

Caos em Circuitos Elétricos: uma abordagem inicial

Chaos in Electric Circuits: an initial approach

LUCAS LINHARES MARINHO¹, JOSÉ GALÚCIO CAMPOS², MARCEL BRUNO PEREIRA BRAGA³, MINOS MARTINS ADÃO NETO⁴

¹Secretaria de Estado de Educação e Qualidade de Ensino do Amazonas, Rua Waldomiro Lustoza, 250, Manaus, AM, CEP 69076-830

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Av. Sete de Setembro, 1975, Manaus, AM, CEP 69020-120

³Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Física, Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200, Coroado I, Manaus, AM, CEP 69067-005

⁴Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Física, Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200, Coroado I, Manaus, AM, CEP 69067-005

Resumo

Neste trabalho apresentaremos um estudo sobre a abordagem do sistema caótico envolvido em circuitos elétricos não-lineares em atividades didáticas no Ensino de Física, através de simuladores online do tipo-applet. Elaboramos um sistema não-linear, com circuitos elétricos. Incluímos elementos como capacitores e resistores, no intuito de contextualizar o conceito de caos, incorporando-se um conteúdo que, a priori, não está inserido na matriz curricular do Ensino Médio. O simulador, chamado Falstad, servirá de recurso, como proposta da estratégia para introduzir conceitos de circuitos elétricos envolvendo sistema caótico e tentando tornar a aprendizagem mais eficaz e ativa através de gráficos e modelagens matemáticas provenientes deste simulador virtual. As atividades propostas serão baseadas na teoria construtivista de Jerome Bruner que tem como base os aspectos: o ensino por descoberta e a proposta de um currículo em formato espiral na qual o conteúdo é proposto de forma superficial e aprofundado de acordo com o aprendizado do aluno. Foram usados como instrumentos de coleta de dados um questionário, como diagnóstico a respeito do assunto, um pré-teste para medir o conhecimento a respeito dos assuntos envolvidos, uma lista de atividades baseada de acordo com o delineamento da aula e um pós-teste como avaliação. De modo geral, os resultados evidenciam um ganho médio normalizado de alto impacto para a proposta metodológica de ensino ($\langle g \rangle = 0,580$), com destaque para as evidências de uma efetiva compreensão sobre o conceito de Caos, sua interpretação no circuito elétrico de Chua, caracterizações e explicações diante a Teoria do Caos.

Palavras-chave: Sistemas Caóticos. Circuitos Elétricos. Ensino de Física.

Abstract

In this paper we present a study on the approach of the chaotic system involved in nonlinear electric circuits in didactic activities in Physics Teaching, through online simulators of the applet type. We elaborate a non-linear system, with electrical circuits. We included elements such as capacitors and resistors, in order to contextualize the concept of chaos, incorporating a content that, a priori, is not included in the High School curricular matrix. The simulator, called Falstad, will serve as a resource, as a proposed strategy to introduce concepts of electrical circuits involving chaotic system and trying to make learning more effective and active through graphics and mathematical modeling from this virtual simulator. The proposed activities will be based on Jerome Bruner's constructivist theory which is based on the following aspects: teaching by discovery and the proposal of a curriculum in a spiral format in which the content is proposed in a superficial way and deepened according to the student's learning. The instruments used for data collection were a questionnaire, as a diagnosis about the subject, a pre-test to measure the knowledge about the issues involved, a list of activities based on the class design, and a post-test as an evaluation. In general, the results show a normalized mean gain of high impact for the methodological teaching proposal ($\langle g \rangle = 0.580$), highlighting the evidence of an effective understanding of the concept of Chaos, its interpretation in Chua's electric circuit, characterizations and explanations of Chaos Theory.

Keywords: Chaotic System. Electric circuits. Physics teaching.

I. INTRODUÇÃO

May (1976) em seus estudos, para compreender a complexidade na dinâmica de população, apresentou um modelo matemático, extremamente simples, que se apresentou, mais tarde, um importante marco no estudo de sistemas caóticos.

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

Em circuitos eletrônicos simples, o circuito de Chua foi um dos primeiros a exibir um comportamento caótico clássico. Este tipo de circuito é feito de elementos passivos como o resistor, o capacitor e o indutor, devendo este atender a três critérios básicos: a) deve conter um ou mais elementos não lineares; b) um ou mais resistores ativos; c) três ou mais elementos de armazenamento energia. Uma versão mais simplificada do circuito de Chua, foi feito por Matsumoto (1984), que consistia em apresentar um atrator caótico em um circuito autônomo simples com um elemento não-linear.

Este artigo consiste na apresentação de um relato de intervenção com pesquisa realizado com uma turma do 3º ano do Ensino Médio de uma escola da rede pública da cidade de Manaus, no estado do Amazonas. A intervenção teve o fim de obter dados empíricos para construir e validar, contemporaneamente, uma sequência de atividades com cinco aulas, elaborada previamente. A temática física da qual versa a sequência de atividades é a Teoria do Caos abordando a pedagogia construtivista de Jerome Bruner.

Com efeito, aproveitando-se do conteúdo curricular circuitos elétricos, relativo ao 3º ano do Ensino Médio, coube mostrar como a dinâmica caótica pode emergir de um circuito formado por três componente: resistor (R), indutor (L) e capacitor (C); ou simplesmente circuito RLC.

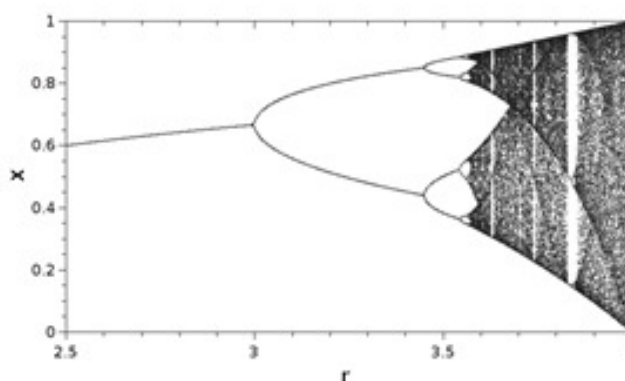


Figura 1: Modelo populacional para insetos, por May (1976).

Neste contexto temos o chamado caos determinístico (FOLLONI, 2016; MONTEIRO, 2002; PRIGOGINE, 2002).

O estudo da chamada física moderna e contemporânea, entenda-se a física do século XX em diante, vem se consolidando lentamente nas escolas do Brasil. Os cursos de formação inicial de professores de física ainda precisam adequar seus currículos para esta nova realidade. Entretanto, observamos que o número de oficinas, minicursos e palestras voltadas para discussão conceitual e metodologias mais indicadas para ensinar a física moderna na escola básica vêm aumentando bastante nos últimos dez anos.

A Teoria do Caos é ancestral, pois suas origens remontam no século XVII e XVIII, que, pelo enfrentamento do problema dos três corpos, na mecânica celeste, envolveu nomes como Laplace, Euler, Lagrange, Poincaré, entre outros (FIOLHAIS, 2011; MONTEIRO, 2002). Entretanto, sua concepção moderna aconteceu somente por volta da década de 1950, como resultado de desenvolvimentos em diferentes áreas do saber (FOLLONI, 2016). Neste entremeio, muito provavelmente, o nome mais proeminente em popularizar a Teoria do Caos tenha sido o do matemático norte-americano, Edward Lorenz, após observar que o sistema climático é de natureza caótica. Quem não se lembra do efeito borboleta?! (LORENZ, 1995).

É fato que os fenômenos caóticos nos rodeiam a todo instante. Adversamente a esta onipresença, o ímpeto em ensinar caos na escola básica ocupa posição marginal em relação à relatividade e à mecânica quântica; fenômeno este que carece de reflexão e investigação cuidadosa, excedendo, portanto, os limites do que convém a este artigo.

Resta observar, que os paradigmas ou tendências da inter, multi, transdisciplinaridade, adquiriam bastante força nas ciências humanas incluindo-se a educação após a década de 1970 (FOLLONI, 2016), e de igual modo o paradigma da complexidade, porquanto a leitura em massa das obras do pensador Edgar Morin, nos anos de 1990 e 2000 (MORIN, 2002; 2005).

O que estas tendências têm em comum? A postura intelectual de enfrentamento da realidade advinda das ciências naturais, em particular da física com a teoria do caos; e a utilização do vocabulário dessas mesmas ciências agora sendo transposto para o entendimento e a investigação das relações humanas individuais e em sociedade. A sociologia, dentre as demais ciências humanas, foi a que mais se apropriou dos conceitos inerentes às ditas teorias

da complexidade, na qual o caos é uma parte dela (FOLLONI, idem).

Como consequência dessas tendências, houve reformulações curriculares e metodológicas, além da reestruturação de algumas diretrizes dos programas de formação inicial e continuada de professores. À guisa de ilustração, aqui no Brasil, tivemos os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) e, atualmente, temos a nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC), como claros exemplos da influência destes paradigmas na educação.

Destarte o exposto, é digno de nota a capacidade conceitual integradora das diferentes disciplinas escolares favorecidas pelo estudo dos fundamentos da teoria do caos. É nessa perspectiva que julgamos salutar trazer do ostracismo a Teoria do Caos e viabilizar métodos adequados de ensiná-lo na escola básica.

II. BASE TEÓRICA

Os circuitos elétricos estão presentes diariamente em nossas vidas, sendo utilizados em residências, prédios comerciais etc. A desvantagem desta tecnologia utilizada há anos, sem sombra de dúvidas, é o impacto ambiental que causa. O desperdício de energia elétrica causa queima excessiva de combustíveis fósseis como carvão, gás natural e petróleo. O século XXI se destaca pela obtenção de energia por meio de fontes alternativas e que causam menos impacto ambiental, indicando assim, ser a forma de geração de energia do futuro.

Quando se fala em circuitos elétricos, entende-se o estudo dos componentes que compõem o mesmo, por exemplo, a função de um resistor, o papel de um capacitor, a função de um indutor, o papel da corrente elétrica, a função da bateria que alimenta o circuito, os tipos de circuitos utilizados na tecnologia, como o circuito integrado usados em chips de celulares *smartphones*.

Em adição, têm-se várias equações básicas que interpretam os componentes elétricos presentes em circuitos. Cada componente tem sua equação ou fórmula; e cada fórmula exhibe seu comportamento, que, em geral é linear. Sabe-se o que acontece com um resistor ôhmico, como, por exemplo: ele sempre é constante, à medida que sua diferença de potencial (ddp) aumenta, consequentemente sua corrente elétrica aumenta. O mesmo caso de linearidade serve para o capacitor, à medida que sua quantidade de carga aumenta, consequentemente sua ddp aumenta.

Por outro lado, quando se estuda teoricamente um circuito elétrico cujo modelo que o representa é não-linear, não se tem o mesmo resultado ou comportamento esperado, haja vista que as equações que governam o comportamento desse sistema são Equações Diferenciais Ordinárias (EDO).

Rebello (2000) destaca a necessidade de superar o baixo desempenho dos alunos em relação à compreensão sobre circuitos elétricos e suas aplicações. Conforme o mesmo autor, esse baixo desempenho se deve ao recorrente uso do modelo tradicional de ensino. É da praxe do modelo tradicional de ensino a não vinculação das disciplinas ao cotidiano do aluno. Isto, como sabemos, torna a disciplina de Física pouco atraente e desinteressante.

Preocupando-se com essa questão supradita, este trabalho defende que é importante envolver os alunos em um trabalho contextualizado com vistas a promover a reflexão e contribuir para a ocorrência de aprendizagens significativas associadas ao seu cotidiano.

Os PCN's (1998) - Parâmetros Curriculares Nacionais, destacam que os professores necessitam adequar o processo de ensino aprendizagem às exigências de formação de cidadãos críticos e propor atividades que incentivem o uso de novas tecnologias da comunicação e informação. É responsabilidade do professor a realização de atividades que contribuam significativamente para a compreensão dos conceitos da Física.

Através de nossas práticas cotidianas como docentes, compreende-se que tanto o interesse quanto a aprendizagem dos conteúdos de Física, em muitos contextos, estão aquém do que realmente desejam os professores.

Por conseguinte, entende-se que instigar nossos alunos em sala de aula por meio de atividades didáticas que favoreçam a aprendizagem por descoberta associadas ao alinhamento construtivo pode contribuir positivamente para o favorecimento das aprendizagens em Física.

I. Bruner e a aprendizagem por descoberta

Neste íterim, a teoria de aprendizagem de Jerome Bruner (BRUNER, 1976) baseia-se no método da descoberta, com base na ideia de que o conhecimento da estrutura das disciplinas exige a utilização das metodologias das Ciências que suportam as várias disciplinas do currículo. Logo, requer uma aprendizagem por descoberta que está relacionada com o modo como a metodologia está sendo empregada naquele determinado conhecimento pelo estudante.

Outro aspecto teórico importante de Bruner para a teoria da aprendizagem são os conceitos de prontidão (proatividade) e de aprendizagem em espiral. Essencialmente, pode-se entender prontidão como a base em que qualquer disciplina científica pode ser ensinada, em qualquer idade, genuinamente. Explicitamente se refere a desenvolver uma orientação para adaptar estratégias de ensino aos diferentes modos de ver o mundo em diferentes idades e não para selecionar ou excluir conteúdos ou conceitos (MARQUES, 2002).

O conceito de aprendizagem em espiral pode enunciar-se da seguinte forma: qualquer ciência pode ser ensinada, pelo menos nas suas formas mais simples, a alunos de todas as idades, uma vez que os mesmos tópicos serão, posteriormente, retomados e aprofundados mais tarde (BRUNER, 1976).

A teoria de Bruner relaciona a natureza e o nível da abstração dos conteúdos com os processos mentais que funcionam ou não num dado estágio, dando ênfase na parte específica qualitativa da compreensão das crianças em cada fase. O teórico considera que as crianças possuem quatro características congênitas, por ele chamadas de predisposições que configuram o gosto de aprender. São elas: a curiosidade, a procura de competência, a reciprocidade e a narrativa.

Durante o processo de ensino, Bruner destaca a aprendizagem por descoberta, através da exploração de alternativas, e o currículo em espiral, capaz de oportunizar ao aprendiz rever os tópicos em diferentes níveis de profundidade. Diante desse contexto, o ambiente ou conteúdos de ensino têm que ser percebidos pelo aprendiz em termos de problemas, relações e lacunas que ele deve preencher, a fim de que a aprendizagem seja considerada significante e relevante.

De acordo com a Figura 2, este método de ensino, coloca o aprendiz no centro do processo

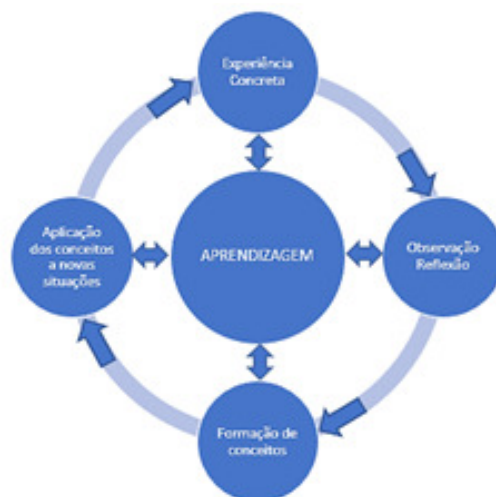


Figura 2: *Ciclo sobre aprendizagem por descoberta.*

de aprendizagem. Dessa forma, o estudante é capaz de formar novos conhecimentos a partir da experiência cotidiana, consegue também aplicar os novos conhecimentos em novas situações do cotidiano, gerando assim experiências concretas que resultam em observações e reflexões.

No sentido de caracterizarmos a compressão e a construção intelectual, necessitamos de professores e escolas qualificadas, sendo que os primeiros devem ser detentores de um conhecimento científico, didático e pedagógico para orientarem seus alunos na (re)construção de princípios e conceitos Físicos que por sua vez, encontram-se ao nosso redor.

II. Alinhamento Construtivo e a Taxonomia Solo

Para esclarecer como as atividades e o processo de ensino e aprendizagem foram guiados, escolheu-se o Alinhamento Construtivo. Ele fornece orientações práticas aos professores sobre como planejar suas aulas, levando em consideração a perspectiva dos estudantes, de tal modo a mantê-los engajados de forma produtiva (BIGGS; COLLIS, 1982). Outro foco do Alinhamento Construtivo é definir os resultados pretendidos de aprendizagem e estabelecer claramente como eles serão avaliados: quais habilidades, a que nível de complexidade e quais formatos de avaliação serão utilizados.

Assim, o Alinhamento Construtivo fornece aos professores técnicas que lhes permitem alinhar ensino e avaliação aos resultados pretendidos da aprendizagem, a fim de que o ensino requeira que os alunos se envolvam em atividades de aprendizagem que são projetadas para atingir os resultados, e a avaliação projetada para informar quão bem os resultados foram atingidos.

Para dar enfoque nos níveis de aprendizagens de cada estudante, nesse viés, pretende-se trabalhar com a Taxonomia SOLO¹. Ela foi desenvolvida a partir da concepção de que os sujeitos aprendem distintos conteúdos em estágios de complexidade ascendente e que mostram, em geral, a mesma sequência em diferentes tarefas; isso torna possível, a partir

¹ Structure of Observing Learning Outcome.

dos dados a que temos acesso, caracterizar de alguma forma os níveis de habilidades, ou ainda identificar a evolução de uma habilidade em tarefas particulares.

Biggs e Collis (1982) teorizam que os estágios possuem níveis de complexidade que determinam como o conhecimento está estruturado. Esses níveis são ascendentes, e dizem respeito às relações estabelecidas entre diversos elementos e o conteúdo apreendido. Para esses autores, no âmbito escolar podem ser identificados dois tipos de aprendizagem: a superficial e a profunda. Sendo a primeira forma de aprendizagem (superficial) um processo no qual o estudante reproduz em detalhe o conteúdo ensinado.

A segunda forma de aprendizagem (profunda) refere-se a um entendimento intrínseco sobre o conteúdo, e envolve processos de um nível cognitivo mais alto, a procura por analogias, relações com o conhecimento prévio, teorização sobre o que foi aprendido e derivações de extensões e exceções (BIGGS E COLLIS, 1982, p. 97).

Portanto, a proposta intitulada pelos autores, estabelece um sistema de categorização muito útil como ferramenta metodológica para pesquisas que avaliam aprendizagem. Sendo assim, a Taxonomia SOLO pode auxiliar o professor a descrever eficazmente o processo envolvido na pergunta e resposta de questões numa escala crescente de dificuldade ou complexidade. Pois, além de fornecerem parâmetros para analisar e classificar respostas, a Taxonomia pode ser utilizada para elaboração de questões em diferentes maneiras.

III. METODOLOGIA

Este relato de intervenção com pesquisa aconteceu em uma escola da rede pública da cidade de Manaus/Amazonas, cujos participantes foram os alunos de uma turma do 3º Ano do Ensino Médio (n=34). O professor de física da turma disponibilizou cinco tempos de aula para que fizéssemos a supradita intervenção.

A pesquisa que aqui se apresenta tem alcance descritivo e é do tipo qualitativo conforme as orientações de Godoy (1995), Gil (2010) e Richardson (1999). Os instrumentos de coleta de dados foram questionários estruturados, observação sistemática (GIL, 2010), bem como o uso de testes conceituais, na qual se utilizou análise de ganhos brutos e normalizados (HAKE, 1998) para avaliar o impacto na proposta de ensino.

Em adequação ao tempo concedido pelo professor da turma, elaboramos uma sequência didática em que utilizamos animações e simulações computacionais com software *Applet* e uma Interface Arduíno como recurso didático. O modelo pedagógico foi se modificando à medida que as aulas se sucediam. Portanto, iniciamos com o modelo tradicional, depois fomos favorecendo a participação do aluno cada vez mais em atenção às exigências do modelo construtivista de ensino.

IV. SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES DIDÁTICAS

Apresentamos, sinteticamente, as tarefas realizadas em cada uma das cinco aulas em que ocorreu a intervenção, assim como os objetivos pedagógicos estabelecidos. Vejamos, então:

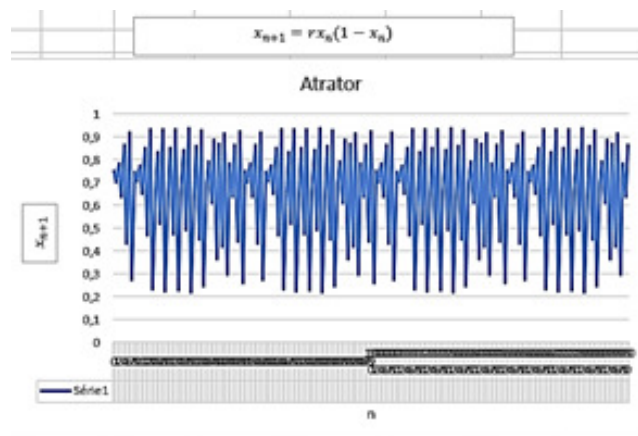


Figura 3: Gráfico de um atrator (x_{n+1} vs n).

I. Aula 1:

Nesta primeira aula fizemos os devidos esclarecimentos aos alunos da turma participante sobre do que se tratava a intervenção, como ela seria feita e qual o seu objetivo. Em relação à participação dos alunos nas dinâmicas propostas, dissemos-lhes que seria convertida em nota para composição da média bimestral.

A tarefa didática aqui consistiu em uma aula expositiva e dialogada, cujos objetos de aprendizagem foram as seguintes grandezas fundamentais para o estudo de circuitos elétricos: a corrente elétrica, a diferença de potencial, a resistência elétrica e a (ddp)/força eletromotriz.

Apresentamos, em adição, além dos circuitos elétricos lineares como de praxe, os não lineares, concomitantemente a representação matemática de cada um. Assim, tivemos uma função de grau um, para o circuito linear; e na ocasião, uma função de grau dois para o circuito não-linear.

A função pedagógica foi de reforçar e melhorar a qualidade conceitual relativa a essas grandezas e, porque não, de lançar alguma luz conceitual e matemática para aqueles que ainda traziam consigo dúvidas sobre o assunto.

II. Aula 2:

Pedagogicamente, esta volveu-se para determinação dos conhecimentos prévios sobre o comportamento caótico de sistemas físicos. Investigamos em duas frentes.

Na primeira, colocamos os alunos em contato com circuitos elétricos ôhmicos e não ôhmicos, sendo este não-linear, por meio de uma interface Arduíno que é um mini controlador usado em eletrônica. Cabe ressaltar que os circuitos já estavam prontos na interface utilizada.

Com efeito, apresentamos as partes componentes dos circuitos relacionando-as com as explicações da aula 1. E, para aguçar a curiosidade e manter a atenção da turma, fizemos uma simulação de um circuito elétrico não-linear, porém não caótico.

Ressalta-se que aplicamos um teste do tipo sondagem para investigar os conhecimentos prévios sobre sistemas caóticos. O teste era composto por três perguntas objetivas e três

subjetivas. O teste foi contextualizado de acordo com as aulas anteriores, embasado nas aulas ministradas, com questões de livro-texto e questões formuladas pelos autores. Os testes estão disponibilizados nos apêndices.

Ainda nesta aula, foi passada uma atividade para ser discutida na próxima aula para então perceber a diferença entre o que é aleatório e o que era um atrator, que se torna importante, sabendo que os alunos confundiam bastante a ideia de caos com aleatoriedade. A atividade consistia em construir um gráfico que representasse caos usando a plataforma do *office*, o Excel, sabendo que o professor deu toda a instrução para a realização da atividade e que fosse discutida tanto a parte matemática quanto a parte física daquele gráfico gerado.

Essa atividade, antes mesmo da aula sobre o caos ser introduzida, surtiu bastante efeito, uma vez que os alunos puderam discutir a parte Física e Matemática daquela equação que reproduz o caos de forma e simples e didática com o apoio do professor, assim, os alunos ficaram mais à vontade para relacionar e interpretar variáveis à medida que alteravam os parâmetros da equação (valores e variáveis). Diante desse gráfico, foi informado que apenas dentro de um intervalo de valores se conseguia gerar o caos, significando sensibilidades às condições iniciais de um sistema.

A finalidade foi introduzir o caos antes de apresentá-lo formalmente e pôr os alunos no centro da aprendizagem, com autonomia e favorecendo a troca dessa experiência de aprendizagem entre eles e entre grupos.

III. Aula 3:

Na terceira aula, usando-se do modelo tradicional de ensino, apresentamos os fundamentos da teoria do caos. A aula apresentada levou em consideração os fundamentos e contextualizações sobre a Teoria do Caos, como, por exemplo, o conceito/definição de caos, características do caos, como o caos é gerado (através de relações matemáticas), rota para o caos, exemplos do caos em diferentes áreas da Física (Sistema solar, Osciladores harmônicos, circuito elétrico de Chua). A cada situação contextualizada, era apresentada a imagem de um exemplo e dessa forma era contextualizada, sempre instigando e debatendo com a turma de acordo com as dúvidas que iriam surgindo no decorrer da aula. Os fundamentos do caos que foram abordados, foram o determinismo, a não linearidade, sensibilidade às condições iniciais, previsão a longo prazo impossível e a irregularidade no comportamento do sistema.

IV. Aula 4:

Na quarta aula, foram abordadas diversas simulações para medir o conhecimento a respeito do caos em simulações. Para tanto, os alunos utilizaram o *software applet*² em seus *smartphones*. Foi feito ao vivo com todos os alunos da turma a utilização do software, cada um com seu celular, sabendo que o software é de livre acesso e online podendo utilizar em tempo real.

Vale destacar que, no primeiro encontro com a turma, foram explicadas as etapas das atividades que seriam executadas. Foi apresentado e deixado salvo o link do *software online*

² <https://www.falstad.com/circuit/>

no celular de cada um. Por fim, ainda nessa aula, foram abordados diversos questionamentos sobre a utilização de alguns circuitos, sabendo que os circuitos já se encontram prontos para serem utilizados, estudados, analisados, tanto a ilustração do caos quanto o valor dos parâmetros de tal circuito (valor da corrente elétrica, tensão, resistência etc.). Até mesmo antes de discutir e apresentar, foi feita uma abordagem dos tipos de circuitos elétricos e com amplificadores operacionais, que são tipos de circuitos caóticos, discutindo os componentes que produzem caos no comportamento do sistema.

V. Aula 5:

Na quinta aula, foi administrado um teste final para verificar evidências sobre o nível de aprendizagem adquirida pelos alunos sobre sistemas caóticos. O teste era formado por seis questões objetivas e três subjetivas. O teste final foi embasado nas aulas anteriores e principalmente na quarta aula, abordando alguns circuitos caóticos oriundos do *software applet* e algumas questões apresentadas no teste de sondagem dos conhecimentos prévios, para então comparar as respostas durante o processo de ensino-aprendizagem (ver Tabela 1).

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando a participação de 34 alunos no trabalho ($n=34$), num primeiro momento foi aplicado em sala de aula um questionário (pré-teste) para verificar o conhecimento deles em relação aos assuntos ministrados somente através da aula tradicional em relação aos conceitos que foram abordados na revisão e na introdução de sistema não linear. Os alunos foram submetidos a esse pré-teste como sendo a avaliação para sondar o conhecimento a respeito do caos e de circuitos elétricos, instrumento avaliativo composto por (??) seis questões relacionadas aos conteúdos que seriam estudados no trabalho. O objetivo foi fazer um levantamento acerca do conhecimento adquirido pelos estudantes em relação aos conceitos envolvidos nas aulas introdutórias de circuitos elétricos. Além do mais, aqui foi explorada a Taxonomia SOLO para conseguir medir o grau de aprendizagem da turma e de cada aluno em relação aos níveis da Taxonomia que são 5 níveis, e foi inserido o Alinhamento Construtivo para esclarecer os resultados pretendidos de cada atividade aliada ao objetivo do trabalho.

Tomando a Tabela 1 como referência da avaliação do pré-teste, é possível comparar o número de estudantes que acertaram ou que erraram determinada questão e o conteúdo associado à questão. Ao verificar que o número de erros esta consideravelmente maior do que o número de acertos, entende-se que os alunos não possuam um conhecimento prévio sobre o assunto introdutório de caos, supostamente por não terem tido contato com o tema ou não desenvolvido uma aprendizagem capaz de assimilar seus fundamentos. Relacionado a isso, considera-se que o teste exerceu de modo pertinente a função avaliativa em que se propôs: sondar evidências relacionadas ao domínio dos alunos diante do conteúdo analisado (função diagnóstica). A questão 03, por exemplo, faz parte da aula prática onde os alunos que foram chamados à frente da sala de aula acabaram errando a questão por conta da provocação feita nela, pois pensaram que aleatoriedade se entendia como o caos.

Questão	Conteúdo de cada questão	Acertos	Erros
01	Conceito de Caos	09	25
02	Composição do Caos	07	27
03	Relação do Caos com os circuitos elétricos	06	28
04	Características de Caos	08	26
05	Aplicação da Teoria do Caos	09	25
06	Definição de Caos	10	24

Tabela 1: Dados obtidos no pré-teste.

A fim de demonstrar essas questões erradas pelos alunos e discuti-las a luz do construtivismo de Jerome Bruner, seguem algumas questões, como, por exemplo, a primeira pergunta: *O que você entende por caos?* A resposta que a maioria dos alunos deram, foi: *“Uma coisa aleatória, bagunçada etc”*. E essa resposta em relação à resposta correta, significa que não tem correlação alguma, e se pode dizer a respeito de Jerome Bruner, que essa resposta significa que o aluno ainda não tem uma experiência concreta com o conhecimento e que ainda não houve uma formação de conceitos, logo, se obtém esse resultado com uma discrepância nos conceitos e nas ideias e isso mostra que o aluno ainda não aprofundou nada de sua ideia. Levando em consideração a Taxonomia SOLO, esses alunos ainda estão num nível pré-estrutural, ainda estão sem entendimento, com falta de informações ou até mesmo informações irrelevantes.

Com relação a questão terceira questão, que tinha como propósito a relação do circuito elétrico apresentado pelo Arduino com o caos, foi feita a pergunta: *Você considera o circuito elétrico apresentado no Arduino um circuito caótico?*

A resposta da maioria dos alunos foi: *“Sim, podemos ver que a tensão elétrica se tornava aleatória conforme variava a intensidade da luz no LDR”*, uma outra resposta foi: *“Sim, porque o gráfico mostrado pelo circuito é totalmente aleatório”*. E se pode ver que há um termo em comum nas respostas, que foi a aleatoriedade, termo que não se faz presente na Teoria do Caos, e os alunos acabam confundindo, uma vez que o caos tem uma sequência de trajetórias. Então mais adiante vai ser mostrado o que foi feito de intervenção para que eles pudessem entender de fato os fundamentos e características do caos. E relacionando as respostas com a Taxonomia SOLO, os alunos ainda declaram um nível pré-estrutural, por consequência de formação de conceitos e da falta de experiência concreta com o conhecimento apresentado.

Verificando a tabela 1, percebeu-se que foi preciso intensificar e reforçar nas aulas respectivas os conceitos e fundamentos para não haver confusão de conceitos. Vale destacar que durante todo o processo, o aluno foi o centro da aprendizagem, deixando de ser orientado e passando a ser mais autônomo, responsável.

Destaca-se que no pré-teste aplicado, uma pequena parte dos alunos obteve aprovação. Dessa forma, ficou nítido que uma grande parte da turma desconhecia os conceitos aplicados por consequência da sondagem já discutida anteriormente, o que ocasionou essa grande reprovação. Sendo assim, foram desenvolvidos, em cima dessas dúvidas, outras atividades

como os circuitos elétricos virtuais, que fazem parte do simulador *applet online* de acesso livre, junto com as aulas contextualizadas e direcionadas acerca da Teoria do Caos. Então, se pode ver que os alunos ainda demonstram não ter praticamente qualquer ideia sobre o que é o caos e que ainda não aplicaram o conceito a nenhuma nova situação.

Antes de continuar o desenvolvimento da avaliação final (pós-teste), foi feita uma roda de conversa afim de colocar em prática o que todos responderam no pré-teste, e com isso, foram levantados diversos questionamentos acerca do caos, e o professor, como um mediador, fazia a ligação entre a situação e o conceito proposto pela sondagem da avaliação. Essa roda de conversa teve a finalidade de instigar mais ainda a formação de conceitos da Teoria relacionando-a com os circuitos elétricos e sanar as dificuldades apresentadas pelos alunos.

Para Melo e Cruz (2014) a roda de conversa tem como característica permitir que os participantes expressem, concomitantemente, suas impressões, conceitos, opiniões e concepções sobre o tema proposto, assim como permite trabalhar reflexivamente as manifestações apresentadas pelo grupo.

Também informamos os alunos com relação aos critérios que seriam utilizados na correção dessa avaliação, desenvolvida de acordo com a Teoria de Biggs e Collis. Vale ressaltar que a nota máxima atribuída a essa avaliação era 10,0 (dez) pontos e os dados obtidos nessa avaliação estão representados na Tabela 2.

Questão	Conteúdo de cada questão	Acertos	Erros
01	Conceito de caos	24	10
02	Noção de caos	21	13
03	Composição do Caos	20	14
04	Relação do Caos com circuito elétrico	23	11
05	Características do Caos	25	09
06	Definição de Caos	25	09

Tabela 2: *Dados obtidos no Pós-teste.*

Discutindo os resultados apresentados na tabela 2, pode-se observar que os estudantes ganharam mais sendo autônomos e levando o processo de construção de conhecimento com a utilização do *software* e do Arduino. Isso evidencia uma suposta predisposição dos conhecimentos adquiridos, tornando mais amplo e perceptível o espectro dos níveis de aprendizagem na qual o teste de sondagem explora. Agora, a maioria dos alunos atingiram níveis mais elevados de desempenho, a ponto de saber relacionar conceitos científicos, criar hipóteses, resolver problemas, embasados pela Taxonomia SOLO.

Pode-se considerar um aproveitamento e avanço da turma em relação ao processo de ensino-aprendizagem feito a partir das dificuldades que a turma abordava, com diversas atividades e avaliações contínuas ao decorrer das aulas. Isso pode fazer a mudança nas atitudes promovidas pelos alunos quando são colocados como o centro de aprendizagem, tornando-os mais autônomos e fazendo com que eles apliquem esses conceitos já apresentados a novas situações, o que gera de acordo com Jerome Bruner uma nova experiência concreta a partir das observações e reflexões feitas pelos próprios alunos.

Diante da mudança na aprovação que foi visível, são apresentadas a seguir as questões e suas respostas respectivamente. A primeira pergunta consistia sobre o que você entendeu por caos. Justifique. E a resposta foi: *“É um sistema que tem uma regra de evolução temporal definida e se torna imprevisível com o tempo”*, uma outra resposta foi: *“É uma relação de desordem que torna o sistema imprevisível diante das condições iniciais”*. Já se pode ver a mudança no linguajar e formação de conceitos apresentadas pelos alunos, a partir dos fundamentos apresentados a eles quando não se entendiam o porquê tal comportamento de um circuito se tornava totalmente estranho (atrator) mas não se tinha o conhecimento para explicar o motivo.

As respostas mostram que os alunos aumentaram seu nível de aprendizagem para o nível relacional e até mesmo para o último nível, abstrato estendido, o que causa um grande avanço na aprendizagem desses alunos. De acordo com Jerome Bruner, sua teoria visa o construtivismo. Relacionando todo esse processo com as atividades apresentadas pelos alunos, se conseguiu ter uma construção desses conceitos por parte dos alunos a partir dessas ideias e experiências concretas, aplicando então esses conceitos defasados que eles possuíam a novas situações, o que torna o aluno ser autônomo e detentor do seu próprio conhecimento. E, assim, o aluno já demonstrou aprofundamento da formação desses conceitos generalizando hipóteses, o que Jerome Bruner refere como aprendizagem em formato espiral: conforme o aluno vai aplicando seu conhecimento a novas situações, ele vai aprofundando seu conhecimento.

Outra pergunta que foi apresentada aos alunos em relação aos circuitos elétricos, foi: Com base no circuito de Chua, retirado do simulador *online applet Falstad*, explique o caos abordado. E a respostas dos alunos foram: *“O caos abordado no circuito é devido a um ruído causado por uma pequena perturbação causado pelos próprios componentes utilizados, sendo capacitor, resistor, indutor e os amplificadores operacionais. Conforme a tensão aumenta, a corrente elétrica do sistema tende a ficar mais caótica e imprevisível de se obter”*, e uma outra resposta foi: *“O caos é devido aos parâmetros de controle apresentados nos circuitos, como os amplificadores, o diodo que também é um componente não linear, causando essa irregularidade no comportamento da corrente elétrica”*, e por último, uma outra resposta apresentada por um aluno: *“O parâmetro de controle do resistor, tornava o caos imprevisível, por causa da sensibilidade do valor inicial que se escolhia. Isso mostra a propriedade fundamental do caos, formando os atratores, esses gráficos estranhos”*.

Essas respostas já apresentam o nível abstrato estendido da Taxonomia SOLO, o que significa que os alunos tiveram um grande avanço em relação ao pré-teste, e que agora eles já conseguem generalizar, teorizar, criar hipóteses, e, de acordo com a Teoria de Jerome Bruner, esses alunos já conseguem ser os detentores do seu próprio conhecimento, reforçando nas suas ações e aplicando esses conceitos a novas situações, para assim então construir uma aprendizagem.

Através dos dados apresentados na tabela 2, uma boa parte dos estudantes que demonstravam literalmente não saber ou ter dificuldades nesses conteúdos com a aplicação do pré-teste, ao longo do projeto tiveram a oportunidade de estudar de um modo diferente, consequentemente aprender e testar seus conhecimentos adquiridos por meio das atividades propostas com exclusividade do uso das simulações.

Entendemos que podemos melhorar o resultado dos estudantes, que ainda apresentam

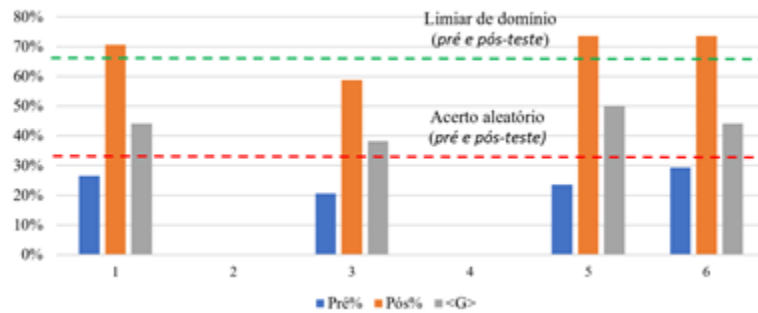


Figura 4: Comparação entre Pre%, Pós% e o Ganho Bruto $\langle G \rangle$.

dificuldades. Para isto, podemos incluir nessa sequência de atividades, atividades extras para complementar o ensino e aprendizagem, na qual essas atividades extras podem ser aplicadas no turno contrário.

É importante destacar que o pré-teste e o pós-teste são instrumentos não totalmente correspondentes entre as questões 02, 03, 04 e 05, ou seja, correspondem a traços latentes distintos. Sendo as questões 03 e 05 do pré-teste, e as questões 02 e 04 do pós-teste, exclusivas de cada instrumento. Entretanto, dentro de uma análise interpretativa, pode-se afirmar que o desempenho das questões 01 no pré-teste se relaciona a questão 01 do pós-teste, a questão 02 do pré-teste se relaciona com a questão 03 do pós-teste, e as questões 04 e 06 do pré-teste são idênticas as questões 05 e 06 do pós-teste. Dessa forma, para uma análise comparativa coerente, serão consideradas somente as questões consideradas correspondentes, ou seja, corrigindo seria as questões 01, 03, 05 e 06 do pós-teste, correspondente as questões 01, 02, 04 e 06 do pré-teste.

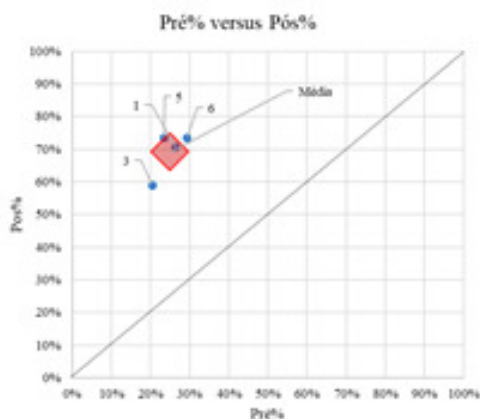
Diante das diferenças, é fato que o pós-teste ao incluir questões relacionadas a interpretação esquemática dos circuitos elétricos, pode variar o nível de dificuldade, dificultando em uma comparação direta devido a heterogeneidade. No entanto, devido na essência os instrumentos avaliarem fundamentos da Teoria do Caos e considerando essas diferenças, entende-se que podemos comparar diferença de escores entre o pós-teste (Pós%) e o pré (Pré%), observando o ganho bruto ($\langle G \rangle$) através da relação (HAKE, 1998):

$$\langle G \rangle = \text{Pós\%} - \text{Pré\%} \quad (2)$$

Considerando as zonas de acerto aleatório no percentual de respostas (BRAGA, 2018), a questão 01, 02 e 05 sendo abertas, e, portanto, dicotômicas. As questões 03, 04 e 06 de múltipla escolha ($k=5$), pela correção de correspondência, ao considerar as questões 01, 02, 04 e 06 do pré-teste (corrigido) temos um *guessing* de: $2 \times (0,5) + 2 \times (0,2) = 1,4 \approx 2$ acertos (33,3% do teste). Recomenda-se que o ideal para o limiar de domínio sendo a metade entre o valor máximo (ou seja, 100%) e a porcentagem de puro acerto ao acaso ("*guessing*") (THOMPSON; LEVITOV, 1985), com isso temos para o pré-teste 66,7%. Para o pós-teste, as questões abertas foram 01 e 04, e as de múltipla escolha sendo a 02 (considerando 1 alternativa correta: $k=4$), e a 03, 05 e 06 ($k=5$), com isso, pela correção de correspondência, ao considerar as questões 01, 03, 05 e 06 do pós-teste, temos o *guessing* de pós-teste (corrigido) de: $1 \times (0,5) + 3 \times (0,2) = 1,1 \approx 2$ acertos (33,3% do teste). Com isso, o limiar de domínio para o pós-teste será 66,7%.

O gráfico (Figura 4) mostra efetivamente que os alunos no pré-teste absolutamente não dominam e se encontram na zona de acerto aleatório para o teste e para todas as questões. Entretanto, após a intervenção de ensino, mesmo considerando as mudanças nas questões e dificuldades nas habilidades cognitivas com relação as peculiaridades das novas questões, observa-se o alcance de domínios nos itens 01, 05 e 06 (50% do teste), ou seja, alcançando o limiar de domínio para o pós-teste. Pode-se afirmar que a questão 03 também teve um ganho expressivo ($\langle G \rangle = 0,38$), apesar de não alcançar o limiar de domínio. Isso representa evidência de eficiência no tratamento adotado aos estudantes. Segundo Hattie (2012), a aprendizagem visível ocorre a partir de impacto de 40%, fato observado para o ganho bruto nesses itens, reforçando que as escolhas metodológicas de ensino foram promissoras para o avanço do aprendizado para a aquisição dos fundamentos na Teoria do Caos, na delimitação preestabelecida nos instrumentos de observação.

Numa comparação mais direta sobre o pré-teste e pós-teste, podemos observar o gráfico Pre% versus Pós% com uma média consideravelmente acima da divisória com média de ganho bruto de 44%.



(a)



(b)

Figura 5: Gráficos de comparação de desempenho médio entre o Pré% e Pós% (a esquerda) e do ganho normalizado (a direita).

Para uma análise mais precisa sobre o impacto do ensino, podemos explorar “fator de Hake”, na qual se refere ao ganho normalizado $\langle g \rangle$. Hake (1998) definiu o ganho normalizado médio: “como uma medida aproximada da eficácia de um curso na promoção da compreensão conceitual” (HAKE, 1998, tradução livre), sendo expresso como:

$$\langle g \rangle = \frac{\langle G \rangle}{\langle G_{\text{máx}} \rangle} = \frac{\text{Pós\%} - \text{Pré\%}}{100\% - \text{Pré\%}} \quad (3)$$

Podemos observar que de modo geral houve um ganho médio normalizado de alto impacto ($\langle g \rangle = 0,580$), segundo Hake. O destaque para as questões 01, 03, 05 e 06, reforçam a análise anterior na qual se afirma o alcance do limiar de domínio para praticamente todas essas questões. Os resultados afirmam que o perfil médio de desempenho dos estudantes remete a uma compreensão satisfatória sobre o conceito de caos (questão 01: $\langle g \rangle = 0,600$) e sua interpretação na observação direta no esquema de circuito de Chua para a geração

de Caos (questão 03: $\langle g \rangle = 0,519$). Também demonstram domínio na caracterização explícita sobre o caos dentro de circuitos elétricos (questão 05: $\langle g \rangle = 0,577$), bem como na explicação sobre a Teoria do Caos (questão 06: $\langle g \rangle = 0,625$).

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, consideramos que os objetivos almejados para o trabalho foram alcançados, pois, utilizando as ferramentas educacionais empregadas, tais como a estrutura da sequência de atividades desenvolvida, o uso das simulações, animações, o auxílio dos slides, os vídeos, atrelados à metodologia desenvolvida, foi possível desenvolver uma aprendizagem mais fortemente baseada na perspectiva construtivista.

O trabalho de fato, junto com os dados coletados, mostrou que ele contribui no processo de ensino-aprendizagem para melhor eficácia dos estudantes na área da eletricidade e além disso, permite conhecer uma parte da Física que não é abordada no ensino médio, que é o sistema não linear atrelado aos circuitos elétricos, a partir de exemplos do cotidiano com uso de ferramentas computacionais, já que o recurso didático facilita a aprendizagem e se dispõe de uma metodologia potencialmente significativa, uma vez que ela substitui a aula tradicional e traz um novo olhar para o estudo. Além de aprender a parte da Física que não é imposta para o Ensino Médio, o trabalho busca mostrar também a importância desse contexto envolvendo Sistema não linear com outras Ciências, como o caso da Biologia, o clima, a matemática envolvida, o tráfego de trânsito e a Engenharia. Sendo assim, incrementamos em mostrar a interdisciplinaridade envolvida da Física com os temas abordados anteriormente, dando ênfase na importância e na relação existente entre eles.

O papel diferenciado do professor nesta proposta também foi um fator de relevância dentro do processo. Na realidade, o professor teve a função de um mediador entre o conhecimento e os alunos, tentando ao máximo que eles dominassem as situações por si só, de modo a incentivar o desenvolvimento autônomo e a arte de pensar, fazendo interferências em momentos cruciais da aprendizagem, buscando contribuir com a produção de materiais didáticos de fácil acesso e gratuitos em plataformas digitais como instrumento de apoio na prática metodológica.

Sendo assim, finalizamos com o intuito de tornar a proposta aqui apresentada em dados conclusivos quanto à eficácia para o ensino de Física, mais precisamente a compreensão dos conceitos fundamentais da Teoria do Caos. Não defendemos na proposta de intervenção aqui sugerida que o professor utilize apenas uma metodologia como fórmula e segredo de sucesso. A versatilidade e a sensibilidade do professor dirão quais os melhores métodos e soluções para cada situação cotidiana de sua sala de aula.

Visto que essa sequência de atividades com o uso das simulações e atividades alusivas mudou totalmente a visão dos alunos em relação ao método tradicional (transmissão-recepção) onde a aula ficou mais dinamizada e mais eficiente e conseqüentemente mais proveitosa. Essa proposta visa a inserção de conteúdos não explorados no Ensino Médio, para que o aluno tenha um conhecimento a mais da Tecnologia aliada ao seu cotidiano, uma vez que o conteúdo visa abordar a realidade do aluno.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a agência brasileira de fomento CAPES.

REFERÊNCIAS

- BIGGS, J.; COLLIS, K., *Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy*. New York: Academic Press, 1982.
- BRAGA, Marcel Bruno Pereira. *Escala de Proficiências em Concepções Térmicas: Diagnóstico Psicométrico de Estudantes em Portugal e Brasil*. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra (Portugal).
- BRASIL, *Parâmetros Curriculares Nacionais. Ensino Médio*. Brasília: Ministério da Educação, 175 p., 1998.
- BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Linguagens, Códigos e Suas Tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002. 84p.
- DE MELO, Marcia Cristina Henares; DE CARVALHO CRUZ, Gilmar. Roda de conversa: uma proposta metodológica para a construção de um espaço de diálogo no ensino médio. *Imagens da Educação*, v. 4, n. 2, p. 31-39, 2014.
- FIOLHAIS, Carlos. Problema dos três corpos e caos. *Gazeta da Matemática*. n. 163, p. 35, 2011.
- FOLLONI, André. *Introdução à Teoria da Complexidade*. 1a Ed., Curitiba: Juruá, 2016.
- GIL, A. C., *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. São Paulo: Atlas 1995.
- GLEICK, James. *Chaos: making a new science*. 5a ed., New York: Penguin Books, 2008.
- GODOY, Arilda Schmidt. Pesquisa Qualitativa: Tipos Fundamentais. *Revista de Administração de Empresas*, p. 20-29, 1995.
- HATTIE, John. *Visible learning for teachers: Maximizing impact on learning*. Routledge, 2012.
- HAKE, Richard R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American journal of Physics*, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998.

LORENZ, Edward Norton. The Essence of Chaos. 1a Ed., Washington: University of Washington Press, 1995.

MARQUES, Ramiro. A Pedagogia de Jerome Bruner. Disponível em: http://www.eses.pt/usr/ramiro/docs/etica_pedagogia/A%20Pedagogia%20de%20JeromeBruner.pdf; Acesso em 23/03/2022, v. 20, 2002.

MATSUMOTO, T (1984) IEEE Transactions on Circuits and Systems. IEEE. CAS-31: 10551058.
MAY, R. M., (1976) Nature **261**, 459.

MONTEIRO, Luiz Henrique Alves. Sistemas Dinâmicos. 2a ed., São Paulo: Livraria da Física, 2002.

MORIN, Edgar. Os Sete Saberes Necessários à Educação do Futuro. 2a ed., São Paulo: Cortez, 2000.

MORIN, Edgar; LISBOA, Eliane. Introdução ao Pensamento Complexo. 5a ed., Porto Alegre: Sulina, 2005.

PRIGOGINE, Ilya. As Leis do Caos. 1a ed., São Paulo: Unesp, 2002.

REBELLO, A.P., RAMOS, M.G. Estudo de circuitos elétricos básicos por meio de uma unidade de aprendizagem: percepções de alunos do ensino médio. VII ENPEC. Florianópolis. nov. 2000.

Ressonância e Caos num Circuito RLC em Serie. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=1645643>>. Acesso em 22/01/2019.

THOMPSON, Bruce; LEVITOV, Justin E. Using Microcomputers to Score and Evaluate Items. Collegiate Microcomputer, v. 3, n. 2, p. 163-68, 1985.

VALERIO, Luis Renato. Dinâmica Não-Linear e Caos: O Circuito de Chua. Trabalho de Conclusão de Curso em Física. Universidade Federal de Alfenas. Minas Gerais, 2014.

YAMAMOTO, Issao; BARBETA, Vagner Bernal. Simulações de experiências como ferramenta de demonstração virtual em aulas de teoria de física. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 23, n. 2, p. 215-225, 2001.

A. PRÉ-TESTE

ATIVIDADES PROPOSTAS

PRÉ-TESTE

Aluno(a): _____

Professor: Lucas Marinho Série: _____ Data: ____/____/____

1. O que você entende por caos?

2. O que você acha que gera o caos?

3. A relação do caos com os circuitos elétricos estudados é devida:

- (a) aos diversos conjuntos de comportamentos estranhos providos de parâmetros de controle como, por exemplo, a corrente elétrica estar linear em função da tensão.
- (b) à Linearidade da corrente alternada.
- (c) ao Determinismo.
- (d) À Linearidade dos componentes elétricos (resistor ôhmico, tensão contínua).
- (e) Relação de desordem nos comportamentos da corrente elétrica e das tensões (Não linearidade envolvida nos parâmetros de controle).

4. A partir dos circuitos elétricos abordados, diga as características do caos:

- (a) Sensibilidade às condições iniciais e a Não linearidade.
- (b) Sensibilidade às condições iniciais; a Não linearidade; Determinismo; Manutenção da irregularidade no comportamento do sistema e a Previsão a longo prazo impossível.
- (c) Probabilística; Linearidade e a Não sensibilização às condições iniciais.
- (d) Linear e a Previsão a longo prazo.
- (e) Não linearidade e probabilística.

5. Você considera o circuito elétrico RLD (Resistor-Indutor-Diodo) apresentado no Arduino em sala de aula um circuito caótico? Justifique.

6. Dentre as novas abordagens das teorias organizacionais, pode-se identificar a Teoria do Caos. Sobre essa teoria, indique a alternativa que contém a afirmação mais pertinente.

- (a) Grande parte dos fatos, mesmo os mais estranhos, podem ser previstos pelos cientistas em função dos atratores, que permitem que sejam identificados os principais estágios futuros de um sistema.

- (b) O caos, na verdade, é produto de uma ordem superior, onde grandes efeitos são causados em função da falta de lateralidade do universo.
- (c) Para a ciência moderna, os fenômenos deterministas constituem a grande maioria dos eventos naturais.
- (d) O estado de equilíbrio, o determinismo e a causalidade linear são casos comuns e majoritários em um universo evolutivo.
- (e) Para a Teoria do Caos, a desordem, a instabilidade e o acaso no campo científico constituem a norma, a regra, a lei.

B. PÓS-TESTE

PÓS-TESTE

Aluno(a): _____

Professor: Lucas Marinho Série: _____ Data: ____/____/____

1. O que você aprendeu sobre o caos? Justifique.

2. Marque a(s) alternativa(s) correta(s). O circuito de Chua é um:
 - (a) Circuito elétrico linear.
 - (b) Circuito elétrico com Previsão a longo prazo impossível de comportamento.
 - (c) Circuito elétrico que apresenta comportamento caótico.
 - (d) Circuito elétrico linear de comportamento caótico
3. Com base no circuito elétrico de “Vilnius” visto no simulador *online Falstad*, mostrado abaixo, o mecanismo que levou ao caos (o que gerou) foi:

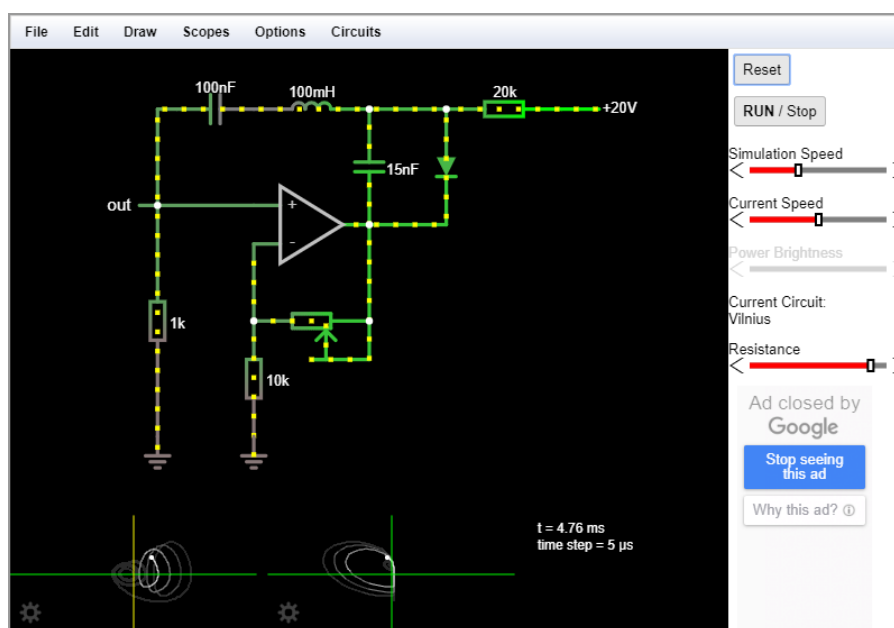


Figura 6: Circuito de Vilnius. Fonte: <https://www.falstad.com/circuit/>

- (a) Linearidade da corrente elétrica em função da diferença de potencial.
- (b) As mesmas frequências.
- (c) O processo de esticar e dobrar (irregularidade no comportamento do sistema e a previsão a longo prazo impossível).
- (d) Devido ao circuito ser um exemplo de linearidade.
- (e) O Determinismo.

4. Com base no circuito de “Chua” retirado do simulador *online Falstad*, explique o caos abordado, conforme mostrado na imagem a seguir.

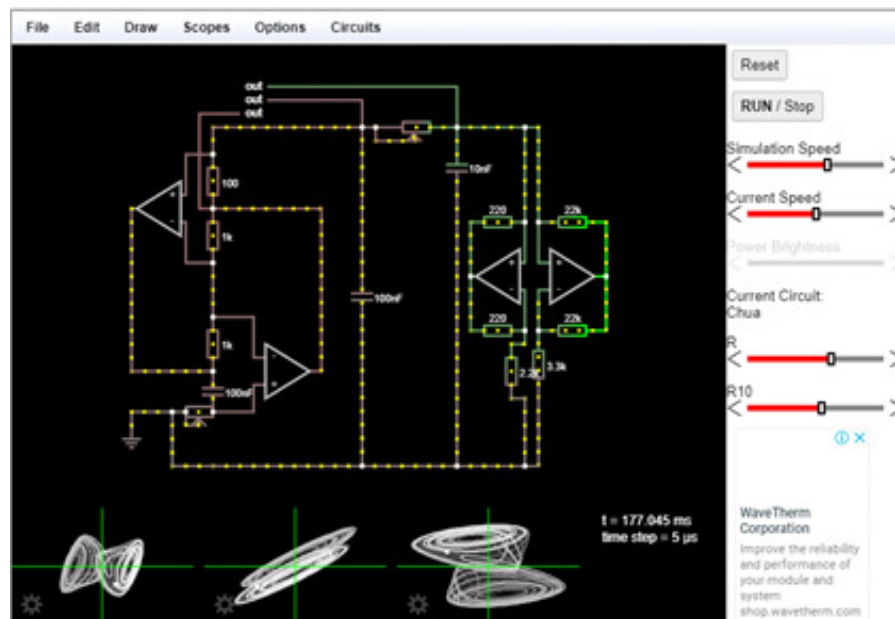


Figura 7: Circuito de Chua. Fonte: <https://www.falstad.com/circuit/>

5. A partir dos circuitos elétricos abordados, diga as características do caos:
- Sensibilidade às condições iniciais e a Não linearidade.
 - Sensibilidade às condições iniciais; a Não linearidade; Determinismo; Manutenção da irregularidade no comportamento do sistema e a Previsão a longo prazo impossível.
 - Probabilística; Linearidade e a Não sensibilização às condições iniciais.
 - Linear e a Previsão a longo prazo.
 - Não linearidade e probabilística.
6. Dentre as novas abordagens das teorias organizacionais, pode-se identificar a Teoria do Caos. Sobre essa teoria, indique a alternativa que contém a afirmação mais pertinente.
- Grande parte dos fatos, mesmo os mais estranhos, podem ser previstos pelos cientistas em função dos atratores, que permitem que sejam identificados os principais estágios futuros de um sistema.
 - O caos, na verdade, é produto de uma ordem superior, onde grandes efeitos são causados em função da falta de lateralidade do universo.
 - Para a ciência moderna, os fenômenos deterministas constituem a grande maioria dos eventos naturais.

- (d) O estado de equilíbrio, o determinismo e a causalidade linear são casos comuns e majoritários em um universo evolutivo.
- (e) Para a Teoria do Caos, a desordem, a instabilidade e o acaso no campo científico constituem a norma, a regra, a lei.