

GRANDEZAS E UNIDADES

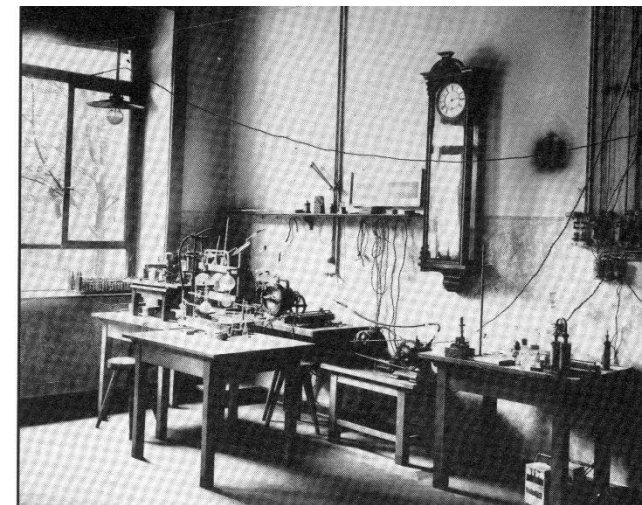
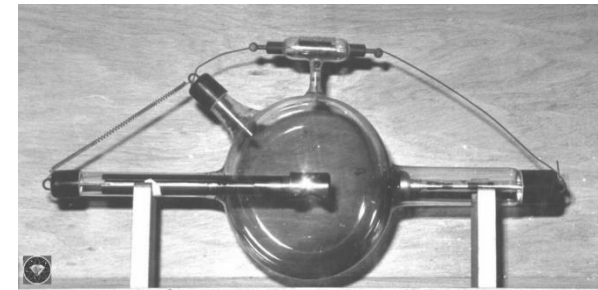
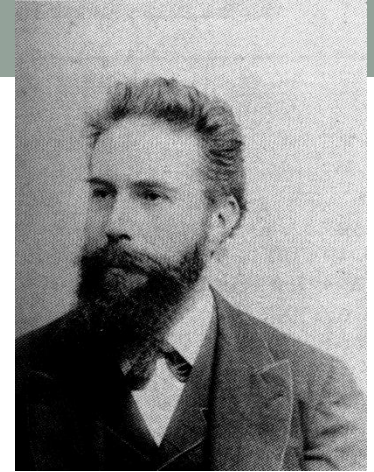
PARTE 1

PAULO R. COSTA

EVOLUÇÃO DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

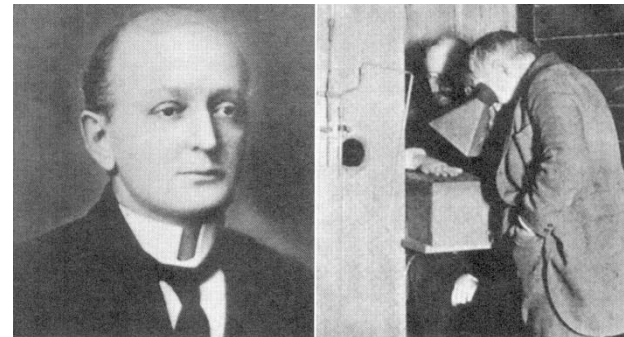
Evolução

- Descoberta dos raios X 08/11/1895
 - Wilhelm Conrad Röntgen (1847-1923)
 - Experiência
 - Passagem de cargas elétricas por um tubo a vácuo (tubo de Crookes)
 - Papel com material fluorescente
 - Penetração na madeira, metais, livros
 - Variação da intensidade com o material
 - Anúncio
 - Dezembro de 1895
 - “*On a new kind on ray, a preliminary communication*”



Evolução

- Primeiras imagens do corpo humano
 - Röntgen e Sra. Röntgen
 - Observação em tela fluorescente
- Descoberta casual vs correlação lógica
- Repercussão
- Preocupação com efeitos biológicos (1896)
 - Primeiros danos somáticos - radiodermites
 - Europa – início de 1896
 - EUA – Clarence M. Dally – assistente de Thomas Edison – morte em 1904 de cancer (39 anos)
 - Comitê para investigar danos causados pela radiação (1898)



Evolução

- *British X-ray and radium protection committee (1921)*
 - Formulação de um guia para fabricação e uso de equipamentos
 - Poucos conhecimentos de radiobiologia
 - Inexistência de técnicas de medição
- Dose eritema na pele
 - “Grandeza” usada entre 1900 e 1930
 - Variável de pessoa para pessoa

Evolução

- 1o. Congresso Internacional de Radiologia
 - Londres, 1925
 - Sem decisões sobre métodos de medição dos efeitos da radiação
 - Formação da Comissão Internacional de Medidas e Unidades de Radiação (ICRU) (1925)
- 2o. Congresso Internacional de Radiologia
 - Estolcomo, 1928
 - Unidade de exposição – Roentgen
 - Não foi bem definido
 - Formação do *International X-ray and Radium Protection Commission*
 - Predecessora da ICRP

Evolução

- No início
 - Somente os efeitos agudos eram percebidos
 - Aparecem em minutos, horas, dias ou semanas após a exposição
 - Proposta de um *nível de tolerância*
 - Crença de que não haveriam efeitos abaixo de um limiar de dose

EFEITOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES	
REAÇÕES TECIDUAIS IMEDIATAS OU AGUDAS	
Nausea	Desordens intestinais
Fadiga	Febre
Vermelhidão difusa na pele	Desordens no sangue
Perda de cabelo	Descamação da pele
REAÇÕES TECIDUAIS TARDIAS	
Cancer	Formação de catarata
Efeitos embriológicos	
EFEITOS HEREDITÁRIOS	
Efeitos biológicos em gerações futuras	

Evolução

- Reconhecimento dos efeitos tardios (1936)
 - Efeitos somáticos
 - Efeitos genéticos
- Foco na redução de riscos em lugar do conceito de nível de tolerância
- Definição do roentgen
 - ICRU, 1937
 - Aceitação internacional
 - Redefinido em 1962

Evolução

- Máxima dose permissível - MPD (1950)
 - Maior dose de radiação ionizante que uma pessoa ocupacionalmente exposta poderia receber sem resultar em efeitos biológicos adversos
- Expresso em REM (*radiation equivalent man*)
- Reconhecimento de pequenos riscos em doses inferiores à MPD
 - Nenhuma dose é completamente segura!
 - Como estabelecer um limite de exposição ocupacional?

Evolução

- Solução:
 - Comparação com taxas de morte e acidentes em outras ocupações
 - Método usado por companhias de seguros
 - Atividades de alto risco envolvendo
 - Alpinismo
 - Mergulho em altas profundidades
- Decisão:
 - O risco associado com o uso profissional das radiações não deve ser maior que o de indústrias consideradas seguras
 - 1 morte por ano para cada 10000 pessoas



RISCO!

Evolução

- Década de setenta
 - Sofisticação da dosimetria e da análise de riscos
 - Definição das grandezas
 - Equivalente de dose
 - Baseada na dose absorvida em um ponto em um órgão ou tecido e ponderada por um fator relacionado ao tipo de radiação
 - Equivalente de dose efetivo
 - Detrimento total à pessoa resultante da dose recebida, dependendo de onde esta dose foi recebida



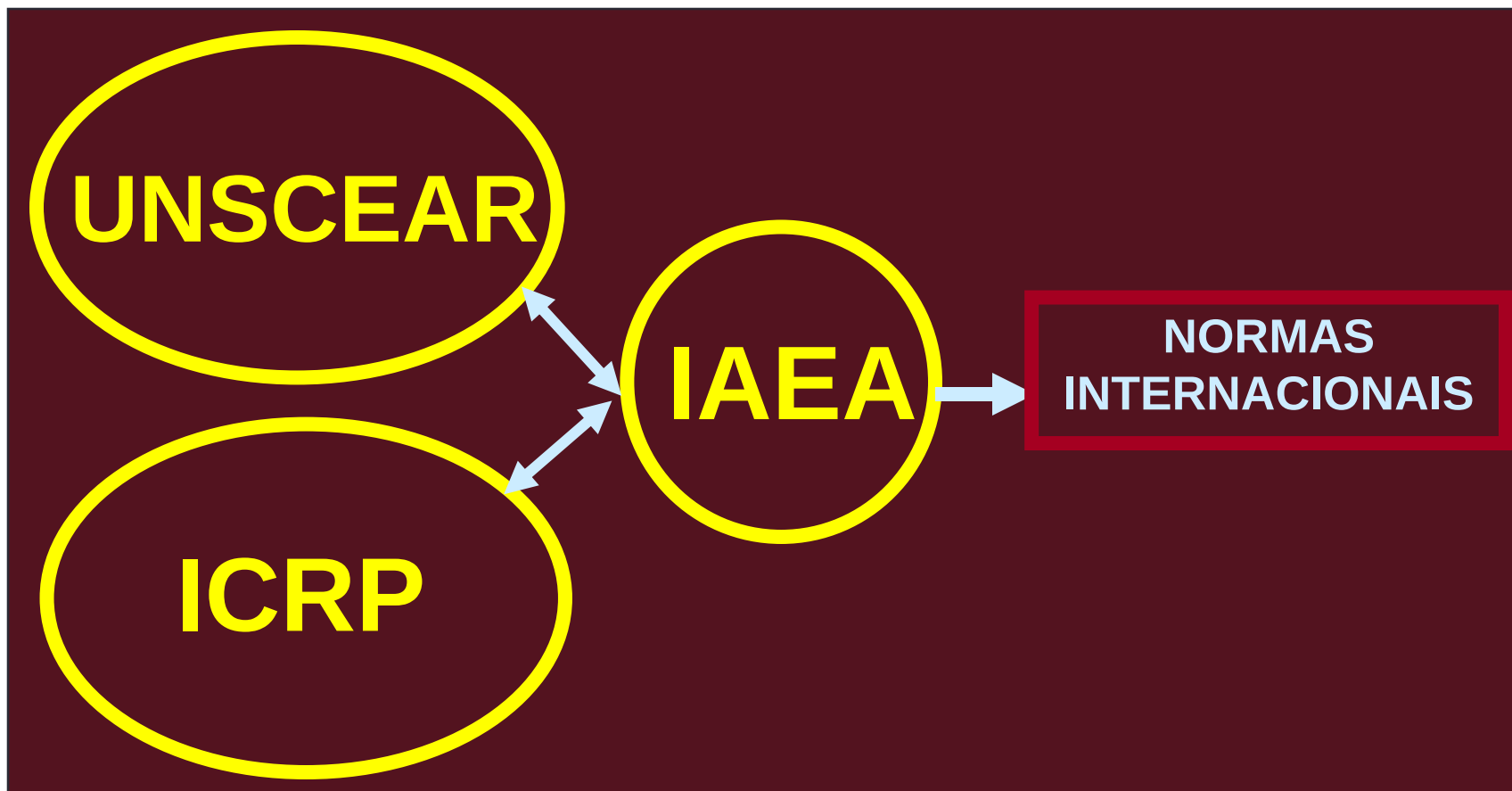
Grandezas e unidades

- Grandezas
 - Físicas (ICRU)
 - De proteção (ICRP)
 - Grandezas dosimétricas para o corpo humano
 - Operacionais (ICRU)
 - Quantificam a radiação em termos das grandezas físicas mensuráveis na prática



ORGANIZAÇÕES RELEVANTES EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Como funciona o sistema internacional?



Organizações relevantes: ICRP, IAEA, UNSCEAR

- ICRP fornece recomendações
- IAEA estabelece padrões de segurança e cuida de suas aplicações
- UNSCEAR estudo dos efeitos das radiações

Organizações relevantes: ICRP



- ICRP (<http://www.icrp.org>)
 - Leva em consideração
 - Princípios fundamentais
 - Bases quantitativas pelas quais medidas apropriadas de proteção radiológica podem ser estabelecidas
 - Deixa às organizações nacionais a responsabilidade pela formulação de recomendações específicas, códigos de prática ou regulamentos que melhor se ajustem às necessidades dos países

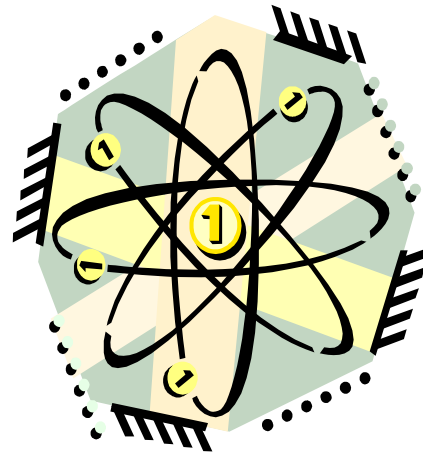
Organizações relevantes: ICRP



- ICRP (<http://www.icrp.org>)
 - Apresenta suas recomendações às agências regulatórias e fornece conselhos com a intenção de ajudar
 - no gerenciamento da proteção radiológica
 - profissionais com responsabilidades para proteção radiológica
- Não tem poder formal para impor suas propostas
 - As legislações de muitos países aderem às suas recomendações

Organizações relevantes: UNSCEAR

- *United Nations Scientific Committee for the Effects of the Atomic Radiation*
- Elaboram os “*UNSCEAR reports*” para a Assembleia Geral das Nações Unidas sobre os efeitos das radiações



Organizações relevantes: IAEA

IAEA (<http://www.iaea.org>)



- Organização independente e inter-governamental de base científica e tecnológica
- Parte da família das Nações Unidas
- Serve como ponto focal global para a cooperação nuclear
- **Objetivos estatutários:** buscar, acelerar e ampliar a contribuição da energia atômica à ... saúde... em todo o mundo.

Organizações relevantes: IAEA



- Funções estatutárias relacionadas à segurança:
 - Estabelecer padrões de segurança para a proteção da saúde
 - Cuidar para que estes padrões sejam aplicados ... quando requisitado por um país

Internacionais



*International Commission on
Radiation Units and Measurements, Inc.*



International Labour Organization



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия



International Agency for
Research on Cancer (IARC)

Centre International de
Recherche sur le Cancer (CIRC)



International
Organization for
Standardization



World Health Organization

USA e UK



Comissão Nacional de Energia Nuclear

ICRP




CNEC



INSTALAÇÕES NUCLEARES
PROTEÇÃO FÍSICA
RADIOPROTEÇÃO
TRANSPORTE
INSTALAÇÕES RADIATIVAS

Normas de radioproteção da CNEN

Normas para Pr

NN 3.01 Diretrizes Básicas Posições Regulatórias

3.01 / 001:2011 - Critér
3.01 / 002:2011 - Fatore
3.01 / 003:2011 - Coefic
3.01 / 004:2011 - Restri
3.01 / 005:2011 - Critér
3.01 / 006:2011 - Medid
3.01 / 007:2005 - Níveis
3.01 / 008:2011 - Progra
3.01 / 009:2011 - Model
3.01 / 010:2011 - Níveis
3.01 / 011:2011 - Coefic

NE 3.02 Serviços de Radia

NN 3.05 Requisitos de seg

NN 7.01 Certificação da Q

Norma CNEN NN 3.01
Resolução 164/14
Março / 2014

DIRETRIZES BÁSICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Resolução CNEN 27/04
Publicação: DOU 06.01.2005

Resolução CNEN 48/05 (Alteração dos itens 1.2.5, 2.2 e 7)
Publicação: DOU 14.11.2005

Portaria CNEN 07/05 (Alteração dos itens 2.2 e 5.4.3.4)
Publicação: DOU 18.01.2006

Resolução CNEN 114/11 (Alteração do item 5.4.2.1)
Publicação: DOU 01.09.2011

Resolução CNEN 164/14 (Alteração do item 5.4.3.1)
Publicação: DOU 11.03.2014



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação

s de proteção radiológica

radiológica

e expostos

classificação de áreas

ração individual

uações de emergência

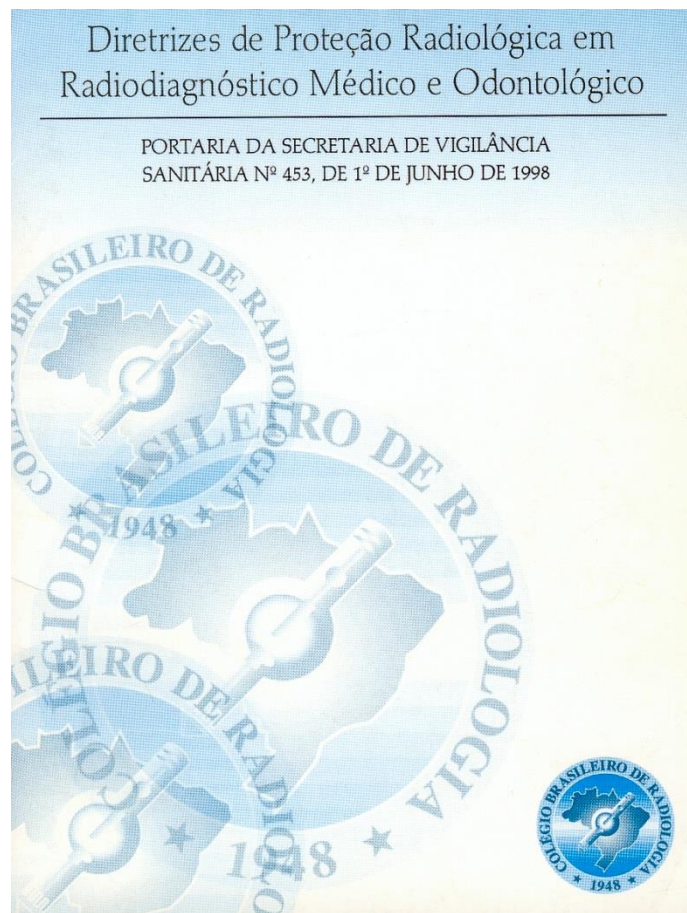
a

monitoração radiológica ambiental

medicina nuclear (Resolução CNEN 159/13)

gica (Resolução CNEN 194/16)

ANVISA



World Health Organization

DEFINIÇÕES DAS GRANDEZAS



RADIOMETRIA

ESCALARES

NÚMERO DE
PARTÍCULAS

ENERGIA
RADIANTE

FLUXO

FLUXO DE
ENERGIA

FLUÊNCIA
(E TAXA)

FLUÊNCIA DE
ENERGIA

RADIÂNCIA
DE PARTÍC.

RADIÂNCIA
DE ENERGIA

VETORIAIS

RADIÂNCIA
VETORIAL DE
PARTÍCULAS

RADIÂNCIA
VETORIAL DE
ENERGIA

COEF. DE INTERAÇÃO E GRANDEZAS RELACIONADAS

SECÇÃO DE
CHOQUE

COEF. DE
ATENUAÇÃO
POR MASSA

COEF. DE
TRANSF. DE
ENERGIA
POR MASSA

PODER DE
FREAMENTO
POR MASSA

TRANSF.
LINEAR DE
ENERGIA

RENDIMENTO
RADIATIVO
QUÍMICO

ENERGIA P/
FORMAR
PAR IONICO

DOSIMETRIA

CONVERSÃO DE ENERGIA

KERMA E
TX DE KERMA

EXPOSIÇÃO
E TX DE EXP.

CEMA E
TX DE CEMA

DEPOSIÇÃO DE ENERGIA

ENERGIA
DEPOSITADA

ENERGIA
CEDIDA

ENERGIA
LINEAR

ENERGIA
ESPECÍFICA

DOSE
ABSORVIDA
E TX DE
DOSE ABS.

RADIOATIVIDADE

CONST. DE
DECAIMENTO

ATIVIDADE

CONST. DE
TX DE
KERMA NO AR

Grandezas radiométricas

KERMA
(K)



GRANDEZAS



DOSE
ABSORVIDA
(D)



EXPOSIÇÃO
(X)



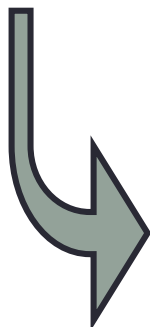
DESCRIÇÃO DE FEIXES
DE FÓTONS EM TERMOS
DE SUA CAPACIDADE
DE IONIZAR O AR



LIBERAÇÃO DE
PARTÍCULAS CARREGADAS

ETAPA INICIAL DE DISSIPAÇÃO
DE ENERGIA PELA RADIAÇÃO
INDIRETAMENTE IONIZANTE

DESCREVE A ENERGIA
DEPOSITADA NA MATÉRIA
POR QUALQUER TIPO DE
RADIAÇÃO



Grandezas radiométricas



International Commission on
Radiation Units & Measurements

- ICRU 1 Discussion on International Units and Standards for X-ray Work - *Brit. J. Radiol.* Vol.23, 64-101 (1927)
- ICRU 2 International X-Rays Unit of Intersity - *Brit. J. Radiol.(new series)* Vol.1, 360-365 (1928)
- ICRU 3 Report of Committee on Standardization of X-ray Measuremetns - *Radiology* Vol.22, 289-294 (1934)
- ICRU 4 Recommendations of the International Committee for Radiological Units - *Radiology* Vol.23, 580-581 (1934)
- ICRU 5 Recommendations of the International Committee for Radiological Units - *Radiology* Vol.29, 634 -636 (1937)
- ICRU 6 Recommendations of the [International Commission on Radiological Protection](#) and of the International Commission on Radiological Units (*NBS 47*) (1951)
-
- ICRU 44 Tissue Substitutes in Radation Dosimetry and Measurement (1989)
- ICRU 51Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry (1993)
- ICRU 57 Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation (1998)
- ICRU 60 Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation (1998)

Algumas das mais recentes do ICRU

ICRU REPORT 57

Volume 14 No 1 2014

ISSN 1473-6691 (print)
ISSN 1472-3422 (online)

Journal of the ICRU

ICRU REPORT 90

Key Data for Ionizing-Radiation
Dosimetry: Measurement Standards
and Applications

OXFORD
UNIVERSITY PRESS



OXFORD UNIVERSITY PRESS

INTERNATIONAL COMMISSION ON
RADIATION UNITS AND
MEASUREMENTS

Volume 8 No 2 2008

ISSN 1473-6691

Volume 11 No 1 2011

Volume 5 No 2 2005

ISSN 1473-6691

Journal of the ICRU

Journal of the ICRU

ICRU REPORT 85

Fundamental Quantities
of Ionizing Radiation

ICRU REPORT 74

Patient Dosimetry for X Rays used in
Medical Imaging

OXFORD
UNIVERSITY PRESS

OXFORD
UNIVERSITY PRESS

OXFORD
UNIVERSITY PRESS

OXFORD JOURNALS
OXFORD UNIVERSITY PRESS



OXFORD UNIVERSITY PRESS

INTERNATIONAL COMMISSION ON
RADIATION UNITS AND
MEASUREMENTS

Natureza estocástica da radiação

Quantos "raios" (fótons ou partículas)
irão atingir o ponto P por unidade de tempo?

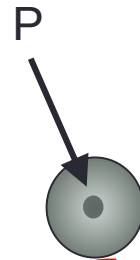
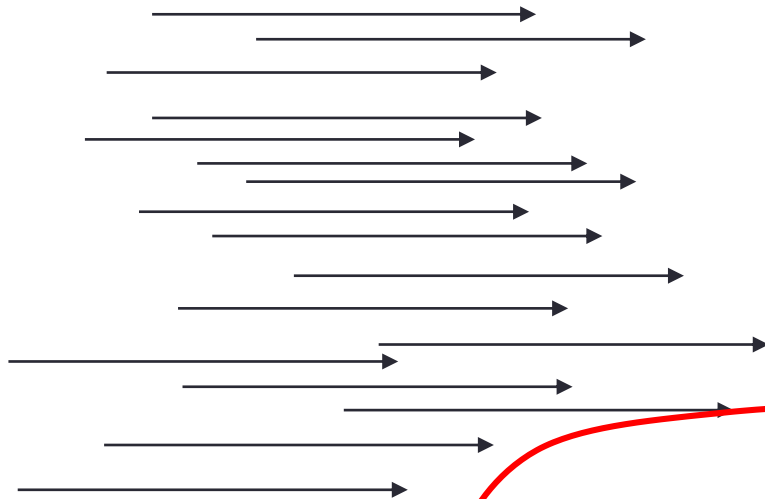
1 ?

10 ?

10^{10} ?

0 ?

Feixe de radiação



UM PONTO
NÃO TEM SECÇÃO
TRANSVERSAL

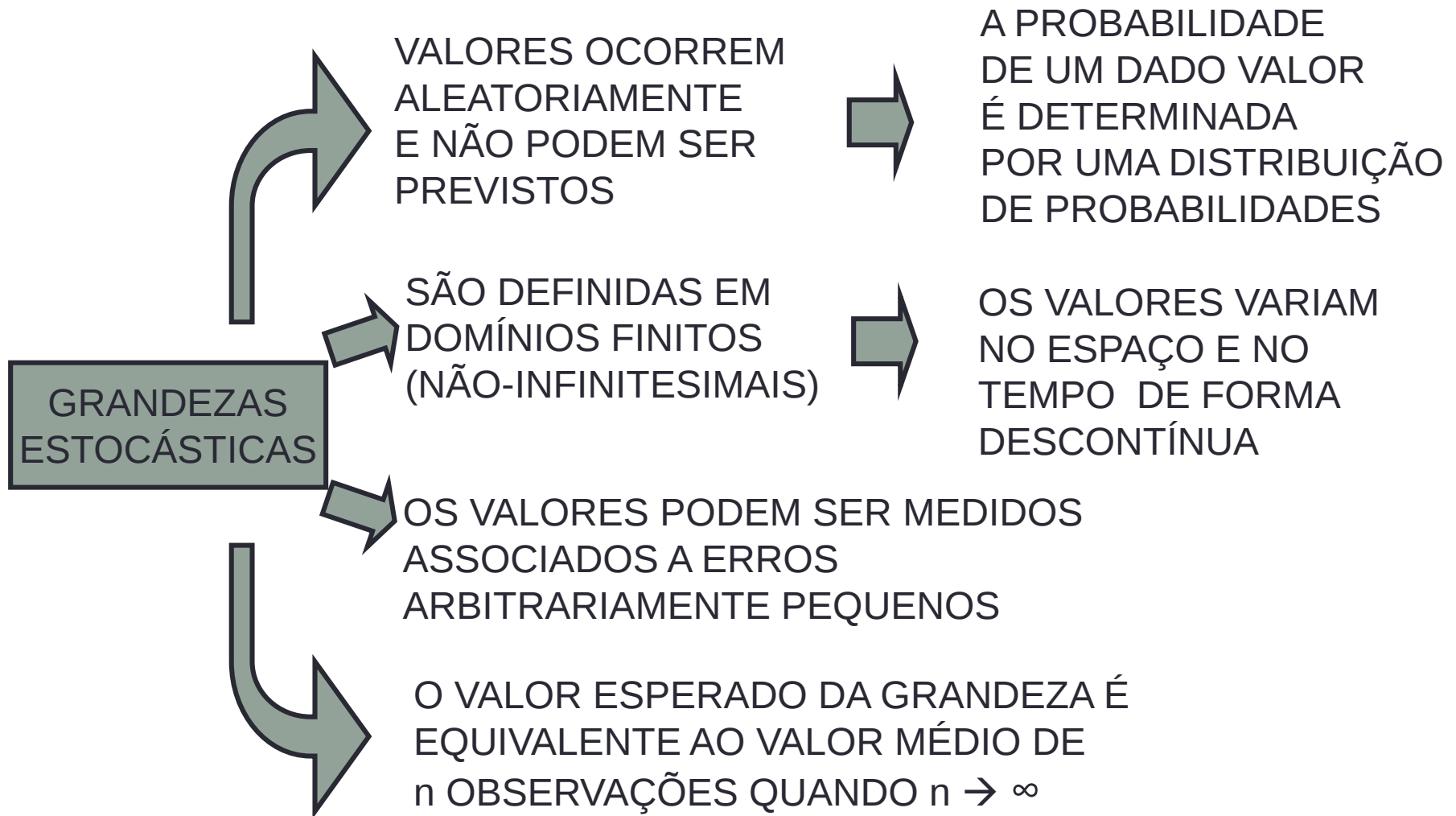
QUE TAMANHO
DEVE TER dV ?

DEPENDE DA
GRANDEZA FÍSICA
USADA SER

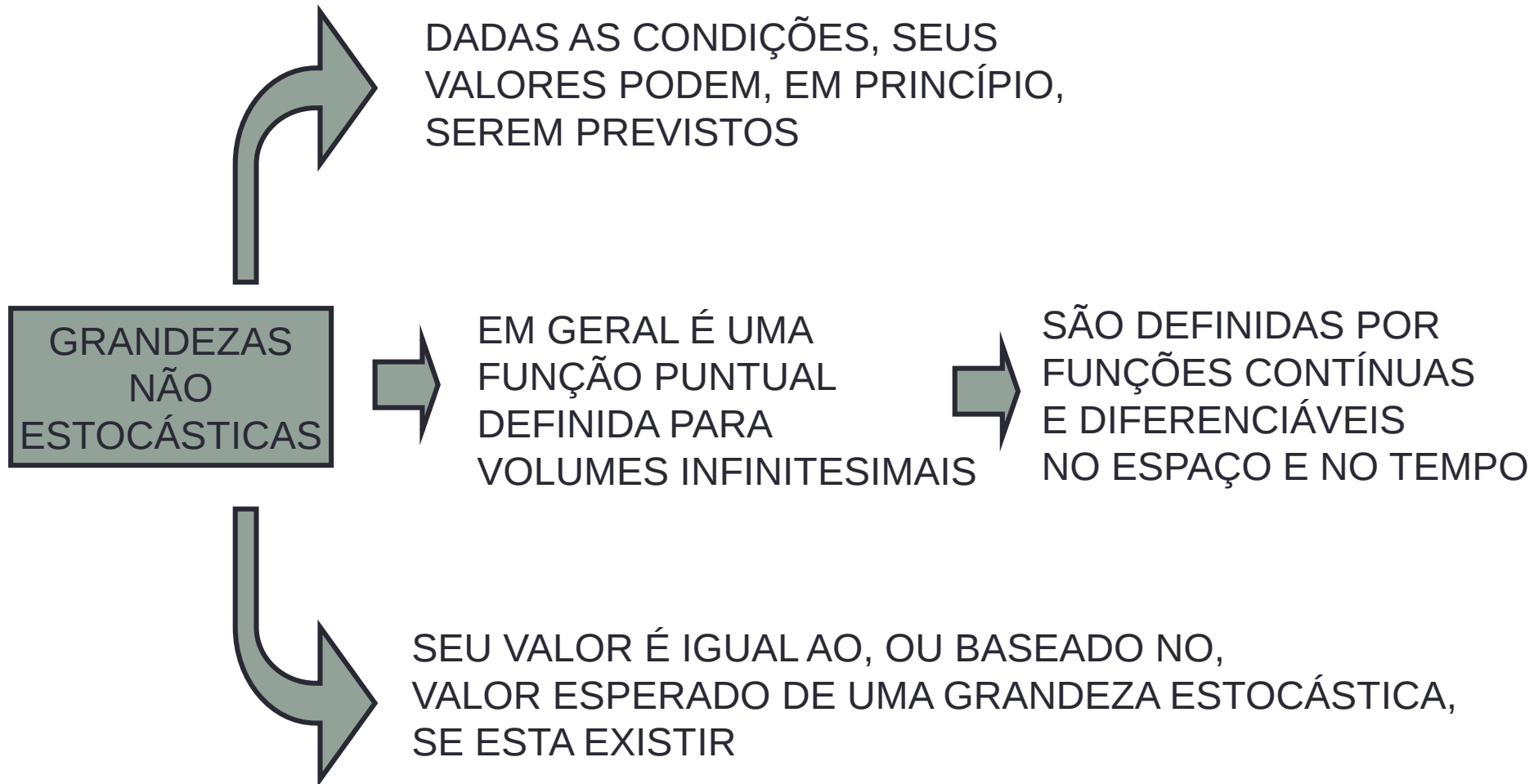
ESTOCÁSTICA

NÃO-ESTOCÁSTICA

Natureza estocástica da radiação

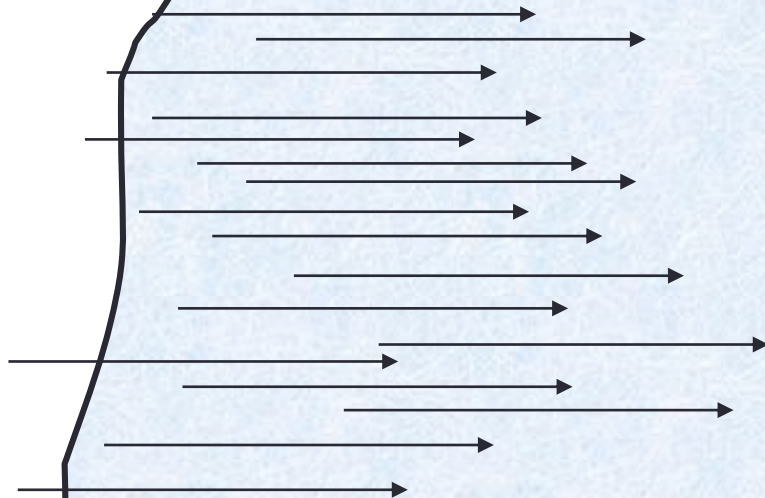


Natureza estocástica da radiação



Natureza estocástica da radiação

Feixe de radiação



P

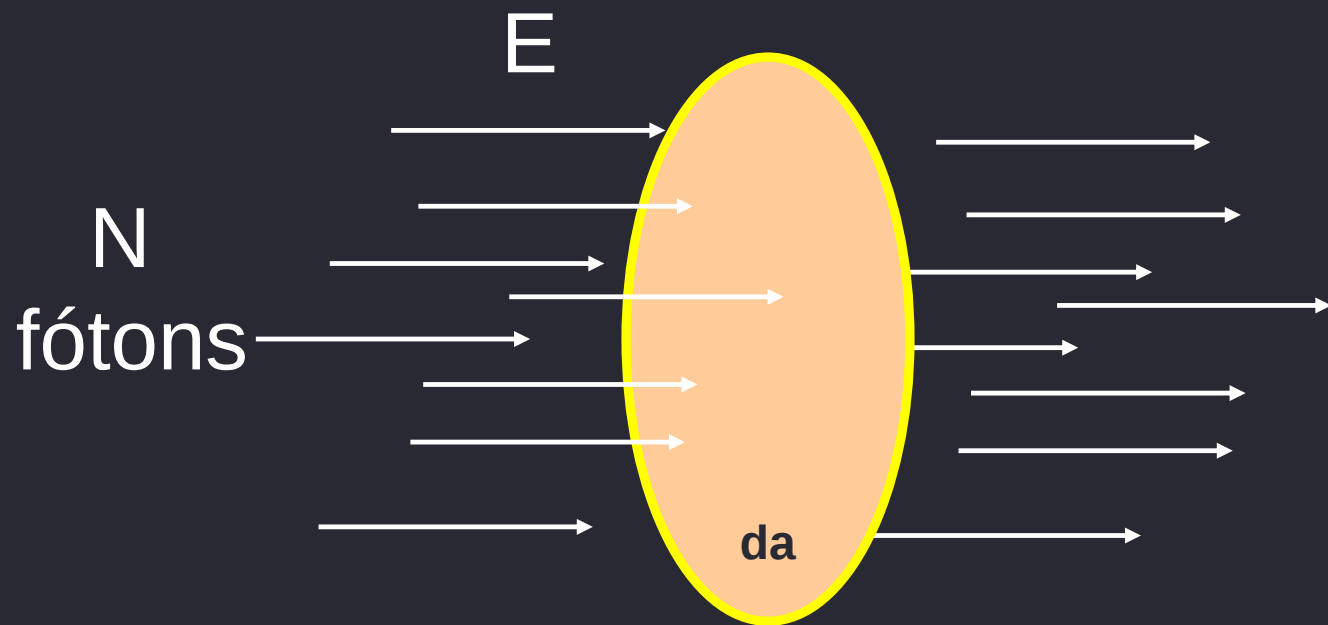


dV

estatística
de Poisson

Pequeno, mas finito
Massa dm
Secção transversal da

Fluência



Descrição de feixes de radiação através de grandezas não-estocásticas

FLUÊNCIA

$$\Phi = \frac{dN_e}{da}$$

Valor esperado do número de “raios” atingindo a área da em torno de P durante um intervalo de tempo

TAXA DE FLUÊNCIA

$$\varphi = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dN_e}{da} \right)$$

Valor esperado da energia total (exceto massa de repouso) dos N_e “raios” que atingem a área da em torno de P

FLUÊNCIA DE ENERGIA

$$\Psi = \frac{dE_{tot}}{da}$$

$$\Phi(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} \varphi(t) dt = \varphi \cdot (t_1 - t_0) = \varphi \cdot \Delta t$$

Campo independente do tempo

TAXA DE FLUÊNCIA DE ENERGIA

$$\psi = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dE_{tot}}{da} \right)$$

$$\Psi(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} \psi(t) dt = \psi \cdot (t_1 - t_0) = \psi \cdot \Delta t$$

Campo independente do tempo

Para um feixe de uma única energia

$$\begin{cases} E_{tot} = EN_e \\ \psi = E\varphi \end{cases}$$

$$\Psi = E\Phi$$

Grandezas físicas

- Fluências

- Fluência de fótons

$$\Phi = \frac{dN}{da} \left[\frac{\text{número de fótons}}{\text{área}} \right]$$

- Fluência de energia

$$\Psi = \frac{dN \cdot E}{da} \left[\frac{\text{energia}}{\text{área}} \right]$$

- Taxa de fluência de fótons

$$\dot{\Phi} = \frac{d\Phi}{dt} \left[\frac{\text{número de fótons}}{\text{área} \times \text{tempo}} \right]$$

- Taxa de fluência de energia

$$\dot{\Psi} = \frac{d\Psi}{dt} \left[\frac{\text{energia}}{\text{área} \times \text{tempo}} \right]$$

Grandezas Físicas

- Exposição

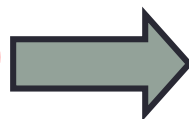
$$X = \frac{dQ}{dm}$$

- **dQ** representa o valor absoluto das cargas elétricas de todos os íons com o mesmo sinal produzidos no ar, quando todos os elétrons e pósitrons liberados ou criados pelos fótons em um elemento de volume de ar cuja massa é **dm**, forem completamente freados no ar
- Unidade atual: C/kg
 - Emissão de uma unidade de carga de cada sinal em 0,001293g (1cm³ em 0º e 760mmHg) de ar
- Unidade antiga: roentgen
 - 1R = 2,58x10⁻⁴C/kg
 - 1C/Kg_{ar} = 3,876R

Grandezas Físicas

DEFINIÇÃO DO ICRU 85 (2011)

$$X = \frac{dQ}{dm}$$



VALOR ABSOLUTO
DO TOTAL DE CARGAS
DOS IONS DE MESMO
SINAL PRODUZIDOS
NO AR QUANDO TODOS
OS ELÉTRONS (+ OU -)
LIBERADOS POR FÓTONS
NO AR DE MASSA dm
SÃO COMPLETAMENTE
FREADOS NO AR

Grandezas Físicas

$N_p \rightarrow$ número de pares de ions formados
em um volume de ar de 1kg

Exposição à radiação gama ou X de 1R

$$\begin{aligned} N_p &= \frac{\text{carga total de ions de um mesmo sinal}}{\text{carga do elétron}} \\ &= \frac{2,58 \times 10^{-4} \text{C}}{1,6 \times 10^{-19} \text{C}} = 1,6125 \times 10^{15} \text{ pares de ions} \end{aligned}$$

Grandezas físicas

- Exposição

- Só para radiação eletromagnética
- Indefinida para $E > 3\text{MeV}$
 - Limitação para detecção das cargas produzidas
- Baseada na habilidade da radiação em ionizar o ar
 - É mais fácil coletar íons em gases que em líquidos ou sólidos
 - Conveniência em usar o ar em câmaras de ionização
 - O ar pode ser considerado equivalente à água e ao tecido mole em termos de absorção da energia da radiação
 - $Z_{\text{ef}} = 7,64$ (ar)
 - $Z_{\text{ef}} = 7,42$ (água)
 - $Z_{\text{ef}} = 7,22$ (tecido mole)
 - $Z_{\text{ef}} = 7,46$ (músculo estriado)
- Pressão dos médicos para correlacionar uma grandeza com os efeitos biológicos



UNIDADE
ANTIGA E
NO SI

$$1R = 2,58 \times 10^{-4} Ckg^{-1}$$

$$X[R] = 3876 X[Ckg^{-1}]$$

PARA UM
ESPECTRO
DE FLUÊNCIA

$$X = \int_0^{E_{\max}} \Psi(E) \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,ar} \left(\frac{e}{\overline{W}} \right)_{ar} dE$$

Grandezas físicas

☒ Taxa de exposição

$$\dot{X} = \frac{dQ/dm}{dt}$$

☒ Unidade no SI

☒ C/kg/s



Relação entre exposição e atividade

$$X = \frac{\Gamma A t}{r^2}$$

Tab. 9.1 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS RADIONUCLÍDEOS

Radionuclídeo	Meia-vida	Energia do fóton	Γ ($\text{R} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mCi}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)*
Cs-137	30 anos	660 keV (1 fóton)	3,249
Co-60	5,26 anos	1,173; 1,322 MeV (2 fótons)	12,97
Ir-192	74,2 dias	0,1363-1,062 MeV (vários fótons)	3,970
Ra-226	1.602 anos	0,0465-2,44 MeV (vários fótons)	10,07

Fonte: Attix (1986).

*Note que a unidade de Γ da tabela é antiga e não pertence ao SI. Os valores de Γ foram calculados levando em conta que, para elétrons e fótons no ar seco, $W = 33,97 \text{ eV}/(\text{par de íons})$.

exemplo

Exemplo 9.1

Um técnico entrou numa sala de irradiação e não percebeu que uma fonte de Cs-137 estava exposta. Essa fonte estava com atividade de 300 mCi, e foi estimado que o técnico permaneceu a 1 m da fonte durante 2 minutos. Avalie o valor da exposição na entrada da pele do corpo do técnico.

$$X = \frac{\Gamma A t}{r^2} = \frac{3,249 \times 300 \times (\frac{2}{60})}{100^2} = 3,25 \text{ mR}$$