

LUCAS LINHARES MARINHO

## **Uma Abordagem do Sistema Caótico em Circuitos Elétricos Usando Simulação no Ensino Médio**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação Polo 4 IFAM/UFAM no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:  
**Prof. Dr. Mínos Martins Adão Neto**

## **RESUMO**

### **Uma Abordagem do Sistema Caótico em Circuitos Elétricos usando Simulação no Ensino Médio**

Lucas Linhares Marinho

Orientador:

Prof. Dr. Minos Martins Adão Neto

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Polo 4 UFAM/IFAM no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

# Sumário

1. Apresentação do professor.....	5
2. Proposta do trabalho .....	7
3. Metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho .....	8
4. O uso de simulações no Falstad no ensino do Sistema Caótico .....	11
5. Descrição dos Simuladores, simulações utilizadas e acesso aos simuladores .....	11
6. Roteiros de Atividades.....	48
6.1 Aula 1.....	55
6.2 Aula 2.....	55
6.3 Aula 3.....	55
6.4 Aula 4.....	55
6.5 Aula 5 .....	56
7 Referências	95

## 1. Apresentação do professor

Caro Professor,

Este Guia de Atividades é proposto para o ensino dos conceitos e fundamentos sobre a Teoria do caos que estejam envolvidos em circuitos elétricos para alunos do 3º ano e tem como principal característica a realização de atividades de ensino e aprendizagem com o auxílio de diversos recursos tecnológicos didáticos interativos que são os simuladores online do tipo applet, porém, apenas um deles se dará ênfase neste guia, mas os demais estarão inclusos neste guia a fim de complementação de ideias. O simulador online applet chamado “*Falstad*” usado para a proposta. O applet significa um pequeno software que executa uma atividade específica, dentro (do contexto) de outro programa maior (como por exemplo um *web browser*), geralmente como um Plugin, ou seja, próprio para o conteúdo de circuitos elétricos. Em sua estrutura encontramos uma sequência de atividades, constituída por uma sucessão planejada de atividades progressivas e articulada entre si, na forma de roteiros (guias). Esta sequência de atividades propõe um novo desafio pedagógico o “ensino por descoberta” baseado na Teoria de Jerome Bruner.

Segundo Bruner (1963) o ensino apresenta o aluno como foco principal, chamando-o de ensino por descoberta, contudo é importante destacar que as atividades de ensino que serão desenvolvidas com base nessa modalidade de construção do conhecimento, serão auxiliadas pela teoria do Alinhamento construtivo e Taxonomia solo, uma vez que a Taxonomia articulada com o Alinhamento Construtivo servem para alcançar os objetivos com o resultado da aprendizagem, distinguindo cada nível alcançado pelo aluno.

Bruner (1976) destaca que a aprendizagem por descoberta propõe duas concepções centrais e importantes acerca do ensino que é a aprendizagem por descoberta, através da exploração de alternativas, e o currículo em espiral, capaz de oportunizar ao aprendiz rever os tópicos de 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 significativa e relevante.

Em 2003, John Biggs apresentou a teoria entre o ensino e os métodos de avaliação com ênfase no processo de aprendizagem dos alunos, denominada “Alinhamento Construtivo”, essa teoria é fundamental para promover o desenvolvimento de

competências nos alunos, melhorando a qualidade do ensino-aprendizagem e preparando-os melhor para o seu futuro. Ela destaca que a formulação de questões e a procura de respostas é reconhecida como sendo fundamental no desenvolvimento e na aplicação de competências centrais pelos alunos, tais como o pensamento crítico e reflexivo, ou a resolução de problemas. Um aspecto importante caracterizado no alinhamento construtivo destaca que o conhecimento é ativamente construído, tendo em vista que a perspectiva de ensino é centrada nos estudantes.

A Taxonomia SOLO, teoria de Biggs e Collis (1982) considera que os indivíduos aprendem um novo conhecimento através de estágios ascendentes que envolvem estruturas cognitivas cada vez mais complexas. Em cada estágio há uma estrutura comum, que representa níveis de complexidade. Essa teoria 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 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.

Portanto, com base na Taxonomia SOLO o objetivo é colocar os alunos em um nível diferente de conhecimento científico, ou seja, no nível relacional, pois no modelo metodológico adotado para o desenvolvimento desta sequência didática, os alunos são colocados no centro do processo da aprendizagem, dessa forma os roteiros elaborados para as aulas, possibilitarão que os alunos construam os conceitos e princípios da física sendo que o embasamento está no que estes já trazem de seu cotidiano e experiência de vida.

Os roteiros desenvolvidos para as respectivas aulas foram elaborados, segundo a Teoria do Alinhamento Construtivo e a Taxonomia SOLO, na qual as atividades propostas estão alinhadas construtivamente. É importante destacar que nesse processo o professor leva em consideração o que os alunos serão capazes de fazer depois de terem passado pelas atividades propostas e que não eram capazes de realizar anteriormente.

Nesse contexto o objetivo desse material é proporcionar aos alunos momentos para a construção de conhecimentos, através da introdução de simulações prontas e outras a fazer no estudo dos conceitos da Teoria do Caos. Na estrutura de cada roteiro desenvolvido, encontramos as atividades que serão executadas pelo professor, as atividades a serem desenvolvidas pelos alunos que são respectivamente as atividades de ensino e aprendizagem e atividades de avaliação.

No roteiro também destacamos objetivos pretendidos da aprendizagem, os conteúdos a serem discutidos nas aulas, os recursos utilizados e uma descrição detalhada da aula. A estrutura desse material tem como propósito tornar mais eficiente o processo de ensino e aprendizagem.

Nesse viés, pretendemos que nosso Guia de Atividades possa contribuir com o professor no planejamento e na execução de suas aulas sobre os conceitos do Sistema Caótico em circuitos elétricos não lineares para alunos do 3º ano do Ensino Médio.

Em relação às simulações desenvolvidas no simulador *Falstad* e as atividades de ensino e aprendizagem constantes neste material, afirmamos que as mesmas pretendem possibilitar uma análise criteriosa, motivacional e desafiadora em relação aos de caos e circuitos elétricos, sendo possível explorar, conceito de (caos, características do caos, mecanismo para o caos e a relações dele com os circuitos elétricos não lineares) e intervir quando necessário, estimulando debates, confrontos com concepções alternativas dos alunos, além de ampliar a socialização na sala de aula, através da relação entre alunos/alunos e/ou alunos/professores.

Além do simulador anterior descrito, temos também outros simuladores extras a fim de complementar no guia de atividades desse trabalho. Os outros são semelhantes, porém, são mais amplos no sentido do manuseio e reprodução para o ensino em sala de aula.

Nota-se um intenso crescimento no que diz respeito ao uso de computadores, softwares educacionais e internet nas aulas de Física como recursos das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para auxiliar na aprendizagem, e melhorar as estratégias de ensino.

Vale lembrar que o simulador é de livre acesso e fácil de se usar, uma vez que já se tenha o conhecimento prévio de circuitos elétricos e Sistema caótico.

## **2. Proposta do Guia de atividades**

Desenvolvemos um estudo sobre o uso de simulações com o simulador *Falstad* no ensino dos conceitos da Teoria do caos e suas relações com os circuitos elétricos com os estudantes do 3º ano do ensino médio, e como suporte complementar, apresentaremos umas simulações extras, com o propósito de conhecer o papel das simulações na aprendizagem destes conceitos e identificar as dificuldades apresentadas pelos estudantes durante as atividades. No desenvolvimento da sequência didática os conceitos físicos que

serão discutidos podem ser explicitados pelo estudante por meio do uso de atividades de simulações que contenham estes conceitos.

A proposta aqui feita permite estudar fenômenos de difícil observação em sala de aula, ela apresenta como base o desenvolvimento de atividades estruturadas e guiadas através de roteiros que serão utilizados no desenvolvimento das aulas. As atividades de ensino planejadas com o uso do computador e smartphone executadas, devem promover a participação ativa dos alunos que discutem as mesmas ideias e devem responder às perguntas em condições essenciais para que ocorra sua aprendizagem e conseqüentemente consigam relacionar os conceitos dos conteúdos abordados entre si e futuramente com outros conceitos físicos.

No que diz respeito as atividades planejadas para o aluno, destacamos o seu comprimento de modo integral e individual, porém em relação as atividades com o uso do computador ou até mesmo com o smartphone, seja de forma individual ou em grupo, propostas aos estudantes de acordo com os roteiros das aulas. Ressaltamos que as mesmas podem ser realizadas individualmente ou em grupos com a mediação do professor para as orientações.

Destacamos que o professor pode desenvolver integralmente essa sequência de atividades na própria da sala de aula, acessando o simulador online *Falstad* no computador disponibilizados pelos estudantes ou ainda smartphone. Além do mais, pode acessar aos demais simuladores inseridos aqui neste guia como simulações complementares.

O desafio principal é como os professores de física podem tirar proveito de uma inovação digital com este pequeno software online *Falstad*, com o objetivo de melhorar as suas aulas e criar ambientes na qual a construção e avaliação dos modelos dos alunos seja verdadeiramente incentivado e estimulado ao conhecimento. Sendo assim, a sequência de atividades terá como foco somente o simulador *applet Falstad*. Os demais simuladores, fica a critério do professor que irá reproduzir a sequência, podendo incrementar mais conhecimento com os outros simuladores.

### **3. Metodologia utilizada no desenvolvimento da sequência de atividades**

O objetivo dessa sequência de atividades é modificar no aluno sua postura no ambiente de sala de aula, ou seja, deixar a postura de mero receptor de informações ou copista, para alguém com autonomia para construir o seu conhecimento, seja ele ativo,

pois os conteúdos sobre os conceitos de Sistema Caótico e circuitos elétricos estão interligados e disponíveis nas simulações propostas e o aluno por sua vez, já traz consigo ideias do seu cotidiano, que podem ser consideradas nesse processo, como, por exemplo, as aulas já discutidas e comentadas durante a abordagem do conteúdo visto. Destacamos que as atividades a serem realizadas têm como objetivo, dar auxílio ao aluno no processo de construção do seu conhecimento, deixando o método de transmissão e recepção e focando assim no método construtivista como segue a Teoria do Ensino por descoberta de Bruner.

O uso de simulações no simulador *Falstad* nas aulas de física possibilita que o aluno construa o seu conhecimento sobre os conceitos de sistema caótico envolvendo circuitos elétricos, apresentados em sala de aula, partindo da observação de um dado fenômeno, seja ele o comportamento dos parâmetros que estão num dado circuito que está presente na simulação e seguindo um ciclo de atividades organizadas hierarquicamente, considerando os objetivos educacionais e o alinhamento construtivo.

Bruner (1963) afirma mediante suas observações e experiências que as crianças nascem com um grande “desejo de aprender”, mas que este se não está motivado corretamente prejudicará o desenvolvimento cognitivo e implicará na não construção do conhecimento. Acreditamos que este desejo em aprender, está associado à curiosidade das crianças em objetos e assuntos novos, logo se esta vontade em aprender não for corretamente trabalhada pode despertar uma antipatia a determinadas áreas do conhecimento que trazem em suas áreas de estudo a lógica e a abstração de fenômenos naturais como é o caso da física, que poderia ser ministrada claramente na disciplina de Ciências Naturais.

É importante destacar que de acordo com a metodologia proposta para as aulas, estas serão guiadas mediante a utilização de roteiros, construídos com base no alinhamento construtivo, onde se faz necessário que o professor deixe bem claro aos alunos todas as informações importantes e necessárias para o bom andamento e execução das atividades propostas. Dessa forma, oferecer ao aluno um auxílio necessário para que o mesmo consiga alcançar os objetivos definidos para cada aula.

Outro ponto importante que merece destaque nesse processo é sobre a relação do professor com os aspectos direcionados aos alunos, ou seja, aos incentivos, motivação extrínseca e orientação em relação as atividades de um modo geral. Acreditamos que todos os elementos citados são essenciais nesse processo, dessa forma para o aluno construir o seu conhecimento é necessário que o mesmo esteja pré-disposto e

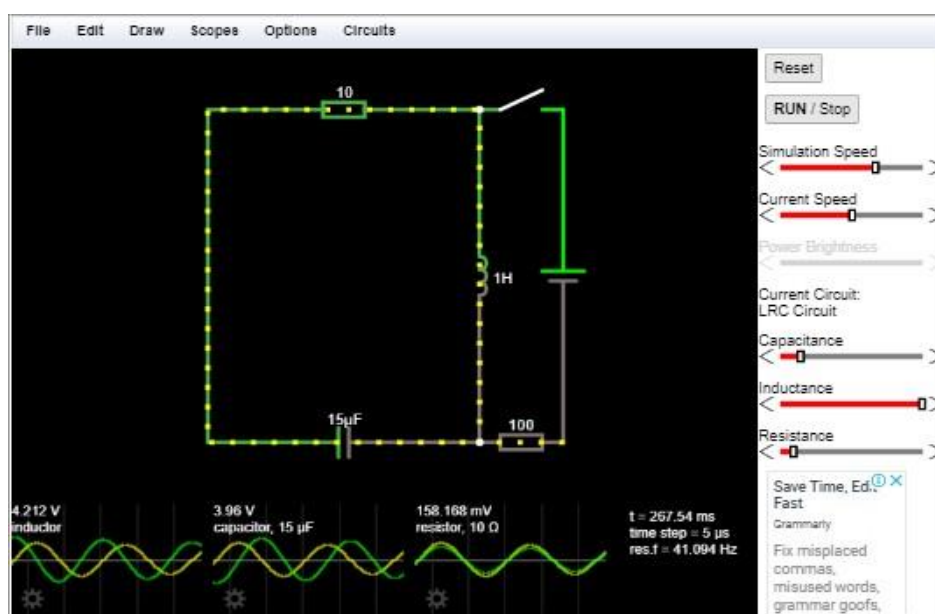
comprometido com o processo, pois nesse método de ensino e aprendizagem o aluno é colocado no centro do processo, ou seja, a perspectiva de ensino é centrada no aluno e o conhecimento é ativamente construído.

Portanto, de modo geral, o objetivo da utilização desse material no processo de ensino e aprendizagem dos conceitos de sistema caótico envolvendo circuitos elétricos, é tornar as explicações desses assuntos de um modo muito mais simples, dinâmica e que de fato facilite a compreensão dos alunos na construção dos conhecimentos, já que o passo a passo está descrito no roteiro de forma bem simplificada. Estas atividades por sua vez, seguem uma organização e sequência, na qual o aluno após estudar tais conceitos físicos, saiba relacioná-los com outros conceitos físicos.

#### 4.1 Descrição do simulador, simulações pré-definidas e acesso ao simulador *Falstad*

O *Falstad* é um simulador online de livre acesso, sendo um applet java, que é um simulador de circuito eletrônico, podendo ser acessado de smartphone ou computador. O *applet* significa um pequeno software que executa uma atividade específica, dentro (do contexto) de outro programa maior (como por exemplo um *web browser*), geralmente como um Plugin, ou seja, próprio para o conteúdo de circuitos elétricos. Vale lembrar que ele abrange todas as áreas da Física. Desde a Física Clássica até a Física Moderna, tendo como foco nosso conteúdo de Sistema não lineares em Circuitos elétricos. Quando o applet iniciar, você verá um circuito RLC simples. A cor verde indica tensão positiva. A cor cinza indica terra. Uma cor vermelha indica tensão negativa. Os pontos amarelos em movimento indicam corrente, como mostra a imagem a seguir.

**Figura 01:** Circuito RLC



Fonte: <https://falstad.com>

Como se pode ver na barra lateral, tem-se alguns comandos, em que o aluno pode alterar os parâmetros de controle sobre os elementos que constituem o circuito, podendo ter uma noção geral do circuito que se analisa. O simulador *Falstad* vem sendo utilizado em diferentes projetos, tanto para a área do ensino fundamental, Médio, Superior na área da Física como na área da Engenharia e da Matemática, e vem contribuindo positivamente no ensino, pois é uma ferramenta tecnológica que permite que o aluno expresse suas ideias, criatividade e modelos através da opção “circuitos”, onde se tem todos os tipos

de circuitos, sejam ele eletrônicos, lineares, não lineares etc, e conseqüentemente discutir sobre o fenômeno físico representado que é a Teoria do caos. Portanto, ao utilizarmos essa inovação digital disponível, teremos uma oportunidade para melhorar as aulas de física e criar ambientes na qual a construção e avaliação dos modelos dos alunos seja verdadeiramente incentivado e estimulado ao conhecimento.

O simulador permite que o usuário organize uma seleção de componentes (interruptores, chips, fontes de energia etc.) em um circuito de trabalho conectando os componentes aos fios - como seria feito no desenvolvimento físico de um circuito. Embora o uso e a descrição de todos os componentes incluídos no *software* estejam além do escopo deste manual neste momento. A seguir estão alguns dos componentes mais básicos usados nas classes de eletrônicos de nível inferior.

### Fontes de energia

Existem quatro fontes de energia básicas (veja a Figura 2); CC de 2 terminais, CA de 2 terminais, CC de 1 terminal e CA de 1 terminal. Ao criar circuitos dentro do simulador, você DEVE usar uma dessas quatro fontes de energia (ou uma das fontes mais avançadas) para alimentar seu circuito. Se estiver usando uma fonte de 1 terminal, você também deve incluir uma referência de terra. Se, no entanto, você usar uma fonte de 2 terminais, poderá amarrar a perna de terra / ponto morto da energia ao terra e usar uma referência de terra ou precisar fechar o circuito com um fio que retorne ao lado de terra / ponto morto. da fonte de energia.

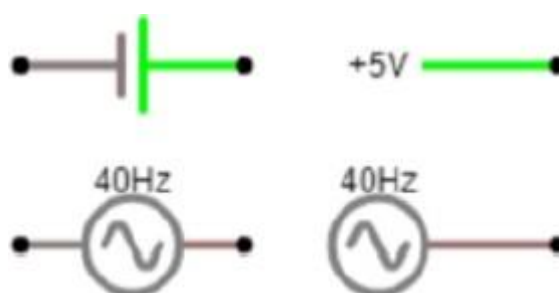


Figura 02: Fontes de energia básicas. As duas da direita são fontes de 1 terminal e as duas da esquerda são fontes de 2 terminais.

Para circuitos CC, a tensão pode ser alterada clicando duas vezes na fonte de energia ou colocando o cursor sobre a fonte de energia e clicando com o botão direito do mouse. Mais sobre as opções disponíveis para fontes de energia serão discutidas mais adiante. Para circuitos que exigem uma fonte de energia limitada de corrente, há uma opção Fonte de corrente.

## Interruptores

Interruptores são dispositivos mecânicos que permitem ao usuário manipular o estado de um circuito elétrico. Pense no interruptor da luz em sua casa. Quando o interruptor está na posição “desligado”, o circuito elétrico que permite acender as luzes é interrompido (quebrado) e quando o interruptor está na posição “ligado”, o circuito é concluído (feito), permitindo que as luzes acendam. Ligar.

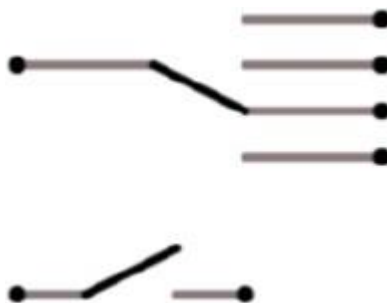


Figura 03: Interruptores de lançamento único (inferior) e de lançamento múltiplo (superior).

No simulador Falstad, existem dois tipos de interruptores (veja a Figura 2); interruptores de acionamento único (listados como “interruptor” e “interruptor de pressão”) e interruptores de acionamento múltiplo (listados como “interruptor SPDT”). Para os interruptores de acionamento simples, a opção “interruptor” é um interruptor normalmente fechado (inicia na posição fechada ou “ligada”) e o “interruptor” é um

interruptor normalmente aberto (inicia na posição aberta ou “desligado” ) Além disso, existe uma opção que pode forçar o comutador a agir como um comutador de contato momentâneo (mais será discutido mais adiante). Para a “chave SPDT”, o número de jogadas (o número de posições para as quais a chave pode ser movida) pode ser editado manualmente para qualquer número (razoável). Embora a opção de contato momentâneo esteja listada, ela não funciona nesse momento (uma solicitação de recurso foi feita).

## Relés

Relés são dispositivos elétricos ou eletromecânicos que permitem ao usuário mudar o estado de um "interruptor" com tensão, em vez de através da manipulação manual do interruptor. Assim como os comutadores manuais, existem várias configurações de relés que indicam o número de circuitos ou "linhas" que podem ser comutados. Além dos circuitos comutados, há também um atuador (um eletroímã normalmente chamado de bobina), que é o que faz a comutação.

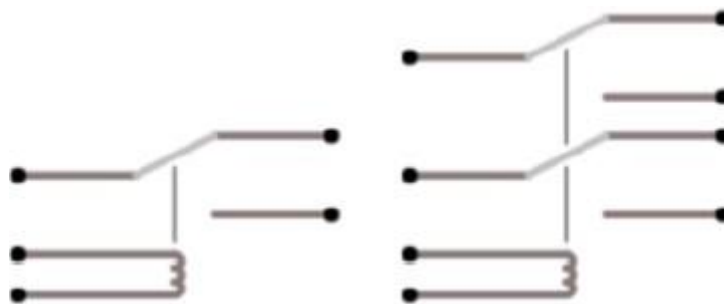


Figura 04: Relé SPDT (esquerda) e DPDT (direita)

Os relés físicos são fornecidos em vários formatos e tipos (estado sólido, palheta, trava etc.), mas por simplicidade, o Circuit Simulator suporta apenas um único tipo. Além disso, os relés físicos têm várias opções de tensão de controle (5 VCC, 24 VCC, 110 VCA, etc.) e limites para a tensão e a corrente para as quais os contatores são classificados. Como os formatos, a simulação ignorou essas diferenças por uma questão

de simplicidade, o que significa que qualquer fonte de energia pode ser usada para os relés simulados.

Para acionar um relé, a tensão precisa ser aplicada à bobina. Isso, por sua vez, permite que o relé mova a chave de um arremesso para o outro (veja a Figura 4). Se vários polos foram configurados, todos os polos são lançados ao mesmo tempo, alternando cada polo da posição padrão para a posição alternativa.



Figura 05: Relé energizado (esquerda) e relé desenergizado (direita)

A maioria dos relés (incluindo os do simulador) tem dois arremessos, resultando em um arremesso normalmente aberto (o circuito está aberto - quebrado - no estado desenergizado) e o outro arremesso normalmente fechado (o circuito é realizado - fechado - no estado desenergizado). Os relés de estado sólido costumam ser a exceção (na medida em que são geralmente Single Pole, Single Throw - SPST). E como a simulação não suporta diretamente os relés SPST, você precisará aproximar um deles simplesmente não usando o arremesso desnecessário.

### Luzes (LED e lâmpadas)

Uma área em que o Simulador de Circuito tem suporte limitado está nas saídas. E, embora tenha linhas de saída, as únicas duas saídas "físicas" suportadas são LEDs e lâmpadas incandescentes. Felizmente, é fácil o usuário substituir a saída desejada (por exemplo, motor, válvula etc.) por um LED ou uma lâmpada em sua mente, portanto, essa limitação não deve ser um grande problema. E se o desejo é simular soluções completas de distribuição de energia ou até máquinas completas, o Simulador de Circuitos provavelmente não é certo.

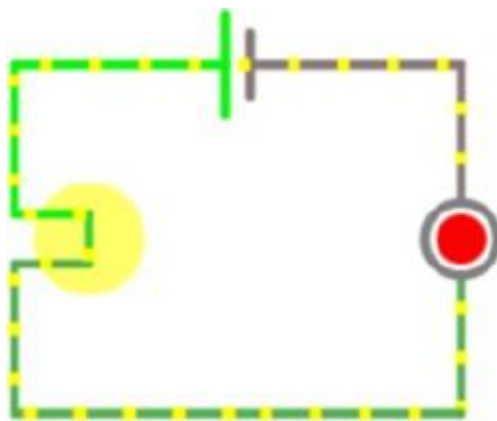


Figura 06: Lâmpada (esquerda) e LED (direita) de uma maneira simples

Como os LEDs e as lâmpadas são na verdade nada mais que fontes de resistência dentro de um circuito, pouco se precisa pensar sobre qual é usado e como eles entram no circuito (exceto a polaridade dos LEDs) ao lidar com a lógica de relés circuitos. Nos dois casos, a edição das propriedades da luz permitirá alterações de voltagem, cor (LEDs) e outros controles de desempenho, caso sejam necessários.

Para ativar ou desativar um interruptor, basta clicar nele. Se você mover o mouse sobre qualquer componente do circuito, verá uma breve descrição desse componente e seu estado atual no canto inferior direito da janela. Para modificar um componente (por exemplo, para alterar a resistência de um dos resistores), mova o mouse sobre ele, clique no botão direito do mouse (ou clique com a tecla Control pressionada, se você tiver um Mac) e selecione "Editar".

Existem três gráficos na parte inferior da janela; eles agem como osciloscópios, cada um mostrando a tensão e a corrente em um componente específico. A tensão é mostrada em verde e a corrente é mostrada em amarelo. A corrente pode não ser visível se o gráfico de tensão estiver sobre ela. O valor de pico da tensão na janela do osciloscópio também é mostrado. Mova o mouse sobre uma das visualizações de escopo e o componente que está representando graficamente será destacado. Para modificar ou remover um escopo, clique com o botão direito do mouse sobre ele. Para visualizar um componente no escopo, clique com o botão direito do mouse sobre o componente e selecione "Visualizar no escopo".

Se a simulação estiver se movendo muito lentamente ou muito rapidamente, você poderá ajustar a velocidade com o controle deslizante "Velocidade da simulação".

O menu Arquivo permite carregar ou salvar arquivos de descrição de circuitos. Você também pode exportar uma descrição do circuito como um link para poder compartilhar um circuito com outras pessoas; esse link pode ser opcionalmente reduzido, o que geralmente é melhor.

O botão Redefinir redefine o circuito para um estado razoável. O botão Executar / Parar permite interromper a simulação. O controle deslizante Simulation Speed permite ajustar a velocidade da simulação. Se a simulação não depende do tempo (ou seja, se não houver capacitores, indutores ou fontes de tensão dependentes do tempo), isso não terá efeito. O controle deslizante Velocidade atual permite ajustar a velocidade dos pontos, caso as correntes sejam tão fracas (ou fortes) que os pontos estejam se movendo muito lentamente (ou muito rapidamente).

O menu Circuitos pode ser usado para visualizar alguns circuitos predefinidos interessantes. Depois que um circuito é selecionado, você pode modificá-lo tudo o que quiser. Conforme podemos ver a imagem 07 a seguir, mostrando o menu.

Figura 07: Menu



Fonte: <https://falstad.com>

As escolhas são:

### **Básicos**

- Resistores: mostra alguns resistores de vários tamanhos em série e paralelo.
- Capacitor: mostra um capacitor que você pode carregar e descarregar clicando no interruptor.
- Indutor: mostra um indutor que você pode carregar e descarregar clicando no botão.
- Circuito LRC: mostra um circuito oscilante com um indutor, resistor e capacitor. Você pode fechar o comutador para fazer com que a corrente se mova no indutor e abrir o comutador para ver a oscilação.
- Divisor de tensão: mostra um divisor de tensão, que gera uma tensão de referência de 7,5V, 5V e 2,5V a partir da fonte de alimentação de 10V.
- O Teorema de Thevenin afirma que o circuito na parte superior é equivalente ao circuito na parte inferior.

- O Teorema de Norton afirma que o circuito na parte superior é equivalente ao circuito na parte inferior.

### **Circuitos A / C**

- Capacitor: mostra um capacitor conectado a uma fonte de tensão alternada.
- Indutor
- Tampões de várias capacitâncias: mostra a resposta de três capacitores diferentes para a mesma frequência.
- Capacitores com várias frequências: mostra a resposta de três capacitores iguais a três frequências diferentes; quanto maior a frequência, maior a corrente.
- Indutores de várias indutâncias: mostra a resposta de três indutores diferentes para a mesma frequência.
- Indutores com várias frequências: mostra a resposta de três indutores iguais a três frequências diferentes: quanto menor a frequência, maior a corrente.
- Impedâncias da mesma magnitude: mostra um capacitor, um indutor e um resistor que têm impedâncias de magnitude igual (mas fase diferente). A corrente de pico é a mesma nos três casos.
- Ressonância em série: mostra três circuitos RLC idênticos sendo acionados por três frequências diferentes. O do meio está sendo conduzido na frequência de ressonância (mostrada no canto inferior direito da tela como "res.f"). O superior está sendo conduzido a uma frequência um pouco mais baixa e o inferior tem uma frequência um pouco mais alta. O pico de tensão no circuito intermediário é muito alto porque está em ressonância com a fonte.
- Ressonância Paralela: esses três circuitos têm o indutor, o resistor e o capacitor em paralelo, em vez de em série. Nesse caso, o circuito do meio está sendo acionado em ressonância, o que faz com que a corrente seja menor do que nos outros dois casos (porque a impedância do circuito é mais alta na ressonância).

### **Filtros passivos**

- Filtro passa-alto (RC). O sinal original é mostrado na parte inferior esquerda e o sinal filtrado (com a parte de baixa frequência removida) é mostrado à direita. O ponto de interrupção (-3 dB ponto) é mostrado no canto inferior direito, como "f.3db".

- Filtro passa-baixo (RC).
  - Filtro passa-alto (RL). Esse filtro passa-alto usa um indutor em vez de um capacitor.
  - Filtro passa-baixo (RL).
  - Filtro passa-banda: esse filtro passa uma faixa de frequências próxima à frequência de ressonância (mostrada no canto inferior direito, como "res.f").
  - Filtro de entalhe: Também conhecido como filtro de parada de banda, este circuito filtra uma faixa de frequências próximas à frequência de ressonância.
  - Filtro Twin-T: Este filtro faz um ótimo trabalho ao filtrar sinais de 60 Hz.
  - Crossover: um conjunto de três filtros; o superior passa baixas frequências, o meio passa médio e o inferior passa altas frequências.
- 
- Outros circuitos passivos**
  - Série / Paralela
    1. Indutores em série. O circuito à esquerda é equivalente ao circuito à direita.
    2. Indutores em paralelo.
    3. Tampões em série.
    4. Capacitores em paralelo.
- 
- Transformadores**
    1. Transformador: Um circuito básico de transformador com um número igual de enrolamentos em cada bobina.
    2. Transformador c / CC: Aqui tentamos passar uma corrente CC através de um transformador.
    3. Transformador Step-Up: Aqui nós pisamos 10 V até 100 V.
    4. Transformador abaixador: Aqui nós pisamos 120 V até 12 V.
  - Interruptores de luz de 3 vias:** mostra como uma lâmpada pode ser ligada e desligada em dois locais.
  - Interruptores de luz de 3 e 4 vias:** mostra como uma lâmpada pode ser ligada e desligada em três locais.
  - Diferenciador:** mostra como um capacitor pode atuar como um diferenciador, refletindo alterações na tensão.

- Ponte de Wheatstone: mostra uma ponte de Wheatstone equilibrada. Se a ponte não estivesse equilibrada, a corrente fluiria de uma perna para a outra.
- RLC Criticamente Amortecido.
- Fonte de corrente: mostra uma fonte que mantém a corrente através do circuito constante, independentemente das posições do interruptor.
- Repercussão indutiva: neste circuito, temos um interruptor que controla o fornecimento de corrente a um indutor. Um indutor resiste a qualquer alteração na corrente. Se você abrir o comutador, o indutor tenta manter a mesma corrente; isso é feito cobrando a capacitância entre os contatos do comutador. (Quaisquer dois fios próximos têm alguma capacitância parasita entre eles.) Existe um capacitor pequeno (muito maior que o valor real) nos terminais do comutador para simular isso. Quando você abre o interruptor, a tensão aumenta muito; na vida real, isso causaria arco.
- Bloqueio do retrocesso indutivo: mostra como o retrocesso indutivo pode ser bloqueado com um circuito "amortecedor".
- Fator de potência: Este circuito mostra um indutor sendo acionado por uma tensão CA. As cores indicam consumo de energia; vermelho significa que um componente está consumindo energia e verde significa que o componente está contribuindo com energia. O lado esquerdo do circuito representa o lado da companhia de energia e o lado direito representa uma fábrica (com um grande motor de indução).
- A carga altamente indutiva está fazendo com que a empresa de energia trabalhe muito mais do que o normal para uma determinada quantidade de energia fornecida. O gráfico à esquerda indica a energia perdida no equipamento da empresa de energia (o resistor no canto superior esquerdo). O gráfico no meio é a energia fornecida à fábrica. O gráfico à direita é a energia fornecida ao indutor (e depois retornada, fazendo com que o tempo médio de energia entregue seja zero).
- Embora um pico de potência de 40 mW esteja sendo entregue à fábrica, 200 mW estão sendo dissipados nos fios da empresa de energia. É por isso que as empresas de energia cobram extra por cargas indutivas.
- Correção do fator de potência: Aqui, um capacitor foi adicionado ao circuito, causando muito menos energia a ser desperdiçada nos fios da empresa de energia (além de um pico inicial para carregar o capacitor).

- Grade do resistor: mostra a corrente que flui em uma grade bidimensional de resistores.
- Grade do resistor 2.
- LCs acoplados
- o Modos LC (2): Mostra os dois modos de dois circuitos LC acoplados.
- o acoplamento fraco.
- o Modos LC (3): Mostra todos os 3 modos de 3 circuitos LC acoplados.
- o LC Ladder: Este circuito é um modelo simples de uma linha de transmissão. Um pulso se propaga ao longo da escada como uma onda. O resistor no final tem um valor igual à impedância característica da escada (determinada pela razão de L para C), que faz com que a onda seja absorvida. Uma resistência maior ou um circuito aberto fará com que a onda seja refletida; uma resistência menor ou um curto fará com que a onda seja refletida negativamente. Veja as Palestras Feynman 22-6, 7.
- Rede de sequência de fases: Este circuito gera uma série de ondas senoidais com uma diferença de fase de  $90^\circ$ .
- Lissajous Figures: Apenas por diversão.

### **Diodos**

- Retificador de Meia Onda: Este circuito remove a parte negativa de uma forma de onda de entrada.
- Retificador de onda completa: Este circuito substitui uma forma de onda pelo seu valor absoluto.
- Retificador de onda completa com filtro: este circuito suaviza a forma de onda retificada, fazendo um bom trabalho de conversão de CA para CC.
- Curva I / V do diodo: Isso demonstra a resposta de um diodo a uma tensão aplicada. A fonte de tensão gera uma onda dente de serra, que começa em  $-800$  mV e sobe lentamente para  $800$  mV e depois cai imediatamente novamente.
- Limitador de diodo.
- Restauração DC. Isso pega um sinal CA e adiciona um deslocamento CC, tornando-o um sinal positivo.
- Bloqueio do retrocesso indutivo: mostra como o retrocesso indutivo pode ser bloqueado com um diodo.

- Spike Generator.
- Multiplicadores de tensão
- Dobrador de tensão: Dobra a tensão no sinal de entrada CA (menos duas quedas de diodo) e a transforma em CC.
- Dobrador de tensão 2
- Tripler de tensão
- Quadrupler de tensão
- Detector AM: Este é um "rádio de cristal", um receptor de rádio AM sem amplificador. A alimentação bruta da antena é mostrada no primeiro slot do osciloscópio no canto inferior esquerdo. O indutor e o capacitor C1 são ajustados para 3 kHz, a frequência mostrada no canto inferior direito como "res.f". Isso capta a onda portadora mostrada no slot do osciloscópio intermediário. Um diodo é usado para corrigir isso, e o capacitor C2 o suaviza para gerar o sinal de áudio no último slot de osciloscópio (que é simplesmente uma onda senoidal de 12 Hz neste exemplo). Ao experimentar o valor da capacitância de C1, você pode pegar outras duas "estações" a 2,71 kHz e 2,43 kHz.
- Conversor de triângulo para seno

### **Transistores**

- Interruptor.
- Seguidor de emissor.
- Multivibrador Astable: Um oscilador simples. O applet tem problemas para simular esse circuito, portanto, pode haver um pequeno atraso toda vez que um dos transistores é ligado.
- Multivibrador Bistable (Flip Flop): Este circuito possui dois estados; use os botões set / reset para alternar entre eles.
- Multivibrador monoestável (One-Shot): Quando você pressiona o interruptor, a saída vai para 1,7 V por um curto período de tempo e depois cai novamente.
- Amplificador de emissor comum: Este circuito amplifica a tensão do sinal de entrada em cerca de 10 vezes.
- Divisor de fase de ganho de unidade: Emite dois sinais 180 ° fora de fase um do outro.
- Schmitt Trigger.

- Fonte de corrente: a corrente é a mesma, independentemente da posição do interruptor.
- Rampa da fonte atual: usa uma fonte atual para gerar uma forma de onda da rampa toda vez que você pressiona o interruptor.
- Espelho atual: A corrente à direita é igual à corrente à esquerda, independentemente da posição do interruptor direito.
- Amplificadores diferenciais
- Entrada Diferencial: Este circuito subtrai o primeiro sinal do segundo e o amplifica.
- Entrada em modo comum: mostra um amplificador diferencial com duas entradas iguais. A saída deve ser um valor constante, mas as formas de onda de entrada chegam até a saída (atenuada em vez de amplificada). (Quando as duas entradas mudam juntas, isso é chamado de "entrada de modo comum"; a "taxa de rejeição de modo comum" é a capacidade de um amplificador diferencial de ignorar os sinais de modo comum e amplificar apenas a diferença entre as entradas.)
- Modo comum com fonte de corrente: Este é um amplificador diferencial aprimorado que usa uma fonte de corrente como carga. A taxa de rejeição no modo comum é muito boa; o circuito amplifica as pequenas diferenças entre as duas entradas e ignora o sinal de modo comum.
- Seguidor Push-Pull: Este é outro tipo de seguidor de emissor.
- Osciladores
- Oscilador Colpitts
- Oscilador Hartley
- Oscilador LC acoplado a emissor

### **JFETs**

- Fonte Atual JFET
- Seguidor JFET: É como um seguidor emissor, exceto que a saída é 3V mais positiva que a entrada.
- Seguidor JFET com deslocamento zero
- Amplificador de fonte comum
- Controle de volume: Aqui o JFET é usado como um resistor variável.
- MOSFETs

- Inversor CMOS: O “H” branco é uma entrada lógica. Clique nele para alternar seu estado. "H" significa "alto" (5 V) e "L" significa "baixo" (0 V). A saída do inversor é mostrada à direita e é o oposto da entrada. Nesta simulação (idealizada), o inversor CMOS não consome nenhuma corrente.
- Inversor CMOS (com capacitância): Na realidade, existem duas razões pelas quais as portas CMOS consomem corrente. Este circuito demonstra o primeiro motivo: capacitância entre a porta MOSFET e sua fonte e dreno. Requer corrente para carregar essa capacitância, que consome energia. Também causa um pequeno atraso ao mudar de estado.
- Inversor CMOS (transição lenta): A outra razão pela qual as portas CMOS consomem corrente é que ambos os transistores conduzirão ao mesmo tempo quando a entrada estiver no meio do caminho entre alto e baixo. Isso causa um pico atual quando a entrada está em transição. Nesse circuito, existe um filtro passa-baixo na entrada que faz a transição lenta, para que você possa ver o pico.
- Porta de transmissão CMOS: Este circuito passa qualquer sinal, mesmo um sinal analógico (desde que fique entre 0 e 5 V) quando a entrada da porta é "H". Quando é "L", o portão atua como um circuito aberto.
- Multiplexador CMOS: Este circuito usa dois portões de transmissão para selecionar uma das duas entradas. Se a entrada lógica for "H", a saída será uma onda triangular de 40Hz. Se for "L", a saída é uma onda senoidal de 80Hz.
- Amostra e espera: Clique e segure o botão "amostra" para experimentar a entrada. Quando você soltar o botão, o nível de saída será mantido constante.
- Buffer atrasado: Este circuito atrasa qualquer alteração em sua entrada por 15 microssegundos.
- Detector de ponta
- Filtro comutável: Clique no "L" para selecionar entre dois filtros passa-baixo diferentes.
- Inversor de tensão
- Amplificador do inversor: Mostra como um inversor CMOS pode ser usado como um amplificador.
- Oscilador do inversor

## Amplificadores de operação (Op-Amps)

- Amplificadores
- Amplificador inversor: Este possui um ganho de  $-3$ .
  - Amplificador não inversor
  - Seguidor
  - Amplificador Diferencial
  - Amplificador de soma
  - Amplificador de registro: saída é o registro (invertido) da entrada
  - Amplificador Classe D
  - Osciladores
    - Oscilador de relaxamento
    - Oscilador de mudança de fase
    - Gerador de Ondas Triângulo
    - Gerador de Ondas Senoidais
    - Gerador de Ondas Sawtooth
  - Oscilador controlado por tensão: Aqui a frequência da oscilação depende da entrada (mostrada no escopo à esquerda). O oscilador gera uma onda quadrada e uma onda triangular.
  - Circuito de Rossler
  - Retificador de meia onda: um retificador ativo que funciona com tensões menores que uma queda de diodo.
  - Retificador de onda completa
  - Detector de Pico: Este circuito gera a tensão de pico da entrada. Sempre que a tensão de entrada for maior que a saída, a saída será ajustada para cima para corresponder. Pressione o interruptor marcado “reset” para redefinir o pico de tensão de volta para 0.
  - Integrador
  - Diferenciador
  - Schmitt Trigger
  - Conversor de impedância negativa: converte o resistor em um resistor "negativo". No primeiro gráfico, observe que a corrente está  $180^\circ$  fora de fase com a tensão.
  - Girador: O circuito superior simula o circuito inferior sem usar um indutor.

- Multiplicador de capacitância: este circuito permite simular um capacitor grande com um menor. A capacitância efetiva do circuito superior é  $C1 \times (R1 / R2)$  e a resistência efetiva é  $R2$ .
- Fonte atual de Howland
- Conversor I-V: A tensão de saída depende da corrente de entrada, que você pode ajustar com os interruptores.
- 741 Internals: A implementação de um amplificador operacional 741.
- Chip de temporizador 555
- Gerador de Onda Quadrada
- Internos: A implementação de um chip 555, atuando como um oscilador de onda quadrada
- Oscilador Dente de Serra
- Oscilador de ciclo de serviço baixo: produz pulsos curtos.
- Multivibrador monoestável: Este é um circuito de uma tomada que produzirá um pulso cronometrado quando você clicar no "H".
- Modulador de posição de pulso: produz pulsos cuja largura é proporcional à tensão de entrada.
- Schmitt Trigger
- Detector de pulso ausente: Definir a entrada lógica baixa desativará a entrada de onda quadrada. O detector de pulso ausente detectará a entrada ausente e aumentará a saída.
- Filtros ativos
- Filtro passa-baixo VCVS: Um filtro passa-baixo ativo Butterworth.
- Filtro passa-alto VCVS
- Filtro de capacitor comutado: Um filtro digital, implementado usando capacitores e comutadores analógicos.
- Famílias lógicas
- Família de lógica RTL
- Inversor RTL: O "H" branco é uma entrada lógica. Clique nele para alternar seu estado. "H" significa "alto" (3,6 V) e "L" significa "baixo" (0 V). A saída do inversor é mostrada à direita e é o oposto da entrada.
- RTL NOR: As três entradas estão na parte inferior e a saída está à direita. A saída é "L" se alguma das entradas for "H". Caso contrário, é "H".

- RTL NAND: A saída é "H", a menos que as três entradas sejam "H" e, em seguida, é "L".
- Família de lógica DTL
- Inversor DTL
- DTL NAND
- DTL NOR
- Família de lógica TTL
- Inversor TTL
- TTL NAND
- TTL NOR
- Família lógica do NMOS
- Inversor NMOS
- Inversor NMOS 2: Utiliza um segundo MOSFET em vez de um resistor, para economizar espaço no chip.
- NMOS NAND
- Família de lógica CMOS
- Inversor CMOS
- CMOS NAND
- CMOS NOR
- CMOS XOR
- Flip-flop do CMOS (ou trava): Este circuito consiste em dois portões do CMOS NAND.
- Flip-flop do mestre-escravo do CMOS
- Família de lógica ECL
- ECL NOR / OR
- Ternário: Demonstra lógica de três valores, onde as entradas podem ser 0, 1 ou 2 em vez de H e L. Essa lógica é implementada usando MOSFETs; a tensão limiar de cada um é mostrada.
- CGAND: a saída é  $2-X$ , onde  $X$  é o mínimo das duas entradas.
- CGOR: a saída é  $2-X$ , onde  $X$  é o máximo das duas entradas.
- Complemento.
- F211: 0 se torna 2, 1 se torna 1, 2 se torna 1.

- F220
- F221

### **Lógica Combinacional**

- OU exclusivo (XOR)
- Half Adder
- Adicionador completo
- Decodificador 1-de-4
- Mux 2 para 1: este multiplexador usa dois buffers de três estados conectados à saída.
- Lógica majoritária: a saída é alta se a maioria das entradas for alta.
- Comparador de 2 bits: informa se a entrada de dois bits A é maior que, menor que ou igual à entrada de dois bits B.
- Decodificador LED de 7 segmentos
- Lógica Sequencial
- Sandálias de dedo
- Chinelo SR
- Flip-flop com relógio SR
- Chinelo Master-Slave
- Flip-flop D disparado pela borda: Este circuito muda de estado quando o relógio faz uma transição positiva.
- Contadores
- Contador de ondulações de 4 bits
- Contador de ondulações de 8 bits
- Contador síncrono
- Contador decimal
- Contador de código cinza
- Johnson Counter
- Dividir por 2: Divide a frequência de entrada por 2.
- Divida por 3
- Pisca-pisca de LED: este circuito usa um contador de décadas para piscar alguns LEDs em um padrão de vaivém.

- Semáforo
- RAM dinâmica: este é um modelo simples de chip de RAM dinâmico. Para ler a partir do chip, selecione o bit que deseja usando as linhas de seleção de linha. Para escrever, selecione o bit de dados que deseja escrever e clique no botão "escrever". Para atualizar um pouco, clique no botão "atualizar".

### **Digital analógico**

- Flash ADC: Este é um conversor de analógico para digital de conversão direta ou "flash".
- Delta-Sigma ADC
- ADC Half-Flash (Subranging): Também conhecido como ADC de pipeline. O primeiro estágio converte a tensão de entrada em um valor digital de quatro bits. Em seguida, um DAC converte esses quatro bits em analógico e, em seguida, um comparador calcula a diferença entre isso e a tensão de entrada. Outro ADC converte isso em digital, fornecendo um total de oito bits.
- DAC com ponderação binária: converte um número binário de quatro bits em uma tensão negativa.
- R-2R Ladder DAC
- Switch Tree DAC
- Onda senoidal digital
  
- Loops com bloqueio de fase
- Detector de fase XOR: Mostra um portão XOR sendo usado como um detector de fase tipo I. A saída é alta sempre que os dois sinais de entrada não estão em fase.
- PLL do tipo I: esse circuito de loop bloqueado por fase consiste em uma porta XOR (o detector de fase), um filtro passa-baixo (resistor e capacitor), um seguidor (o amplificador operacional) e um chip de oscilador controlado por tensão. O oscilador controlado por tensão gera uma frequência proporcional à tensão de entrada. Após o circuito PLL travar na frequência de entrada, a

frequência de saída será igual à frequência de entrada (com um pequeno atraso de fase).

- Comparador de fases (tipo II): mostra um detector de fase mais sofisticado, que não possui saída quando as entradas estão em fase, mas gera alta (5V) quando a entrada 1 é a entrada principal 2 e baixa (0V) quando a entrada 2 é a entrada principal 1. O comparador de fases e o VCO neste applet são baseados no chip 4046.
- Internos do comparador de fases.
- PLL do tipo II: mostra um loop de fase bloqueada com um detector de fase do tipo II. Se você ajustar a frequência de entrada, a saída deverá travar em pouco tempo.
- PLL do tipo II (rápido): apenas uma simulação mais rápida do PLL do tipo II.
- Dobrador de frequência
- Linhas de transmissão
- TL simples: Uma linha de transmissão terminada corretamente, mostrando o atraso à medida que o sinal viaja pela linha.
- Onda estacionária: uma onda estacionária em uma linha de transmissão em curto.
- Rescisão: a linha superior é finalizada corretamente, mas as outras não, e a onda de entrada é refletida.
- Linhas incompatíveis: mostra reflexos causados pela linha do meio com uma impedância diferente das outras duas linhas.
- Linhas incompatíveis 2: Mostra uma onda estacionária na primeira linha, causada pela segunda linha com uma impedância diferente.

O “**add**” um novo componente ao circuito, clique com o botão direito do mouse em uma área não utilizada da janela. Isso exibirá um menu que permite selecionar o componente que você deseja. Em seguida, clique no local em que deseja o primeiro terminal do componente e arraste para o local em que deseja o outro terminal. Os itens de menu permitem que você crie:

- Fios
- Resistores; você pode ajustar a resistência depois de criar o resistor clicando no botão direito do mouse e selecionando "Editar"
- Capacitores; você pode ajustar a capacitância usando "Edit"
- Indutores, interruptores, transistores, etc.
- Fontes de tensão, em variedades de 1 ou 2 terminais. As versões com 1 terminal usam o terra como o outro terminal. Ao clicar no botão direito do mouse e selecionar “Editar”, você pode modificar a tensão e a forma de onda da fonte de tensão, alterando-a para CC, CA (onda senoidal), onda quadrada, triângulo, dente de serra ou pulso. Se não for uma fonte de corrente contínua, você também pode alterar a frequência e o deslocamento de corrente contínua.
- Amplificadores operacionais, com limites de fonte de alimentação de  $-15V$  e  $15V$  assumidos (não mostrados). Os limites podem ser ajustados usando "Editar".
- Etiquetas de texto, que você pode modificar com a caixa de diálogo "Editar"
- Pontos de teste; estes não têm efeito no circuito, mas se você os selecionar e usar o item de menu direito do mouse “View in Scope”, poderá visualizar a diferença de tensão entre os terminais.
- Também no submenu “Outros”, existem alguns itens que permitem clicar e arrastar seções do circuito.

Você pode arrastar o circuito clicando e arrastando com a tecla Alt pressionada. Aumente e diminua o zoom com a roda do mouse ou usando os comandos de zoom no menu Editar.

Para editar uma das visualizações de escopo, clique com o botão direito do mouse para exibir um menu. Os itens de menu permitem remover uma visão do escopo, acelerar ou abrandar a exibição, ajustar a escala, selecionar quais valores você deseja exibir etc.

O tamanho do intervalo de tempo é o tempo entre as iterações do simulador. Etapas de tempo menores tornam a simulação mais precisa, mas mais lenta. É necessário um tamanho de passo de tempo menor para simular altas frequências. Um tamanho de etapa de tempo maior pode ser apropriado para circuitos que são executados em tempo real. Use Editar-> Outras opções... para alterar o tamanho do intervalo de tempo.

Arquivo-> Recuperar Salvamento Automático permite recuperar um circuito perdido quando a janela do simulador foi fechada. Se isso não funcionar, tente Editar-> Desfazer.

Arquivo-> Localizar Ponto de Operação CC é útil em circuitos que demoram muito para atingir um estado útil. Esta opção carrega instantaneamente todos os capacitores.

Aqui estão alguns erros que você pode encontrar ao usar o simulador:

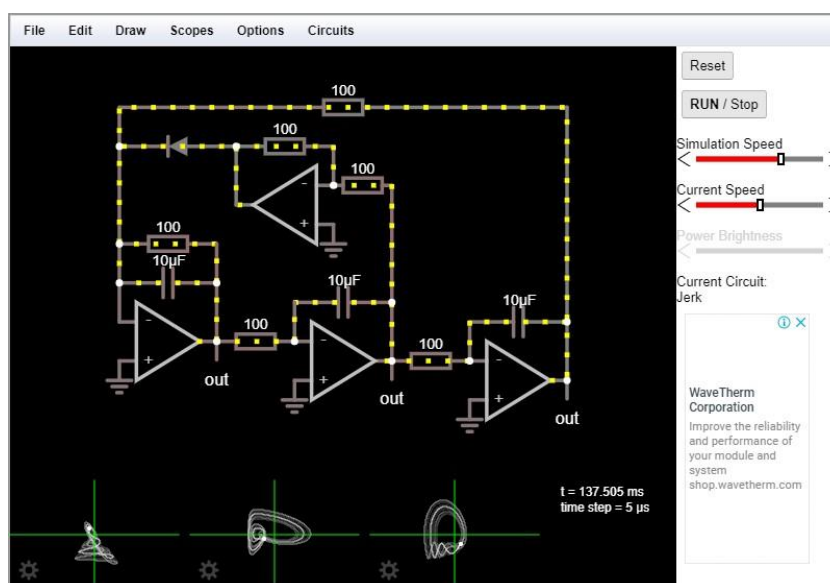
- Loop de fonte de tensão sem resistência! - isso significa que uma das fontes de tensão em seu circuito está em curto. Verifique se há alguma resistência em todas as fontes de tensão. Laço de capacitor sem resistência! - não é permitido ter loops de corrente contendo capacitores, mas sem resistência. Por exemplo, capacitores conectados em paralelo não são permitidos; você deve colocar um resistor em série com eles. Capacitores em curto são permitidos. Matriz singular! - isso significa que seu circuito é inconsistente (duas fontes de tensão diferentes conectadas uma à outra) ou que a tensão em algum momento é indefinida. Isso pode significar que os terminais de alguns componentes estão desconectados; por exemplo, se você criar um amplificador operacional, mas ainda não tiver conectado nada, receberá esse erro.
- Falha na convergência! - isso significa que o simulador não consegue descobrir qual deve ser o estado do circuito. Basta clicar em Redefinir e, esperamos, que deve corrigi-lo. Seu circuito pode ser muito complicado, mas isso às vezes acontece mesmo com os exemplos.
- Atraso na linha de transmissão muito grande! - o atraso da linha de transmissão é muito grande em comparação com o passo do tempo do simulador, sendo necessária muita memória. Reduza o atraso.
- Precisa aterrar a linha de transmissão! - os dois fios inferiores de uma linha de transmissão sempre devem ser aterrados neste simulador.

É importante destacar que cada simulação é oriunda de um tipo de circuito e cada circuito é um caso da eletrodinâmica e da parte da Eletrônica. O *Falstad* aborda qualquer área referente à eletricidade e ao que se quer ensinar, que é o sistema caótico, abordando circuitos não lineares.

O acesso ao simulador online se dá por endereço de url, como é mostrado a seguir por um link: <https://www.falstad.com/circuit/>

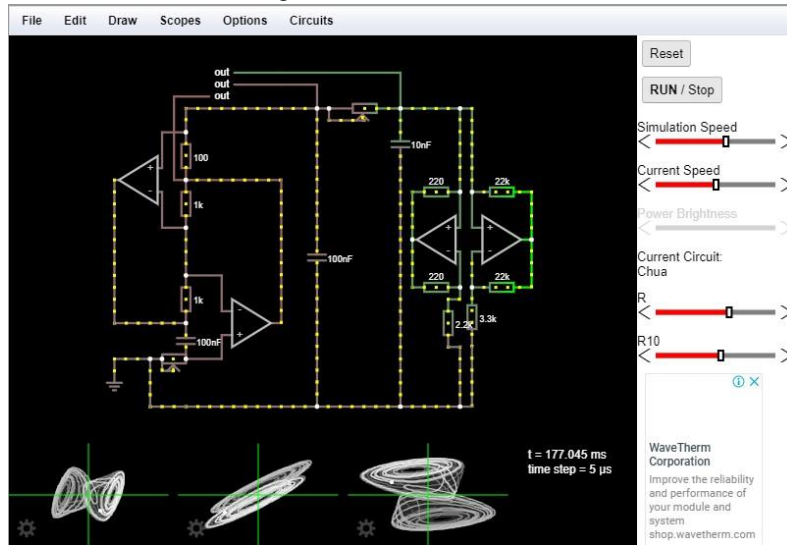
O acesso se dá tanto por computador quanto por smartphone. Neste momento, o professor decide qual o melhor é mais viável para cada ambiente de aula. A seguir, mostramos alguns circuitos sugeridos para o estudo de Sistema Não lineares.

Figura 07: Circuito de Jerk



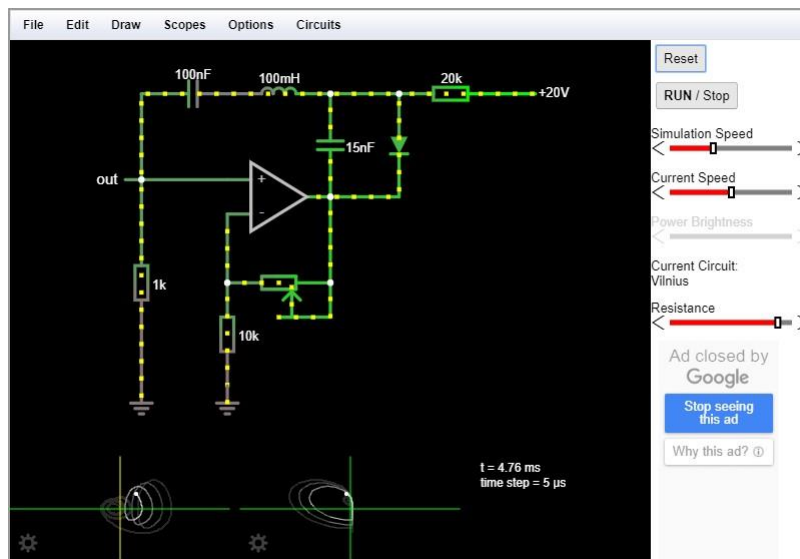
Fonte: <https://www.falstad.com/circuit/>

Figura 08: Circuito de Chua



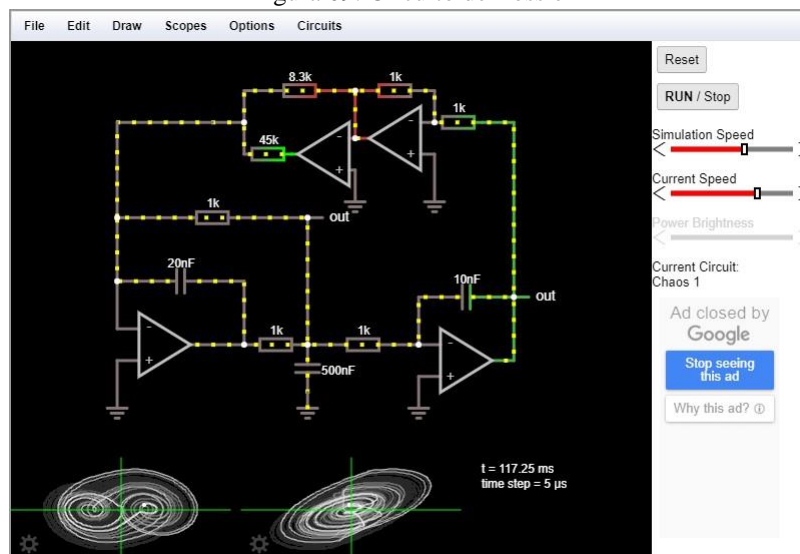
Fonte: <https://www.falstad.com/circuit/>

Figura 09: Circuito de Vilnius



Fonte: <https://www.falstad.com/circuit/>

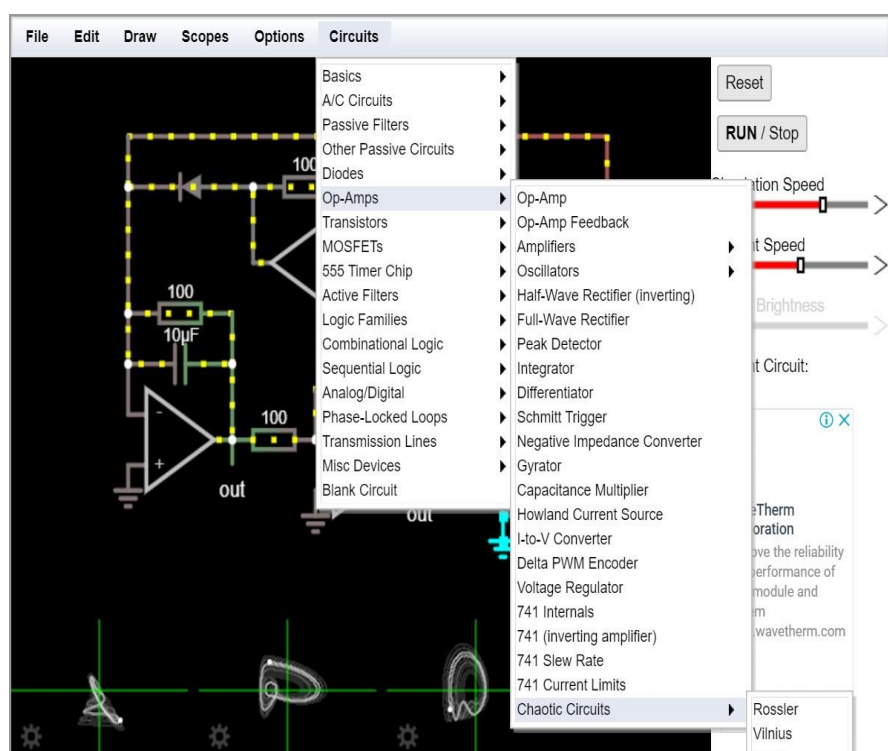
Figura 09: Circuito de Rossler



Fonte: <http://falstad.com/circuit/>

Para localizar esses circuitos caóticos, basta ir em “Circuits”, depois em “Op-Amps” e por fim em “Chaotics Circuits” como mostra a imagem a seguir.

Figura 10: Localização dos circuitos



Fonte: <https://www.falstad.com/circuit/>

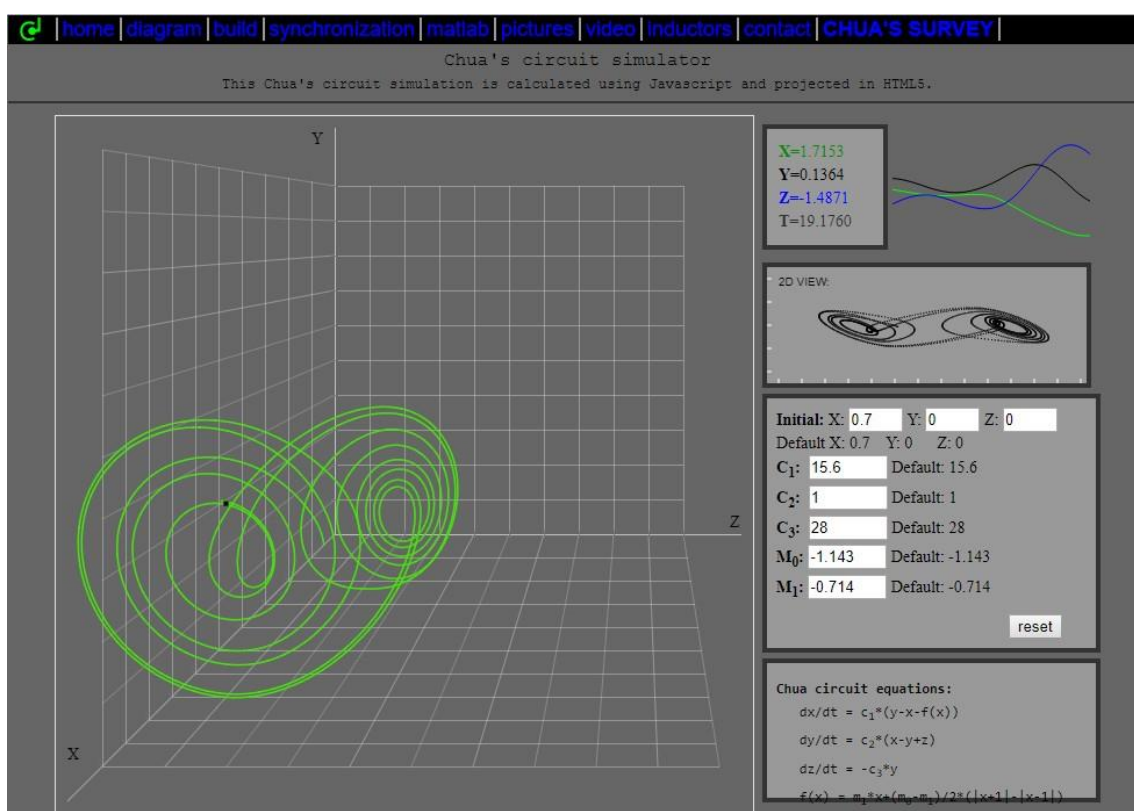
Logo, aparecerá diversos circuitos e assim, pronto para estudar e desvendar cada circuito com seus alunos.

## 4.2 Descrição do simulador extra e acesso ao simulador *Chua Circuit*

Os circuitos de Chua são alguns dos tipos mais simples de circuitos caóticos. Eles são considerados um exemplo clássico de verdadeiro caos devido ao seu design e saída. Usando um osciloscópio, você pode testemunhar que o circuito de Chua cria o atrator estranho conhecido como rolo duplo. Esses belos padrões são verdadeiramente caóticos e podem ser modelados por equações não lineares relativamente simples.

Além de serem um ótimo exemplo de caos, eles são fáceis de construir. Esses circuitos, inventados por Leon Chua, também têm muitos usos no mundo real, desde pesquisa, música e criptografia. De fato, os circuitos personalizados podem ser implementados em praticamente qualquer lugar em que seja necessário um caos real ou uma saída não linear. Os circuitos modificados podem produzir efeitos bizarros e imprevisíveis, como você pode ver nas fotos e vídeos publicados em um site oficial do Circuito de Chua. A seguir segue a imagem 08 que mostra o atrator do circuito de chua, mas vale a pena salientar que variando os parâmetros de controle expostos ao lado da simulação, se pode obter vários outros atratores (conjunto de trajetórias).

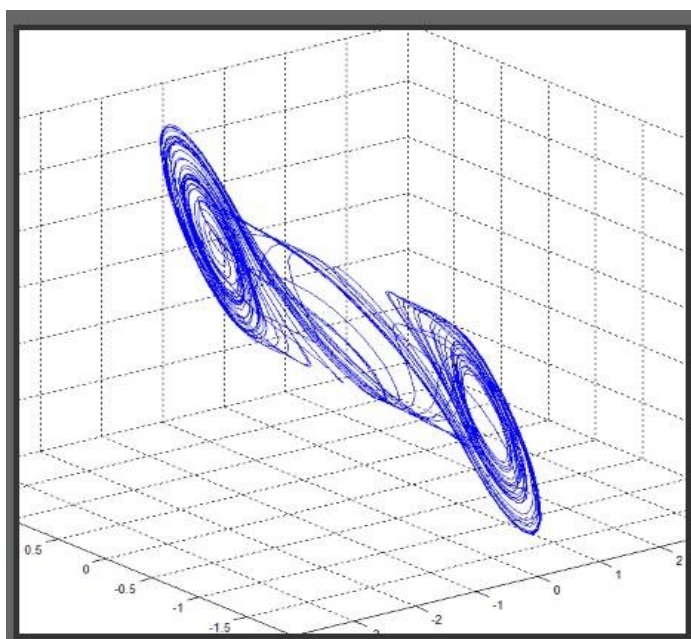
Figura 08: Simulação do circuito de Chua



Fonte: <http://www.chuacircuits.com/sim.php>

Pode ser o atrator do Circuito de chua plotado através do software *Matlab*, conforme mostra a figura 09.

Figura 09: Atrator no *Matlab*



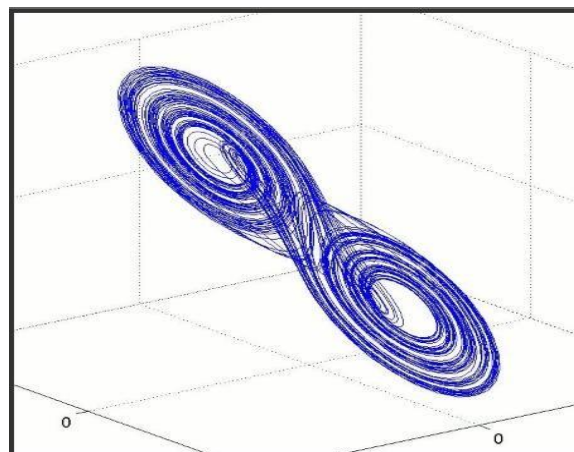
Fonte: <http://www.chuacircuits.com/matlabsim.php>

O Circuito de Chua sem dimensões - A imagem foi tirada diretamente de uma visualização da simulação de circuitos de Chua no *Matlab* depois de executar por cerca de 100 segundos e depois girada para visualização. Isso realmente dá uma boa olhada no atrator de rolagem dupla de todos os ângulos e torna a natureza tridimensional da saída mais visceral.

O código para esta simulação é funcionalmente semelhante ao código Javascript usado em simulação HTML5. Os parâmetros e condições iniciais são os mesmos. Além disso, como a simulação HTML 5, os valores para alfa e beta são abstratos e não correspondem a nenhum circuito real. Ambos usam um conjunto de funções de solução para plotar os pontos em cada etapa do tempo usando as equações de Chua. Essa simulação do Matlab usa o ODE45, um método de ordem média, para os cálculos.

O *Matlab*, é claro, fornece outras ferramentas para examinar o pergaminho e os atratores envolvidos, além de outras maneiras de manipular a exibição na saída do sinal, como mostrado na figura 09.

Figura 09: Atrator simulado no *Matlab*



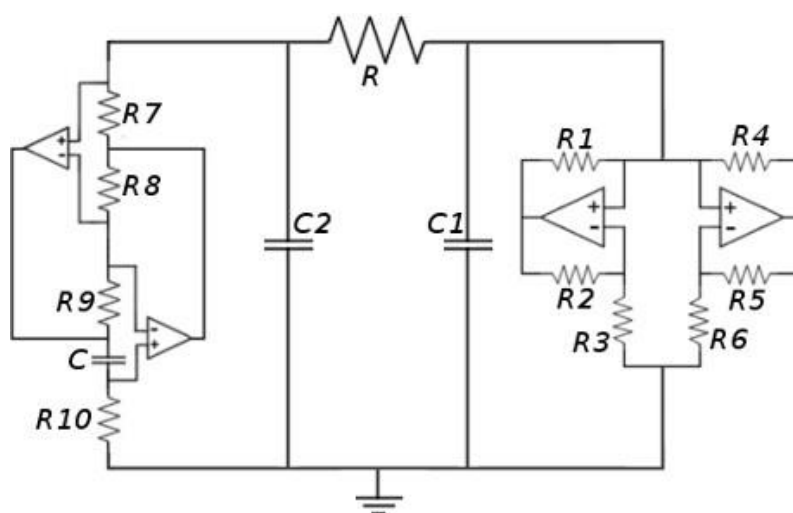
Fonte: <http://www.chuacircuits.com/matlabstim.php>

O Circuito realista de Chua - Embora um modelo sem dimensão seja o que é mais comumente usado e referido na literatura acadêmica, ainda assim às vezes é útil lidar com um modelo mais realista.

A animação acima vem de uma simulação Matlab de um circuito de Chua com equações não dimensionais, isto é, partes da equação se relacionam com componentes físicos reais do circuito e podem ser ajustadas para simular modificações ou os vários componentes que você pode querer experimentar. Por exemplo, modelamos um atrator de rolagem dupla saturado abaixo ajustando os valores para C1 e R.

No código associado, você pode ver como cada peça corresponde à dinâmica das equações e modificá-las facilmente para ver quais mudanças ocorrem em quais condições. Deve-se notar que esse código é especificamente para o diagrama mostrado abaixo (também na página de diagrama) e seria diferente para outras variações do circuito de Chua.

Figura 10: Diagrama esquemático do circuito



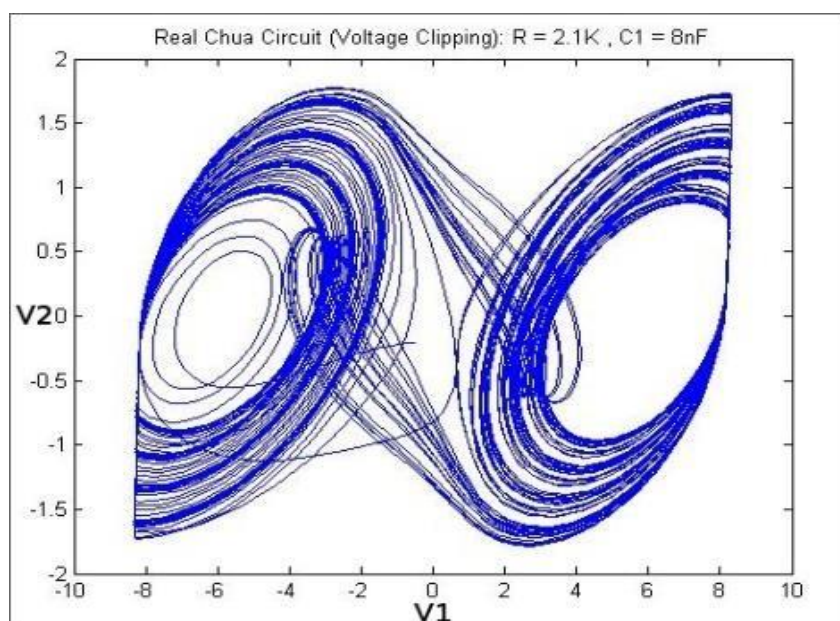
Fonte: <http://www.chuacircuits.com/diagram.php>

Para reprodução de atividades didáticas, tem-se acima o esquema do circuito de Chua, e para mais informações de como fazê-lo experimentalmente, somente no site que vai estar indicado nos apêndices. Vale destacar, que para ter acesso ao aparato experimental, não é de livre acesso, sendo somente gratuito a simulação.

Vale lembrar, que este aplicativo, é somente para estudo do circuito de Chua.

Simulação de circuito modificado mostrando saturação devido a alterações no valor do componente para C1 e R

Figura 11: Circuito de Chua em 2D



### Utilizando um indutor

Embora o site recomende o uso de um circuito giratório, pode haver pessoas que insistem em usar um indutor real. O circuito que foi usado requer cerca de 18mH de indutância, mas a resistência interna deve ser menor que 30Ω. Esse tipo de indutor pode ser difícil de encontrar e comprar. Existem apenas alguns fornecedores de peças eletrônicas 'one-stop shop' (incluindo: Digi-Key, Jameco, Mouser e Newark), mas apenas dois deles fornecem os indutores de que precisa.

### 4.3 Descrição do simulador real *Arduino* e acesso ao *Arduino*

Arduino é uma plataforma de eletrônica aberta para a criação de protótipos baseada em software e hardware livres, flexíveis e fáceis de usar. Foi desenvolvida para artistas, designers, hobistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode adquirir informação do ambiente através de seus pinos de entrada, para isso uma completa gama de sensores pode ser usada. Por outro lado, o Arduino pode atuar no ambiente controlando luzes, motores ou outros atuadores.

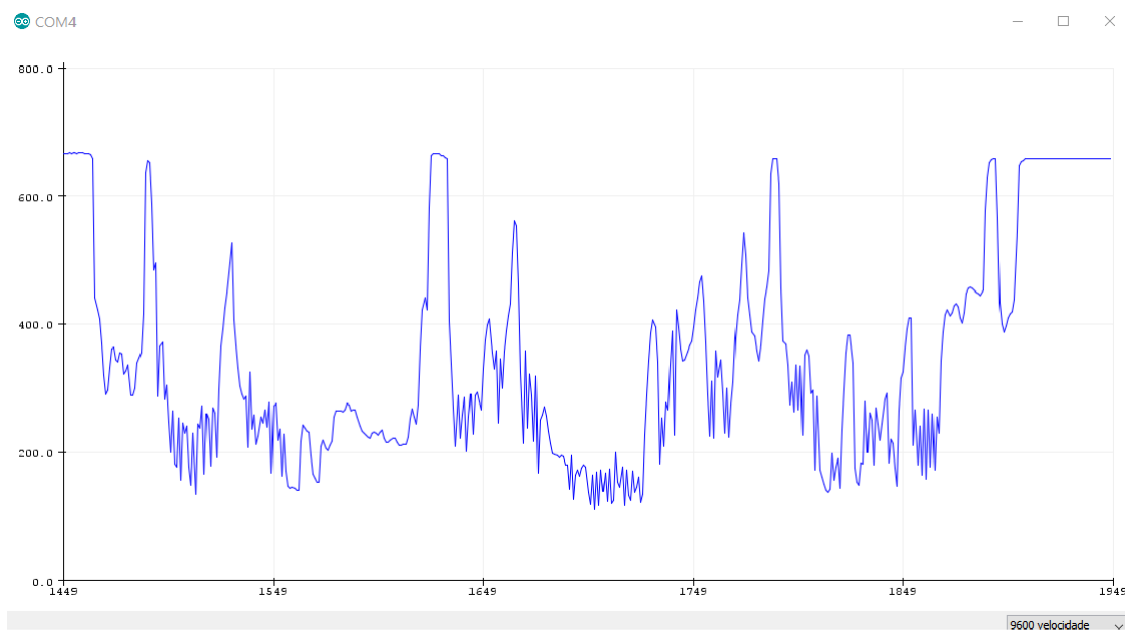
Os campos de atuação para o controle de sistemas são imensos, podendo ter aplicações na área de impressão 3D, robótica, engenharia de transportes, engenharia agrônômica, musical, moda e tantas outras.

O microcontrolador da placa Arduino é programado mediante a linguagem de programação Arduino, baseada em Wiring, e o ambiente de desenvolvimento (IDE) está baseado em Processing. Os projetos desenvolvidos com Arduino podem ser executados mesmo sem a necessidade de estar conectados a um computador, apesar de que também podem ser feitos comunicando-se com diferentes tipos de software (como Flash, Processing ou MaxMSP).

As placas podem ser feitas a mão ou compradas montadas de fábrica. O download do software pode ser feito de forma gratuita e os desenhos da placa estão disponíveis sob uma licença aberta, assim você também é livre para adaptá-lo às suas necessidades.

Abaixo, se pode ver a simulação feita para abordar uma introdução ao caos, de forma que não se tem o conhecimento prévio sobre Sistema não linear, apenas para abordar a aleatoriedade e diferenciar as propriedades do caos. Com base no Arduino, já sabendo que os alunos têm conhecimento da Interface. Foi construído um circuito a fim de que possamos visualizar esse comportamento que embora não seja o caos, se tem um comportamento irregular tendo a partir do contato com o LDR que fica na Interface.

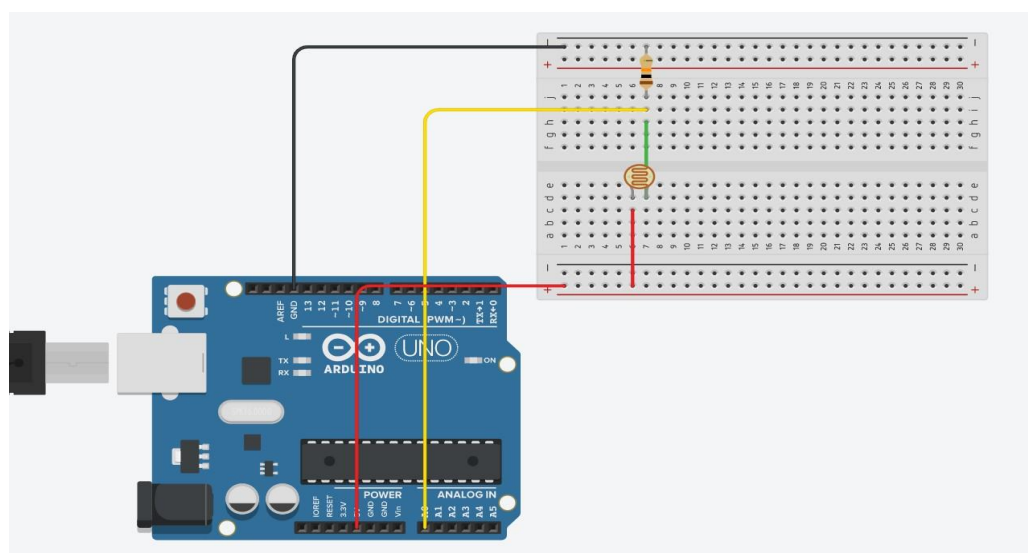
Figura 12: Introdução ao Sistema não linear



Fonte: Próprio autor

Abaixo, discutiremos esse gráfico, mas antes para discutir, precisamos ter em mente de onde surgiu o gráfico. Então, a seguir, o circuito apresentado que tem esse gráfico estranho (atrator), é composto por um LDR (resistor dependente de luz), os fios que conectam o circuito (jumps), um resistor de 1k ohm e a fonte de alimentação que é própria do Arduino que vale 5 V (volts).

Figura 13: Esquema do circuito no Tinkercad



Fonte: <https://www.tinkercad.com/things/7JUyJyInEF1>

Acima está o esquema de como foi construído o circuito, chamado de *Tinkercad*. O *Tinkercad* é uma coleção on-line gratuita de ferramentas de software que

ajudam pessoas de todo o mundo a pensar, criar e criar. Somos a introdução ideal à Autodesk, líder em software de design, engenharia e entretenimento 3D.

Na coleção, se pode usar o Arduino de forma online, visando a maneira mais econômica e mais acessível para quem não tem o microcontrolador concreto. Dessa forma, se pode fazer a mesma coisa que se faz no microcontrolador. Logo, construímos o circuito no *Tinkercad* para deixar mais esquemático, e mais fácil de entender para quem deseja reproduzir em sala de aula.

Voltando à nossa abordagem, a metodologia se baseia utilizando alguns componentes para programar a simulação. No caso segue os materiais:

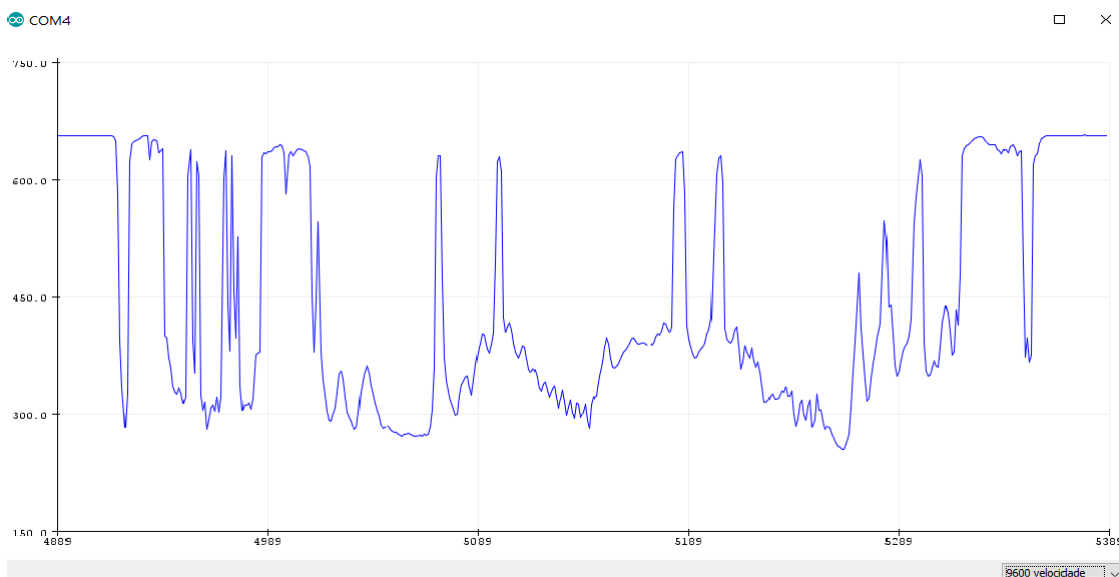
- Resistor: é um dispositivo elétrico com a finalidade de transformar energia elétrica em energia térmica por meio do efeito joule, oferecer uma oposição de passagem de corrente elétrica, através de seu material;
- Resistor fixo: um resistor de carbono que pode ser identificado de acordo com as cores que apresenta na capsula que envolve o material resistivo.
- LDR: resistor dependente de luz, cuja resistência varia conforme a intensidade da luz que incide sobre ele, à medida que a intensidade da luz aumenta a sua resistência diminui.
- Arduino: é uma plataforma que foi construída para promover a interação física entre o ambiente e o computador utilizando dispositivos eletrônicos de forma simples e baseada em softwares e hardwares livres.



Acima, está o LDR. A partir, da leitura dele, dependendo da luminosidade que incide nele, sendo alta ou baixa, teremos um comportamento do LDR. Assim, variamos a intensidade de uma fonte de luz e o gráfico foi se plotando. Vale lembrar que esse gráfico é fruto da corrente elétrica que passa pelo circuito versus a tensão elétrica (ddp). Com isso, analisando o gráfico, conforme a intensidade de luz for maior, teremos uma queda na corrente elétrica e conseqüentemente uma queda na tensão e caso contrário, teremos uma alta tensão e uma alta corrente elétrica, em outras palavras, é proporcional.

Uma outra intensidade de luz foi incidida, como mostra a figura abaixo.

Figura 14: Introdução ao Sistema não linear em produzido por um aluno



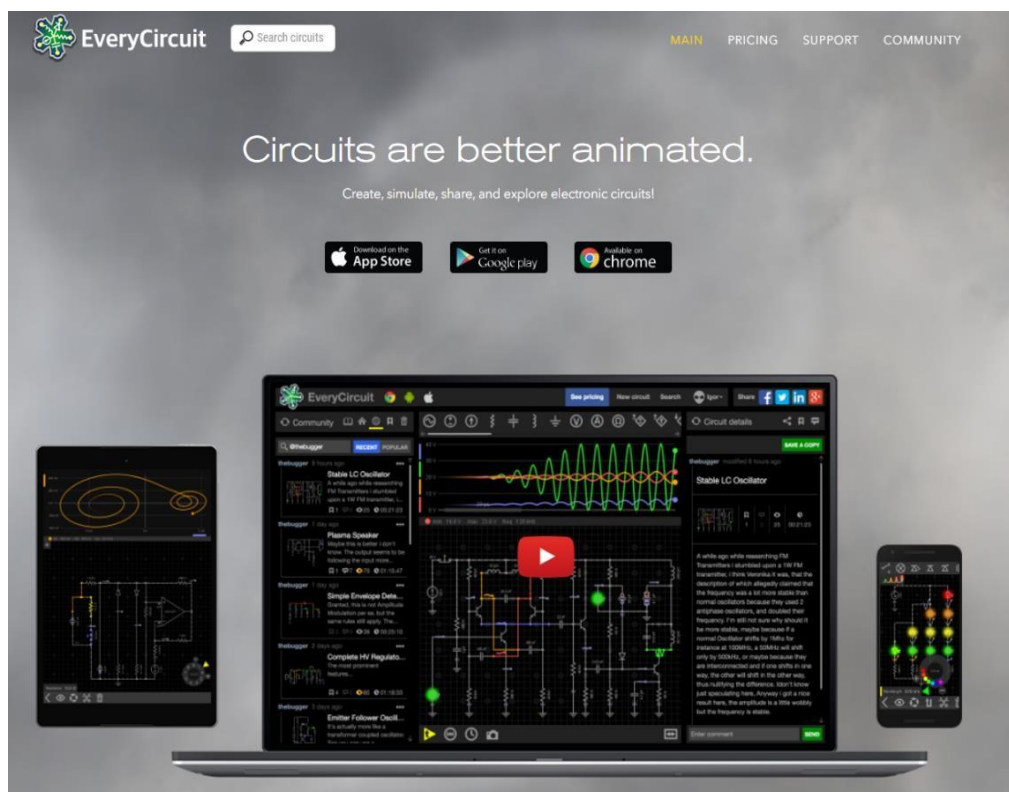
Fonte: Próprio autor

Neste outro gráfico, temos várias quedas também de corrente e de tensão, porém, podemos perceber que não são idênticos. Sempre o comportamento estará aliado em dependência da intensidade da luz, e com isso, apresentando aos alunos em sala de aula, podemos associar essa anomalia com o comportamento do Sistema não linear para assim então, abordar o caos que é não deixar de ser semelhante, porém com seus fundamentos e propriedades que tornam irregular por um motivo maior e interessante.

#### 4.4 Descrição do simulador extra e acesso ao simulador *EveryCircuit*

O *Everycircuit* é uma plataforma digital, que pode ser acessada pelo próprio computador, tablet, celular smartphone etc. É um laboratório de circuito virtual. Pode-se construir nele circuitos e manusear como se fosse um circuito real. É bastante prático, visual e interativo. A imagem a seguir mostra a interface inicial dele.

Figura 15: Interface do Everycircuit



Fonte: <http://everycircuit.com/>

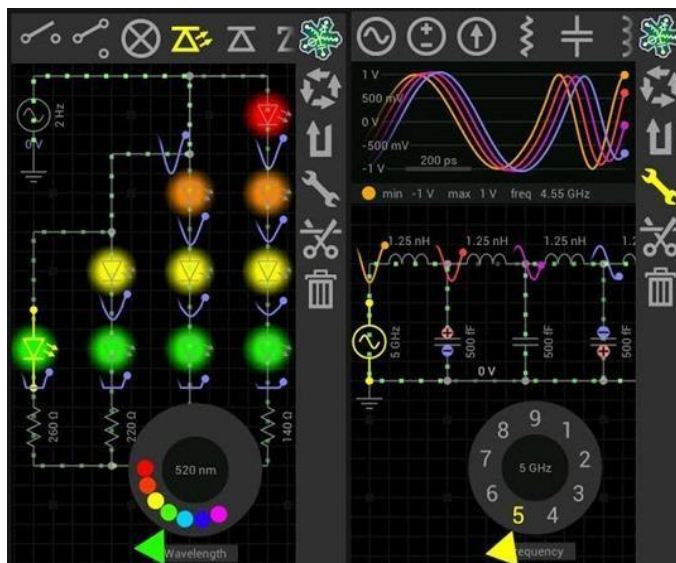
É uma aplicação desenvolvida para equipamentos com sistema operativo Android, que permite a criação e simulação de circuitos digitais. Esta aplicação permite observar, em tempo real, os resultados produzidos por um conjunto de entradas, as variações da voltagem, entre outros parâmetros.

Enquanto a simulação decorre, a aplicação permite o ajuste de parâmetros e o resultado é apresentado em tempo real. O utilizador pode facilmente gerar um conjunto de entradas de sinal, usando simplesmente o dedo sobre as opções da aplicação.

O *EveryCircuit* está disponível em duas versões: paga e gratuita. A versão gratuita traz muitas funcionalidades disponíveis e permite implementar os mais diversos cenários. Já a versão paga custa 7 euros. Mas aqui para o trabalho, basta usar a versão gratuita que já tem o essencial para montar os circuitos sugeridos.

Vale destacar que esse laboratório virtual tem uma comunidade que já busca circuitos construídos por terceiros prontos, podendo editar, adaptar e criar o seu próprio. Com isso, é bem útil para as aulas de eletricidade e para a Física do Caos. Entrando na aba “Pesquisar”, se pode procurar por o tipo que deseja de circuito, ficando a seu critério utilizar o que melhor lhe convém.

Figura 16: Alguns componentes

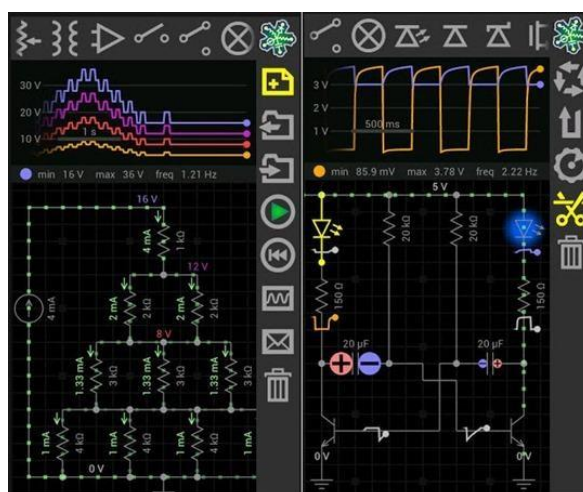


Fonte: <https://pplware.sapo.pt/smartphones-tablets/android/everycircuit-free-crie-circuitos-digitais-no-android/>

### Principais funcionalidades

- Osciloscópio;
- Animações de tensão e fluxos atuais;
- Botão para controlo analógico e ajuste de parâmetros do circuito;
- Interface bastante intuitiva;
- Possibilidade de salvar e carregar circuito;
- Possibilidade de “abandar” o equipamento para lançar os osciladores;
- Simulação transitória.

Figura 17: Algumas funcionalidades

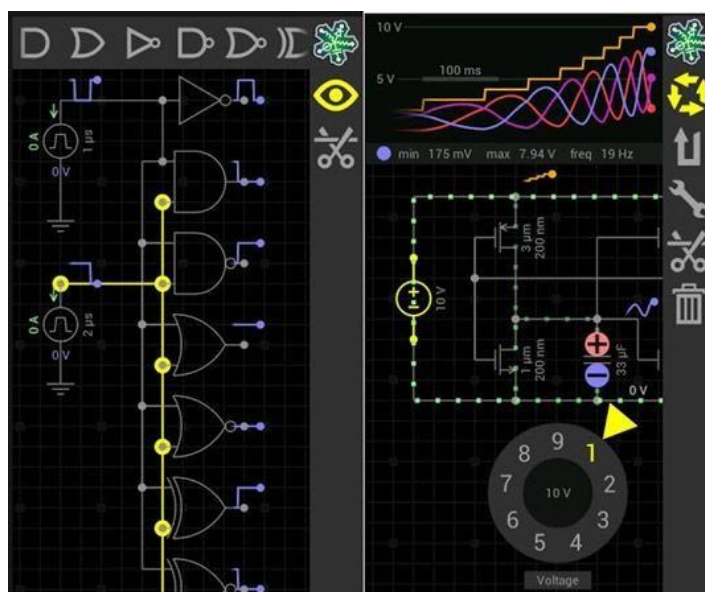


Fonte: <https://pplware.sapo.pt/smartphones-tablets/android/everycircuit-free-crie-circuitos-digitais-no-android/>

## Principais componentes

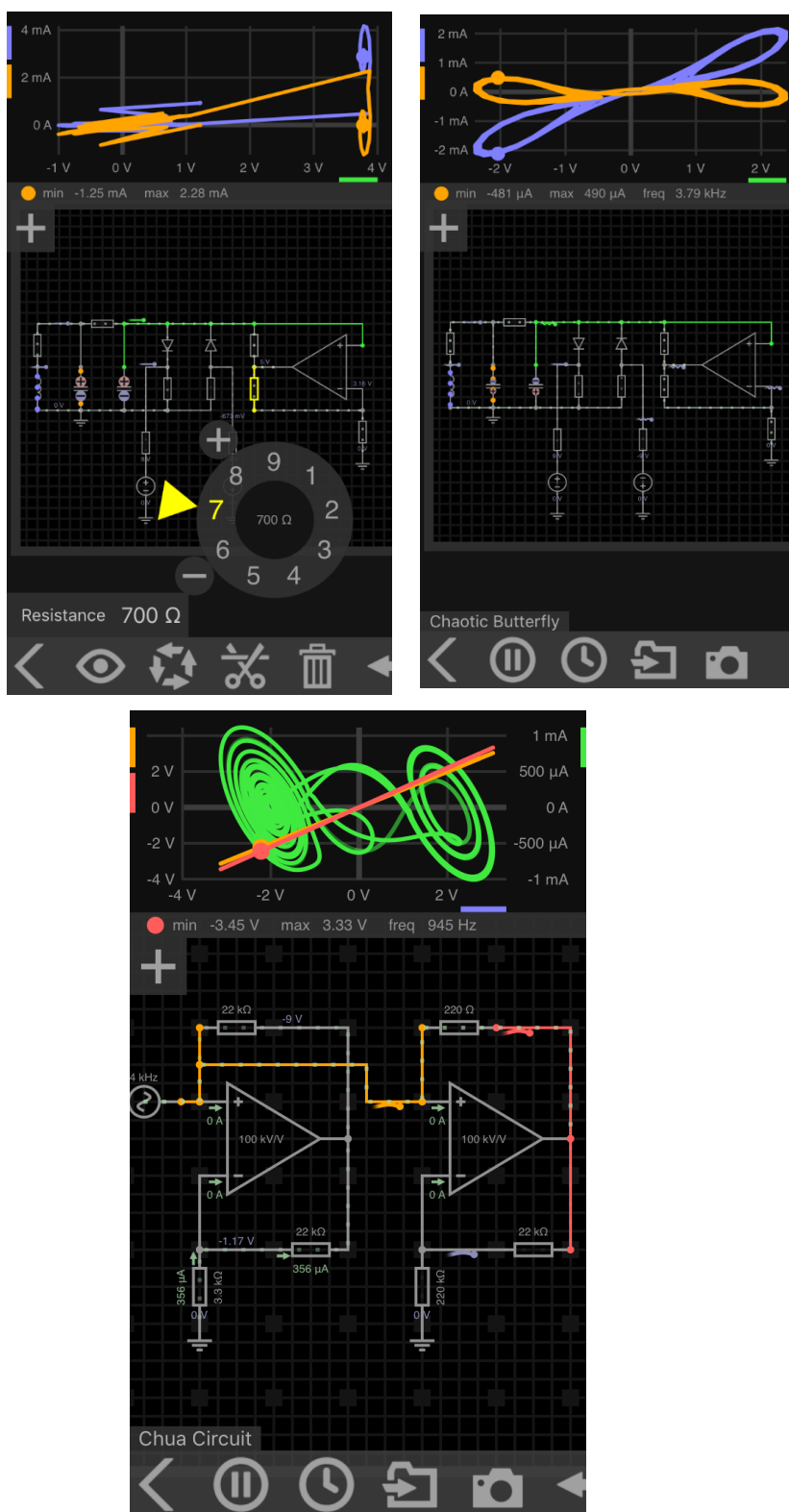
- Fontes;
- Geradores de sinal;
- Resistências, transformadores, Bobinas, condensadores;
- Interruptores SPST e SPDT;
- diodos, diodos Zener, diodos emissores de luz (LED);
- transistores MOS;
- NOR + Digital portas lógicas, AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR.

Figura 18: Outros componentes



Fonte: <https://pplware.sapo.pt/smartphones-tablets/android/everycircuit-free-crie-circuitos-digitais-no-android/>

Sendo assim, aqui mostramos alguns circuitos já prontos para estudo e análise com os alunos em sala de aula para o conhecimento da Teoria do Caos e Sistemas Não-lineares. A seguir, estão os circuitos elétricos. Vale lembrar, que estes circuitos foram pesquisados dentro da Interface e abertos para estudo.



Estes circuitos acima, podem ser acessados a qualquer momento, bastando você ir à aba “Pesquisar” e consultar circuito caótico.

## 6 Roteiros de Atividades

Conforme explicamos anteriormente nos itens iniciais desse Guia de Atividades, o respectivo material foi desenvolvido, aplicado e estruturado para auxiliar os professores de física do 3º ano do ensino médio no processo de ensino e aprendizagem dos conceitos de Sistemas não lineares levando em consideração a presença de circuitos elétricos.

A Taxonomia Solo, uma das teorias utilizadas no desenvolvimento da respectiva sequência didática, considera o fato de que o aluno adquire um novo conhecimento através de níveis ascendentes que envolvem estruturas cognitivas cada vez mais complexas, ou seja, o aluno pode iniciar esse estudo partindo do nível pré-estrutural, podendo atingir o nível abstrato estendido. Entretanto, ao utilizarmos esse guia de atividades, nossa intenção é levarmos o aluno ao nível relacional.

Nesse contexto, destacamos que ao construir roteiros baseados no alinhamento construtivo, o professor deixa bem claro o que os estudantes serão capazes de realizar depois de ter passado pelas atividades de ensino e que não podiam fazer anteriormente. Sua descrição deve considerar a perspectiva de ensino centrada no estudante e outros dois aspectos, sendo o primeiro o tipo de conhecimento envolvido e o segundo a seleção dos conteúdos a serem ensinados.

Portanto, desenvolver atividades com base no alinhamento construtivo significa fornecer uma correspondência explícita, entre os resultados da aprendizagem almejados (objetivos), a sua avaliação e as atividades de ensino e aprendizagem.

### **OBSERVAÇÕES IMPORTANTES NA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES**

Atualmente existem vários exemplos de recursos didáticos que podem ser utilizados pelos professores no desenvolvimento das atividades em sala de aula. A maioria desses recursos conta com o avanço da informática no que diz respeito as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC`s).

Com o auxílio da mesma o professor pode transpor os limites do método tradicional de ensino resumido ao quadro e pincel, destacamos que são inúmeras as contribuições que a informática vem trazendo para a sala de aula, dentre elas podemos citar os programas de criação de apresentações, conhecidos como slides.

O uso de slides é bastante amplo, podendo assim ser utilizado em diversos campos de trabalhos. Outra explicação para a utilização em massa dos slides é quanto à questão da sua facilidade de uso, pois trata-se de uma ferramenta de trabalho bem explicada, fácil

de manusear e com inúmeros recursos internos. São imagens que podem ser anexadas à apresentação de textos conceituais, animações, gráficos e que podem auxiliar na abordagem de um assunto. Também podemos anexar nesse processo pequenos vídeos, formando uma única apresentação, na qual o objetivo é potencializar o ensino.

Portanto para o desenvolvimento da sequência das atividades aqui propostas de modo integral, destacamos que o professor deve produzir slides, podendo utilizar o programa Power point, na qual a estrutura desses slides deve apresentar textos com conceitos físicos, animações e figuras estáticas de acordo com a aula programada. Já em relação aos vídeos que podem ser utilizados no desenvolvimento dessa sequência, salientamos que os mesmos podem ser encontrados e estão disponíveis para baixar na internet.

É importante destacar que os conceitos físicos utilizados no desenvolvimento do material serão redigidos pelo próprio professor com o complemento de figuras estáticas. Na parte referente às animações também no Power Point, o professor pode utilizar em alguns casos, imagens ou cenários fornecidos pelo próprio software, porém em outros casos, pode utilizar figuras disponíveis na internet para montar as animações ou um cenário. O objetivo de trabalhar com esse material, dentro desse contexto, é no sentido de dar suporte ao aluno, nos momentos de suas reflexões, no que diz respeito aos conceitos iniciais de cinemática.

Portanto os materiais desenvolvidos e aplicados durante o desenvolvimento dessa sequência de atividades, de um modo geral, contemplarão satisfatoriamente os alunos, auxiliando-os durante o processo e construção do conhecimento no que diz respeito o guia de atividades.

## **ROTEIRO DE ATIVIDADES – Nº 1**

**Tema:** Circuito lineares e não lineares

**Conteúdos Envolvidos:** Elementos de circuitos lineares e não lineares

**Prof.** Lucas Linhares Marinho

### **1.0 DESCRIÇÃO GERAL DO ROTEIRO DE ATIVIDADES Nº 1**

Caro(a) Aluno(a), neste roteiro vamos dar início ao estudo sobre os conceitos de sistemas lineares e não lineares, colocando-os em prática e em condições de discussões, através do uso de simulações, construídas no simulador *applet Falstad*. Para avançarmos nesse estudo, teremos o auxílio de slides com os conceitos físicos definidos. Nosso estudo tomará como base a aula 01, que leva em consideração as orientações quanto à estrutura e estudo do simulador.

### **2.0 RESULTADOS PRETENDIDOS DA APRENDIZAGEM**

- Identificar um circuito linear e não linear;
- Caracterizar os elementos que provocam a linearidade e a não linearidade;
- Conhecer os fundamentos físicos e suas causas e efeitos;
- Construir uma simulação que apresenta os conceitos físicos discutidos na respectiva aula.

### **3.0 ATIVIDADES DO PROFESSOR**

- Construir uma simulação no simulador *applet*, descrevendo passo a passo a combinação elementos de circuitos elétricos;
- Coordenar e orientar os alunos no processo de construção de sua simulação a ser desenvolvida em grupo;
- Utilizar as simulações produzidas na discussão dos conceitos físicos;
- Apresentar uma sequência dos conceitos físicos em estudos que permita ao aluno comparar o seu entendimento construído ao longo do processo em relação a tal fenômeno por ele analisado;

### **3.1 RECURSOS UTILIZADOS**

- Data show;
- Computador;

- *Tinkercad*;
- Simulador online;
- Quadro branco;
- Pincel.

#### **4.0 ATIVIDADES DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

- Observar e interpelar os aspectos apresentados na construção da simulação;
- Construir uma simulação em *applet* que apresente os conceitos físicos a serem discutidos;
- Analisar e questionar a sequência dos conceitos físicos envolvidos;

#### **5.0 DESCRIÇÃO DAS AULAS (2, 3 e 4)**

- Na aula 4, o professor disponibilizará o tempo de aula integralmente para a resolução da avaliação nº 1 (atividade proposta) que deverá ser resolvida individualmente ou em grupo.

#### **6.0 AVALIAÇÃO Nº 01**

- Resolução de uma atividade avaliativa composta por seis questões, sendo três dissertativas e três objetivas, relacionadas aos conteúdos estudados.
- Na resolução dessa avaliação serão atribuídos 10,0 (Dez) pontos.
- Para a correção da avaliação do roteiro de atividades nº 1, cuja estrutura está baseada no alinhamento construtivo, faremos a utilização dos critérios estabelecidos especificamente (rubricas). Na educação esses critérios caracterizam-se como esquemas explícitos para classificar produtos ou comportamentos, programa, tarefa a ser executada pelos alunos. No ensino de um modo geral, podemos definir que as rubricas podem ser usadas para prover feedback formativo dos alunos, para dar notas ou avaliar programas.

## **ROTEIRO DE ATIVIDADES – Nº 2**

**Tema:** Circuito Não lineares

**Conteúdos Envolvidos:** Sistema Não lineares; Caos.

**Prof.** Lucas Linhares Marinho

### **1.0 DESCRIÇÃO GERAL DO ROTEIRO DE ATIVIDADES Nº 2**

Caro(a) Aluno(a), neste roteiro vamos dar início ao estudo sobre os conceitos de sistemas Não lineares, colocando-os em prática e em condições de discussões, através do uso de simulações, construídas no simulador *applet Falstad*. Para avançarmos nesse estudo, teremos o auxílio de slides com os conceitos físicos definidos. Nosso estudo tomará como base a aula 01, que leva em consideração as orientações quanto à estrutura e estudo do simulador.

### **2.0 RESULTADOS PRETENDIDOS DA APRENDIZAGEM**

- Identificar um Sistema não linear;
- Caracterizar os elementos que provocam a linearidade e a não linearidade;
- Conhecer os fundamentos físicos suas causas e efeitos sobre o caos;
- Construir uma simulação que apresenta os conceitos físicos do caos discutidos na respectiva aula.

### **3.0 ATIVIDADES DO PROFESSOR**

- Introduzir o caos usando slides e animações, com exemplos do cotidiano);
- Coordenar e orientar os alunos no processo de construção de sua simulação a ser desenvolvida em grupo;
- Utilizar as simulações produzidas na discussão dos conceitos físicos;
- Apresentar uma sequência dos conceitos físicos em estudos que permita ao aluno comparar o seu entendimento construído ao longo do processo em relação a tal fenômeno por ele analisado;

### **3.1 RECURSOS UTILIZADOS**

- Data show;
- Computador;
- Simulador online;

- Quadro branco;
- Pincel.

#### **4.0 ATIVIDADES DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

- Observar e interpelar os aspectos apresentados na construção da simulação;
- Construir uma simulação em *applet* que apresente os conceitos físicos a serem discutidos;
- Analisar e questionar a sequência dos conceitos físicos envolvidos;

#### **5.0 DESCRIÇÃO DA AULA 5**

- Após os estudantes construírem suas animações, o professor irá escolher aleatoriamente uma animação produzida pelos estudantes e projetará a mesma através do projetor de imagens e vídeos, para que seja possível iniciar a discussão dos conteúdos físicos que estarão presentes nessa simulação. É importante destacar que nesse momento da aula, todos os alunos participam diretamente e intensamente do debate.

#### **6.0 AVALIAÇÃO Nº 02**

- Resolução de uma lista de exercícios composta por seis questões, sendo três dissertativas e três objetivas, relacionadas aos conteúdos estudados.
- **Na resolução dessa avaliação serão atribuídos 10,0 (Dez) pontos.**
- Para a correção da avaliação do roteiro de atividades nº 2, cuja estrutura está baseada no alinhamento construtivo, faremos a utilização dos critérios estabelecidos especificamente (rubricas). Na educação esses critérios caracterizam-se como esquemas explícitos para classificar produtos ou comportamentos, programa, tarefa a ser executada pelos alunos. No ensino de um modo geral, podemos definir que as rubricas podem ser usadas para prover feedback formativo dos alunos, para dar notas ou avaliar programas.

### **6.1 Aula 1 (Apresentação e aplicação do software applet Falstad)**

Para o desenvolvimento da aula 1, o professor deve disponibilizar aos estudantes (1 tempo) de aula com duração de 50 minutos, independente do ambiente escolhido para o desenvolvimento da sequência de atividades. O material disponibilizado para essa aula é o Roteiro de atividades nº 1.

Nessa etapa o professor apresentará aos estudantes o trabalho de forma geral, o simulador *Falstad*, a forma como esse software applet pode ser empregado no ensino de física em especial no estudo dos conceitos de Sistemas não lineares e circuitos elétricos na qual o objetivo é auxiliar os alunos na construção dos conceitos discutidos e como os estudantes irão manusear e analisar o software *applet* na construção de simulações.

### **6.2 Aula 2 (Aula introdutória sobre a Teoria do Caos e Sistema não lineares)**

Para o desenvolvimento da aula 2, o professor deve inserir a noção de circuitos não lineares a fim de que possa instigar nos alunos a diferença que há entre os circuitos lineares e não-lineares para que nas próximas aulas, os alunos façam alusão do caos com os comportamentos estranhos dos circuitos abordados no simuladores chamados de atratores. O material sugerido para o desenvolvimento dessa aula, se encontra nos materiais utilizado em anexo.

Para ainda complementar essa mudança de um sistema linear para um não linear, o professor deverá fazer aplicações em Sistema Mecânico, como, por exemplo, o caso do pêndulo simples e duplo para que eles internalizem a diferença e a ideia de um sistema para o outro afim de que tenha a noção do que vem ser o caos e por fim estude o mesmo conteúdo do caos em circuitos elétricos em específico.

### **6.3 Aula 3 (Aplicação da avaliação nº 1)**

Para o desenvolvimento da aula 3, o professor, após ter feito uma sondagem sobre o que os alunos tenham em mente sobre o caos apesar de já ter inserido de uma forma indireta sem intervenção do conteúdo nas aulas anteriores, deverá propor uma atividade em grupo a fim de que os alunos construam um gráfico que reproduza o caos na plataforma do Excel. Vale destacar que o professor deva passar as orientações para que fique claro as fórmulas para que os alunos consigam então simular o caos e venham a discutir esse comportamento. Vale destacar que o material que será utilizado para o desenvolvimento dessa aula está localizado nas atividades propostas.

### **6.4 Aula 4 (Abordagem do caos em circuitos elétricos utilizando o simulador nº 1)**

Para o desenvolvimento da aula 4, o professor finalmente apresenta o caos, uma vez que já inseriu o mesmo de forma indireta, e que agora os alunos já vão fazer alusão

das aulas anteriores e conseguir entender o porque da diferença de um sistema para o outro (Sistema linear e Não-linear). O professor então vai abordar 4 (quatro) circuitos Não-lineares, ou seja, circuitos caóticos para se então estudar a fundo o que vem ser o caos suas consequências e aplicações. O professor deve apresentar o simulador online toda sua estrutura, localização dos circuitos etc. Junto com os alunos, o professor deverá discutir relembrando das aulas anteriores, os exemplos aplicados sobre os tipos de sistemas discutidos e assim, e agora estudar os circuitos elétricos envolvendo esses sistemas através dos comportamentos (gráficos) e parâmetros (variáveis de cada circuito: Resistência, tensão, corrente etc). O material utilizado para essa aula se encontra em anexo (Simulações Falstad).

### **6.6 Aula 5 (Aplicação da avaliação nº 2)**

Para o desenvolvimento da aula 5, o professor deve propor um teste, com questões relacionadas aos assuntos abordados nessa sequência de atividades, destacamos que esse respectivo instrumento avaliativo, deve ser aplicado em um tempo de aula, ou seja, em 50 minutos. Quanto ao planejamento e elaboração do teste, é importante que o professor defina um número específico de questões, como sugestão (06 questões, sendo 03 fechadas e 03 abertas), todavia o professor deve considerar o nível de dificuldades das questões, pois para a aplicação dela é disponibilizado apenas um tempo de aula. Outro aspecto importante e que deve ser considerado pelo professor na elaboração, é no que diz respeito à interpretação das questões propostas, pois o objetivo é que o aluno saiba relacionar os conceitos a qual ele construiu após ser submetido ao desenvolvimento dessa sequência didática. O material utilizado para o desenvolvimento dessa aula é o Pós-teste, localizado nas atividades propostas.

Outro procedimento que o professor pode considerar na implantação do teste que será aplicado após o desenvolvimento da sequência das atividades, na qual sua estrutura está baseada no alinhamento construtivo são as (rubricas), que se caracterizam como um conjunto de critérios estabelecidos especificamente e aplicados na correção de uma avaliação. Na educação esses critérios caracterizam-se como esquemas explícitos para classificar produtos ou comportamentos, programa, tarefa a ser executada pelos alunos. No ensino de um modo geral, podemos definir que as rubricas podem ser usadas para prover feedback (retorno do resultado) formativo dos alunos, para dar notas ou avaliar programas. A rubrica encontra-se em anexo.

**ATIVIDADES PROPOSTAS****PRÉ-TESTE - AVALIAÇÃO Nº 1**

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.

## PÓS-TESTE – AVALIAÇÃO Nº 2

Aluno(a): \_\_\_\_\_

Professor: Lucas Marinho

Série: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

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

---



---



---

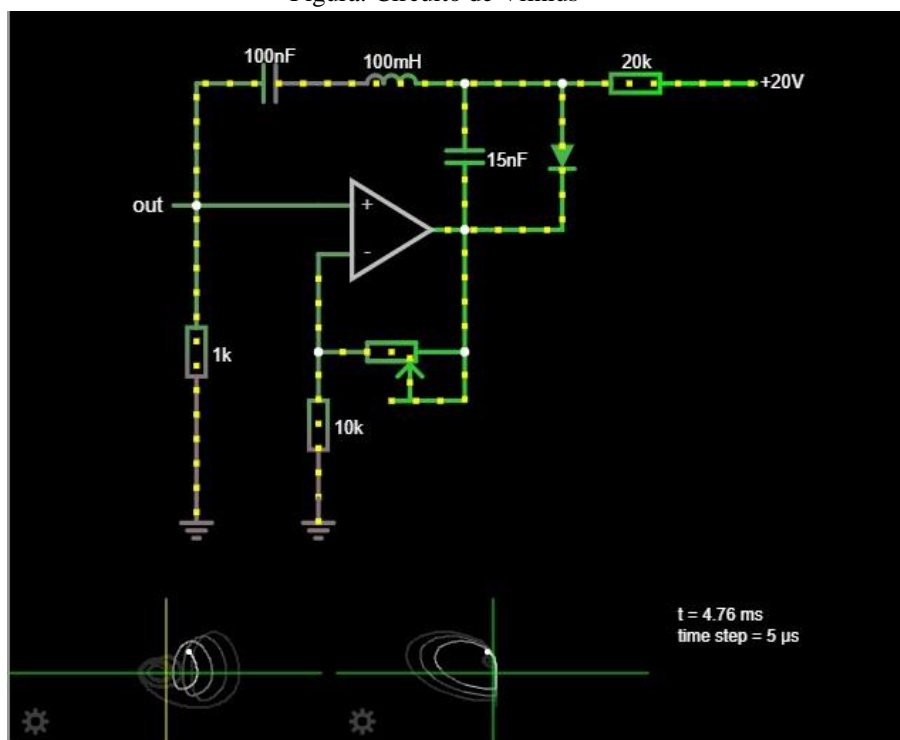


---

2) Marque a(s) alternativa(s) correta(s). O circuito de Chua é um:

- Circuito elétrico linear.
- Circuito elétrico com Previsão a longo prazo impossível de comportamento.
- Circuito elétrico que apresenta comportamento caótico.
- 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:

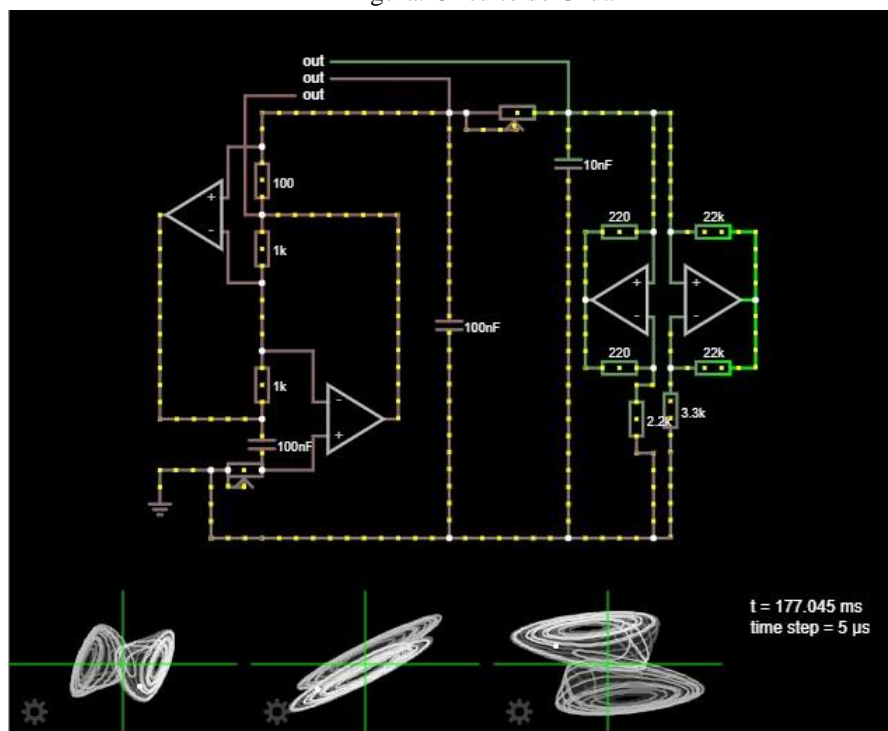
Figura: Circuito de Vilnius



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: Circuito de Chua



Fonte: <https://www.falstad.com/circuit/>

- 
- 
- 
- 
- 5) 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.

- 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.

### **ROTEIRO DE ATIVIDADES Nº 3**

**Tema:** Noções de Eletrodinâmica

**Conteúdos Envolvidos:** Conceitos fundamentais sobre a Eletrodinâmica

**Prof.** Lucas Linhares Marinho

#### **2.0 CONTEÚDOS PRÉVIOS**

- Corrente elétrica;
- Resistência elétrica;
- Tensão/Diferença de potencial (DDP).

#### **3.0 RESULTADO PRETENDIDO DA APRENDIZAGEM**

- Compreender os conceitos fundamentais e a parte quantitativa sobre as noções de eletrodinâmica

#### **4.0 ESTRATÉGIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

**Professor:**

- Apresentar os conceitos fundamentais sobre as noções de eletrodinâmica através de aulas dialogadas e apresentar também uma simulação para melhor compreender;
- Definir as equações das Leis de Ohm e contextualizar as aplicações delas.

**Aluno:**

- Tomar conhecimento acerca do conteúdo abordado em sala de aula;
- Fazer o uso das aulas e dialogar com o professor, tirando dúvidas sobre as Leis de Ohm.

#### **5.0 RECURSOS**

- Projetor de imagens e vídeos;
- Aula dialogada;

#### **6.0 AVALIAÇÃO (TAREFA DE AVALIAÇÃO)**

- Socializar com a turma o conteúdo abordado em sala de aula com notas de aula;
- Fazer anotações das aulas.

## **ROTEIRO DE ATIVIDADES Nº 4**

**Tema:** Circuitos elétricos

**Conteúdos Envolvidos:** Associação de Circuitos Elétricos

**Prof.** Lucas Linhares Marinho

### **2.0 CONTEÚDOS PRÉVIOS**

- Corrente elétrica;
- Resistência elétrica;
- Tensão/Diferença de potencial (DDP);
- Leis de Ohm.

### **3.0 RESULTADO PRETENDIDO DA APRENDIZAGEM**

- Compreender as associações de circuitos elétricos envolvendo resistores e capacitores e seus diversos tipos (Série, Paralela e Mista).

### **4.0 ESTRATÉGIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

**Professor:**

- Apresentar as associações de resistores e capacitores com aulas dialogadas e simulações;
- Apresentar uma simulação como conteúdo complementar para melhor compreender associações e seus tipos.

**Aluno:**

- Tomar conhecimento acerca do conteúdo abordado em sala de aula;
- Fazer o uso das aulas e dialogar com o professor, tirando dúvidas sobre associações e seus tipos.

### **5.0 RECURSOS**

- Projetor de imagens e vídeos;
- Aula dialogada com simulações;

### **6.0 AVALIAÇÃO (TAREFA DE AVALIAÇÃO)**

- Socializar com a turma o conteúdo abordado em sala de aula com notas de aula;
- Fazer anotações das aulas.

## **ROTEIRO DE ATIVIDADES Nº 5**

**Tema:** Circuitos elétricos

**Conteúdos Envolvidos:** Circuitos não lineares.

**Prof.** Lucas Linhares Marinho

### **2.0 CONTEÚDOS PRÉVIOS**

- Leis de Ohm;
- Tipos de associação de resistores, capacitores, indutores;
- Comportamento não linear de componentes variáveis.

### **3.0 RESULTADO PRETENDIDO DA APRENDIZAGEM**

- Realizar uma sondagem sobre a noção de caos.

### **4.0 ESTRATÉGIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

**Professor:**

- Apresentar circuitos não lineares de forma quali-quantitativa;
- Apresentar o Pré-teste para sondar o conhecimento de caos.

**Aluno:**

- Responder o Pré-teste.

### **5.0 RECURSOS**

- Projetor de imagens e vídeos;
- Aula dialogada com animações;

### **6.0 AVALIAÇÃO (TAREFA DE AVALIAÇÃO)**

- Pré-teste com 06 questões (sendo 03 questões do tipo abertas e 03 do tipo fechadas).

## **ROTEIRO DE ATIVIDADES Nº 6**

**Tema:** Circuitos elétricos

**Conteúdos Envolvidos:** Caos

**Prof.** Lucas Linhares Marinho

### **2.0 CONTEÚDOS PRÉVIOS**

- Circuitos elétricos não lineares;
- Noções gerais sobre o caos;
- Características do caos.

### **3.0 RESULTADO PRETENDIDO DA APRENDIZAGEM**

- Compreender a definição qualitativa de caos.

### **4.0 ESTRATÉGIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

**Professor:**

- Apresentar circuitos não lineares de forma quali-quantitativa;
- Apresentar simulações de Física envolvendo o caos para melhor compreender sistemas não lineares.

**Aluno:**

- Tomar conhecimento acerca do conteúdo abordado em sala de aula;
- Fazer o uso das aulas e dialogar com o professor, tirando dúvidas sobre circuito não linear.

### **5.0 RECURSOS**

- Projetor de imagens e vídeos;
- Aula dialogada com animações;

### **6.0 AVALIAÇÃO (TAREFA DE AVALIAÇÃO)**

- Socializar com a turma o conteúdo abordado em sala de aula com notas de aula;
- Fazer anotações das aulas.

## **ROTEIRO DE ATIVIDADES Nº 7**

**Tema:** Circuitos elétricos

**Conteúdos Envolvidos:** Circuitos não lineares.

**Prof.** Lucas Linhares Marinho

### **2.0 CONTEÚDOS PRÉVIOS**

- Conhecimento do componente LDR;
- Conhecimento do componente LED;
- Conhecimento sobre a Interface Arduino.

### **3.0 RESULTADO PRETENDIDO DA APRENDIZAGEM**

- Compreender o caos a partir da percepção do uso do LDR em circuitos elétricos não lineares.

### **4.0 ESTRATÉGIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM Professor:**

- Apresentar o caos de forma qualitativa sob aula prática experimental;
- Apresentar uma animação como conteúdo complementar para melhor compreender o caos através de LDR.

**Aluno:**

- Tomar conhecimento acerca do conteúdo abordado em sala de aula;
- Fazer o uso das aulas e dialogar com o professor, tirando dúvidas sobre o caos;
- Utilizar o aparato experimental para ter a percepção do caos a partir do sensor LDR ligado ao circuito elétrico.

### **5.0 RECURSOS**

- Projetor de imagens e vídeos;
- Aula dialogada com animações.

### **6.0 AVALIAÇÃO (TAREFA DE AVALIAÇÃO)**

- Socializar com a turma o conteúdo abordado em sala de aula com notas de aula;
- Fazer anotações das aulas.

## **ROTEIRO DE ATIVIDADES Nº 8**

**Tema:** Circuitos elétricos

**Conteúdos Envolvidos:** Circuitos não lineares.

**Prof.** Lucas Linhares Marinho

### **2.0 CONTEÚDOS PRÉVIOS**

- Circuitos elétricos;
- Circuitos elétricos não lineares;
- Caos.

### **3.0 RESULTADO PRETENDIDO DA APRENDIZAGEM**

- Compreender o caos em circuitos elétricos.

### **4.0 ESTRATÉGIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

**Professor:**

- Apresentar o Pós-teste a fim de coletar informações sobre as aulas abordadas envolvendo todo o conteúdo.

**Aluno:**

- Responder o Pós-teste.

### **5.0 RECURSOS**

- Projetor de imagens e vídeos;

### **6.0 AVALIAÇÃO (TAREFA DE AVALIAÇÃO)**

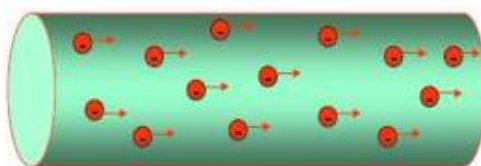
- Pós-teste com 06 questões (sendo 03 questões do tipo abertas e 03 do tipo fechadas);

## MATERIAL UTILIZADO NAS AULAS

### Revisão sobre circuito elétrico e Introdução aos Circuitos Não Lineares

## Recapitulando...

- Corrente elétrica



Movimento ordenado de elétrons.

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$1 \text{Coulomb/segundo} = 1 \text{C/s} = 1 \text{A}$$

Onde :

$\Delta q$  é a quantidade de carga que atravessa a secção reta do condutor num determinado intervalo de tempo ( $\Delta t$ ).

## RESISTÊNCIA

- A resistência é a característica elétrica dos materiais, que representa a oposição à passagem da corrente elétrica.
- Essa oposição à passagem da corrente elétrica é provocada principalmente, pela dificuldade dos elétrons livres se movimentarem pela estrutura atômica dos materiais.
- Medida em ohm ( $\Omega$ ).
- Efeito Joule

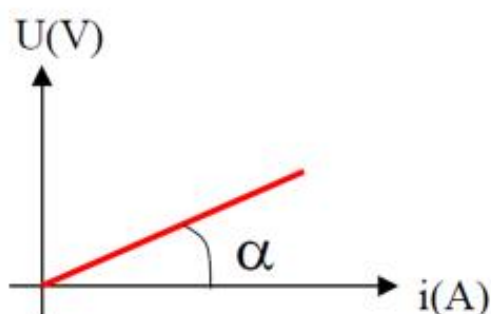


## 1ª LEI DE OHM

- Georg Simon Ohm verificou que a corrente elétrica  $i$  que atravessa um condutor é diretamente proporcional à diferença de potencial  $U$  aplicada a seus terminais, ou seja, que o quociente  $U/i$  é constante.

$$R = \frac{V}{I} \Rightarrow \boxed{U = Ri}$$

V = Medido em volts.  
I = medido em Amperes  
R = medido em ohm

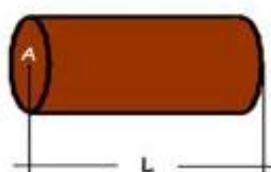


Tg  $\alpha$  = declividade da reta

Tg  $\alpha$  = R

4

## 2ª LEI DE OHM



$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \text{ Condutividade elétrica}$$

onde  $\rho$  é uma característica do material denominada resistividade,  $\ell$  é o comprimento da amostra e  $A$  é a área da seção reta da amostra.

- $\rho$  é considerada uma propriedade intrínseca da matéria.
- $\rho$  medido em ohms-metros no sistema SI.

5

## RESISTÊNCIA

- Os condutores que permitem um grande fluxo de carga com uma pequena tensão externa têm valores de resistências baixas, enquanto os isolantes têm valores elevados de resistência. Também, quanto maior o caminho que a carga tem de percorrer, maior o valor da resistência, ao passo que quanto maior a área, menor a resistência.

$$\downarrow R = \rho \frac{L \downarrow}{A \uparrow}$$

6

## RESISTÊNCIA

- À medida que aumenta a temperatura da maioria dos condutores, aumenta o movimento das partículas de sua estrutura molecular, fazendo com que aumente a dificuldade de deslocamento dos portadores livres, o que aumenta o valor da resistência.

7

## Resistores não-lineares

- A seguir analisaremos ambos em circuitos elétricos



Potenciômetro

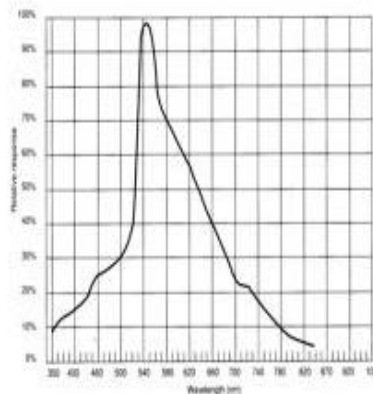


LDR: Resistor dependente de Luz

8

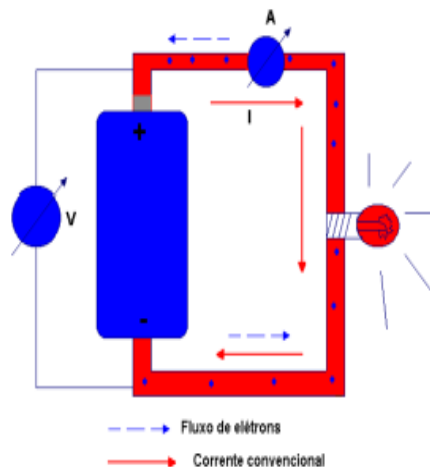
## Resistores não-lineares

- Ex: Resistor variável (Potenciômetro)
- Chuveiro elétrico



9

## Circuitos Eléctricos



10

## Circuitos Eléctricos

É o caminho por onde circula a corrente elétrica.

Um circuito completo deve ter, no mínimo:

- uma chave (Dispositivo de manobra);
- uma fonte de energia (bateria);
- um consumidor (lâmpada) e;
- condutores fechando o circuito.

11

## Circuitos Elétricos

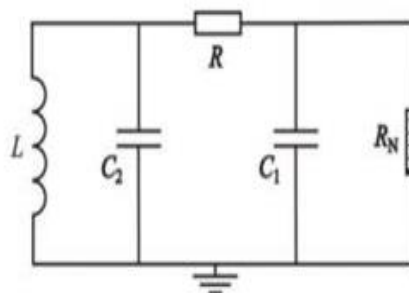
- Na maioria dos circuitos elétricos encontramos consumidores combinados de três maneiras.

- Circuito Série
- Circuito Paralelo
- Circuito Misto (Série/Paralelo)

12

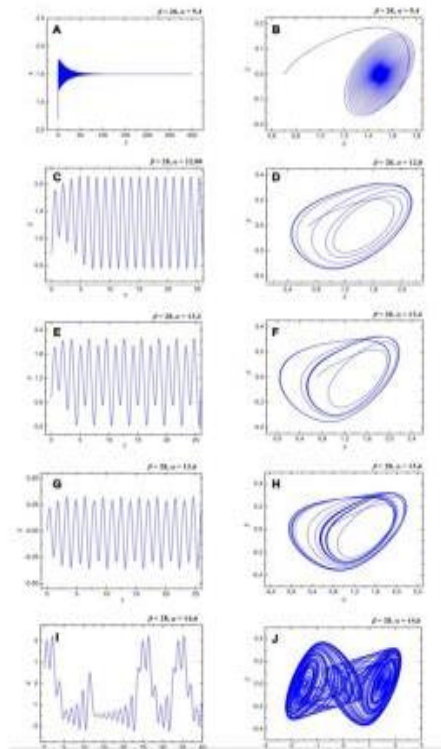
## Circuitos Elétricos Não Lineares

- Circuitos cujo a entrada, seja ela, a corrente elétrica ou a tensão, deve ser diferente na saída do circuito.
- Ex: Circuito de chua



13

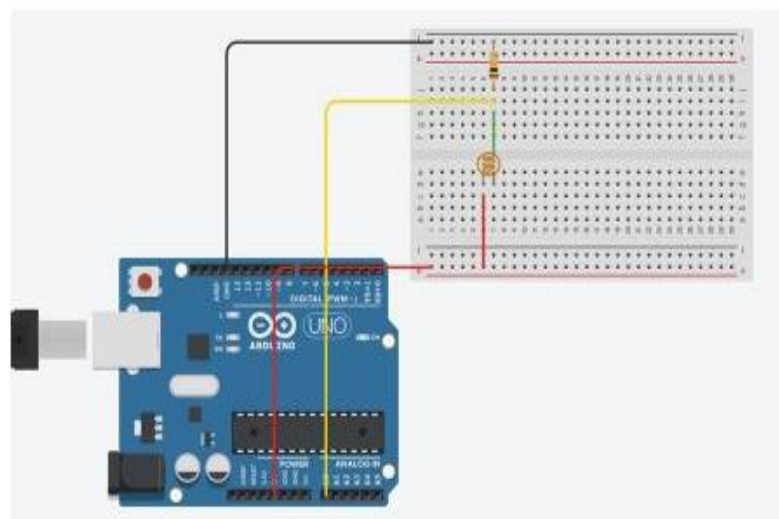
## Circuitos Eléctricos Não Lineares



14

## Circuitos Eléctricos Não Lineares

- Atividade usando o IDE Arduino;
- Circuito com componentes não lineares.



15

## Introdução ao caos e as Simulações

# Introdução

- ◆ 1 – O que é Caos?
- ◆ 2 – Um exemplo de sistema caótico:  
O mapa logístico

No dia-a-dia, a palavra **CAOS** está associada com desordem...



Em Física, tem um significado bem preciso.

Sistemas dinâmicos caóticos são sistemas que **tem uma regra de evolução temporal bem definida** e, ainda assim, **se tornam imprevisíveis com o tempo.**

**Como é possível?**

Propriedades matemáticas das equações que governam a evolução temporal do sistema tem

**"dependência sensível às condições iniciais".**

Mesmo equações muito simples podem ter  
"caos"

Mapa Logístico

dinâmica de populações

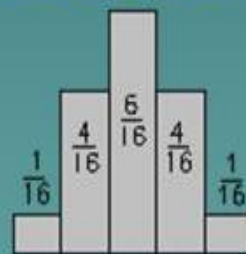
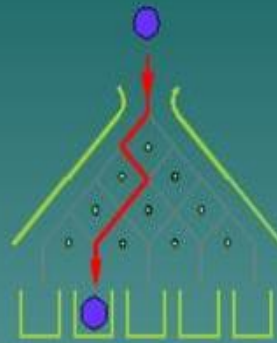
$$x_{n+1} = \mu x_n (1 - x_n)$$

3

## Sistemas Previsíveis e Não-Previsíveis

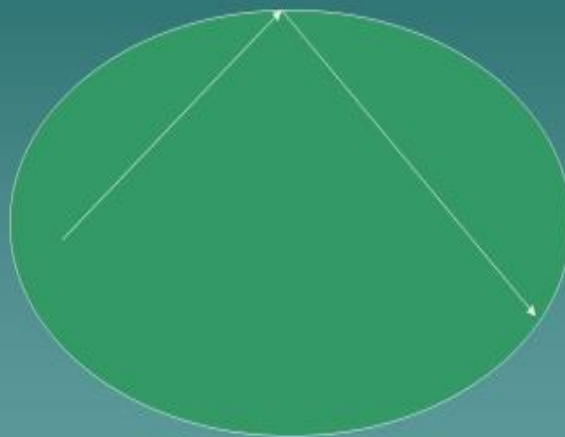
- ◆ Calendário (anos bissextos, eclipses)
- ◆ Pêndulos (relógio)
- ◆ Sistema massa-mola
- ◆ Clima
- ◆ Fluidos turbulentos
- ◆ Mesa de pregos
- ◆ Mesa de bilhar
- ◆ Dinâmica de três espécies

## A Mesa de Pregos: Caos e Determinismo



relative frequency  
distribution

## A Mesa de Bilhar



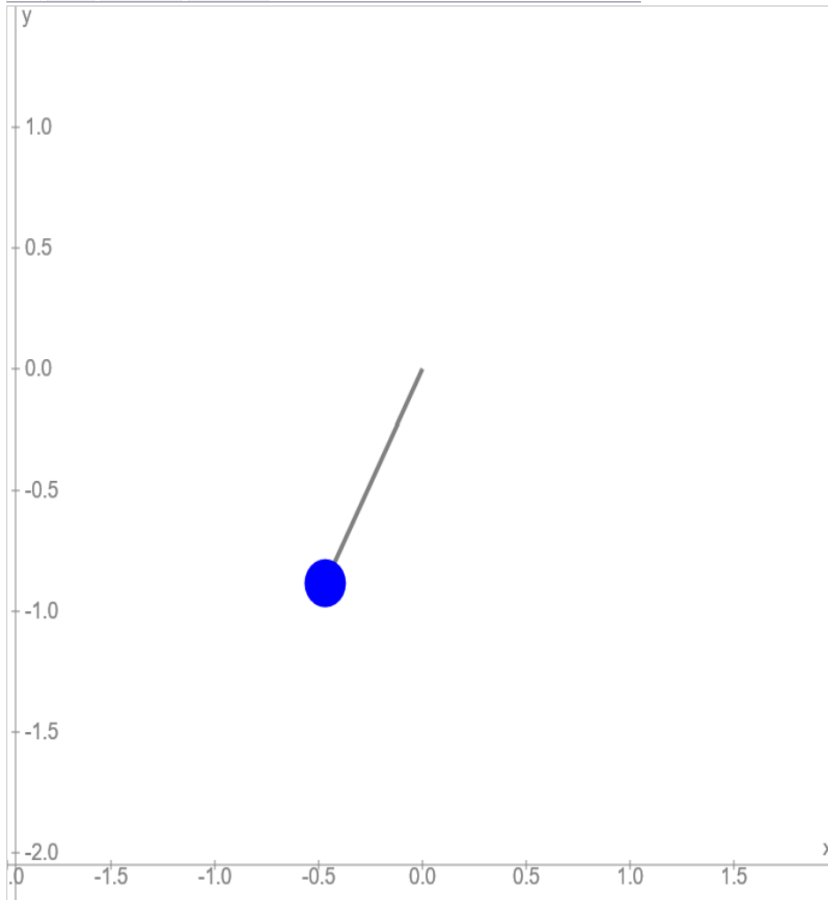
- ◆ Equações diferenciais, como a segunda lei de Newton, são determinísticas: dadas as condições iniciais devemos ser capazes de determinar o estado futuro do sistema.
- ◆ Se jogamos as bolinhas (aproximadamente) do mesmo modo, porque elas não caem (aproximadamente) no mesmo lugar?
- ◆ Condições iniciais muito parecidas podem provocar efeitos dinâmicos muito diferentes!
- ◆ Surpresa: sistemas muito simples podem ter comportamentos complexos, onde pequenas diferenças iniciais são amplificadas, levando a um comportamento aleatório.

## Sistemas Regulares X Sistemas Caóticos

- 1) [Pêndulo simples](#)
- 2) [O pendulo duplo com molas](#)

### Simple Pendulum

Sim Graph Time Graph Multi Graph

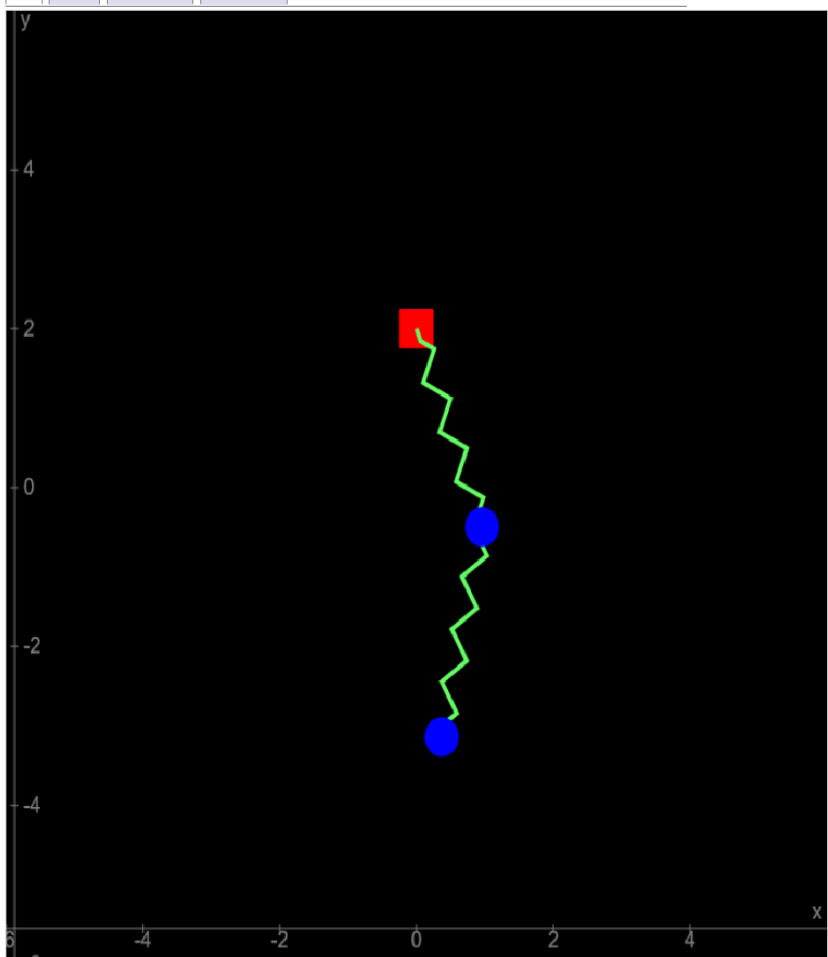


Control panel for the Simple Pendulum simulation:

- length: 1.00
- damping: 0.00
- mass: 1.00
- drive amplitude: 0.00
- drive frequency: 0.667
- gravity: 9.80
- limit angle
- show energy
- show clock
- pan-zoom
- time step: 0.0250
- time rate: 1.00
- Diff Eq Solver: Runge-Kutta
- background: white
- share

### Double 2D Spring

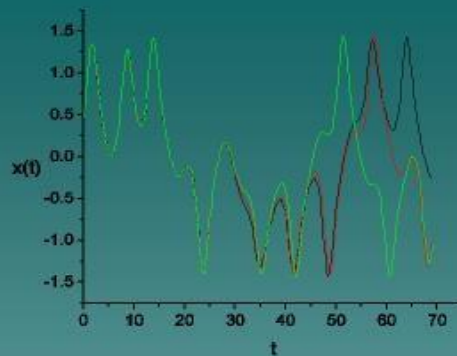
Sim Graph Time Graph Multi Graph



Control panel for the Double 2D Spring simulation:

- gravity: 9.80
- damping: 0.00
- mass-1: 0.500
- mass-2: 0.500
- spring length: 1.00
- spring stiffness: 6.00
- show energy
- show clock
- pan-zoom
- time step: 0.0250
- time rate: 1.00
- Diff Eq Solver: Runge-Kutta
- background: black
- rest state
- share

### Trajectoria típica de um sistema caótico



Preto:  $x(0)=0.480$   $v(0)=0.355$   
 Vermelho:  $x(0)=0.481$   $v(0)=0.355$   
 Verde:  $x(0)=0.482$   $v(0)=0.355$

O movimento é tão complicado que torna-se imprevisível!

**CAOS = sensibilidade às condições iniciais**

## RESUMO

- ◆ Caos = sensibilidade às condições iniciais
- ◆ Condições iniciais muito próximas separam-se exponencialmente rápido: (efeito borboleta)
- ◆ Existe um tempo característico  $\tau$  dentro do qual previsões são possíveis. Além desse tempo o sistema torna-se imprevisível. O fator  $1/\tau$  é chamado de **expoente de Lyapunov**.

## Perguntas:

- ◆ Porque alguns sistemas determinísticos se comportam de forma simples e outros de forma quase aleatória (caótica)?
- ◆ Qual o mecanismo responsável pelo aparecimento de dinâmica caótica?
- ◆ Quais as implicações do movimento caótico?
- ◆ Quão raros ou frequentes são sistemas caóticos?

# Sistema dinâmicos

Sistemas físicos como o oscilador de Duffing ou o sistema Sol-Terra-Lua são complicados do ponto de vista matemático.

Vamos considerar aqui apenas sistemas dinâmicos simples, que servirão como modelos para o estudo de sistemas realistas.

**Exemplo 1:**

$$x_{n+1} = \sqrt{x_n} \quad x_n \geq 0$$

$$x_0 = 49.0$$

$$x_1 = 7.0$$

$$x_2 = 2.646\dots$$

$$x_3 = 1.627\dots$$

$$x_4 = 1.275\dots$$

$$x_5 = 1.129\dots$$

$$x_6 = 1.063\dots$$

$$x_7 = 1.031\dots$$

$$x_0 = 0.030$$

$$x_1 = 0.173\dots$$

$$x_2 = 0.416\dots$$

$$x_3 = 0.645\dots$$

$$x_4 = 0.803\dots$$

$$x_5 = 0.896\dots$$

$$x_6 = 0.947\dots$$

$$x_7 = 0.973\dots$$

$$x_0 = 1$$

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 1$$

$$x_3 = 1$$

$$x_4 = 1$$

$$x_5 = 1$$

$$x_6 = 1$$

$$x_7 = 1$$

$$x_0 = 0$$

$$x_1 = 0$$

$$x_2 = 0$$

$$x_3 = 0$$

$$x_4 = 0$$

$$x_5 = 0$$

$$x_6 = 0$$

$$x_7 = 0$$



Exemplo 2:

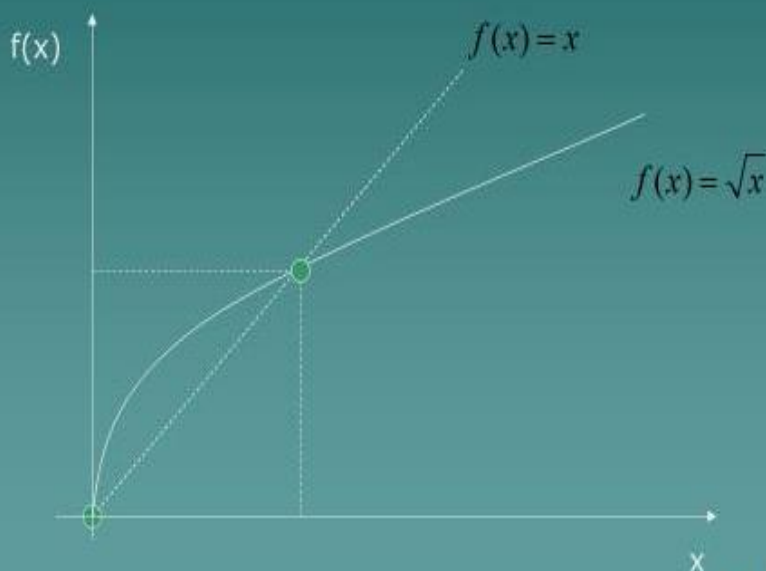
$$x_{n+1} = x_n^2 \quad x_n \geq 0$$

$x_0 = 2.0$	$x_0 = 0.8$	$x_0 = 1$	$x_0 = 0$
$x_1 = 4.0$	$x_1 = 0.64$	$x_1 = 1$	$x_1 = 0$
$x_2 = 16$	$x_2 = 0.4096$	$x_2 = 1$	$x_2 = 0$
$x_3 = 256$	$x_3 = 0.1677\dots$	$x_3 = 1$	$x_3 = 0$
$x_4 = 65536$	$x_4 = 0.0281\dots$	$x_4 = 1$	$x_4 = 0$
$x_5 = 4294967296$	$x_5 = 0.0008\dots$	$x_5 = 1$	$x_5 = 0$



Pontos fixos são como pontos de equilíbrio. No caso do primeiro exemplo podemos encontrá-los da seguinte forma:

$$x_{n+1} = \sqrt{x_n} = x_n$$



### Exemplo 3: o mapa logístico

Motivação:

Seja  $X_n$  a população de uma determinada espécie na geração  $n$ .

A cada geração uma parte da população morre e filhotes nascem. O número de indivíduos na geração seguinte deve ser aproximadamente proporcional ao número de indivíduos na geração anterior:

$X_{n+1} = \mu X_n$  onde o parâmetro  $\mu > 1$  mede a taxa de crescimento

Se a população fica muito grande pode faltar comida. Então a taxa de crescimento não pode ser constante. Substituímos  $\mu$  por

$$\mu(1 - X_n/X_c)$$

onde  $X_c$  é o maior número de indivíduos que pode sobreviver com os recursos existentes.

Veja que

$$\mu(1 - X_n/X_c) \approx \begin{cases} \mu & \text{se } X_n \ll X_c \\ 0 & \text{se } X_n \approx X_c \end{cases}$$

Então a equação que descreve a população fica:

$$X_{n+1} = \mu X_n (1 - X_n / X_c)$$

Dividindo os dois lados por  $X_c$  e definindo uma nova variável  $x_n = X_n/X_c$

$$\frac{X_{n+1}}{X_c} = \mu \frac{X_n}{X_c} \left(1 - \frac{X_n}{X_c}\right)$$

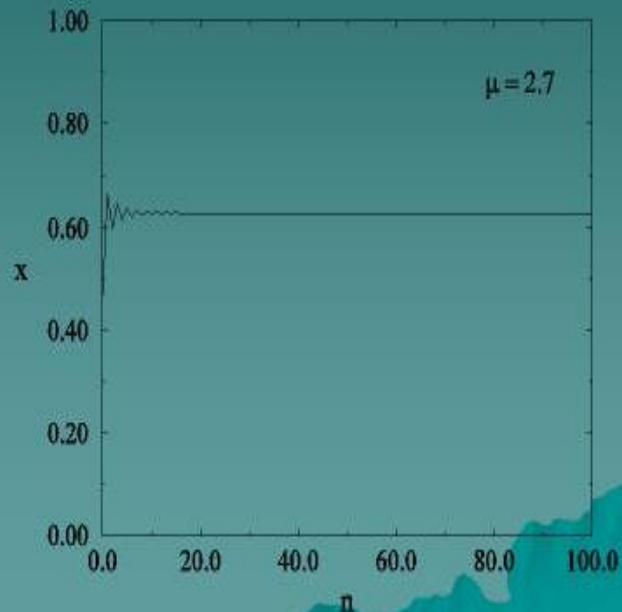
$$x_{n+1} = \mu x_n (1 - x_n)$$

$$x_{n+1} = \mu x_n(1 - x_n) \quad 0 \leq x_n \leq 1 \quad \mu = 2.7$$

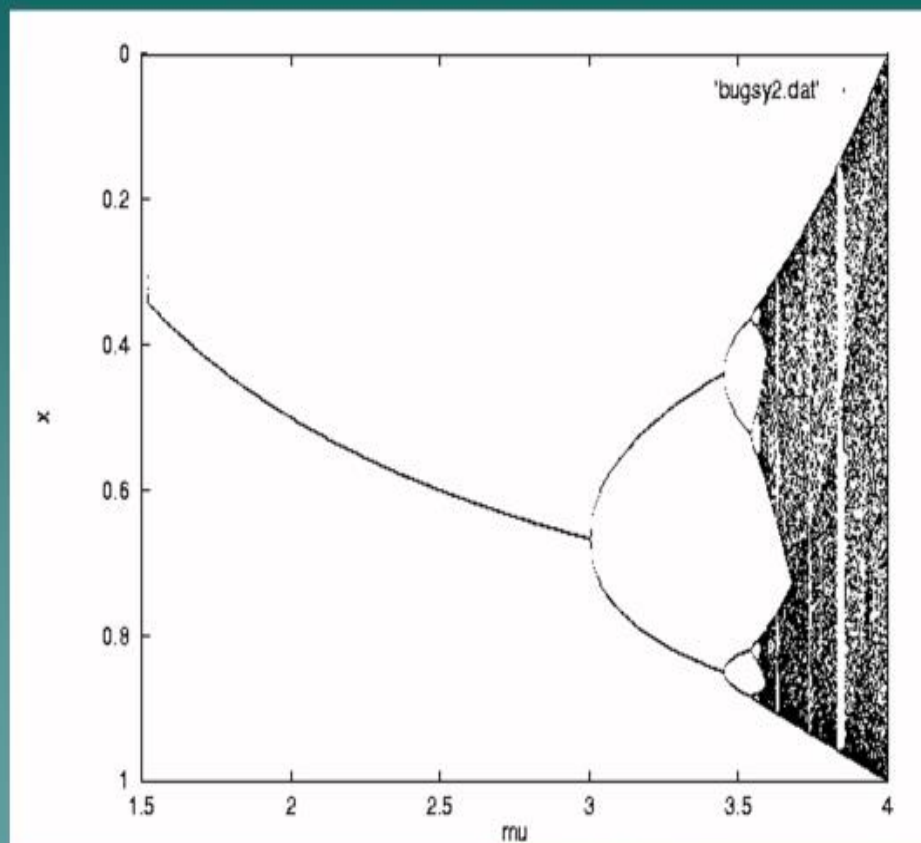
Pontos fixos:  $x_{n+1} = x_n$

Soluções:  $x=0$  e  $x = (\mu-1)/\mu = 0.629\dots$

$x_0 = 0.5$   
 $x_1 = 0.675$   
 $x_2 = 0.597\dots$   
 $x_3 = 0.650\dots$   
 $x_4 = 0.615\dots$   
 $x_5 = 0.640\dots$   
 $x_6 = 0.622\dots$   
 $x_7 = 0.634\dots$



Rota para o caos por duplicação de período



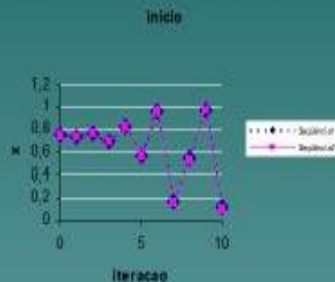
Por exemplo: suponha  $\mu = 3.9$  e  $x_0 = 0.75$

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



caso (a)	
n	x(n)
0	0.7500
1	0.73
2	0.77
3	0.70
4	0.82
5	0.57
6	0.96
7	0.17
8	0.54
9	0.97
10	0.12

caso (b)	
n	x(n)
0	0.7501
1	0.73
2	0.77
3	0.70
4	0.82
5	0.57
6	0.96
7	0.16
8	0.53
9	0.97
10	0.10

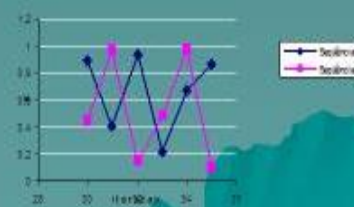


mas depois de certo tempo...

30	0.88
31	0.40
32	0.94
33	0.22
34	0.87
35	0.86

30	0.44
31	0.96
32	0.15
33	0.48
34	0.97
35	0.10

depois de certo tempo...

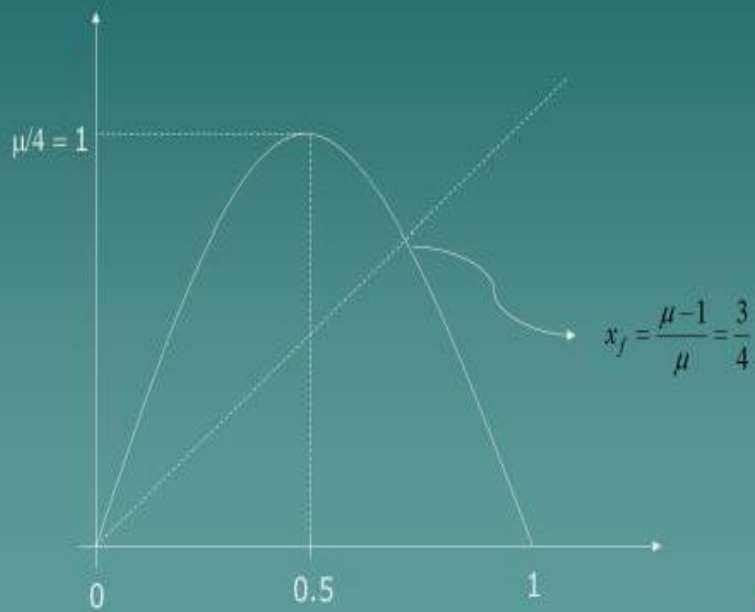


**Qual o mecanismo que leva ao caos?**

Para responder essa pergunta vamos fazer uma análise geométrica do problema.

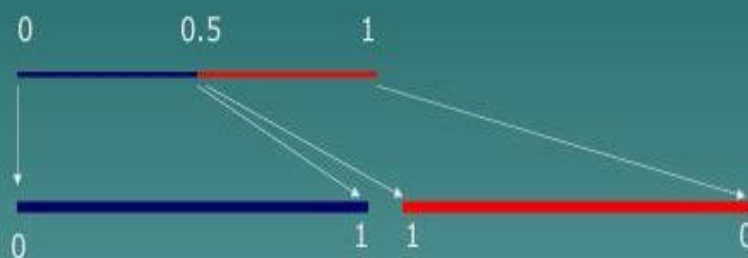
$$\mu = 4$$

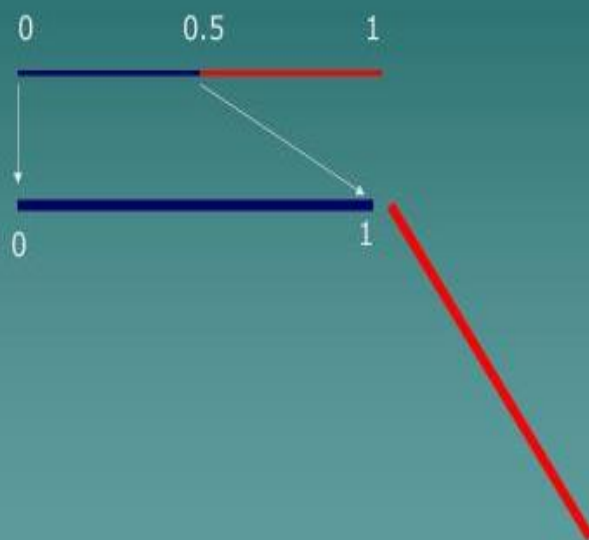
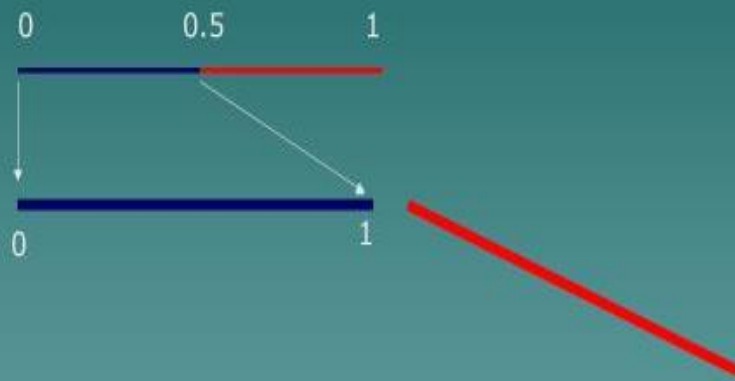
$$f(x) = 4x(1-x) \quad x_{n+1} = f(x_n)$$

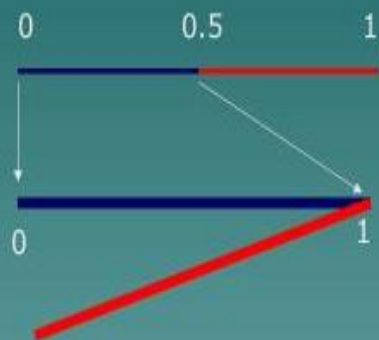
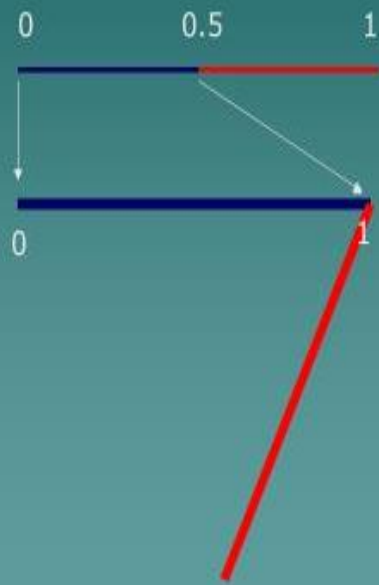


1 - O intervalo  $[0, 0.5]$  é levado pelo mapa no intervalo  $[0, 1]$

2 - O intervalo  $[0.5, 1]$  é levado pelo mapa no intervalo  $[1, 0]$









A cada passo do processo pontos inicialmente muito próximos vão se afastando devido ao esticamento.

Se a distancia entre dois pontos representa um erro na condição inicial, esse erro acaba ficando do tamanho do espaço todo, e perdemos o poder de previsão:



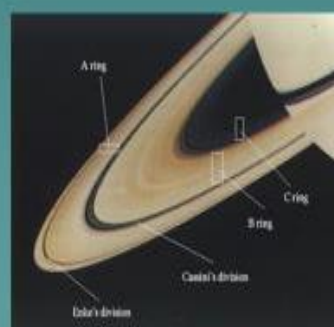
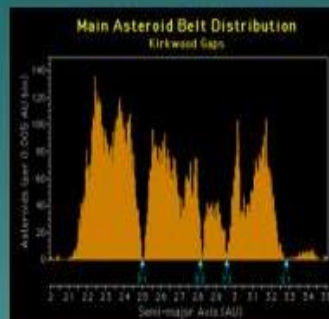
No caso da previsão do tempo, um erro de medida de 0.1 grau, por exemplo, no dia seguinte representa 0.5 grau e cinco dias depois 10 graus, perdendo totalmente o significado.

O processo de esticar e dobrar é o mecanismo fundamental da geração de caos.

## Exemplos de Sistemas com Movimento Caótico

### Problemas de três corpos

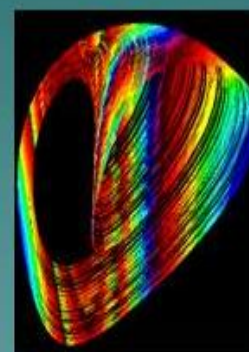
- ◆ Cinturão de asteróides entre Marte e Júpiter
- ◆ Anéis de Saturno



### Meteorologia: o atrator de Lorenz



### Ecologia: modelos predador-presa com 3 espécies

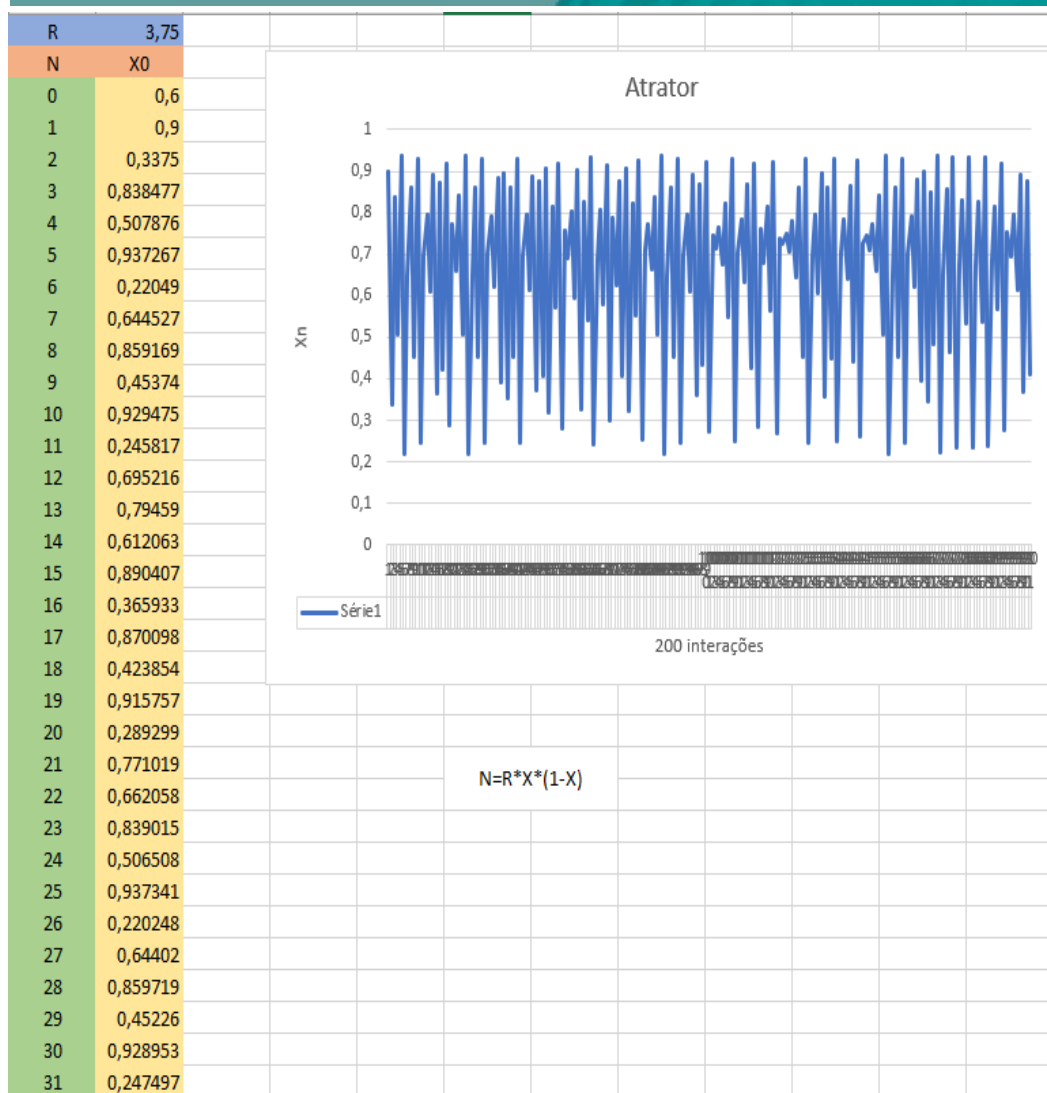


### OUTROS EXEMPLOS:

- Pêndulo duplo com hastes rígidas ou com molas
- Osciladores acoplados não-lineares (redes atômicas)
- Movimento de partículas em redes cristalinas
- Movimento de elétrons em algumas estruturas mesoscópicas
- Fluidos turbulentos

# Conclusões

- ◆ **Caos = sensibilidade a condições iniciais** (efeito borboleta). Apesar do determinismo das equações de movimento nosso poder de previsão é limitado.
- ◆ **Esticar e Dobrar** é o mecanismo dinâmico que produz caos (dinâmica do padeiro).



## SIMULAÇÕES FALSTAD

File Edit Draw Scopes Options Circuits

Reset

RUN / Stop

Simulation Speed

Current Speed

Power Brightness

Current Circuit: Vilnius

Resistance

Ad closed by Google

Stop seeing this ad

Why this ad? ⓘ

t = 4.76 ms  
time step = 5 μs

File Edit Draw Scopes Options Circuits

Reset

RUN / Stop

Simulation Speed

Current Speed

Power Brightness

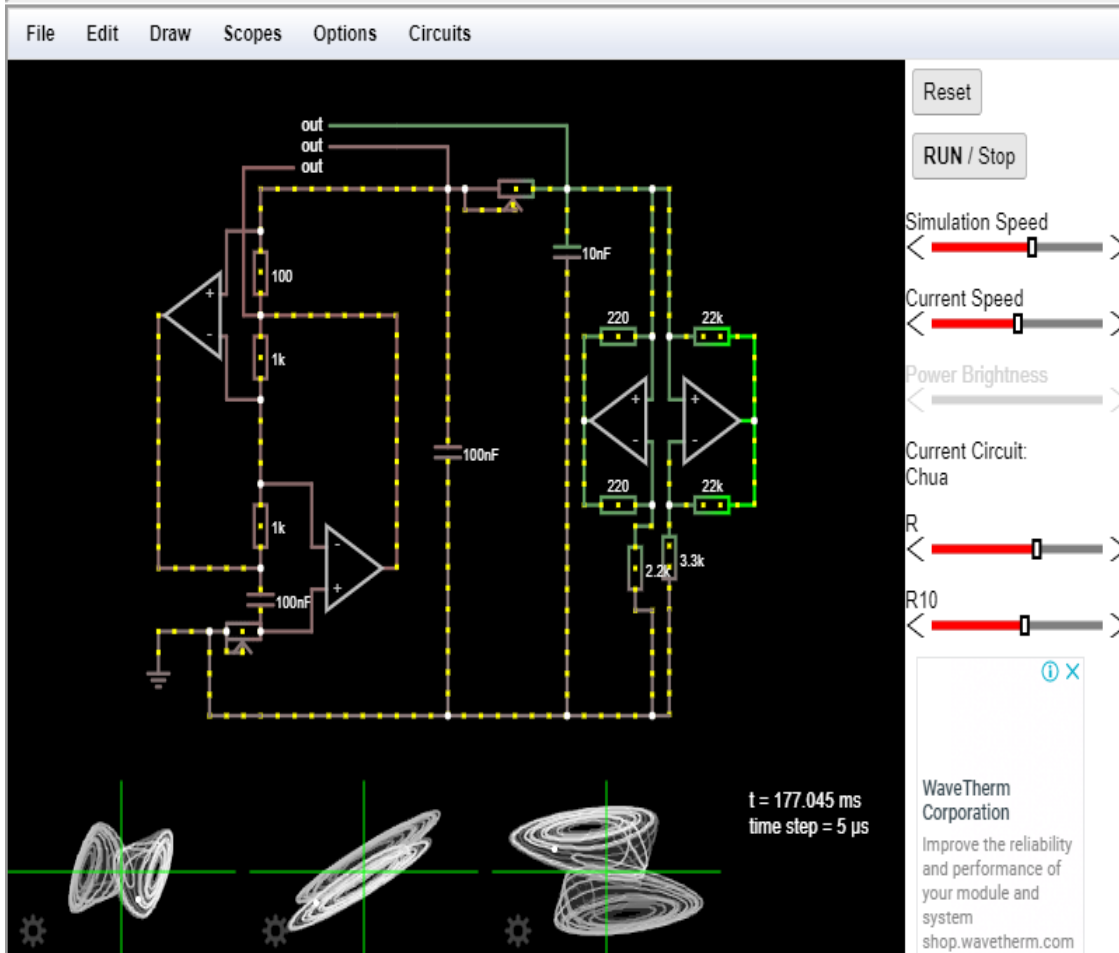
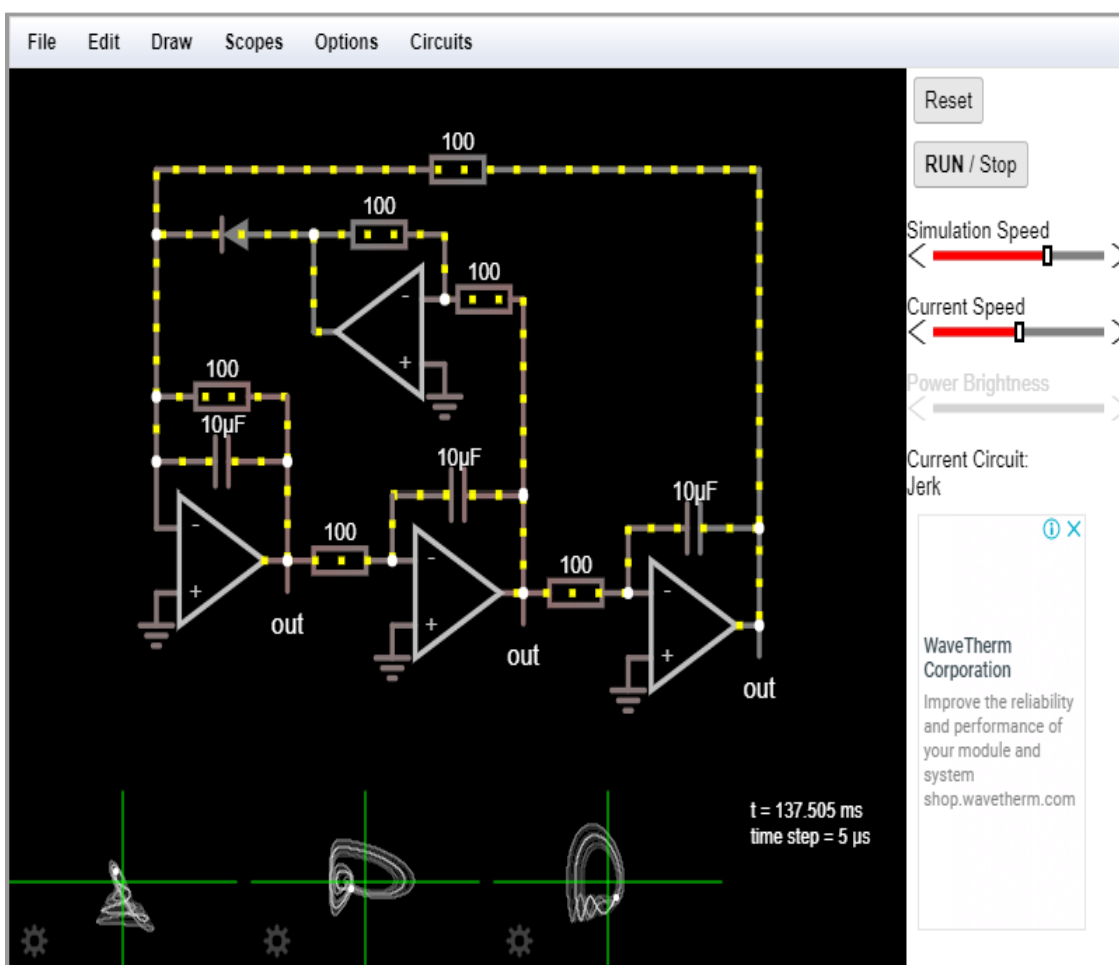
Current Circuit: Chaos 1

Ad closed by Google

Stop seeing this ad

Why this ad? ⓘ

t = 117.25 ms  
time step = 5 μs



**RUBRICA DAS ATIVIDADES**

<b>Questões</b>	<b>Pontuação máxima/questão</b>	<b>Critérios utilizados para cada resposta</b>
1	1,0 ponto	Desenvolvimento parcial da questão (1,0 ponto);  Desenvolvimento parcial da questão (0,5 pontos)
2	1,0 ponto	Marcando as duas alternativas corretas (1,0 ponto);  Marcando apenas uma alternativa correta (0,5 pontos).
3	2,0 pontos	Assinalando a resposta correta (2,0 pontos);  Se a questão se encontrar com rasura de mais de uma resposta marcada, será considerada anulada.
4	3,0 pontos	Desenvolvimento integral da questão levando em consideração as características da Teoria do Caos e a compreensão de circuitos elétricos (3,0 pontos);  Desenvolvimento parcial da questão apenas descrevendo

		<p>o comportamento caótico (1,5 pontos);</p> <p>Desenvolvimento parcial descrevendo somente o caos (0,5 pontos).</p>
5	2,0 pontos	<p>Assinalando a resposta correta (2,0 pontos);</p> <p>Se a questão se encontrar com rasura de mais de uma resposta marcada, será considerada anulada.</p>
6	1,0 pontos	<p>Assinalando a resposta correta (1,0 ponto);</p> <p>Se a questão se encontrar com rasura de mais de uma resposta marcada, será considerada anulada.</p>

## Referências

BIGGS, J.; COLLIS, K. **Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy**. New York: Academic Press, 1982.

BRUNER, JEROME S. **The Process of Education**, 1º ed. 1963.  
Chuacircuit. Disponível em: <http://www.chuacircuits.com/sim.php>  
Falstad. Disponível em: <https://falstad.com>

MARQUES, Ramiro. A pedagogia de Jerome Bruner. **Disponível em: < [http://www.eses.pt/usr/ramiro/docs/etica\\_pedagogia/A%20Pedagogia%20de%20JeromeBrune.pdf](http://www.eses.pt/usr/ramiro/docs/etica_pedagogia/A%20Pedagogia%20de%20JeromeBrune.pdf) > Acesso em 20/08/2017**, v. 20, 2002.

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, CJ de H. Teorias de aprendizagem. **Porto Alegre: UFRGS**, 2010.

SÉRÉ, M. G., COELHO, S. M. NUNES, A. D. O papel da experimentação no Ensino a Física. Cad.Bras.Ens.Fís., v.20, n.1,2003.

Tinkercad. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/things/7JUyJyInEF1>