

O Perfil de Raios Gama

RADIOATIVIDADE

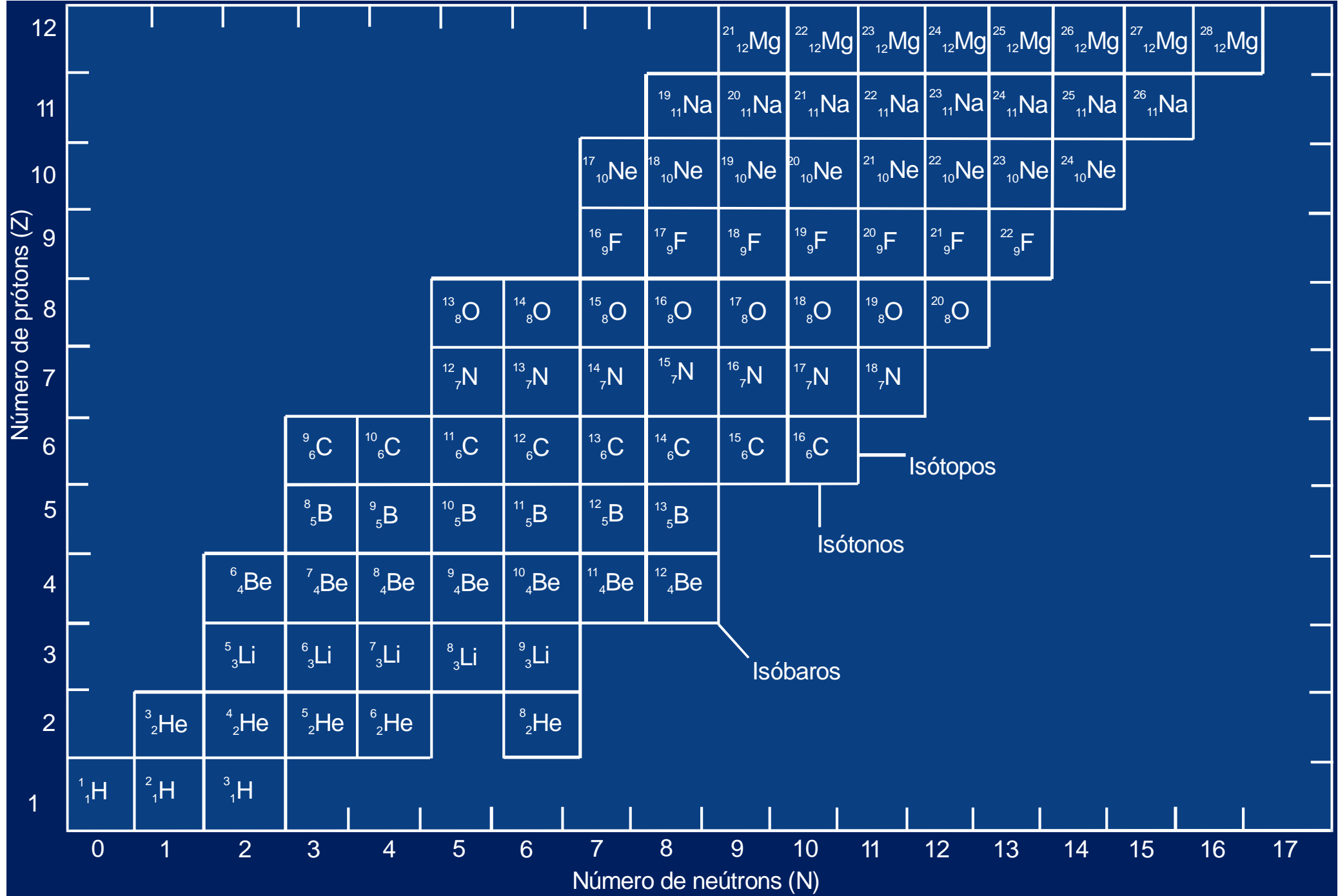
- O esquecimento de uma rocha de urânio sobre um filme fotográfico virgem levou à descoberta de um fenômeno interessante: o filme foi velado (marcado) por “alguma coisa” que saía da rocha, na época denominada raios ou **radiações**.
- Outros elementos pesados, com massas próximas à do urânio, como o **rádio** e o **polônio**, também tinham a mesma propriedade.
- O fenômeno foi denominado **radioatividade** e os elementos que apresentavam essa propriedade foram chamados de **elementos radioativos**.
- Na natureza, todos os elementos com **número atômico (Z) maior que 83 são radioativos**
- Radioatividade é o decaimento espontâneo (ou desintegração) de um núcleo atômico instável acompanhado pela emissão de radiação (partículas e/ou fótons).

Periodic Table of the Elements																					
1 1IA 11A																	18 VIIIA 8A				
1 H Hydrogen 1.0079	2 IIA 2A															13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	2 He Helium 4.00260
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01218															5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.998403	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.989768	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 Al Aluminum 26.981539	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948				
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.732	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92159	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80				
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.9072	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29				
55 Cs Cesium 132.90543	56 Ba Barium 137.327	57-71	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.9665	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98037	84 Po Polonium [208.9824]	85 At Astatine 209.9871	86 Rn Radon 222.0176				
87 Fr Francium 223.0197	88 Ra Radium 226.0254	89-103	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Uut Ununtrium unknown	114 Fl Flerovium [289]	115 Uup Ununpentium unknown	116 Lv Livermorium [298]	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown				
Lanthanide Series		57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.9127	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.9655	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967					
		89 Ac Actinium 227.0278	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium 237.0482	94 Pu Plutonium 244.0642	95 Am Americium 243.0614	96 Cm Curium 247.0703	97 Bk Berkelium 247.0703	98 Cf Californium 251.0796	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.0951	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.1009	103 Lr Lawrencium [262]					
		Alkali Metals	Alkaline Earths	Transition Metals	Basic Metals	Semi-Metals	Nonmetals	Halogens	Noble Gases	Lanthanides	Actinides										

ISÓTOPOS

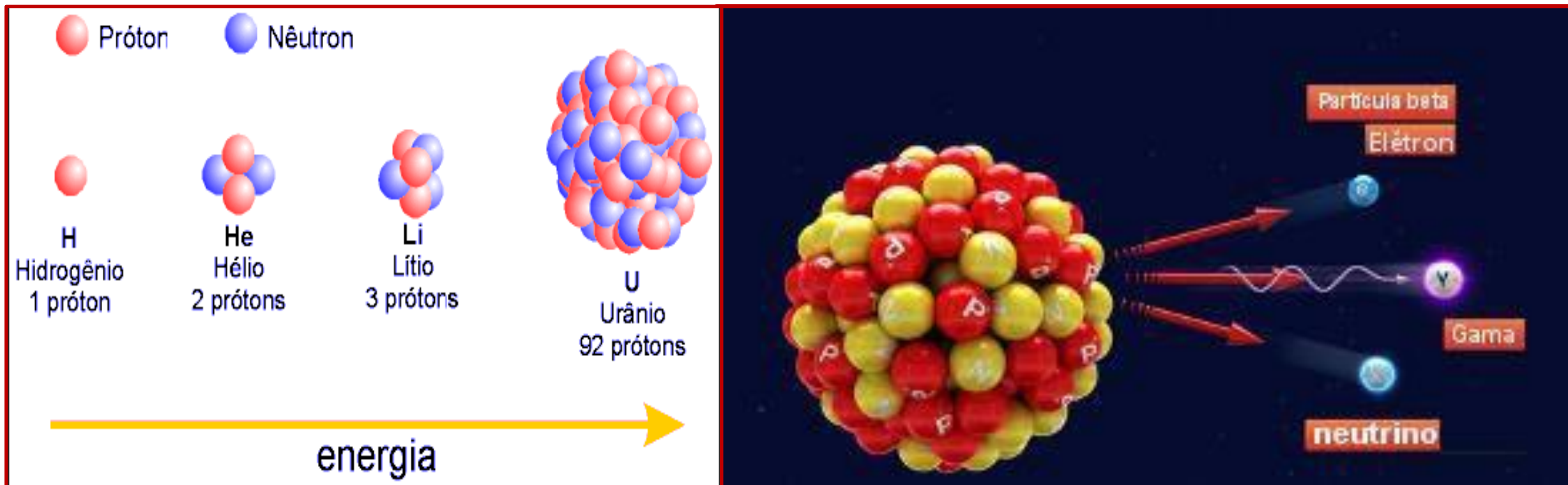
- ❖ **ISÓTOPOS**: Possuem o mesmo número de prótons (número atômico) e massas diferentes; ou seja, são formas do mesmo elemento com diferentes pesos atômicos;
- ❖ **Átomos=prótons+nêutrons**
- ❖ Os prótons (N° atômico) identificam os elementos químicos, comandando seu comportamento em relação aos outros elementos;
- ❖ O número de **nêutrons pode ser variável**, com isso um mesmo elemento pode ter massas diferentes;





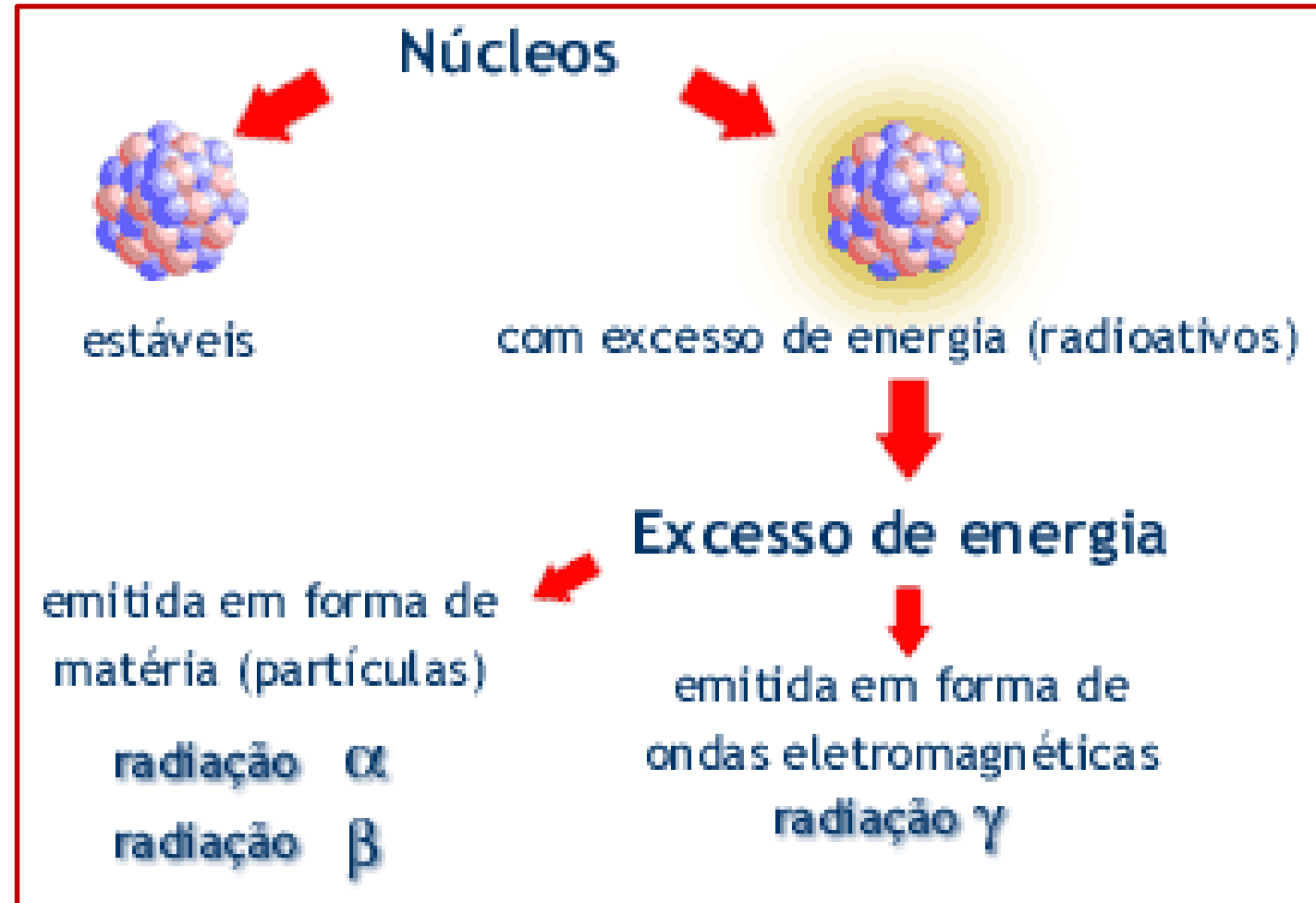
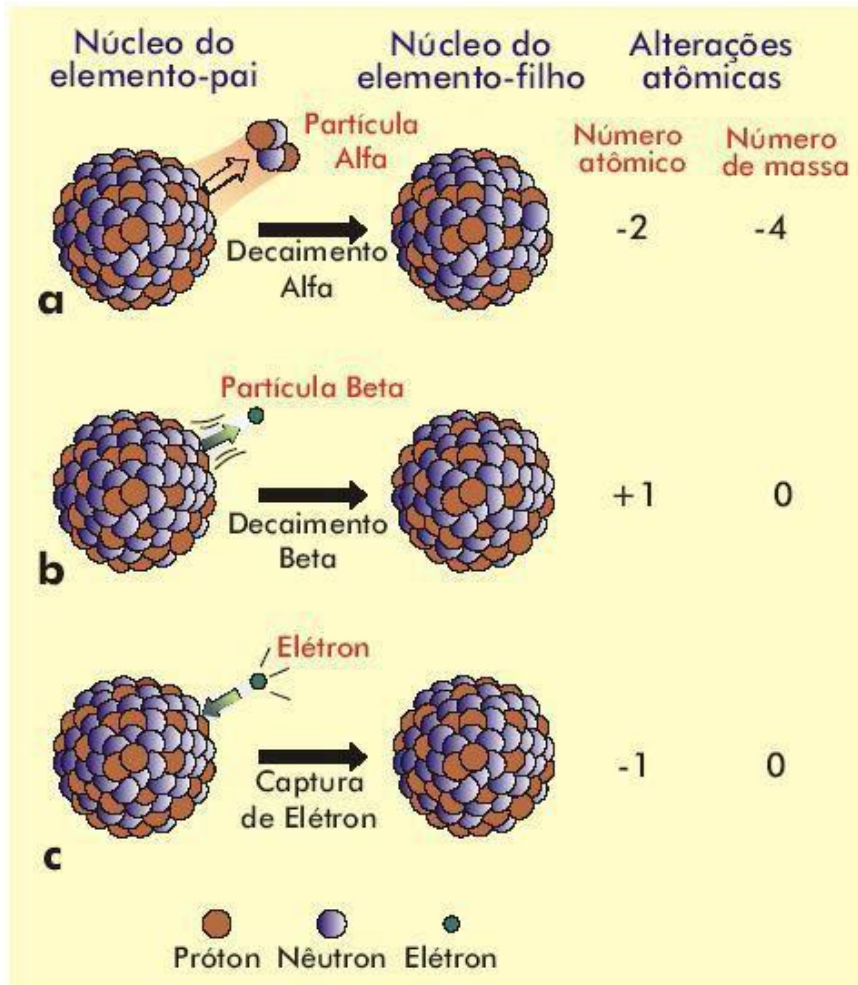
ISÓTOPOS

- Os isótopos são classificados em dois grupos: **isótopos estáveis e isótopos radioativos**
- Os isótopos radioativos são instáveis e podem se desintegrar espontaneamente para formar outros elementos. A desintegração é acompanhada pela emissão de radioatividade.



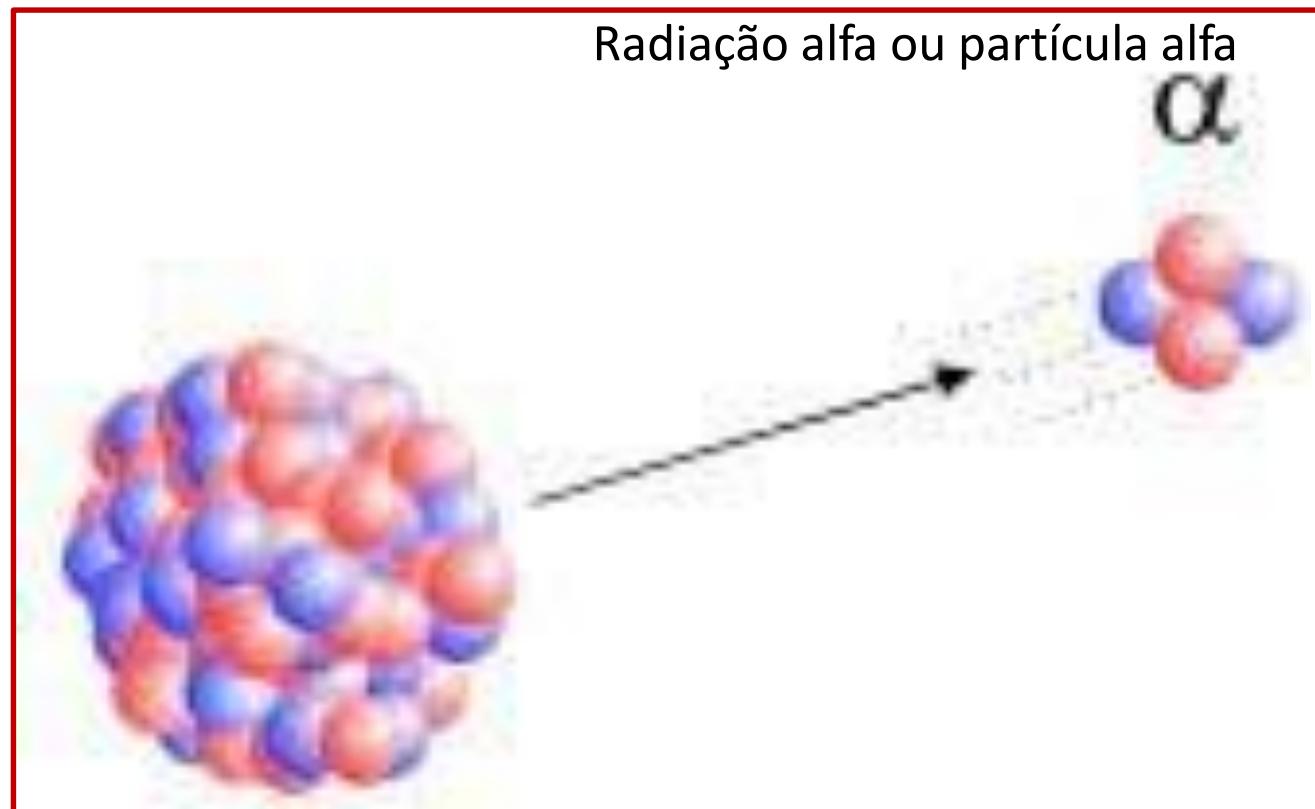
RADIOATIVIDADE

- Quando um núcleo tem excesso de partículas ou muita energia, ele pode tornar-se instável. Se isso acontece ele procurará atingir a estabilidade emitindo algum tipo de radiação. Cada tipo de radiação produz efeitos diferentes nos átomos.

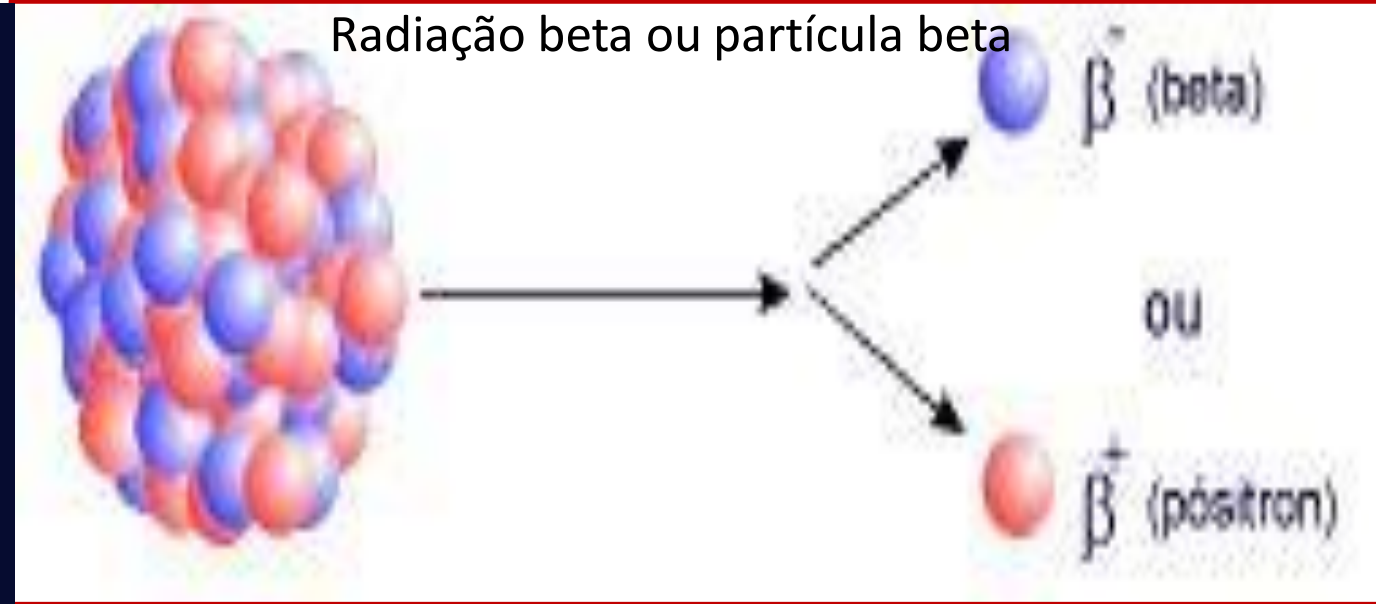
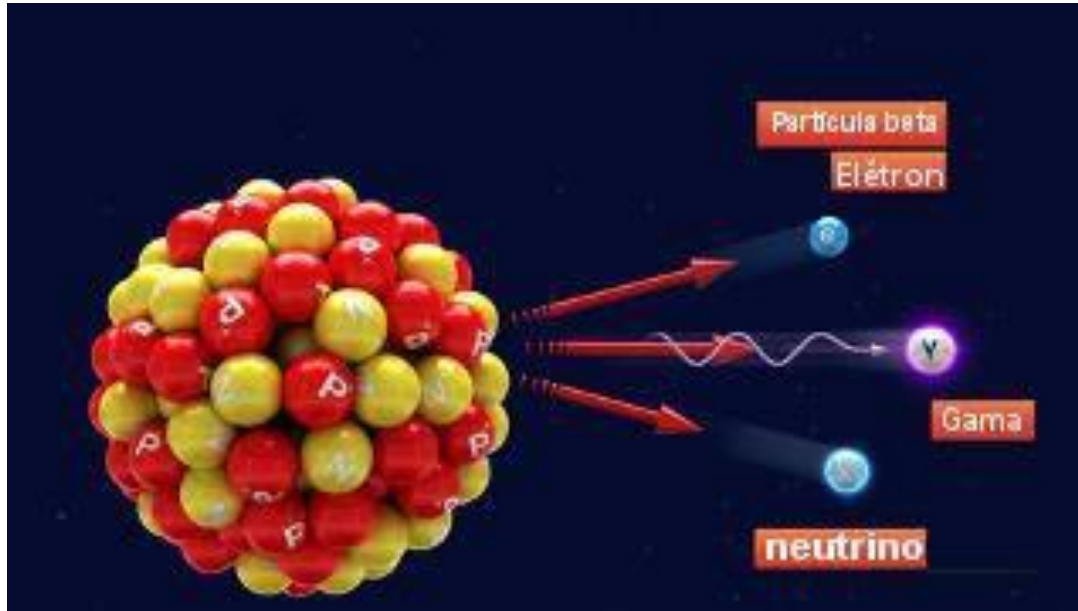


PROCESSOS DE DECAIMENTO RADIOATIVO

Um dos processos de estabilização de um núcleo com excesso de energia é o da emissão de um grupo de partículas positivas, constituídas por **dois prótons e dois nêutrons**, e da energia a elas associada. São as **radiações alfa** ou **partículas alfa**, núcleos de hélio (He), um gás chamado nobre, por não reagir quimicamente com os demais elementos.



PROCESSOS DE DECAIMENTO RADIOATIVO



Outra forma de estabilização, quando existe no núcleo um excesso de nêutrons em relação a prótons, é através da emissão de uma partícula negativa, um elétron, resultante da conversão de um nêutron em um próton. É a **partícula beta negativa** ou, simplesmente, **partícula beta**.

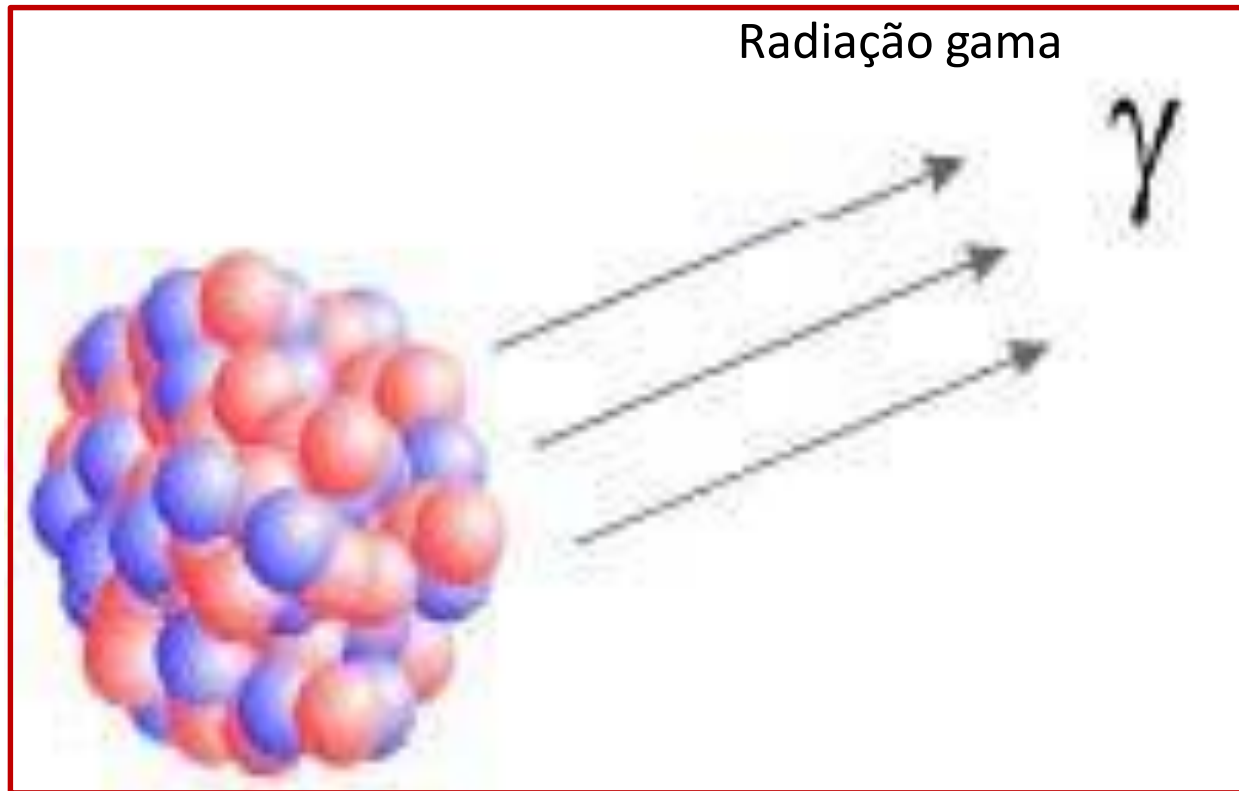
No caso de existir excesso de cargas positivas (prótons), é emitida uma partícula beta positiva, chamada **pósitron**, resultante da conversão de um próton em um nêutron.

PROCESSOS DE DECAIMENTO RADIOATIVO

Geralmente, após a emissão de uma partícula alfa (α) ou beta (β), o núcleo resultante desse processo, ainda com excesso de energia, procura estabilizar-se, emitindo esse excesso em forma de onda eletromagnética, da mesma natureza da luz, denominada **radiação gama**.

A unidade usualmente empregada para medir a energia de um fóton incidente proveniente de radiação gama é MeV

1 eV = energia que um elétron adquire ao atravessar um potencial elétrico de 1V



DECAIMENTO RADIOATIVO

MEIA VIDA: A meia-vida de um elemento é definida como o tempo levado para que o N_0 diminua pela metade. A constante de decaimento não é afetada por condições externas como temperatura, pressão e composição química.

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

λ é a constante de decaimento radioativo, N_0 é o número de radionuclídeos presentes no tempo $t = 0$ e N é o número de núclídeos presentes após um tempo t .

Decaimento radioativo para os isótopos radiogênicos (filhos)

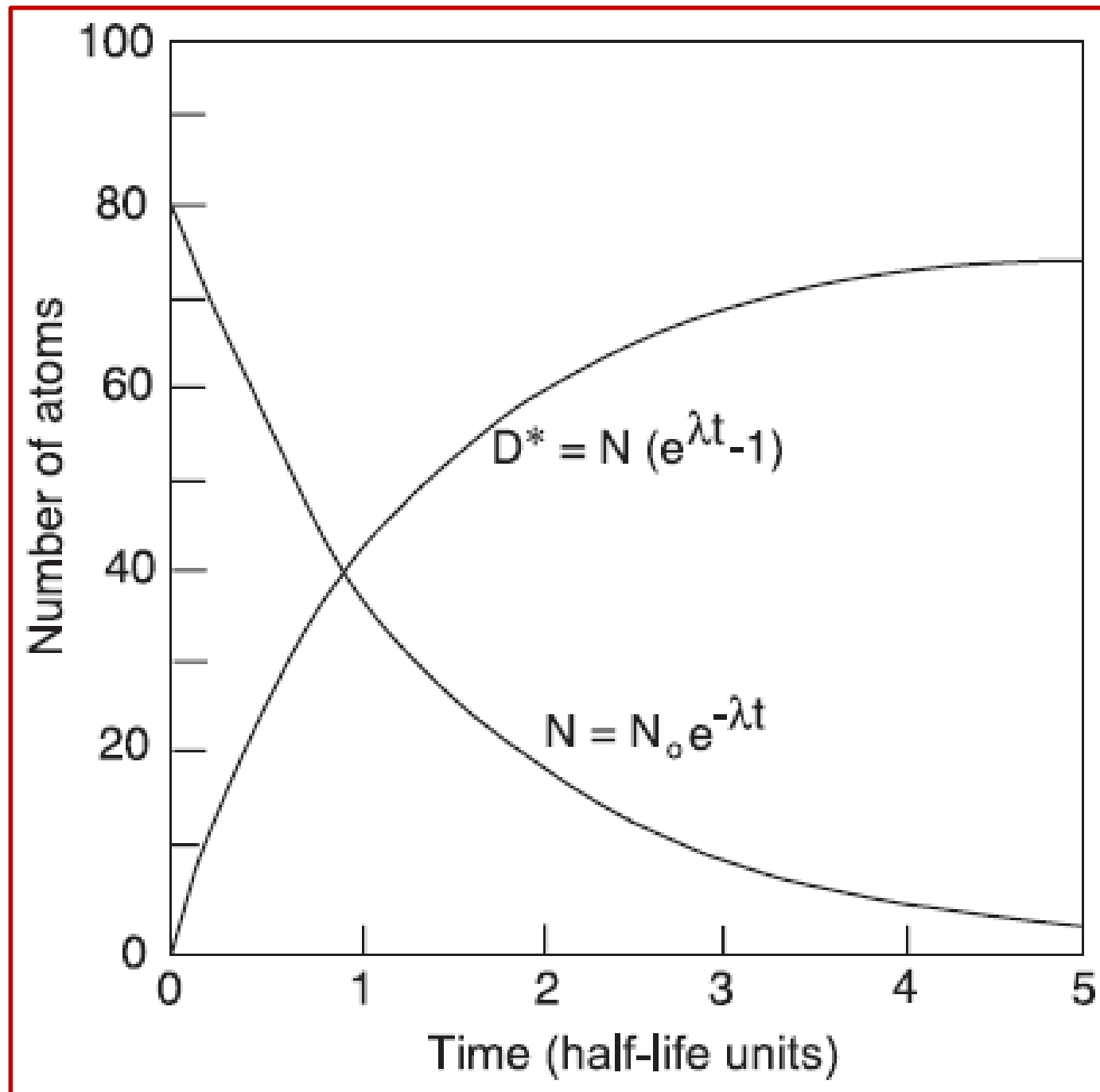
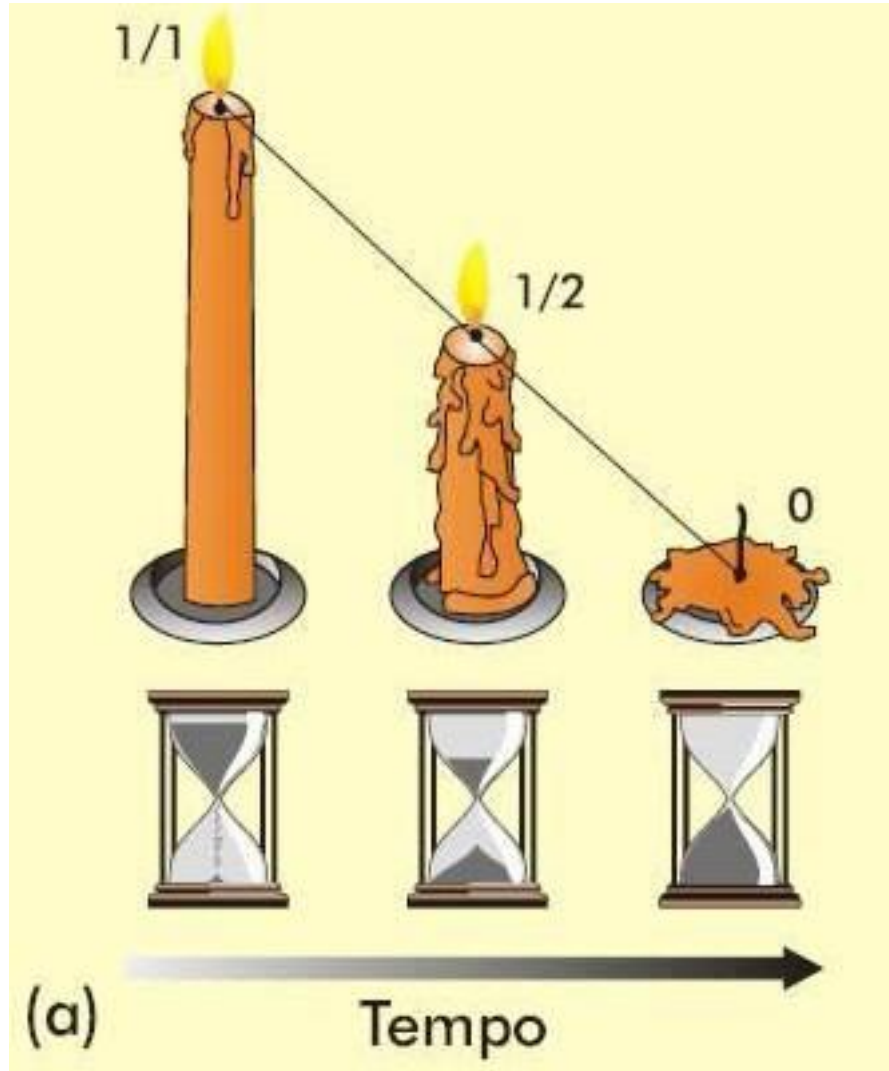
$$D = D_0 + D^*$$

$$D^* = N_0 - N$$

- $D^* = N(e^{\lambda t} - 1)$

- D** = quantidade de isótopos filhos presentes no sistema; **D₀** = quantidade presente inicialmente de isótopos filhos; **D*** = quantidade de isótopos radiogênicos (filhos) produzidos pelo decaimento dos isótopos radioativos em um tempo t .

DECAIMENTO RADIOATIVO



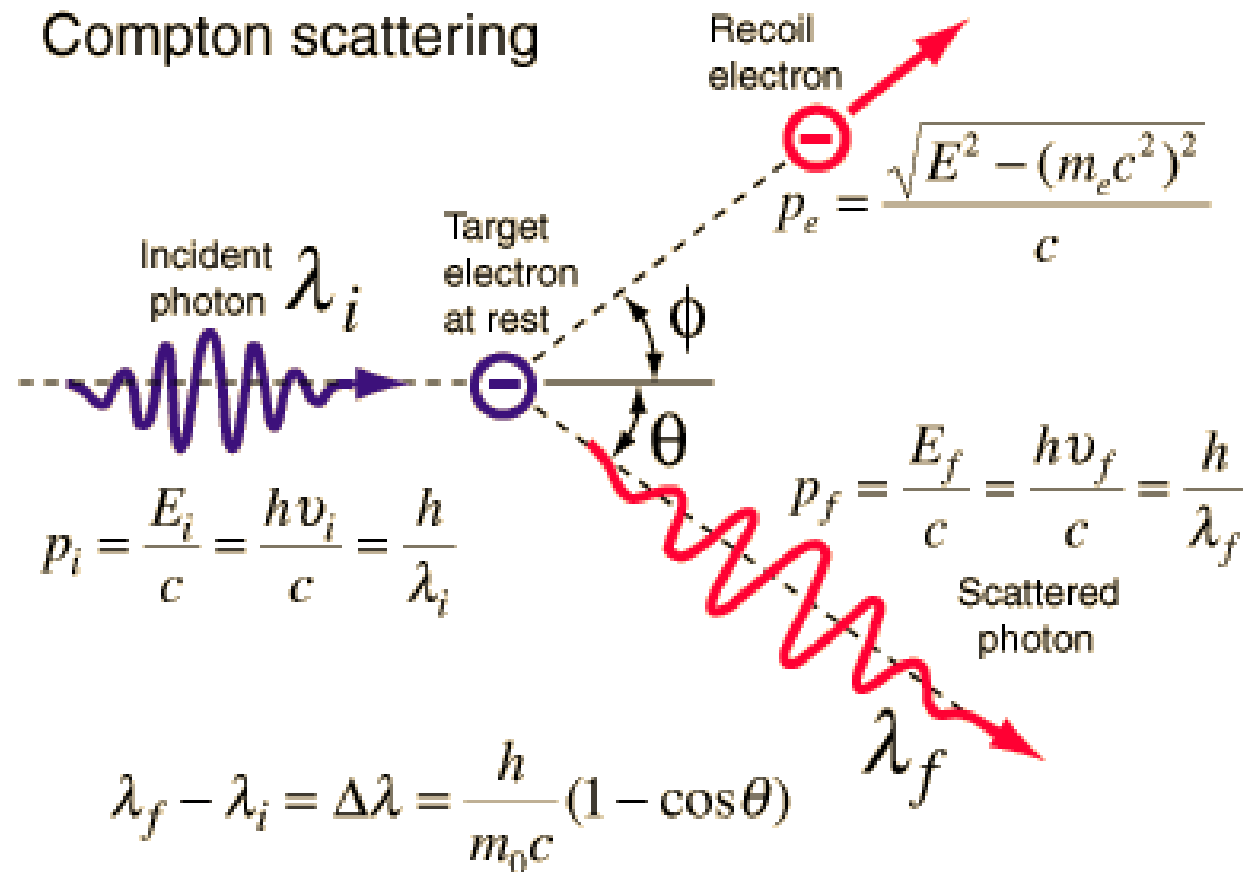
ISÓTOPOS MAIS UTILIZADOS EM DATAÇÃO RADIOMÉTRICA E SUAS RESPECTIVAS MEIAS-VIDAS

Isótopo Radioativo		Isótopo Radiogênico		Meia-Vida (Ga)
Potássio 40	^{40}K	Argônio 40	^{40}Ar	1,3
Rubídio 87	^{87}Rb	Estrôncio 87	^{87}Sr	48,8
Samário 147	^{147}Sm	Neodímio 143	^{143}Nd	106
Tório 232	^{232}Th	Chumbo 208	^{208}Pb	14,01
Urânio 235	^{235}U	Chumbo 207	^{207}Pb	0,704
Urânio 238	^{238}U	Chumbo 206	^{206}Pb	4,47
Rênio 187	^{187}Re	Ósmio 187	^{187}Os	42,3

Absorção dos Raios Gama pela Matéria

- Os raios gama, energia eletromagnética também denominados de fótons, reagem com a matéria (rochas) de várias maneiras.
- A mais importante delas, para a geofísica, é a de espalhamento inelástico denominada de Efeito Compton.
 - Este efeito, se processa entre um fóton incidente de média energia (maior que 10 KeV e menor que 1,02 MeV) e um elétron orbital.
 - O fóton incidente ejeta o elétron de sua órbita, cede ao mesmo parte de sua energia cinética e desvia-se (matematicamente previsível) em sua trajetória. Isto é, ele permanece no meio, muito embora com menor energia que a inicial.

Absorção dos Raios Gama pela Matéria



- <https://www.quora.com/What-is-the-Compton-effect-1>

Absorção dos Raios Gama pela Matéria

- Em um segundo tipo de interação, os fótons de menor energia (10 KeV) interagem elasticamente com os elétrons orbitais e cedem toda a sua energia para os mesmos, principalmente se o átomo tiver grande diâmetro. O fóton desaparece do meio, sendo portanto aniquilado ou absorvido, enquanto que o elétron se transforma em um fotoelétron livre. É o Efeito Fotoelétrico.
- O terceiro tipo de interação é denominado de Efeito de Produção de Par. Nessa reação, o fóton incidente (energia maior que 1,02MeV), interage diretamente com o núcleo dos átomos e sua energia se converte em um par de elétrons, um positivo (pósitron) e um negativo (négatron). O elétron negativo se torna um elétron livre. O positivo tem uma vida bastante curta ao reagir facilmente com qualquer outro elétron da vizinhança, quando então ambos se aniquilam com a liberação de 511 KeV de energia, que é o fator de conversão de massa correspondente.

Absorção dos Raios Gama pela Matéria

- Convêm lembrar que os raios gama naturais, por possuírem níveis energéticos da ordem de 1,4 a 2,6 MeV, interagem basicamente com a matéria por meio de colisões tipo Efeito Compton, onde cada colisão proporciona perdas de energia sucessivas até que seja atingido um valor em que os raios gama se tornam passíveis de serem absorvidos por um detector de radiação pelo Efeito Fotoelétrico, ocasionando expulsão de elétrons dos respectivos átomos absorvedores e uma conseqüente corrente elétrica finita, portanto, mensurável.

Absorção dos Raios Gama pela Matéria

- Os Raios Gama naturais originam-se primariamente de três fontes distintas:
 1. Dos principais elementos filhos provenientes da desintegração do Urânio²³⁵ ;
 2. Do principal elemento filho proveniente da desintegração do Tório²³² (Tálio²⁰⁸), e,
 3. Do Potássio⁴⁰.
- A razão principal destes três elementos serem predominantes nas radioatividades naturais das rochas, está na ordem de grandeza da meia-vida deles.

Absorção dos Raios Gama pela Matéria

- Cada elemento filho das 3 séries radioativas naturais (U, Th e K), emite raios gama, distintos em número e nível de energia, caracterizando-os qualitativa e quantitativamente.
- O K^{40} emite raios gama monoenergéticos da ordem de 1,46 MeV
- O Tório e o Urânio emitem vários níveis de energia, ao mesmo tempo, sendo usado para suas detecções os picos correspondentes a 2,62 e 1,76 MeV, respectivamente.

A deposição dos radioelementos

- De um modo geral as rochas são mais ou menos radioativas a depender da maior ou menor quantidade de seus elementos radioativos.
- Existem três séries, ou famílias radioativas que são: a do Urânio-Rádio, a série do Actínio e a do Tório.
- Destas, a de menor importância para a perfilagem radioativa é a do Actínio, porquanto sua presença na natureza é ínfima.
- Outros elementos, além das séries supra mencionadas, apesar de bastante radioativos têm, também, valores desprezíveis, tendo em vista suas baixas meias-vida: Césio, Rubídio, Lutécio, Samário, Rênio etc.
- O mesmo não acontece com o K^{40} , responsável por 0,012% de todo o potássio natural existente nas rochas da crosta.

A deposição dos radioelementos

- Qualquer elemento radioativo natural ocorre originalmente nas rochas ígneas, os quais, durante os processos de erosão e redistribuição dos fragmentos, são espalhados dentro das rochas sedimentares e na água do mar.
- A maior ou menor concentração desses elementos preferenciais depende de vários fatores, dentre eles: a natureza em si dos fragmentos e a presença de organismos vivos nas águas em que ocorreu a deposição.
- As argilas e/ou folhelhos são os elementos mais naturalmente radioativos entre as rochas sedimentares, em parte pela presença do K^{40} e devido à habilidade em reter íons metálicos, entre eles Urânio e o Tório. A radiação emitida pelo K^{40} , geralmente é da ordem de 20% do total registrado.

A deposição dos radioelementos

- Os compostos de Tório, em baixas temperaturas, têm uma solubilidade limitada na água. A maioria do Tório presente nos folhelhos origina-se de partículas insolúveis provenientes da rocha matriz. Dessa forma, a proporção do Tório e de seus elementos filhos é aproximadamente similar entre os mais variados tipos de argilas.
- Os compostos de Tório e de seus elementos filhos, em condições de alta temperatura, são transportados em forma de solução a qual, eventualmente, poderá preencher fraturas, planos de falhas e outros locais passíveis de migração fluida, originando os depósitos residuais ("placers").

A deposição dos radioelementos

- Os compostos de Urânio (até 20.000 ppm) são muito solúveis na água quando oxidados e, insolúveis, quando reduzidos. O Urânio e o Tório são oligoelementos (traços), não tendo, desta forma, grande importância na gênese das rochas.
- Todavia, dissoluções, migrações e precipitações podem ocasionar uma redistribuição dos mesmos com o tempo.
- Assim, as argilas/folhelhos apresentarão maior ou menor percentual de Urânio e/ou Tório, a depender do seu ambiente deposicional e/ou de suas modificações diagenéticas.

A deposição dos radioelementos

- O API realizou análise em 200 amostras de folhelho para estabelecer a concentração de radioisótopos, para a calibração das ferramentas de Raios Gama, mostrando o seguinte resultado, modificado de Keys, 1989

<i>Elemento</i>	<i>Energia do pico principal (MeV)</i>	<i>Fótons/segundo</i>	<i>Média em ppm</i>
Potássio 40	1,46	3,4	20.000
Urânio 238	1,76	$2,8 \times 10^4$	6
Tório 232	2,62	$1,0 \times 10^4$	12

A deposição dos radioelementos

- Desta forma, os folhelhos/argilas têm sua radioatividade natural oriunda basicamente do K^{40} , de uma quantidade razoável de Tório e de uma quantidade bastante variável de Urânio.
- Essa combinação registra uma amplitude normal para os folhelhos da ordem de 75 a 150 Unidades API (UAPI). Todavia anomalias podem alterar tais valores, principalmente na presença de matéria orgânica e/ou enriquecimentos localizados.

A deposição dos radioelementos

As rochas podem ser divididas, de acordo com sua radioatividade natural, em três grupos distintos:

- Rochas altamente radioativas – folhelhos/argilas de águas profundas (formados por lamas de radiolários e globigerinas), folhelhos pretos betuminosos, evaporitos potássicos (carnalita, silvinita, taquidrita etc) e algumas rochas ígneas/metamórficas.
- Rochas medianamente radioativas – folhelhos e arenitos argilosos de águas rasas, e carbonatos e dolomitos argilosos.
- Rochas de baixas radioatividades – grande maioria de carvões e evaporitos não potássicos (halita, anidrita, gipsita etc).

A deposição dos radioelementos

- Geralmente o nível de radioatividade dos sedimentos não é tão grande quanto aquele das rochas ígneas que os originaram, devido as possíveis diluições, contaminações e intemperismo.
- Entretanto nos folhelhos, a radioatividade torna-se significativa porque são ricos em matéria orgânica (existe uma tendência dos microorganismos concentrarem elementos radioativos em seus corpos retirando-os da água do mar) e têm grande capacidade de realizar trocas iônicas com as soluções intersticiais do meio ambiente onde foram depositados.
- Por essa razão, os folhelhos são as rochas sedimentares que apresentam os mais altos valores de radioatividade após os evaporitos potássicos.
- Das demais rochas sedimentares importantes para a acumulação de hidrocarbonetos - calcários, dolomitos e arenitos - a presença ou não de elementos radioativos depende bastante também de sua origem deposicional.

A deposição dos radioelementos

- Assim, de um modo geral, nos carbonatos, por resultarem de desenvolvimento de matéria esquelética da vida marinha, a radioatividade esperada é a mais baixa possível.
- Já os dolomitos, por terem sido mineralizados através de águas percolantes, com possibilidade de contaminação por radioelementos, apresentam uma radioatividade um pouco maior que a dos calcários.
- Os arenitos por terem mais chances de se contaminarem com argila são, das três rochas reservatórios principais, as que apresentam a mais alta radioatividade.
- Todavia, deve-se lembrar que estas são considerações lógicas. Anormalidades podem ocorrer, com frequência, em função do ambiente deposicional das rochas sedimentares.

A deposição dos radioelementos

- Pelo explicado até agora, o perfil de Raios Gama pode ser utilizado como um indicador qualitativo e quantitativo do conteúdo argiloso das rochas, desde que sua radioatividade dependa exclusivamente do teor de argilomineral presente.
- Rochas com excesso de grãos de feldspatos (arcósios) ou conglomerados polimíticos são as exceções a esta regra.

Princípio de medição do perfil de raios gama

- Para se obter um perfil deste tipo basta um detector de radioatividade do tipo Câmara de Ionização, tubo Geiger-Müller, Cintilômetro ou um Contador Proporcional, deslocando-se a uma velocidade uniforme dentro de um poço.
- Esses detectores são afetados principalmente pelos raios gama (energia eletromagnética), pelo corpo metálico da própria ferramenta que transporta o detector (sonda).
- A curva assim registrada, em relação à profundidade, é denominada de Raios Gama ou, simplesmente, RG ou GR.

Princípio de medição do perfil de raios gama

- Os raios gama não são detectados diretamente como energia eletromagnética, mas sim por intermédio de suas interações com os átomos ou moléculas existentes no interior dos detectores (ionização).
- No passado eram usados exaustivamente detectores do tipo Geiger-Müller. Atualmente, eles foram substituídos por eficientes cristais, que emitem luz (cintilam) quando atingidos por um fóton.
- Os cristais mais comuns são de fósforo com iodeto de sódio ativado por tálio acoplado a um tubo fotomultiplicador, que amplifica eletronicamente a corrente elétrica em um milhão de vezes.

Princípio de medição do perfil de raios gama

- A sensibilidade dos detectores por cintilação é função da forma e do tamanho do cristal. Por outro lado, a intensidade da cintilação emitida pelo cristal é diretamente proporcional à energia do fóton que o atingiu.
- Sendo a altura de cada pulso proporcional a intensidade da energia captada, fica fácil se identificar os diferentes tipos de radiação foram provenientes do K^{40} (1,46 MeV), U^{235} (1,76 MeV) ou Th^{232} (2,62 MeV).

Princípio de medição do perfil de raios gama

- Atualmente existem dois tipos de ferramentas de Raios Gama:
 - Monocanal: aquelas com um só canal analisador da altura do pulso (que por essa razão não discrimina individualmente cada um dos elementos detectados mas sim o somatório deles) e
 - Multicanais analisadores que conseguem identificar isoladamente todo o espectro energético.
- São denominadas respectivamente, de
 - perfil de Raios Gama Convencional (RG ou GR) e
 - Perfil Gama de Espectrometria Natural ou Gama de Espectrometria.

Fatores que afetam as leituras dos Perfis de Raios Gama (RG ou GR)

- Os folhelhos apresentam alto teor de K^{40} , razão pela qual esse perfil é usado na identificação entre os folhelhos e as rochas não argilosas, ressalvadas as demais condições de enriquecimento por outros minerais radioativos (Césio, Polônio, Irídio etc.).
- Vários são os fatores, extra litologia ou radioatividade, que afetam os resultados apresentados por um perfil de Raios Gama. O bom intérprete deve conhecê-los para realizar análises realistas.

Detectores de Radiação

- Entre os tipos de detectores abaixo, apenas o cintilômetro não opera sob o princípio geral da ionização dos gases dado ao tipo de interação dos Raios Gama no seu interior.
- Contador Geiger-Müller - consiste de uma câmara cilíndrica com gás a baixa pressão e um fio central sob alta voltagem, em relação ao envoltório da câmara. A penetração de Raios Gama na câmara provoca a ionização das moléculas do gás. Há uma produção de íons que são acelerados pelo campo elétrico ionizando outras moléculas em cadeia. O gás torna-se condutor de eletricidade e provoca uma descarga no fio central. Em seguida, ocorre a desionização do gás e o restabelecimento da alta voltagem do fio central. Esse tipo de detector apresenta duas falhas que se refletem na sua precisão: (a) alguns fótons podem atravessar o contador sem interagir com as moléculas dispersas do gás e, (b) o contador fica inativo durante o tempo da recarga da voltagem, dando origem a um rendimento da ordem de 5 a 7%.

Detectores de Radiação

- Câmara de Ionização - é semelhante a um Geiger-Müller, porém o gás ionizável está à alta pressão e a voltagem do fio central é baixa. Os Raios Gama provocam a passagem de uma fraca corrente no gás que, devidamente amplificado, fornece uma indicação da radiação que penetra na câmara. Tem também rendimento da ordem de 5 a 7%.
- Cintilômetro - baseia sua detecção no fato de que os fótons apresentam a propriedade de produzir centelhas de luz ao atingirem certos tipos de cristais. Essas centelhas são convertidas em pulsos elétricos, cuja altura depende da quantidade de energia absorvida. Esse tipo de detector é muito mais eficiente que os detectores a gás porque possui uma maior massa de material (por unidade de volume) sensível à radiação.

Detectores de Radiação

- A grande vantagem do Cintilômetro é seu bom rendimento (50% a 60%) em relação aos demais detectores. Isso resulta em um perfil com um máximo de detalhe e uma maior precisão nas leituras. Além do mais, os cintilômetros podem ser construídos em tamanhos relativamente pequenos, podendo apresentar uma resolução vertical da ordem de <1 pé de espessura de camada.

Variações Estatísticas

- O conhecimento da natureza estatística das emissões é um fator importante na interpretação de um perfil radioativo. Meia Vida é o tempo necessário para que a metade dos átomos de um elemento radioativo se decomponha.
- Ela varia desde frações de segundos até milhões de anos.
- Apesar de se conhecer precisamente esse tempo de decomposição, ou decaimento, é quase impossível prever quantos átomos se desintegrarão ou quantos fótons serão emitidos durante um certo período de tempo.

Variações Estatísticas

- Os fótons são emitidos em uma distribuição normal, isto é, o desvio padrão da amostra é da ordem da raiz quadrada do número de desintegrações.
- Dai, nos primórdios da perfilagem radioativa, o surgimento do conceito de Constante de Tempo, que é o tempo, em segundos, no qual o detector tem que realizar uma média aritmética dos fótons registrados.
- Esse conceito era um dos mais importantes ajustes a ser realizado pelos equipamentos radioativos analógicos de perfilagem, para fins de comparação e correlação entre perfis de distintas companhias de serviços e áreas geológicas.

Variações Estatísticas

- A seleção entre a constante de tempo (para fins de medições estatísticas da flutuação radioativa) e a velocidade de perfilagem, era realizada de modo a corresponder a um critério ótimo de aceitação da qualidade da leitura, estabelecido pelo Instituto Americano de Petróleo (API).
- A digitalização dos perfis, no campo, favoreceu o uso de filtros de vários tipos de tal maneira que o casamento entre a velocidade de perfilagem e uma constante de tempo não é mais o fator determinante da qualidade do perfil, mas sim o filtro em si.

Variações Estatísticas

- Assim, quer se use a velocidade de perfilagem casada com uma constante de tempo, quer se use um filtro, qualquer contagem que um detector realize em uma certa unidade de tempo deverá ser sempre uma média universal padronizada. Esse procedimento nivela todos os equipamentos a um percentual ótimo de resposta.
- As flutuações estatísticas são mais perceptíveis quando se realiza baixa contagem de pulsos. Entretanto, o número de raios gama, contados durante um período suficientemente longo (não tão longo assim, porque nenhuma ferramenta de perfilagem pode ficar parada dentro do poço por muito tempo), será praticamente constante.
- Os perfis de princípio não estatístico (elétricos, acústicos, mecânicos etc), são corridos geralmente com velocidades bem maiores que qualquer radioativo. Entretanto, caso um ou mais daqueles sejam acoplados a um destes, prevalece a menor velocidade dos radioativos.

Raio de Investigação

- Estudos mostram que 90% do valor registrado pela curva dos Raios Gama provém de uma zona localizada dentro de um raio das 6 (seis) primeiras polegadas a partir da parede do poço.

Efeitos do Poço

- A presença de elementos pesados na lama do poço (baritina), revestimento e cimento, provocam uma redução na amplitude da leitura realizada pelo perfil.
- O efeito da interposição de material adicional entre o detector e a camada, além da lama e reboco, tais como cimento e o revestimento, reduz sensivelmente a quantidade total (intensidade) da radiação útil para medição, mas não descarta totalmente o valor quantitativo a ser registrado pelo perfil.
- Existem cartas ou gráficos para correção de tais valores, quando se usa o perfil de Raios Gama em poço com revestimento metálico ou em poços de grande diâmetro (Schlumberger, 1972 – gráficos POR-7 e POR-8).
- Essas cartas são capazes de recuperar os sinais, reduzidos ou absorvidos pelo revestimento, lama e cimento. Em poços em aberto (sem revestimento metálico) tais correções não se fazem necessárias.

Usos Principais dos Perfis de Raios Gama

- O perfil de Raios Gama permite distinguir os folhelhos e/ou argilas dos demais tipos litológicos. A principal vantagem desse perfil reside no fato de ser possível a sua realização por dentro de tubulações (poços revestidos), tornando-se muito útil em trabalhos de completação e restauração dos poços.
- Os Raios Gama de nível energético médio perdem somente a metade de sua intensidade após haver penetrado cerca de 1/2 polegada em aço.
- Sabendo-se que o perfil de Raios Gama reflete a proporção de folhelho ou argila de uma camada, pode-se utilizá-lo com um indicador do teor de folhelho ou argilosidade das rochas (VSHGR). O GR é também usado para detecção e avaliação de minerais radioativos, tais como Urânio, Tório etc.

Unidades Usadas no Perfil de Raios Gama

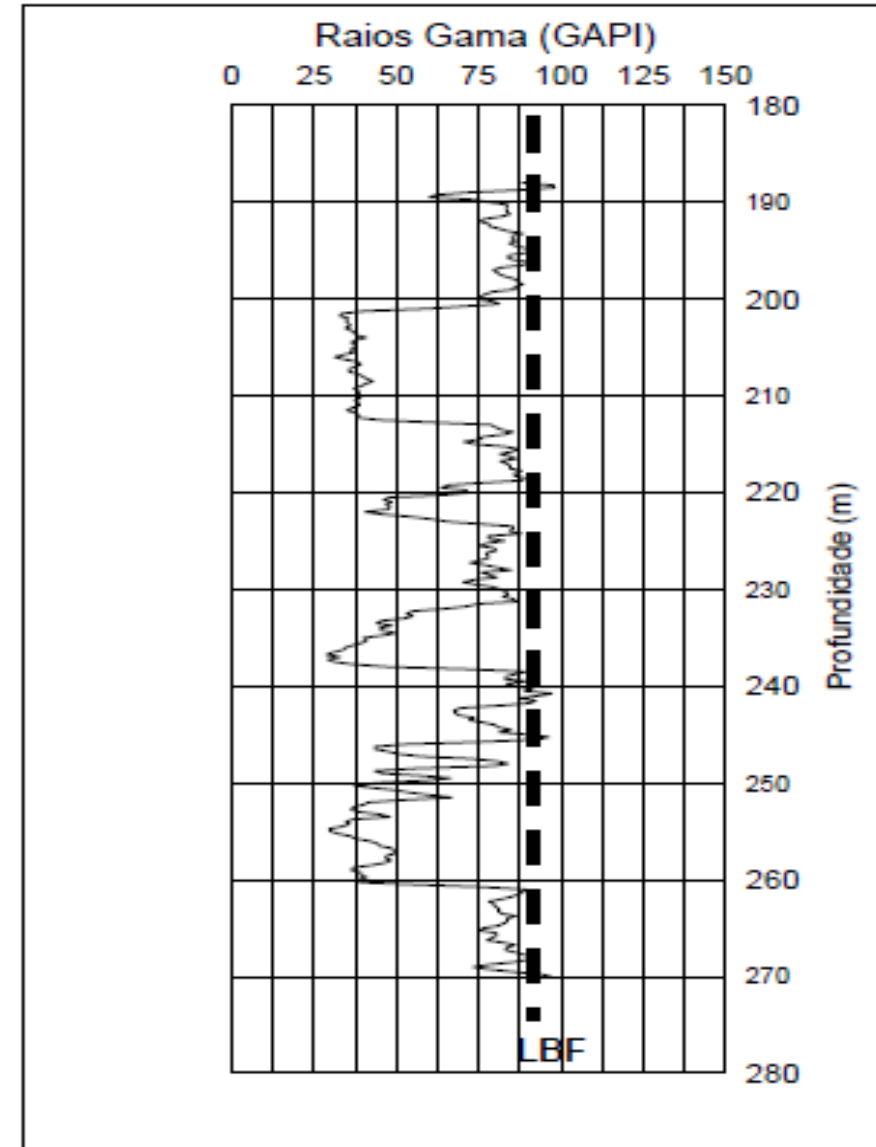
- Várias foram as unidades utilizadas nos primeiros dias dos perfis de Raios Gama: Micrograma de Rádio Equivalente por Tonelada de Rocha, Micro-Röntgen por Hora, Unidade de Radiação etc.. Tornava-se difícil à correlação visual de perfis de áreas diferentes quando realizados por diferentes companhias de serviços de perfilagem.
- A radioatividade total registrada por um detector qualquer pode ser expressa em termos de peso de um elemento conhecido que produza uma quantidade de radiação equivalente. Assim, surgiu a Unidade ou Grau Padrão API (UAPI ou GAPI), que é a medida da radioatividade de uma rocha (radioativa artificialmente) que serve de normalização, na qual foi disseminada quantidade conhecida de Urânio, Tório e Potássio. Ela representa $1/200$ da deflexão entre um valor máximo e um mínimo de um poço padrão artificialmente radioativo.

Interpretação do Perfil de Raios Gama

- Tomemos por exemplo o perfil a seguir, corrido na bacia do Tucano, dentro da formação São Sebastião:
- Por convenção esta curva é sempre apresentada na primeira faixa, à esquerda da estreita coluna das profundidades, sempre com a radioatividade crescendo da esquerda para a direita. A escala padrão é de 0 a 150 UAPI ou GAPI, podendo ser modificada para 0-300 ou mais, na dependência do padrão radioativo da área.

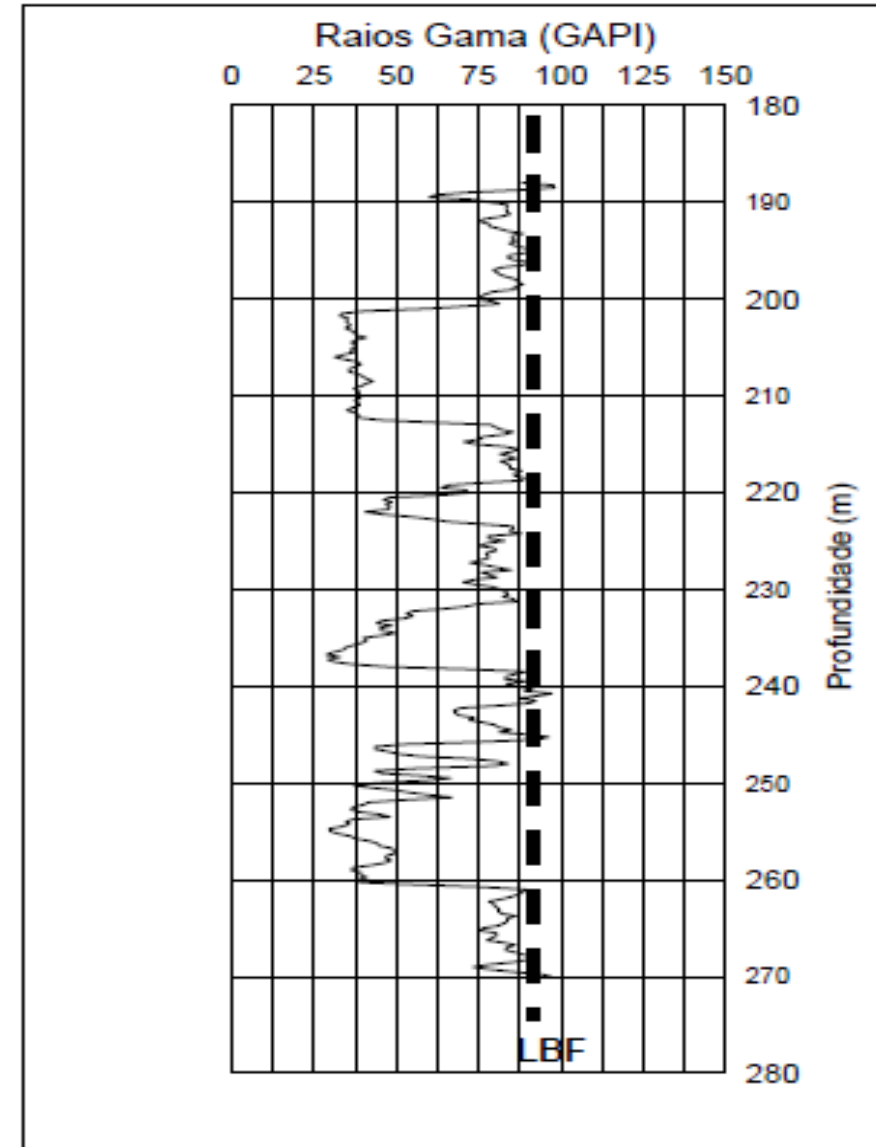
Interpretação do Perfil de Raios Gama

- Tomemos por exemplo o perfil a seguir, corrido na bacia do Tucano, dentro da formação São Sebastião:
- Por convenção esta curva é sempre apresentada na primeira faixa, à esquerda da estreita coluna das profundidades, sempre com a radioatividade crescendo da esquerda para a direita. A escala padrão é de 0 a 150 UAPI ou GAPI, podendo ser modificada para 0-300 ou mais, na dependência do padrão radioativo da área.



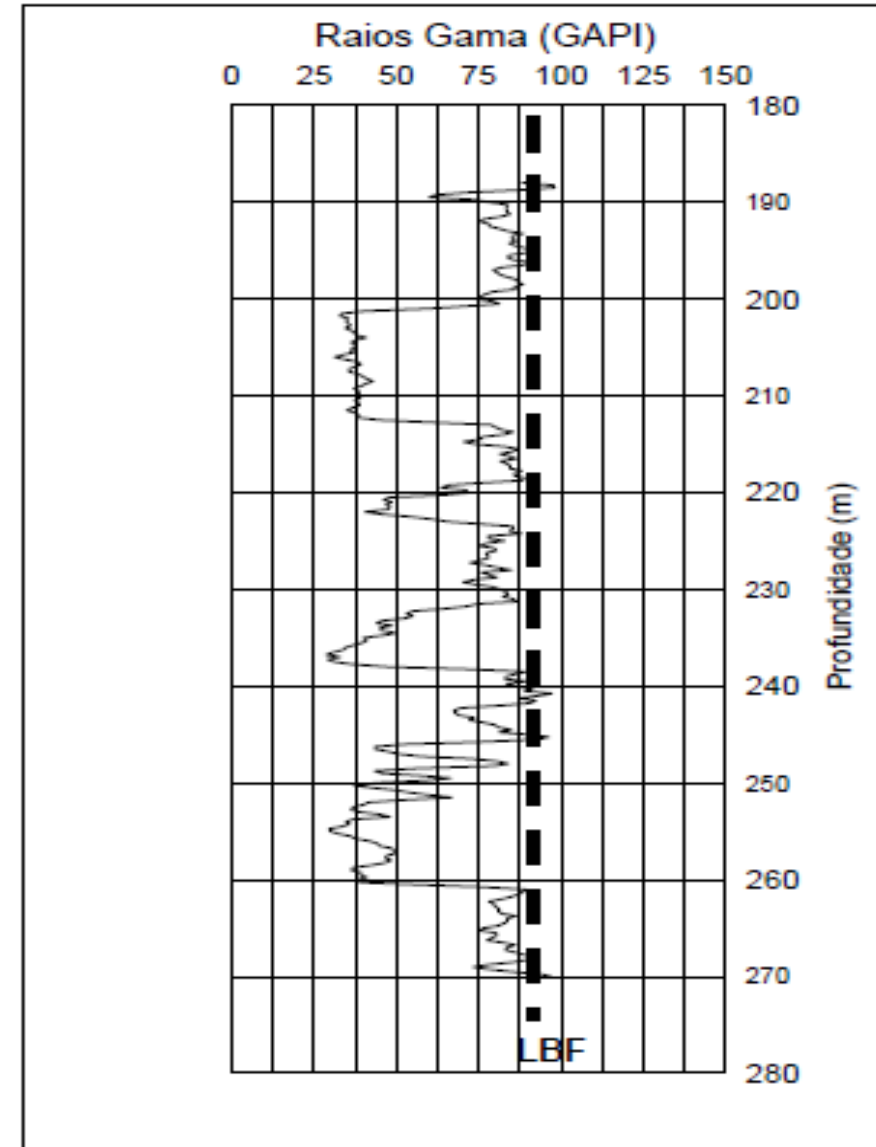
Interpretação do Perfil de Raios Gama

- No exemplo ao lado, a escala vai de 0 a 150 GAPI.
- Desde que abrangendo uma mesma formação, ambiente deposicional etc, inicia-se a interpretação quantitativa definindo-se uma linha de base defronte aos folhelhos (LBF), no intervalo a analisar. Esta linha, deve representar a média dos valores máximos dos folhelhos, vez que a radioatividade é um evento estatístico (evitar algum “maximorum” que poderá representar minerações localizadas).
- No caso presente, a LBF é da ordem de 90 GAPI (um pouco à esquerda da linha tracejada grossa). Este valor lido é denominado de GRMáximo e é o valor representativo dos folhelhos puros no intervalo analisado.



Interpretação do Perfil de Raios Gama

- Por outro lado, o arenito mais limpo do intervalo está localizado aos 237m com um valor mínimo, ou GRMínimo, igual a 29 GAPI.
- Digamos que se deseja saber qual o teor de argila, ou argilosidade, no arenito aos 221m, cuja leitura, ou GRLido, é igual a 45 GAPI.
- Dois passos são necessários. O primeiro é o estabelecimento de uma relação linear, ou Índice de Radioatividade (IGR), para então se calcular a argilosidade propriamente dita (VSH).



Interpretação do Perfil de Raios Gama

Substituindo-se os valores lidos obtém-se : $IGR = 0,262$

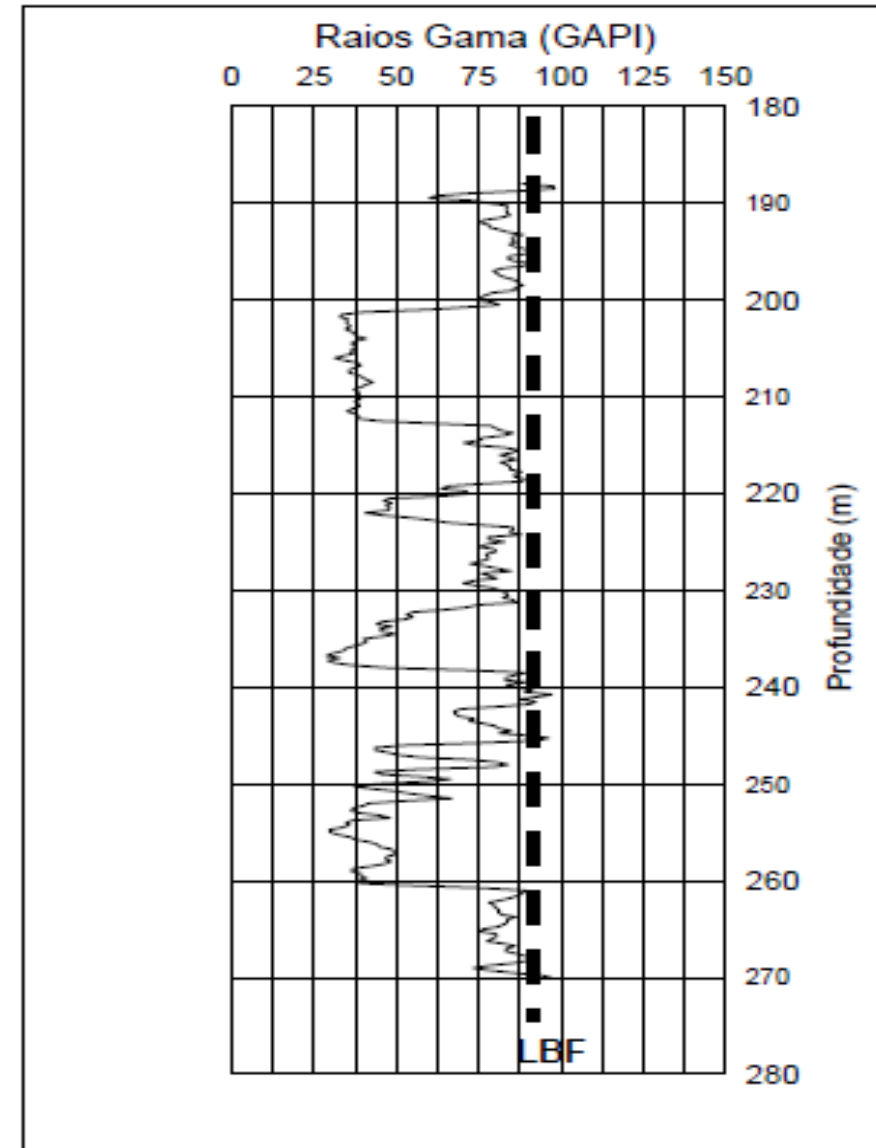
$$\text{ou } 26,2\%.IGR = \frac{GR_{Lido} - GR_{Mínimo}}{GR_{Máximo} - GR_{Mínimo}}$$

- A bibliografia mostra equações resultantes de experimentos de vários autores, levando em consideração alguns fatores, dentre eles a idade da rocha. Uma das mais usuais é:

$$VSH = \frac{IGR}{A - (A - 1).IGR}$$

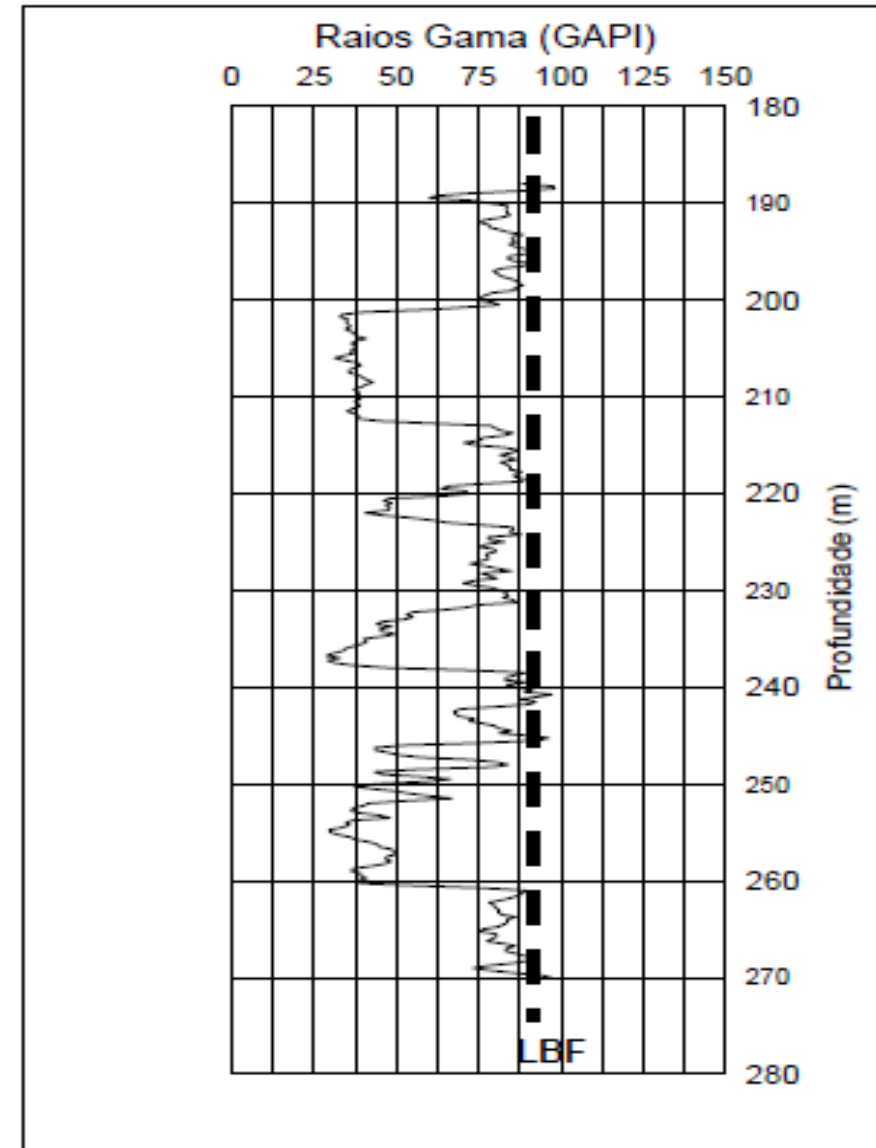
na qual A é igual a 3 quando a rocha é do Terciário e a 2 quando ela for mais velha.

- Como a camada considerada é cretácea, então, VSH será igual a 0,15 ou 15%.



Interpretação do Perfil de Raios Gama

- Observa-se que a camada entre 231-238m tem um aspecto de um sino, enquanto que a localizada entre 201-213m tem um aspecto de barril. Quais as considerações geológicas que se pode tirar destes aspectos?
- A camada mais inferior tem em sua base uma granulometria mais grosseira que seu topo, representando uma granodecrescência ascendente, o que poderia ser resultante de uma deposição tipo leque (turbidito), enquanto que a camada superior poderia ter resultado do preenchimento de grosseiros em um canal distributário. Isto é, a curva dos Raios Gama, desde que a radioatividade seja resultante da presença de somente argilominerais, é um bom indicador de certas condições deposicionais.



Interpretação Qualitativa

- Formato da curva GR indica ambiente de deposição
- Cilíndrico → ambientes com fácies sujeitas a transgressões e regressões: éolicos, canais fluviais, barras, cânions, plataformas carbonáticas e assemelhados, locais de bastante retrabalhamento capaz de deixar as camadas com baixo teor de finos.
- Sino → ambientes progradantes
- Funil → ambientes transgressivos







Forma	Suave	Ambientes	Serrilhada	Ambientes
Cilíndrica Representa deposição uniforme		Dunas Eólicas, Areias de Maré, Canais Fluviais		Deltas Distributários, Canais Turbidíticos, Leques Proximais de Mar Profundo
Sino Granodecrescência ascendente		Areias de Maré, Areias Fluviais, Fluxos de Tranças, Canais Fluviais, Barras de Pontal		Areias Lacustres, Deltas Distributários, Canais Turbidíticos, Leques Proximais de Mar Profundo
Funil Granodecrescência descendente		Restingas, Praias, Brechas Oblíquas num dique		Barreira de Foz Distributários, Delta de Orla Marítima, Leques Distais de Mar Profundo

Figura 3.3: Definição de ambientes sedimentares com o uso do perfil de Raios Gama (adaptada de Glover, 2007).