



Introdução a Aplicação de “Alta Tensão” em Meios Biológicos e Análise de Impedância

Guilherme B. Pintarelli, EE
guilherme.b.pintarelli@gmail.com

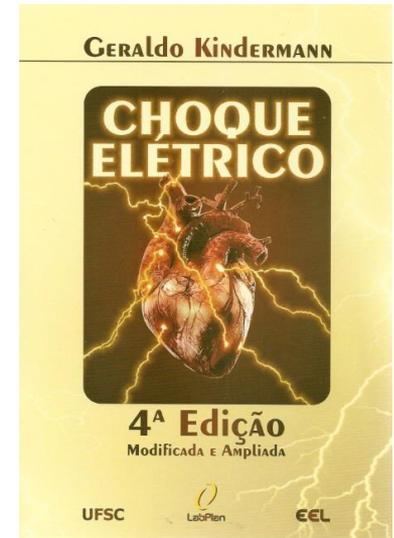
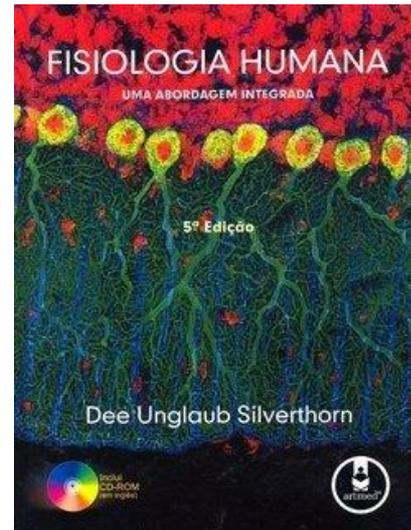
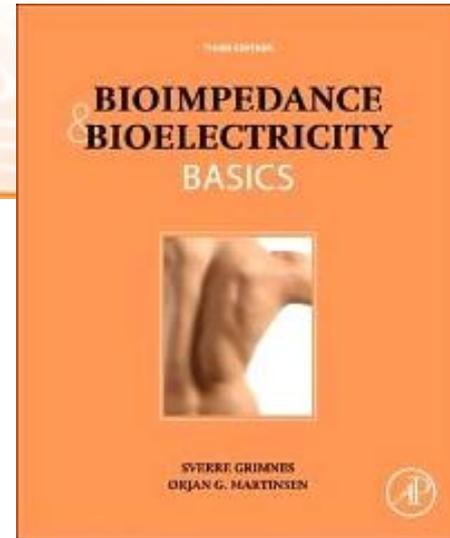
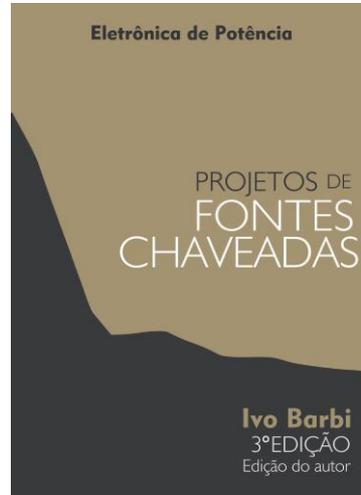
- Definições: Bioeletricidade; Condução Iônica; Íons; Membrana Celular; Potencial Transmembrana; Potencial de Ação;
- Indução de Potencial Transmembrana;
- Uso de HVDC (High Voltage Direct Current) e PEF (Pulsed Electric Fields);
- Conversão de energia (CA-CC e CC-CC). Topologias não isoladas e isoladas;
- Estudo de Caso de Desfibrilador;
- Requisitos Gerais em Equipamentos Eletromédicos: Introdução Normas;
- Análise por Impedância Elétrica: Dispersões, Medição e Imagem por Tomografia de Impedância.



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS



TEXAS
INSTRUMENTS

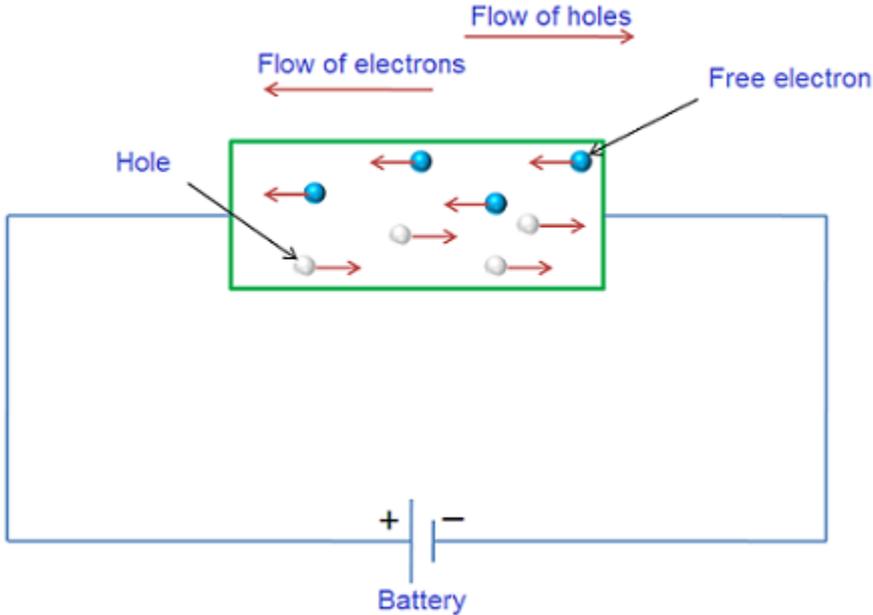


- **A bioimpedância:**

- Lida com propriedades elétricas passivas do tecido. Ex.: resistência e reatância.

- **A bioeletricidade:**

- Lida com a capacidade do tecido em gerar eletricidade. Ou seja, eletricidade endógena (gerada pelo próprio tecido). Ex.: ECG, EMG e EEG.
- Lida com capacidade do tecido ser controlado por eletricidade aplicada externamente. Ou seja, eletricidade exógena (eletricidade aplicada externamente). Ex.: Técnicas de eletroestimulação e eletroporação.



Copyright©2013-2014, Physics and Radio-Electronics, All rights reserved

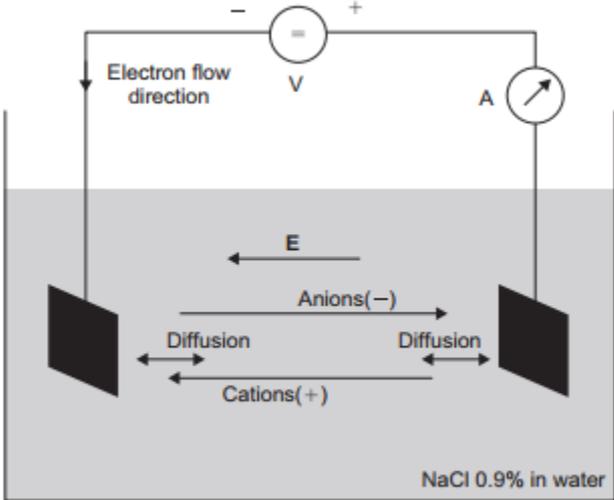
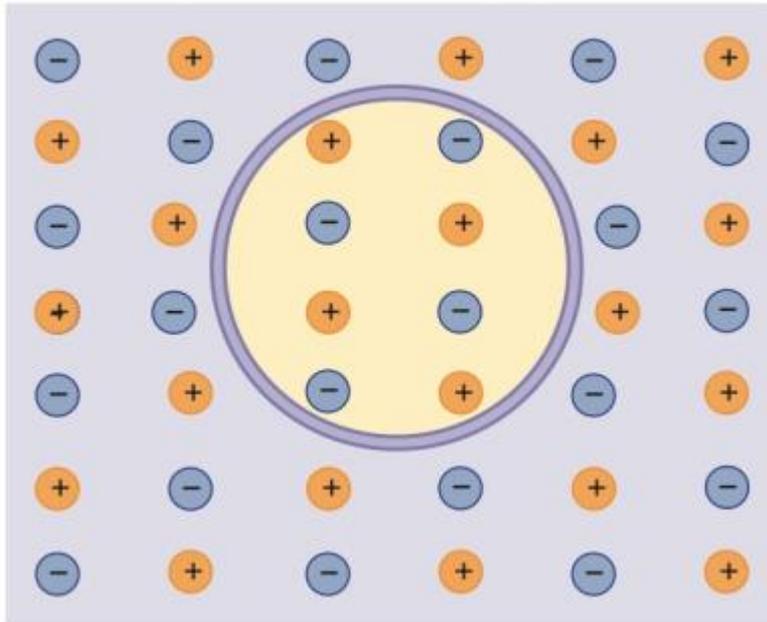


Figure 2.1: The basic bipolar electrolytic experiment, shown with material transport directions.

Membrana Celular e Íons

(a) A célula e a solução estão elétrica e quimicamente em equilíbrio



(b) A célula e a solução estão em desequilíbrio químico e elétrico. É usada energia para bombear um cátion para fora da célula, deixando uma carga resultante de -1 na célula e $+1$ fora dela.

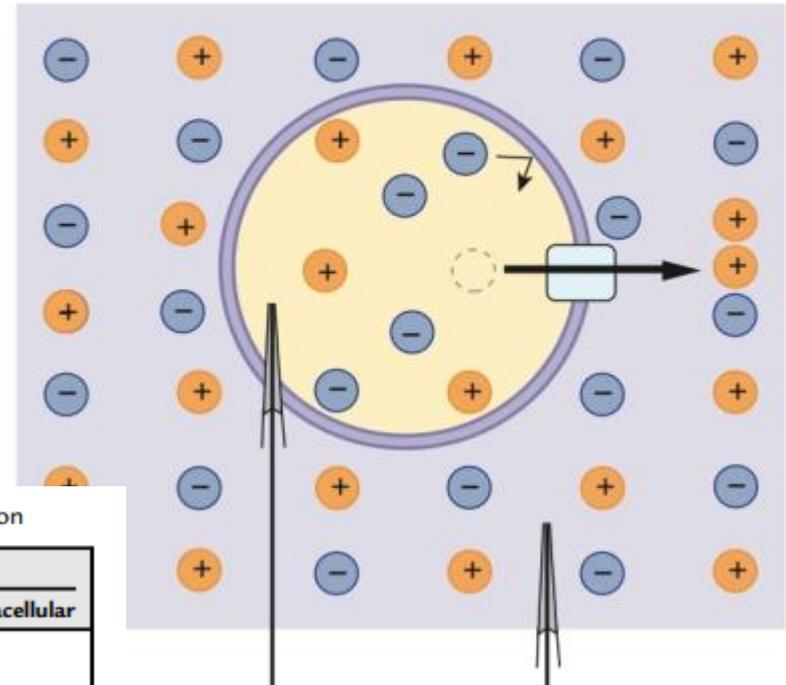


Table 2.6: Concentration of Electrolytes in Body Liquids [meq/L] is Ion Concentration

	Cations, meq/L		Anions, meq/L		
	Plasma	Intracellular	Plasma	Intracellular	
Na ⁺	142	10	Cl ⁻	103	4
K ⁺	4	140	HCO ₃ ⁻	24	10
Ca ²⁺	5	10 ⁻⁴	Protein ⁻	16	36
Mg ²⁺	2	30	HPO ₄ ⁻ + SO ₄ ⁻ +	10	130
H ⁺ (pH = 7.4)	4 × 10 ⁻⁵	4 × 10 ⁻⁵	organic acids		
Sum	153	180	Sum	153	180

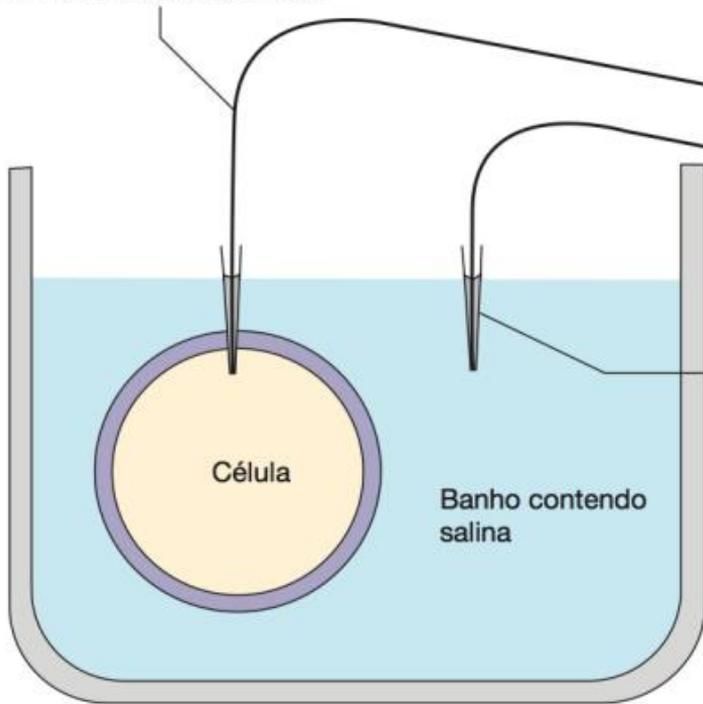
Silverthorn, D. U. Fisiologia Humana

Grimnes, S.; Martinsen, O. G. Bioimpedance and Bioelectricity Basics

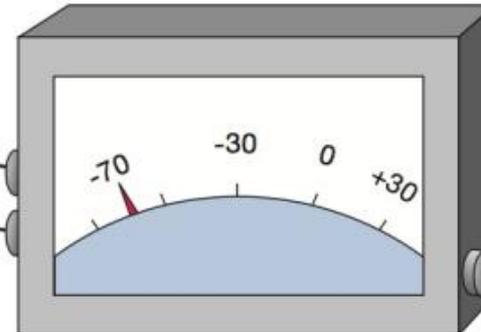
Milliequivalents [mmol × valency z] per liter, and 0.9% NaCl is 154 mmol.

Potencial de Repouso

Um eletrodo de registro é colocado dentro da célula.

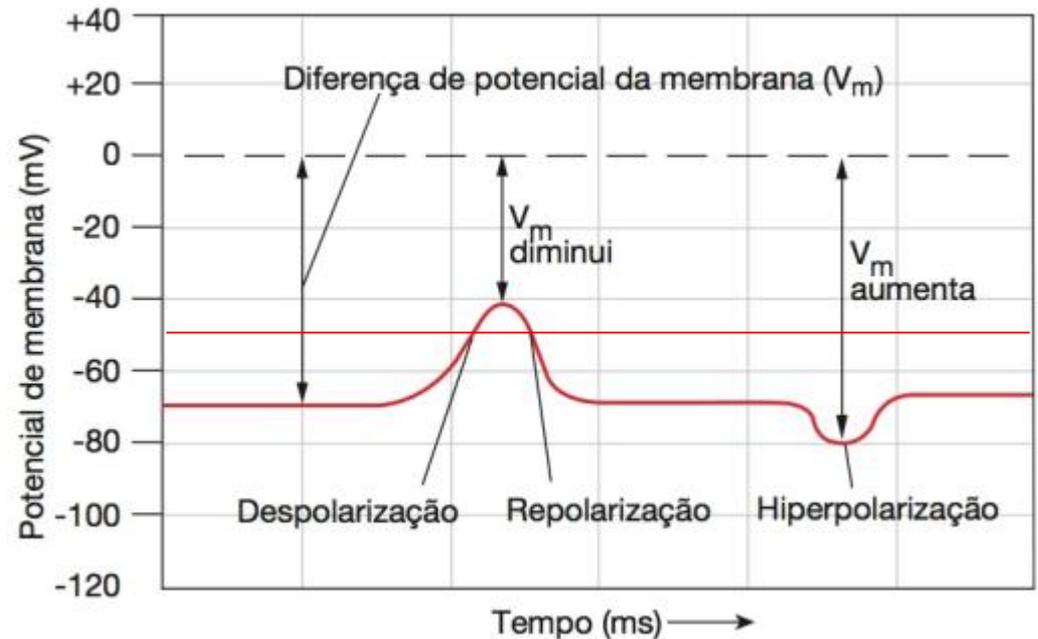


Entrada



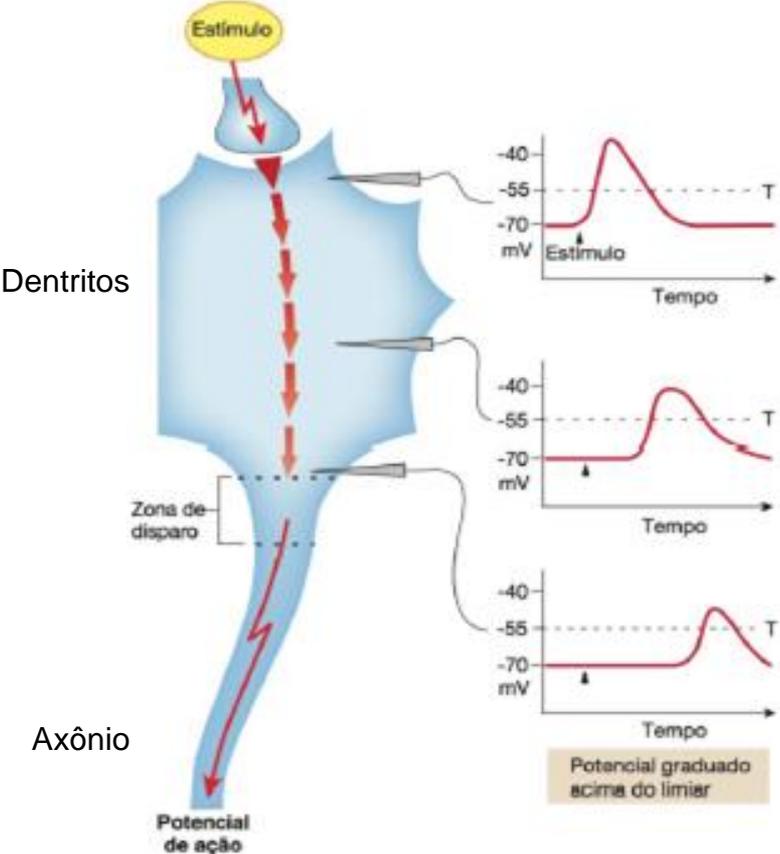
O voltímetro mede a diferença de cargas elétricas entre o interior de uma célula e a solução que a circunda. Este valor é a diferença de **potencial da membrana**, ou V_m .

Saída

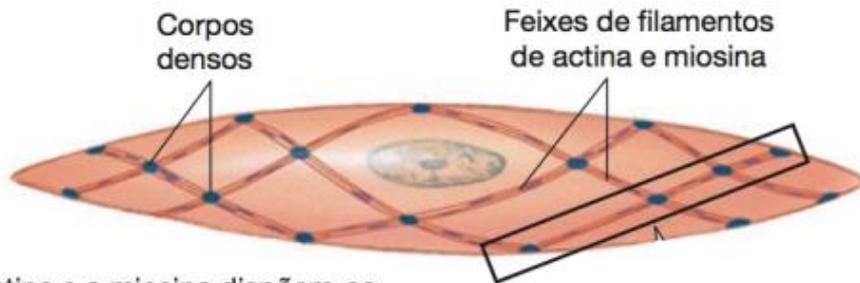


Potencial de Ação

(b) Um estímulo mais forte no mesmo ponto do corpo celular gera um potencial graduado que ainda está acima do limiar no momento em que ele chega na zona de disparo, resultando em um potencial de ação.

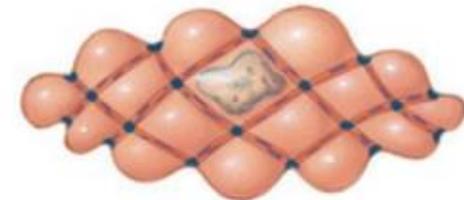


Potencial de Ação



(a) A actina e a miosina dispõem-se de modo frouxo em torno da periferia da célula, sendo mantidas nesta posição por corpos densos de proteína.

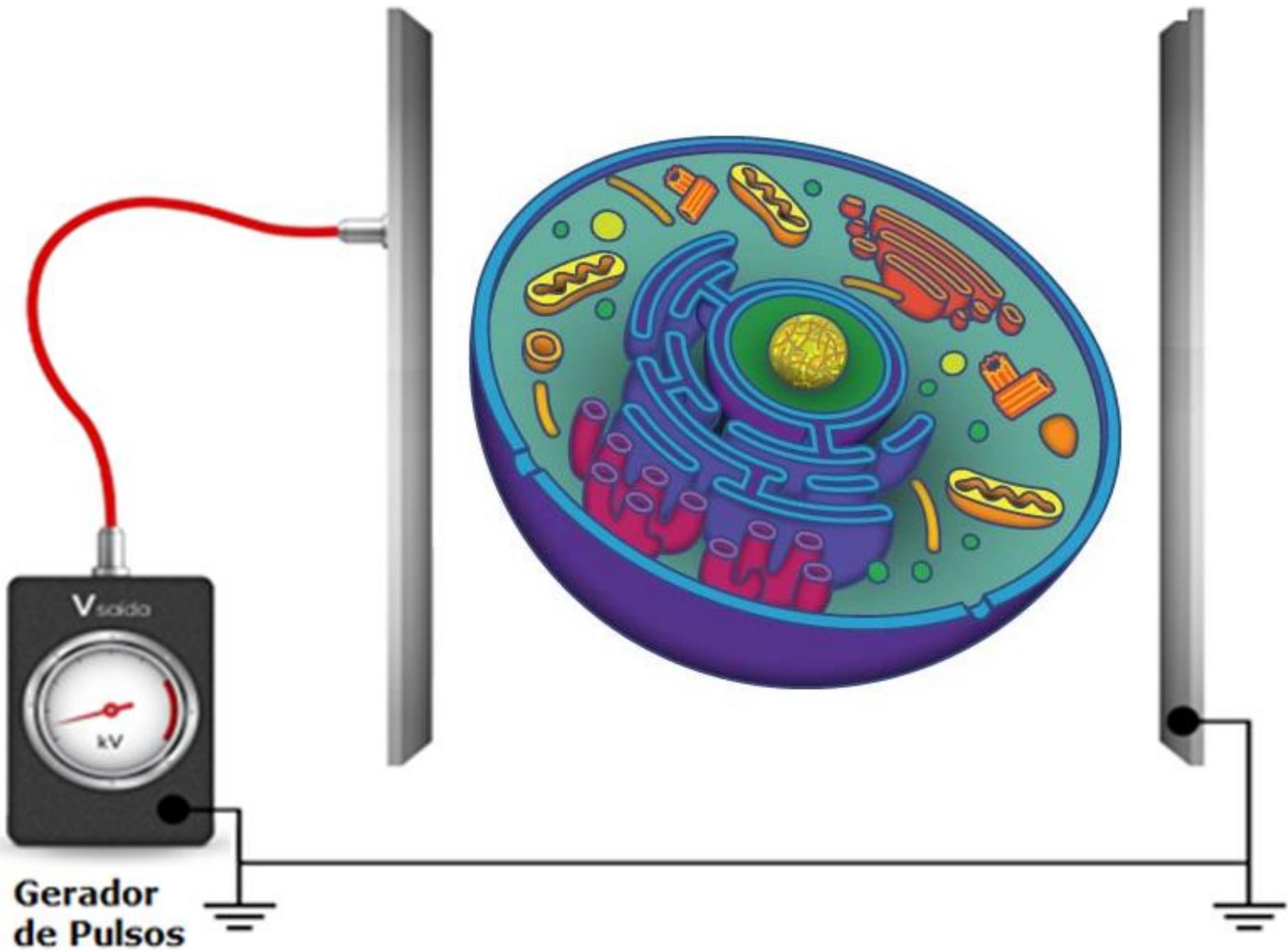
Contração

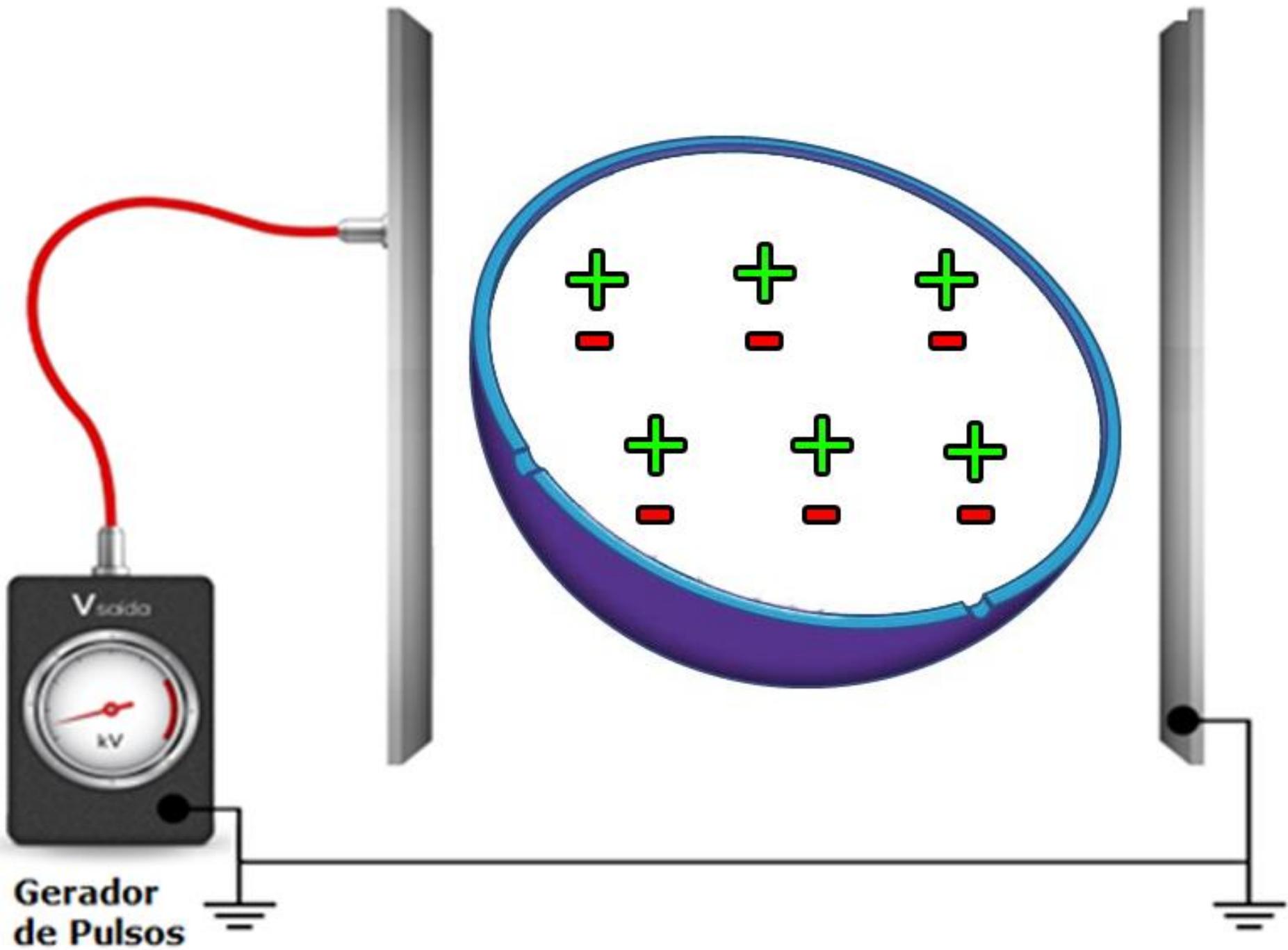


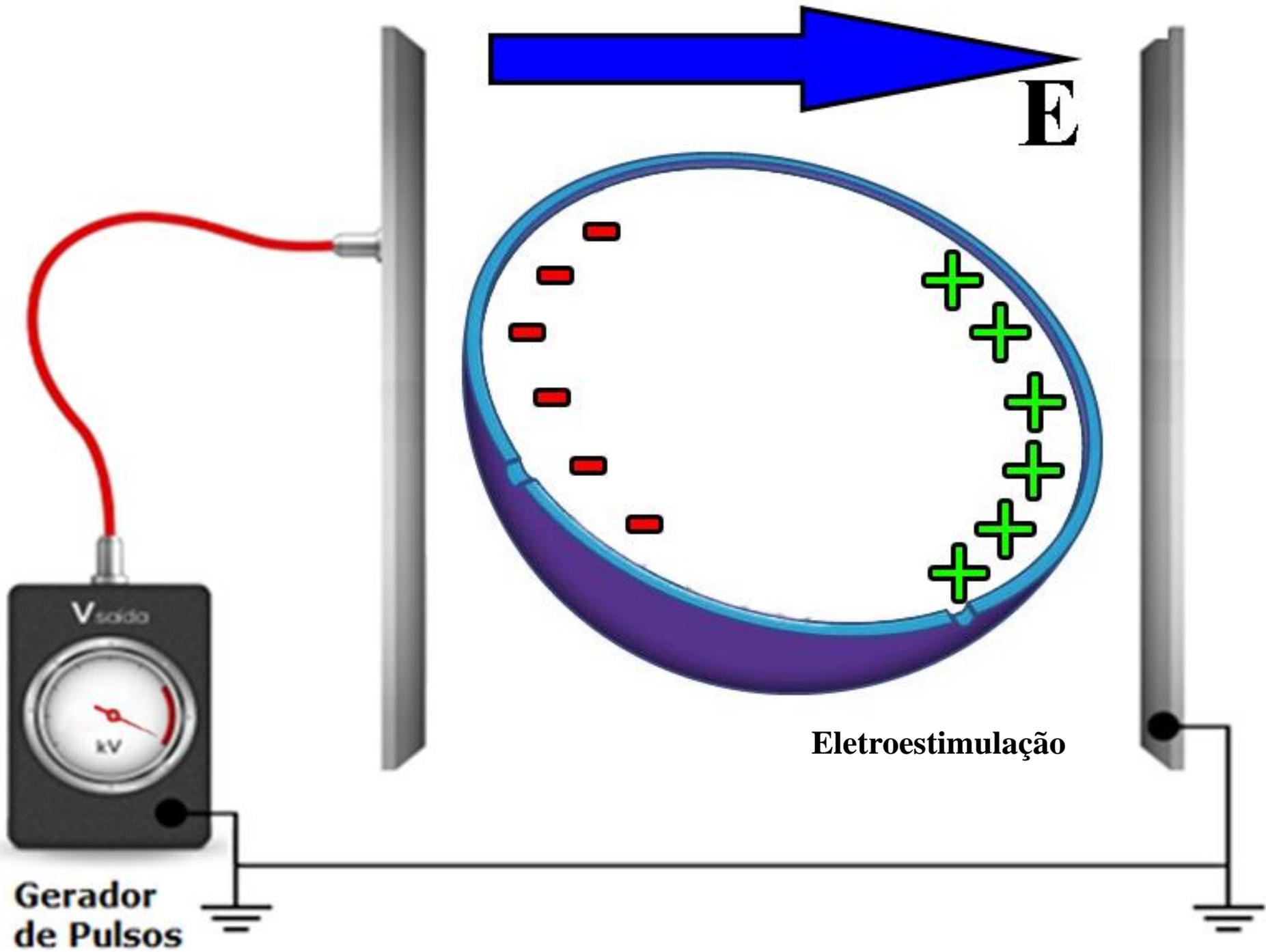
(b) A organização das fibras faz com que a célula fique globular quando se contrai.

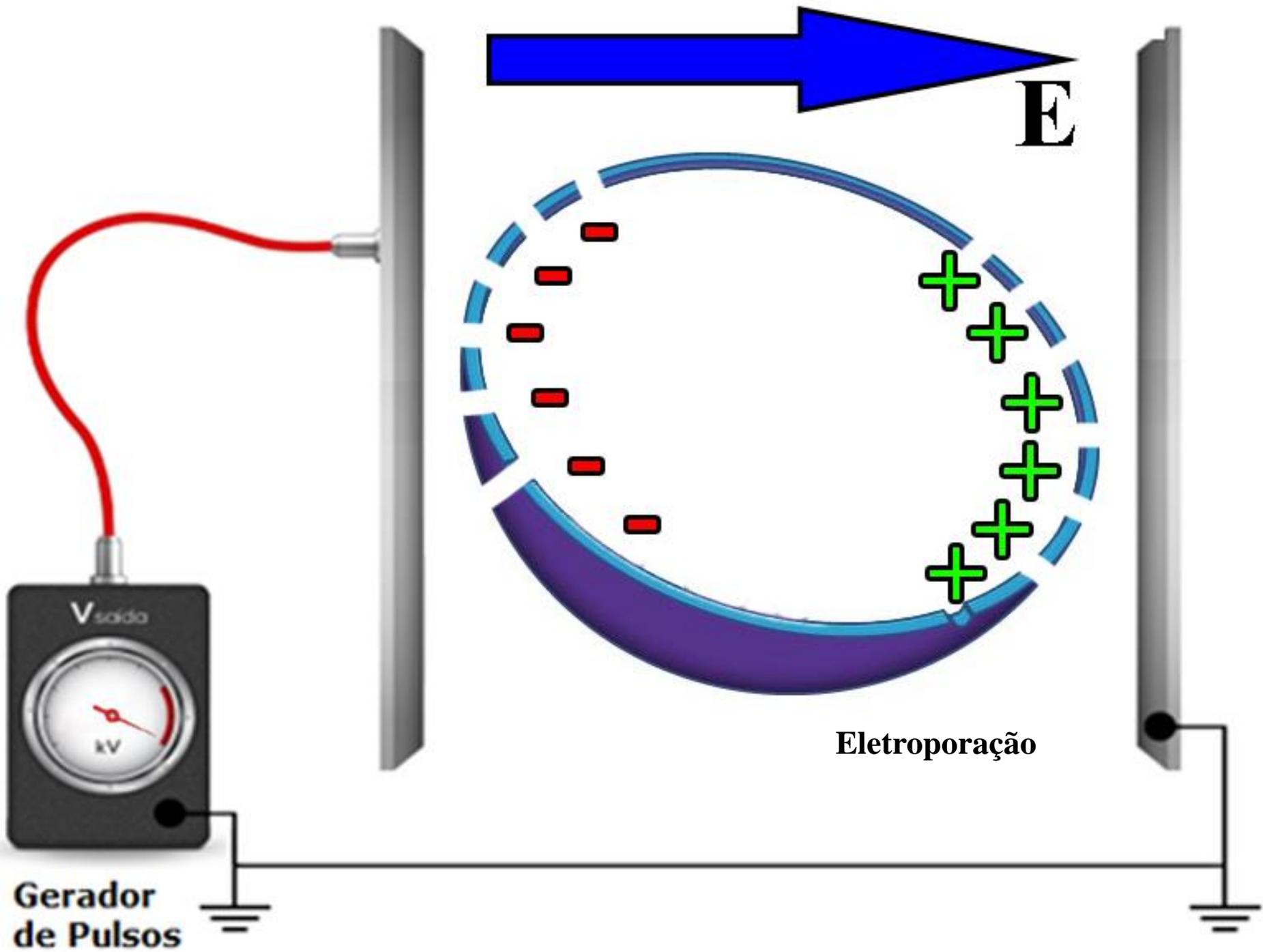
- Manipulação Potencial Transmembrana
- Manipulação Celular
- Contexto HVDC e PEF



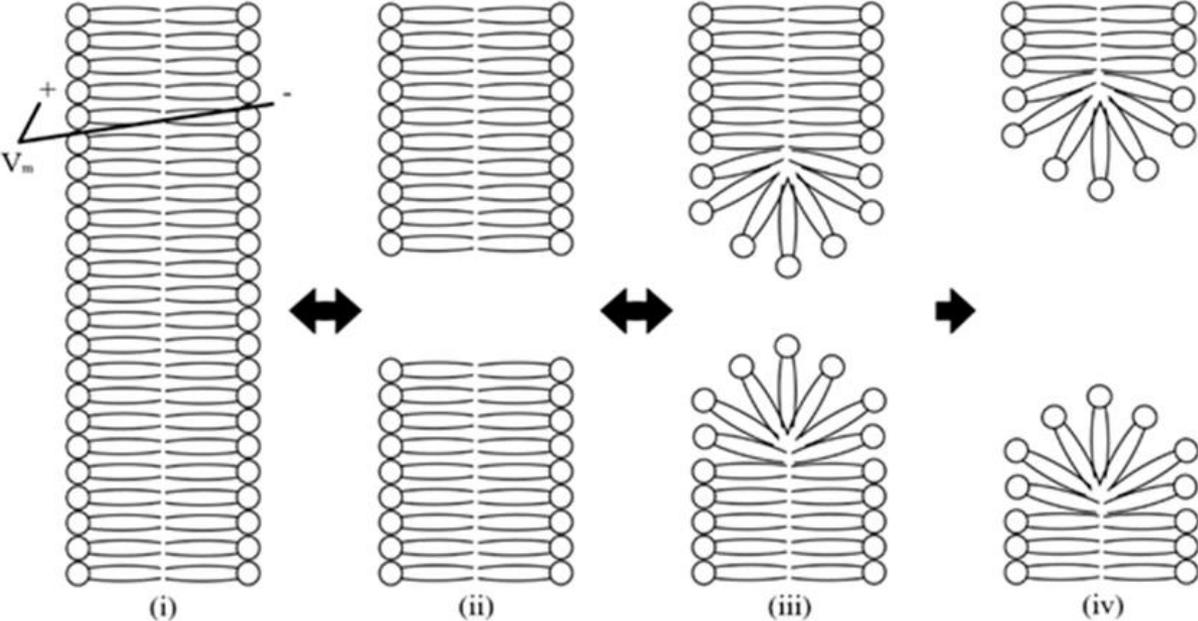


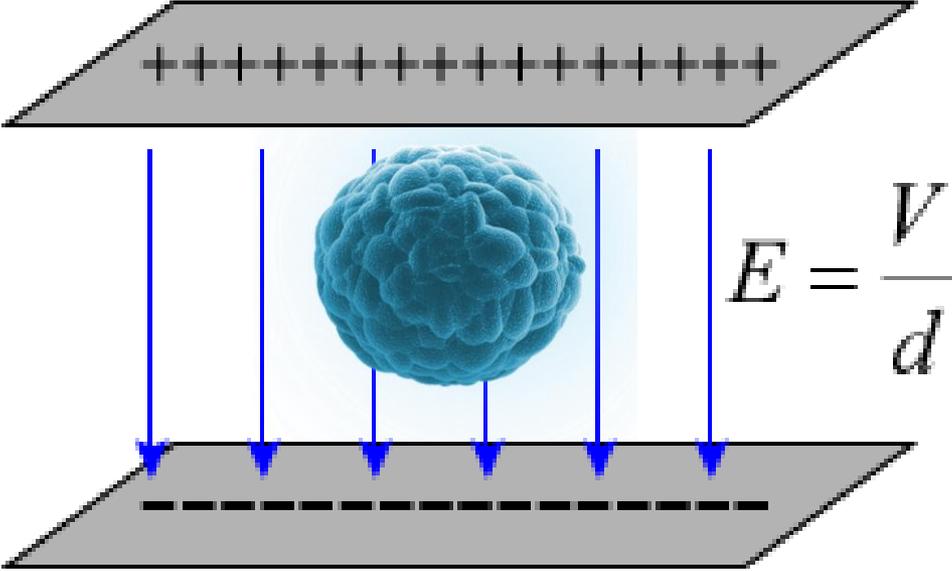






Reorganização Membrana Celular







~2 kV

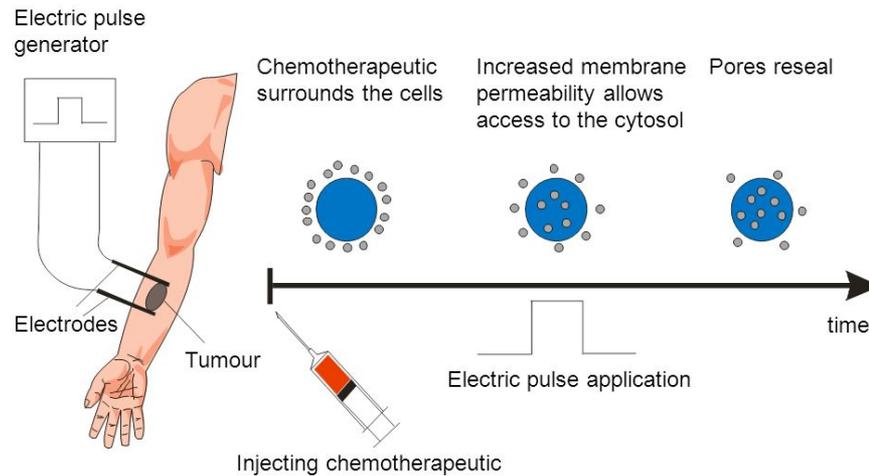


Electrochemotherapy =
= chemotherapy + electroporation

~2 kV



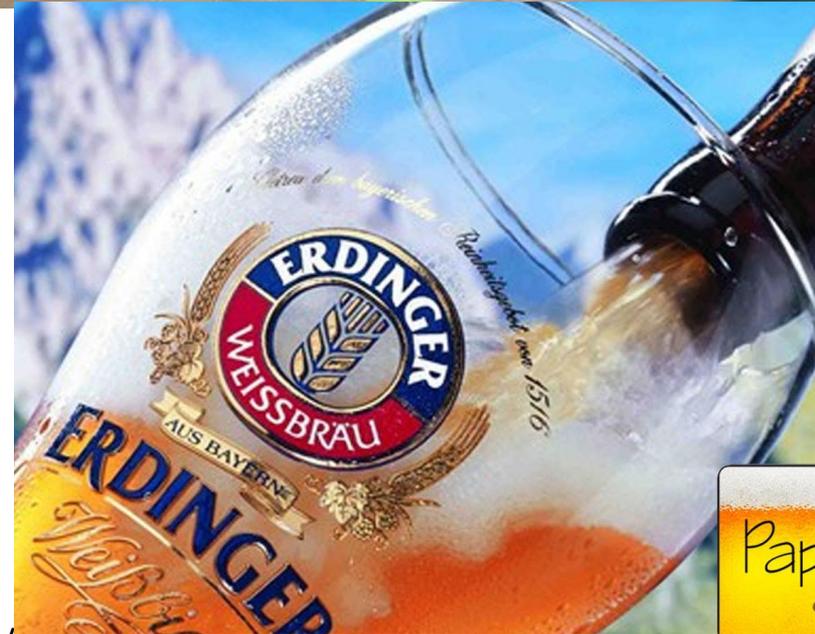
~200 V



Aplicações HVDC



~1 kV

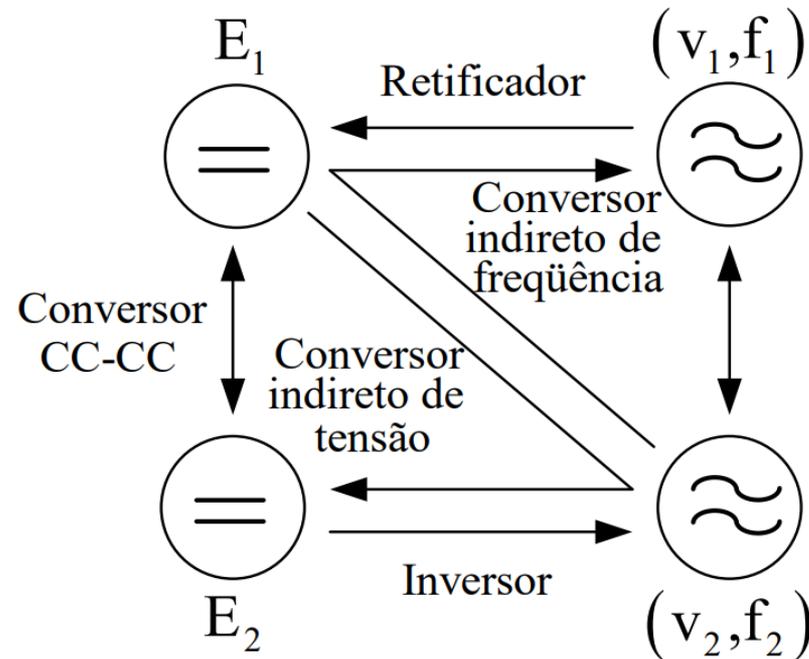


<http://elea-technology.de/pef-benefits/>

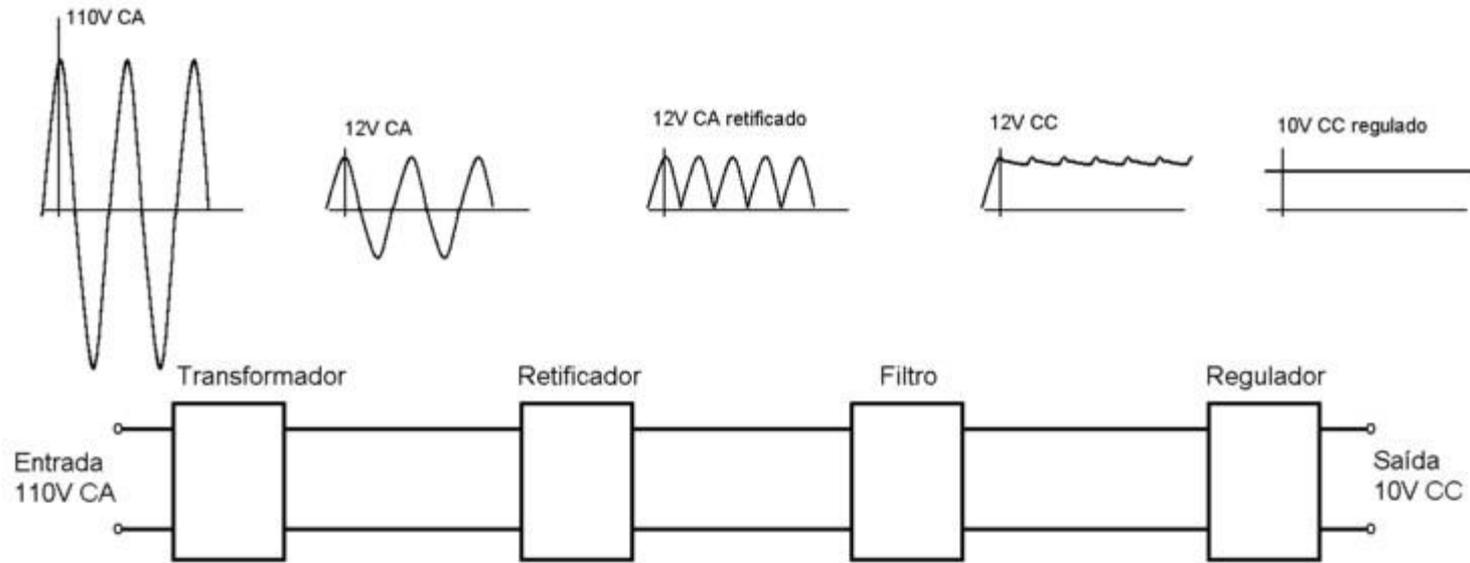
<https://www.pulsemaster.us/pef-machinery>

<https://www.pulsemaster.us/pef-products>

- Potenciais Transmembrana Fisiológicos
 - Arritmias Cardíacas (VIANA et al., 2016)
 - Alívio de dor (LEVY; DEER; HENDERSON, 2010)
 - Diagnóstico de disfunções neuromusculares (como polineuropatia diabética periférica) a partir da estimulação de nervos periféricos e sua resposta (COSSUL et al., 2018).
- Potenciais Transmembrana Supra Fisiológicos
 - Eletroporação:
 - ❖ Transferência Genética
 - ❖ Eletroquimioterapia
 - ❖ Pasteurização

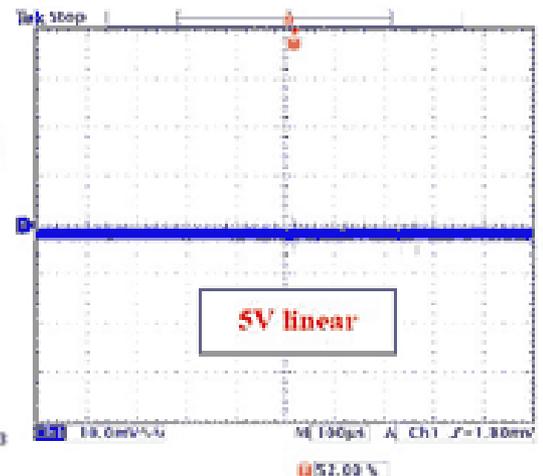
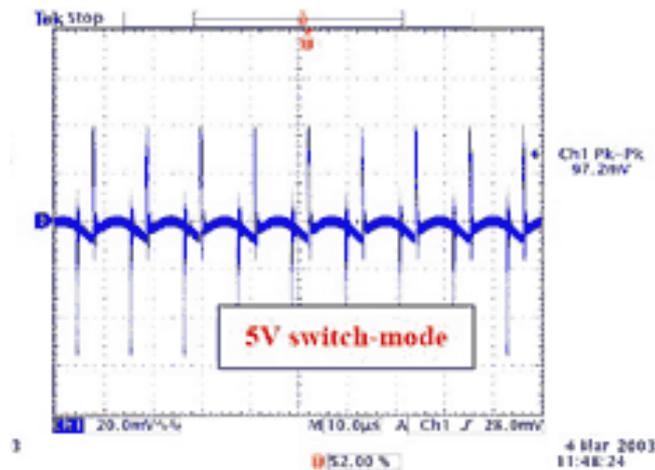


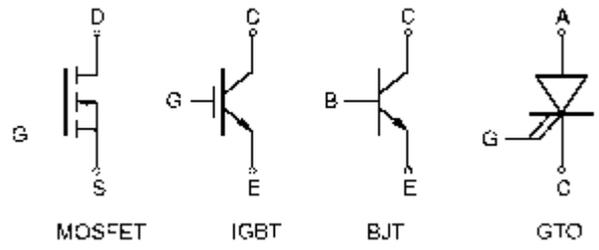
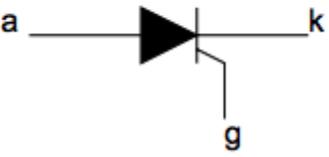
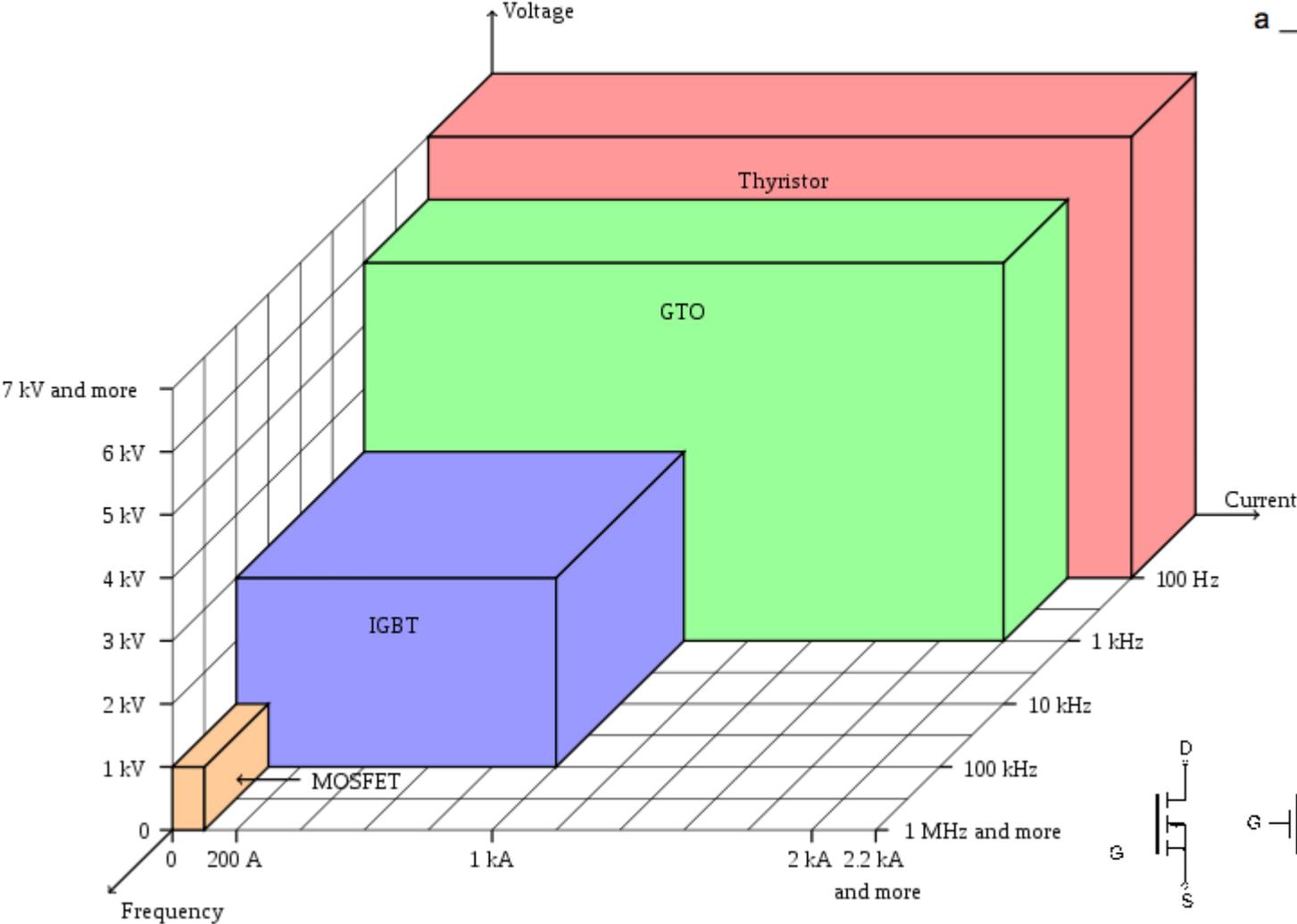
Fontes HVDC Linear



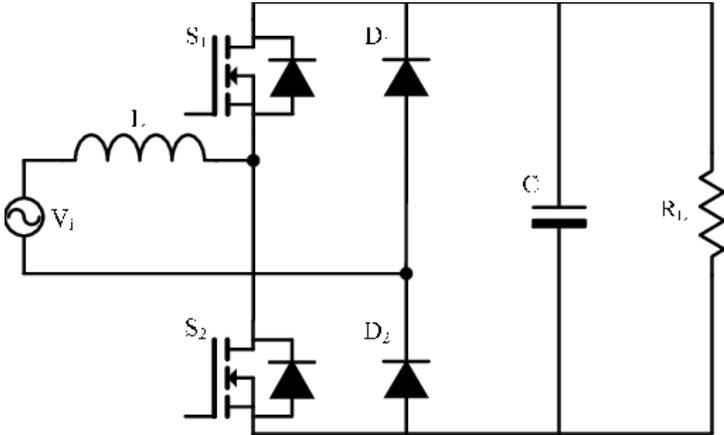
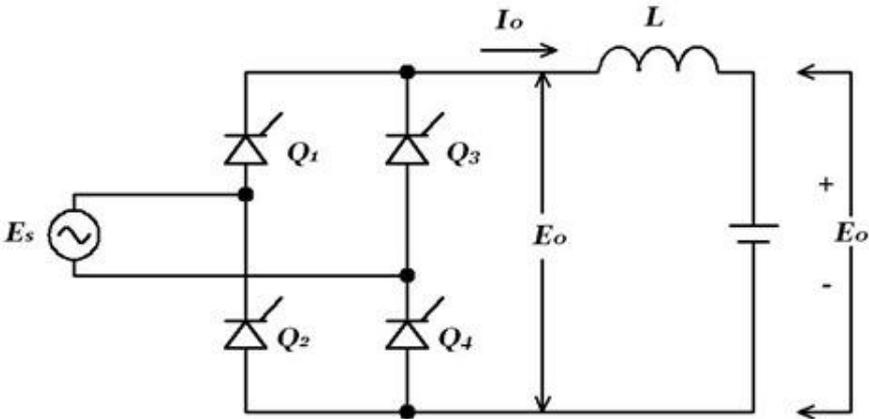
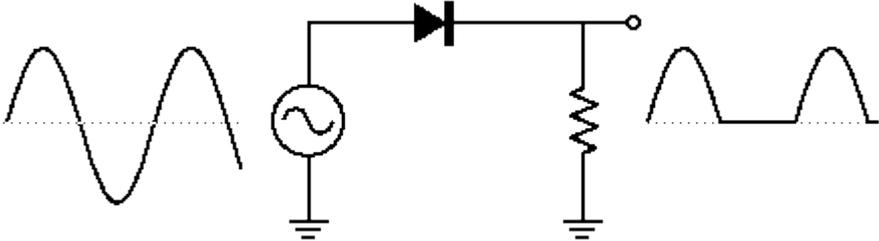
Fontes HVDC Linear VS Chaveada

	Switched mode regulator	Linear regulator
Power Density	high (33 W/TE)	small (4 W/TE)
Weight per Watt	small (3 g/W)	high (32 g/W)
Efficiency	high (75...95 %)	small (40...65 %)
Input Voltage Range	high (90...264 V _{AC})	small (207...253 V _{AC})
Ripple and Noise	middle (50...100 mV)	small (< 2 mV)
Emissions	EN 55022 class B	VDE 0875 class K
Regulation Speed	middle (0,1...1,5 ms)	fast (< 50 μs)





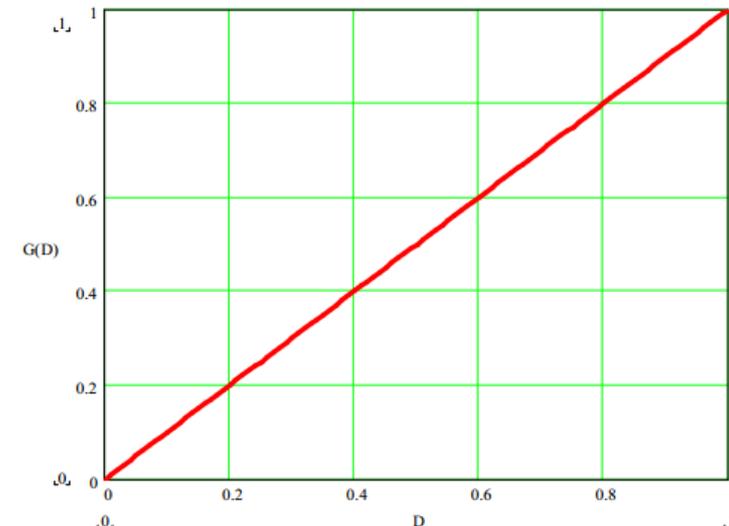
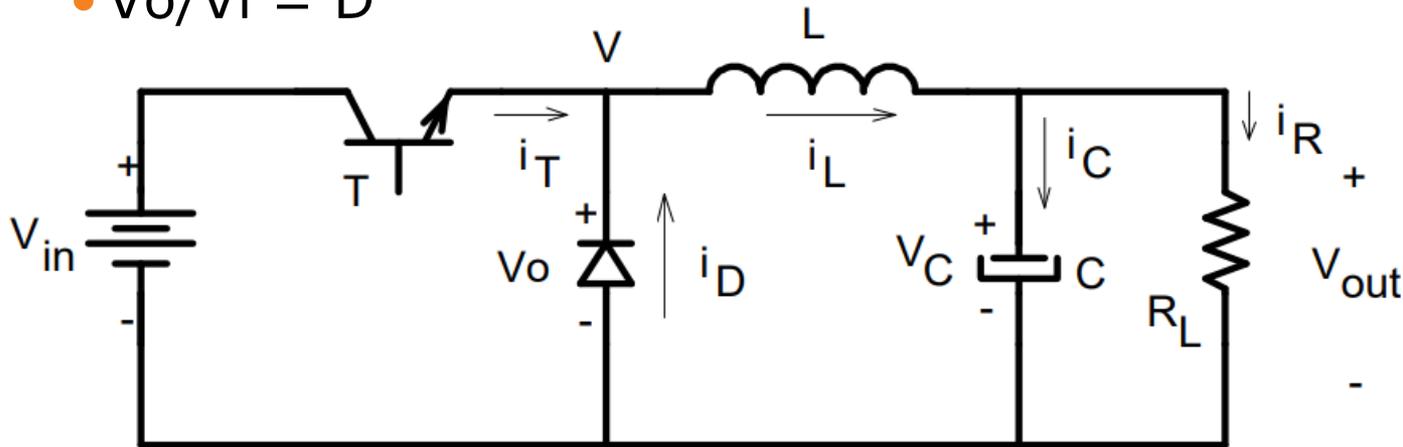
Conversores CA-CC



Conversores CC-CC

Topologias Básicas não isoladas

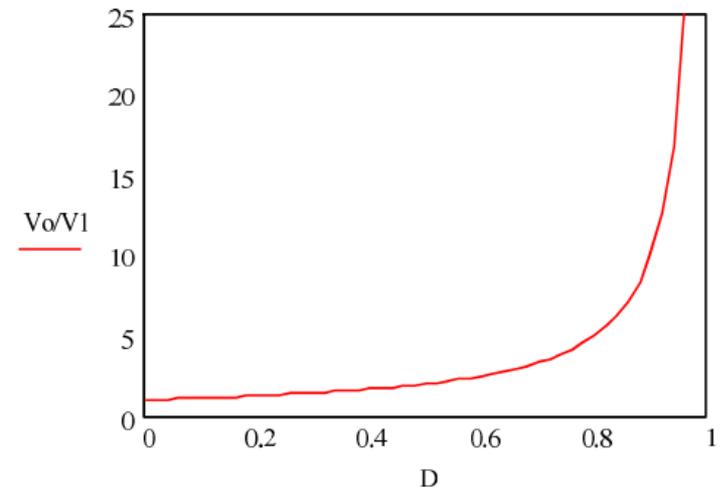
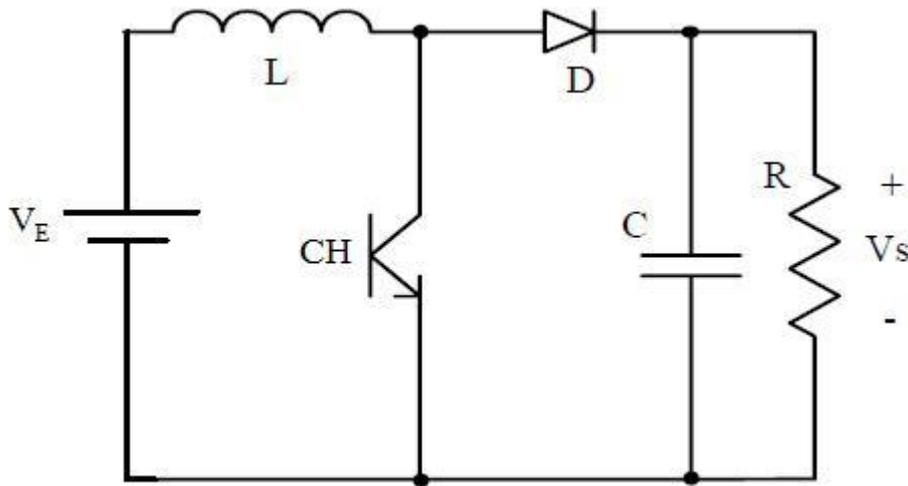
- Buck
- $V_o/V_i = D$



Conversores CC-CC

Topologias Básicas não isoladas

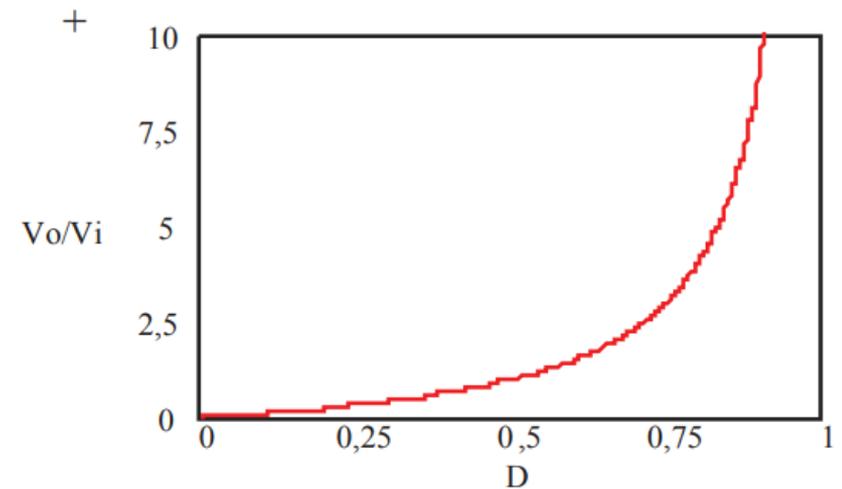
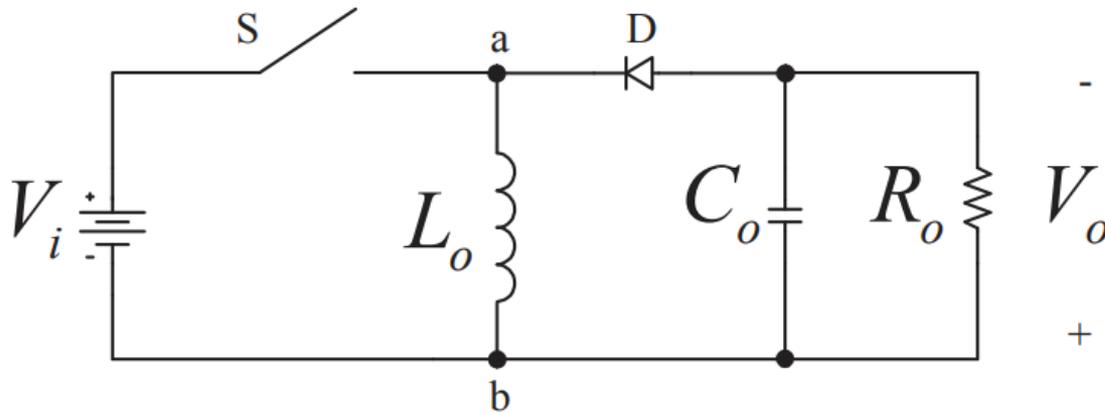
- Boost
- $V_o/V_i = 1/(1-D)$



Conversores CC-CC

Topologias Básicas não isoladas

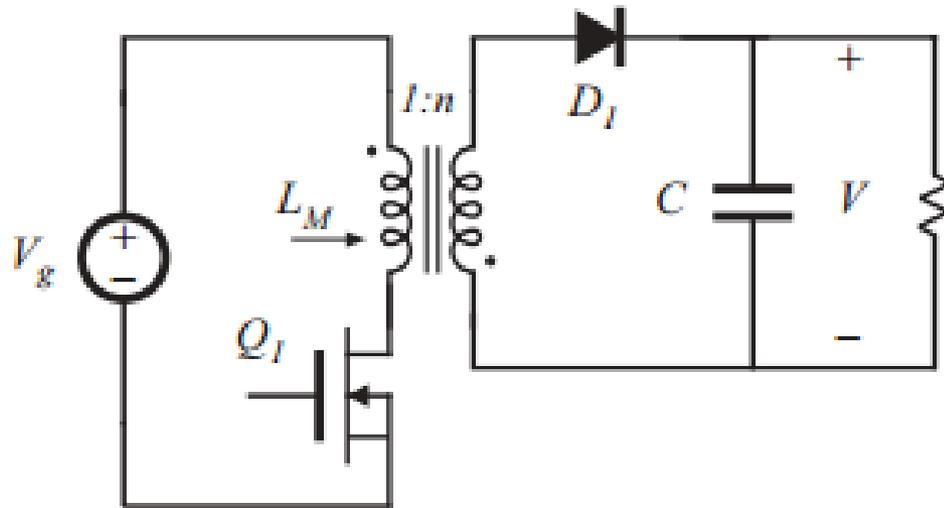
- Buck-Boost
- $V_o/V_i = D/(1-D)$



Conversores CC-CC

Topologias Básicas Isoladas

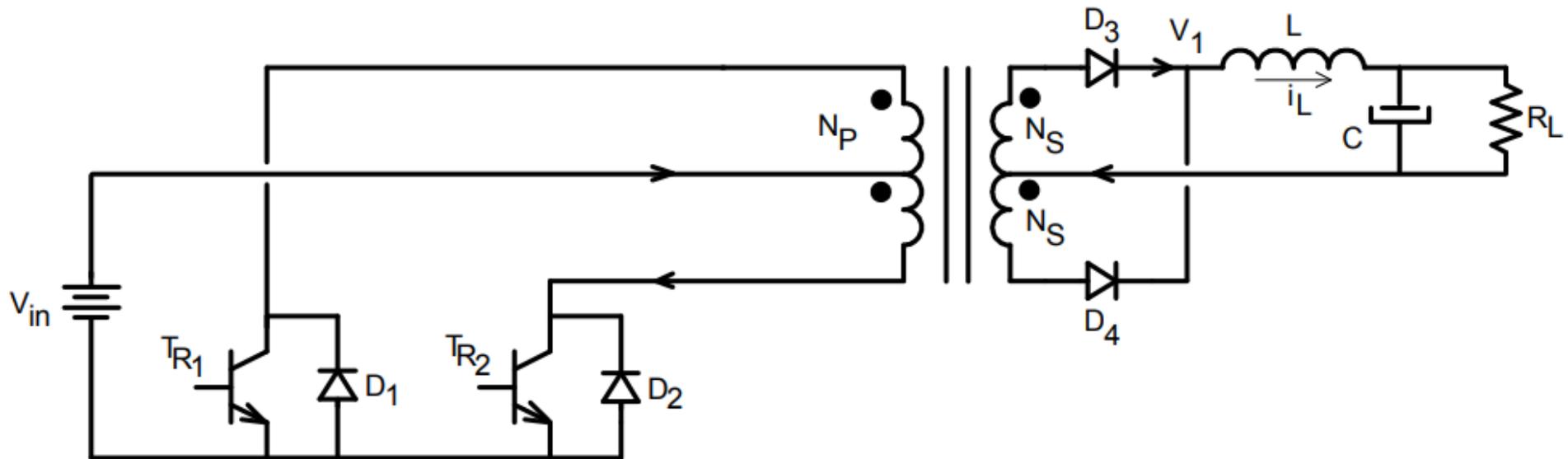
- Buck-Boost Isolado ou Flyback



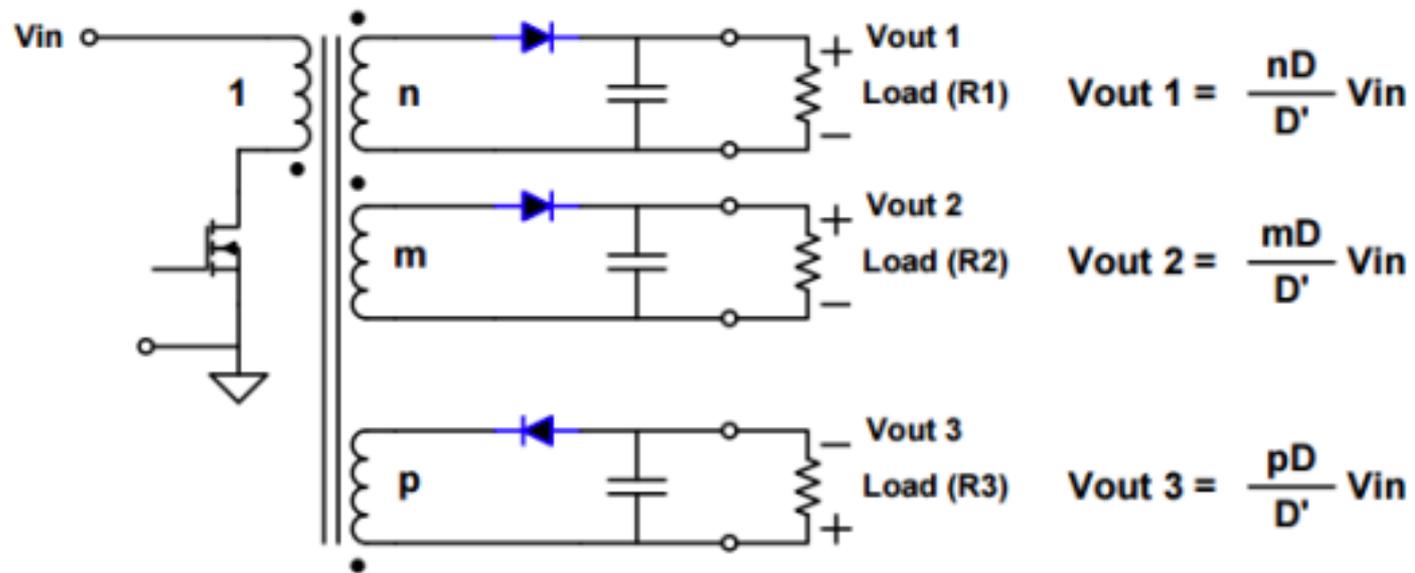
Conversores CC-CC

Topologias Básicas Isoladas

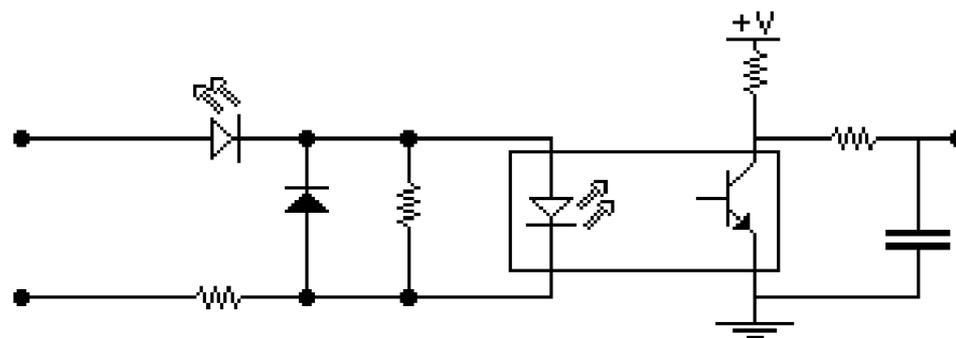
- Push-Pull
- $V_o/V_i = D$



Flyback Múltiplas Saídas

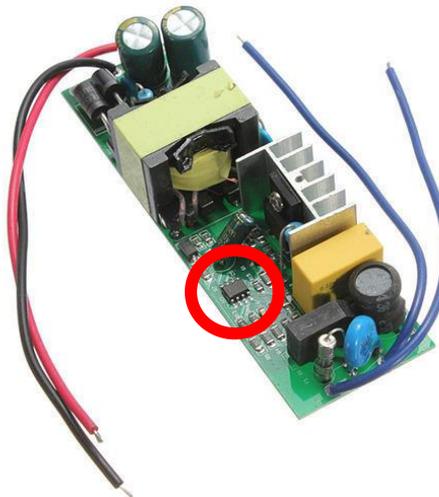


Isolação Galvânica VS Optoacoplada

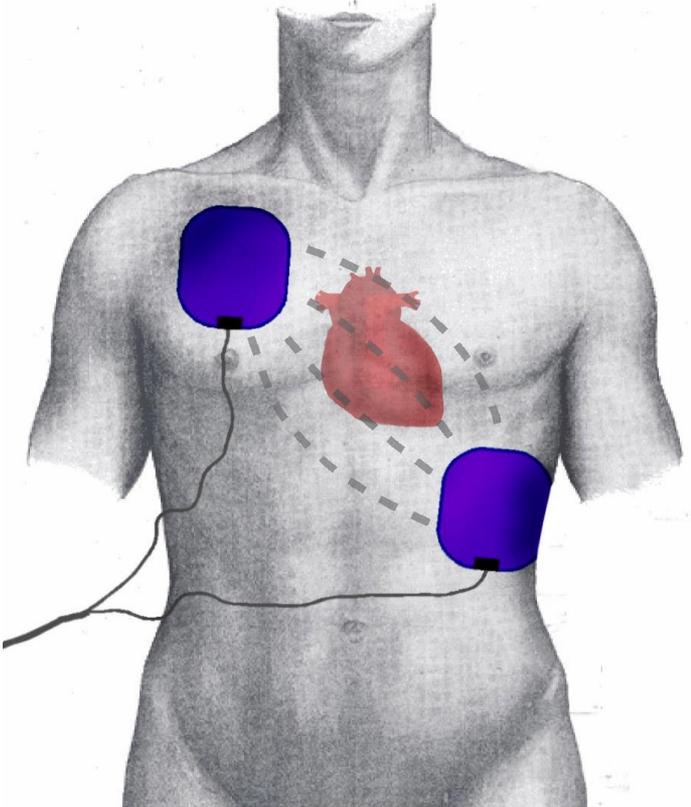


Controle Chave de Conversores

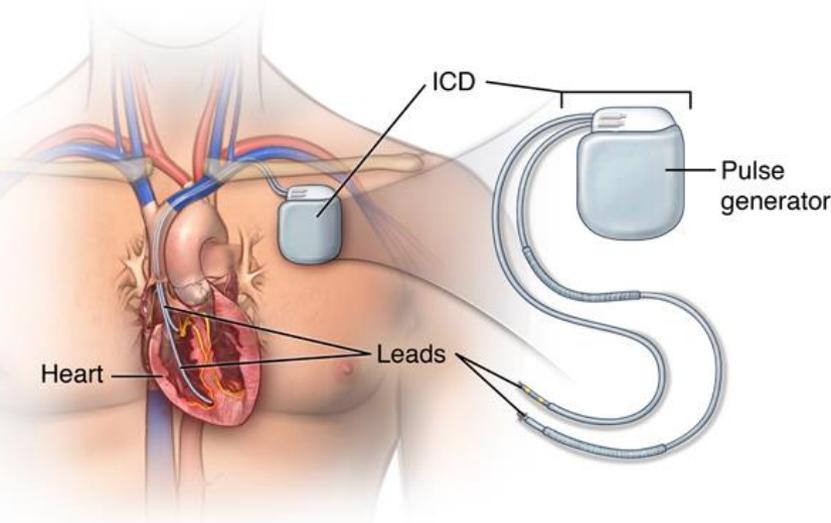
- Maioria dos projetos de conversores (isolados ou não) utilizam solução de controle PWM por CI "pronto".
- Ex.: Datasheet OB2268/9

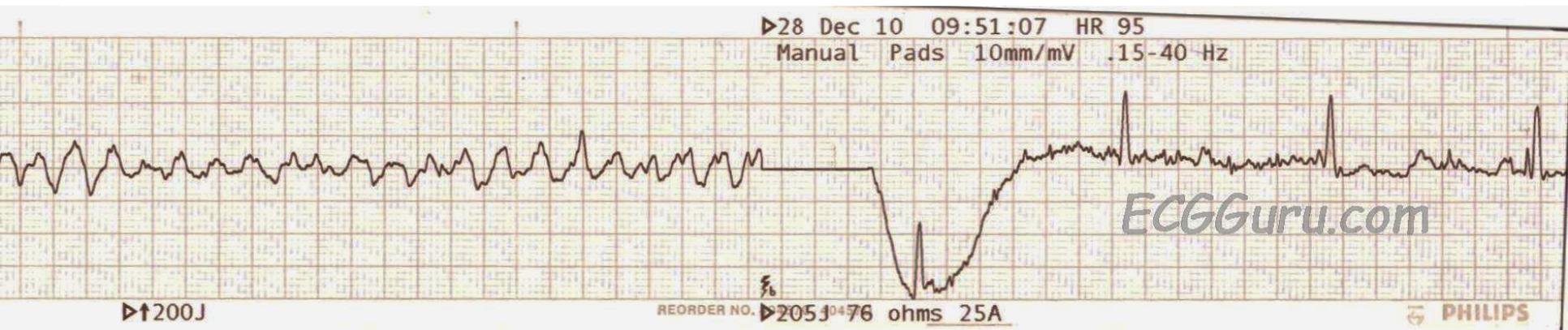
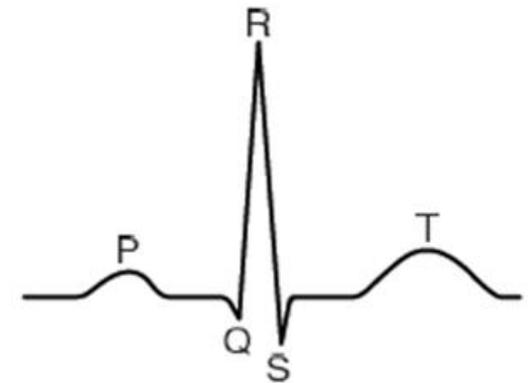
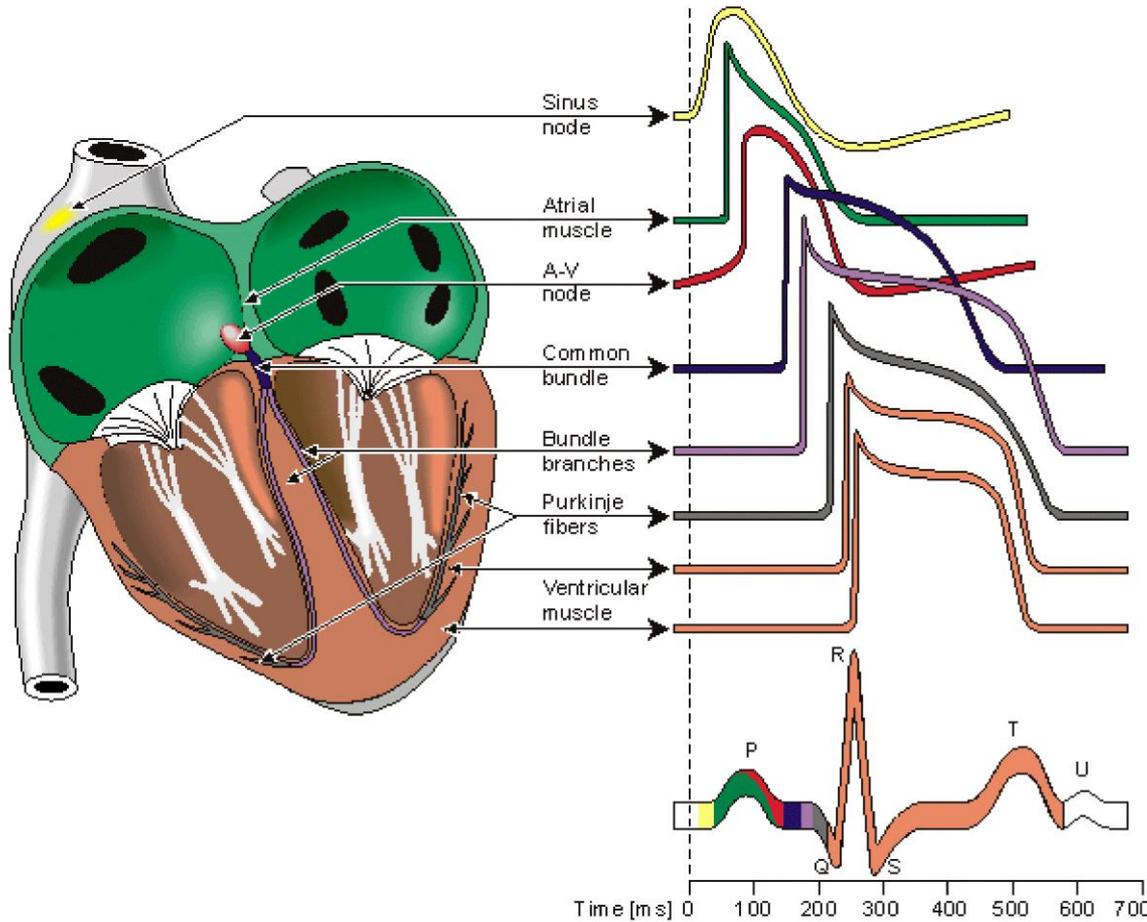


Desfibrilador

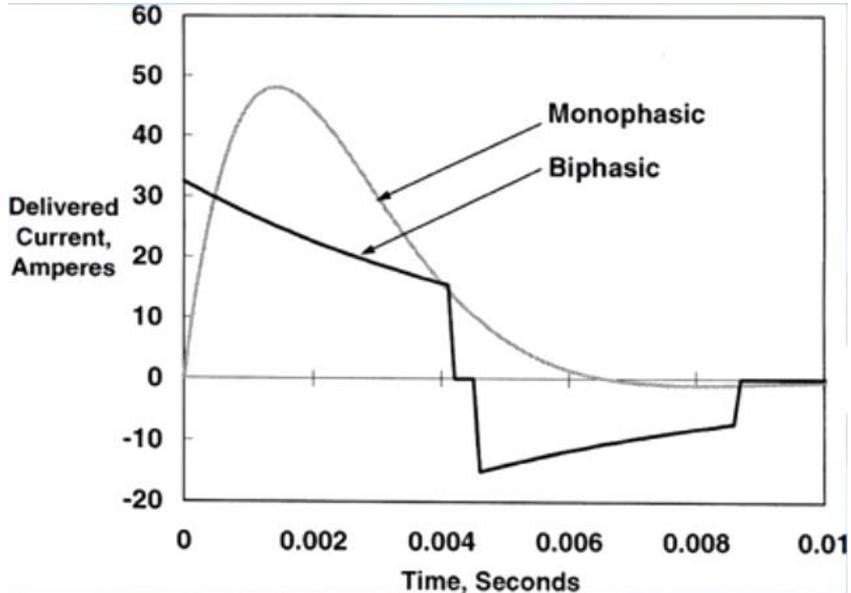
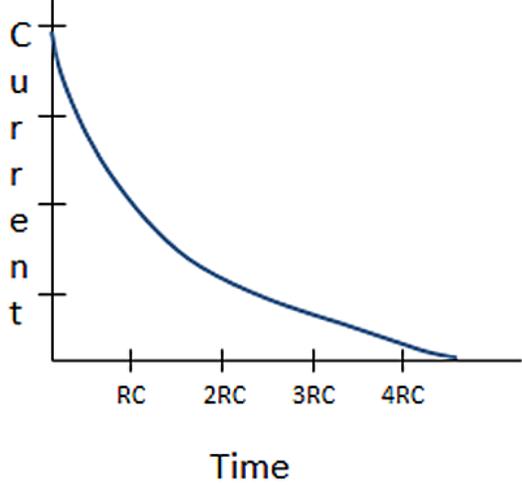
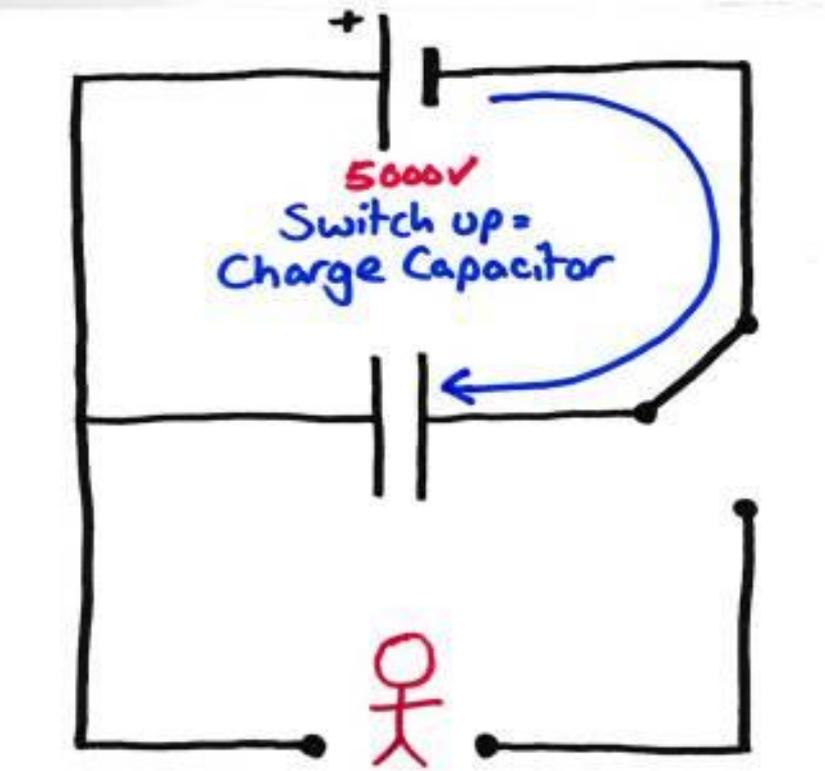


Implantable cardioverter defibrillator (ICD)





Desfibriladores



Desfibrilador

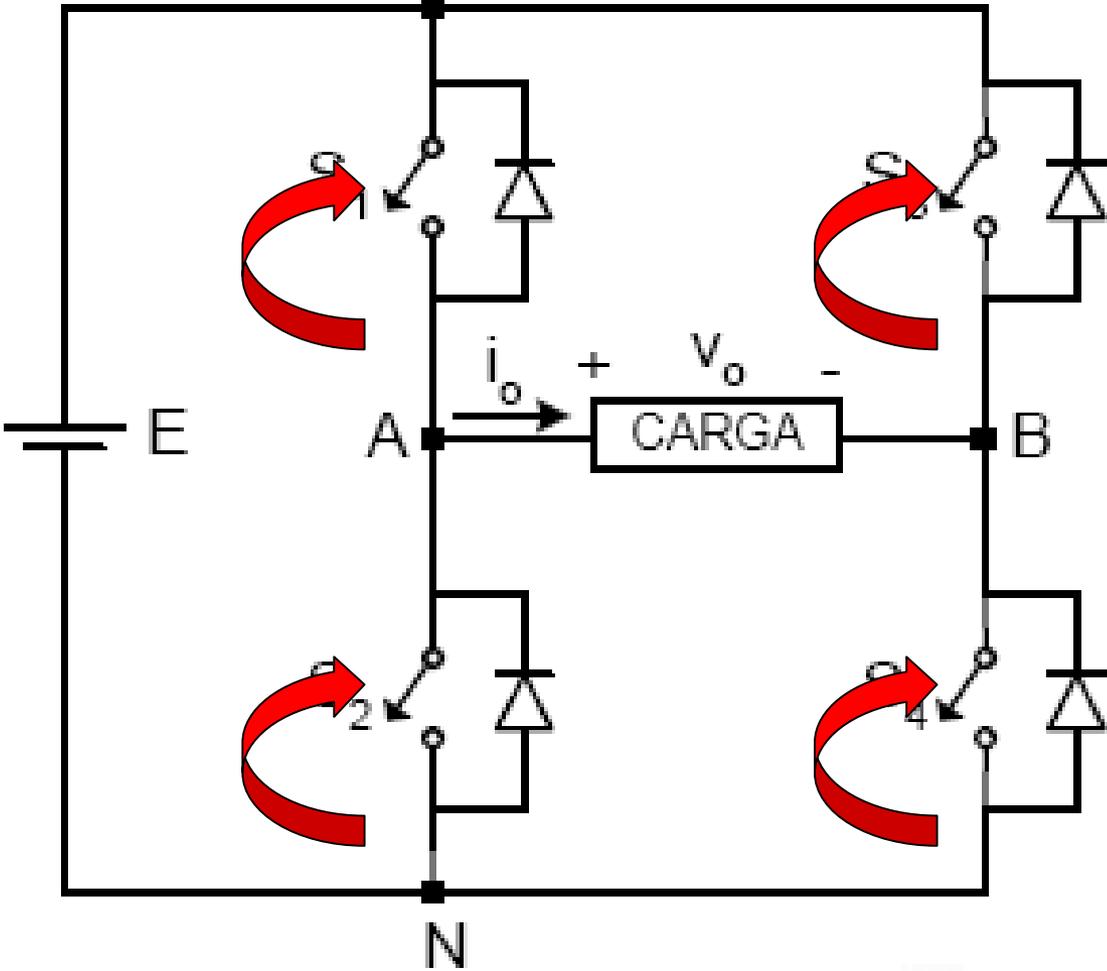
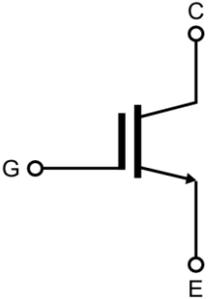
- Pós WWII, 1947



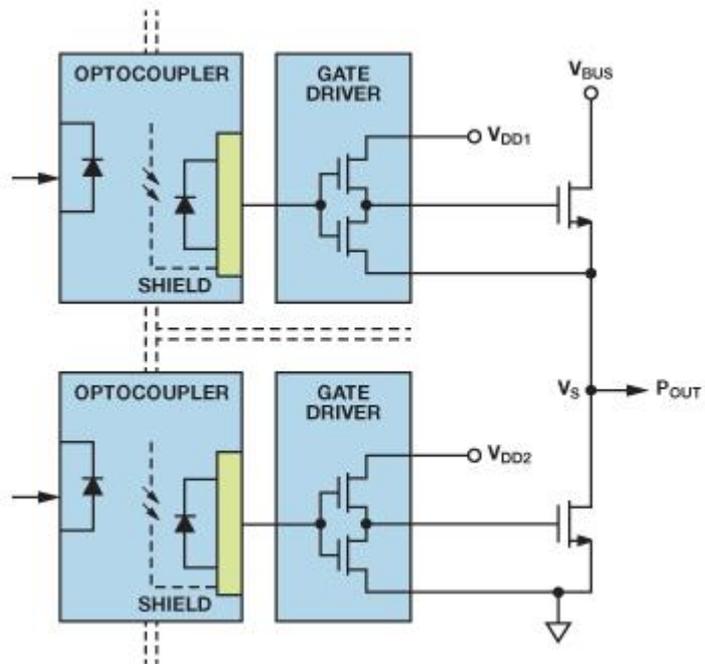
Exemplo Desfibrilador Monopolar

- [1]

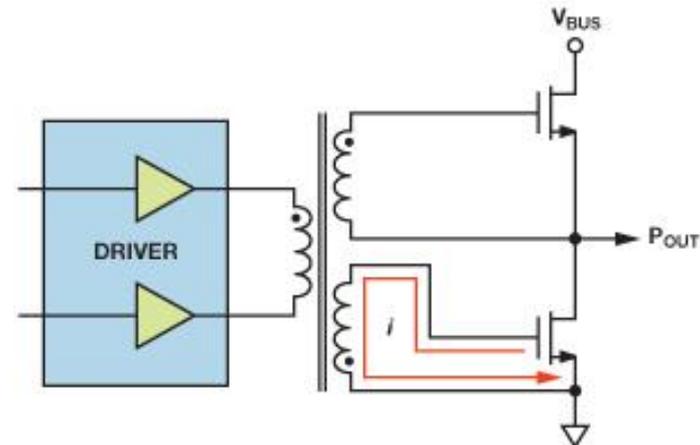
Conversor CC-CA



Tipos de Comando Isolado de Chaves



Ex.: Datasheet ADuM4223



Desfibrilador – Caso de Estudo



Desfibrilador Externo Automático (Dea) Heartsine Samaritan Pad 350P

(Cód.32311808)



Cor
Branco

vendido por [medicy equipamentos médicos](#)
e entregue por **Submarino**

Comprar

corral temos apenas 1 no estoque

R\$ 7.290,00 

3x de R\$ 2.430,00 s/ juros

[ver parcelas](#)



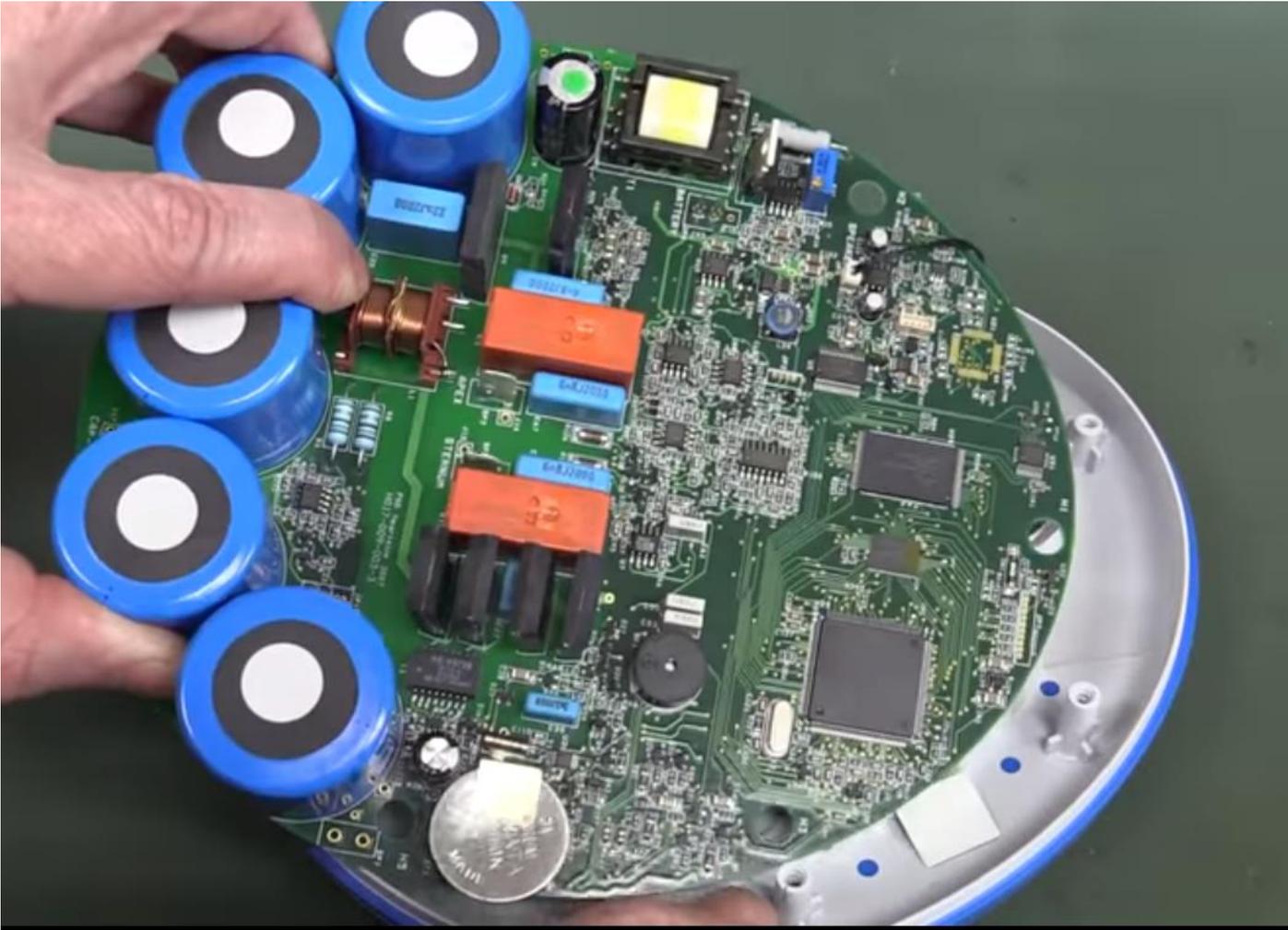
R\$ 7.290,00 no cartão Submarino em até 3x de R\$ 2.430,00 s/ juros [ver parcelas](#)

Calcular frete e prazo

OK

Desfibrilador – Caso de Estudo

[2]



NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
13534**

Segunda edição
28.01.2008

Válida a partir de
28.07.2008

**Instalações elétricas de baixa tensão —
Requisitos específicos para instalação em
estabelecimentos assistenciais de saúde**

*Electrical installations of low voltage – Specific requirements for
medical location installation*



NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
5410**

Segunda edição
30.09.2004

Válida a partir de
31.03.2005

Versão Corrigida
17.03.2008

Instalações elétricas de baixa tensão

Electrical installations of buildings – Low voltage



Riscos Equipamentos/Instalações Elétricas

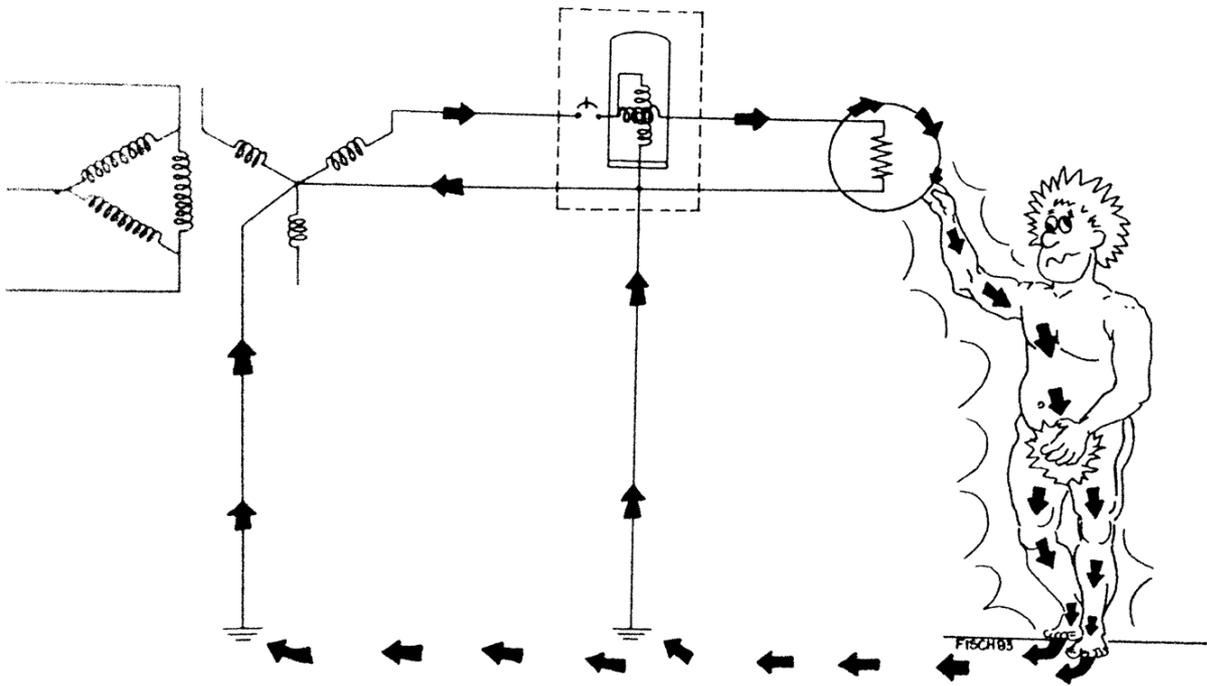
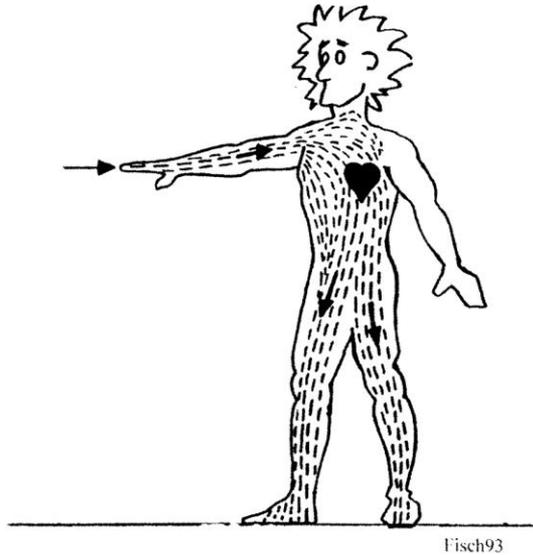


Figura 1.2.3 – Trajeto da corrente do choque elétrico

Corrente Elétrica no Corpo Humano



Fisch93

Figura 1.4.1 – Espreadimento da corrente do choque no corpo humano

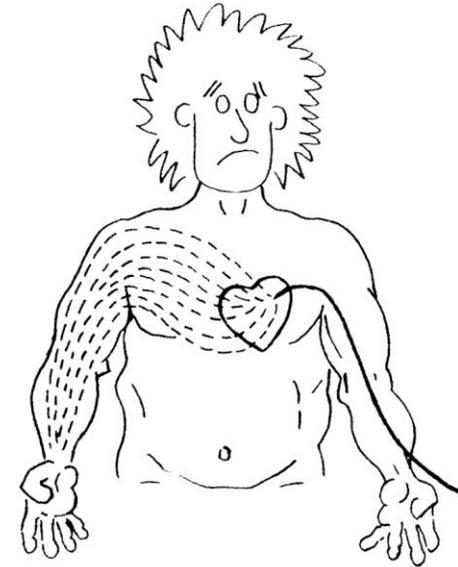
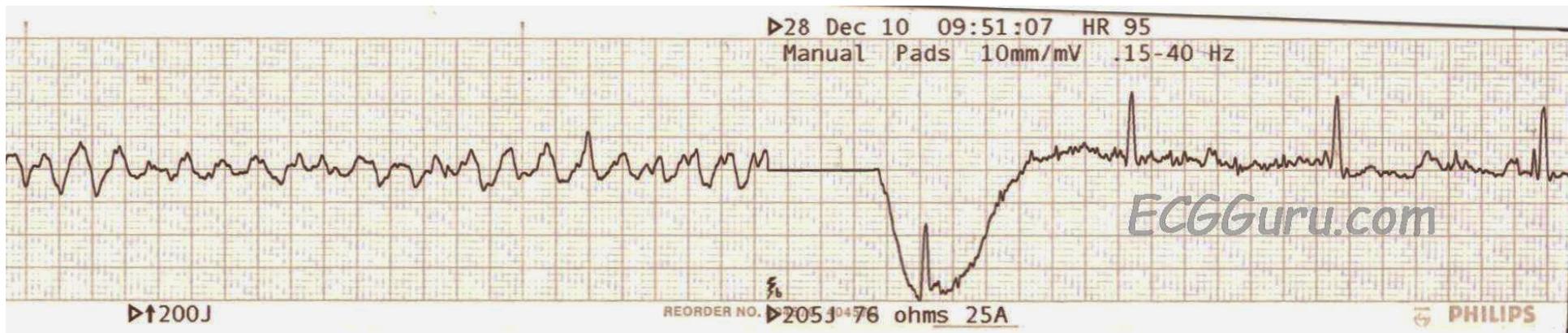


Figura 1.6.1 – Micro choque no exame do coração com o cateter



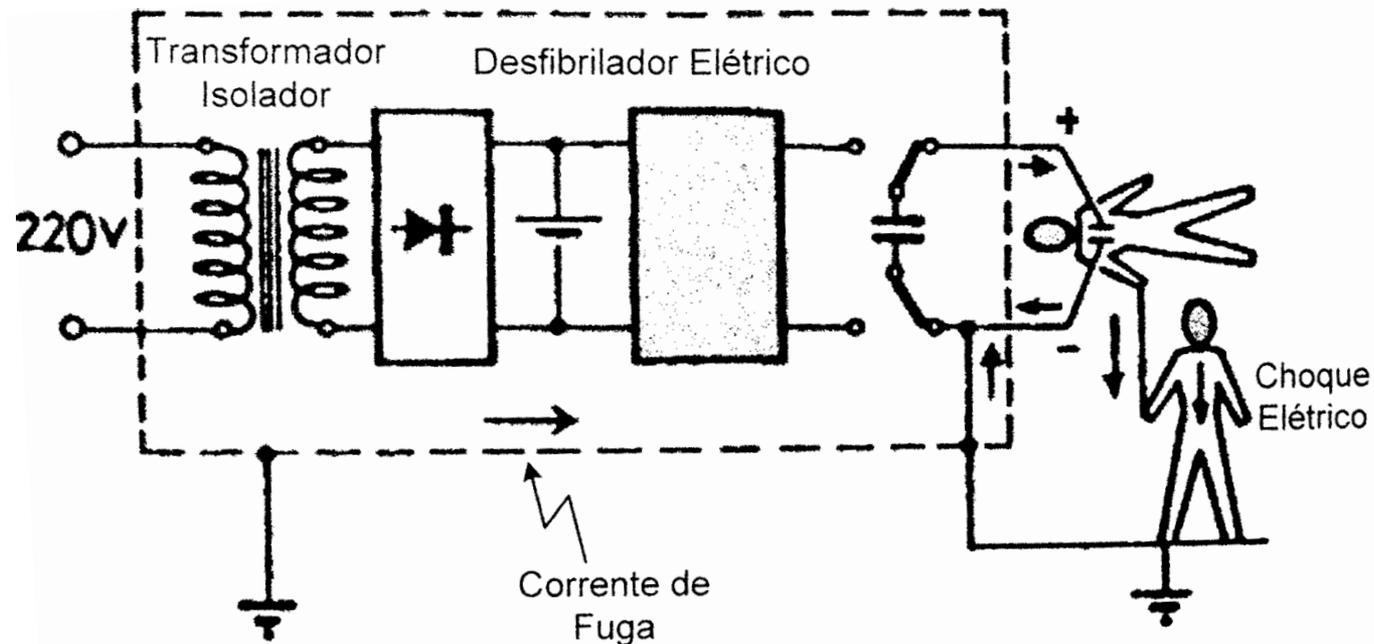
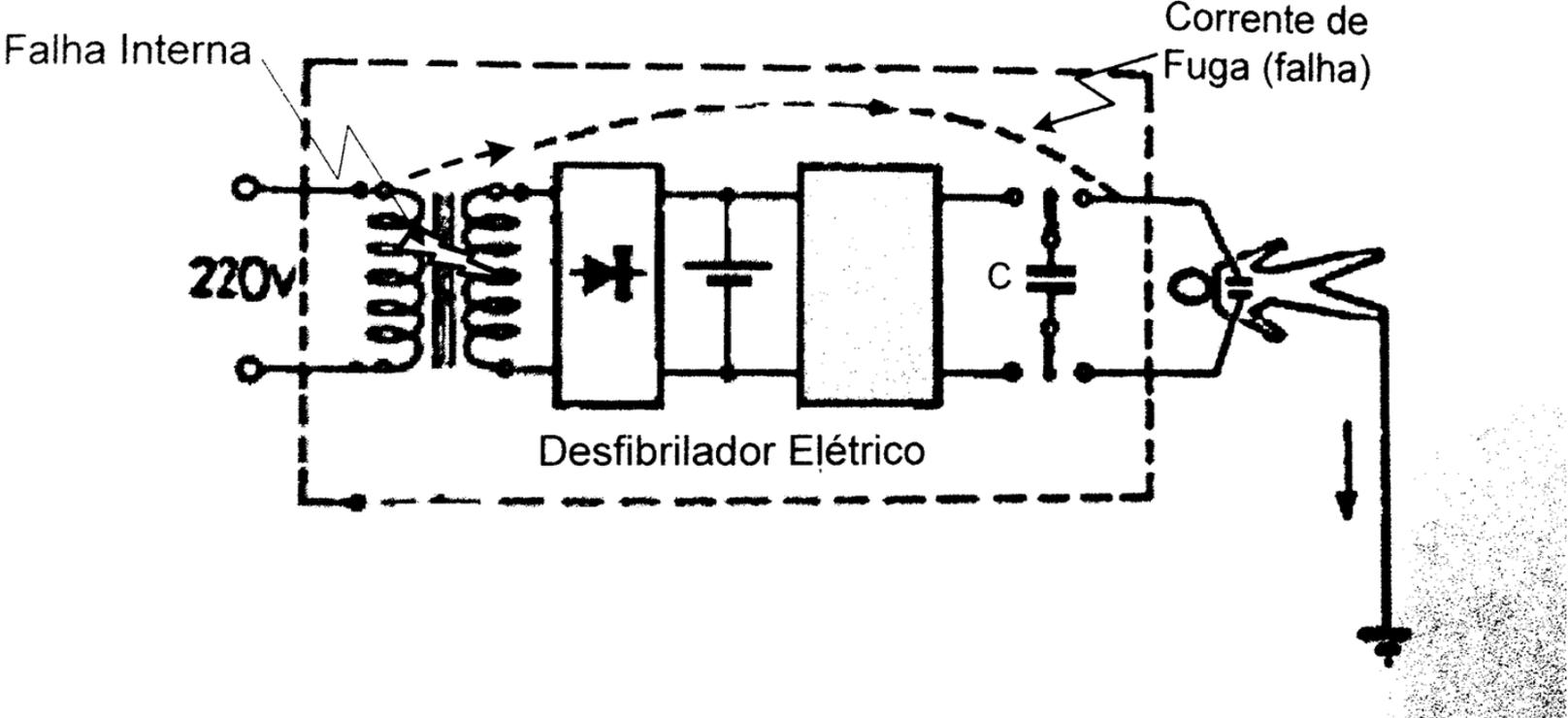


Figura 6.6.1 – Defeito na empunhadura do desfibrilador elétrico

Riscos Equipamentos Eletromédicos



Normas Equipamentos Eletromédicos

NORMA BRASILEIRA

ABNT NBR IEC 60601-1

EMENDA 1
06.05.2016

Equipamento eletromédico Parte 1: Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial

Medical electrical equipment
Part 1: General requirements for basic safety and essential performance

Foram encontradas 93 normas

Código	Título	Data	Status		
ABNT NBR IEC 60601-1-2:2017	Equipamento eletromédico Parte 1-2: Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial - Norma Colateral: Perturbações eletromagnéticas - Requisitos e ensaios	04/12/2017	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-2-66:2017	Equipamento eletromédico Parte 2-66: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial dos instrumentos auditivos e dos sistemas do instrumento auditivo	08/11/2017	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-2-21:2013 Errata 3:2017	Equipamento eletromédico Parte 2-21: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial de aquecedores radiantes para recém-nascidos	14/08/2017	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-1-10:2010 Emenda 1:2017	Equipamento eletromédico Parte 1-10: Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial — Norma colateral: Requisitos para o desenvolvimento de controladores fisiológicos em malha fechada	18/05/2017	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-2-45:2013 Emenda 1:2017	Equipamento eletromédico Parte 2-45: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial dos equipamentos de raios X para mamografia e dos dispositivos de estereotaxia mamográfica	18/05/2017	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-2-19:2014 Errata 2:2017	Equipamento eletromédico Parte 2-19: Requisitos particulares para segurança básica e desempenho essencial das incubadoras para recém-nascidos	05/05/2017	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-2-20:2012 Errata 4:2017	Equipamento eletromédico Parte 2-20: Requisitos particulares para segurança básica e o desempenho essencial das incubadoras de transporte para recém-nascidos	05/05/2017	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-2-44:2017	Equipamento eletromédico Parte 2-44: Requisitos particulares para a segurança básica e desempenho essencial dos equipamentos de raios X para tomografia computadorizada	08/03/2017	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-2-54:2011 Emenda 1:2016	Equipamento eletromédico Parte 2-54: Requisitos particulares para a segurança básica e desempenho essencial dos equipamentos de raios X para radiografia e radioscopia	11/07/2016	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-2-54:2016	Equipamento eletromédico Parte 2-54: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial dos equipamentos de raios X para radiografia e radioscopia	11/07/2016	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-1-3:2011 Emenda 1:2016	Equipamento eletromédico Parte 1-3: Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial - Norma Colateral: Proteção contra radiação em equipamentos para radiodiagnóstico	07/07/2016	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-1-3:2016	Equipamento eletromédico Parte 1-3: Requisitos gerais para segurança e desempenho essencial - Norma Colateral: Proteção contra radiação em equipamentos para radiodiagnóstico	07/07/2016	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-2-11:2016	Equipamento eletromédico Parte 2-11: Requisitos particulares para a segurança básica e desempenho essencial de equipamento de terapia por feixe gama	07/07/2016	Em Vigor		
ABNT NBR IEC 60601-1:2010 Emenda 1:2016	Equipamento eletromédico Parte 1: Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial	06/05/2016	Em Vigor		

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
IEC
60601-2-10**

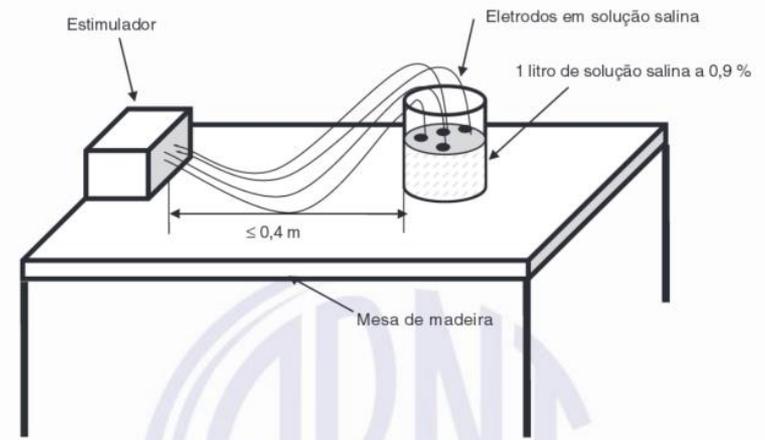
Segunda edição
03.04.2014

Válida a partir de
03.05.2014

**Equipamento eletromédico
Parte 2-10: Requisitos particulares para
segurança básica e desempenho essencial de
estimuladores de nervos e músculos**

*Medical electrical equipment
Part 2-10: Particular requirements for the basic safety and essential
performance of nerve and muscle stimulators*

Frequência de pulso	Limite de corrente
c.c.	80 mA
≤ 400 Hz	50 mA
> 400 Hz a $\leq 1\ 500$ Hz	80 mA
$> 1\ 500$ Hz	100 mA



IEC 1189'12

Figura 202.101 – Leiaute dos ensaios

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
IEC
60601-2-4**

Segunda edição
27.02.2014

Válida a partir de
01.01.2015

**Equipamento eletromédico
Parte 2-4: Requisitos particulares para a
segurança básica e o desempenho essencial
de desfibriladores cardíacos**

*Medical electrical equipment
Part 2-4: Particular requirements for the basic safety and essential
performance of cardiac defibrillators*

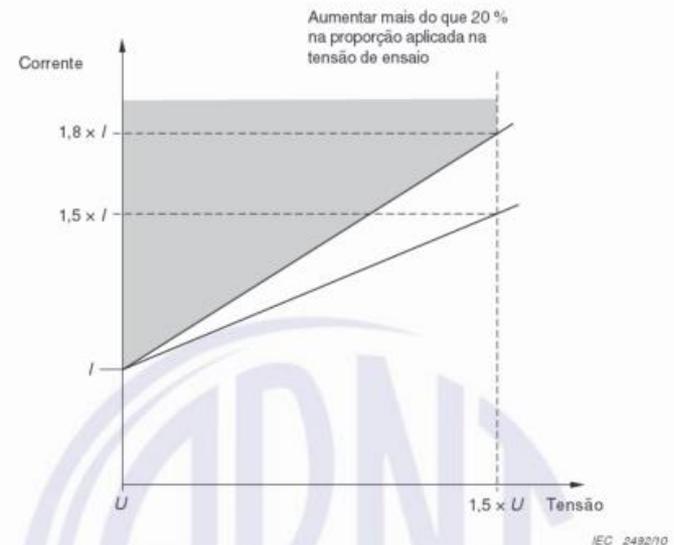


Figura 201.102 – Corrente permitida versus tensão de ensaio aplicada

Desfibrilador

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
IEC
60601-2-4

Segunda edição
27.02.2014

Válida a partir de
01.01.2015

Equipamento eletromédico Parte 2-4: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial de desfibriladores cardíacos

Medical electrical equipment
Part 2-4: Particular requirements for the basic safety and essential
performance of cardiac defibrillators

201.8.5.5.101 * Isolação do ELETRODO DO DESFIBRILADOR

Ajustes para isolar eletricamente o ELETRODO DO DESFIBRILADOR de outras partes devem ser projetados de forma que, durante a descarga do DISPOSITIVO PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGIA, as energias elétricas perigosas sejam excluídas do seguinte:

- a) do GABINETE;
- b) de todas as CONEXÕES AO PACIENTE que pertençam a outros circuitos do PACIENTE;
- c) de qualquer PARTE PARA ENTRADA/SAÍDA DE SINAL;
- d) de uma lâmina de metal na qual o EQUIPAMENTO EM é colocado e na qual tem uma área pelo menos igual àquela da base do EQUIPAMENTO EM (EQUIPAMENTO EM CLASSE II ou EQUIPAMENTO EM com uma FONTE DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA INTERNA).

201.8.8.3 * Rigidez dielétrica

Substituir o terceiro item:

— após atingir uma temperatura equivalente ao estado de equilíbrio estável, operando a uma temperatura atingida durante o ensaio de aquecimento de 11.1.1 da Norma Geral, com o EQUIPAMENTO EM operando em PRONTIDÃO.

Adição:

Para o circuito de alta tensão do DESFIBRILADOR (por exemplo, ELETRODO DO DESFIBRILADOR, CIRCUITO DE CARREGAMENTO e dispositivo de manobras), os seguintes requisitos e ensaios devem ser aplicados em adição àqueles da Norma Geral.

A isolação do circuito acima deve suportar um ensaio de tensão c.c. 1,5 vez a TENSÃO DE TRABALHO DE PICO U mais alta ocorrendo entre as partes em questão durante a descarga em qualquer modo de operação normal. A resistência de isolamento da isolação acima não pode ser menor do que 500 M Ω .

201.7.2.101 * Instruções concisas para operação

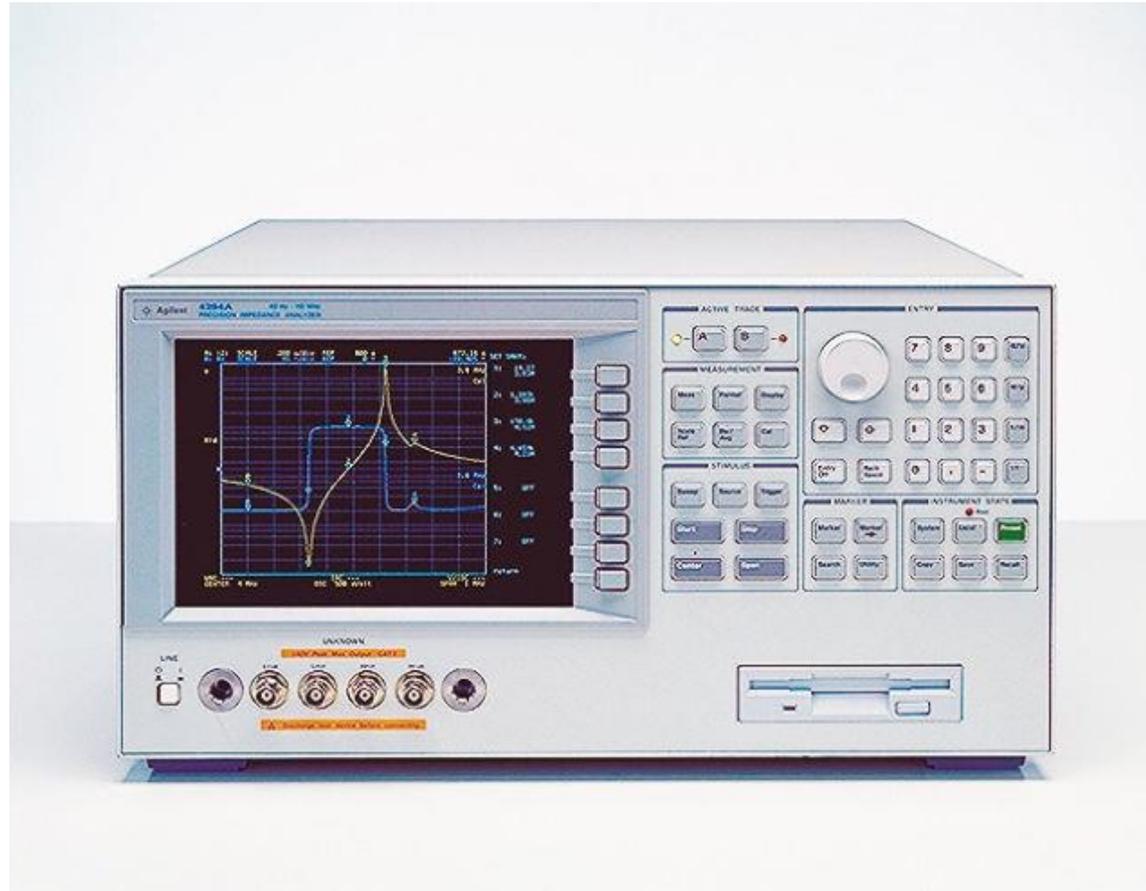
As instruções para desfibrilação, e onde relevantes, monitoração no ECG de um PACIENTE, devem ser fornecidas por meio de marcações claramente legíveis, ou comandos auditivos claramente compreensíveis.

Verificar a conformidade dos comandos auditivos pelo seguinte ensaio:

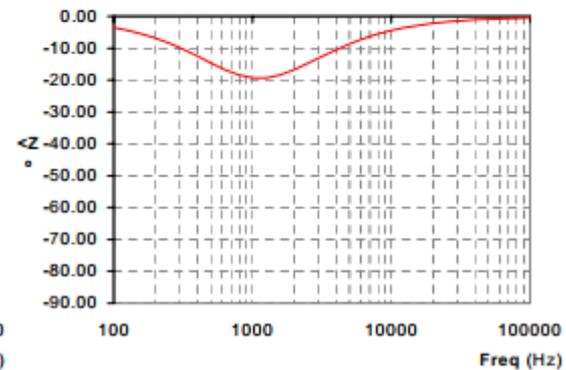
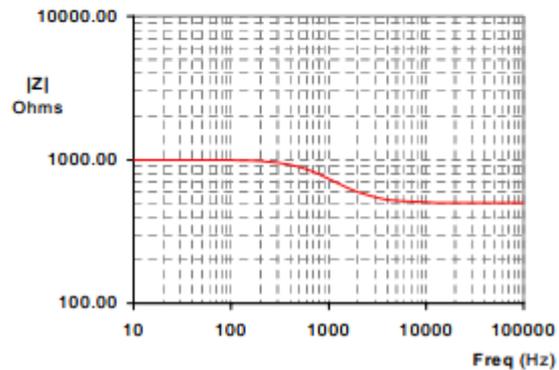
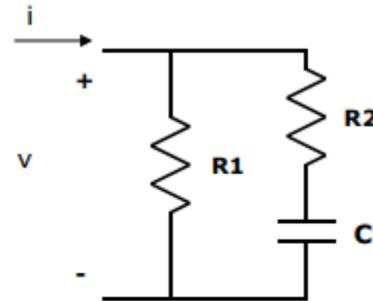
Os comandos auditivos devem ser claramente compreensíveis a uma pessoa que escuta normalmente, a uma distância de 1 m, em um ambiente de ruído branco (definido como plano ± 10 % acima da faixa de 100 Hz até 10 kHz) com nível de 65 dB, conforme medido com um medidor de nível sonoro ponderado em A Tipo 2 (ver IEC 61672-1).

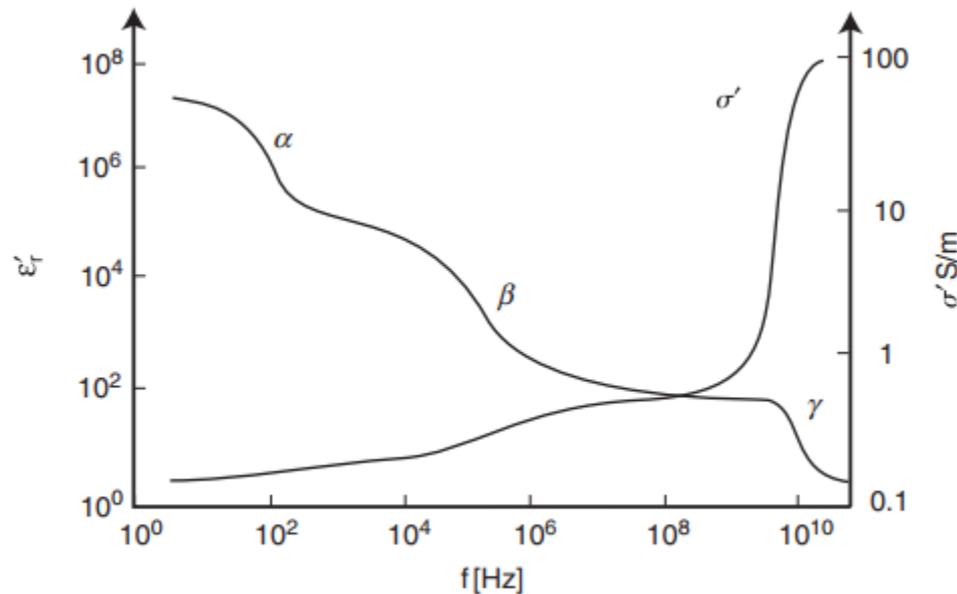
- ECG;
 - EEG;
 - Equipamentos Auditivos;
 - Raio X;
 - Ultrassom;
 - Camas Hospitalares Elétricas;
 - Incubadoras;
 - Etc...
-
- Há norma brasileira para maioria dos equipamentos.

Análise de Impedância



Análise de Impedância





Condutividade σ (S/m)
Permissividade ϵ (F/m)

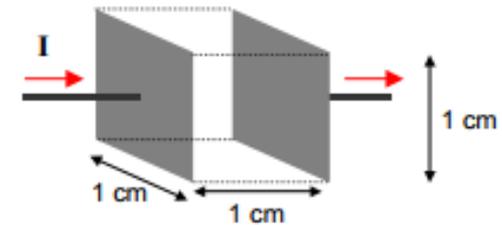
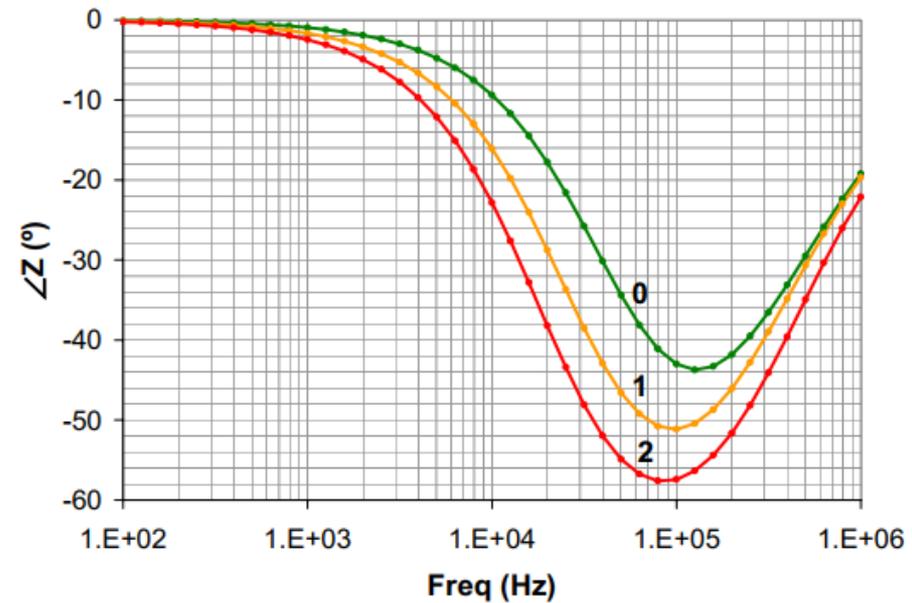
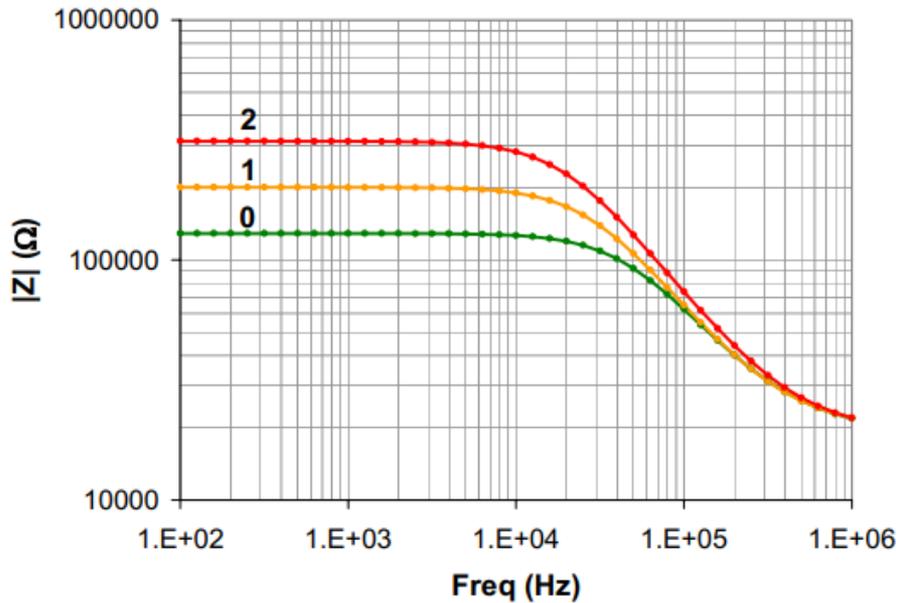
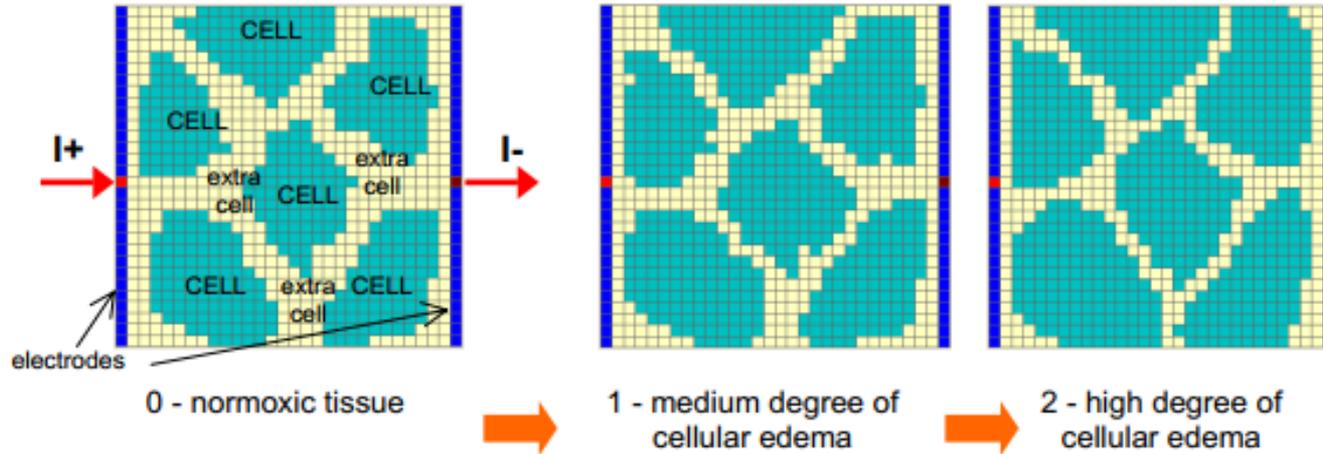


Figure 3.14: Dispersion regions, idealized. Modified from Schwan (1988).

Type	Characteristic Frequency	Mechanism
α	mHz–kHz	Counter-ion effects (perpendicular or lateral) near the membrane surfaces, active cell membrane effects and gated channels, intracellular structures (e.g., sarcotubular system.), ionic diffusion, dielectric losses (at lower frequencies the lower the conductivity).
β	1 kHz–100 MHz	Maxwell–Wagner effects, passive cell membrane capacitance, intracellular organelle membranes, protein molecule response.
γ	0.1–100 GHz	Dipolar mechanisms in polar media such as water, salts, and proteins.

Análise de Impedância



Análise de Impedância

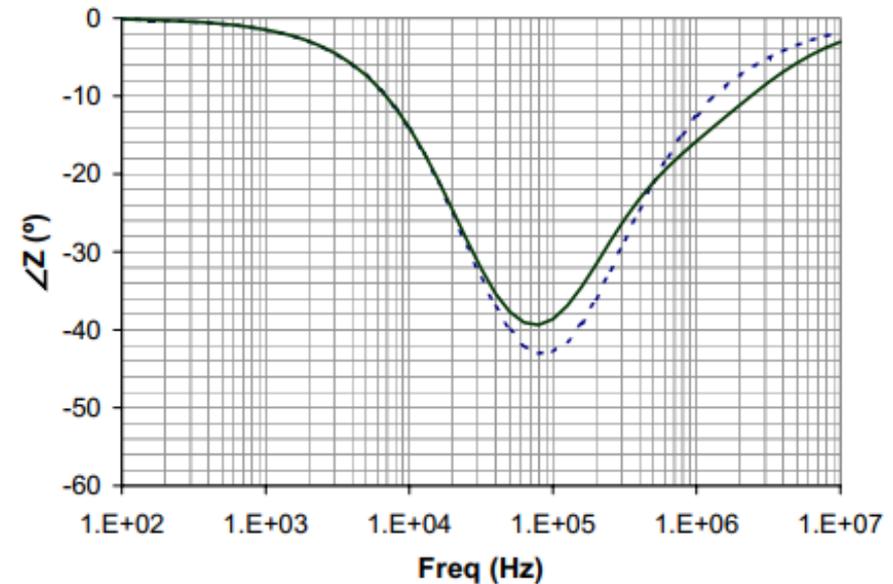
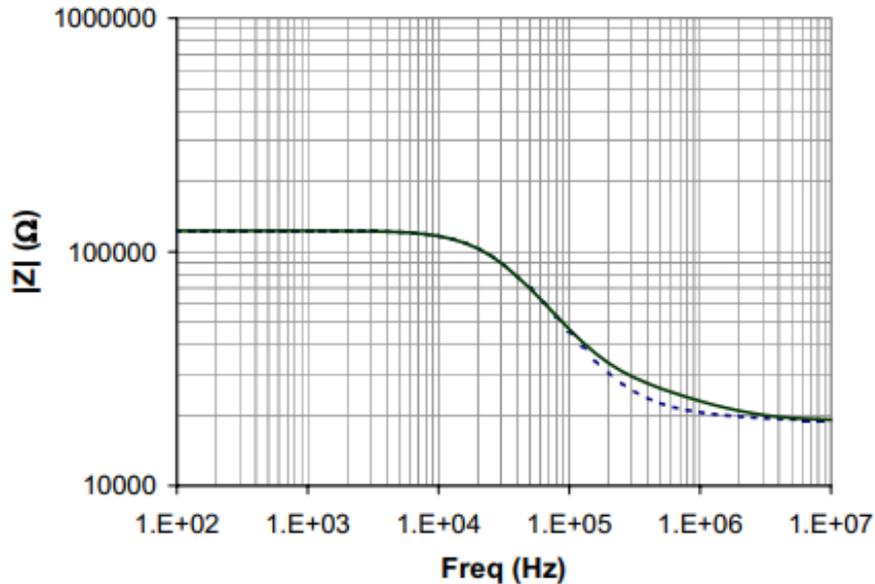
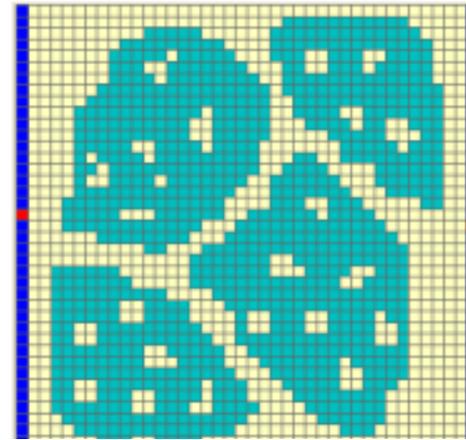
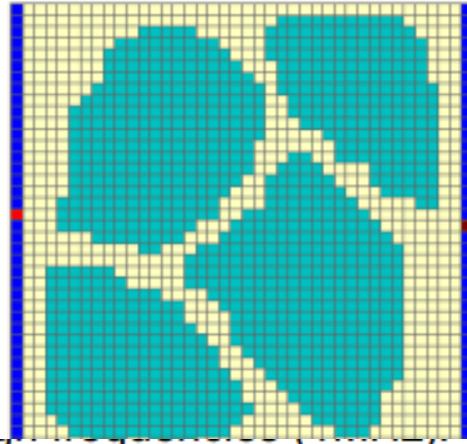
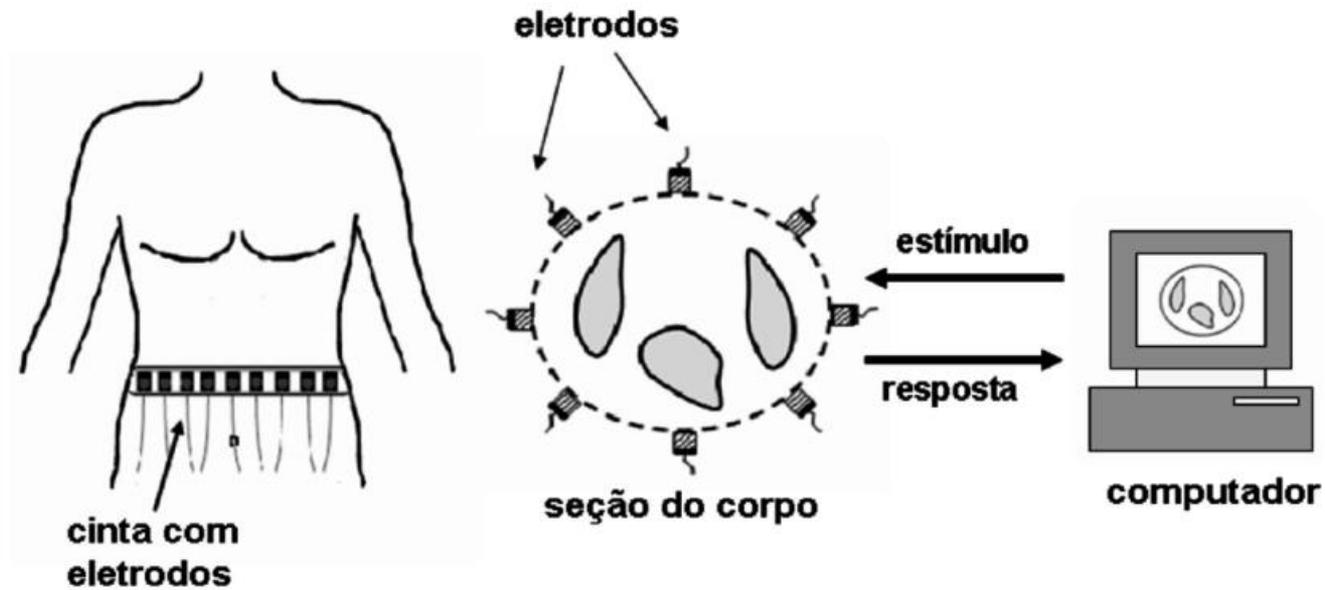
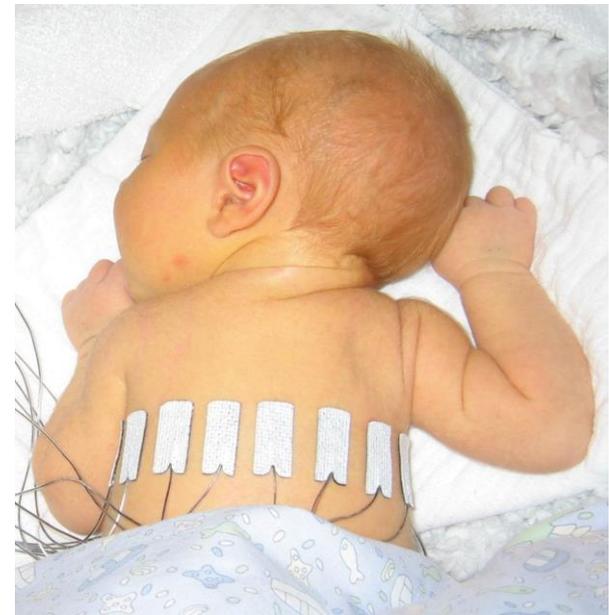
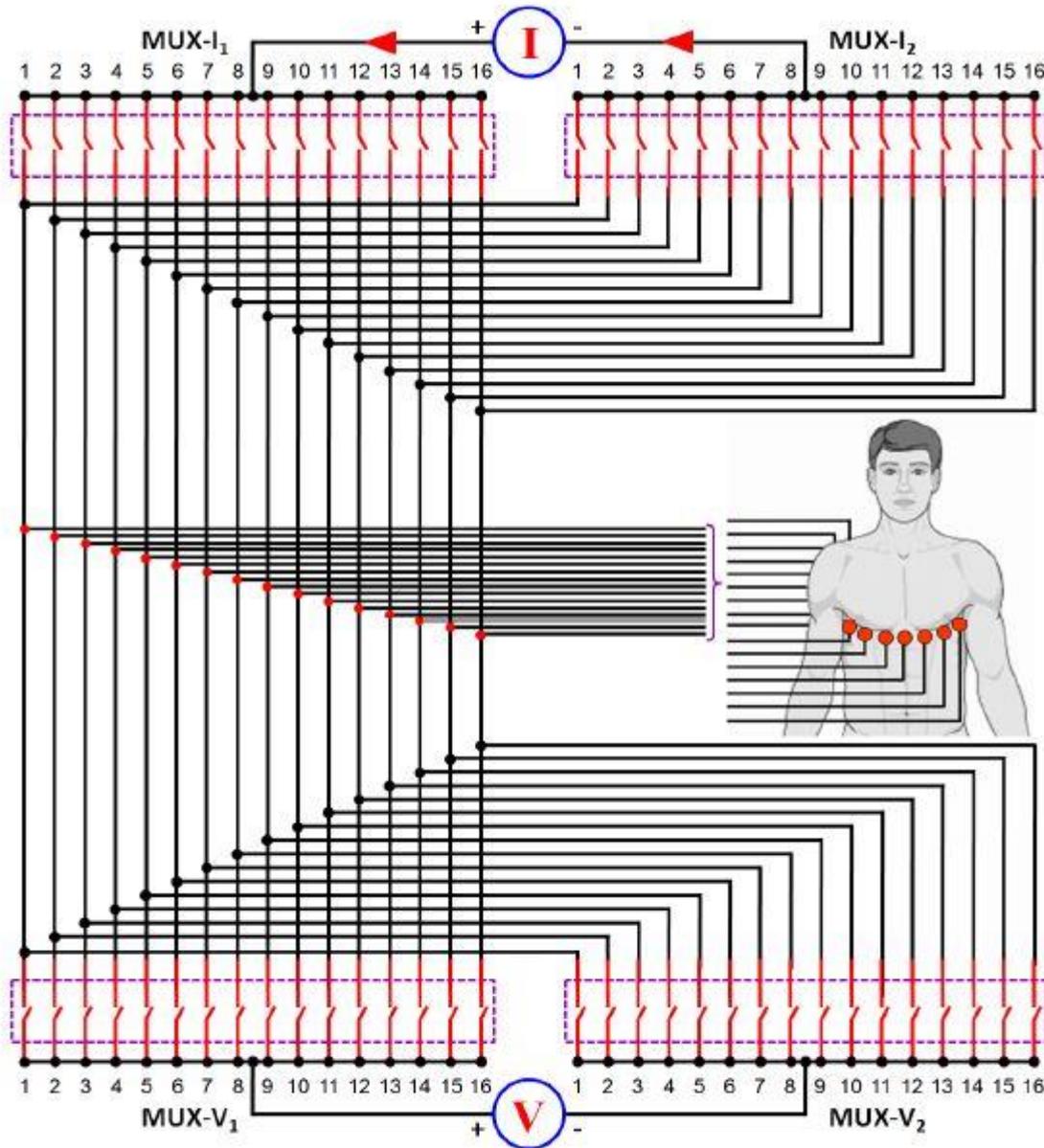


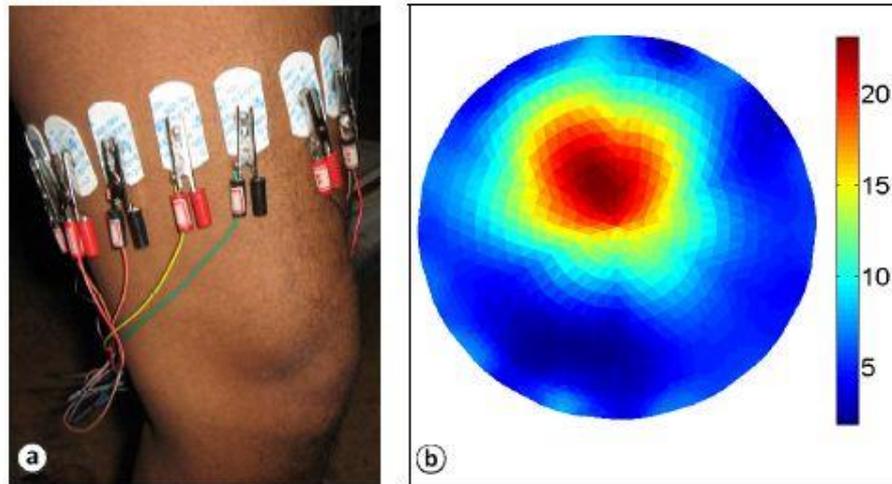
Imagem por Impedância





Current injection through the MUX-I₁ and MUX-I₂
Voltage measurement through the MUX-V₁ and MUX-V₂

Imagem por Impedância





Introdução a Aplicação de “Alta Tensão” em Meios Biológicos e Análise de Impedância

Guilherme B. Pintarelli, EE
guilherme.b.pintarelli@gmail.com