

Segunda-feira, 18 de novembro de 2013

# Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal



INSTITUIÇÕES ASSOCIADAS:



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO



Faculdade de Ciências  
e Tecnologia da  
Universidade de Coimbra



universidade  
de aveiro



Inovação



Henrique Morais Saraiva

Orientado por: Prof. Doutor Fernando J. Velez



instituto de  
telecomunicações

*creating and sharing knowledge for telecommunications*

# Sumário

- ❏ A recolha de energia permitirá alimentar todos os nós sensores de uma Rede sem Fios de Área Corporal (WBAN) sem a necessidade de substituir a fonte principal de energia (por exemplo, baterias);
- ❏ A energia electromagnética (ou de radiofrequência, RF) apresenta-se como uma das fontes mais promissoras, e por essa razão, foi alvo de investigação;
- ❏ Neste trabalho de investigação:
  - Propõe-se um sistema de armazenamento de energia híbrido;
  - Identificam-se as oportunidades espectrais para a recolha de energia RF através de medições de densidades de potência para gama de frequências de 350 MHz a 3 GHz;



UBI  
Covilhã  
Portugal



**Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal**



# Sumário (continuação)

✂ Neste trabalho de investigação (continuação):

- Tendo em conta a identificação experimental das oportunidades espectrais mais promissoras, são propostas duas antenas têxteis, uma apenas de uma única banda (GSM900) e outra de duas bandas (GSM900/1800);
- Desenvolveram-se circuitos que conseguem converter a energia das ondas electromagnéticas em energia de corrente contínua e ao mesmo tempo aumentam a amplitude do sinal de saída relativamente ao sinal de entrada.

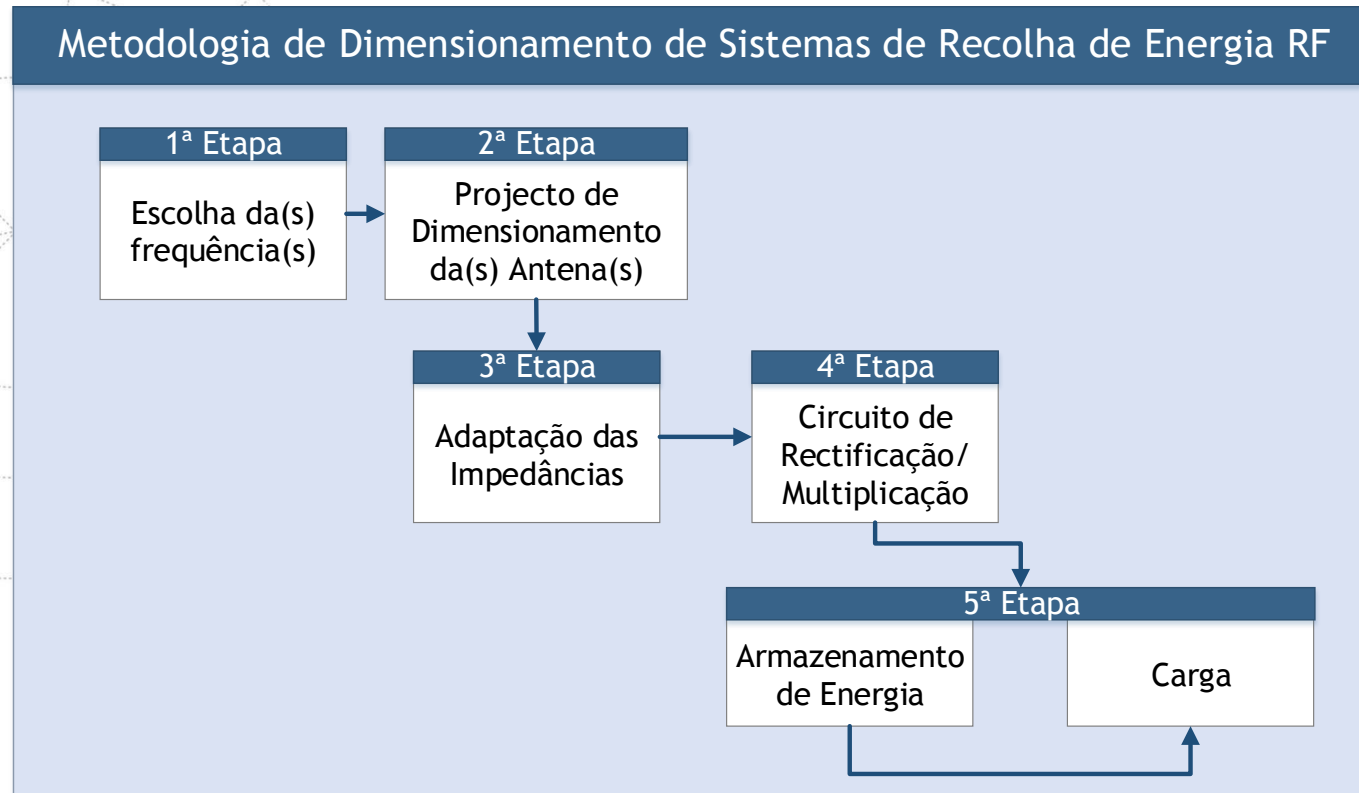
✂ Apresentam-se os resultados simulados, obtidos através do *Advanced Design System* (ADS), e os resultados experimentais.



**Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal**



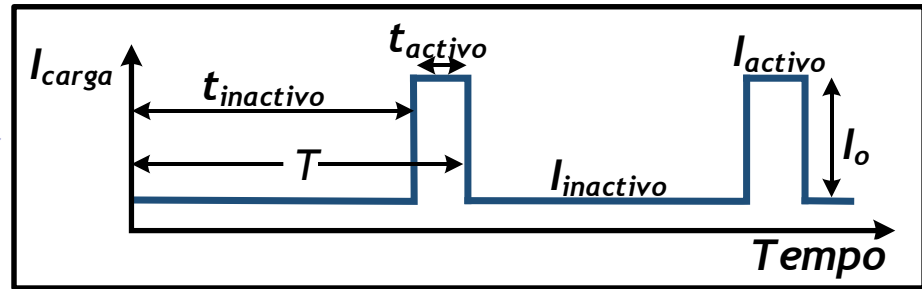
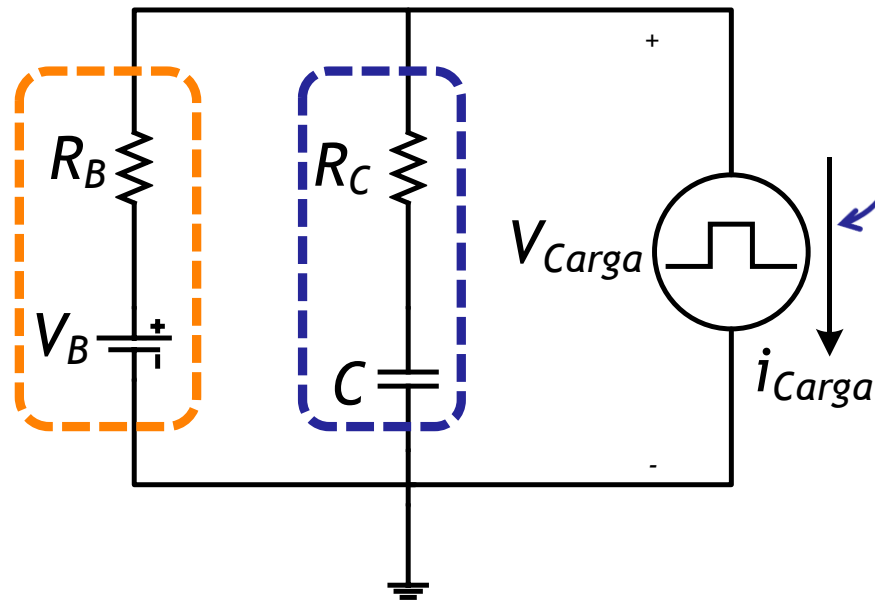
# Metodologia e Estado da Arte



- Da análise do estado da arte, identificam-se demonstradores que permitem fazer recolha de energia RF na ordem de algumas centenas de  $\mu\text{W}$ ;
- São poucos os trabalhos onde se atingem as dezenas de  $\text{mW}$ .

Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal

# Sistema de Armazenamento de Energia Híbrido



- ❌ Devido à considerável impedância interna das **baterias**, existem perdas de energia elevadas;
- ❌ A colocação de um **supercondensador** em paralelo com a bateria permite reduzir a impedância equivalente – **sistema de armazenamento híbrido**;

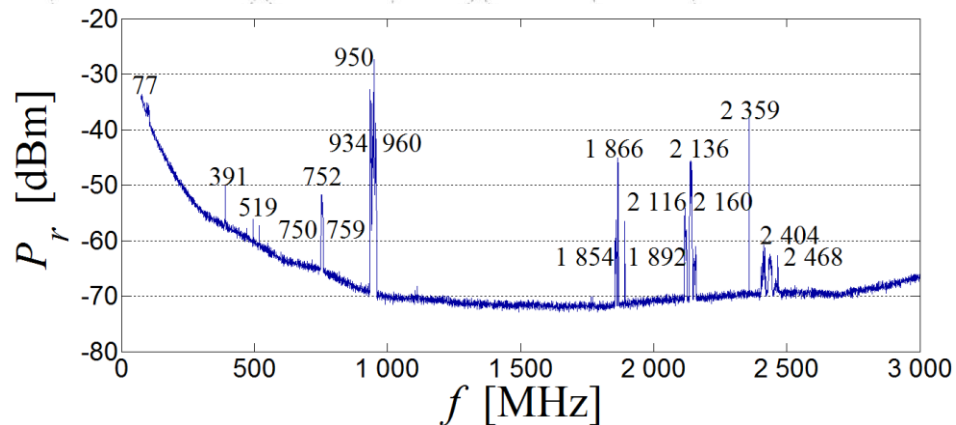
- ❌ De acordo com [PeGa10], com este sistema de armazenamento híbrido:
  - O aumento do tempo de vida útil é de cerca de 16 % entre 24 °C e 26 °C, e cerca de 130 % a -15 °C;
  - Resultam quedas de tensão internas mais reduzidas – cerca de 90 % inferiores comparativamente com uma bateria;

[PeGa10] M. T. Penella and M. Gasulla, "Runtime extension of low-power wireless sensor nodes using hybrid-storage units," IEEE Transactions Instrumentation and Measurement, vol. 59, no. 4, pp. 857-865, Apr. 2010.

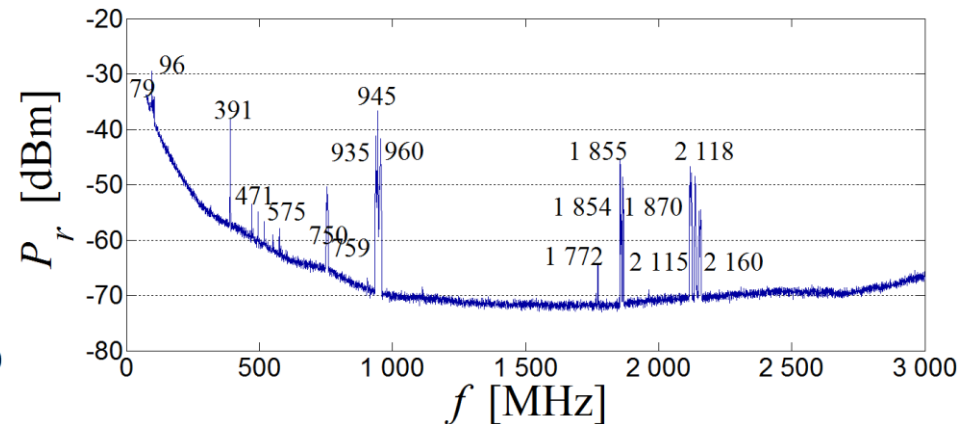
**Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal**

# Oportunidades Espectrais

## Ambientes Interiores



## Ambientes Exteriores



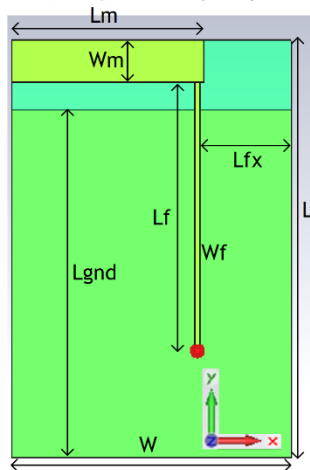
## Gamas de frequências com potência disponível mais elevada:

- 79 a 96 MHz, estações de rádio;
- 390 a 392 MHz, estações de emergência;
- 750 a 759 MHz, estações de televisão;
- **934 a 960 MHz, GSM900;**
- 1763 a 1773 MHz, GSM1800;
- **1854 a 1870 MHz, GSM1800;**
- 2115 a 2160 MHz, estações UMTS;
- 2359 MHz, aplicações SAP/SAB e estações amadoras;
- 2404 a 2468 MHz, Wi-Fi;

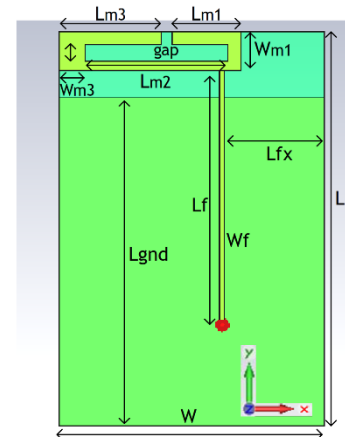
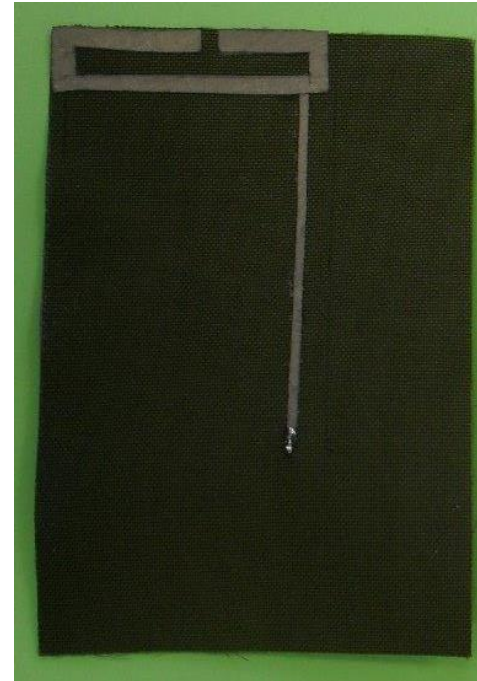
Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal

# Antenas Têxteis

Antena para GSM900



Antena para GSM900 e GSM1800



Parâmetro	Dimensão [mm]
L, Lgnd, Lf	120, 100, 78
Lm, Lfx	55, 26
W, Wf, Wm	80, 1.5, 12

Parâmetro	Dimensão [mm]
L, Lgnd, Lf, lfx	120, 100, 78, 30
Lm1, Lm2, Lm3, gap	21, 43, 31, 3
W, Wf, Wm1, Wm2, Wm3	80, 1.5, 12, 5, 8



UBI  
Covilhã  
Portugal



Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal



# Antenas Têxteis – Resultados

Antena para GSM900

Perdas de Retorno,  $S_{11}$

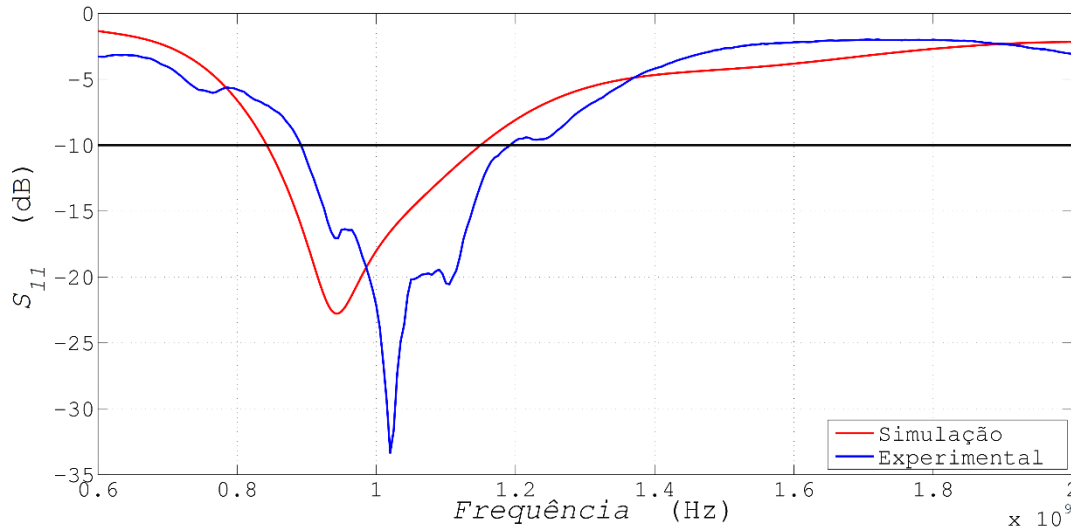
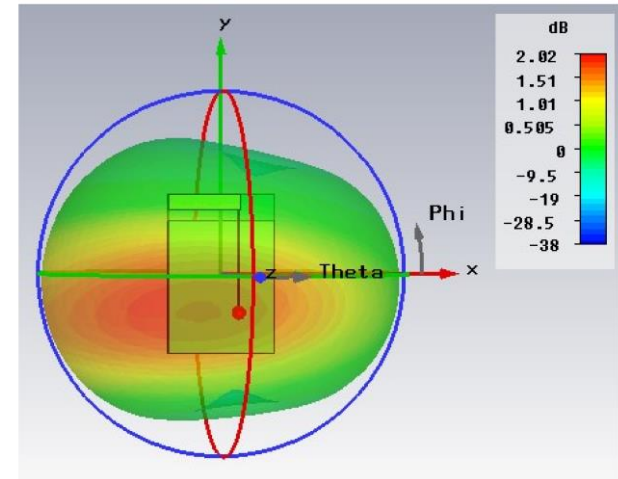


Diagrama de Radiação



Frequências de operação:

- Simulação: 850 – 1150 MHz;
- Experimental: 895 – 1190 MHz.

Ganho: 2.02 dBi;

Eficiência de radiação: 84 %.



UBI  
Covilhã  
Portugal



Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal

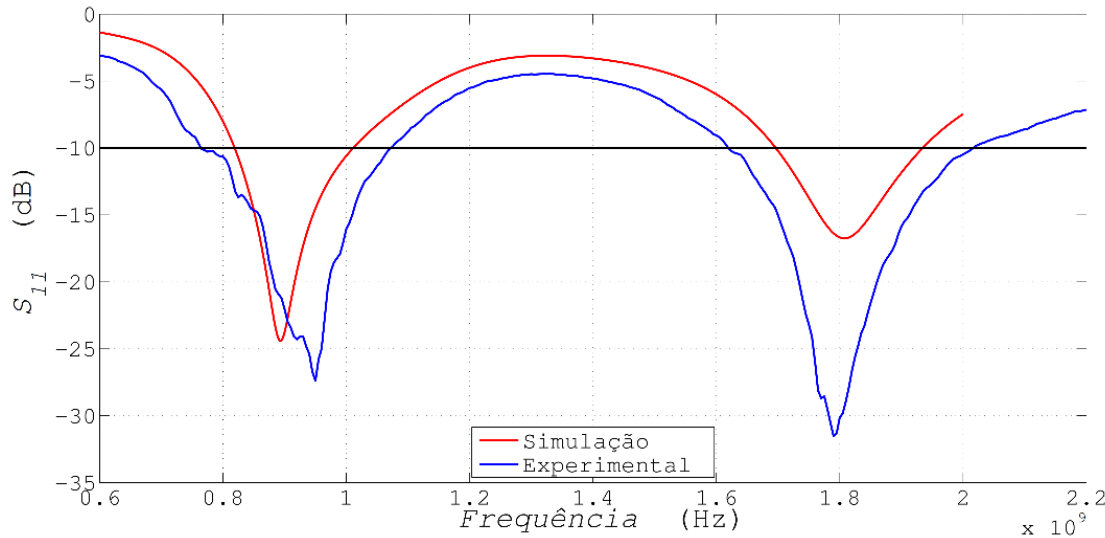




# Antenas Têxteis – Resultados

Antena para GSM900 e GSM1800

Perdas de Retorno,  $S_{11}$



Antena Frequências de operação:

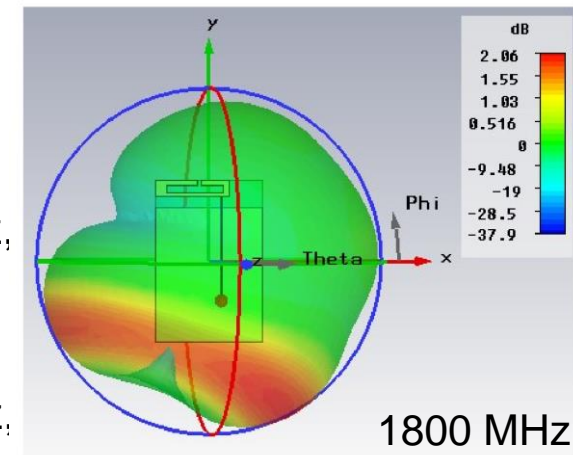
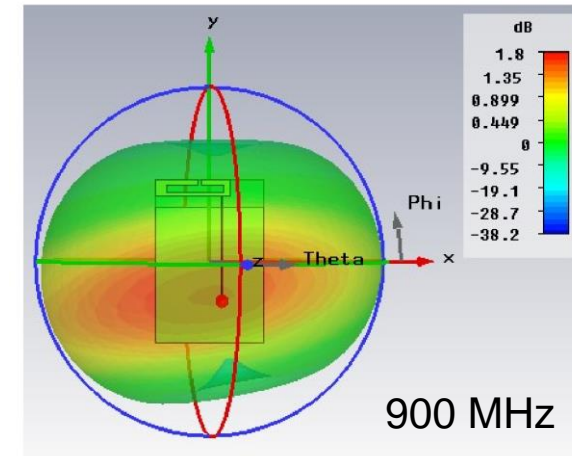
- Simulação: 820-1000 e 1690-1930 MHz;

Antena Largura de banda experimental: 300 e 390 MHz, a 900/1800 MHz, respectivamente;

Antena Ganho: 1.8-2.06 dBi, 900/1800 MHz, respectiva/;

Antena Eficiência de radiação: 82-77.6 %, 900/1800 MHz, respectivamente.

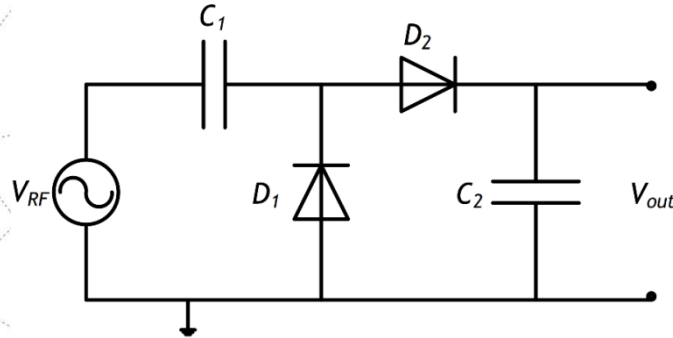
Diagrama de Radiação



Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal

# Circuitos de Recolha de Energia RF - Abordagem

Baseados no duplicador de tensão



- Díodos de *Schottky* (HSMS-2850 da *Agilent Technologies*)

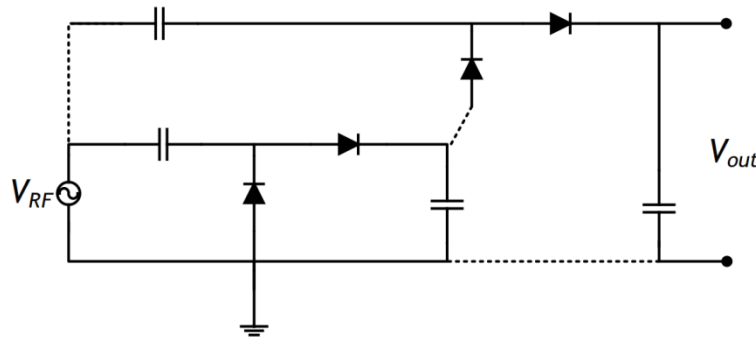
- Tensão de Saída DC:

$$V_{outDC} = 2 \cdot N \cdot (V_{RF} - V_D)$$

- Eficiência Global de Rectificação:

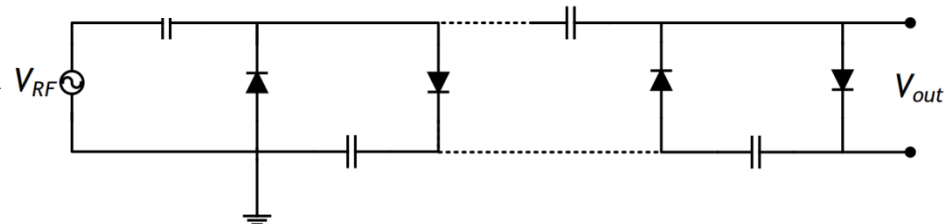
$$\eta_0 = \frac{P_{DC}}{P_{RF}} = \frac{\text{Potência de Saída DC}}{\text{Potência RF Recebida}}$$

Multiplicadores de tensão (duas topologias)



← *Dickson*

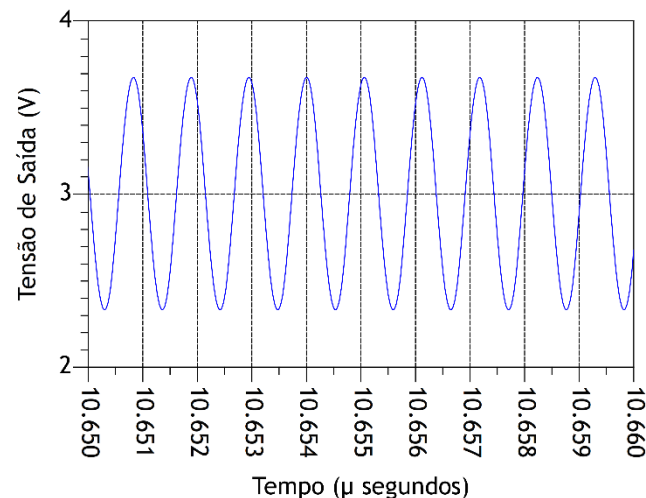
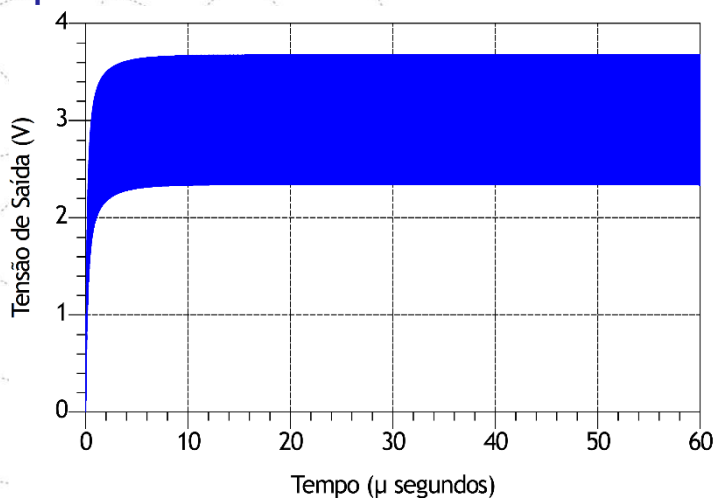
*Cockcroft-Walton* →



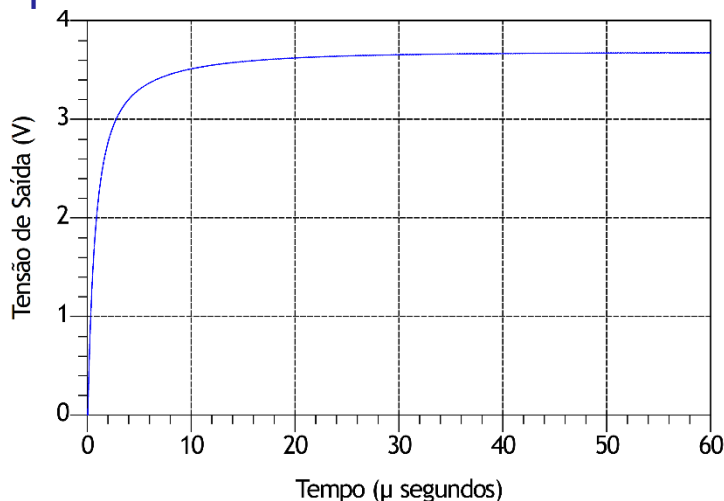
Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal

# Circuitos de Recolha de Energia RF – Multiplicadores de Tensão

## Multiplicador de Tensão de *Cockcroft-Walton*



## Multiplicador de Tensão de *Dickson*

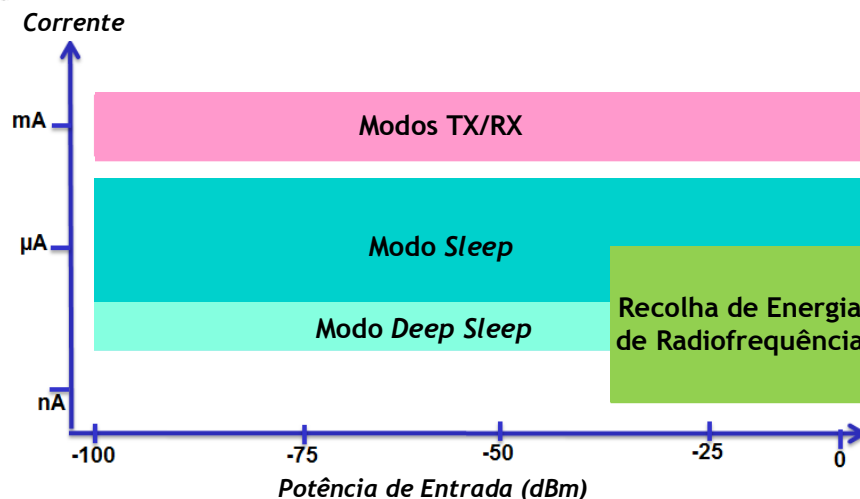


- Respostas no domínio do tempo, com uma potência de entrada de 0 dBm e ambos os multiplicadores com 3 estágios;
- O multiplicador de tensão de *Dickson* apresenta tempos de estabelecimento mais elevados, mas *ripple* desprezável.

Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal

# Circuitos de Recolha de Energia RF – Especificações de Consumo das Plataformas de RSSF

- ❏ As plataformas de RSSF precisam de pelo menos 1.8 V para operar (3 V recomendável);
- ❏ A impedância das plataformas varia de acordo com a tensão de alimentação e consumo de corrente – o que faz variar significativamente a eficiência global de rectificação dos circuitos;
- ❏ De acordo com [NMLC12], a impedância do estado *sleep* é 100 k $\Omega$ .

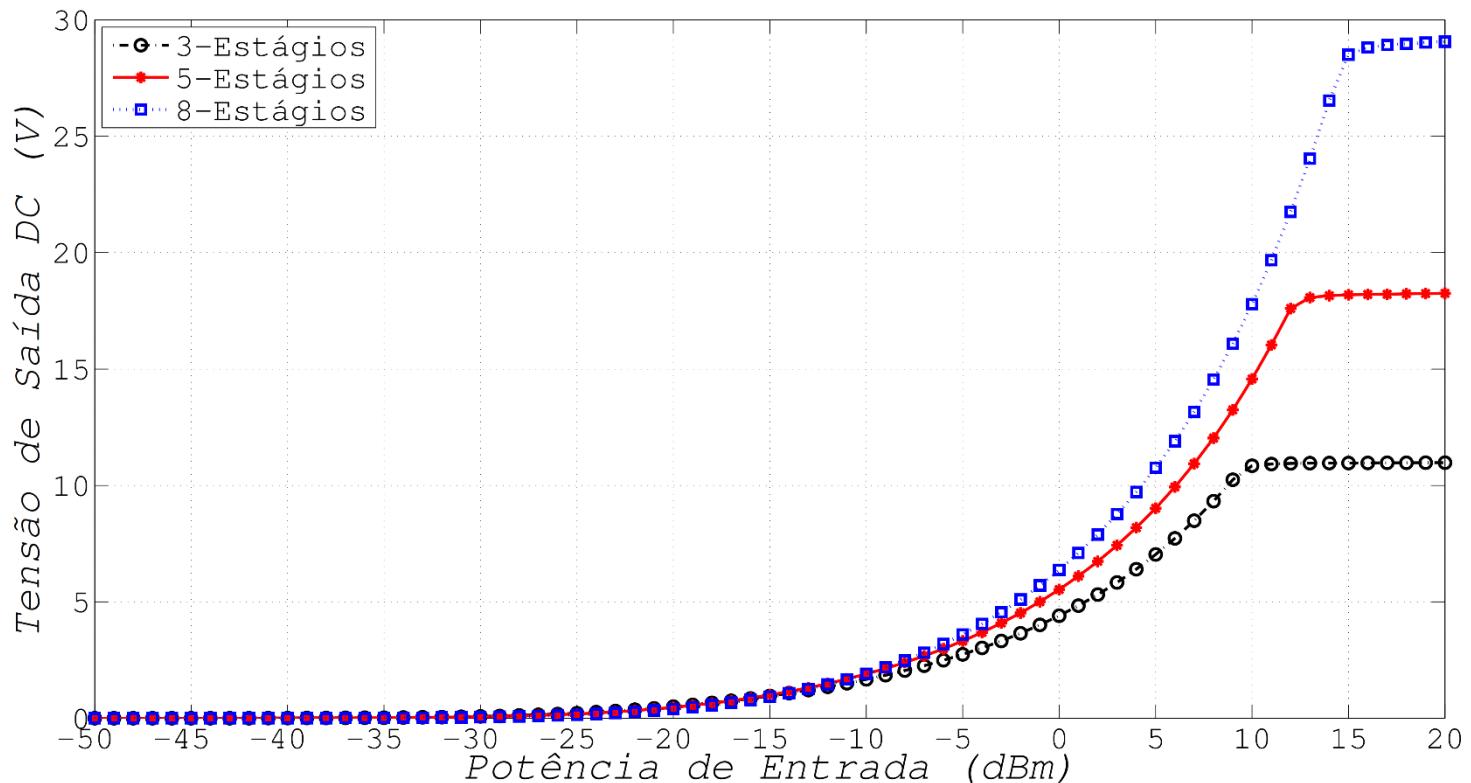


[NMLC12] P. Nintanavongsa, U. Muncuk, D. R. Lewis and K. R. Chowdhury, "Design Optimization and Implementation for RF Energy Harvesting Circuits," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, vol. 2, no. 1, pp. 24-33, March 2012

**Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal**

# Circuitos de Recolha de Energia RF – Resultados de Simulação

Impacto do número de estágios na tensão de saída em função da potência de entrada, a 945 MHz, para o multiplicador de tensão de *Dickson* com  $N$  estágios com uma impedância de carga de 100 k $\Omega$ :



UBI  
Covilhã  
Portugal

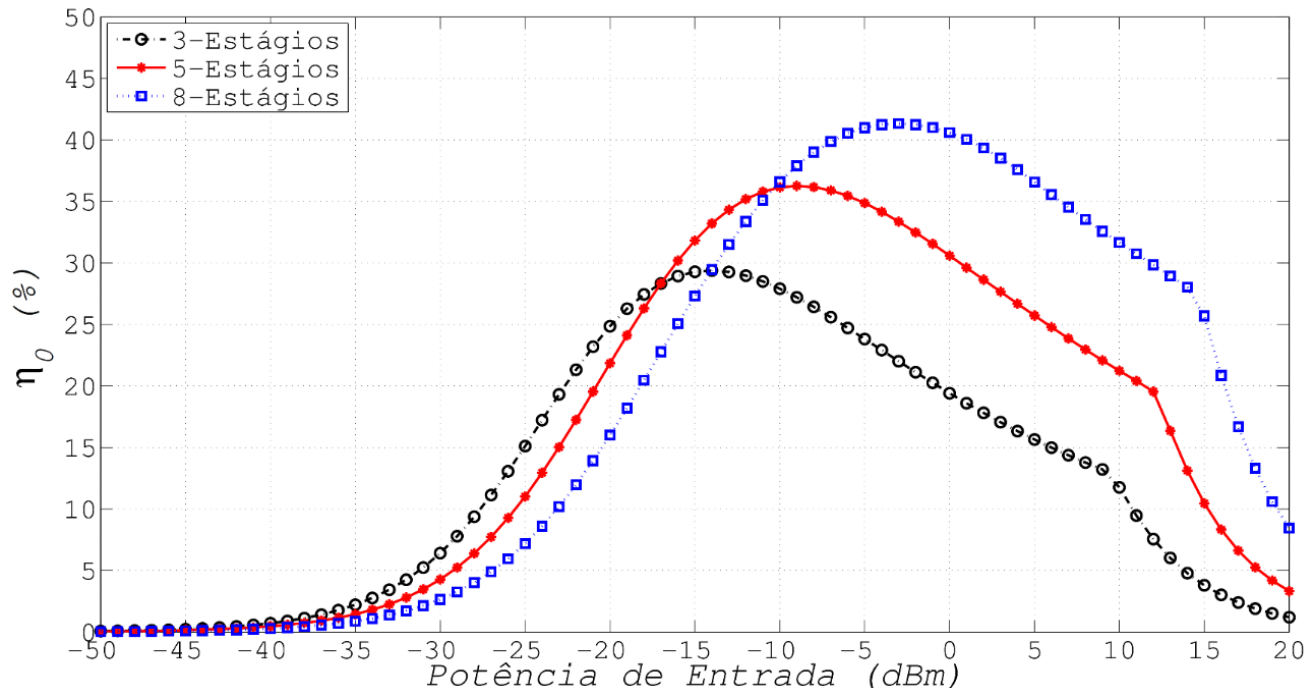


Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal



# Circuitos de Recolha de Energia RF – Resultados de Simulação

- Impacto do número de estágios na eficiência global de rectificação,  $\eta_0$ , em função da potência de entrada, a 945 MHz, para o multiplicador de tensão de *Dickson* com  $N$  estágios com uma impedância de carga de 100 k $\Omega$ :

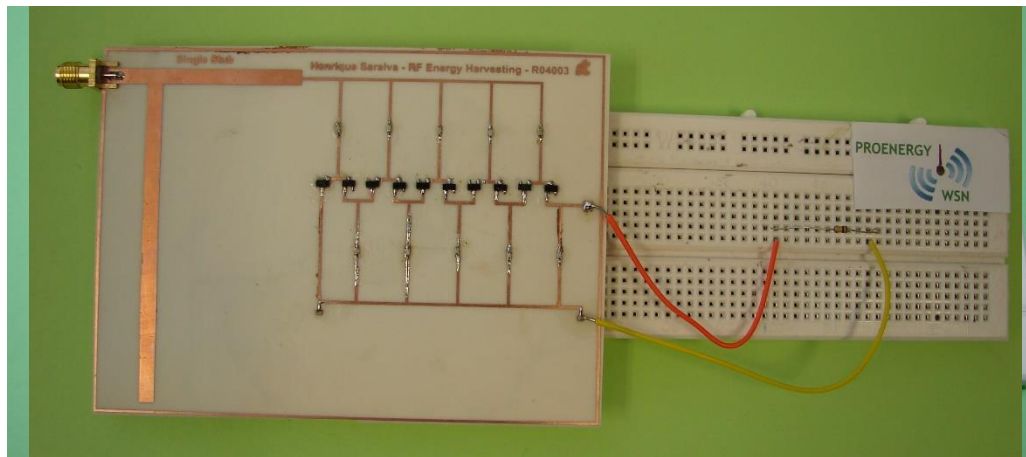


- Melhor opção: multiplicador de tensão de *Dickson* com 5 estágios.

Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal

# Circuitos de Recolha de Energia RF – Resultados Experimentais

- ✘ Foram inicialmente desenvolvidos três protótipos, baseados no multiplicador de tensão de *Dickson* com 5 estágios, com graus de adaptação de impedâncias crescentes;
- ✘ Foram utilizados dois substratos diferentes: FR4 e RO4003.
- ✘ Protótipo 3 (RO4003) (de adaptação single stub, open) (R04003):
  - $Z_{in} = 110.49 - j10.50 \Omega$  (a 5945 MHz);
  - $\eta_0$  (1.8 V) = 10%  $\rightarrow$  potência de entrada de 18 dBm;
  - $\eta_0$  (3 V) = 10%  $\rightarrow$  potência de entrada de 23 dBm.



UBI  
Covilhã  
Portugal

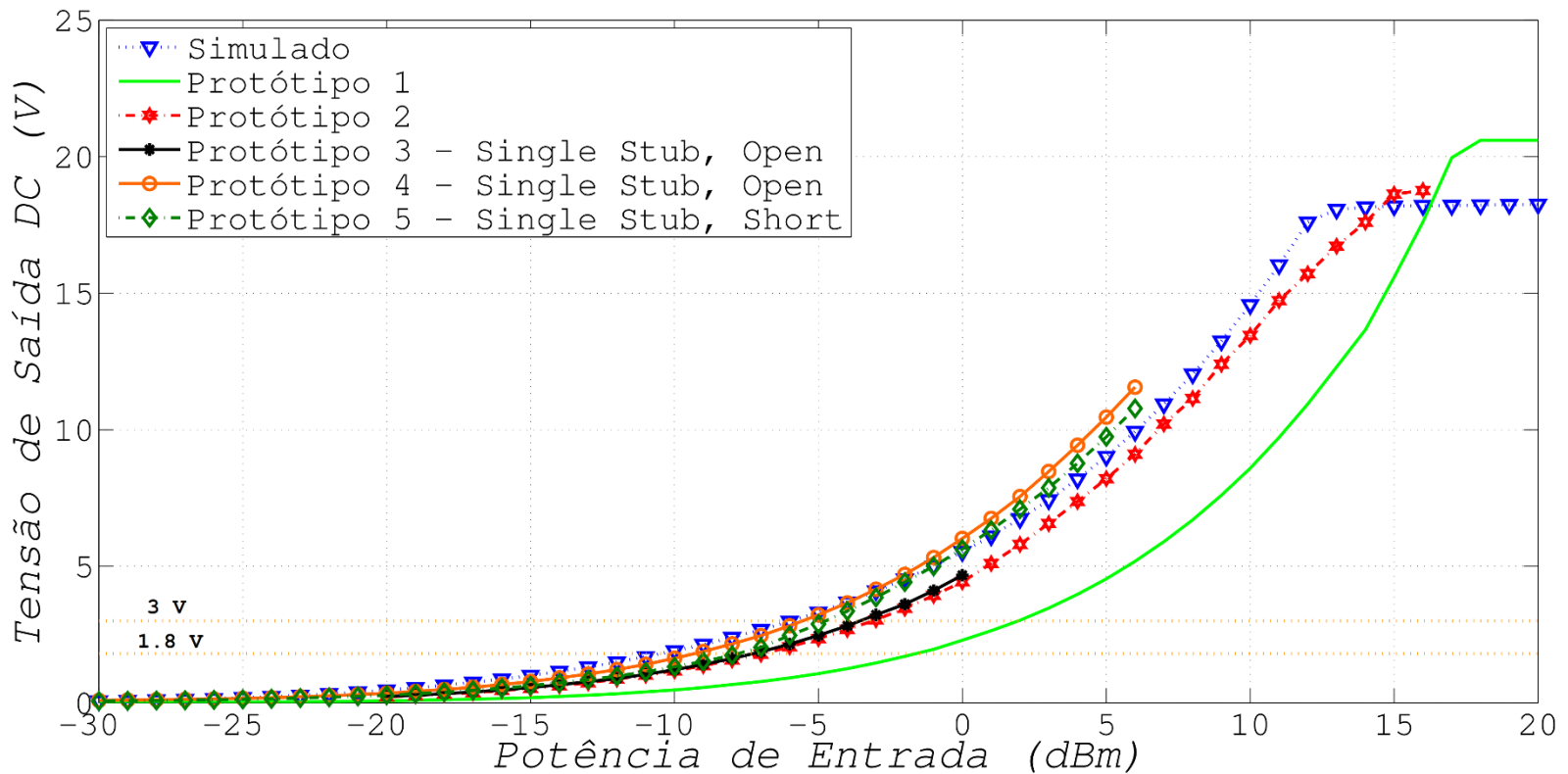


Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal



# Circuitos de Recolha de Energia RF – Comparação Resultados de Simulação e Experimentais

Impacto da tensão de saída DC nos cinco protótipos desenvolvidos e nos resultados de simulação para um valor de impedância de carga de 100 k $\Omega$ :

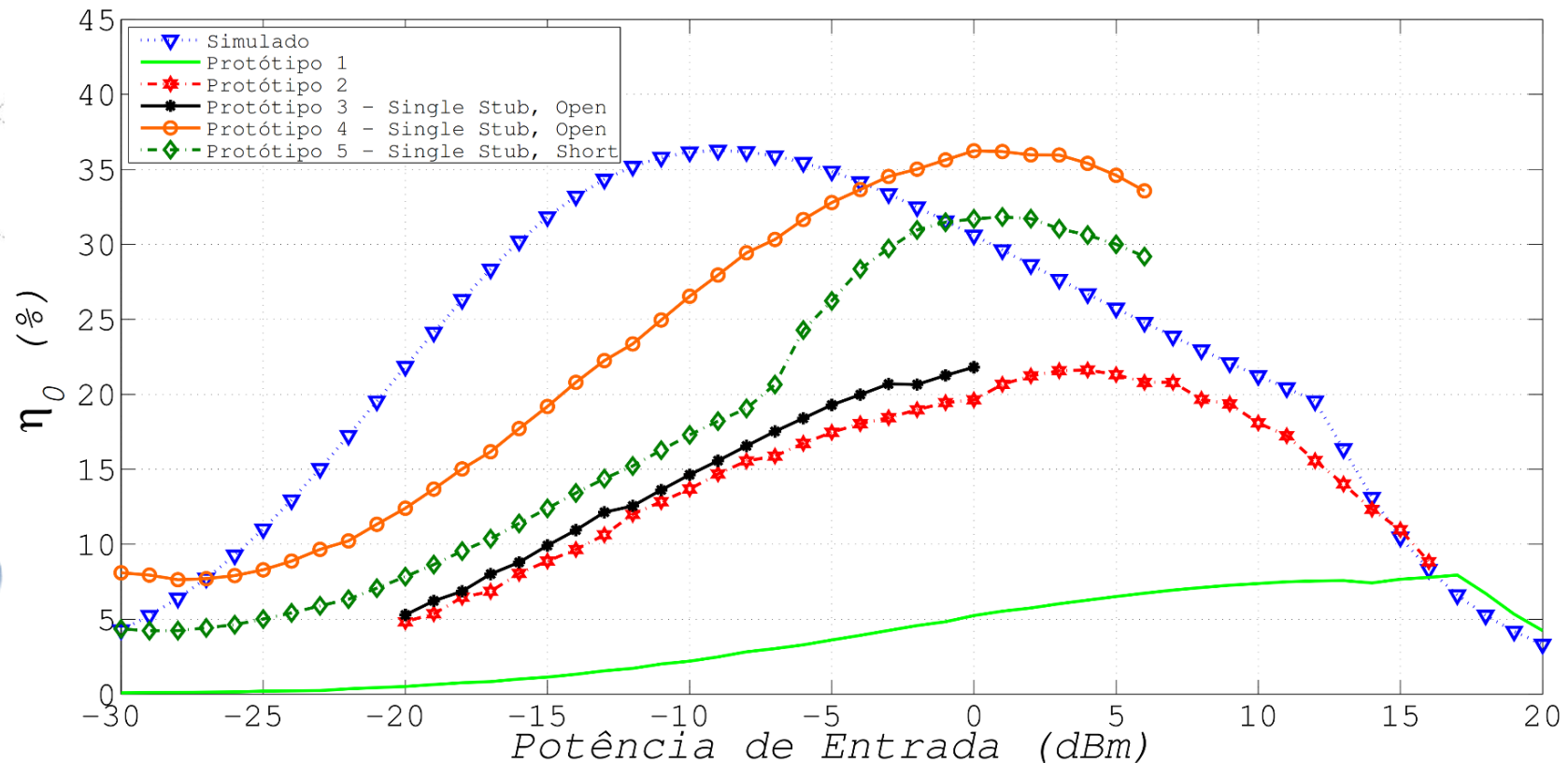


Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal



# Circuitos de Recolha de Energia RF – Comparação Resultados de Simulação e Experimentais

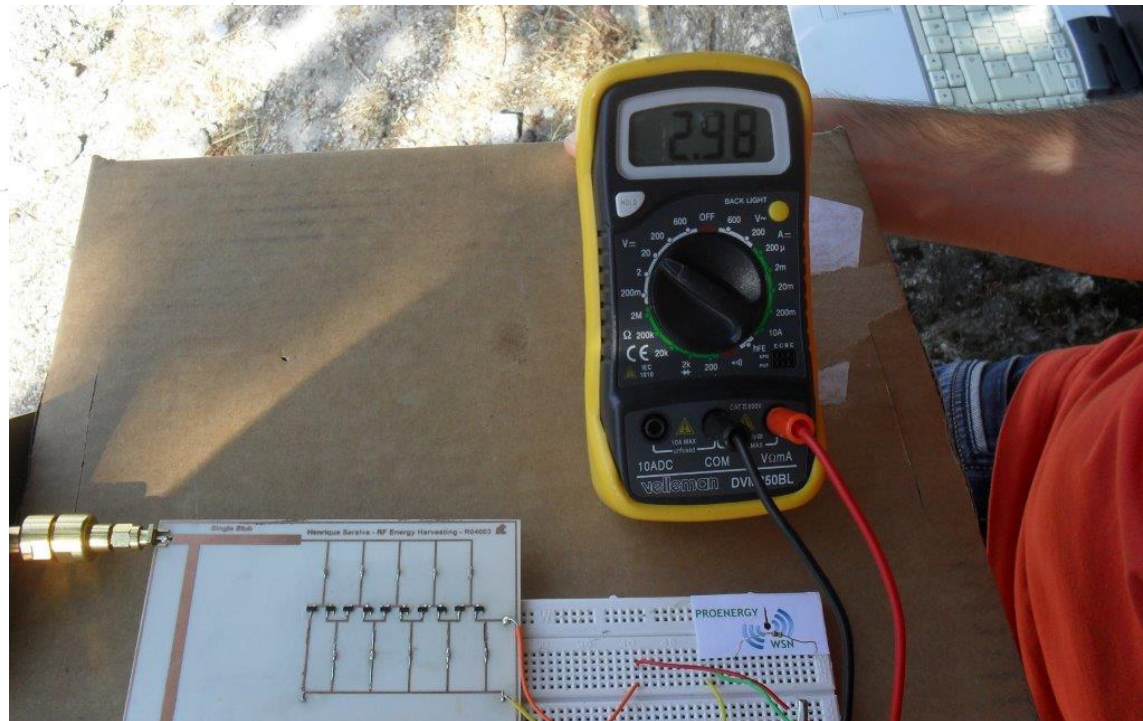
Impacto da eficiência global de rectificação,  $\eta_0$ , nos cinco protótipos desenvolvidos e nos resultados de simulação para um valor de impedância de carga de 100 k $\Omega$ :



Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal

# Sistema de Recolha de Energia RF: Antena Têxtil e Multiplicador de Tensão de *Dickson*

- ❌ Constituído pela antena têxtil de duas bandas (GSM900 e GSM1800) e pelo protótipo 3;
- ❌ Obtém-se **2.98 V** com uma tensão de carga de **100  $\Omega$** , da antena emissor GSM900 na emissora GSM900:



Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal

# Conclusões e Trabalho Futuro

- ✎ Nesta investigação propôs-se a **utilização de um sistema de armazenamento de energia híbrido**, que consegue aumentar o tempo de vida útil de um nó sensor em cerca de 16 %;
- ✎ Identificaram-se as **oportunidades espectrais para a recolha de energia electromagnética do ambiente** para alimentar Redes sem Fios de Área Corporal (WBAN), e constatou-se que a potência recebida mais elevada é na ordem dos -27 dBm na banda GSM900 para ambientes interiores;
- ✎ Apresentaram-se **duas antenas têxteis**:
  - Para **GSM900**: ganho de 2.02 dBi e eficiência de radiação de 84%;
  - Para **GSM900/GSM1800**: ganho de 1.8 – 2.06 dBi e eficiência de radiação de 82 – 77.6 %, respectivamente.
- ✎ Desenvolveram-se **cinco protótipos baseados no multiplicador de tensão de Dickson** com 5 estágios e com graus de adaptação de impedâncias crescentes:
  - **Protótipo 1**:  $\eta_{0, \text{máxima}} = 8 \%$  → potência de entrada de 17 dBm;
  - **Protótipos 2 e 3**:  $\eta_{0, \text{máxima}} = 22 \%$  → potência de entrada de 3 e 0 dBm, respectivamente;
  - **Protótipos 4 e 5**:  $\eta_{0, \text{máxima}} = 36$  e  $32 \%$  → potência de entrada de 0 e 1 dBm, respectivamente.



UBI  
Covilhã  
Portugal



**Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal**



# Conclusões e Trabalho Futuro (continuação)

- ❏ A **potência** máxima **recolhida pelos protótipos 2 e 3**, foi de, aproximadamente, **3.5 mW** e **220  $\mu$ W** para potências de entrada de 16 dBm e 0 dBm (impedância de carga de 100 k $\Omega$ ), respectivamente;
- ❏ A **potência** máxima **recolhida pelos protótipos 4 e 5**, foi de, aproximadamente, **1.33 mW** e **1.16 mW** para uma potência de entrada de 6 dBm (impedância de carga de 100 k $\Omega$ );
- ❏ O sistema de recolha de energia electromagnética, constituído pela **antena têxtil de duas bandas** (GSM900 e GSM1800) e pelo **protótipo 3**, conseguiu fornecer uma tensão de **1.41 V**, a uma **impedância** de carga de **100 k $\Omega$**  e **2.98 V** em **circuito aberto**, para uma distância de cerca de 25 metros da antena emissora GSM900;
- ❏ Como trabalho futuro:
  - Implementar o sistema de armazenamento de energia híbrido proposto;
  - Melhorar o processo de fabrico das placas de circuito impresso;
  - Criar linhas de transmissão têxteis que consigam transmitir os sinais eléctricos aos componentes electrónicos, efectuando-se a integração dos circuitos de recolha de energia electromagnética no vestuário.

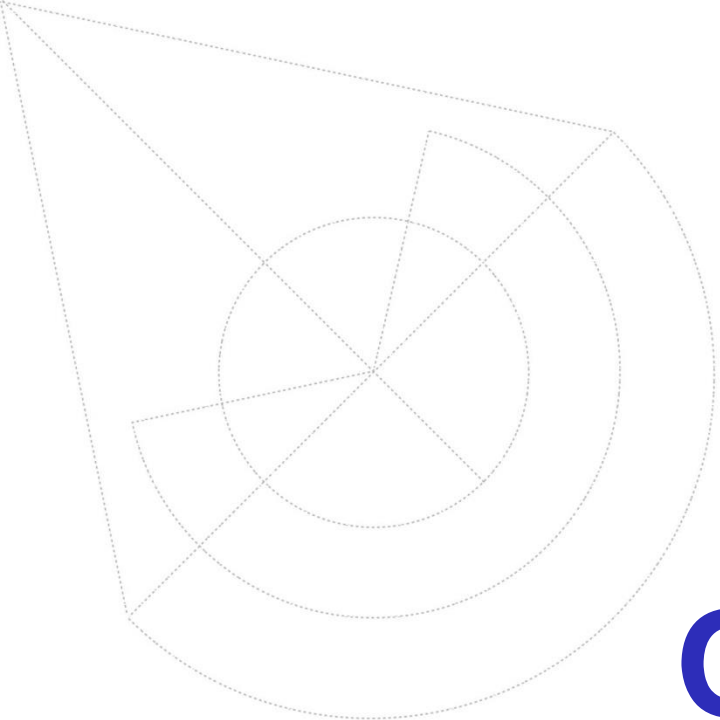


UBI  
Covilhã  
Portugal



**Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal**





# Obrigado!



**Desenvolvimento de Dispositivos de Recolha de Energia Electromagnética Integrados em Vestuário e Aplicados a Redes sem Fios de Área Corporal**

