



CEFET-MG

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

15 ANOS C&T

BIOECONOMIA:
diversidade e riqueza para o desenvolvimento sustentável

SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA 2019

OUTUBRO DE 2019

15ª Semana C&T
SEMANA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Apelo: FCM Fundação CEFET/MG, CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Realização: FAPEMIG, DCT Diretoria de Gestão e Inovação CEFET/MG, DPPG Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, 10 ANOS CEFET-MG 1979-2019

Terceiro Ciclo de Palestra do Curso de Engenharia Elétrica

Tecnologias para Transmissão de Energia sem Fio

Prof. Ursula do Carmo Resende - Dep. Engenharia Elétrica



Eletromagnetismo



☞ Deus disse:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$



E fez-se a luz!

Professora: Úrsula do Carmo Resende

**Métodos
numéricos**



**Problemas
eletromagnéticos**

Sistemas para transmissão de energia sem fio



Áreas de concentração:

❖ **Área: Sistemas Elétricos - SE**

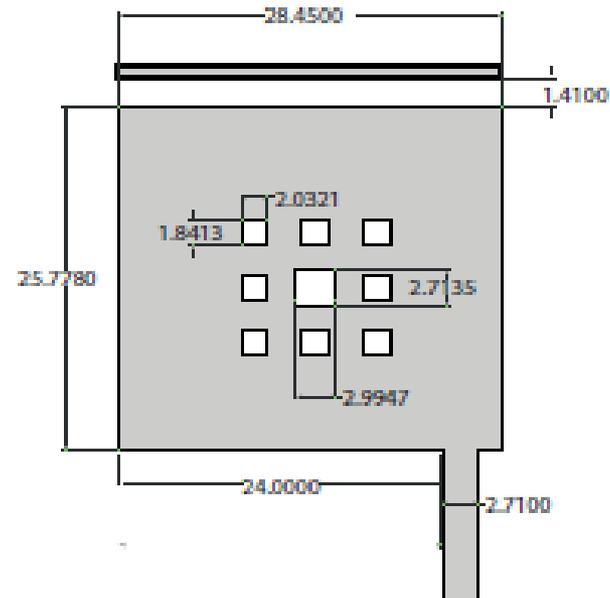
- Planejamento e Operação de Sistemas Elétricos de Potência – POSEP
- Eletromagnetismo Aplicado – EA

❖ **Área: Modelagem e Controle de Sistemas - MCS**

- Análise e Modelagem de Sistemas – MAS
- Sistemas de Controle - SC

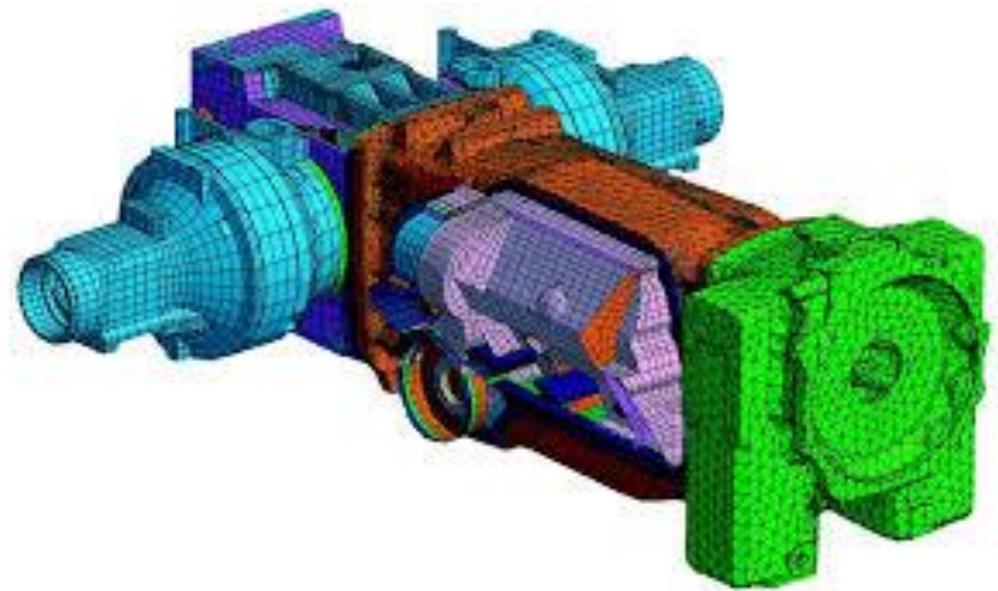
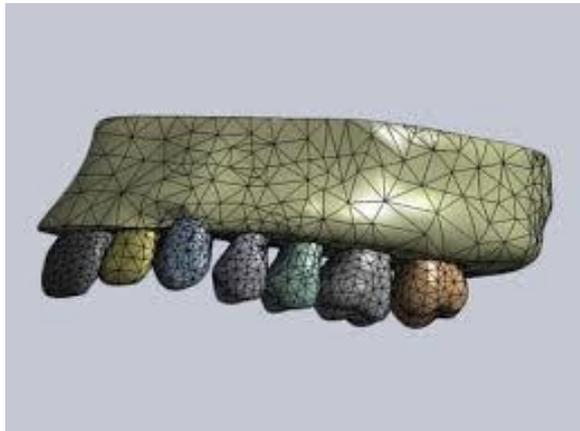
Método dos Momentos (MoM)

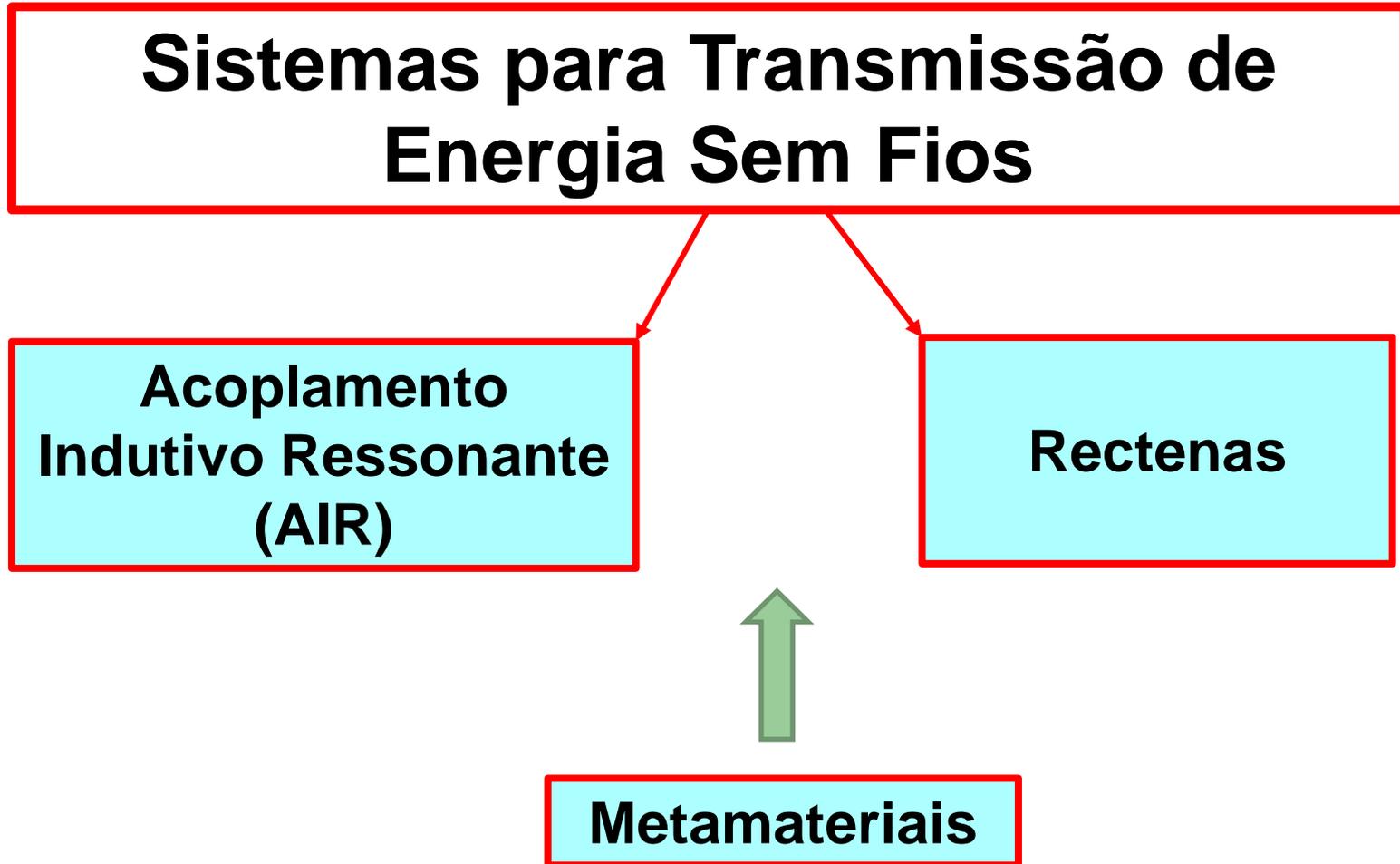
Espalhamento eletromagnético



Meshless – Element Free Galerkin Method (EFG)

- Solução de problemas de valor de contorno.
- Dificuldade no tratamento de problemas complexos





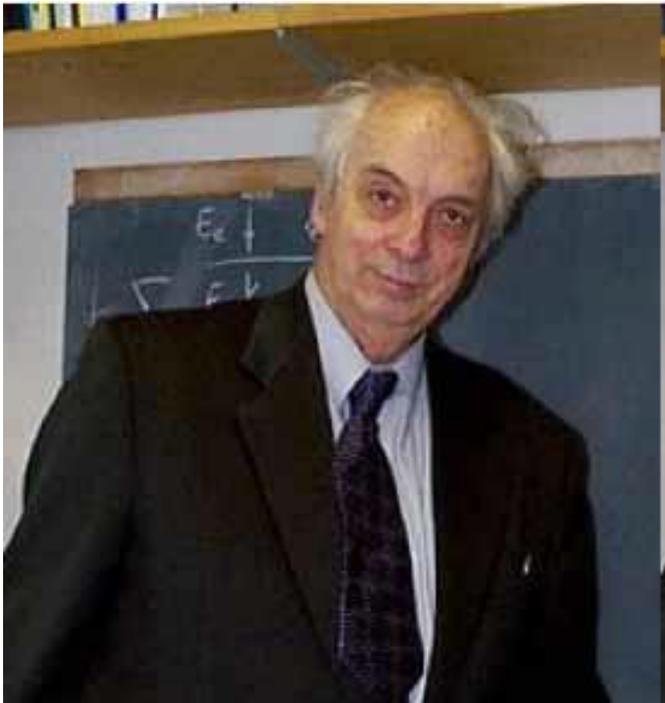


MTM são materiais construídos a partir de materiais comuns encontrados na natureza, com objetivo de se alterar a habilidade com que estes reagem a campos eletromagnéticos

- **Ideias possíveis**
 - Compostos projetados e fabricados.
 - Propriedades são derivadas da sua estrutura física e não de sua química.
 - Exibem propriedades não observadas na natureza.
 - Exibem propriedades não observáveis em seus materiais constituintes.

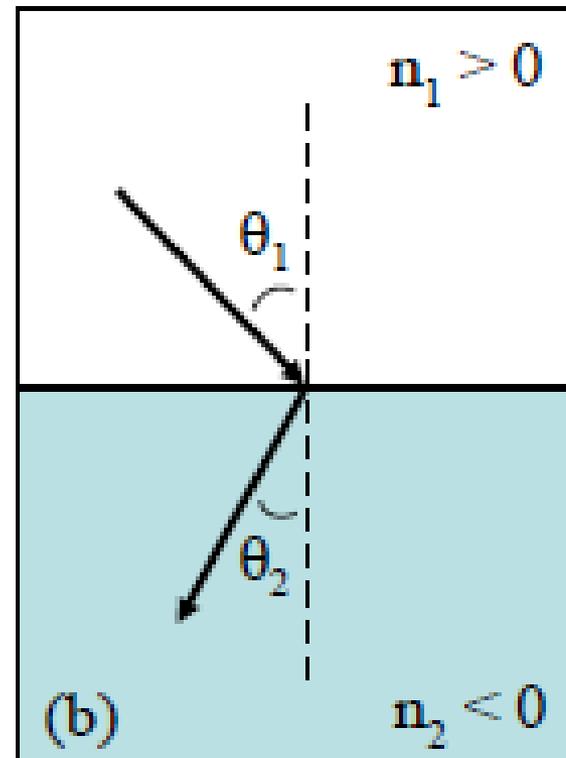
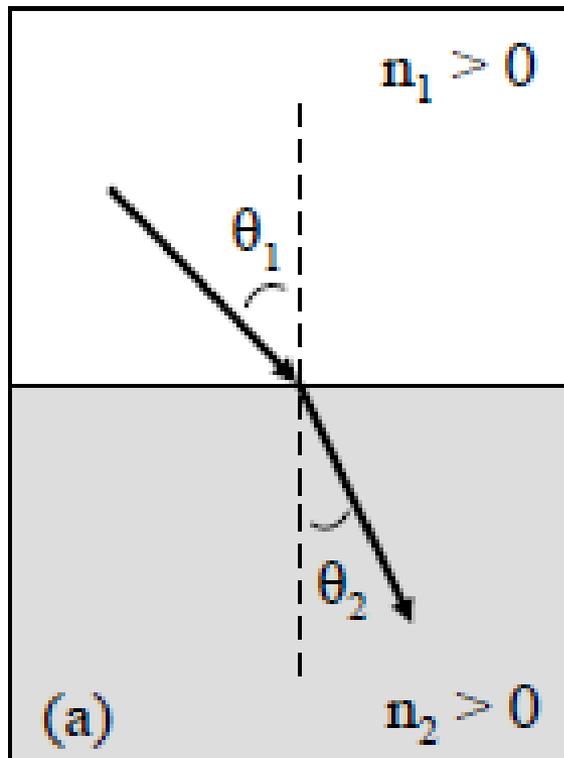
$$n < 0$$

Velocidade para a onda, também negativa,



$$v = \frac{c}{n}$$

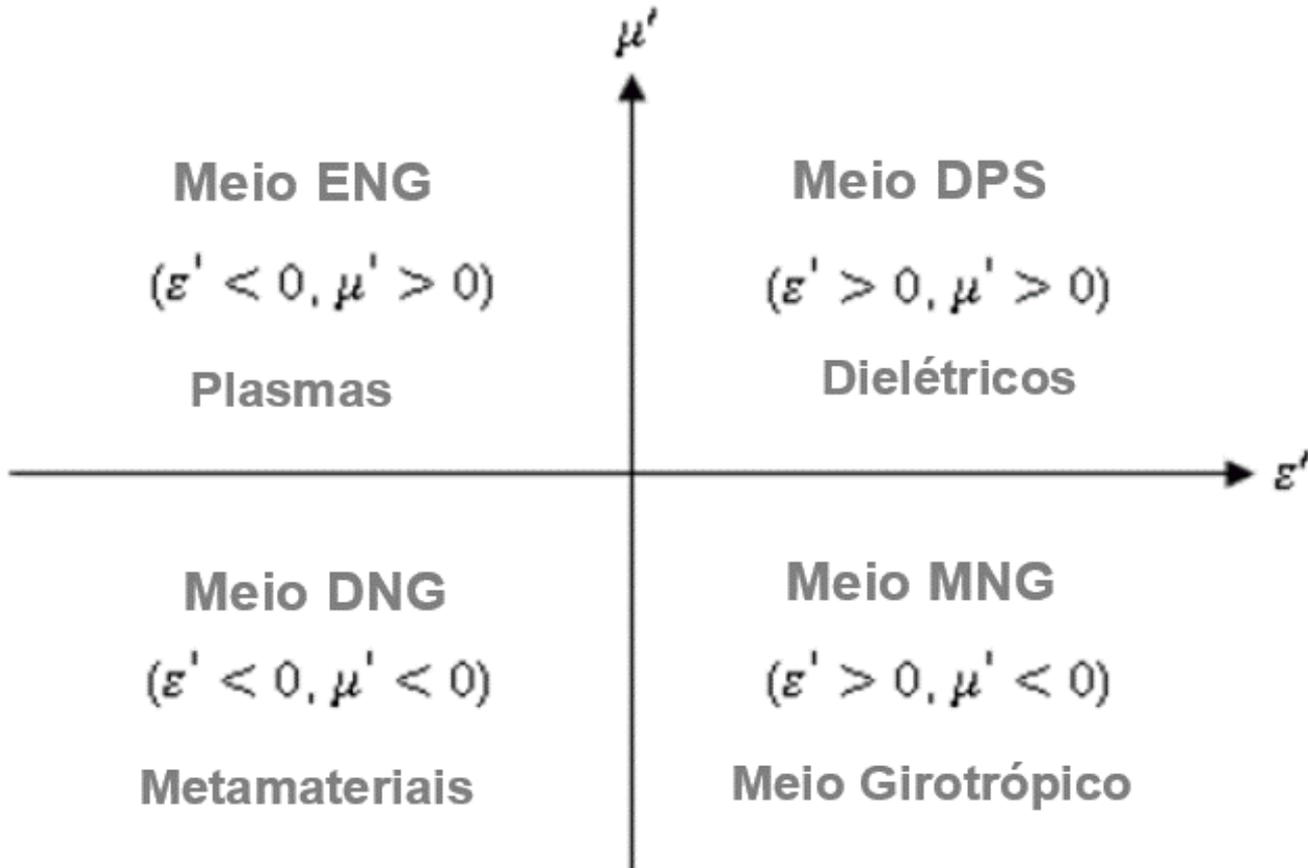
**1967, físico russo
Victor Veselago**



$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$$



Classificação dos Materiais por suas propriedades

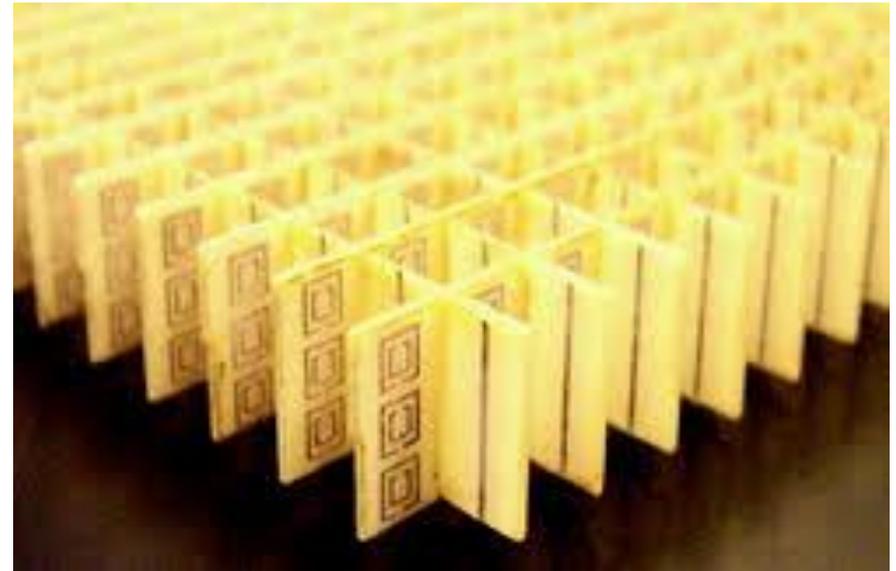


Não existe uma definição universalmente aceita

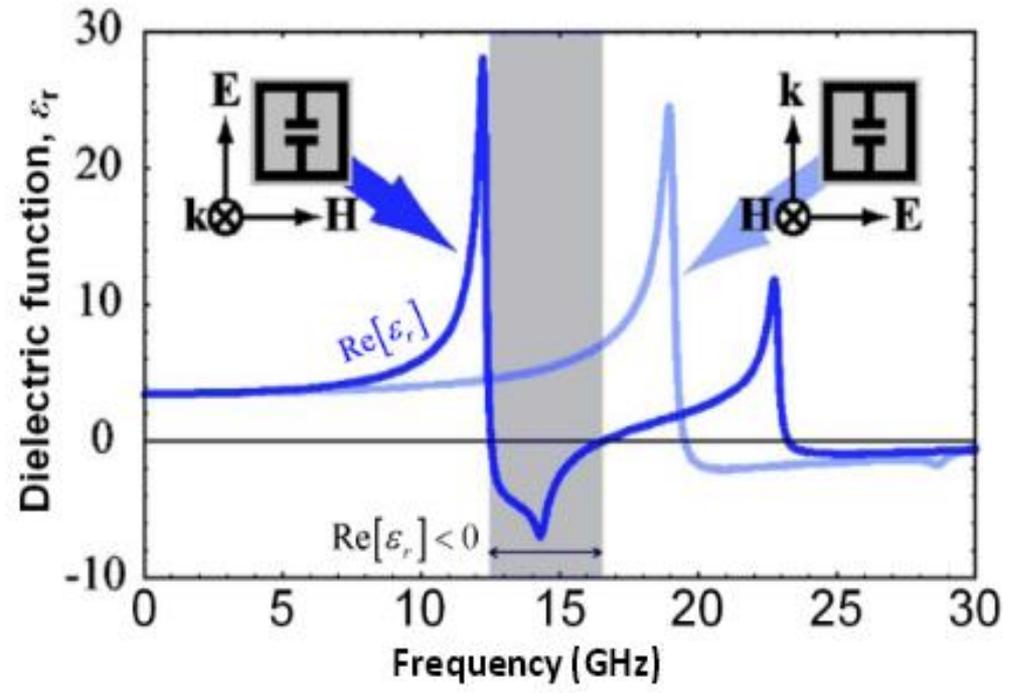
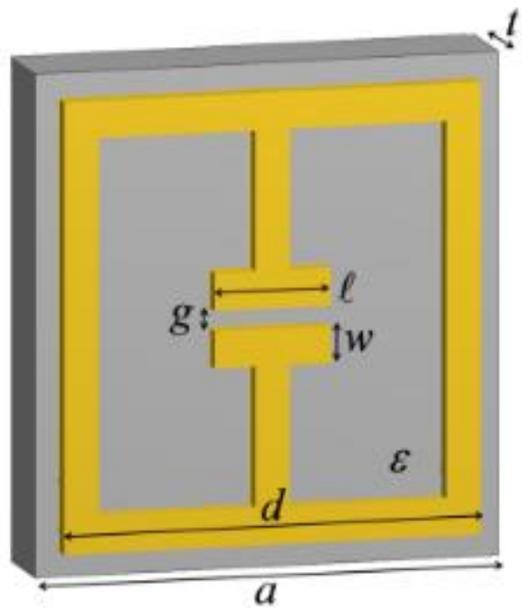
Em meados dos anos 90 na Inglaterra, **John B. Pendry** concluiu que seria possível, a **partir de uma estrutura metálica**, criar um material artificial com índice de refração negativo.



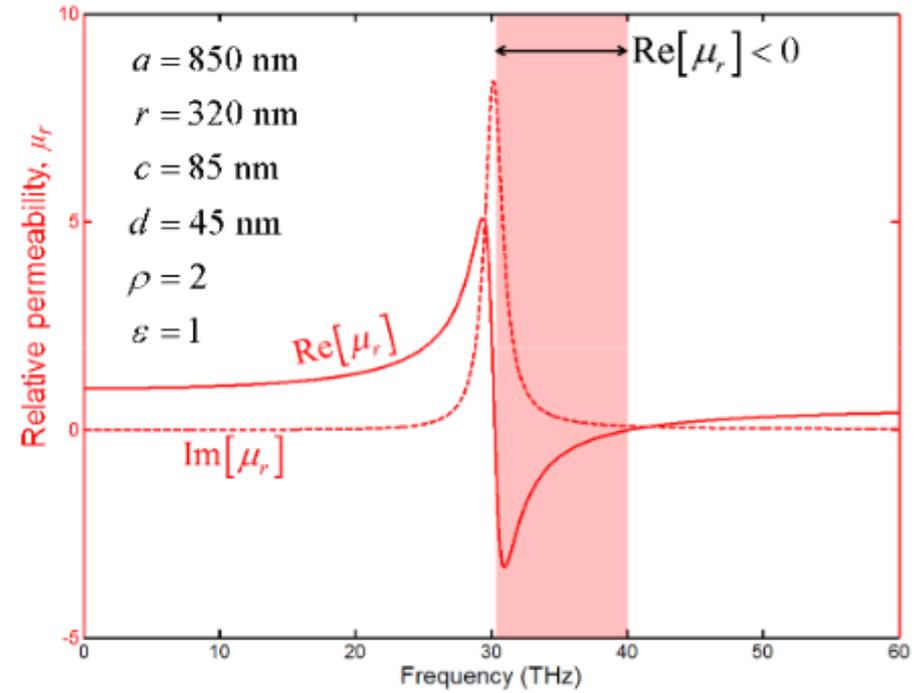
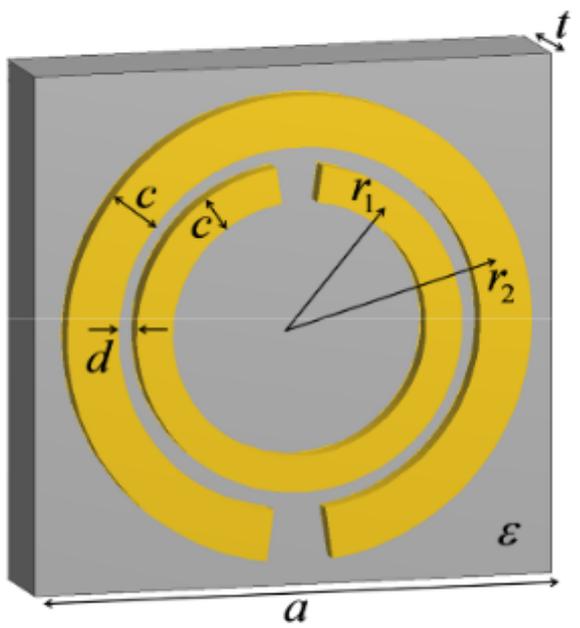
Por fim, em 2000, David R. Smith e colegas da Universidade da Califórnia em San Diego construíram o material proposto por Pendry.

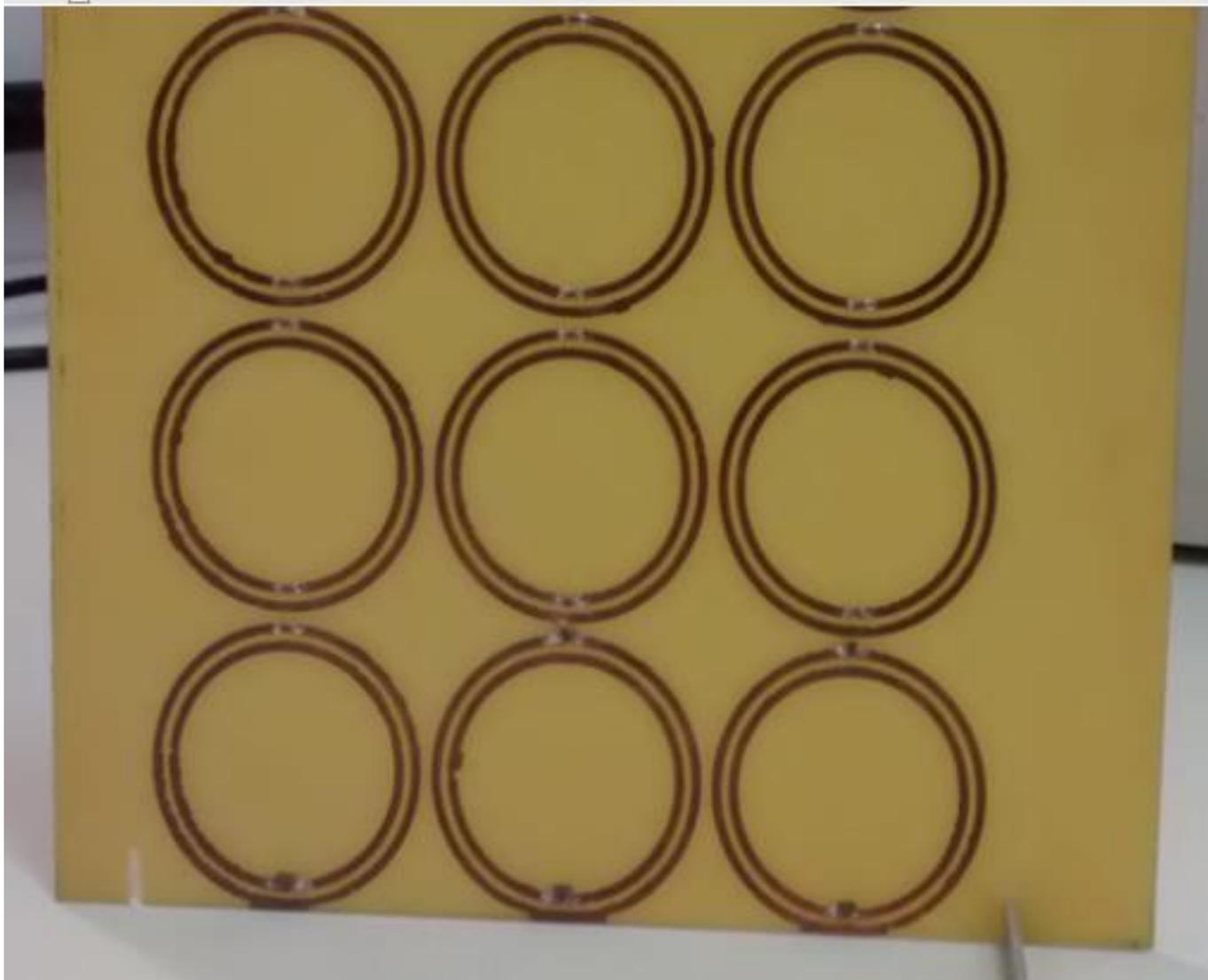


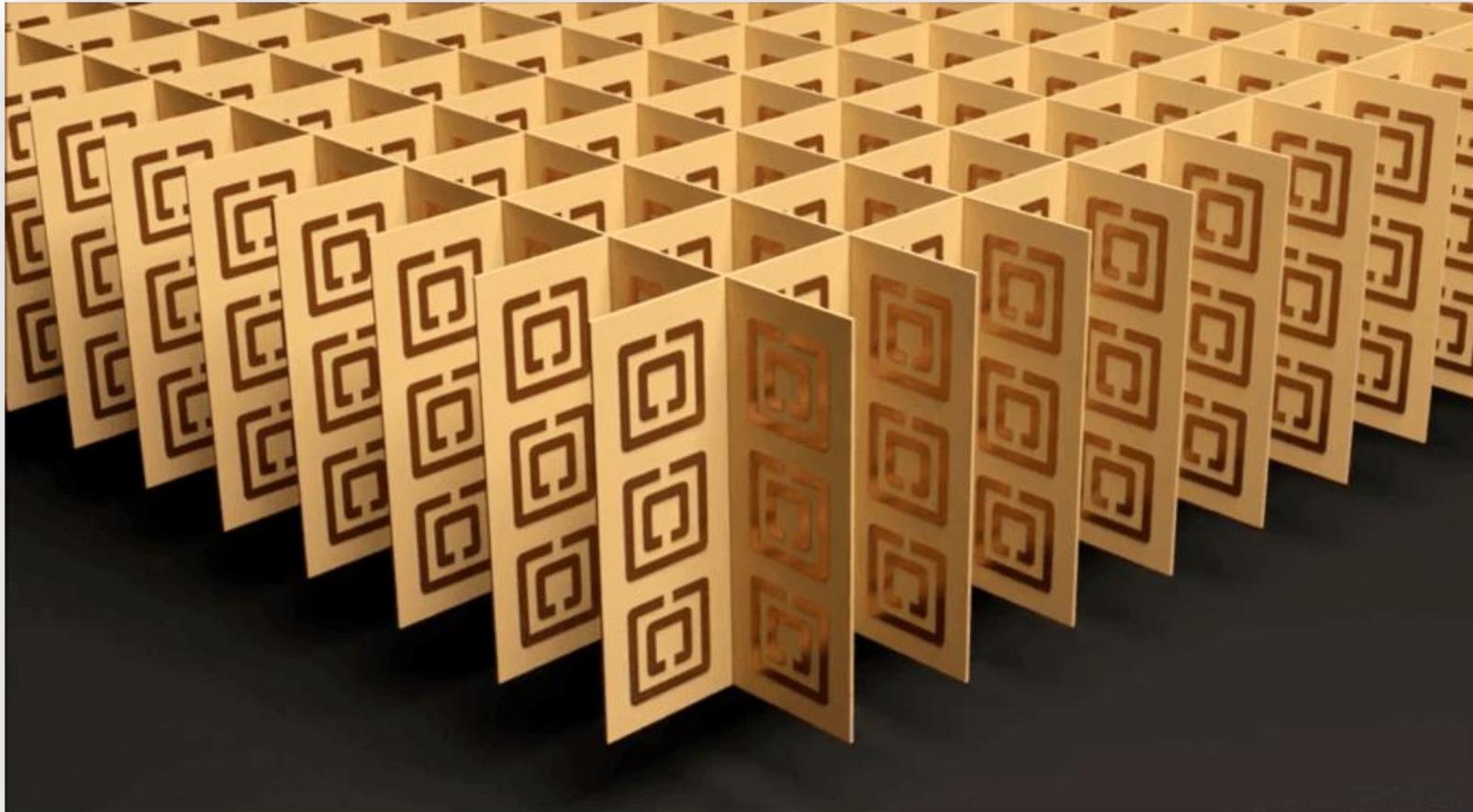
Permissividade artificial, ϵ

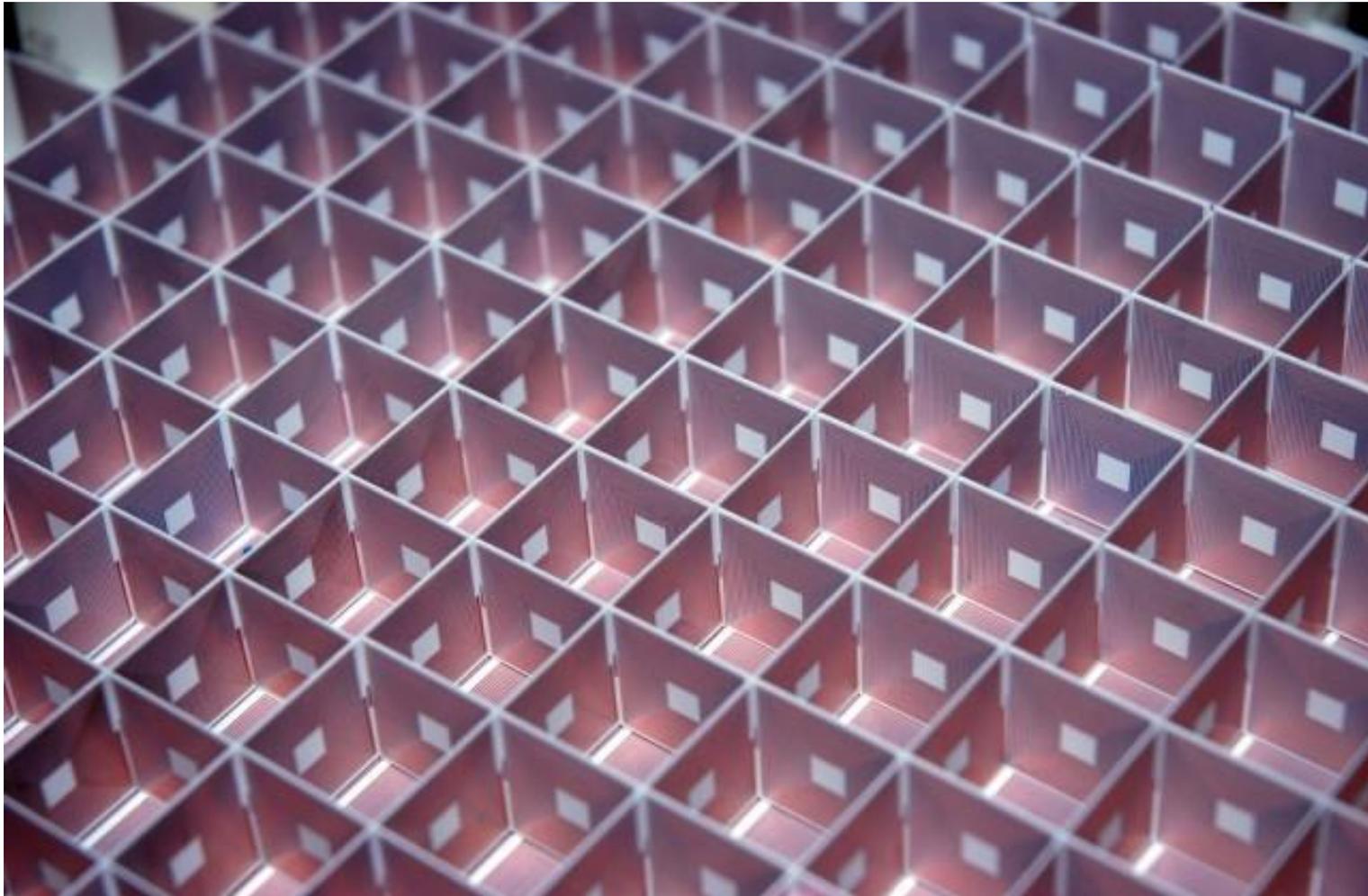


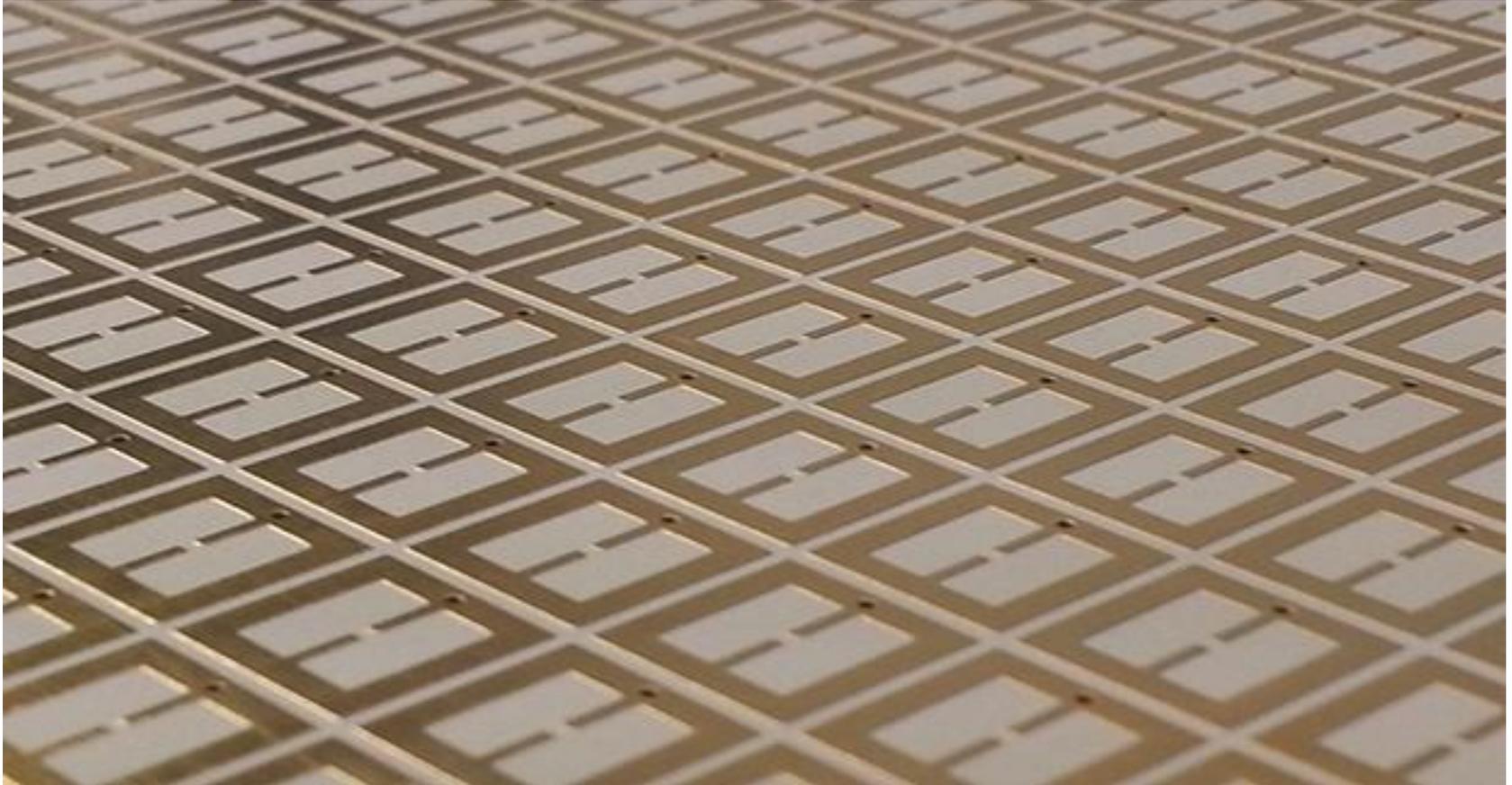
Permeabilidade artificial, μ

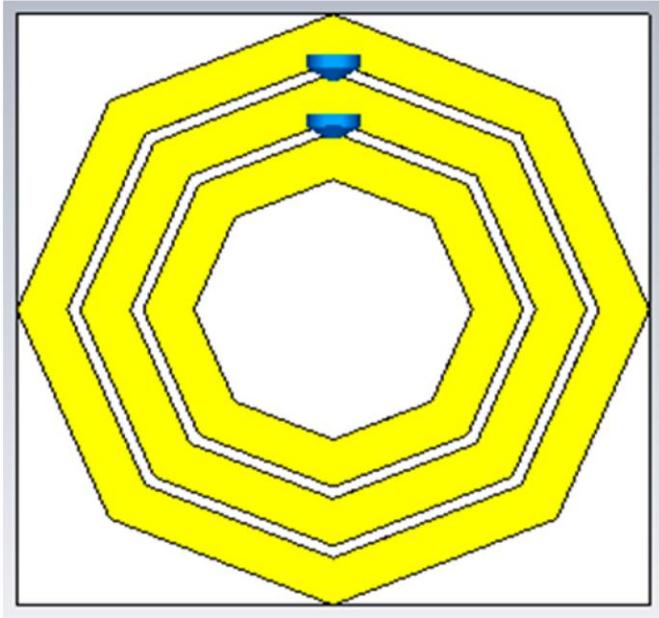




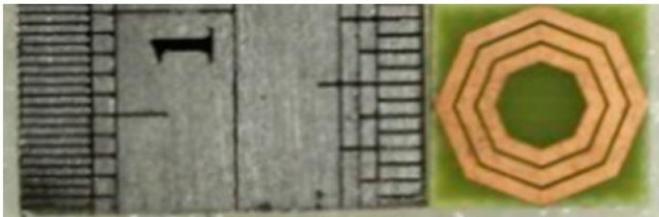




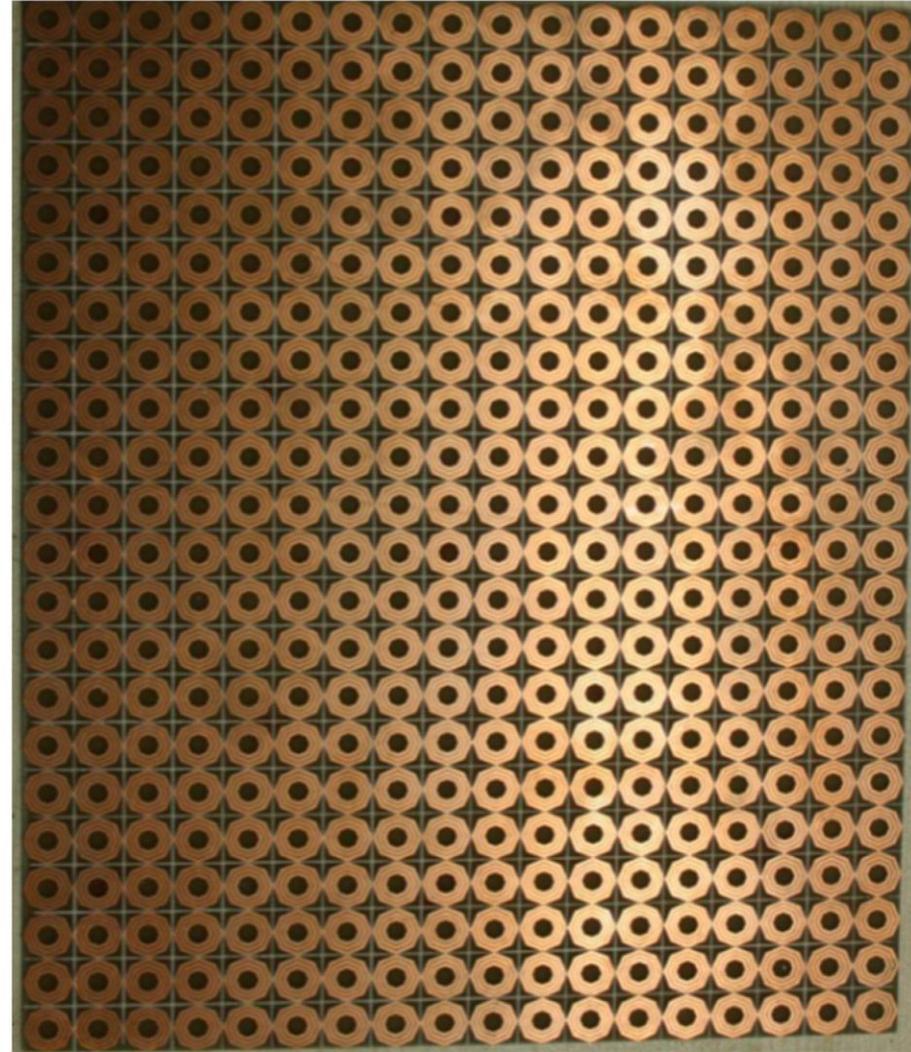




(b)

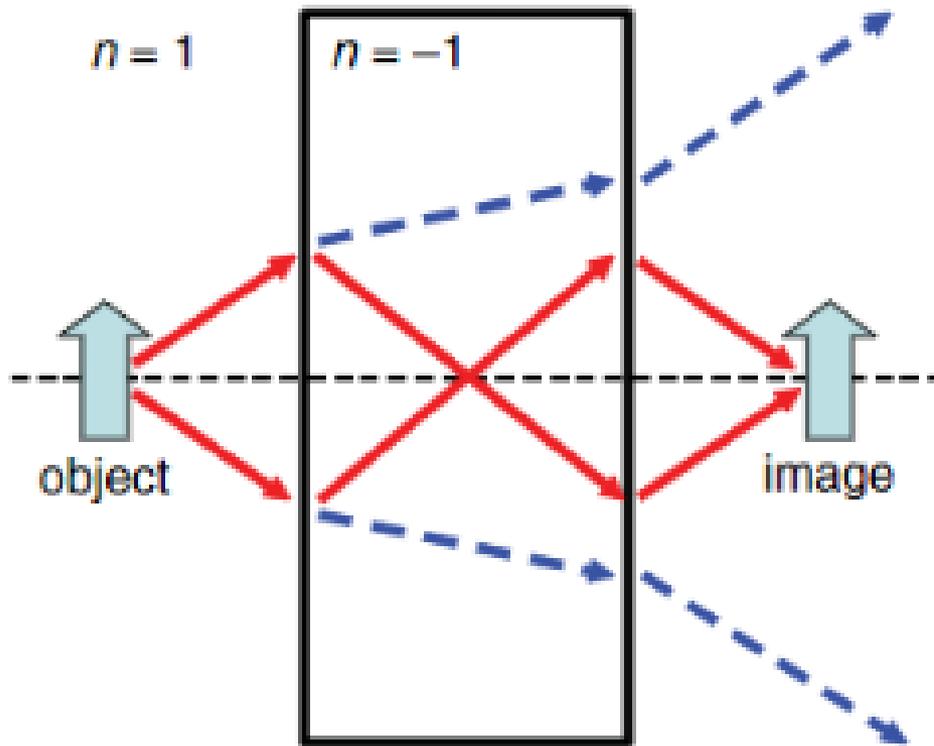


(c)

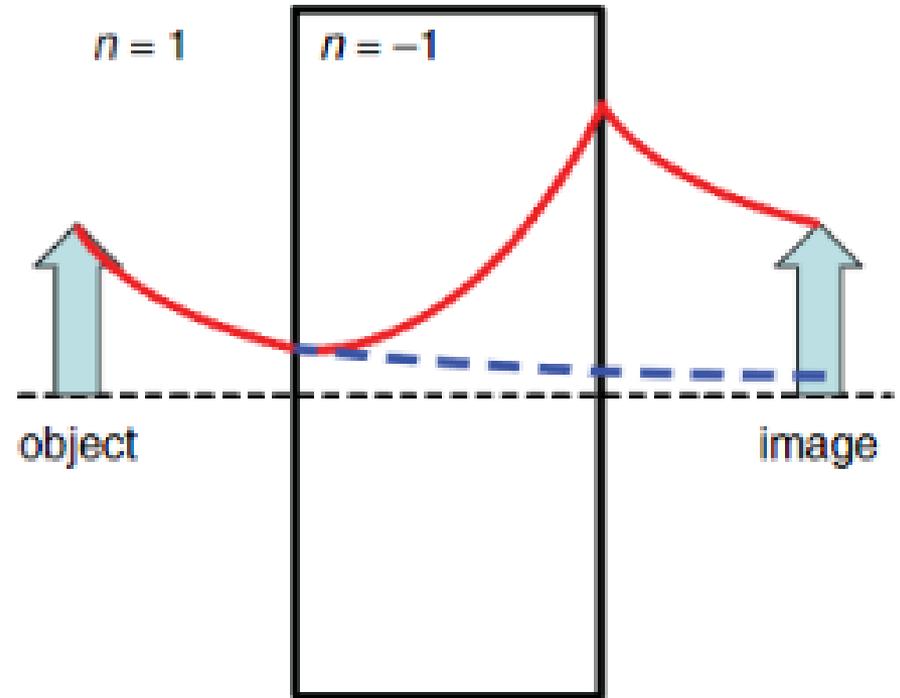


(e)

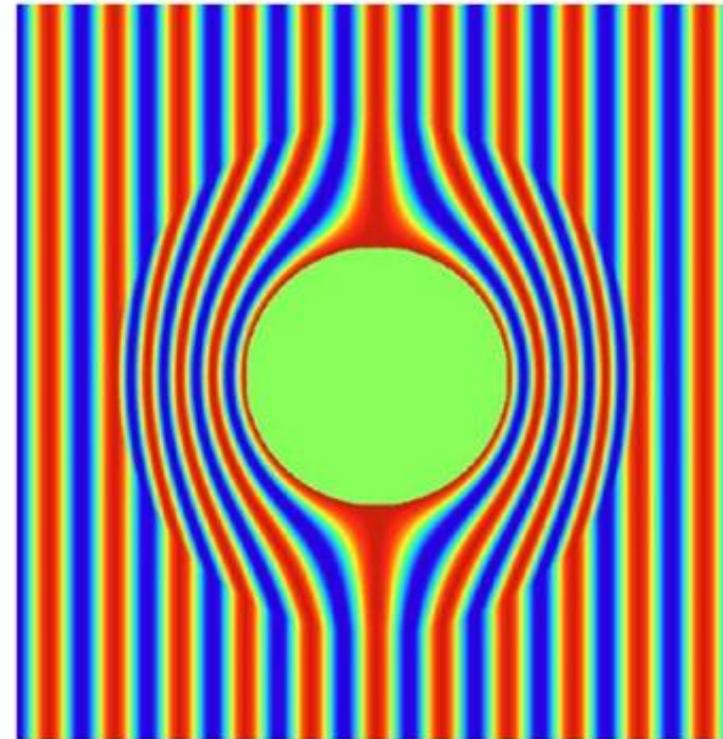
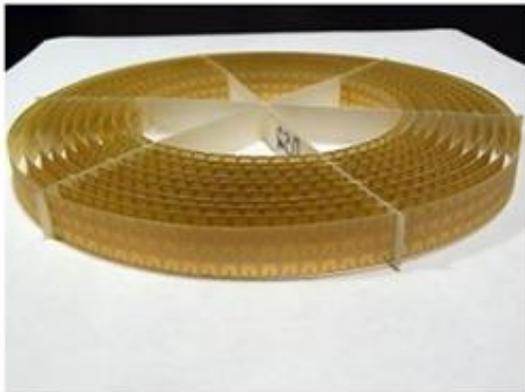
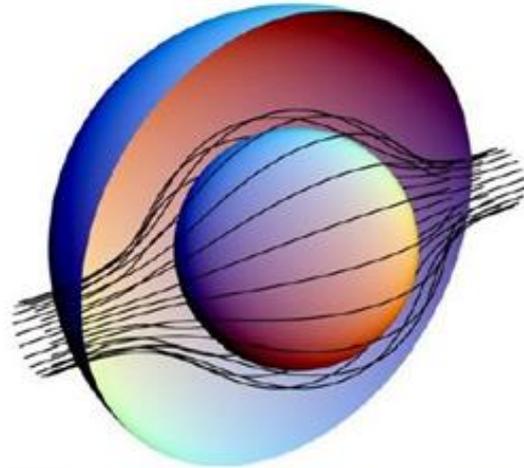
Negative Refraction



Growing Evanescent Fields



Blindagem e invisibilidade



Metamateriais e comprimentos de onda

- Para manipular as ondas eletromagnéticas, o metamaterial usado precisa ser **menor que o comprimento de onda em questão**.
- Como essas ondas em geral já têm dimensões na ordem dos nanômetros, os cientistas precisam criar metamateriais pequenos o suficiente para distorcer essas ondas, fazendo com que elas contornem um objeto.
- Por essa razão, a aplicação de metamateriais depende diretamente do desenvolvimento da **nanotecnologia** e da possibilidade de fabricar nanoestruturas com materiais de ondas mais curtas.
- Para conduzir ondas na faixa da luz visível, por exemplo, os metamateriais precisam chegar a estruturas de **50 nanômetros**.

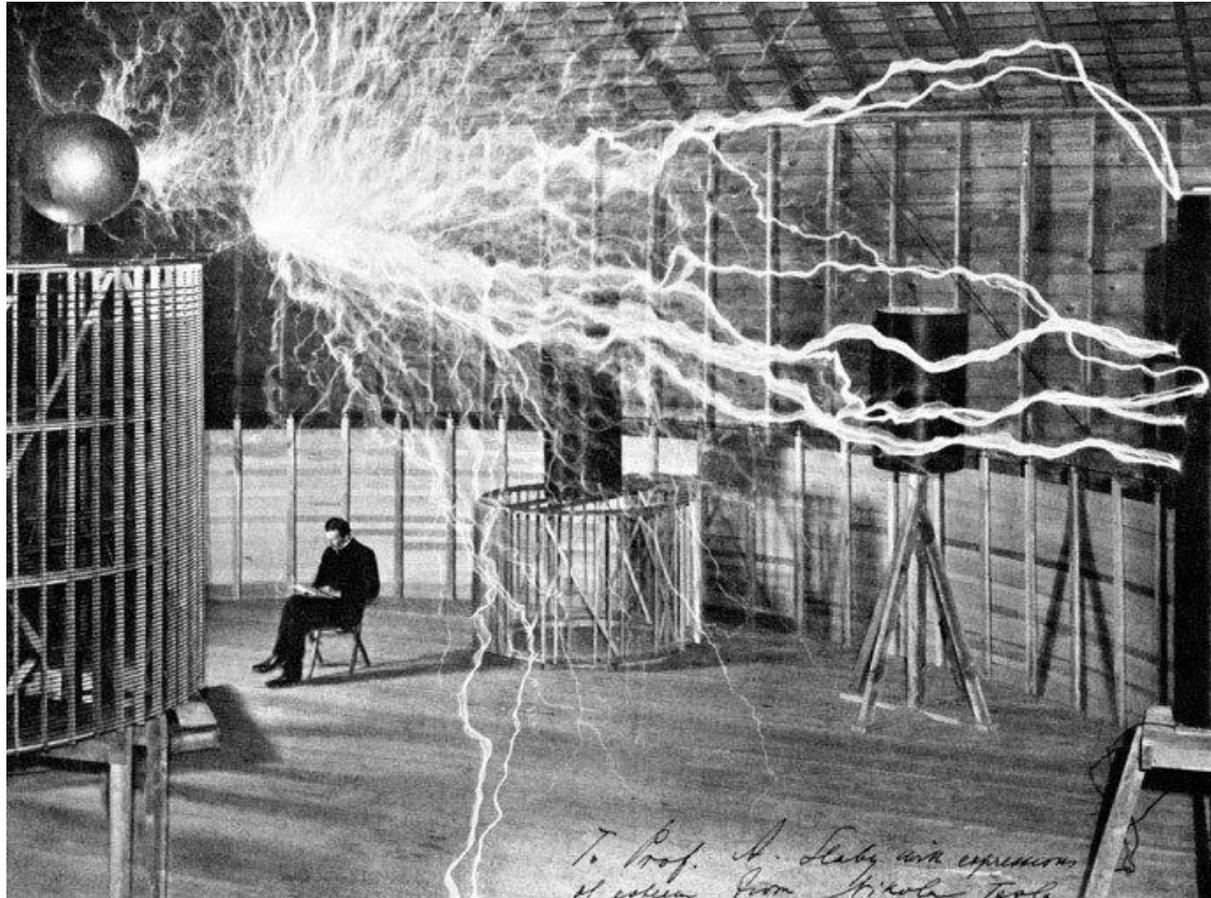
Aplicações

- 1. Telecomunicações:** Uma nova rede de fibra óptica de alta velocidade.
- 2. Medicina:** Exames de ultrassom podem se beneficiar da tecnologia de metamateriais para transformar essas ondas em sinais ópticos, o que possibilita ver o corpo por dentro com mais precisão e detalhamento.
- 3. Computação:** Chips em nanoestruturas podem ter tamanhos reduzidos e ainda ter um aumento de velocidade no processamento de dados.
- 4. Produção energética:** Estruturas criadas com metamateriais poderiam contribuir para a captura de raios solares e a produção de energia solar em painéis menores do que os utilizados atualmente.
- 5. Câmeras e sistema de vigilância:** Câmeras que utilizem imagens comprimidas em micro-ondas, sem lentes e sem partes móveis poderiam substituir os portões de segurança em aeroportos, por exemplo.
- 6. Manipulações de campos eletromagnéticos:** Transmissão de energia sem fio, superestrato de antenas, RFID, etc...



Início do século XX

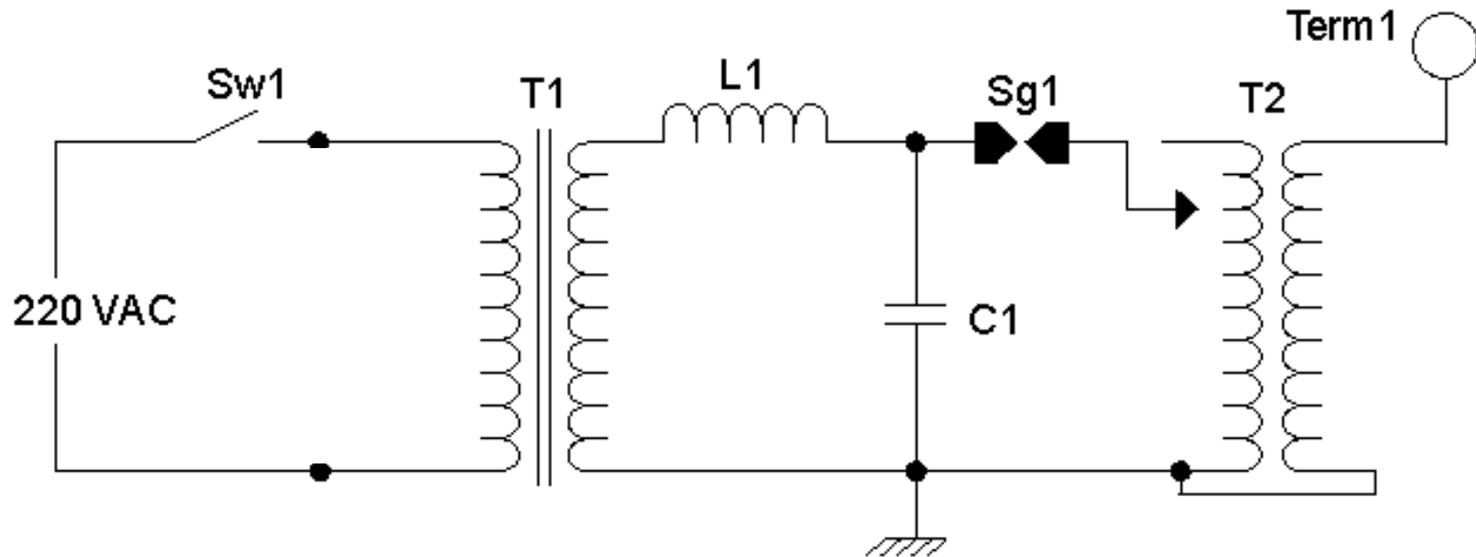
Nikola Tesla: “Pai da transmissão de energia sem fio”



SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO DE TESLA

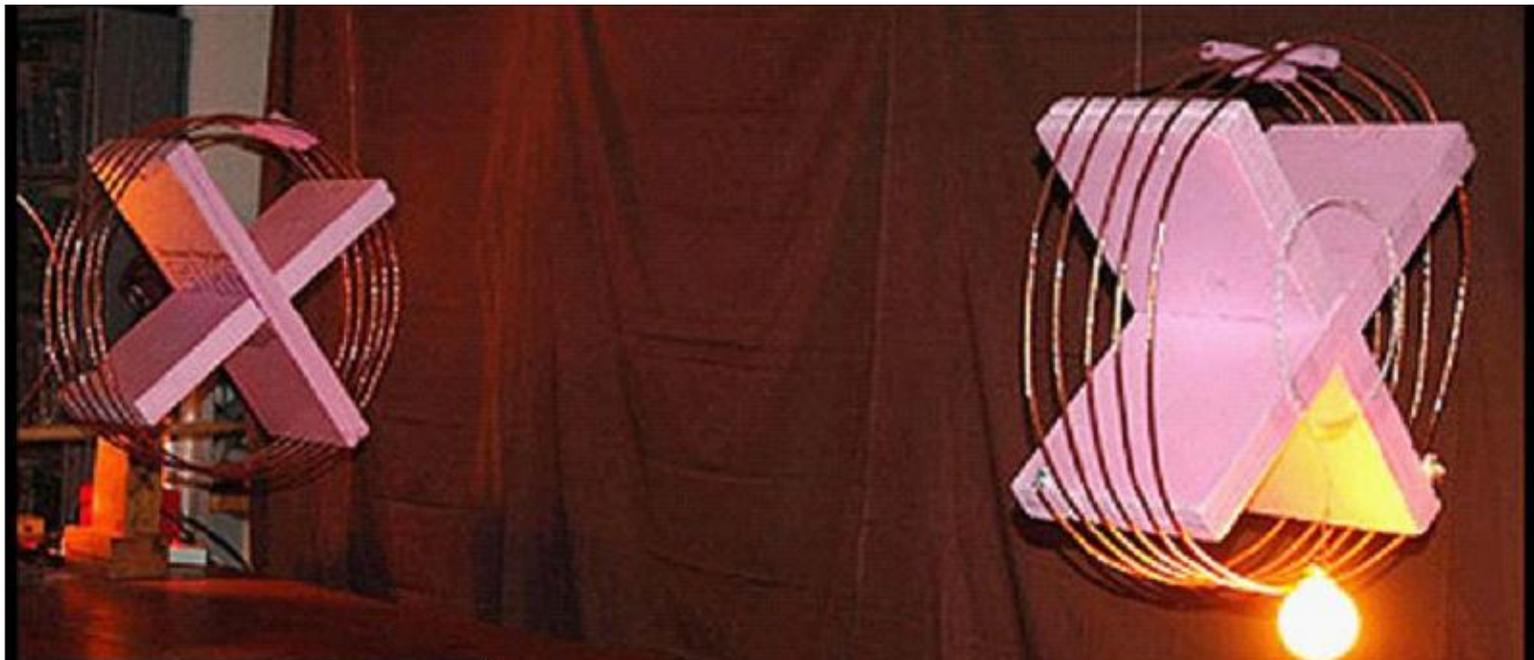


SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO DE TESLA



Acoplamento indutivo ressonante

- ❖ O sistema é baseado no acoplamento magnético ressonante (não propagante) proposto por Tesla:



Witricity = wireless eletricity

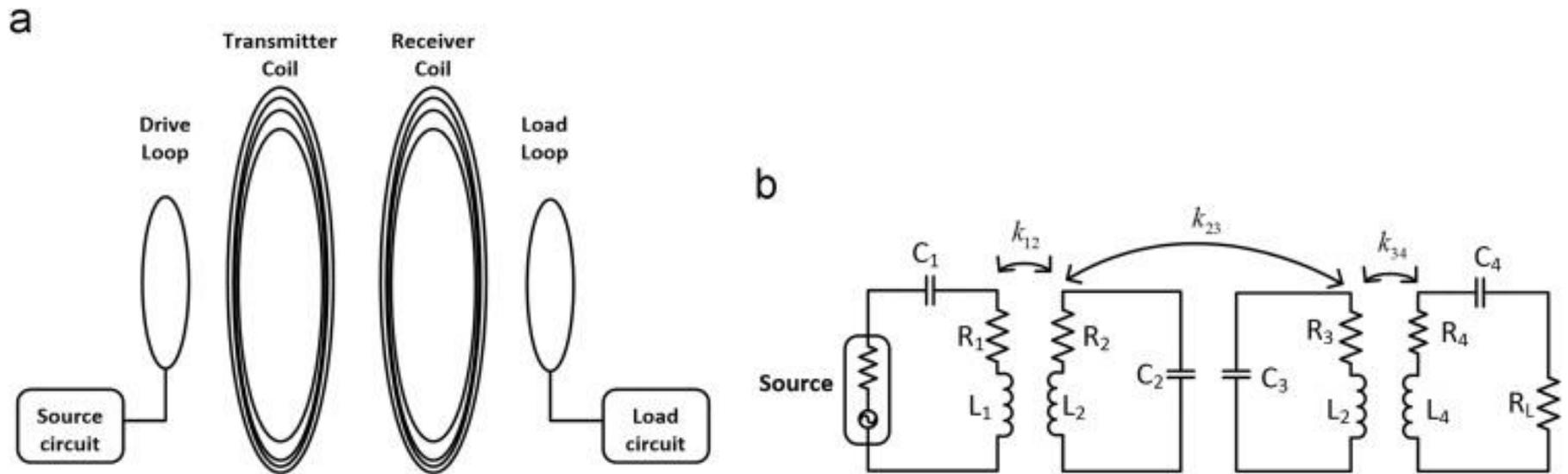
Acoplamento indutivo ressonante



Witricity = wireless eletricity

Acoplamento indutivo ressonante

❖ Circuito



Médias distâncias

Características importantes: fator de qualidade, ressonância e indutância mutua.

Acoplamento indutivo ressonante

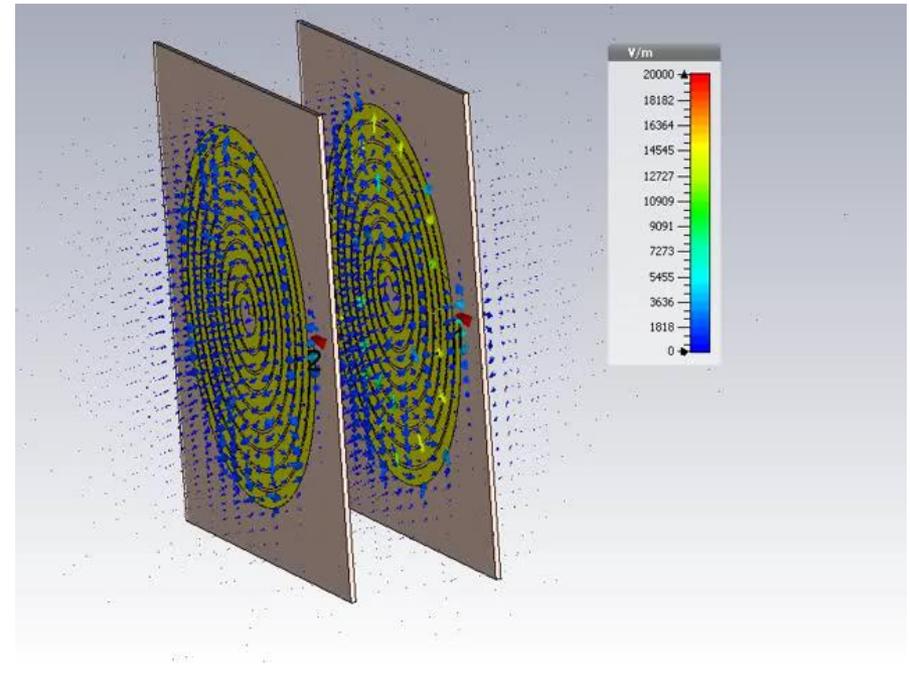
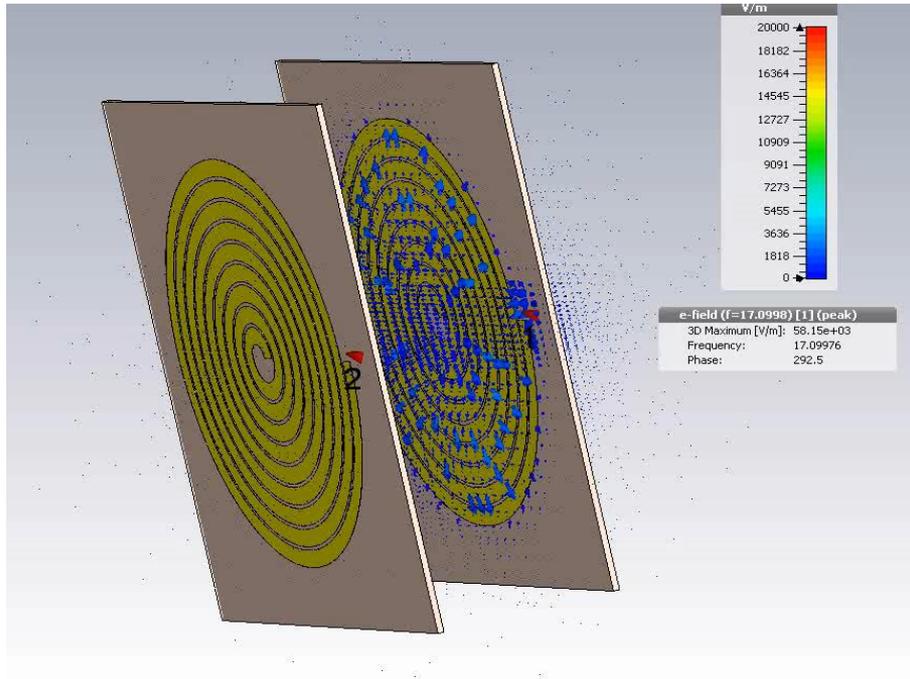
- **Teoria dos Modos Acoplados**

Esta teoria pode ser utilizada para avaliar o comportamento de corpos ressonantes, qualquer que seja a natureza da ressonância. No trabalho em questão é utilizada a ressonância magnética. Intuitivamente, a ideia central é que, **dois objetos que tenham uma mesma frequência de ressonância tendem a trocar energia de forma eficiente**, enquanto interagem de forma fraca com objetos não ressonantes da vizinhança

- **Teoria de circuitos**

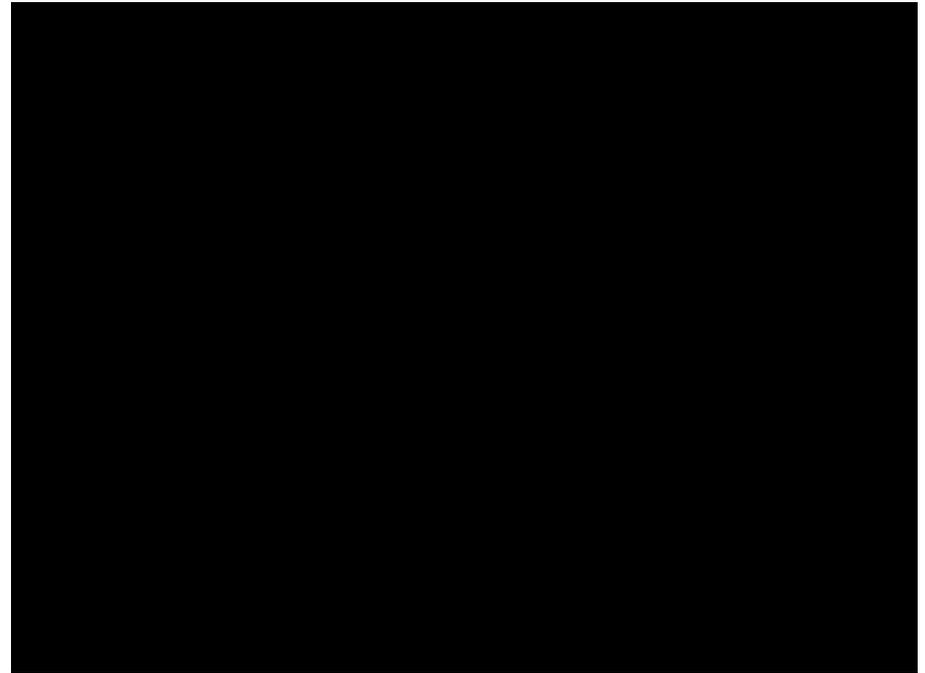
- **Acoplamento forte**

Funcionamento:



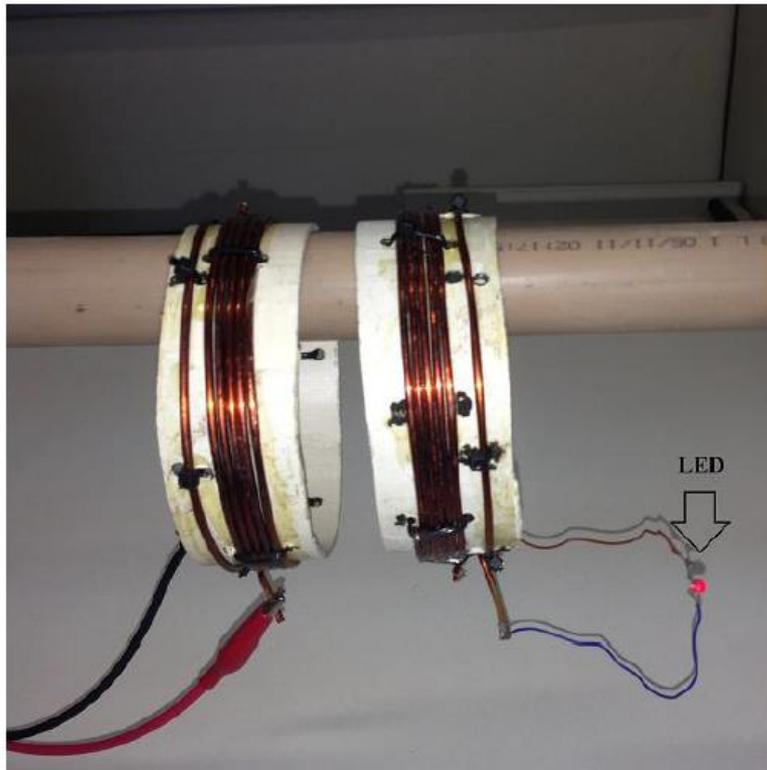
Técnica de projeto: Analíticas, CST e ADS, MOM.

Funcionamento:



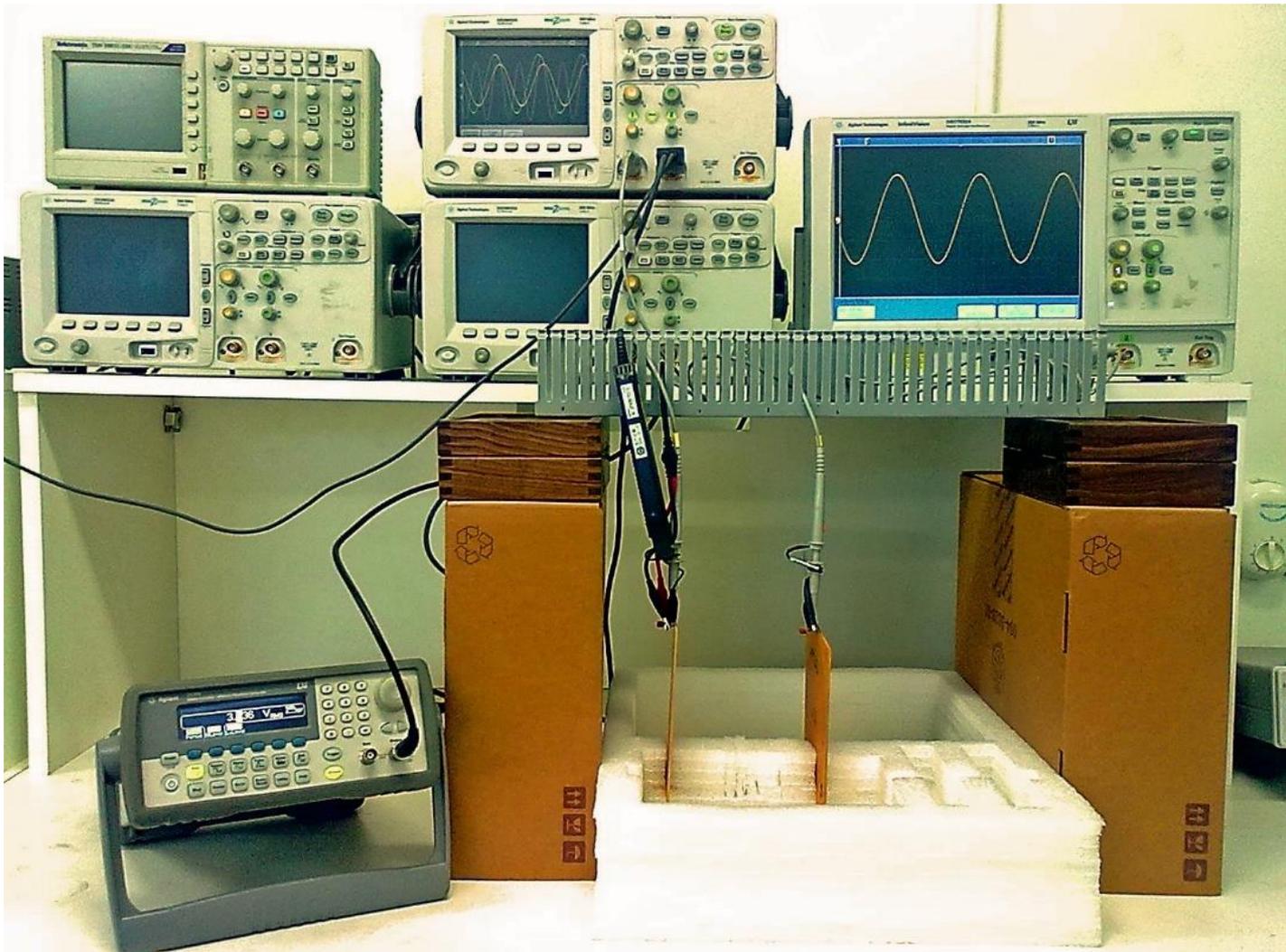
Técnica de projeto: Analíticas, CST e ADS, MOM.

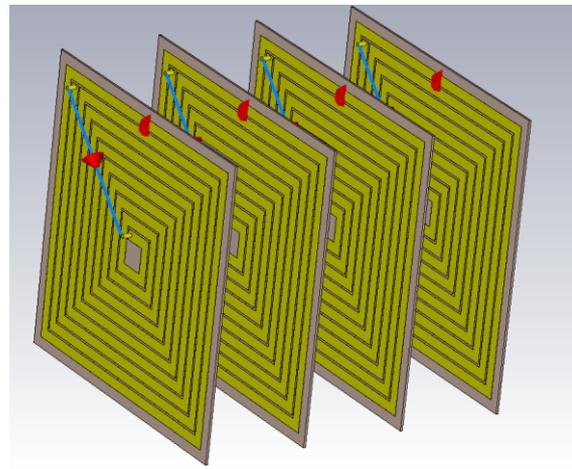
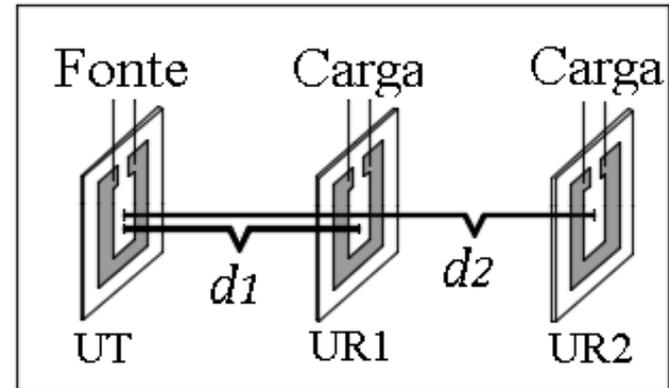
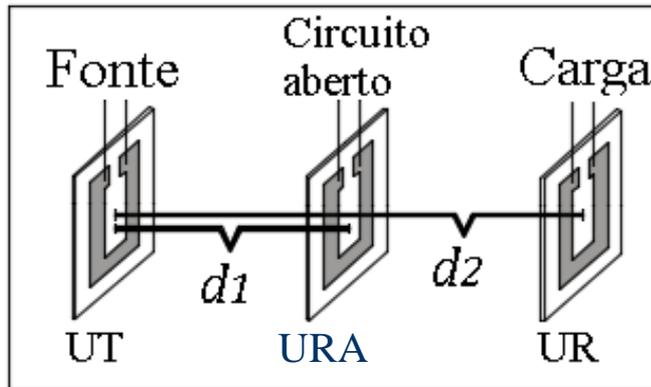
- Estudo numérico e experimental da eficiência do sistema.



- Diferentes números e formatos de bobinas.
- Sistemas utilizando ou não capacitor externo para ajuste da frequência de ressonância.
- Otimização da geometria
- Desenvolvimento de modelagem matemática para cálculo de R , L .
- Análise do comportamento eletromagnético do sistema
- Sistemas utilizando várias unidades.



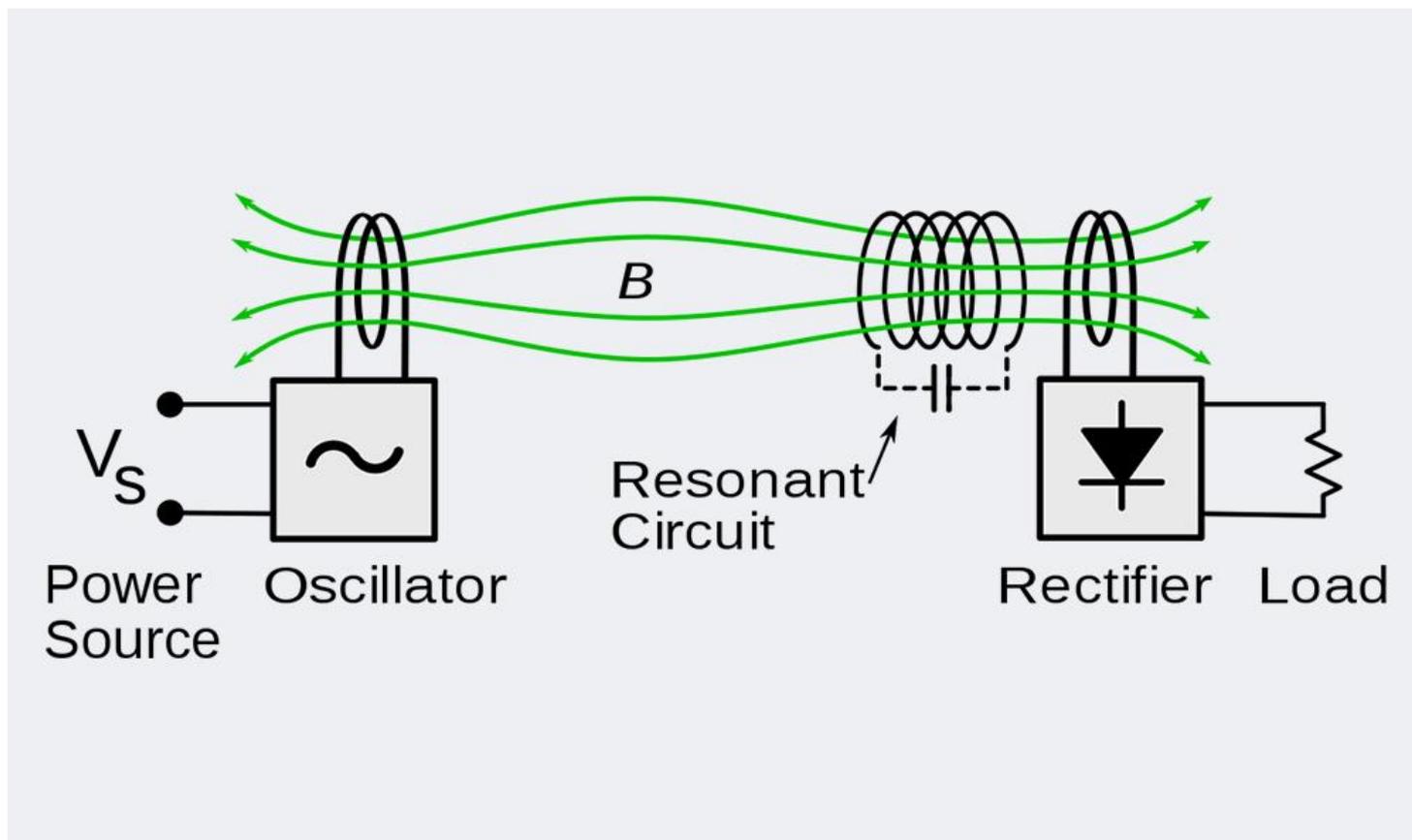




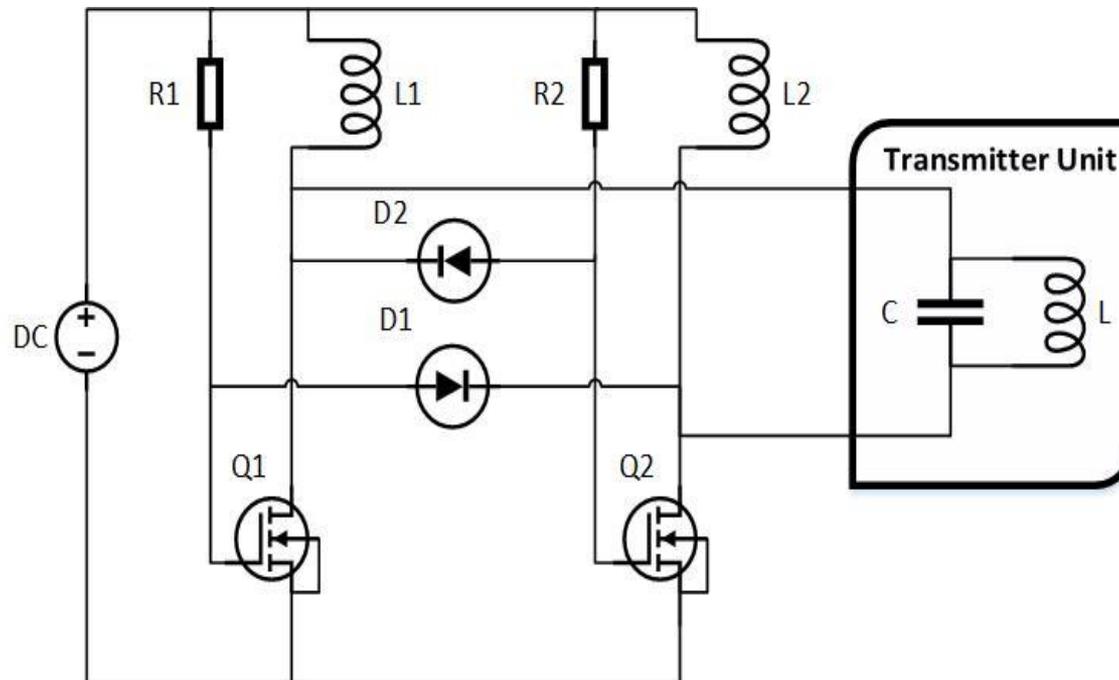


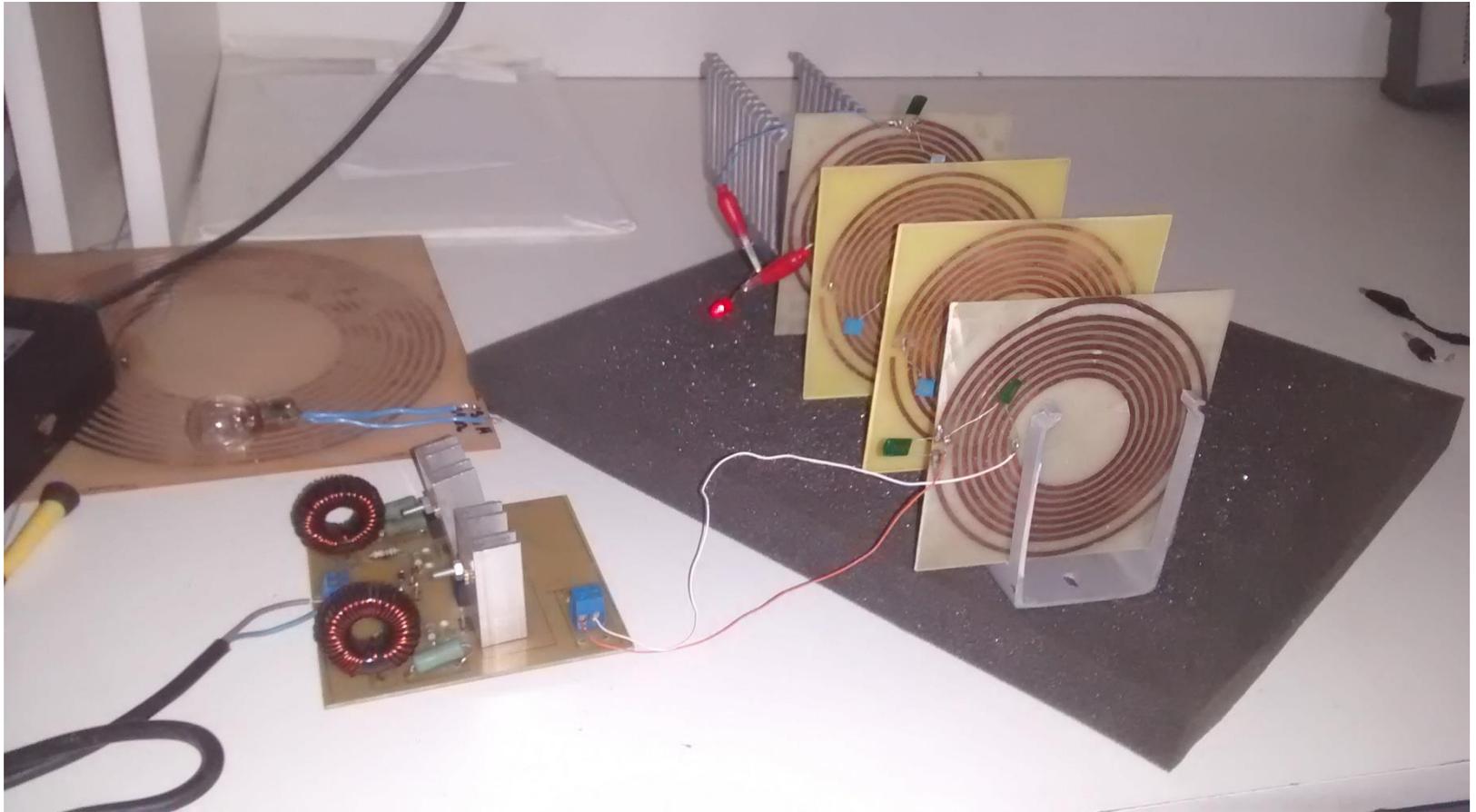


- Investigação de diferentes topologias de conversor para alimentação do sistema.

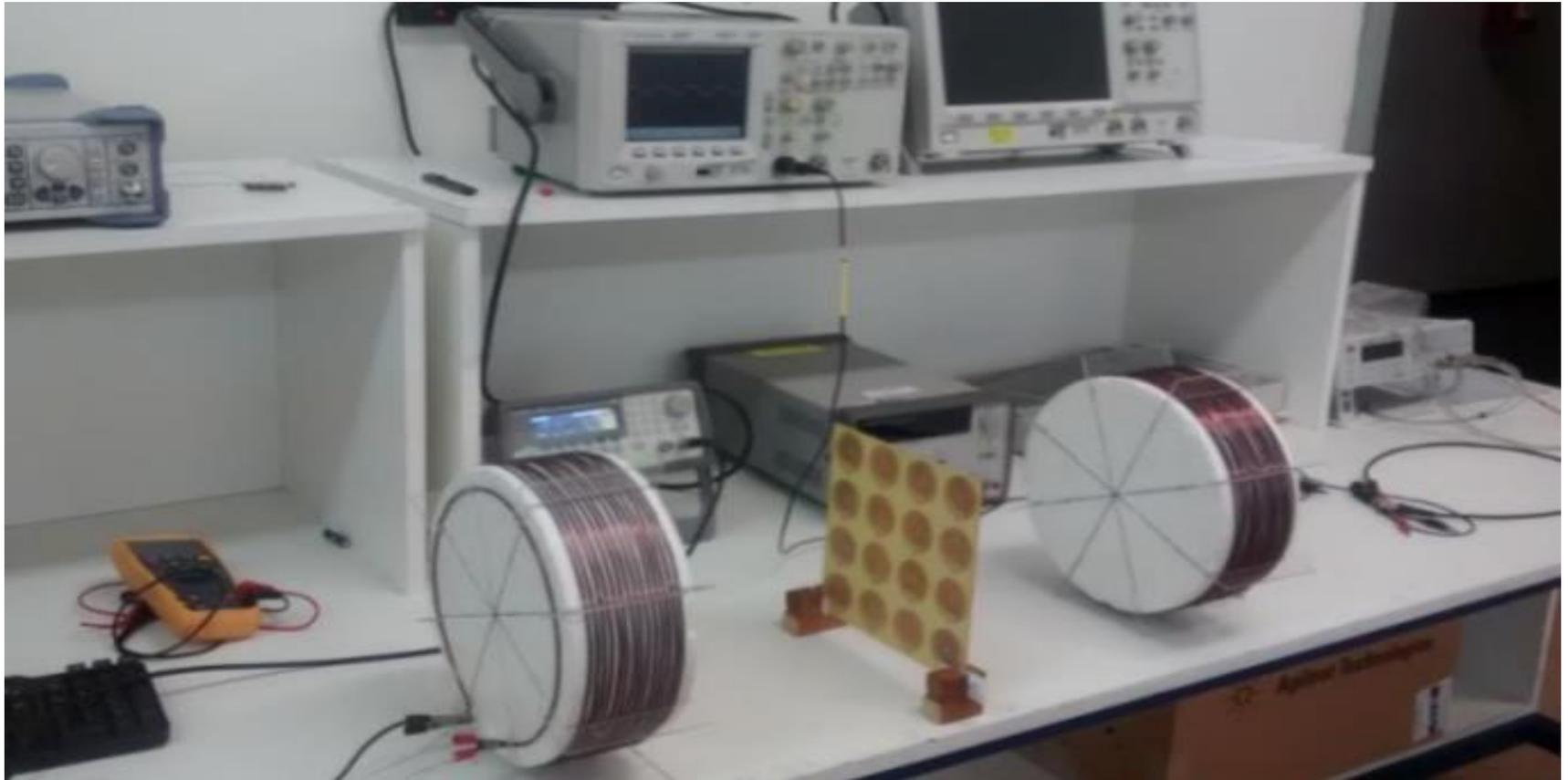


- Investigação de diferentes topologias de conversor para alimentação do sistema.

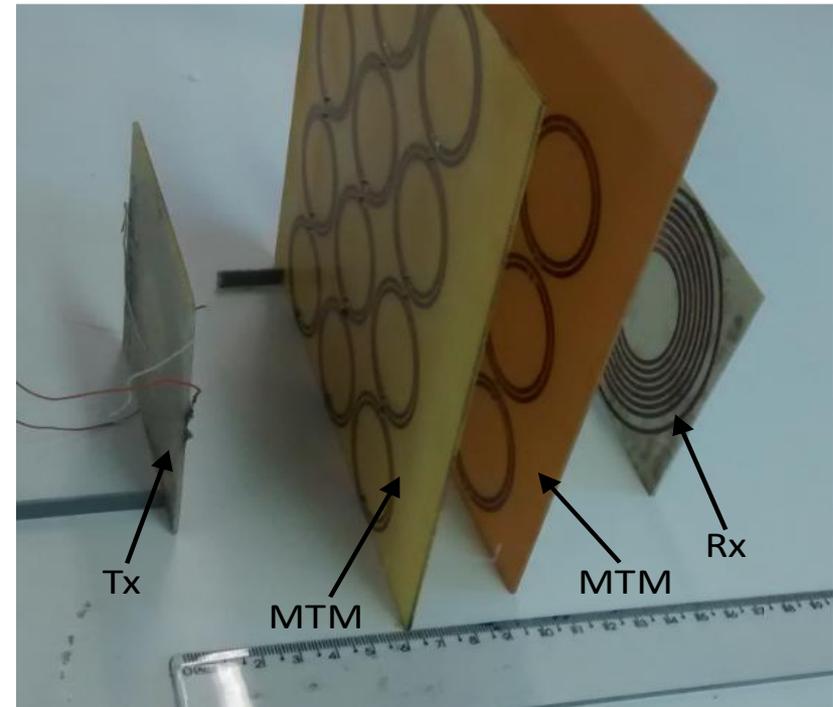
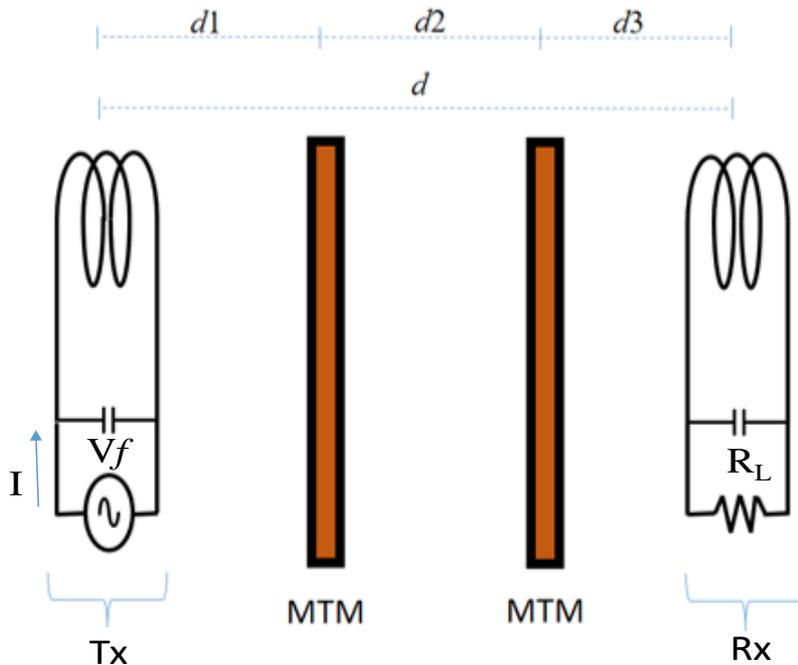




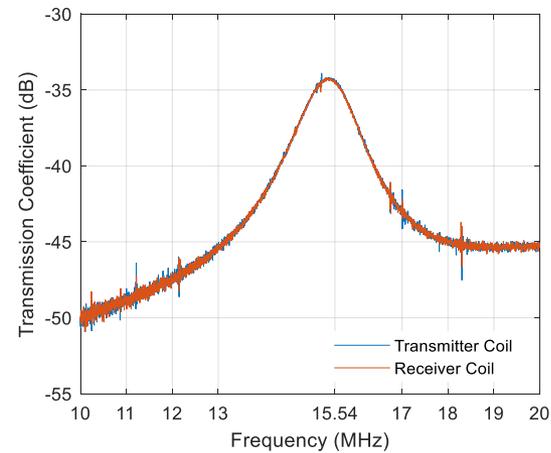
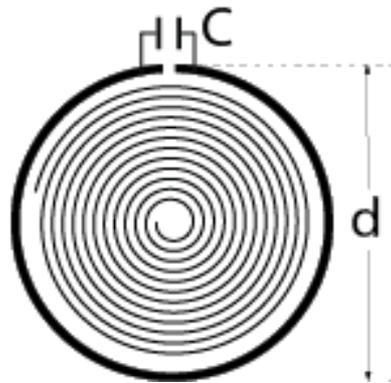
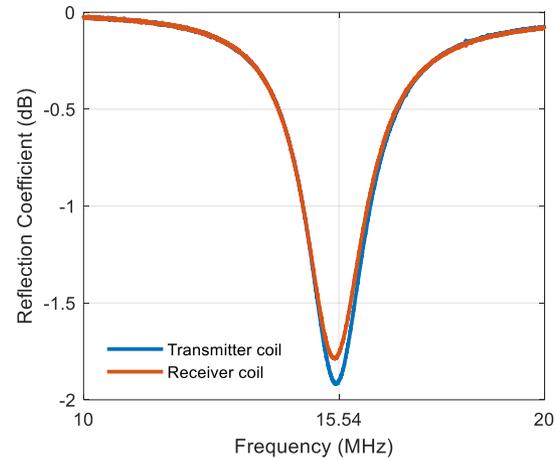
- Inclusão de metamaterial no sistema



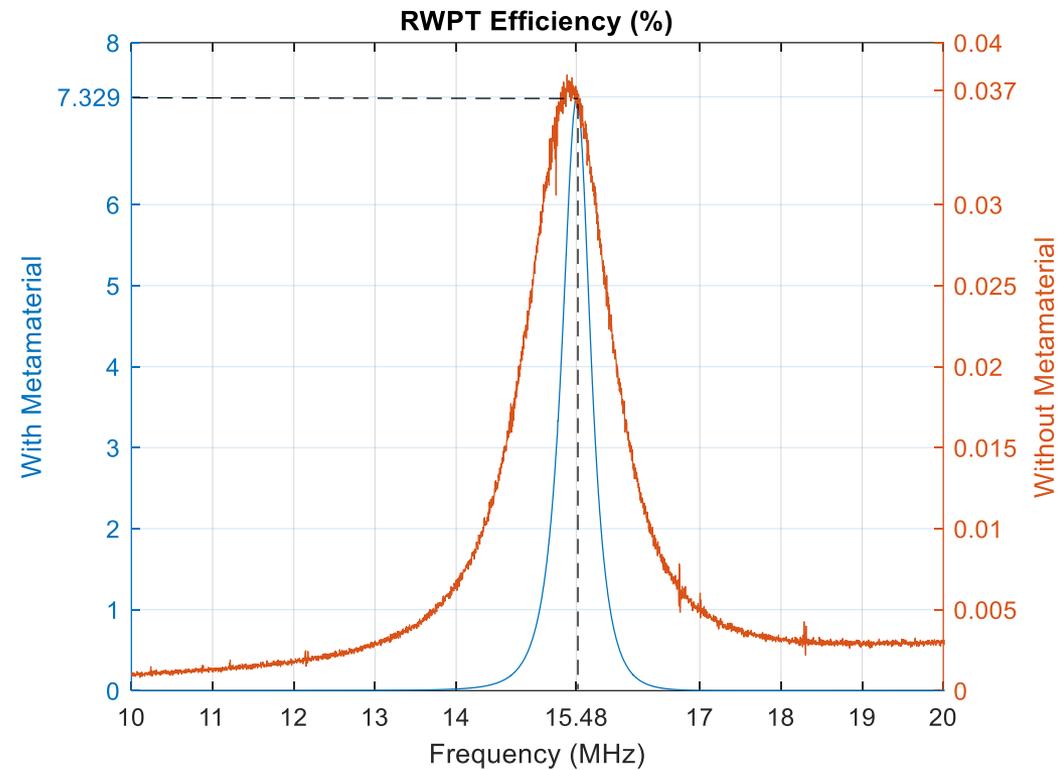
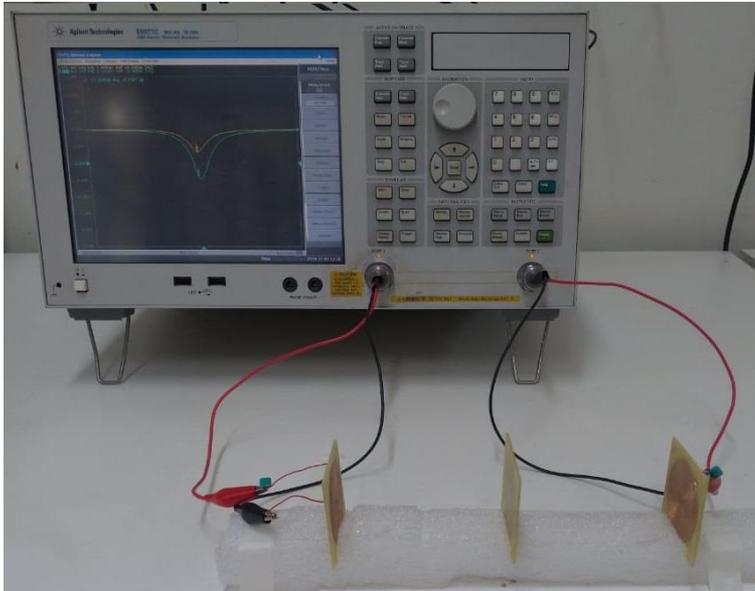
- Inclusão de Metamaterial no sistema



- Inclusão de metamaterial no sistema



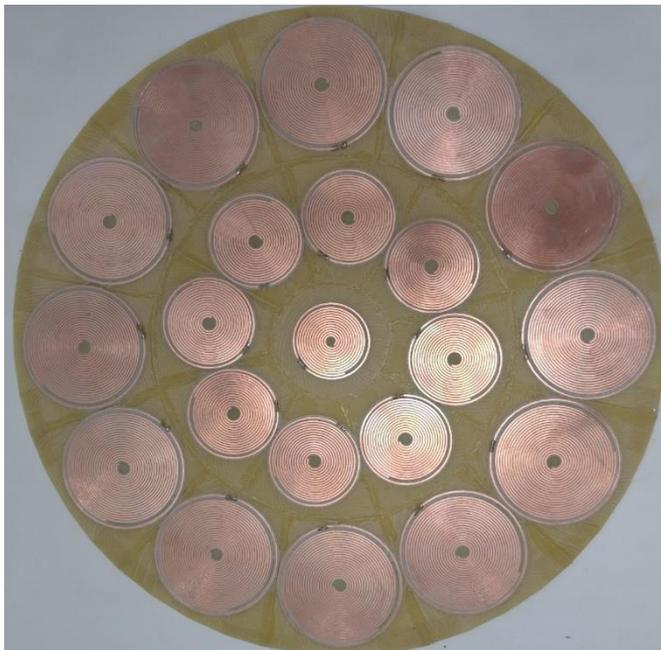
- Inclusão de metamaterial no sistema



- Inclusão de metamaterial no sistema

Método dos Momentos (MoM)

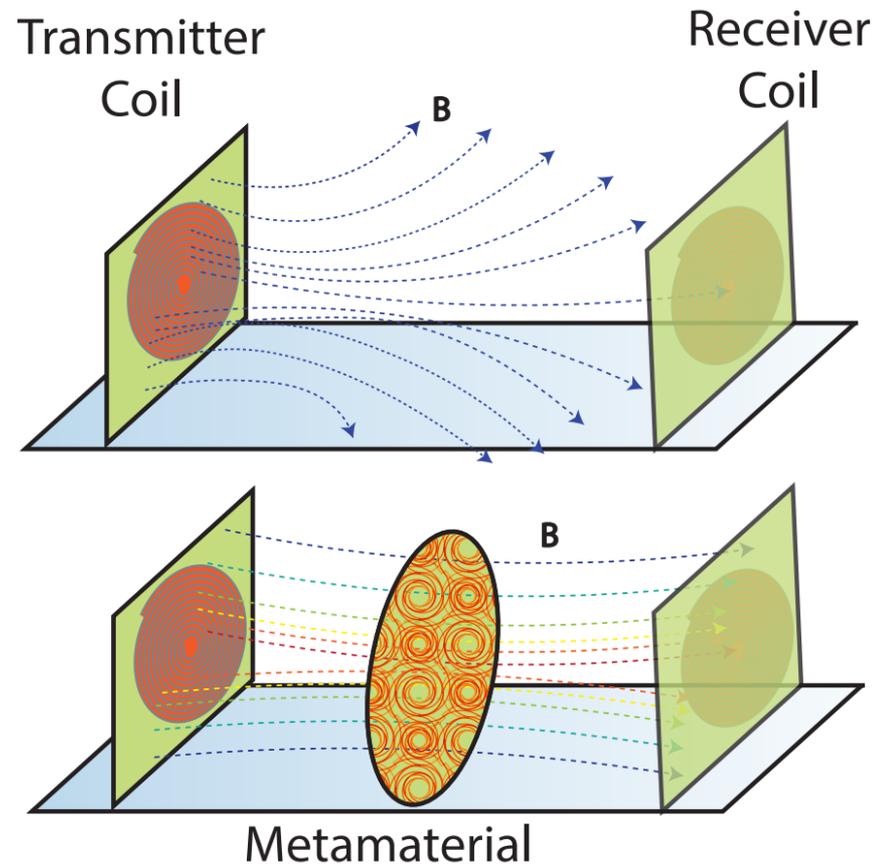
Converging Lens



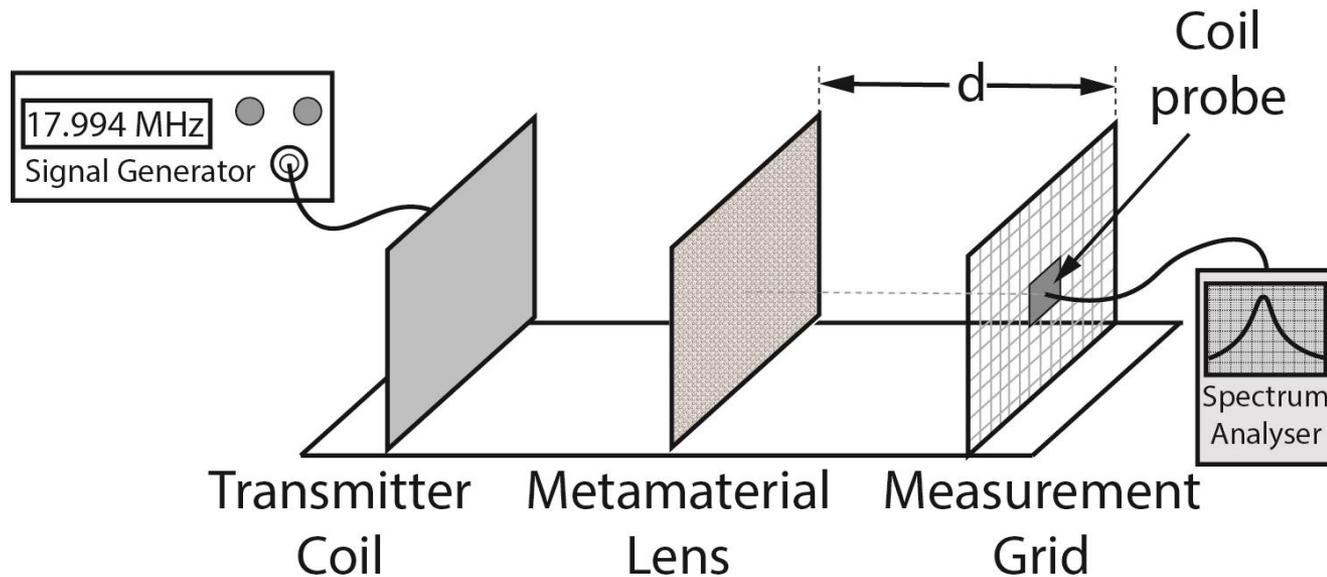
Diverging Lens



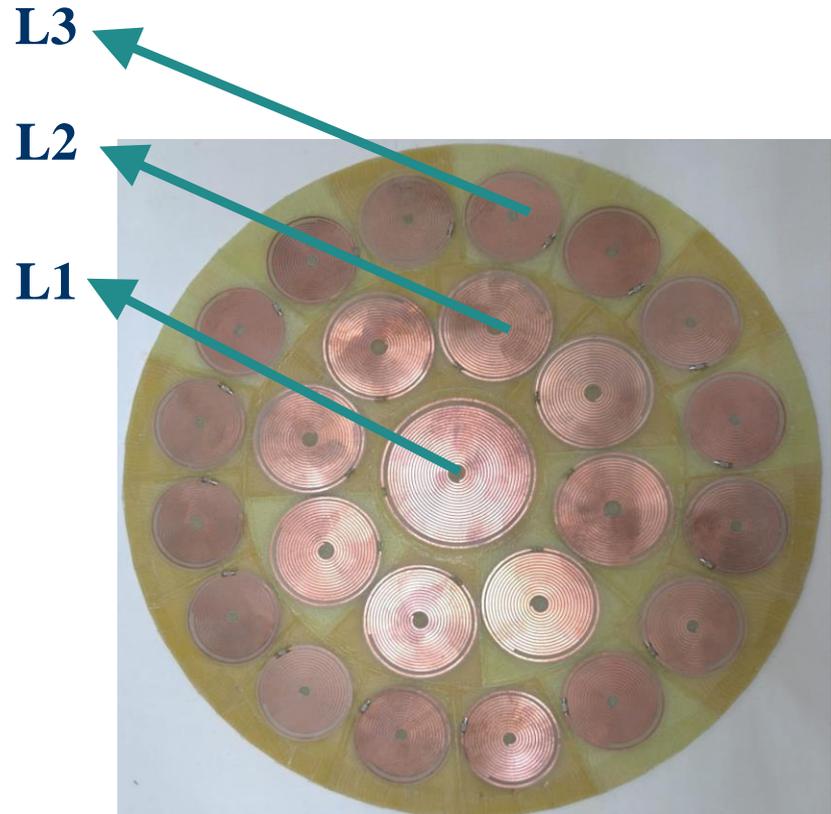
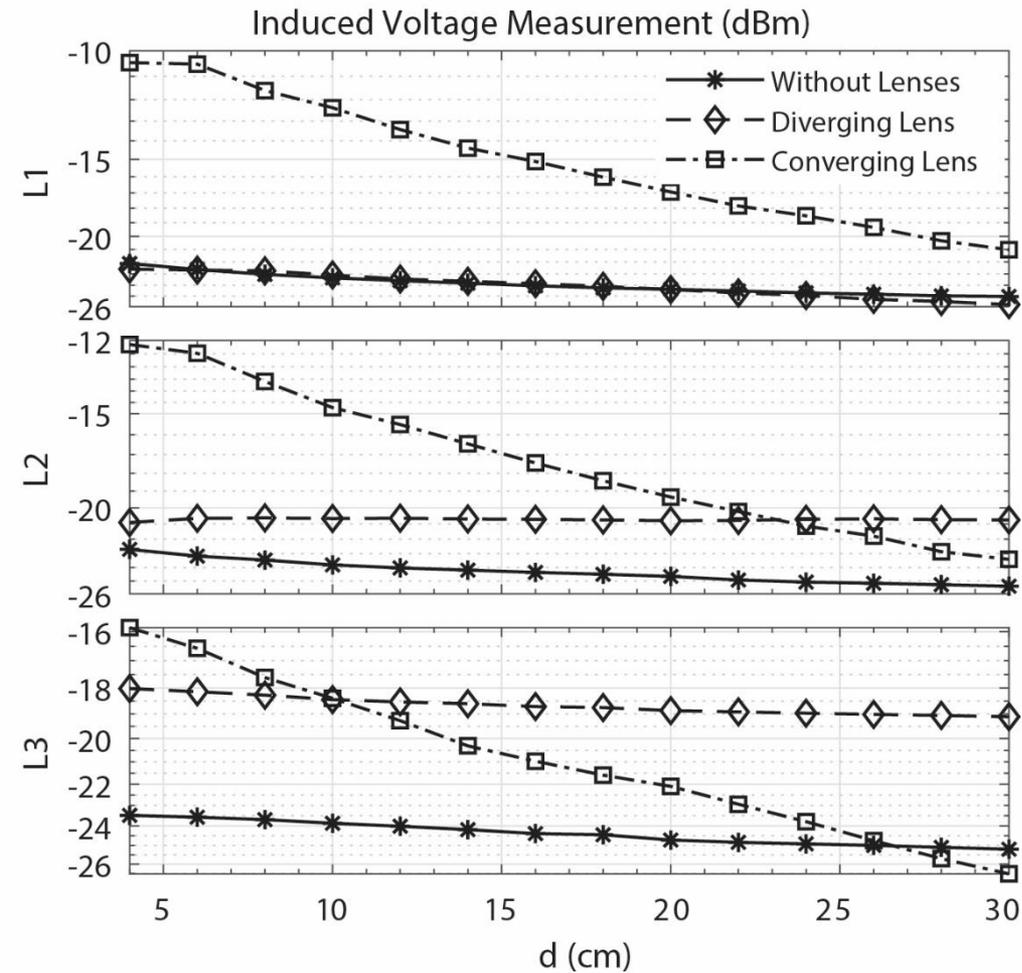
- Inclusão de metamaterial no sistema



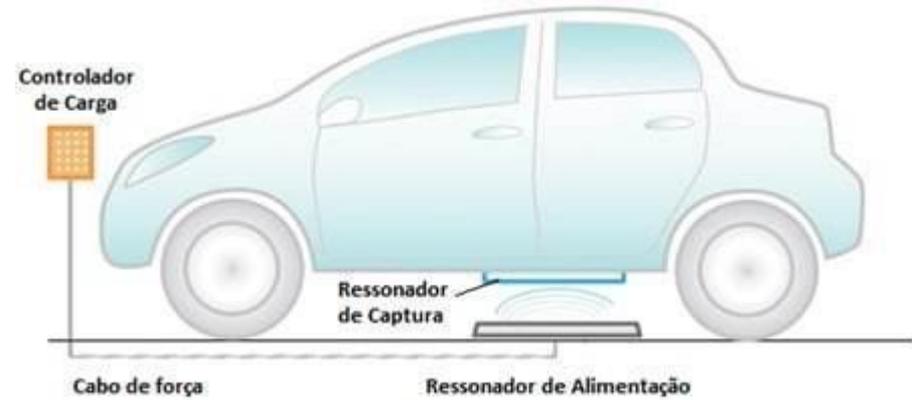
- Inclusão de metamaterial no sistema



- Inclusão de metamaterial no sistema



Aplicações:

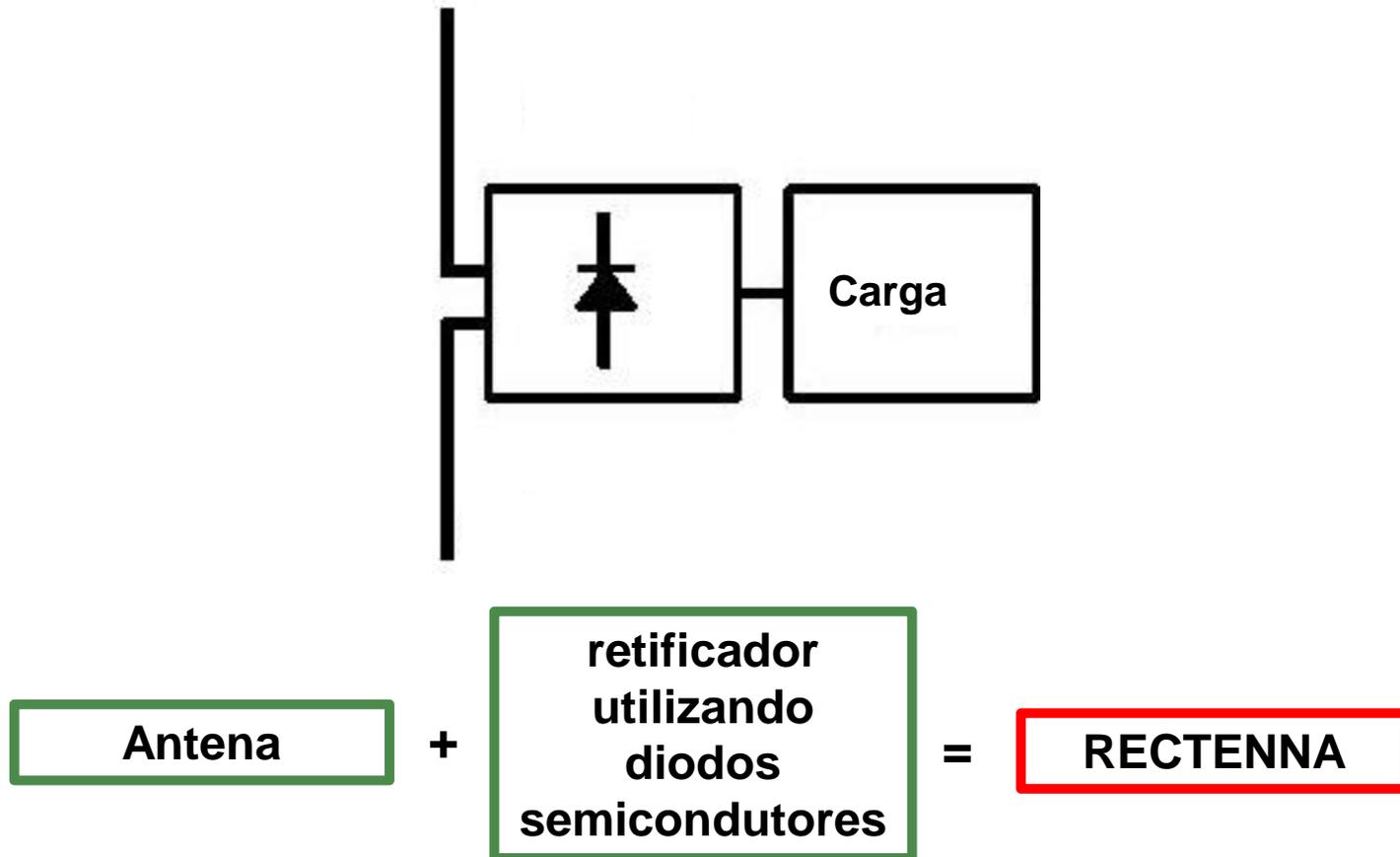


Segurança

Desafios:

- Aumentar distância de transmissão;
- Aumentar a eficiência do sistema;
- Desenvolver sistema aplicados na alimentação de diferentes tipos de cargas;
- Aprimorar a aplicação de metamateriais;
- Investigar diferentes topologias de conversores.
- Sintonia do sistema
- Reduzir custo





U.S. Patent 3434678 (1969)

Longas distâncias

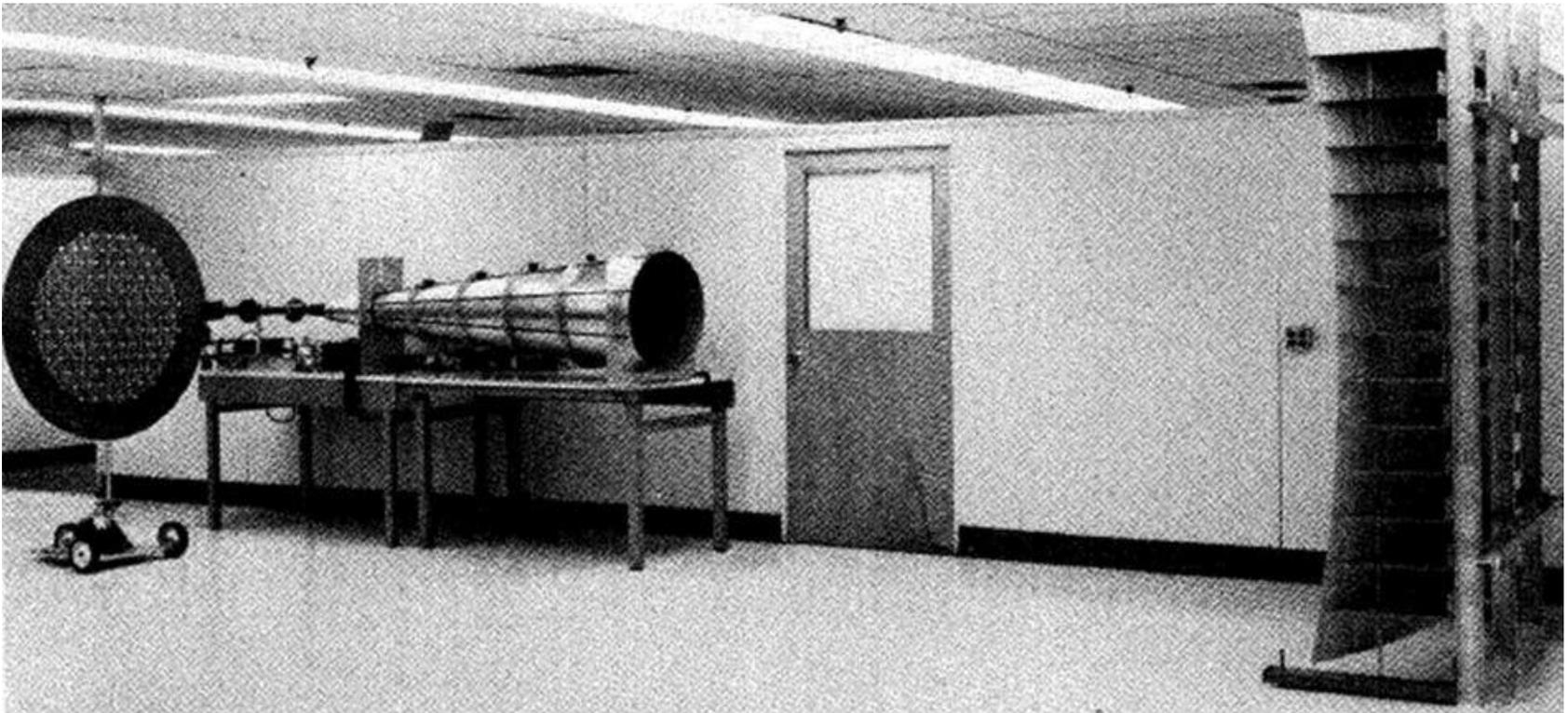


❖ Willian C. Brown (1964):

Um dos pioneiros e proeminentes cientistas a trabalhar com transmissão de energia via micro-ondas.

- ***Frequência: 2.4 – 2.5 GHz***
- ***Peso do helicóptero: 5lbs***
- ***Altitude do voo: 50 pés***
- ***Duração do voo: 10 horas contínuas***
- ***Motor elétrico: 0.15 HP***
- ***Rotor do motor: 6 pés de diâmetro***
- ***Alimentação (recepção montada na parte inferior do helicóptero): antena+retificador***

- ❖ Em 1975 Brown apresentou um sistema com 54% de eficiência entregando 495 W.



❖ Em 1975, a equipe de Brown realizou um experimento:



- **Potência Transferida: 30 kW**
- **Frequência: 2.4 – 2.5 GHz**
- **Eficiência: 84 %**
- **Distância: 1 milha**
- **Tamanho da antena: 288 ft²**

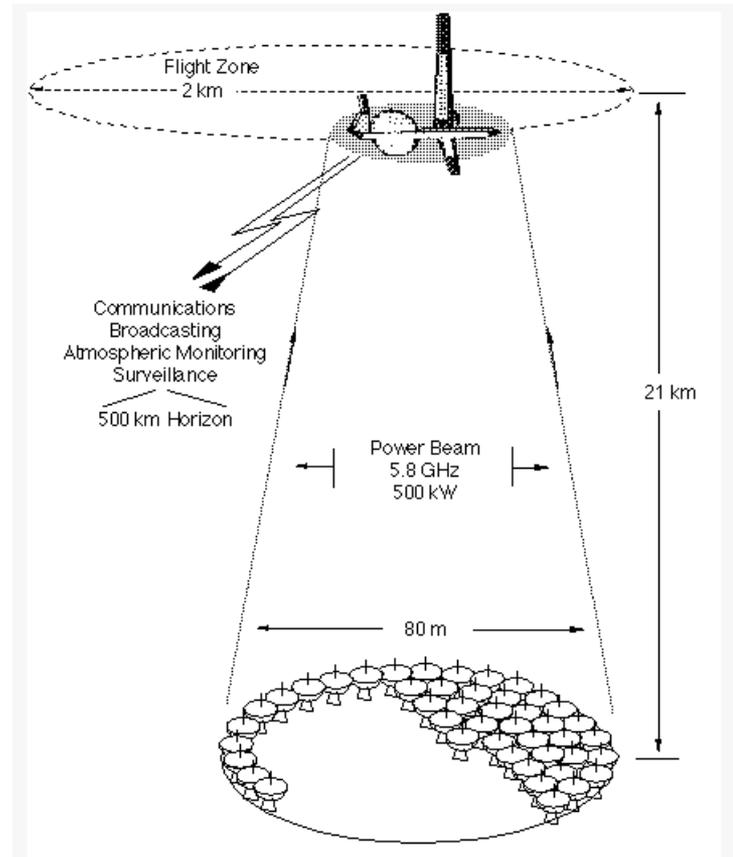
Esse experimento, além de testar a possibilidade da transmissão de energia sem fio fora de laboratórios, alcançou magnitude duas vezes maior que a obtida em laboratório

- ❖ O Primeiro experimento de transmissão de energia sem fio na ionosfera foi chamado de MINIX e se tratava de um foguete alimentado via micro-ondas.

Demonstrado em 1983 no Japão, operava na frequência de 2.45 GHz, para isso foi transmitido 780W .



- ❖ Em 1987 foi desenvolvido o primeiro avião sem combustível alimentado por energia via micro-ondas a partir de terra.

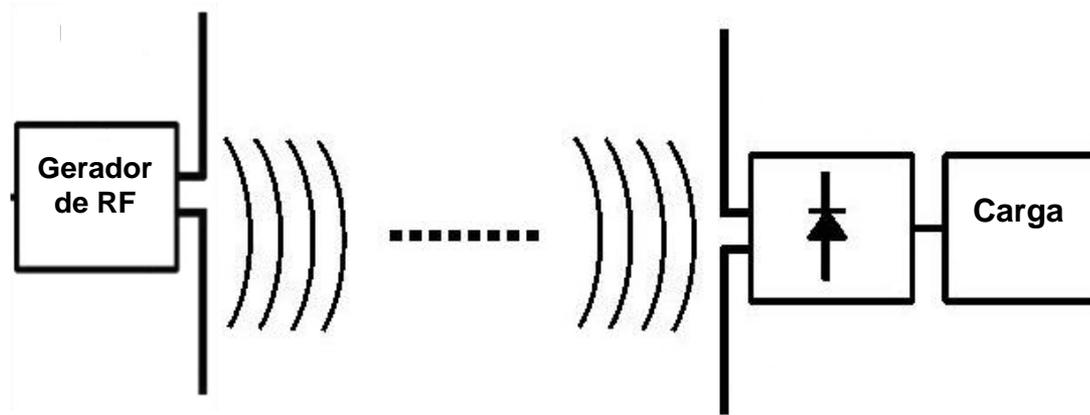


- ❖ Em 1992 A Kyoto University apresentou um projeto utilizando **matriz de 288 antenas**. A partir desse projeto foi realizada a demonstração de um aeroplano alimentado em **2.411GHz**

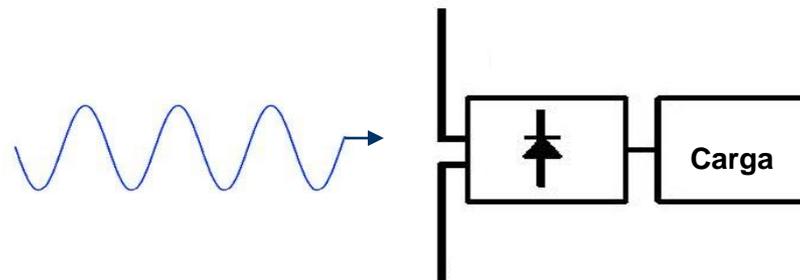


- ❖ A Kyoto University desenvolveu em 2009 um sistema utilizando feixes de micro-ondas e matriz de antenas e magnetrons para alimentar veículos elétricos.





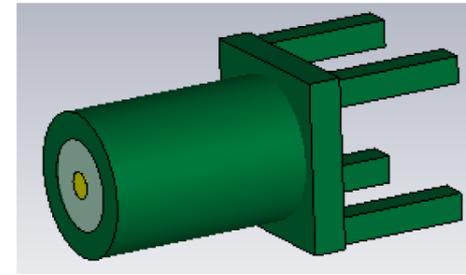
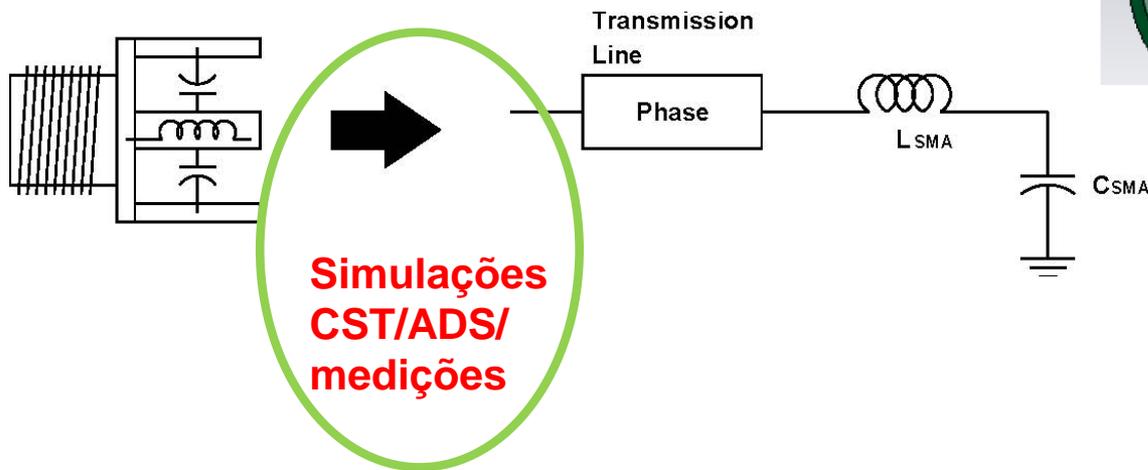
Transmissão de energia sem fio



Reaproveitamento de Energia Eletromagnética

Principais pontos já investigados e resultados obtidos nas pesquisa realizadas no CEFET:

- Modelagem do conector SMA

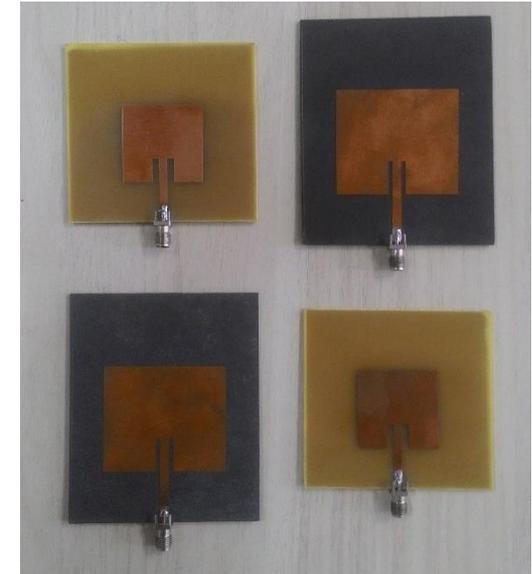


- Caracterização do substrato dielétrico

Simulações CST/ADS/medições



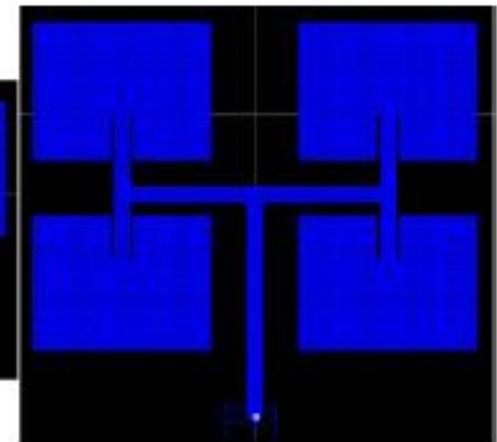
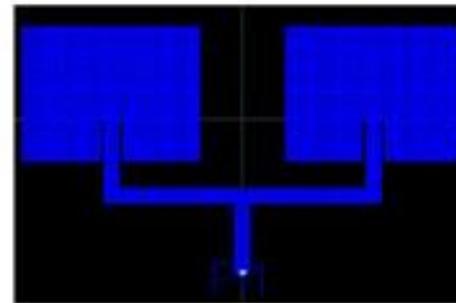
- Projeto, otimização construção e teste de diferentes tipos de antenas.



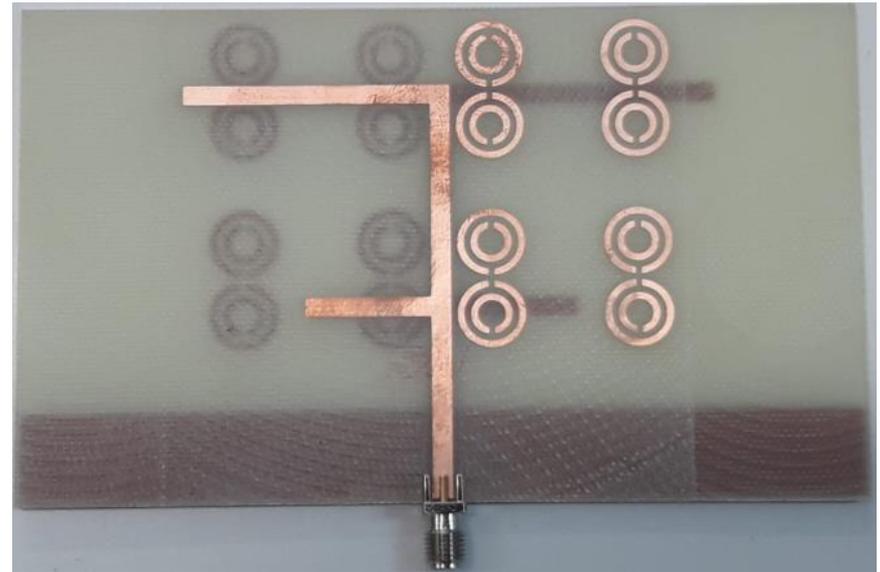
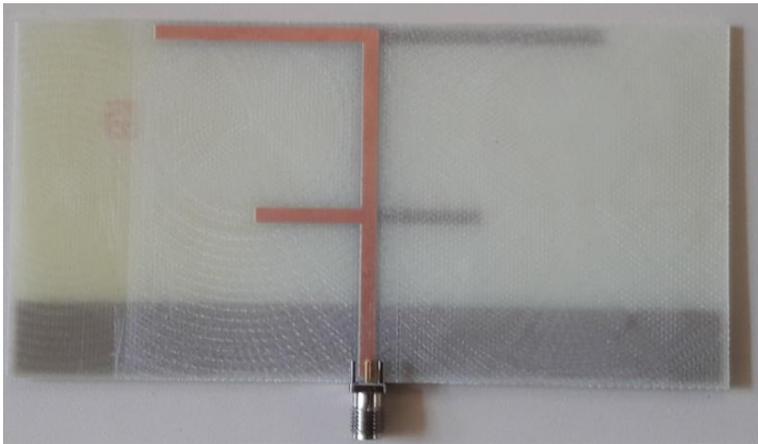
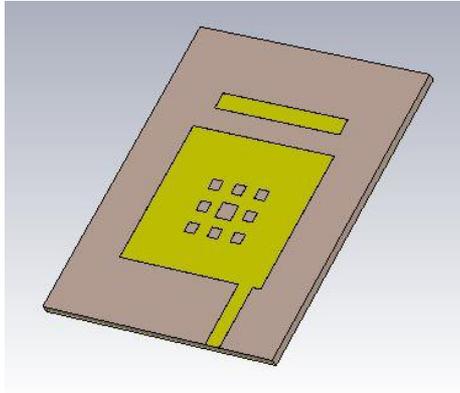
Simulações → CST/ADS

Otimização →

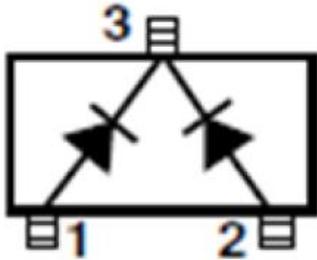
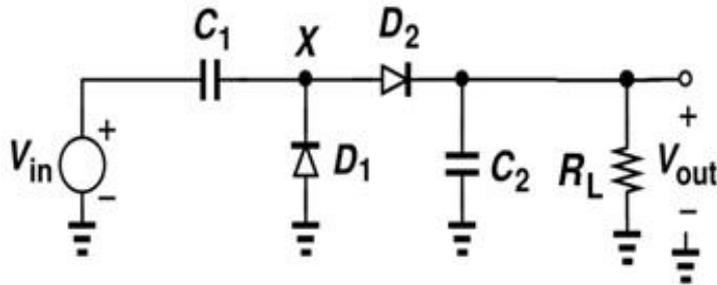
$S_{11} < -10\text{dB}$ e $Z_{in} = 50\Omega$



- Projeto, otimização construção e teste de diferentes tipos de antenas.



- Projeto, otimização, construção e teste do circuito Retificador:

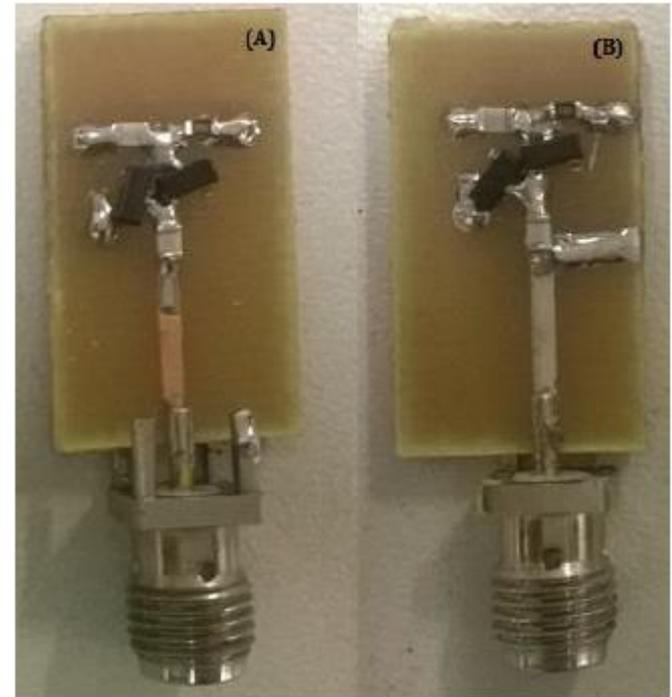
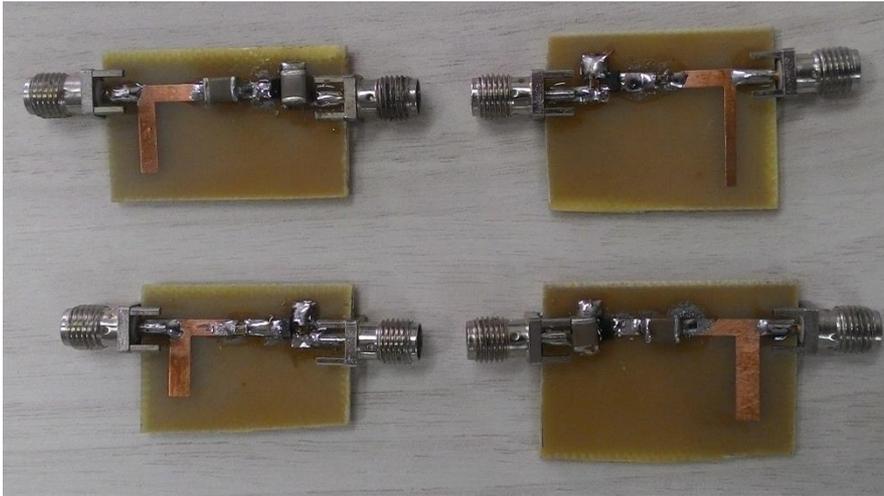


Diodo Schottky

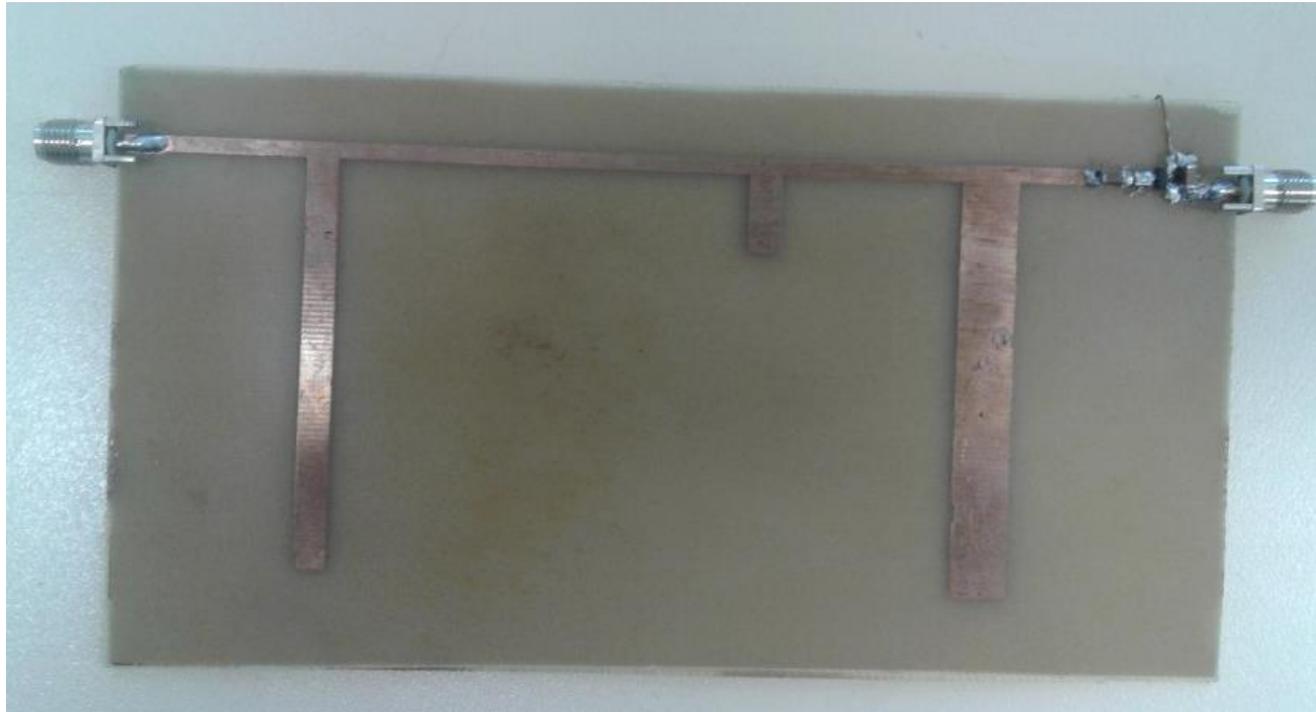
- Escolha da topologia**
- Diodos**
- Casamento de impedância**
- Comportamento não linear**
- Supressão de harmônicos**

Simulações → ADS

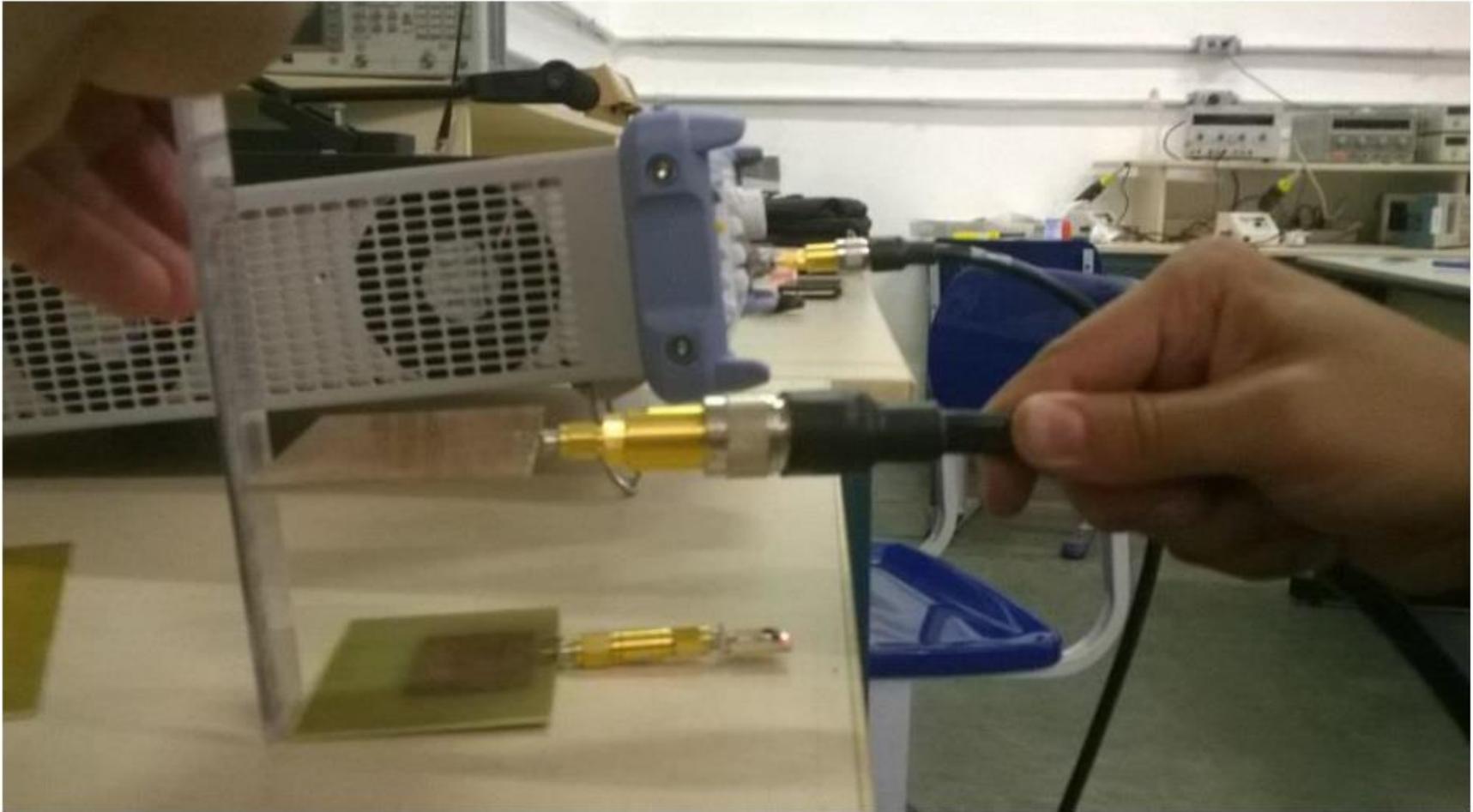
Otimização → $S_{11} < -10\text{dB}$



Testes → S_{11} , e Potencia de saída

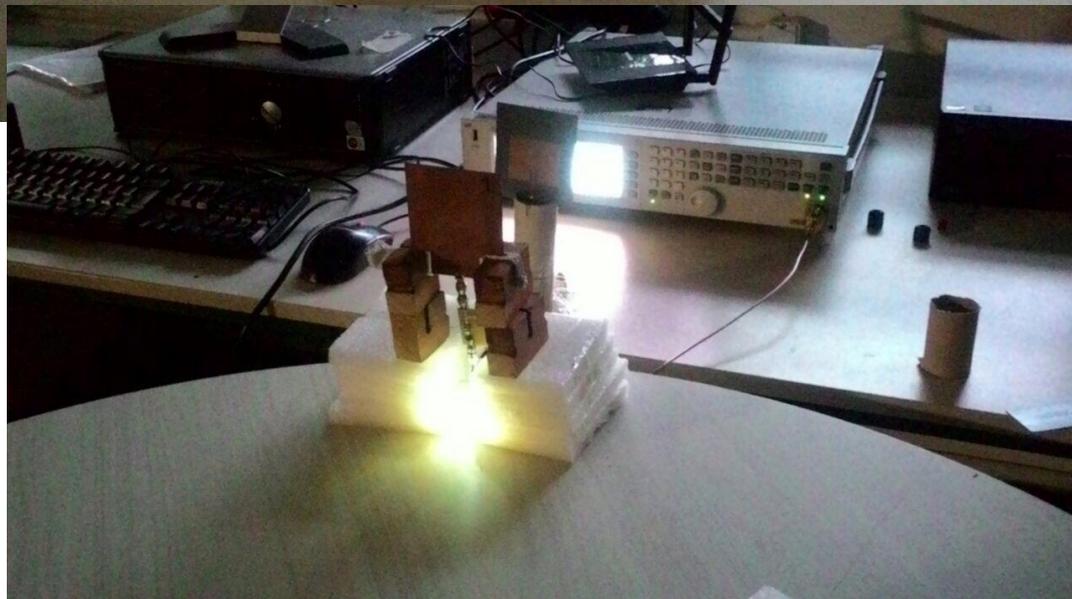
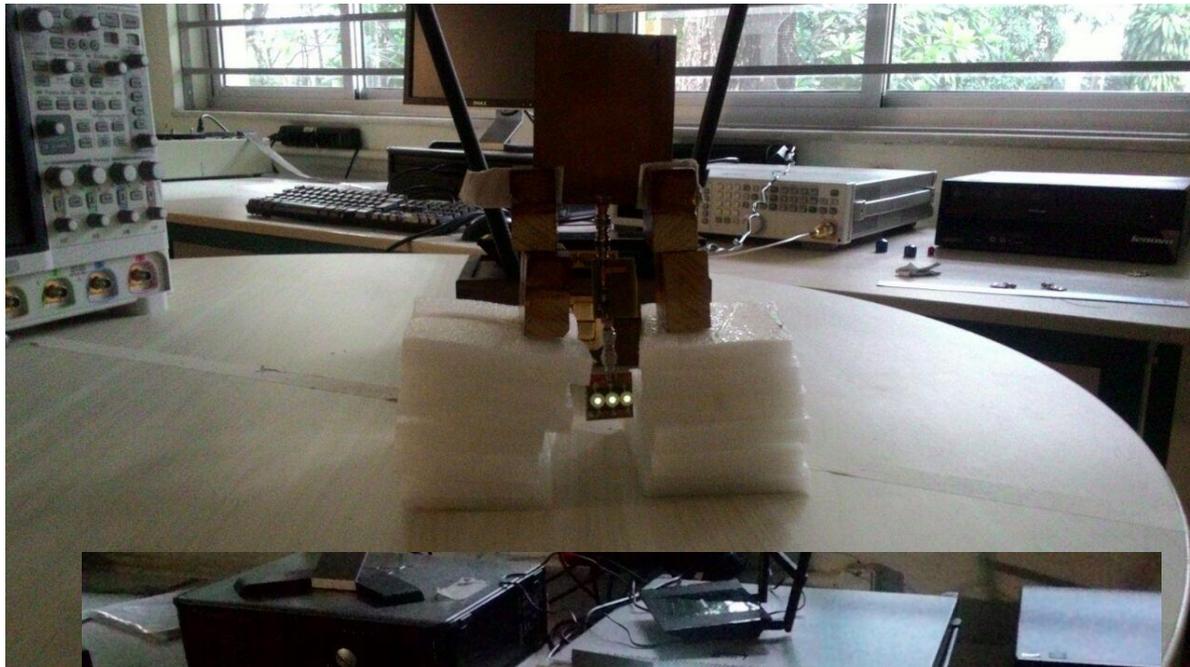


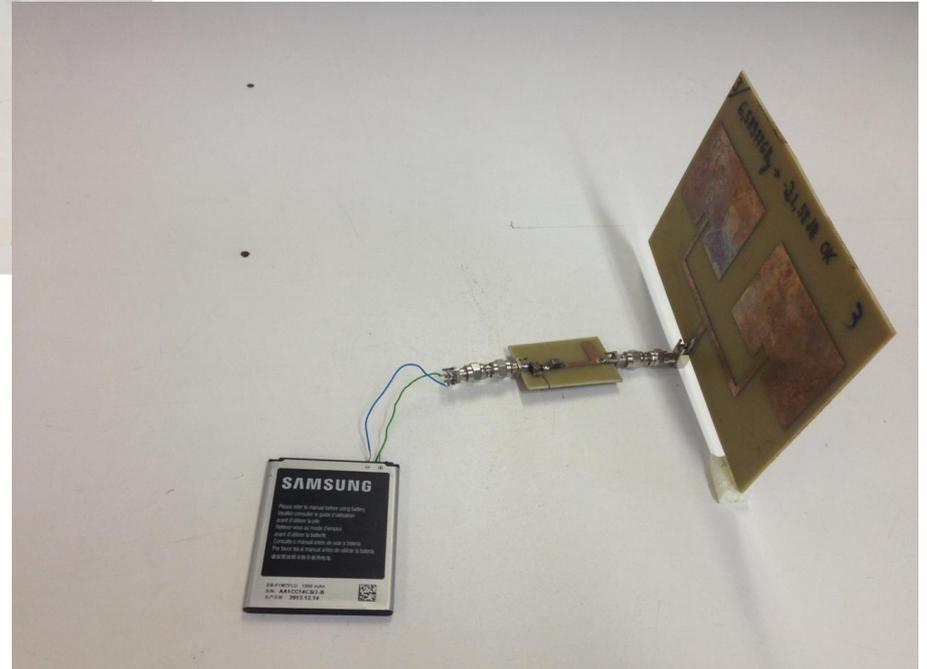
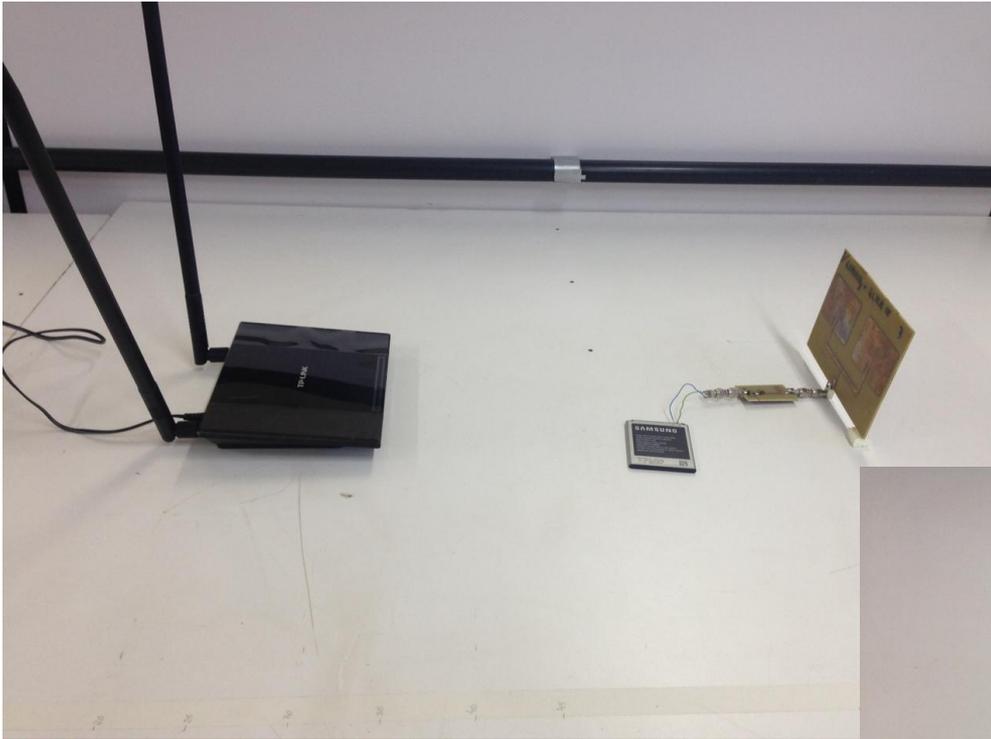
- Transmissão de energia sem fio.



- Reaproveitamento de energia eletromagnética

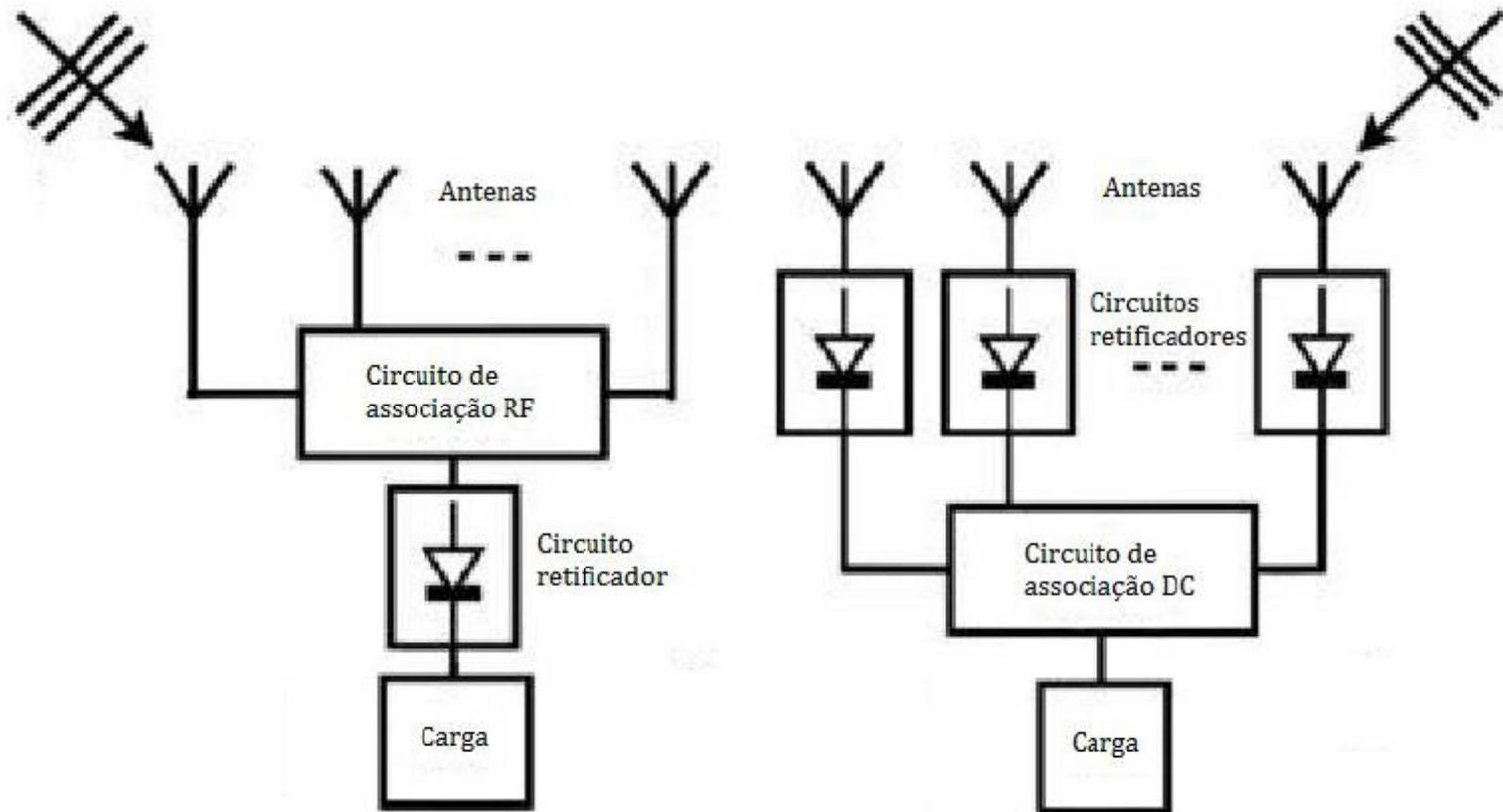




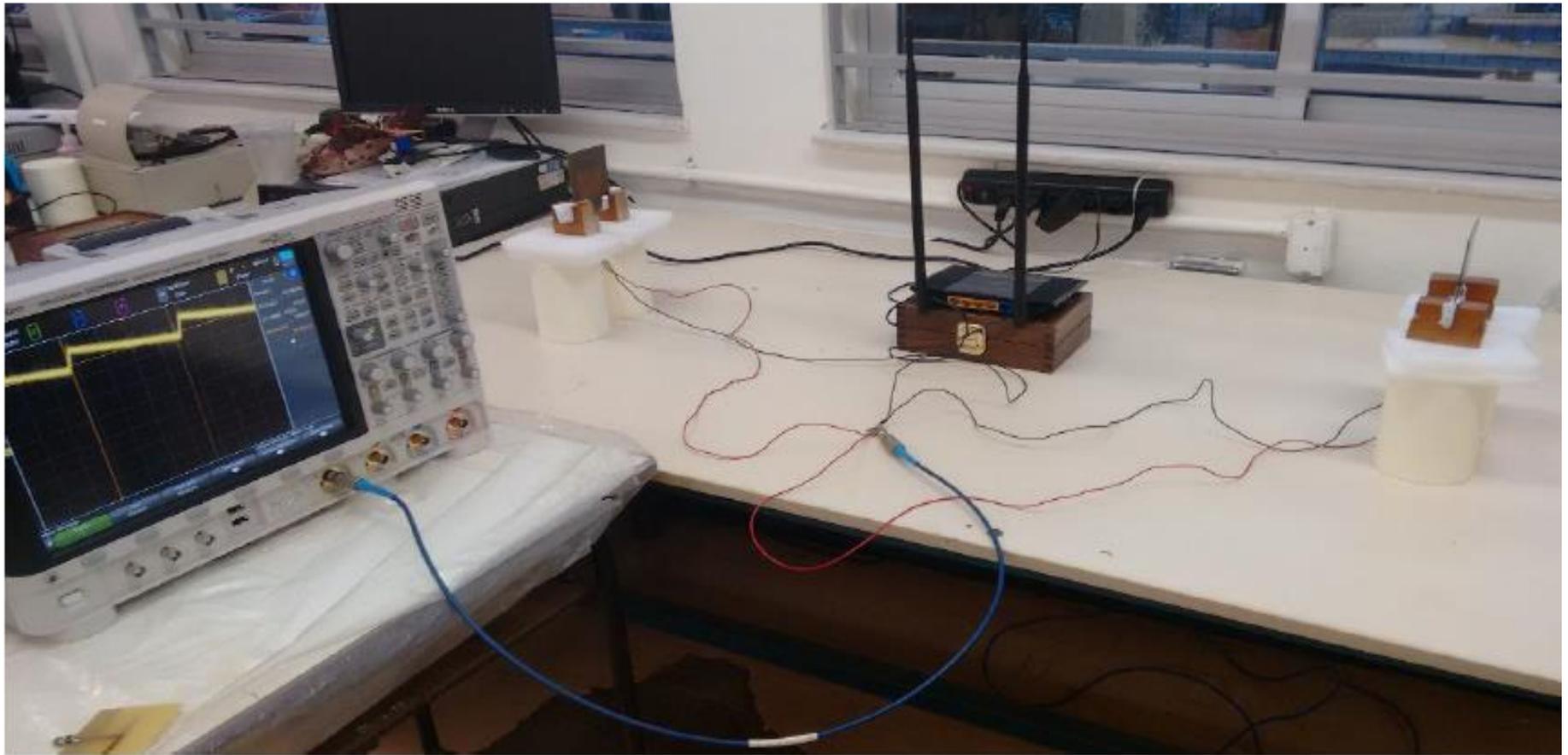


Protótipos

- Investigação de associação CA e CC para reaproveitamento de energia eletromagnética



- Investigação de associação CA e CC

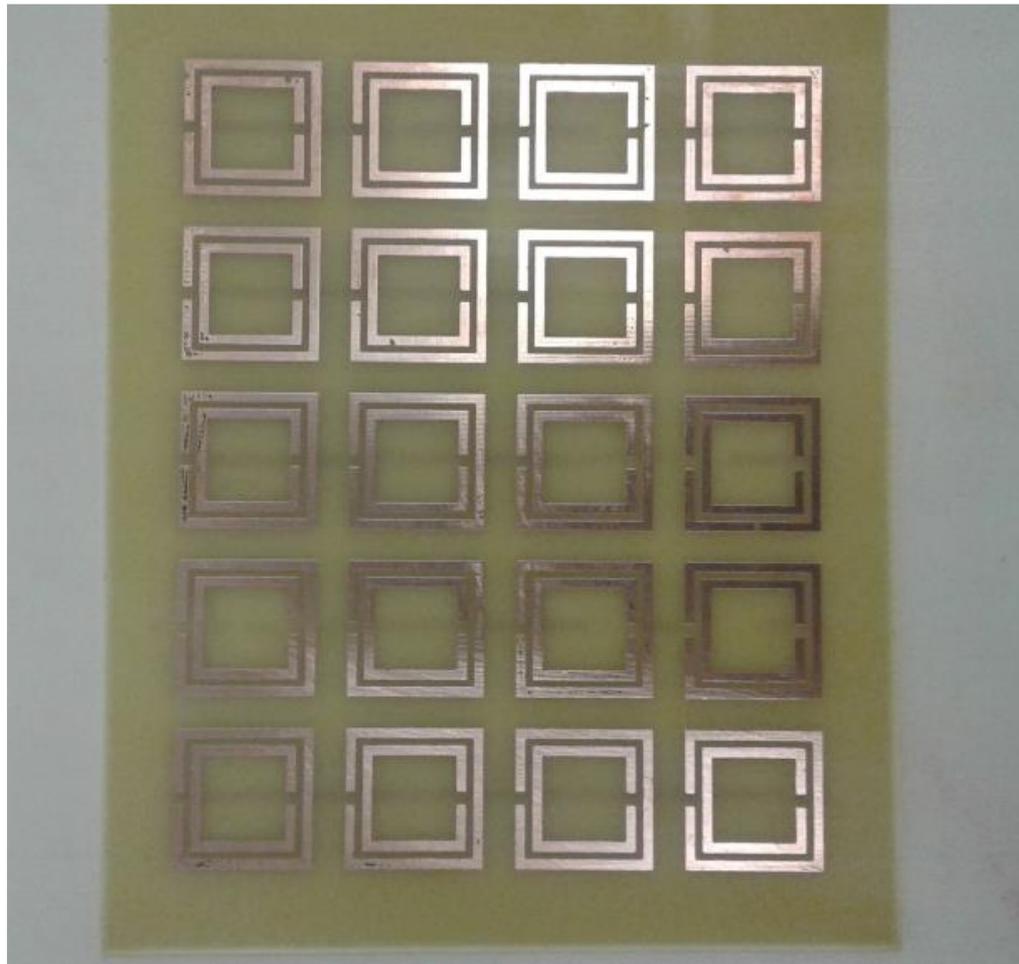


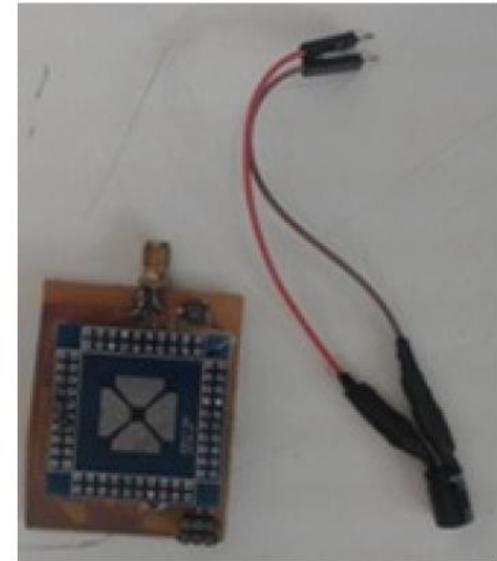
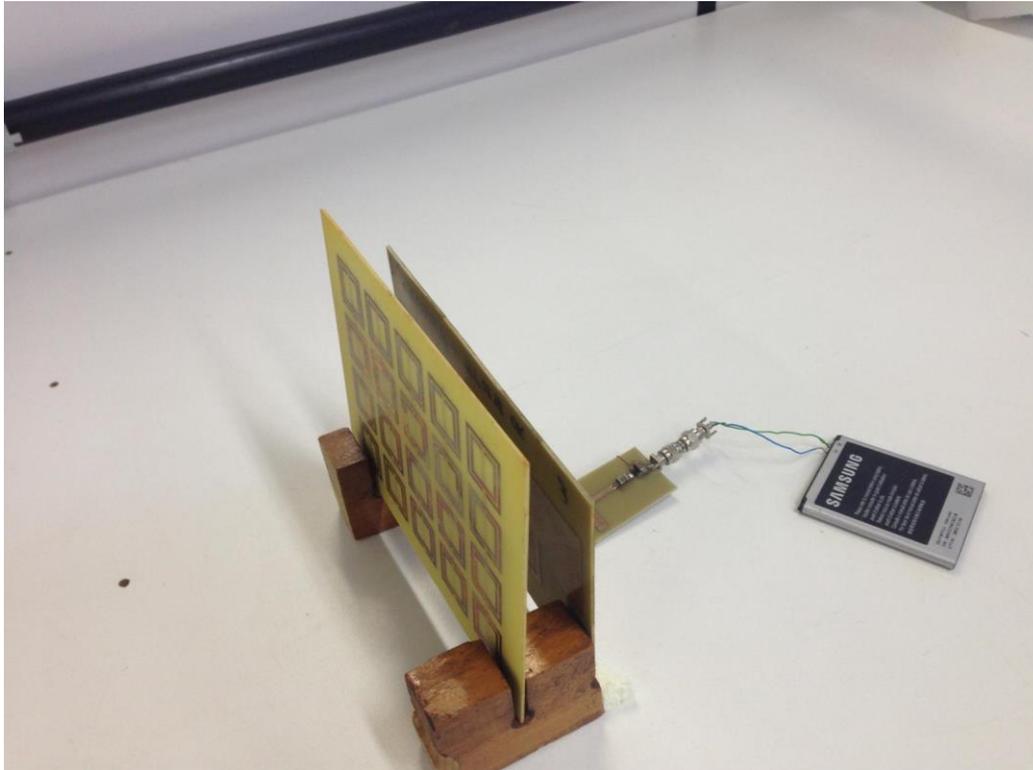


- Aplicação de filtros

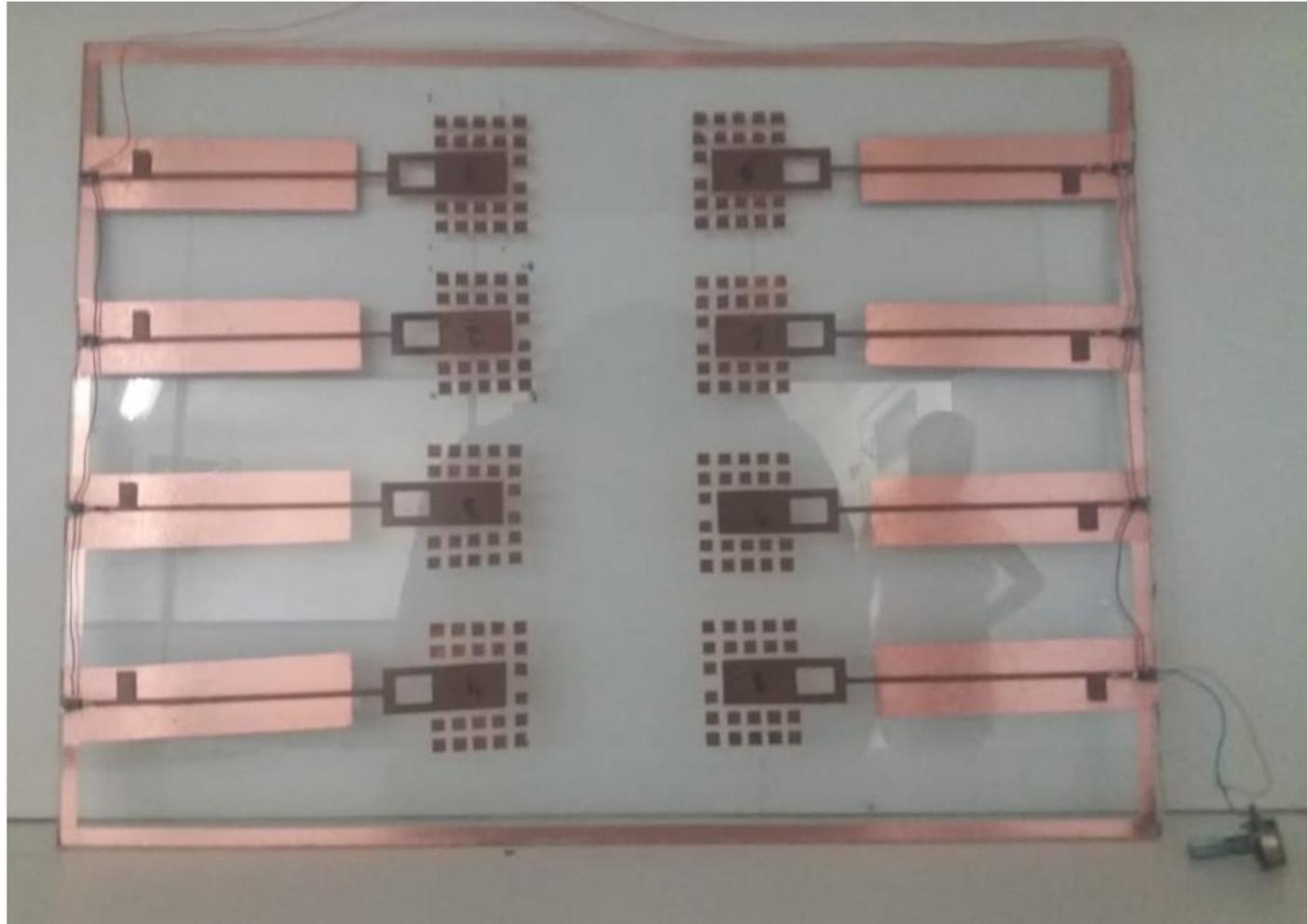


- Metamaterial

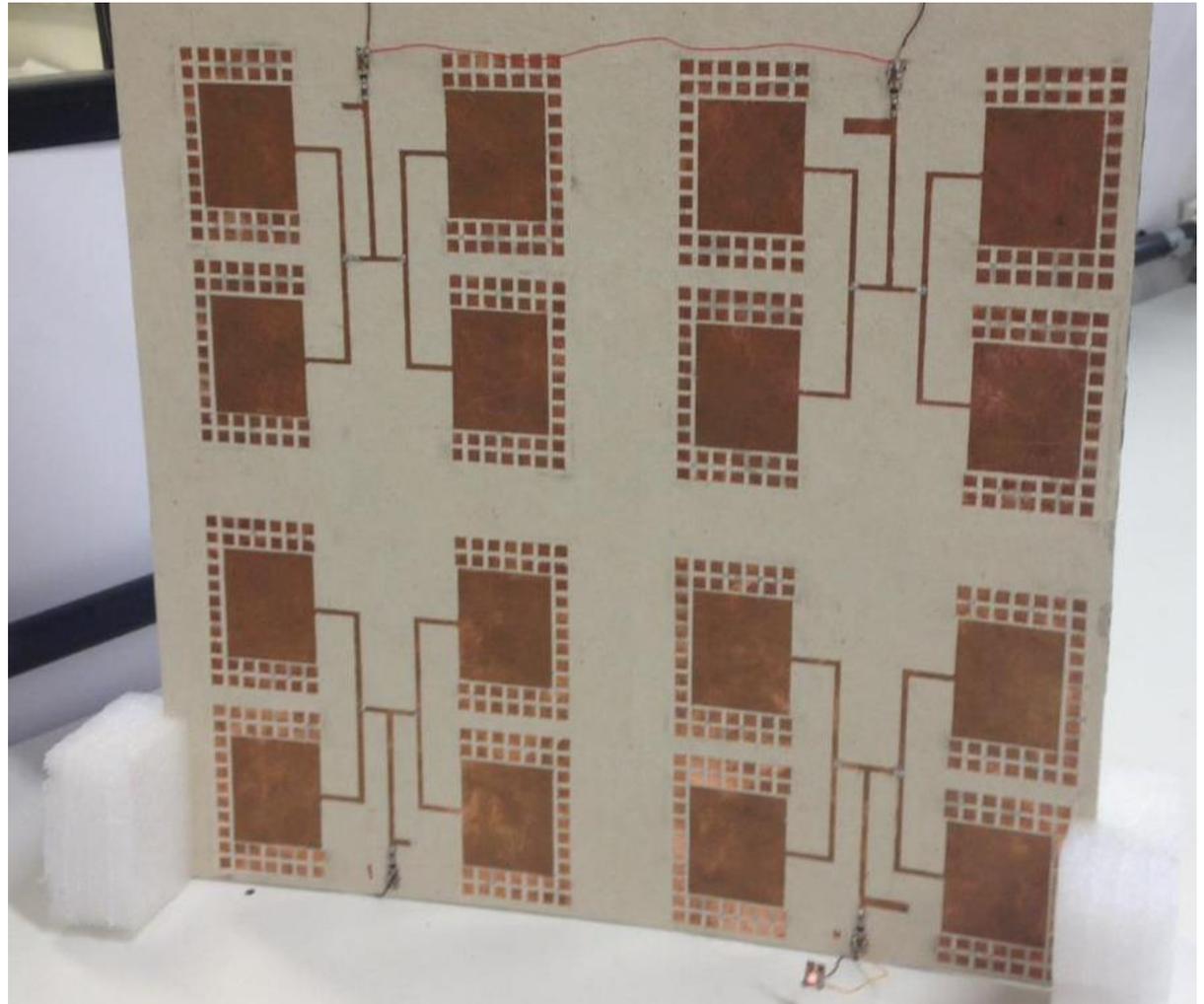
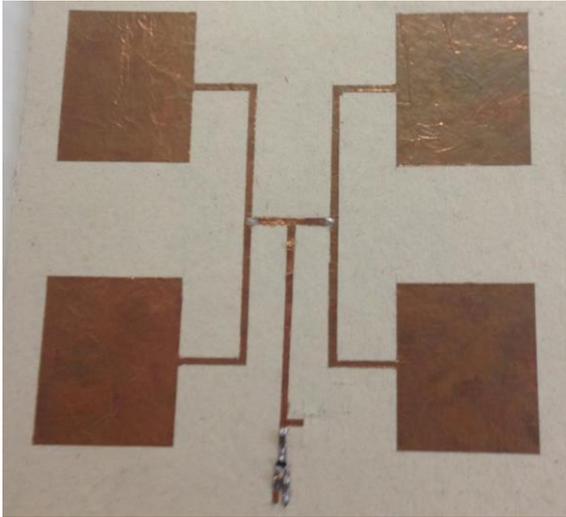


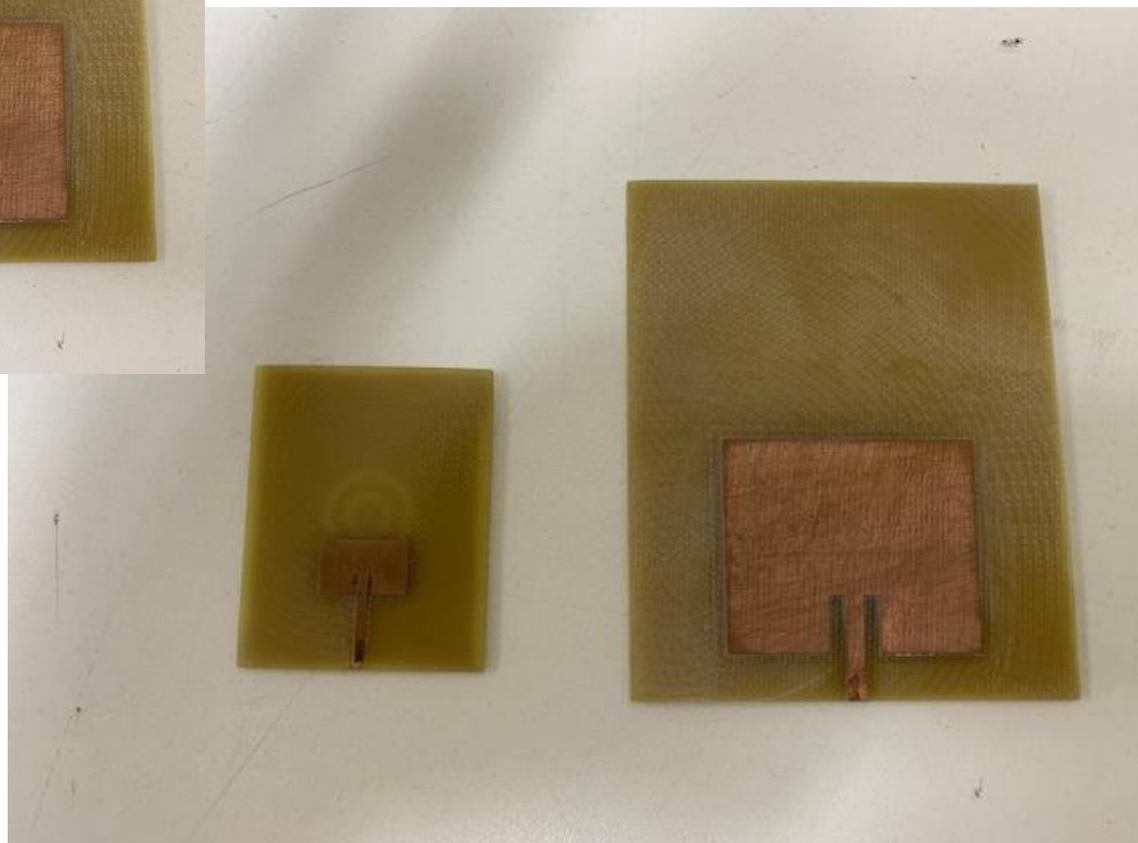
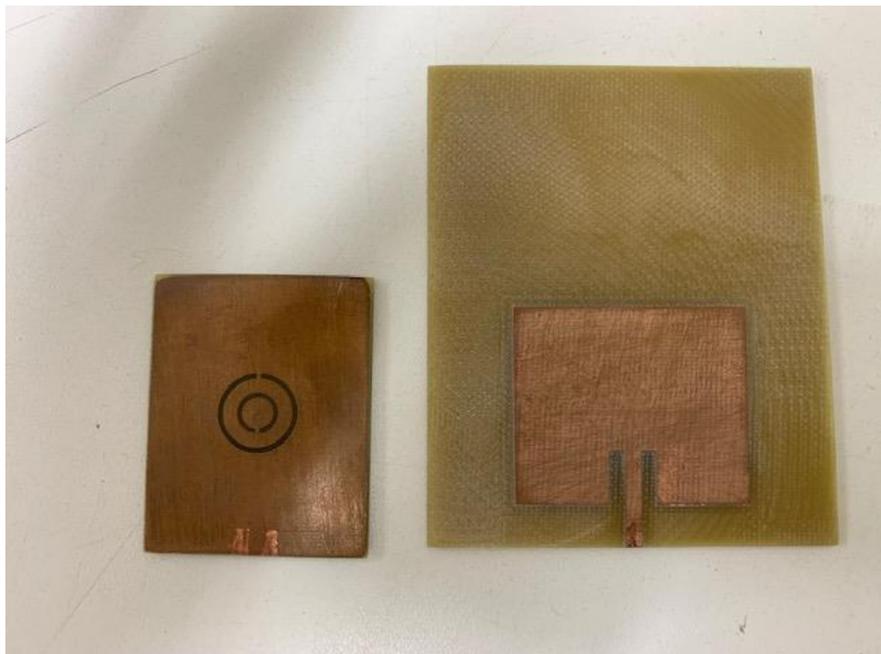


- Janela Eletromagnética

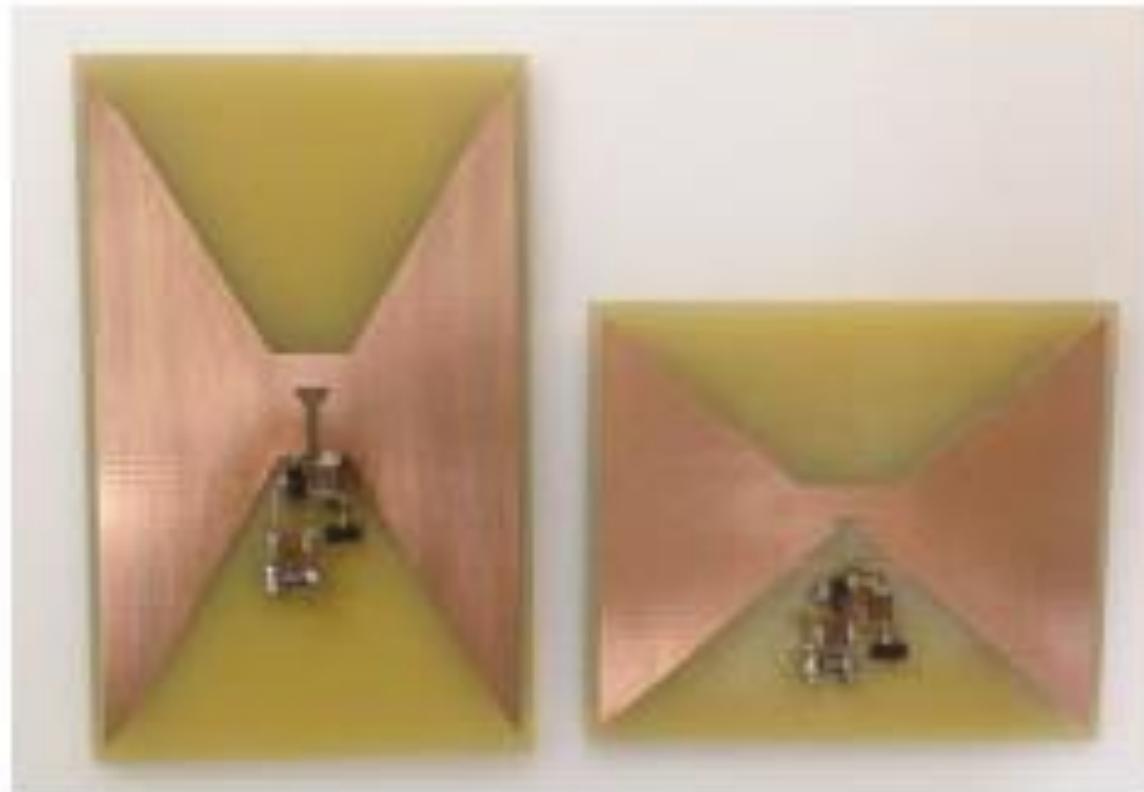


- Parede Eletromagnética





Laboratório:





REDE MINAS

JORNAL MINAS

reportagem
MARCELA MARTINS

ENERGIA SEM FIO
PESQUISADORES DE BELO HORIZONTE ESTUDAM TECNOLOGIA

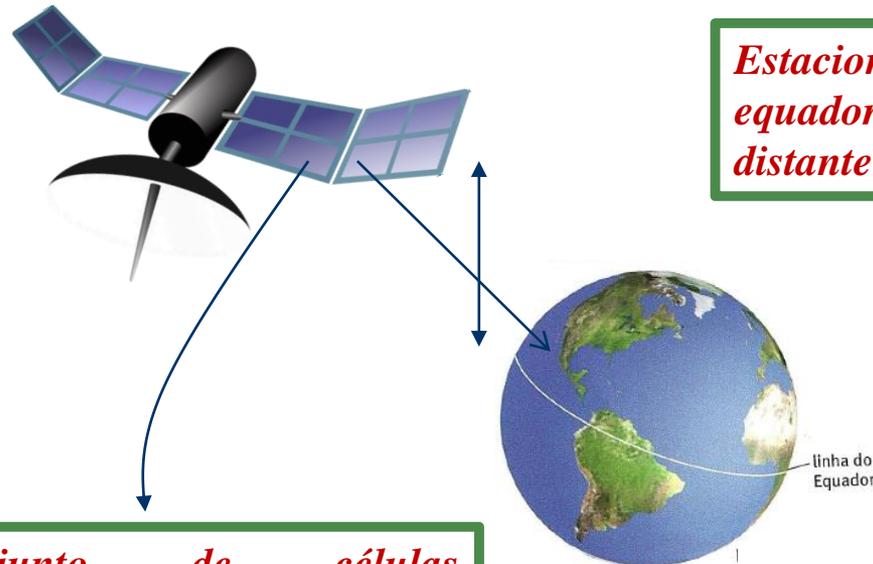


19:29

SPC (Satellite Power System)

- ❖ Em 1968 foi proposto o conceito SPC que envolve:

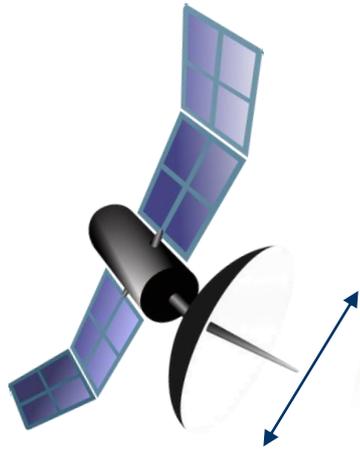
A energia seria coletada no espaço por um satélite de 5GW.



Estacionado acima da linha do equador cerca de 35.800km distante da superfície terrestre.

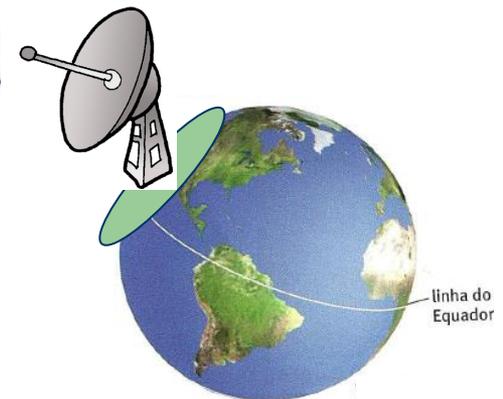
•Conjunto de células fotovoltaicas montadas em um painel com 55.125km².

SPC (Satellite Power System)



•Antena transmissora de 1 km transmissora de diâmetro.

•A rectena de cerca de 10km de diâmetro.
•Área de proteção de 72km² ao seu entorno para garantir a segurança e saúde de organismos vivos ao seu redor.



Embora resultados significativos já tenham sido obtidos, os principais desafios são:

- Ampliação da potência manipulada pelo sistema.
- Aumento da distancia de alcance.
- Aumento da eficiência do sistema.
- Aplicação do sistema na alimentação de diferentes cargas.
- Otimização de diferentes geometrias para a antena e o circuito retificador.
- Associação.
- Sistemas para operação em múltiplas frequências.
- Utilização de conversores.
- Desenvolvimento de sistemas híbridos.
- Desenvolvimento de componentes impressos
- Ampliar a frequência de utilização.