plenamente construído não só com os conhecimentos de Biologia, mas também de Química e Física para que assim, por exemplo, entendamos as consequências da hipotermia sobre uma pessoa. Foi somente quando olhamos o fenômeno da regulação térmica como único, não fragmentado, é que entendemos seus pormenores e os detalhes que ficam pouco claros quando lidamos com uma abordagem da ciência de forma fragmentada.



Ao levarmos em conta toda a gama de processos que podem acontecer somente da premissa de avaliarmos o que acontece com o corpo humano quando em contato com o meio que o cerca, passamos a estudar um fenômeno real, ou aquele que mais se aproxima da *realidade*, avaliada pelos pesquisadores, que precisam perceber todos os processos possíveis a partir de uma interação inicial.

Quando observamos a natureza de forma integral e não de forma fragmentada, percebemos processos e interações que jamais seriam detectados ao se avaliar apenas partes do fenômeno, o que sugere uma complexidade própria aos fenômenos reais.

Complexidade aqui não significa difícil, mas sim exprime processos interativos, trocas de matéria, energia e informação que não são considerados, não ocorrem ou não são desejáveis nos modelos ideais, que são preparados para os processos de aprendizado que temos tradicionalmente. Apesar da palavra Complexidade carregar um significado muito forte, um fenômeno real é, primordialmente simples, criativo e seus padrões, complexos.

Por fim, ao tornarmos Física, Biologia e Química a *Ciência da Natureza*, reforçamos a diretriz de que os conhecimentos são relacionáveis e se relacionem ao cotidiano do aluno, mas vamos além: damos ferramentas para que eles se tornarem questionadores, que eles critiquem a realidade que eles vivem, que se tornem cidadãos críticos. Reconhecer que a Natureza é única é se reconhecer como parte dela, é defendê-la, é evoluir em comunhão com o meio ambiente.

Assim, apresentamos este texto como uma introdução aos Fenômenos (ou Sistemas) complexos. A partir daqui, diferenciaremos um sistema ideal de um complexo, bem como apresentaremos a série de características inerentes a esses sistemas, oferecendo exemplos que permeiam as Ciências da Natureza, mas que não necessariamente se limitam a ela (sobre isso, discutiremos mais adiante). Esperamos que, ao final, sejam todos capazes de não só resolverem problemas, mas de que esses conhecimentos sejam agentes de transformação na vida de todos.

O Pensamento Sistêmico

Quando estipulamos como base de nossos estudos que os sistemas são *reais*, adotamos de forma quase que espontânea o Pensamento Sistêmico (PS). Mas, o que seria esse pensamento? Para compreendê-lo, precisamos, primeiro, voltar um pouco no tempo.

Podemos elencar como cerne de todo o *método científico*, uma sequência de processos pelas quais o conhecimento passa até se tornar *científico*, ou seja, que respeite os pressupostos fundamentais do que chamamos de “fazer ciência”, a curiosidade humana por entender o *mundo ao seu redor*.

Os gregos pensavam que tudo que “existe” era formado pelos quatro elementos primordiais (*ar, fogo, terra e água - avat...*); na idade média, o que se pensava era que a realidade era fruto da bondade divina e que aquilo que poderia ser estudado era decidido pelos “representantes” divinos, de forma que a humanidade não caísse em heresia e, de alguma forma, questionasse o divino.

O Renascimento, a partir do Séc. XVI, um dos marcos do início da Idade Moderna, não recebe esse nome à toa: um movimento artístico, científico e social que coloca o homem sob a luz, tornando-o protagonista da própria realidade, valorizando suas expressões, como a arte, a racionalidade, a natureza e a Ciência em si, em detrimento a visão dogmática e mística da idade medieval. É nesse período que nasce a imprensa e com ela a expansão do conhecimento. Fazendo um recorte das Ciências, é nesse período que se discute em maior grau a necessidade de se estabelecer uma forma homogênea de se discutir e propagar o conhecimento científico. Dessa forma, a idade moderna deixa de aliar a explicação do universo a características místicas e inexplicáveis e passa a relevar a razão como fator predominante na forma de entendermos a realidade.

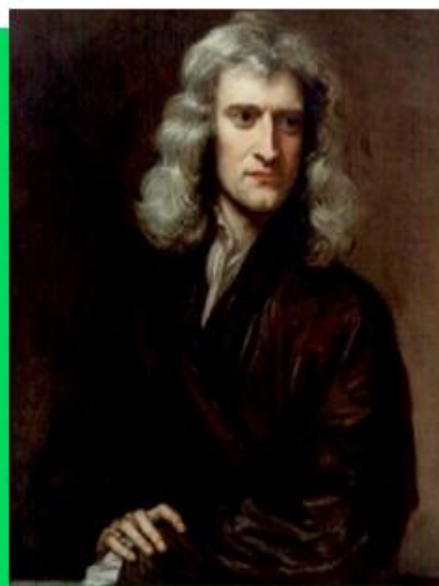
O grande expoente do pensamento que valoriza a razão, hoje sob a denominação de racionalismo, foi o criador do plano cartesiano, o filósofo francês **René Descartes** (1596-1650) (uma curiosidade: nessa época, ser filósofo envolvia ser "*multitarefas*", já que esses pensadores trabalhavam em diversos ramos, que hoje são especialidades distintas, como as artes, matemática, engenharia, química, física e por aí vai...), que ponderou sobre novas formas de se fazer Ciência, que valorizassem a racionalidade, a experimentação e regras "básicas", que ditassem o funcionamento do Universo. Seus pensamentos se nortearam, porém, por três considerações básicas:

- A primeira, trata de que todo e qualquer fenômeno natural possui uma explicação lógica e racional;
- A segunda, trata de que as condições finais de um sistema (o que chamamos de efeito) se dão de forma inequívoca (ou melhor, com toda a certeza) através de uma ação anterior primordial (o que chamamos de causa) e vice-versa;
- A terceira, trata de que não é necessário olharmos para o universo como um todo, mas sim que podemos avaliar seu funcionamento através de suas constituintes e, por fim, juntá-las, como se fosse um quebra-cabeça, ou as engrenagens de um relógio, e obtermos como produto o funcionamento do universo como entidade única. ✓



5

René Descartes



6

Isaac Newton

Essas três considerações podem ser resumidas em três palavras: Racionalidade, Determinismo e Compartimentalização, e a partir de suas publicações, ganham destaque e passam a constituir as bases filosóficas e metodológicas do conhecimento científico, tendo retumbante destaque dentro do trabalho de **Isaac Newton** (1643-1727), que formulou suas Leis de Newton e da Gravitação Universal sobre esses alicerces.

A Ciência a partir daí, evoluiu muito, trazendo uma série de avanços tecnológicos sem precedentes e fortalecendo ainda mais o Pensamento Cartesiano, pautado nestas três considerações básicas, mas formalmente poderosas. Essas bases se fortalecem ainda mais com o movimento iluminista e ecoam em nossa sociedade até hoje, de forma que inconscientemente estamos sob sua influência, seja em termos econômicos ou sociais: nossas leis, nossas formas de relacionamento e nossas formas de pensar são fortemente cartesianas.

Mas, desde sua concepção, o Pensamento Cartesiano não está livre de críticas. Muitos pensadores, logo que os preceitos de Descartes foram publicados, prontamente apresentaram diversos aspectos a serem avaliados. O principal residia na consequência direta da segunda consideração: se todo sistema é determinístico, então poderíamos *prever* qualquer situação futura através das Leis que regiam esse fenômeno.

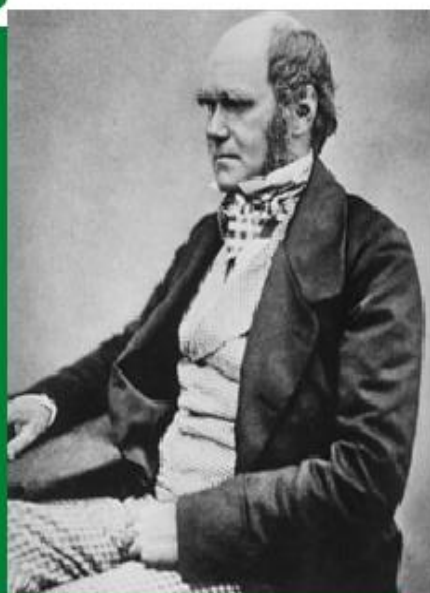
Bem, se olharmos para os problemas que envolvem as Leis de Newton, seja no Ensino Médio, seja no Superior, a maioria está pautado em sua capacidade preditiva: devemos avaliar quais serão as condições do sistema de acordo com as condições iniciais. E essa característica se expande para toda Ciência moderna. Entretanto, dessa perspectiva surge uma pergunta bastante relevante: se nossa ciência é preditiva por que, na meteorologia, falamos em previsão do tempo e não em *afirmação* do tempo? A resposta, para os cartesianos, se encontra na pouca precisão de nossos instrumentos de medida. Conforme a Ciência evolui, evolui junto a forma como medimos e consequentemente, é uma questão de tempo até que encontremos a melhor forma de medir e com isso, atinjam nosso total potencial preditivo.

Se essas são as condições necessárias para atingirmos nosso potencial preditivo, então tiraríamos o emprego de uma parcela da população, já que poderíamos prever o futuro e não só isso, esse futuro já estaria pré-determinado a partir das condições iniciais, já que nossa precisão seria absoluta. *Quem não queria saber se vai enriquecer não é...*

Apesar de ser criticado desde o início, apenas no século XIX, com o advento do Romantismo é que se percebe um primeiro ponto de ruptura da estrutura social cartesiana. O Romantismo é um movimento anti-cartesiano, já que coloca em discussão a função do ser humano em um universo determinista e confronta a perspectiva de que tudo que fazemos é fruto de leis que podem ser escritas, medidas e reproduzidas, tirando todo o aspecto emocional e subjetivo da realidade em que vivemos. Quem é que concordaria que sofre *por que sim*?

O movimento romântico evoca um princípio que hoje toma-se como cerne da Teoria dos Sistemas Complexos: a inseparabilidade entre sujeito e objeto. Pensemos o seguinte: por que as cores do arco-íris são aquelas e melhor, naquela ordem? Quem garante que o azul *que você enxerga* é igual ao que *seu colega enxerga*? Se nós chamamos de espectro visível a faixa das ondas eletromagnéticas que caracterizam as cores do que chamamos de arco-íris, como é que enxergamos o rosa, o cinza e o marrom? De forma simplificada, o que podemos concluir é que a concepção de cores que temos, bem como do que é "visível" depende diretamente da nossa forma de perceber o mundo, ou melhor, do que usamos para *visualizar* o mundo: dos nossos olhos.

Além, a evolução da própria Ciência nos trouxe um segundo ponto de ruptura: a aleatoriedade. As obras de Charles Darwin (1809-1882), que argumenta que o que possibilita que uma ou outra espécie seja apta a viver em um determinado local tem a ver com variação genética que acontece de forma imprevisível, e de Ludwig Boltzmann (1844-1906), que inclui o conceito na dinâmica de movimentos das partículas constituintes de um gás, de modo que o efeito que medimos em nossa escala é obtido através de uma função estatística de suas componentes microscópicas, foram de vital importância para a formalização de um terceiro ponto de ruptura: a probabilidade.



7

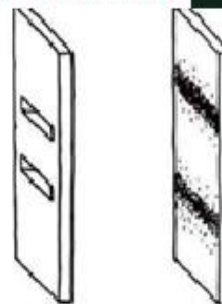
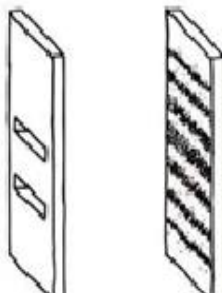
Darwin, o cientista



8

Ludwig Boltzmann

O advento da Mecânica Quântica, como processo natural de unificação do Eletromagnetismo com a Termodinâmica, nos fornece duas conclusões que contrastam frontalmente com o Pensamento Cartesiano: a primeira diz respeito a natureza da matéria, que não pode ser compreendida a não ser que seja através da forma como interagimos com ela, e a segunda de que por interagirmos com ela, a modificamos de uma forma não previsível, sendo apenas possível calcularmos a probabilidade desse sistema assumir determinadas configurações após essa interação, o que corrobora os pressupostos do romantismo de inseparabilidade entre sujeito e objeto.



9

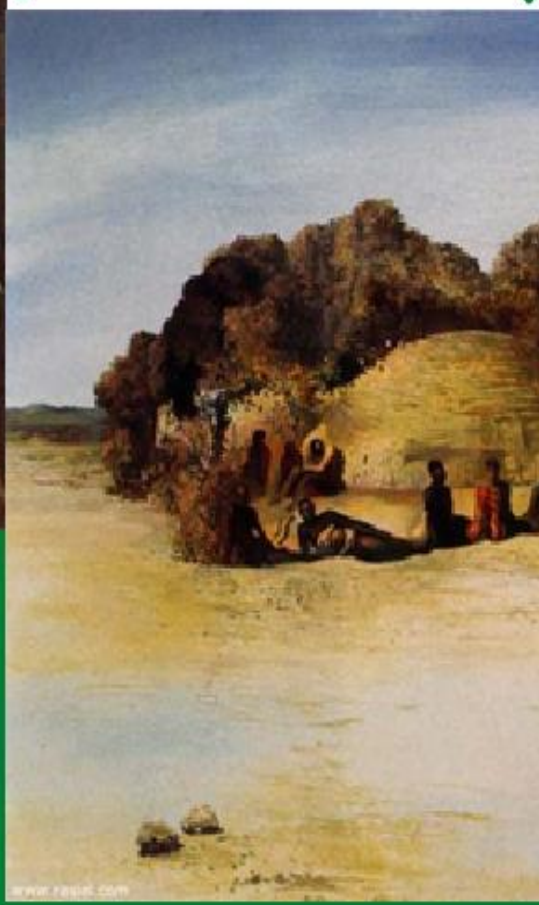
"meme" ilustrando a dualidade onda-partícula, fenômeno quântico que terá resultados distintos a cada interação

A arte moderna também se faz presente no processo de ruptura do Pensamento Cartesiano: os modernistas passaram a produzir obras que podem ser interpretadas e cujo significado é atribuído por quem as aprecia, tornando a experiência artística dependente da forma como a obra e o indivíduo interagem.....



10 "Nu descendo uma escada, n° 2, de Duchamp

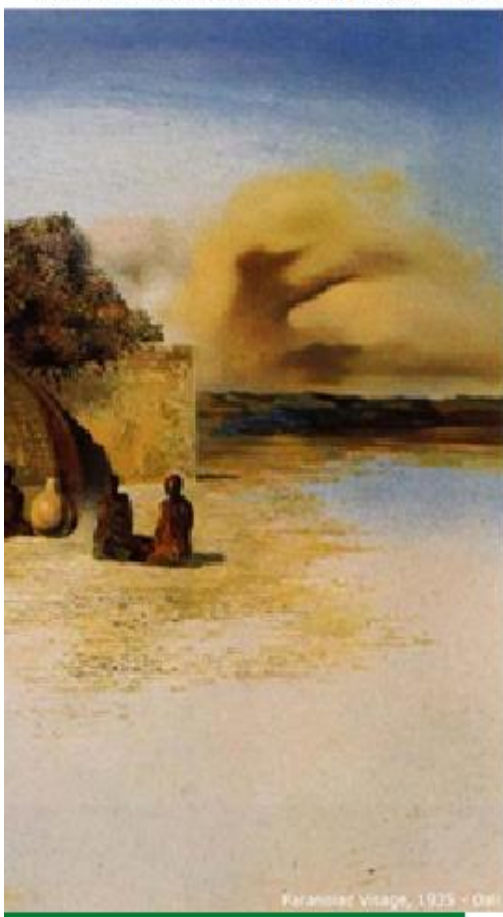
Após a Mecânica Quântica e os movimentos artísticos modernistas, é na Biologia que encontramos as últimas características do que chamamos de Pensamento Sistêmico, mas que em suma, são o seu cerne. A ecologia, área da Biologia que estuda as relações entre os seres vivos e o ambiente em que vivem, cunha termos como *biosfera*, *meio ambiente* e *ecossistema* e nos ajuda a vislumbrar que os processos biológicos dependem também de fatores físicos e químicos, que são indissociáveis entre si, já que dependem uns dos outros.



11 "Paranoiac Visage, de Dalí (eu sempre)

É a partir da ecologia que estabelecemos mais um ponto de ruptura com o Pensamento Cartesiano: o todo é maior que as partes ou, o todo transcende suas partes. Processos naturais possuem características que só aparecem quando avaliamos o processo como um todo, sendo propriedades do processo interativo entre suas constituintes, e que não somos capazes de detectar ou medir ao fragmentarmos um fenômeno.

Ora, podemos entender como todos os sistemas associados ao corpo humano funcionam de forma separada, mas a característica emergente, que nasce da



re vejo um rosto primeiro...)

interação entre esses sistemas, que chamamos de vida, não é entendida somente avaliando o sistema esquelético, ou o endócrino, ou nervoso, por exemplo. Isso vale para os processos regulatórios do nosso corpo, que dependem da dinâmica entre nós e o ambiente que nos cerca.

Finalmente, podemos definir o Pensamento Sistêmico àquele pautado sobre três aspectos básicos, antíteses daqueles que formalmente definem o Pensamento cartesiano:

- O primeiro, diz respeito a própria interação do sujeito com o meio, sendo que sua realidade é limitada pela sua percepção;
- O segundo, diz respeito a não previsibilidade, estabelecida através da não relação direta entre causa e efeito, sendo possível apenas estimar estados possíveis

para um fenômeno após as condições iniciais;

- O terceiro, diz respeito a condição de que só é possível entender um fenômeno através das relações entre suas constituintes e não apenas do funcionamento dessas constituintes de forma isolada.

Esses três aspectos podem ser resumidos em três palavras que norteiam o Pensamento Sistêmico: Subjetividade, Probabilidade e Integralidade. O Pensamento Sistêmico é, em resumo, a concepção de que não é possível estudarmos o ambiente sem levarmos nossa interação em conta nesse processo, de que essa interação forma uma rede intrincada de relações, que não seriam possíveis de serem avaliadas e analisadas ao tentarmos fragmentar nosso olhar; de que cada indivíduo é um sistema complexo em si e que ele interage o tempo todo com seu externo; de que comunidades não podem ser avaliadas como se todos seus constituintes fossem iguais; de que, ao valorizarmos o homem em detrimento do ambiente que o cerca e na qual ele está inserido, colocamos em cheque toda a intrincada rede de conexões existente e, afinal, colocamos nossa própria existência em cheque.

Uma sociedade pautada sob os alicerces do Pensamento Sistêmico é uma sociedade preocupada com a natureza, que defende políticas de preservação ambiental, que entende que os fenômenos climáticos dependem de forma sutil das configurações naturais e que, quando radicalmente alteradas, podem gerar mudanças climáticas inimagináveis, que a exploração da natureza deve ser consciente, já que é um fato de que os recursos naturais não são inesgotáveis, que valoriza as políticas de reflorestamento e reutilizam dos recursos já explorados, que se vê evoluindo junto com a natureza, já que a evolução humana e a preservação ambiental não são excludentes. Com base nesses preceitos, é ponderável se perguntar: somos uma sociedade sistêmica?

O que caracteriza Sistemas Complexos?



12

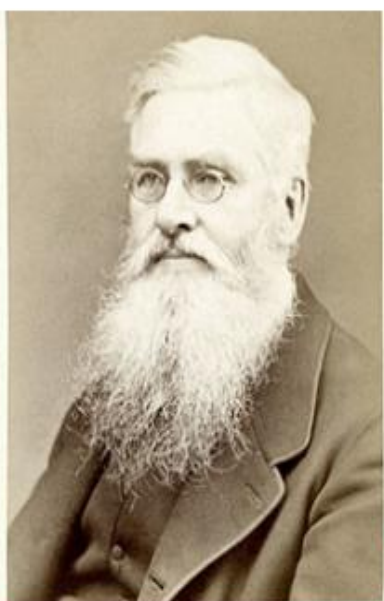
Darwin, o mutante

Adaptabilidade

..... Darwin, cujo nome é uma clara homenagem a um dos maiores biólogos que se tem conhecimento, possui uma das habilidades mais interessantes que já apareceram entre os *mutantes* dos quadrinhos dos X-men: possui a habilidade de *se adaptar*.

De pronto, se compararmos com telepatia ou telecinesia, parece pouca coisa, mas é uma habilidade única e bastante subestimada: esse mutante pode alterar seu corpo para se adaptar a qualquer ambiente ao qual esteja inserido. Está de noite? Visão noturna; foi nadar em um lugar nada raso como... a *Fossa das Marianas*? Gueiras e controle da pressão interna do corpo como um peixe; acabou saindo de uma nave espacial sem a roupa adequada? Resistência a radiação espacial e a não necessidade de respirar. Essa habilidade, na verdade, é "A" habilidade.

Mas não começamos com o Darwin à toa. Darwin, biólogo britânico (1809-1882) foi o responsável por nos apresentar, juntamente com Alfred Wallace (1823-1913), as bases do que chamamos hoje de síntese evolutiva moderna, na qual observa-se que os seres



13

Alfred Wallace

vivos evoluem sempre valorizando características que garantam a manutenção da espécie, e descartando aquelas que não, reagindo as mudanças do ambiente em que vivem, ou seja *adaptando-se*.

Esse conceito pode ser extrapolado para qualquer sistema complexo e pode ser definido como a capacidade de se adaptarem aos estímulos externos de forma a garantir a existência do sistema. A ideia é que, com modificações em partes do sistema, como efeito, ele apresente as mesmas características externas, ou as mais semelhantes possíveis. Assim, é possível, mesmo como estrutura semelhante, o ser humano, por exemplo, existir em uma série de locais distintos, com climas diferentes e ainda assim perpetuar sua existência como espécie. Como vimos, como os ambientes são diferentes, as características externas são semelhantes; existem algumas características inerentes a cada localidade e falaremos delas mais adiante.

Estabilidade

A palavra *estabilidade* é recorrente na nossa vida. Sempre buscamos a estabilidade. Muitas pessoas *vendem* a receita da estabilidade. Outras, seguem um estilo de vida que para elas, de alguma forma, permite *atingir* a estabilidade. Muitas vezes, estabilidade é entendida como um estado de *equilíbrio*, um ponto de média, uma condição ideal que se quer atingir, na qual não há nada para se modificar.

Porém, para os sistemas complexos, estabilidade e equilíbrio são conceitos distintos. Equilíbrio, para as ciências, são condições ideais nas quais os processos deixam de acontecer devido a não variação de uma determinada grandeza ou quantidade. Assim, por exemplo, o equilíbrio térmico é atingido quando todos os corpos ou sistemas estão a mesma temperatura; equilíbrio energético, a mesma quantidade de energia; equilíbrio químico, a mesma quantidade de reagentes e de produtos; equilíbrio estrutural, quando todos os sistemas estão reduzidos a átomos; e por aí vai.

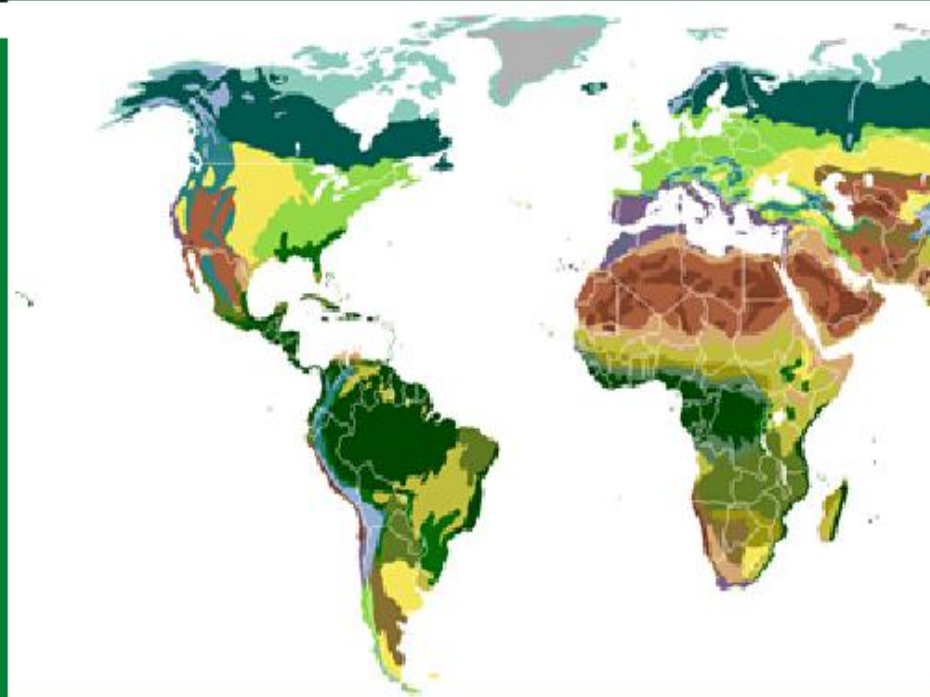
Assim, se olharmos por exemplo para uma árvore, um sistema complexo, vemos que ele funciona fora do regime de equilíbrio: A estrutura da árvore é complexa, formando todos os seus componentes, muito bem definidos, desde a raiz até as folhas, ela está em constante troca de nutrientes com o solo e com o ar; ela possui mecanismos de regulação térmica do local em que ela está plantada, garantido a permanência da espécie naquele local; a interação biológica que a árvore possui com os animais e com outras plantas é harmoniosa o suficiente para que possamos incluí-la em um ecossistema específico. Apenas quando a árvore morrer é que sua estrutura se desfaz; as reações químicas serão irreversíveis; não participará do processo de regulação térmica do ambiente por estar a mesma temperatura que ele; não garantirá nenhum processo de coexistência biótica: atingirá "vários" *equilíbrios*.

Estar fora do equilíbrio é uma característica inerente aos sistemas complexos: somente fora do equilíbrio é que há vida. Mas mesmo nesses estados fora do equilíbrio, um sistema complexo não assume qualquer um, ele assume aquele que lhe dá maior *estabilidade*, ou seja, maior garantia de funcionamento ou ainda, a melhor eficiência de funcionamento. Estabilidade então, para os sistemas complexos, é a capacidade de existir em condições fora do equilíbrio, capacidade garantida através da adaptabilidade dos sistemas complexos as suas vizinhanças.

Inter-relacionamento

Como vimos, os sistemas complexos são sistemas abertos e consequentemente trocam matéria, energia e informação com as vizinhanças e com outros meios. O conceito de inter-relacionamento abarca justamente essa capacidade: ao realizarem essas trocas, os sistemas passam a coexistir de forma harmoniosa e tendem a interagirem cada vez mais, se tornando indissociáveis.

Um **bioma** é um exemplo claro de como a atmosfera, a biosfera e o solo interagem entre si e como produto interpretamos um conjunto de características únicas, dos quais a pouca variabilidade de um deles é capaz de caracterizar um bioma novo, já que é capaz de alterar características inerentes a cada uma das três componentes, como é o caso da temperatura, da pluviosidade (ou seja, do quanto chove) e da altitude.



14

Biomas do Planeta, segundo a WWF Global/2020 (Abaixo e a direita, os biomas do

Polar	Floresta Mediterrânea de Bosques e Arbustos	Savana de Campo
Tundra	Floresta de Monção	Savanas
Floresta Boreal (Taiga)	Deserto & Clima Árido	Catinga
Floresta decídua temperada	Estepe de Arbustos semi-árida	Floresta Tropical
Estepe	Pampa	Tundra de Montanhas
Floresta Subtropical	Semi-Desértico	Floresta Montana



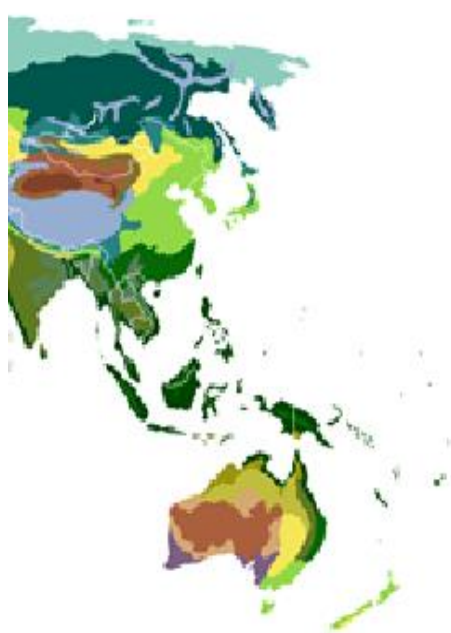
15

Bioma Amazônia, por Neil Palmer



16

Bioma Mata Atlântica, por Victor Santório



Brasil



20

Bioma Pampa, por Febozza



19

Bioma Pantanal, por Leandro Luciano



17

Bioma Caatinga, por Jógli Flicker



18

Bioma Cerrado, por Angela Paula

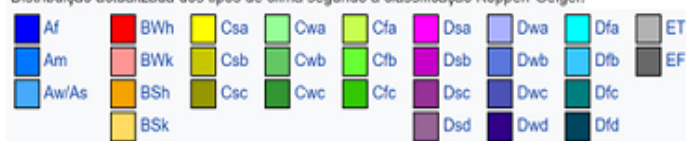
Se olharmos, por exemplo, para a **Classificação de Köppen-Geiger**, que utilizamos hoje para avaliar os climas mundiais, percebemos que o Brasil, possui uma variabilidade climática gigantesca, o que permite a presença de uma série de biomas distintos, com uma série de características próprias e que se relacionam entre si, o que nos permite mensurar, de alguma forma, a mudança dessas características.

Fronteiras Abertas

Ao observarmos um **mapa-múndi político**, uma das coisas mais curiosas que podemos pensar é: será que essas linhas que limitam os países realmente existem? Se eu chegar na divisa do Brasil com o Uruguai, será que existe um grande muro que separa os dois países? Como é possível que de um lado dessa linha se fale português e do outro, espanhol?

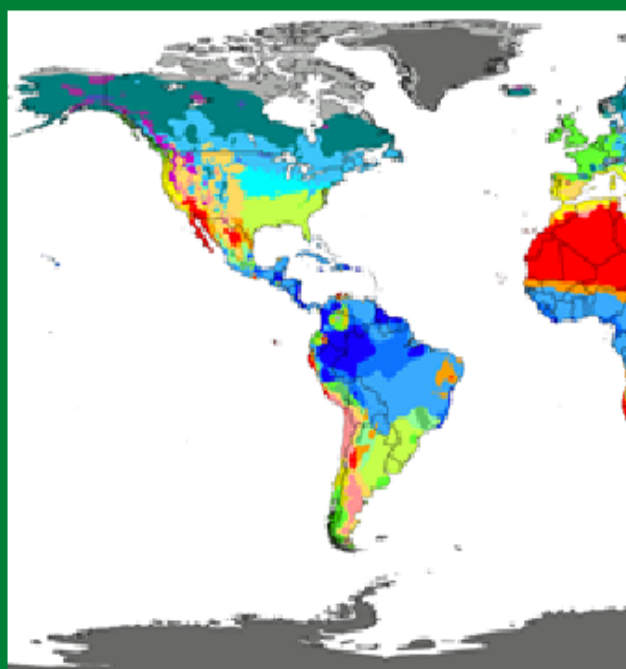
A ideia de limites é puramente humana. Por ser imprevisível a quantidade de influências sobre um fenômeno, tendemos a limitá-lo para que possamos estudá-lo. Mas em um sistema real, muitas das respostas podem não ser encontradas dentro de um ambiente controlado. Por que a América do Sul e a África, mesmo estando na mesma zona climática, têm relevos e climas tão diferentes?

Distribuição atualizada dos tipos de clima segundo a classificação Köppen-Geiger.



21

Classificação Climática



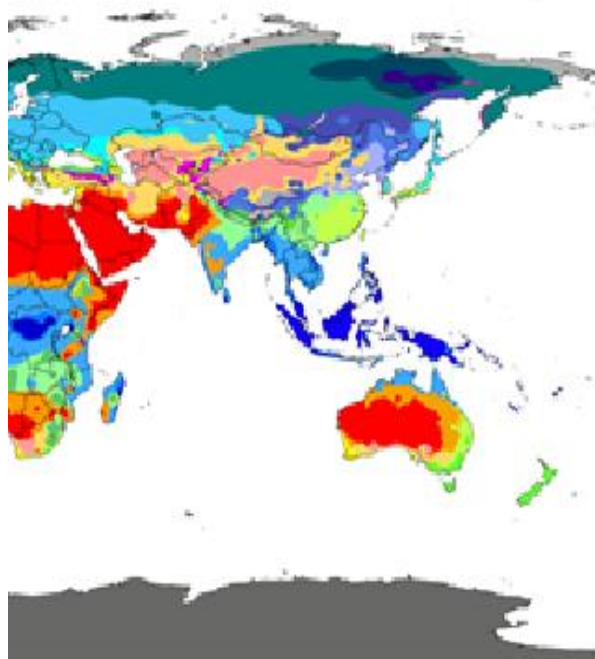


22

Mapa-múndi Político (cores fantasia)

Por que as estações no Hemisfério Norte são bem definidas e no Hemisfério Sul não? Por que Cuiabá, mesmo estando a quase 800m acima do nível do mar, é muito quente, enquanto as cidades próximas não são?

Clima de Köppen-Geiger



As respostas a esses questionamentos devem considerar as coisas como são de fato. Ou seja, os sistemas como partes de um sistema ainda maior, sistemas esses que interagem entre si e trocam matéria, energia e informação. Por exemplo, há evidências de que a areia do Deserto do Saara ajudou na fertilização do solo da Floresta Amazônica, sendo encontrada tanto no solo quanto no ar acima da floresta. Como seria possível entender esse Bioma sem entender suas relações com os outros?

o sistema nervoso, por ser um estímulo elétrico muito maior que o necessário para o funcionamento das funções humanas. Logo, há contração muscular involuntária, o que explica as pessoas ficarem “grudadas” na tomada. Ao mesmo tempo, nosso organismo é extremamente resistivo, impedindo o fluxo das cargas elétricas. Como efeito, é possível que haja queimaduras provenientes do choque elétrico, já que parte da energia que a corrente elétrica carrega é convertida em calor.

Assim, logo depois de levarmos um choque, nosso sistema aprende que *enfiar o dedo na tomada não é lá bastante benéfico assim...* e posteriormente passamos a evitar repetir o ato.

O mesmo vale para os sistemas naturais. Uma região possui uma determinada vegetação e um determinado clima por uma série de fatores interativos, como disponibilidade luminosa, umidade do ar, pressão e além. Se uma dessas características muda de forma permanente ou suficientemente longa, percebemos que todo o sistema se modifica para uma configuração que melhor garanta a subsistência do sistema, ou melhor, ele *aprende*, ao se adaptar as adversidades.

Frustração

Por mais interativo que os sistemas possam ser, eles não reagem a todos os estímulos que chegam até ele. Parece ser até paradoxal, já que se pontua tanto que os sistemas estão em constante interação. O que acontece é que mais de um estímulo recebido pode ter a ver com o mesmo processo interativo. Esses estímulos podem ser conflituosos, ou até antagônicos e, de forma a garantir a manutenção do sistema, algumas vezes, alguns desses estímulos podem ser ignorados.

Se pode pensar que os estímulos ignorados são específicos, mas não. Como as interações são diversas e o sistema está em constante interação, os estímulos frustrados são aleatórios, mesmo que a situação geral do sistema possa ser prevista.

Isso vale para a **relação quantidade de solo e oceano**. O hemisfério sul não tem estações definidas porque a variação de temperatura é muito pequena, devido a quantidade de água dos Oceanos ao redor dos continentes. Basta lembrar que a água tem grande capacidade térmica. E isso influencia na vegetação, que por sua vez, influencia na temperatura e as conexões vão se tornando cada vez mais intrincadas.

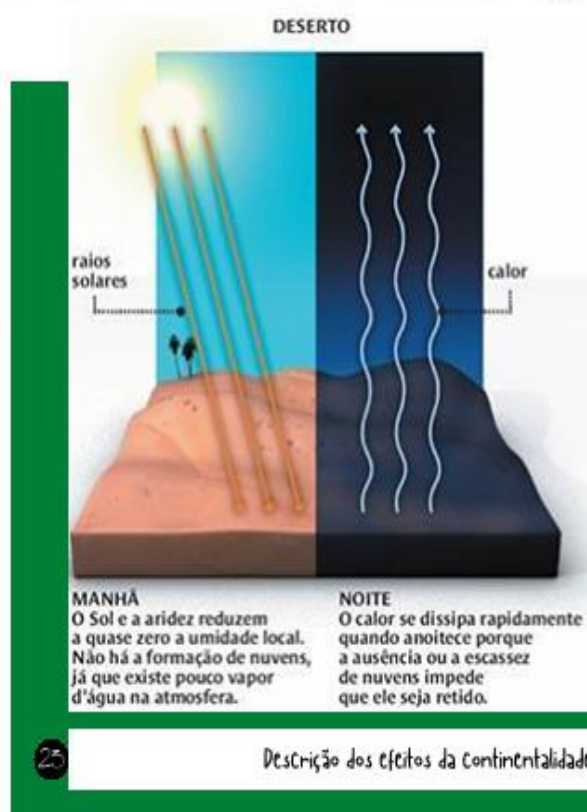
Evidentemente, sistemas complexos são sistemas abertos: não há limitações entre suas interações e possivelmente para a influência de um estímulo de um sistema sobre outro. Isso vale para o mapa-múndi: os limites definidos por aquelas linhas não são suficientes para limitar o intercâmbio cultural e a influência de sistemas sociais sobre outros, basta vermos a força da filosofia e cultura grega antiga sobre todas as grandes sociedades ocidentais até hoje.

Dinamicidade

Fundamental

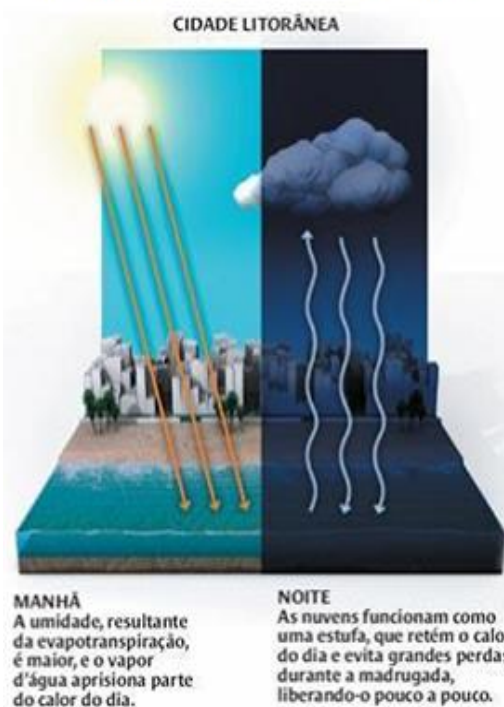
É fácil perceber que uma xícara de café quente tende a esfriar em contato com o ambiente, porém o corpo humano insiste em manter sua temperatura em qualquer ambiente. Porque é assim? Lembrando que as leis da Física são as mesmas para qualquer fenômeno térmico. Naturalmente, todo e qualquer sistema tende a encontrar um nível energético confortável, de forma a não haver

fluxos de nenhum tipo com suas vizinhanças. Se há excesso de elétrons, eles são distribuídos, se um corpo tem muita energia, ela é dissipada de alguma forma, se um corpo tem mais movimento que outro, essa quantidade pode ser perdida.



Sistemas complexos estão em constante interação com suas vizinhanças. Porém, ao mesmo tempo, estão interagindo entre suas constituintes, evoluindo, se modificando, assumindo novas configurações e como efeito macroscópico, estão sempre fora dos regimes de equilíbrio. Sistemas complexos não deixam de trocar matéria, energia e informação com o seu entorno e mesmo assim são estáveis, por possuírem uma dinamicidade fundamental, intrínseca a ele.

Isso significa que todo sistema complexo está em constante evolução, interagindo e reagindo a essas interações. Sua estrutura é coesa, estável, mas não porque ele parou de interagir ao encontrar um estado energético “confortável”, mas sim por que essa estabilidade é oriunda dos processos que permitem que o sistema funcione fora do equilíbrio.



(a esquerda) e da maritimidade (a direita)

Interatividade

O filme da Netflix *Black Mirror: Bandersnatch* (2018) gerou bastante discussão antes e depois de seu lançamento. Isso porque o filme emulava um dos grandes atrativos dos jogos de RPG, que é a possibilidade de escolher as decisões que o personagem que você controla vai realizar.

A cada situação, o telespectador poderia escolher entre as possibilidades de ação e ver o filme se modificar por completo, o que torna a experiência divertida, já que permite que a história possa ser revisitada diversas vezes, promovendo experiências diferentes em cada uma delas. Mesmo que

a experiência seja limitada, já que uma pessoa não vai sempre ter apenas duas opções, o filme é um excelente exemplo de como uma interação é capaz de modificar o sistema, o que torna a interatividade uma característica típica dos sistemas complexos.



24

O filme é bem divertido... Confial

Não precisamos ir muito longe para observarmos mais exemplos dos processos interativos, basta olharmos para nós mesmos. Uma reação alérgica, ou uma febre são exemplos de processos interativos do nosso corpo com determinadas substâncias ou outros organismos, o mesmo vale para os sentimentos que expressamos durante relações sociais ou individuais.

Se pararmos para pensar, todo e qualquer processo natural é interativo. Quem lê esse texto, está interagindo com ele, seja diretamente, ou indiretamente quando segura o objeto que o contém. Portanto, podemos concluir que a interatividade é inerente ao próprio processo de existir de qualquer sistema.

Aprendizagem

Quem nunca enfiou o dedo na tomada? *Eu não...*

A característica de aprendizagem dos sistemas complexos é literal: os sistemas aprendem. Aprendem quais são as interações que lhe propiciam maiores sucessos e aprendem quais não. Aprendem a não repetir processos maléficos e a aprimorar os processos benéficos.

Podemos reduzir essa característica a própria experiência de tomar um choque: a corrente elétrica, proveniente de uma tomada ao passar por nosso corpo, atrapalha

Frustração

Ao lermos a palavra *hierarquia*, logo pensamos nas **forças armadas e nas suas patentes**. Lá, quanto mais alto se está, maior é seu grau de importância. Ou podemos pensar em um **sistema monárquico**, tendo na figura do rei o indivíduo de maior importância, o *xadrez que o diga*.

Num formigueiro, assim como na colmeia, a formiga que identificamos como a rainha, não manda, nem tem regalias. Mas ela é de extrema importância para a manutenção da comunidade.

Classificação da Nobreza



Imperador e Imperatriz

Rei e Rainha

Príncipe e Princesa

Infante e Infanta

Arquiduque e Arquiduquesa

Grão-duque e Grã-duquesa

Duque e Duquesa

Marquês e Marquesa

Conde e Condessa

Visconde e Viscondessa

Barão e Baronesa

Baronete e Baronetes

Cavaleiro e Dama

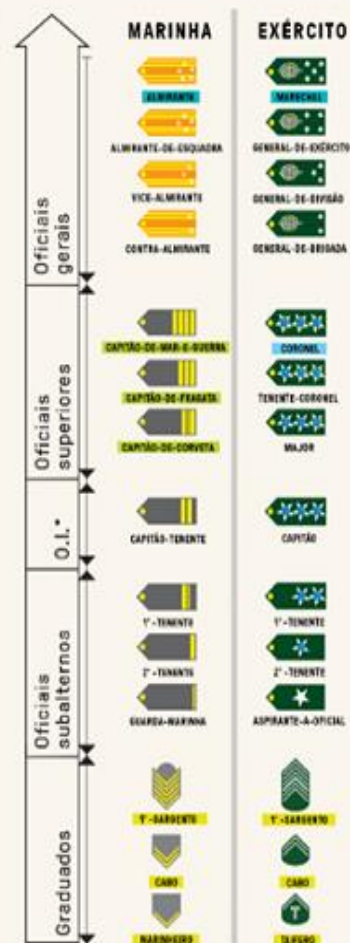
Escudeiro e Escudeira

Se uma formiga ou abelha morre, a comunidade continua, mas se a rainha morre, a comunidade deixa de existir.

A hierarquia nos sistemas complexos tem a ver como cada

nível desse sistema lida com o estímulo externo que ele recebe. Não tem a ver com grau de importância, mas sim com escala funcional. Uma célula fotossensível do nosso olho lida com a luz de forma a produzir uma resposta a essa interação. Porém o fenômeno da visão não é oriundo da interpretação de apenas uma célula e sim do conjunto.

O mesmo vale para o processo de bronzeamento, já que como efeito em outra escala da absorção de luz pelos



25

Quem veio primeiro: o doce ou a pa

26

Pensei que "torre" fosse um título...

AERONÁUTICA



melanócitos e consequentemente produção de melanina é que se produz o efeito da “pele queimada de sol”. É fundamental compreender que todo sistema complexo possui constituintes que por si só são sistemas complexos, tornando a estrutura do sistema intrincada: são sistemas dentro de sistemas e suas reações individuais, quando somadas, geram uma reação em uma escala acima que aparentemente não tem a ver com a reação de cada um dos componentes de forma isolada.

Auto-organização

É um exercício bastante imersivo ao mesmo tempo que intrigante o de se perguntar o porquê nós, seres humanos, somos assim. Por que nossa estrutura é essa e não a do animal que chamamos de cachorro ou gato? Melhor ainda, por que há tantas estruturas diferentes e todas elas possuem uma característica em comum, a vida?

Se olharmos apenas para nós, podemos ainda se perguntar: se todas as células possuem estrutura semelhante, como elas se especializaram e formaram determinados tecidos e estes determinados órgãos? O que faz com que esse amontoado de células se mantenha coeso?

tenente?

Uma característica própria dos sistemas complexos vivos é o que chamamos de auto-organização. Sistemas vivos se organizam de forma espontânea e a estrutura final, aquilo que definimos como ser humano, e que aprendemos a diferenciar de um cachorro ou de uma baleia é fruto de uma série de conexões entre esses microssistemas que compõe esse macrossistema, e das trocas constantes de matéria, energia e informação entre eles e com o meio externo, numa dinâmica que sempre mantém os sistemas vivos fora do equilíbrio.

Somos seres autônomos por sermos auto-organizantes. Nossa estrutura se adequa e se modifica para atender as demandas energéticas e as mudanças que ocorrem no meio circundante. Nós evoluímos, por sermos auto-organizantes. A auto-organização trata de uma dinâmica molecular, um processo que acontece na molécula e nas classes de moléculas que compõem as estruturas celulares, em uma interconexão que se retroalimenta e, por efeito, especifica as células, as estruturam e as interligam.

O ser vivo, afinal, é uma dinâmica molecular e não apenas um amontoado de moléculas e o ato de viver é o constante processo indutor dessa dinâmica, em uma configuração que permite que essa dinâmica se perpetue, ou seja, fora das condições de equilíbrio. É a auto-organização que propicia condições para que o ser vivo assim o seja, é uma forma de interpretarmos o conceito de vida.

Propriedades Coletivas Emergentes

Gatos e cães são ágeis, possuem um ótimo olfato e **escutam melhor que um humano**. Se compararmos, possuímos o mesmo número de narinas e orelhas que eles e não sentimos tantos cheiros ou ouvimos tantos sons quanto eles. Em contrapartida, somos seres pensantes que não dependem apenas de instintos para sobreviverem e graças a essa habilidade, fomos capazes de viver em sociedade, de produzir bens de consumo e evoluir tecnologicamente.

Se nos compararmos, vemos que existem pessoas que possuem uma habilidade musical que outras não tem, outras são ágeis, excelentes corredoras ou nadadoras, outras *não tem habilidade nenhuma*. Mas de onde vem essas habilidades? Se somos todos iguais, em termos estruturais, porque destoamos tanto uns dos outros?

Se formos avaliar a estrutura de um ser humano, possuímos todas as mesmas estruturas, alguns com mais de um tipo do que outros, mas ainda assim, isso não define se um indivíduo ou comunidade vai desenvolver determinada habilidade ou não.

O que se percebe é que algumas características qualitativas de um sistema complexo não têm origem em suas estruturas constituintes e sim nos processos interativos entre elas, ou de algumas dessas partes com o meio externo. Logo, não há razão em procurar em suas partes pelo que originou essas características, já que elas não estarão lá.



A consolidação da teoria dos sistemas complexos nos mostrou que esses sistemas

não podem ser compartimentalizados, já que *o todo é maior que as partes*. Há propriedades que só podem ser detectadas, estudadas ou medidas, quando avaliamos o sistema como um todo e são chamadas de propriedades coletivas emergentes. *Coletivas* porque se trata de uma propriedade de todas as constituintes do sistema e ao mesmo tempo apenas do sistema, e *emergentes* por só aparecerem durante os processos interativos. Nunca o ditado “*não julgue o livro pela capa*” fez tanto sentido...

Aleatoriedade

Essa característica é, literalmente o que o nome é, *aleatória*. Não a *característica*, mas *A* característica.

Se partirmos do ponto de vista cartesiano, o todo de um sistema pode ser entendido através de suas constituintes e pelas características dessas constituintes, não necessariamente integrando-as para isso. E, baseado no poder preditivo desse pensamento, é o mesmo que dizer que se eu misturar *açúcar, tempero e tudo o que há*

Faixa de frequência auditiva de humanos e animais



27

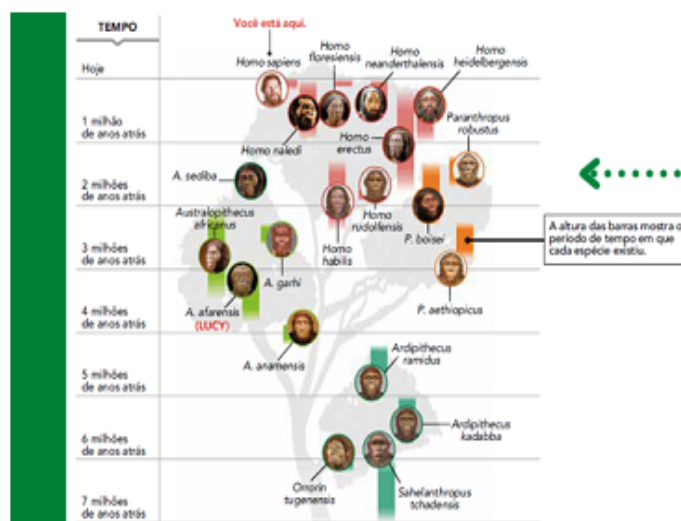
Pelo menos somos inteligentes ... (será?)

de bom, eu terei como produto *as meninas superpoderosas*. Em termos mais gerais: com uma série de características, que a princípio já são conhecidas, eu posso reproduzir quaisquer fenômenos, ao associá-las a determinados constituintes desse fenômeno que eu quero reproduzir.

Entretanto, sistemas complexos não funcionam assim. Mesmo sistemas semelhantes podem não possuir constituintes com características semelhantes, já que elas são distribuídas ao acaso. Isso significa que nenhum fenômeno é, em seu cerne igual ao outro, mesmo que qualitativamente, o que vemos é que sim. Na *média*, eles são parecidos, mas isso tem muito mais a ver com a forma com que seus constituintes se relacionam do que necessariamente compartilhar da *mesma receita*.

Um bom exemplo dessa aleatoriedade tem a ver com a própria evolução. Os seres que existem hoje são fruto de uma série de processos adaptativos que dependem de pequenas variações genéticas anteriores, estimuladas através de pequenas flutuações, ou melhor, mudanças do meio, e que passaram no teste da adaptação. Somos as **melhores versões de nossos ancestrais**, justamente por possuímos particularidades que eles não possuíam, mesmo sendo *iguais a eles*, particularidades essas que são distribuídas ao acaso e postas a prova.

ÁRVORE GENEALÓGICA: A LINHAGEM DOS HOMENS MODERNOS



28

Essa é a imagem que você mostra pro "amiguinho" que diz que viemos do macaco...

Outra forma de vermos a aleatoriedade como característica de um sistema complexo pode estar na forma como cada pessoa lida com um resfriado. Algumas são capazes de sozinhas, apenas com seus mecanismos de defesa, combaterem o vírus. Outras, demandam um auxílio externo, através de remédios, por exemplo.

Atratores

Relembrando: sistemas complexos não possuem relações diretas de causa e efeito. Isso significa que, dada uma condição inicial, não há certeza se ela se encaminhará para uma situação final específica, como se esperava nos processos deterministas do pensamento cartesiano. Então, como podemos avaliar um sistema complexo?

O pensamento cartesiano pauta suas análises na aplicação de equações, que traçam as características passadas e futuras de um fenômeno. Isso é possível pelo fato de que as relações cartesianas são lineares, onde uma variável influencia outra de uma forma bem determinada e limitada. Como vimos, as relações *complexas* são interrelações não lineares, de tal forma que uma variável pode influenciar um certo número de variáveis que por sua vez influenciam a primeira. Assim, as mesmas condições iniciais podem gerar panoramas futuros distintos entre si.

Mas, ao contrário do que se pensa, as evoluções de um sistema complexo não são completamente aleatórias, é possível estimá-las. Essa evolução pode ser visualizada em diagramas ou representações espaciais denominadas espaços de fase.

No espaço de fases são representados diagramas que podem ser considerados uma “foto” da evolução temporal do estado do sistema. Assim, em cada ponto desse diagrama, que representa um instante de tempo, é possível perceber um conjunto de características que definem o estado do sistema nesse instante.

Se estudássemos um fenômeno ideal, esse diagrama seria uma figura fechada, já que o diagrama repetiria, após determinado intervalo de tempo, as mesmas

configurações iniciais, o que significa que as variáveis se influenciam até um certo limite. No caso de um fenômeno complexo, a figura que representa a evolução do sistema não é simples e nem mesmo fechada, já que é improvável que em algum momento as configurações iniciais voltem a se repetir, devido a interdependência entre as variáveis.

Outra característica de um diagrama de espaço de fase são as posições que se repetem no tempo com determinada frequência. Essas posições podem ser interpretadas como pontos de estabilidade para o sistema, pontos em que ele poderia permanecer sem correr o risco de deixar de existir, ou que o gasto energético para permanecer ali seja o mínimo. No caso de sistemas cartesianos, essas posições são muito bem definidas e se repetem ao longo do tempo. Mas no caso de um sistema complexo esse não é o caso.

Devido a interdependência entre as variáveis, o sistema sempre evolui e encontra pontos de estabilidade que não se repetem, mas que temporalmente, ou seja, em intervalos de tempo calculáveis, são próximos o suficiente (no diagrama) para que possamos definirmos um padrão de evolução para o sistema. E a esses pontos de estabilidades damos o nome de *atratores*.

Assim, em sistemas complexos, os atratores sempre seguem esse padrão de *quase repetição* de suas posições de estabilidade, e formam os chamados atratores estranhos. O mais famoso é o que cunhou o nome para o *Efeito Borboleta*, o atrator de Lorenz, em homenagem ao meteorologista e matemático estadunidense, Edward Lorenz (1917-2008), que trata justamente de analisar as situações iniciais de sistemas complexos e ver a divergência de suas evoluções devido a pequenas modificações nessas condições, pautada diretamente na premissa da interdependência entre as variáveis gerarem padrões imprevisíveis, por suas relações serem não-lineares.



29

Atrator estranho que dá o nome ao efeito Borboleta
(hummm, me lembrou um bicho...)



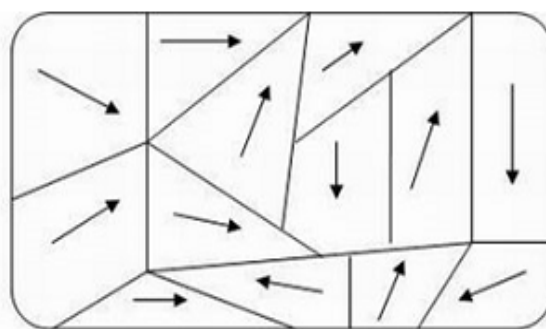
30

Edward Lorenz

Histerese

Apesar de não ser um exemplo tão evidente, é possível que você já tenha se deparado com ele: uma chave de fenda na qual o parafuso fica atraído, após você soltá-lo. Fisicamente dizendo, essa chave de fenda está imantada, ou sua composição é a mesma de um ímã, de modo que ela exerce influência magnética sobre outros materiais.

É comum que eletricitas e mecânicos coloquem um ímã dentro de sua caixa de ferramentas, de modo que após um tempo, todas as chaves que estão lá, adquiram propriedades magnéticas, e mesmo que o ímã seja retirado da caixa, elas permaneçam com essa propriedade. No material, o que acontece é que seus domínios magnéticos (que podemos definir, grosso modo, como regiões na qual a magnetização está em uma direção uniforme) desemparelhados passam a se alinhar, de acordo com a orientação das linhas de campo magnético do ímã, de modo que, como efeito macroscópico, esse material também se torne um ímã, mas artificial.

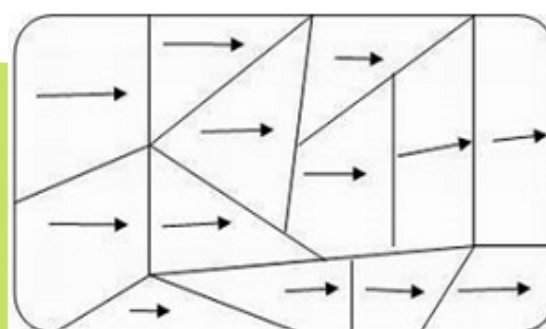


51

domínios magnéticos desalinhados = não-imã

Materiais ditos *ferromagnéticos* possuem uma facilidade de permanecerem com seus domínios magnéticos alinhados, ou seja, imantados, mesmo depois do campo magnético que os alinhou deixar de existir. Isso implica que esse material mantém as propriedades adquiridas mesmo depois que os estímulos que as geraram acabem, e a essa propriedade damos o nome de *histerese* e, *olha só*, é uma das características dos sistemas complexos: o estado de imantação é um estado de estabilidade para esse material, já que demandaria energia retornar ao estado estável anterior.

A variação de temperatura, umidade e vegetação durante as estações do ano pode ser entendida como um processo de histerese pelo qual o clima local passa. As variações de temperatura não são instantâneas ou abruptas e são necessários estímulos externos para que ocorram novamente, como o aumento ou a diminuição da disponibilidade de luz solar, influência dos oceanos e deslocamentos de massa de ar (devido a variação de pressão).



Direção do campo magnético aplicado

52

domínios magnéticos alinhados = imã artificial

Fractalidade e Autossimilaridade

Um das consequências do pensamento cartesiano é o conceito de dimensionalidade que possuímos hoje. Com a premissa de que todos os fenômenos e todos os constituintes da natureza sejam avaliados pelos construtos humanos, fez-se necessário dimensionar todos os objetos de estudo dentro das dimensões de geometria euclidiana conhecida, extremamente coerente e já consolidada entre a comunidade científica. Dessa forma, os fenômenos naturais estudados sempre são definidos em uma, duas ou três dimensões inteiras, e suas constituintes simplificadas a figuras geométricas já conhecidas, com propriedades conhecidas e possibilidades de simplificação.

É comum que eletricitistas e mecânicos coloquem um ímã dentro de sua caixa de ferramentas, de modo que após um tempo, todas as chaves que estão lá, adquiram propriedades magnéticas, e mesmo que o ímã seja retirado da caixa, elas permaneçam com essa propriedade. No material, o que acontece é que seus domínios magnéticos (que podemos definir, grosso modo, como regiões na qual a magnetização está em uma direção uniforme) desemparelhados passam a se alinhar, de acordo com a orientação das linhas de campo magnético do ímã, de modo que, como efeito macroscópico, esse material também se torne um ímã, mas artificial.



Daí vem a piada da **vaca esférica...**

Nenhuma *estrutura* complexa possui dimensão inteira. Se quisermos medir o volume de um humano, precisamos fazer uma série de aproximações, tornando-o um *conjunto de cilindros* de volumes bem definidos, que podem ser somados posteriormente. O mesmo para uma árvore, para um cachorro, para as limitações costeiras dos continentes, para uma folha, *para uma vaca*.

Benoît Mandelbrot (1924-2010), matemático francês, cunhou o termo que hoje usamos para todas as estruturas reais: *fractais*. Todo sistema real possui Fractalidade, ou seja, dimensões não inteiras, fracionadas, que levam em consideração todas as características que definem os limites, e consequentemente, a dimensão, dessas estruturas: ranhuras, buracos, vales reentrâncias, picos, deformações e tudo o mais que ajude a qualificar esses limites.

A matemática fractal, associada a essa nova geometria, é bastante complexa (aqui vale a intenção de difícil), mas o cálculo da dimensionalidade de um sistema complexo é **fácil de ser feito**.

$$d = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N_{\epsilon}}{\log (1/\epsilon)} \quad \begin{array}{l} N_{\epsilon} = \text{quantidade de segmentos} \\ \epsilon = \text{tamanho relativo de um segmento} \end{array}$$



Eu sei o que você está pensando...



Ainda, o avanço dessa área foi essencial para os desenvolvimentos dos efeitos especiais nas produções cinematográficas, já que muitos efeitos surgem da **computação baseada em geometria fractal**. Os padrões fractais, na matemática, surgem de padrões simples que são reproduzidos dentro de um algoritmo bem determinado, geralmente substituições geométricas, o que é chamado de **função iterativa**.



Essa vaca está na sua melhor forma!



57

Benoit Mandelbrot



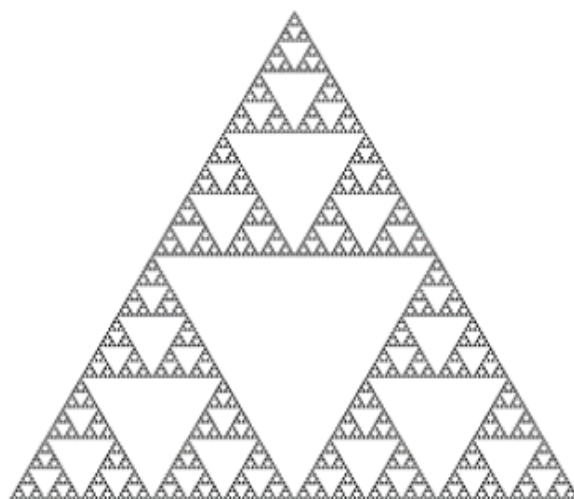
58

Cena do Filme "Doutor Estranho" (2022): fractais e vertigens em 3D

Exemplos de funções iterativas que geram objetos fractais são o **Triângulo de Sierpinski** (que possui perímetro tendendo ao infinito em uma área bem definida), o **Floco de Neve de Koch** e a **Esponja de Menger** (que possui volume tendendo a zero enquanto sua superfície tende ao infinito). Mas o que o advento computacional nos forneceu de muito importante na análise dos sistemas complexos a partir de fractais é que eles são invariáveis em escala.

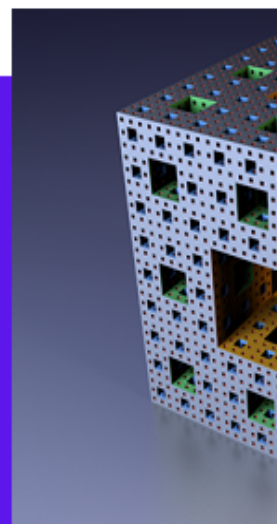
Isso significa que, se dermos um "zoom" numa estrutura fractal, suas constituintes são exatamente iguais ao todo, e de forma contrária, não saberíamos dizer se o que estamos avaliando é uma constituinte ou o todo de uma estrutura fractal, sem que haja uma referência externa. A essa característica foi dado o nome de *autossimilaridade*, e ela pode ser entendida como uma consequência da geometria fractal.

Em sistemas complexos reais, essa autossimilaridade não é infinita, já que as estruturas estão limitadas as suas próprias constituintes mais simples, os átomos, mas é possível **perceber autossimilaridade em algumas escalas**. E nem precisamos ir muito longe, **basta olhar pra uma árvore**: seu tronco se divide nos galhos principais, que se dividem em ramos secundários, esses em terciários e por fim as folhas. Outro exemplo que é lindo, mas que nos faz questionar se seria *prudente comê-lo*, é o **romanesco**, uma das mais lindas, e estranhas, estruturas fractais da natureza.



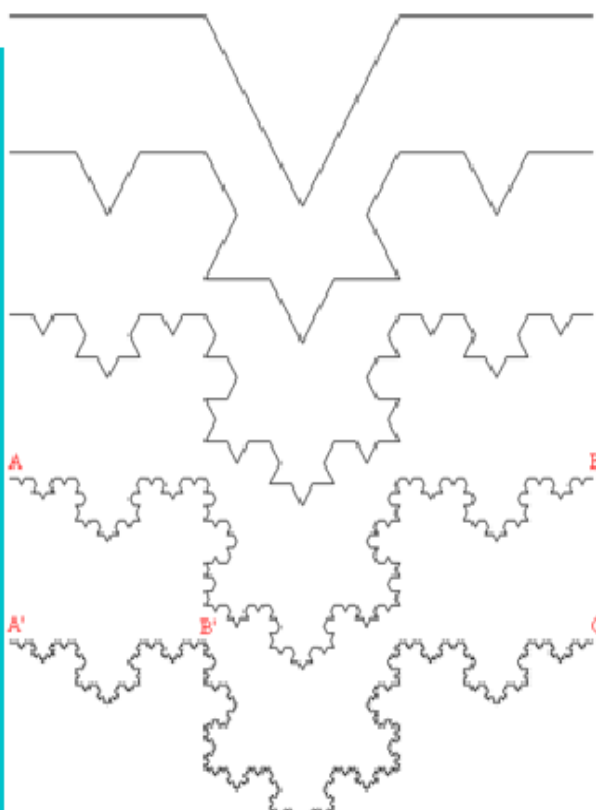
38

Triângulo de Sierpinski: perímetro infinito



40

Esponja de Menger: vol



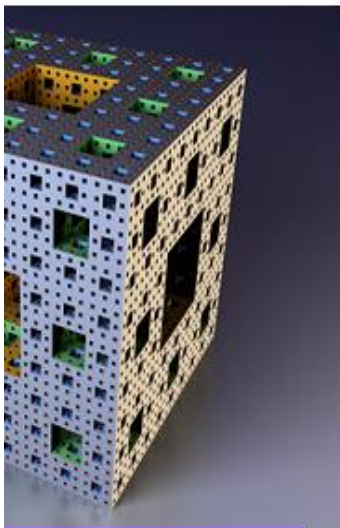
39

Floco de Neve de Koch: faça sua própria neve sem sair de casa!



41

Autossimilaridade presente



uma quase nulo



Brócolis Romanesco: o vegetal fractal



na estrutura de uma folha



Fractalidade na estrutura de um árvore

Bibliografia

CAPRA, Fritjof. A teia da vida: uma nova concepção científica dos sistemas vivos. São Paulo: Pensamentos, 1996.

DE PAULO, Iramaia Jorge Cabral; JORGE NETO, Miguel; DE PAULO, Sérgio Roberto. Introdução a Teoria da Complexidade. Cuiabá: EdUFMT, 2012.

JORGE NETO, Miguel. Física ambiental e teoria da complexidade: possibilidades de ensino na educação básica. Cuiabá - MT, 2009. 99f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

JUNIOR LEITE, Admilson. Um Ensaio Sobre a Teoria da Complexidade na Perspectiva de Fritjof Capra. Cuiabá – MT. 2017. (Trabalho de Conclusão de Curso), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

NUSSENZVEIG, Moysés. H. Complexidade & Caos. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2008.

TAVARES, Andréia. 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. 2011. 113f. (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Fontes das Imagens

- 1 - Revista Superinteressante. *O homem que revelou a geometria oculta da natureza*. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ciencia/entrevista-o-homem-que-revelou-a-geometria-oculta-da-natureza/>>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 2 - <https://br.freepik.com/fotos-premium/ramos-mortos-arvore-inoperante-da-silhueta-ou-arvore-seca-no-fundo-branco-com-trajeto-de-grampeamento_7880224.htm>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 3 - <br.pinterest.com/pin/378654281164197754/>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 4 - <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/218/cuiaba-mt.>>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 5 - HATALA, André. Frans Hals – Portret van René Descartes. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frans_Hals_-_Portret_van_Ren%C3%A9_Descartes.jpg> sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 6 - <http://www.phys.uu.nl/~vgent/astrology/images/newton1689.jpg>. Sir Issac Newton. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sir_Isaac_Newton_\(1643-1727\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sir_Isaac_Newton_(1643-1727).jpg)> sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 7 - MAULL, Henry; FOX, John. Charles_Darwin_seated.jpg. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charles_Darwin_seated_crop.jpg> sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 8 - http://www.sil.si.edu/digitalcollections/hst/scientific-identity/CF/group_by_name.cfm. Boltzmann Ludwig Dibner coll SIL14-B5-06a.jpg. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boltzmann_Ludwig_Dibner_coll_SIL14-B5-06a.jpg> sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 9 - Internet (Desconhecido).
- 10 - <<https://www.wikiart.org/pt/marcel-duchamp/nu-descendo-uma-escada-no-2-1912.>>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 11 - <<https://www.wikiart.org/en/salvador-dali/paranoiac-visage>>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 12 - Internet (Desconhecido).
- 13 - MAULL, Henry; FOX, John. Charles Alfred Russel Wallace Maull&Fox BNF Gallica.jpg. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alfred_Russel_Wallace_Maull%26Fox_BNF_Gallica.jpg> sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.

14 - PORSE, Sten. Vegetation-no-legend.PNG. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vegetation-no-legend.PNG>> sob domínio público. Acesso em: 11 mai. 2021.

15 - PALMER, Neil. Amazon CIAT (5).jpg. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amazon_CIAT_\(5\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amazon_CIAT_(5).jpg)> sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

16 - SARTÓRIO, Victor Oliveira Serra da Graciosa, de Curitiba a Morretes.jpg. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Serra_da_Graciosa_de_Curitiba_a_Morretes.jpg> sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

17 - FLICKR, Guilherme Jófili Parque Nacional do Catimbau - Pernambuco - Brasil.jpg. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parque_Nacional_do_Catimbau_-_Pernambuco_-_Brasil.jpg> sob CC BY-SA 2.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

18 - PAULA, Angela Morro cabeludo - Parque dos Pireneus - Pirenópolis - Goiás 01.jpg In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Morro_cabeludo_-_Parque_dos_Pireneus_-_Pirenópolis_-_Goiás_01.jpg> sob CC BY-SA 2.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

19 - LUCIANO, Leandro de Almeida Pantanal em Itiquira.jpg In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pantanal_em_Itiquira.jpg> sob CC BY-SA 2.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

20 - FEBOZZA, Estação Ecológica do Taim.jpg In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Estação_Ecológica_do_Taim.jpg> sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

21 - PEEL, M.C; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. World Köppen Classification (without labels).svg. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Köppen_Classification_\(without_labels\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Köppen_Classification_(without_labels).svg)> sob CC BY-SA 4.0. Acesso em: 11 mai. 2021.

22 - <<https://www.madeiramadeira.com.br/quadro-mapa-mundi-pinar-viagens-100x65cm-vintage-moldura-b-1016809.html>>. Acesso em: 11 mai. 2021.

23 - Internet (Desconhecido).

24 - Internet (Divulgação).

- 25 - <<https://super.abril.com.br/historia/como-reconhecer-a-patente-de-um-militar/>>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 26 - <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Predefinição:Classificação_da_Nobreza](https://pt.wikipedia.org/wiki/Predefini%C3%A7%C3%A3o:Classifica%C3%A7%C3%A3o_da_Nobreza)>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 27 - <<https://www.audiumbrasil.com.br/blog/audicao-e-deficiencia-auditiva/audicao-humana-comparada/>>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 28 - Internet (Desconhecido).
- 29 - DSCHWEN, Lorenz attractor yb.svg In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lorenz_attractor_yb.svg > sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 30 - <https://www.kyotoprize.org/en/laureates/edward_norton_lorenz/>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 31 e 32 - <<http://www.fisica.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=227>>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 33 e 36 - DE PAULO, Iramaia Jorge Cabral; JORGE NETO, Miguel; DE PAULO, Sérgio Roberto. Introdução a Teoria da Complexidade. Cuiabá: EdUFMT, 2012.
- 34 - Internet (Desconhecido).
- 35 - RAMA, Benoit Mandelbrot mg 1804-d.jpg. In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Benoit_Mandelbrot_mg_1804-d.jpg > sob CC BY-SA 2.0 fr. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 37 - <<https://www.cartoonbrew.com/vfx/film-made-insane-bending-buildings-doctor-strange-144770.html>>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 38 - ANDERS, Nol. SierpinskiTriangle.PNG In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SierpinskiTriangle.PNG> > sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 39 - SCHMIDTKE, Romero. Koch snowflake0192.png In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koch_snowflake0192.png > sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 40 - NIABOT. Menger-Schwamm-farbig.png In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: < <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Menger-Schwamm-farbig.png> > sob CC BY-SA 3.0. Acesso em: 11 mai. 2021.
- 41 - <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Exemplo-de-invariancia-de-escala-Desenhos-em-diferentes-escalas-conservam_fig1_264848008>. Acesso em: 11 mai. 2021.

42 - <<https://www.ime.usp.br/~pf/estruturas-de-dados/aulas/st-bst.html>>. Acesso em: 11 mai. 2021.

43 - LEIDUS, Ivar Romanesco broccoli (Brassica oleracea).jpg In: WIKIMEDIA COMMONS, a midiateca livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2014. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Romanesco_broccoli_\(Brassica_oleracea\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Romanesco_broccoli_(Brassica_oleracea).jpg)> sob CC BY-SA 4.0. Acesso em: 11 mai. 2021.