

INTRODUÇÃO À RADIOLOGIA

A **radiologia** é a parte da ciência que estuda órgãos e/ou estruturas através da utilização de um tipo especial de energia, gerando uma imagem. No Brasil o Conselho Federal de Medicina reconhece a especialidade pelo nome de "Radiologia e Diagnóstico por imagem".

Nas últimas décadas foram acrescentados novos métodos aos já tradicionais *raios-x*. A ultrassonografia, a ressonância magnética nuclear, a mamografia, os novos equipamentos de tomografia computadorizada e muitos outros avanços vieram a contribuir para tornar essa área ainda mais importante do ponto de vista diagnóstico.

A seleção adequada das investigações por imagem é de grande importância. Existem duas filosofias opostas. Uma delas é a requisição de uma bateria de investigações, apontadas para os sintomas do paciente na esperança de que alguma coisa se esclareça; a outra é a "tentativa do erro": decide-se por um ou dois diagnósticos possíveis e executam-se os exames apropriados para apoiar ou eliminar estas possibilidades.

É difícil estabelecer parâmetros precisos para a solicitação de exames de imagenologia porque os pacientes são avaliados de forma distinta nos diferentes centros e a informação necessária varia significativamente.

- ✓ Um exame somente deveria ser requisitado quando existir uma chance razoável de que ele contribuirá para o tratamento do paciente.
- ✓ O intervalo de tempo entre exames de acompanhamento deve ser cuidadosamente avaliado.
- ✓ Ser específico sobre a localização dos problemas.
- ✓ Considerar cuidadosamente que exame diagnóstico por imagem fornecerá informação relevante mais facilmente.
- ✓ Escolher um exame que, sempre que possível, minimize ou evite radiação ionizante.

Os custos da radiologia são muito altos. É considerada uma das mais caras áreas da medicina. Contudo, estes custos se fundamentam basicamente no equipamento e material utilizados no procedimento e o pessoal que realizam a manutenção e a operação de tais equipamentos.

MÉTODOS RADIOLÓGICOS E HISTÓRICO

Os métodos fundamentais utilizados pela radiologia são:

- **Radiografia ou Raios-X (1895):** Wilhelm Conrad Röntgen, nascido em 27 de março de 1845, em Lennep, na Prússia, realizou seus estudos nos Países Baixos e Suíça, obtendo seu doutorado em física pela Universidade de Zúrich em 1869. No entardecer de 8 de setembro de 1895, uma quinta-feira, quando todos já haviam encerrados suas jornadas de trabalho, Röntgen trabalhava em seu laboratório realizando experiências com um Tubo de Crookes (tubo de raios catódicos) e percebeu que, cada vez que o aparelho era ligado, uma tela coberta com *platinocianeto de bário* que estava sobre uma mesa próxima ao tubo surpreendentemente fluorecia. Röntgen concluiu que a fluorescência não poderia ser devida aos raios catódicos, pois estes já eram bem conhecidos e sabia-se que não atravessavam a parede do tubo. Imaginou então que o fenômeno estava sendo causado por algum tipo de radiação até então desconhecida, a qual chamou de radiação X. Na tentativa de estudar esta nova radiação, Röntgen passou semanas realizando experiências em seu laboratório, com o objetivo de avaliar se essa nova radiação seria capaz de passar através de outros objetivos. Quando Röntgen interpôs um objeto que ele estava segurando, viu os ossos de sua mão projetados na tela. Foi então que ele substituiu a tela por uma película fotográfica e interpôs, por 15 minutos, a mão esquerda de sua esposa, Bertha, gerando assim, a primeira imagem radiológica da história. Em 28 de dezembro de 1895, Röntgen encaminhou à Sociedade de Física e Medicina de Würzburg um manuscrito, intitulado "Sobre um novo tipo de raios" ("On a new kind of rays"). Wilhelm Röntgen morreu em 10 de fevereiro de 1923 na cidade de Munique devido a um câncer de cólon e está enterrado ao lado de sua esposa na cidade de Giessen, Alemanha.



Os primeiros equipamentos de raios-x não contavam com nenhuma proteção contra as radiações desnecessárias, bem como necessitavam de altas doses para a obtenção das imagens. Muitos médicos, pacientes e pessoas que manuseavam equipamentos radiológicos sofreram suas consequências, como dermatites causadas pelo excesso de radiação e o aparecimento de cânceres em diversos locais. A partir da constatação desses efeitos deletérios, houve uma preocupação em aumentar a proteção de médicos e pacientes reduzindo as radiações desnecessárias e melhorando os equipamentos.

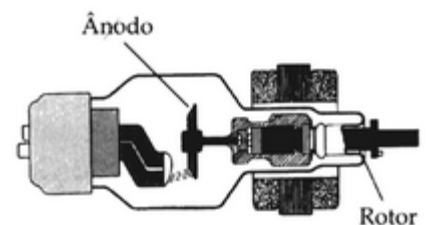
Na América do Sul, o primeiro equipamento de raios-x foi instalado no Brasil. Ele foi fabricado na Alemanha em 1897 pela Siemens, com supervisão direta de Röntgen. Atualmente, este aparelho encontra-se exposto no *International Museum of Surgical Science*, em Chicago, EUA.

- **Ultrassonografia (USG):** tipo de exame radiológico que não utiliza radiação, mas sim, ondas sonoras. A história de ultra-sonografia reporta de 1794, quando Lazzaro Spallanzini demonstrou que os morcegos se orientavam baseados principalmente em sua audição, ao invés da visão. Em 1880, Jacques e Pierre Curie descreveram as características de alguns cristais capazes de gerar ondas sonoras. Em 1947, Dussick fez uma das primeiras tentativas de aplicação médica do ultrassom ao utilizar dois transdutores colocados em lados opostos da cabeça. Ele descobriu que tumores e outras lesões intracranianas podiam ser detectados com essa técnica. Em 1948, o Dr. Douglass Howry desenvolveu o primeiro aparelho de ultrassonografia. Muitos experimentos foram feitos até que os primeiros aparelhos pudessem ter um tamanho menor e fossem mais práticos. A evolução da ultra-sonografia vem sendo constante ao longo dos anos e novos aparelhos com melhor definição de imagens e documentação em 3D, 4D, Duplex e Triplex são aprimorados constantemente.
- **Tomografia computadorizada (TC):** as primeiras ideias de um aparelho de tomografia computadorizada tiveram início por volta de 1967 com o engenheiro eletrônica da EMI, Godfrey Newbold Hounsfield (1919 – 2004). O programa de desenvolvimento do primeiro aparelho de tomografia computadorizada envolveu muitas frustrações e dúvidas. O primeiro aparelho (EMI Mark I) surgiu em 1972, sendo possíveis somente aquisições do crânio. Os dados brutos da primeira imagem de tomografia demoraram algumas horas para serem adquiridos e foram necessários alguns dias para que a reconstrução desta primeira imagem fosse concluída. Somente mais tarde, por volta de 1976, que surgiram os primeiros aparelhos capazes de adquirir imagens do restante do corpo.
- **Ressonância magnética (RM):** não utiliza raios-x, mas o magnetismo e ondas de radiofrequência. O magnetismo tem sua origem ligada ao nome de uma cidade na região da Turquia antiga chamada de Magnésia. A palavra surgiu na antiguidade, associada à propriedade que os fragmentos de ferro têm de se atraídos pela magnetita, um mineral encontrado na natureza e muito abundante nesta região. Em 1820, o dinamarquês Hans Oersted relacionou fenômenos elétricos aos fenômenos magnéticos ao observar que uma corrente elétrica alterava o movimento da agulha de uma bússola. Em 1821, o inglês Michael Faraday inverteu a experiência de Oersted e descreveu os fundamentos da indução eletromagnética. Em 1946, nos EUA, Felix Bloch (1905 – 1983) e Edward Mills Purcell (1912 – 1997) descreveram, independentemente um do outro, um fenômeno físico-químico baseado nas propriedades magnéticas de certos núcleos. Em 1968, Jackson e Langham registraram o primeiro sinal de ressonância nuclear magnética de um animal vivo.
- **Mamografia:** é um exame de diagnóstico por imagem que tem como finalidade estudar o tecido mamário. Esse tipo de exame pode detectar um nódulo, mesmo que este ainda não seja palpável.
- **Medicina nuclear:** é a especialidade médica que aplica a energia nuclear para diagnosticar ou tratar doenças. A energia nuclear é conceituada como o elemento capaz de manter os prótons do núcleo de um elemento químico unidos, sem que haja repulsão entre si mesmo sendo partículas com a mesma carga.



RADIOLOGIA GERAL E MATERIAIS

A radiologia tem como protótipo básico os **Raios-X**. Estes são utilizados para todas as radiografias convencionais e para tomografia computadorizada (TC). São produzidos através da passagem de uma voltagem muito alta entre dois terminais de tungstênio dentro de um tubo a vácuo. Um terminal, o cátodo, é aquecido até a incandescência de modo a liberar elétrons livres. Quando uma alta voltagem (geralmente numa variação de 50-150 kV) é aplicada sobre os dois terminais, os elétrons são atraídos em direção ao ânodo a uma alta velocidade. Quando os elétrons atingem o ânodo-alvo, são produzidos os raios-X.



Esquema de uma ampola com ânodo giratório. (De Glasser, 1944, p. 1399.)

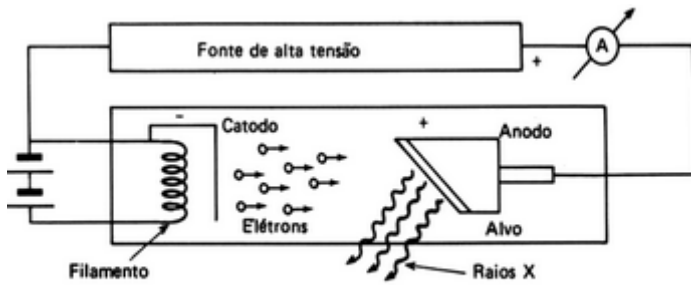


Diagrama de um sistema de produção de raios X.

Quando a radiografia vai ser feita, o técnico aciona o circuito de alta voltagem, fazendo com que a nuvem eletrônica formada ao redor do filamento metálico aquecido seja deslocada com grande energia cinética em direção ao ânodo (neste caso, positivo por convenção). No momento da colisão entre os elétrons e o ânodo, gera-se um processo de **frenagem** e de desaceleração dos elétrons, que perdem energia cinética em forma de **radiação-X**.

OBS¹: Pode-se dizer que é seguro entrar em uma sala de raios-X logo após desligar a ampola (fonte de radiação), pois a radiação não contamina o ambiente. Só há emissão de radiação quando a fonte de alta tensão é acionada.

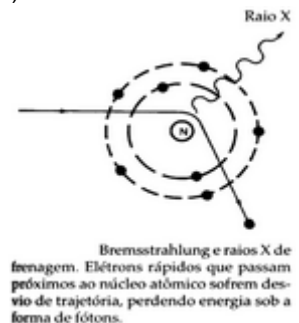
OBS²: Quanto maior for a tensão elétrica, maior a energia dos raios-X. Isso é importante para certos tipos de radiografias de tecidos duros e moles.

OBS³: Em ampolas reais, tem-se o ânodo como um disco giratório para que seu desgaste (devido à contínua colisão com elétrons) seja de modo homogêneo. Essa ampola fonte de radiação fica submersa em um óleo mineral, que serve tanto como isolante elétrico quanto como meio de dissipação de calor (assim como ocorre em toda transformação de energia, o calor, nesse caso, é produzido pela transformação da energia cinética em energia X).

Os raios-X são originários da frenagem dos elétrons gerados no cátodo, que se convertem em fótons, pelo fenômeno conhecido por **Bremsstrahlung**. Os raios-X produzidos no interior das ampolas são constituídos por ondas eletromagnéticas de várias frequências e intensidades.

Quando os elétrons se aproximam do núcleo, sofrem interação eletrostática e sofrem um desvio de trajetória. É nesse desvio que acontece a conversão da energia cinética em energia X.

Os raios-X produzidos por “Bremsstrahlung” constituem um espectro contínuo dentro de uma faixa de comprimento de onda que vai de 0,1 a 0,5 Å (10-10 m).



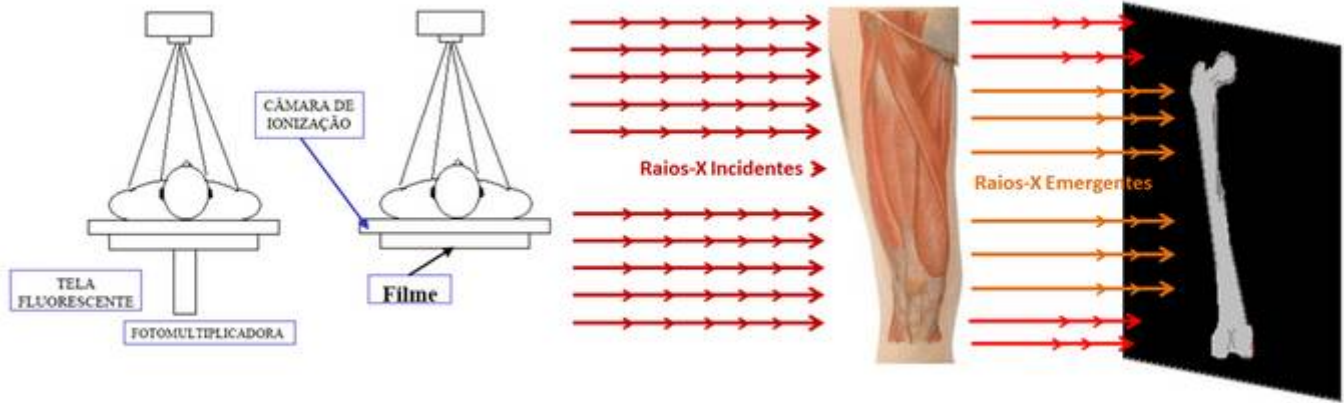
IMPRESSÃO DE UMA IMAGEM POR MEIO DE RAIOS-X

Imagine vários feixes de radiação X oriundos de uma ampola incidindo perpendicularmente, por exemplo, em uma coxa, entreposta entre a fonte de radiação o filme radiológico. Na coxa, encontra-se o seu arcabouço ósseo – o fêmur – de tecido duro e de grande densidade. Em torno desse osso, tem-se tecidos moles (músculo, aponeuroses, etc.). Alguns feixes de **raios-X incidentes** de radiação passarão pelo osso e outros pelos tecidos moles, obtendo, após atravessar a estrutura anatômica, **raios-X emergentes**, com uma energia menor do que aqueles que foram incidentes, isso porque a estrutura anatômica absorve para si parte da radiação. Os tecidos **radiotransparentes (radio-lúcidos)** são aqueles que absorvem pouca energia X e permitem a passagem de raios emergentes de maior energia, enquanto os tecidos **radiopacos** absorvem mais essa energia, emergindo deles raios de menor energia.

OBS⁴: A propriedade que algumas estruturas têm de absorver e liberar parte da energia é explicada por meio da espectrofotometria, através das definições de **transmitância** e da **absorbância**. Uma estrutura transmitante (como um vidro lúcido) deixa passar toda energia (como a luz) que nele incidir. Já uma estrutura absorbente (como um vidro com fumê) absorve mais energia do que libera. Quando se aplica fumê em vidros, por exemplo, à 30%, significa que a transmitância do vidro agora é de 70% e a sua absorbância é de 30%.

A radiação X emergente entra agora em contato com um filme especial, constituído, além da camada de plástico que o envolve, por uma gelatina composta de sais de prata (BrAg e IAg). Quando a radiação incide no filme radiológico, ela desestabiliza os sais de prata. Uma vez instável, a prata fornece uma coloração negra no filme. Do osso, por se tratar de um tecido denso e de grande absorbância, vai emergir uma energia de pequena quantidade, capaz apenas de precipitar bem menos prata do que aqueles raios que atravessam os tecidos moles da estrutura anatômica.

Logo, o gradiente de cor que vai de um cinza claro ao negro registrada em um filme radiológico, representa a densidade de cada tecido pelos quais a radiação X vai penetrar para emergir depois.



OBS⁵: É necessário então, uma certa diferença de densidades entre os tecidos que serão radiografados. Com isso, determinados tumores podem não aparecer em uma tomografia por terem um tecido semelhante àquele que o circunda. Já quando há uma calcificação (como em uma artrose), a densidade do tecido aumenta, tornando-se mais absorvente.

O filme fotográfico especial a ser sensibilizado se encontra armazenado dentro de um equipamento denominado **chassi**, onde é protegido da luz ambiente. Nas superfícies interna do chassi, existe um aparato bastante importante para o advento da radiografia chamado de **écran radiográfico**. Consiste em um material de coloração branca a base de poliéster com sais de fósforo responsável por intensificar os raios-X, garantindo ao paciente uma redução nos tempos de exposição (mas reduzindo a qualidade da imagem). O filme passa então por uma processadora onde sofrerá processos de lavagem e revelação, formando assim, a imagem real.

OBS⁶: Contemporaneamente, existem dois tipos de sistema radiográfico digital: o digital direto (DR) e o digitalizado (CR). O sistema CR apresenta em seu chassi um material semelhante ao écran, mas que não apresenta a mesma propriedade de fluorescência, mas sim, de luminescência retardada. Quando os fótons de raios-X incidem sobre este material, os sais que o compõem tornam-se eletricamente carregados (e não emitem uma luz direta, como ocorre no écran tradicional). Há, no chassi, um leitor digital que capta a energia armazenada por esses sais e que converte essa informação em uma imagem para um computador e um processador. O DR consiste em um procedimento mais caro. Neste procedimento, ao invés do uso de chassis com propriedade de luminescência retardada, existem receptores especiais diretamente conectados a um computador (como na tomografia computadorizada), sem ser necessários materiais para absorver energia ou aquecer para converter a imagem.

FUNDAMENTOS FÍSICOS DAS RADIAÇÕES

Para entender os fundamentos básicos da física que rege a radiologia, é necessário relembrar alguns conceitos que serão vastamente utilizados por nós ao longo deste assunto.

- **Energia:** o conceito de Energia é um dos conceitos essenciais da Física. Nascido no século XIX, pode ser encontrado em todas as disciplinas da Física (mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo, mecânica quântica, etc.) assim como em outras disciplinas, particularmente na Química. Em geral, o conceito e uso da palavra energia se refere "ao potencial inato para executar trabalho ou realizar uma ação". O termo energia também pode designar as reações de uma determinada condição de trabalho, por exemplo o calor, trabalho mecânico (movimento) ou luz. Estes que podem ser realizados por uma fonte inanimada (por exemplo motor, caldeira, refrigerador, alto-falante, lâmpada, vento) ou por um organismo vivo (por exemplo os músculos, energia biológica). A etimologia da palavra tem origem no idioma grego, onde $\epsilon\rho\gamma\omicron\varsigma$ (erfos) significa "trabalho". Ex: Energia cinética; Energia potencial; Energia elétrica; Energia térmica; Energia nuclear.
- **Radiação:** em física, radiação é a propagação da energia por meio de partículas ou ondas a partir de uma fonte. Todos os corpos emitem radiação, basta estarem a uma determinada temperatura. Radiação é, portanto um tipo de energia que se difunde ou se propaga na forma corpuscular ou de ondas eletromagnéticas através de uma fonte. Dependendo da presença ou não de massa, temos dois tipos de radiação:
 - Radiações corpusculares: as partículas emitidas possuem massa, e geralmente são mais ionizantes e mais lesivas. Ex: Partícula α ; Partícula β Positrônica; Partícula β Negatrônica; Emissão de neutrons, protons, etc.
 - Radiações (ondas) eletromagnéticas: não possuem massa. Ex: radiação γ (gama), radiação UV, raio X, luz visível, microondas, infravermelho, etc.

Quanto a capacidade de ionizar estruturas celulares, temos:

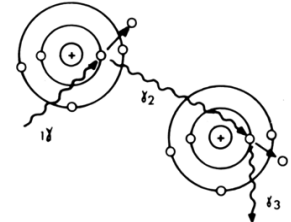
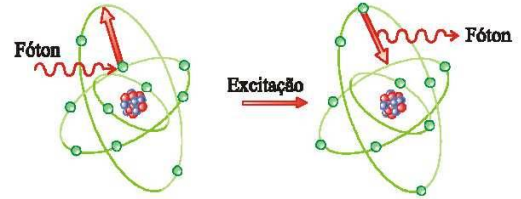
- Radiações não-ionizantes: ondas de Rádio e TV; microondas; infravermelho; luz visível; ultravioleta A e B.
- Radiações ionizantes: ultravioleta C; raios X; raios Gama.

- **Radioatividade (radiatividade):** é um fenômeno natural ou artificial, pelo qual algumas substâncias ou elementos químicos, chamados radioativos, são capazes de emitir radiações, as quais têm a propriedade de impressionar placas fotográficas, ionizar gases, produzir fluorescência, atravessar corpos opacos à luz ordinária, etc. As radiações emitidas pelas substâncias radioativas são principalmente partículas alfa, partículas beta e raios gama. A radioatividade é uma forma de energia nuclear, usada em medicina (radioterapia), e consiste no fato de alguns átomos como os do urânio, rádio e tório serem “instáveis”, perdendo constantemente partículas alfa, beta e gama. O urânio, por exemplo, tem 92 prótons, porém através dos séculos vai perdendo-os na forma de radiações, até terminar em chumbo, com 82 prótons estáveis.

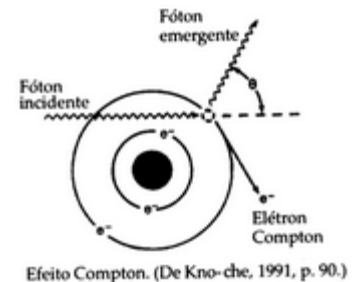
INTERAÇÃO COM A MATÉRIA

Sob o ponto de vista físico, as radiações, ao interagir com um material, podem nele provocar três tipos de fenômenos: excitação; ionização; ativação nuclear.

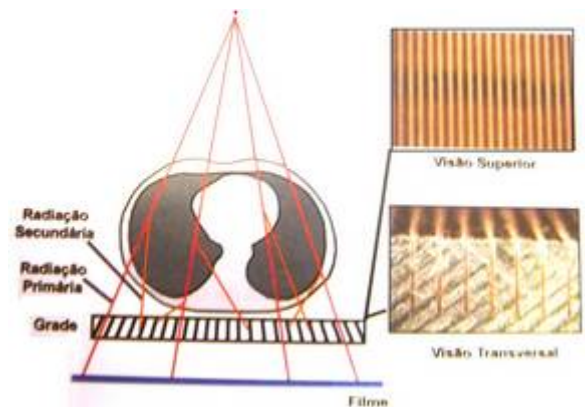
- **Excitação:** elétrons são deslocados de seus locais de equilíbrio e, ao retornarem, emitem a energia excedente sob forma de luz (radiação eletromagnética). Ex: raios-X característicos; écrans (fluorescência); intensificador de imagem.
- **Ionização:** fenômeno em que um átomo perde ou ganha elétrons. O elétron está ligado ao átomo por meio de uma energia E. Com isso, para que o átomo perca esse elétron, ele deverá receber, na forma de radiação, uma energia maior ou igual a E.
- **Interação gama-matéria e efeito fotoelétrico (absorção total da radiação):** a radiação γ , ao ser produzida por uma fonte radioativa, ela de certeza provocará uma interação na matéria devido ao seu poder de ionização. A energia do fóton incidente γ é transferida para um elétron do elemento, energia esta suficiente para expeli-lo da eletrosfera. Isso forma uma vacância eletrônica, que será ocupada por um outro elétron de outra camada, liberando radiação X, obedecendo o **efeito fóton-elétron** (acontece quando a energia incidente γ é absorvida em parte por um elétron, que foge da eletrosfera, recebendo o nome de fóton-eletron). Em resumo, temos: (1) o átomo absorve a energia do fóton; (2) torna-se instável; (3) emite um elétron para atingir a estabilidade. Com isso, tem-se que os resultados do efeito fóton-elétron são: elétron ejetado; formação de Raios-X característicos; formação de íons positivos. É uma interação que acontece com materiais de alta densidade, utilizados, por exemplo, para blindagem ou sensibilização do filme radiográfico.



- **Efeito ou espalhamento Compton (absorção parcial da radiação):** é um efeito que contribui para espalhar a radiação no momento que ela incide no meio material. A energia γ incidente, oriunda de uma fonte externa, tem energia suficiente tanto para ejetar um elétron da eletrosfera de um elemento quanto para desviar a sua rota em direção a um outro elemento, muito semelhante a um jogo de bilhar, em que uma bola desloca a outra, espalhando o jogo por toda a mesa. O fóton incidente é aquele que inicia a cadeia de ejeções, e o fóton emergente se forma após a primeira interação fóton-elétron. Quanto maior a energia cinética do fóton incidente, menor é o ângulo θ formado entre sua trajetória inicial e sua nova trajetória. Em resumo, temos: (1) o átomo absorve a energia do fóton; (2) torna-se instável; (3) emite um elétron e outro fóton para atingir a estabilidade; (4) o fóton emitido é de menor energia e chamado de radiação secundária (espalhada). Acontece com materiais de baixa e média densidade (como o corpo humano). Isso significa que a incidência de radiação primária sobre estruturas orgânicas é passível de produzir **radiação espalhada (secundária)**, capaz de aumentar as **doses ambientais de radiação** e produzir **artefatos de imagem** no filme radiográfico.



OBS⁷: A radiação secundária ou espalhada, resultante da incidência de um feixe de radiação primária sobre tecidos de baixa ou média densidade, é um fator preocupante tanto para os operadores das máquinas de raios-X quanto para a qualidade da imagem. Como vimos, a radiação secundária é capaz de aumentar as doses ambientais da radiação, sendo necessária uma maior preocupação com equipamentos de proteção geral e individual contra a ação deletéria da radiação. Com relação à qualidade da imagem, o espalhamento da radiação primária interfere na qualidade da imagem por produzir artefatos no filme radiográfico que podem interferir na imagem real das estruturas orgânicas. Para prevenir este efeito, existe um equipamento denominado **grade** (componente da gaveta onde se introduz o chassi). Constituída de uma placa de



chumbo vazada, a grade apresenta fendas com orientação predeterminada fisicamente capaz de reduzir ou barrar a incidência da radiação secundária no filme radiográfico, diminuindo assim, a aparição de imagens inexistentes no filme. Contudo, diferentemente dos écrans (ver OBS⁸), a grade não diminui a radiação incidente sobre o paciente, apenas reduz os efeitos da radiação secundária sobre o filme. De fato, é inadmissível comparar a função da grade com a do écran: enquanto a grade aumenta a qualidade da imagem (por reduzir artefatos), o écran diminui a qualidade (por borrar a imagem devido ao espalhamento de micropartículas excitadas previamente pelos fótons da radiação). A grade é utilizada para raios-X de compartimentos mais volumosos (e que apresentam mais matéria para interação da radiação), como o tórax e o abdome. Geralmente, não é necessário o uso de grade no exame radiográfico da mão, por ser uma estrutura anatomicamente menor e apresentar menos matéria para interação da radiação.

EFEITOS BIOLÓGICOS

Os efeitos biológicos podem ser estocásticos (causam transformação celular) e determinísticos (causam a morte celular):

- ✓ Os efeitos estocásticos causam alterações no DNA da célula e podem ocorrer com qualquer dose de radiação. A célula continua de reproduzindo, passando as alterações adiante. O sistema de defesa falha, a célula pode continuar se reproduzindo até o surgimento de um tumor.
- ✓ Nos efeitos determinísticos, como levam à morte celular, existe uma relação entre a dose recebida e os efeitos esperados. A ocorrência da severidade do dano depende do tecido atingido e aumentam diretamente proporcional à dose de radiação. Ex: leucopenia, anemia, catarata, necrose tissular, radiodermite, etc.

EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO GERAL

Muitos dos componentes que formam os equipamentos radiológicos foram projetados para evitar a exposição desnecessária dos pacientes e profissionais e já foram vistos quando estudamos a física das radiações. A seguir, estão listados alguns deles e seu papel na radioproteção:

- ✓ O tubo de raios-X recebe um invólucro (carcaça) de chumbo para evitar que a radiação se espalhe;
- ✓ O **filtro inerente (filtro de alumínio)** reduz a radiação de baixa energia na saída do tubo;
- ✓ O **colimador** restringe a área irradiada;
- ✓ Os **cones e cilindros de extensão** reduzem a área de exposição do paciente;
- ✓ O **écran** intensifica os raios-X, promovendo uma redução nos tempos de exposição: quando um fóton de raios-X incide sobre a camada de écran na superfície interna do chassi, ocorre excitação e produção de várias micropartículas que ampliam a impressão do filme sem intensificar a radiação (propriedade de fluorescência). Este fato é responsável por diminuir bastante a dose de radiação incidente. Contudo, a qualidade de imagem é reduzida, ficando um pouco borrada devido ao espalhamento de partículas do écran.
- ✓ O chassi tem uma **lâmina de chumbo na tampa**, evitando que as radiações prossigam além deste ponto;
- ✓ O **filme radiográfico** e o seu **processamento** estão cada vez melhores, diminuindo o tempo de exposição;
- ✓ A sala onde está o equipamento deve ser **blindada** (com argamassa baritada ou lâminas de chumbo) para evitar a saída das radiações;
- ✓ O operador deve ficar atrás de um **biombo de chumbo** durante a realização do exame para evitar exposição às radiações;
- ✓ A **saia de chumbo do seriógrafo** protege o operador das radiações secundárias.

OBS⁸: O uso de écrans serve, portanto, para diminuir a dosagem de raios-X incidentes sobre o tecido orgânico. Contudo, o seu uso é inversamente proporcional à qualidade da imagem, a qual torna-se mais borrada. Normalmente, na radiografia, se trabalha com dois écrans dentro do chassi. Já na mamografia, apenas um écran é utilizado, pois as estruturas da mama já não apresentam muito contraste, e a perda da qualidade da imagem com o uso de dois écrans é totalmente inviável.

PROPRIEDADES DOS RAIOS-X

Os raios-X, protótipos da radiologia, apresentam as seguintes propriedades:

- ✓ Causam fluorescência em certos sais metálicos. Isso significa que, mesmo sendo invisíveis, os raios-X geram luz quando incidem em placas metálicas;
- ✓ Enegrecem placas fotográficas (que são originalmente claras) quando incidem diretamente sobre elas. Isso significa que: (1) áreas atingidas pelos raios-X com maior atenuação refletem-se de forma mais clara no filme radiográfico (como se mostram brancos os ossos); (2) áreas atingidas pelos raios-X com menor atenuação, o filme torna-se enegrecido (como acontece com as margens da imagem, onde não há tecido orgânico).
- ✓ Propriedades de radiação eletromagnética;
- ✓ São capazes de ionizar;
- ✓ Produzem radiação secundária (aumentam a dose ambiente);
- ✓ Propagam-se em linha reta.

TUBO DE RAIOS-X

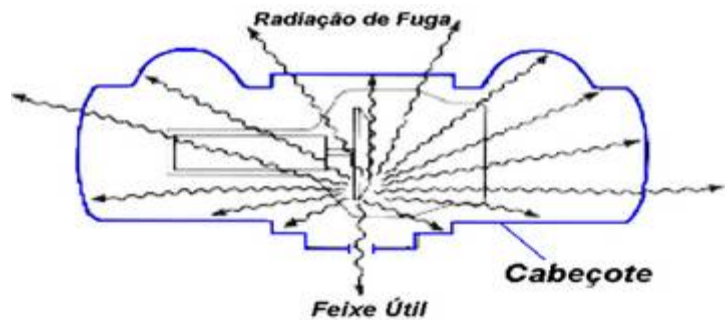
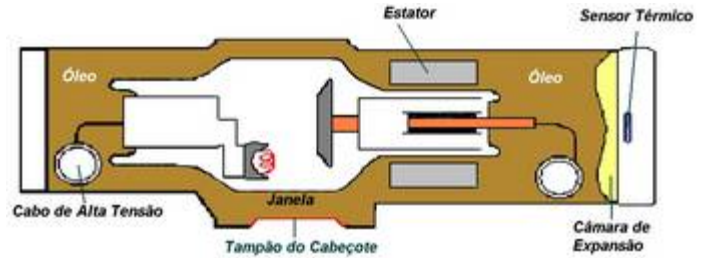
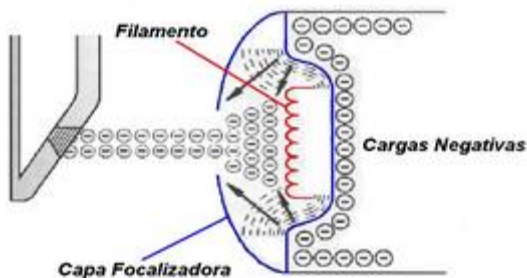
Como vimos a propósito da *Radiologia Geral e Materiais*, os raios-X são formados a partir de uma reação térmica a vácuo em um filamento de tungstênio (cátodo), o que forma uma nuvem de elétrons ao seu redor. Sob estímulo de alta voltagem, um ânodo rotatório (esta ação favorece um menor desgaste do ânodo) é ativado e atrai os elétrons sob alta velocidade. Quando colidem com os átomos presentes no ânodo em rotação, os elétrons sofrem uma redução drástica em sua energia cinética, ionizando e excitando os átomos do ânodo, liberando assim, raios-X de frenagem e calor.

Dos 100% da energia gerada dentro do tubo de raios-X, 99% é convertida em calor (decorrente da excitação dos átomos do ânodo) e 1% produz raio-X (decorrente da ionização destes átomos). Decorrente desta grande produção de calor, é necessário um sistema eficiente de resfriamento a óleo circulante por todo o tubo.

O 1% de energia convertida em raios-X toma várias direções dentro do tubo. Contudo, uma pequena janela presente no cabeçote guia o sentido do feixe útil de raios-X enquanto que o material de alta densidade envolvente do cabeçote diminui a quantidade de radiação de fuga.

O envoltório do tubo é constituído de um material tipo Pyrex, capaz de suportar a intensidade do calor gerado na reação e manter o vácuo do sistema, aumentando a durabilidade e rendimento do tubo.

O cabeçote é formado basicamente por chumbo, evitando a saída da radiação de fuga gerada dentro do tubo. Com isso, o cabeçote atenua a radiação de fuga responsável por aumentar a dose ambiental mesmo sem contribuir em nada para a produção da imagem. Como já vimos, o cabeçote contém óleo para dissipação do calor.



O filamento tem 1 a 2 cm de comprimento e tem como função a emissão de elétrons pelo efeito termoiônico. Consiste em um filamento de tungstênio (W) com alto ponto de fusão (aumentando a durabilidade do material) com 1 - 2 % de tório. Apresenta-se com dois focos: um foco fino (menor, que produz menos elétrons) e um foco grosso (maior, que produz mais elétrons). Para mamografia, por exemplo, utiliza-se focos ultrafinos.

A capa focalizadora é uma fina película de níquel que encobre o filamento. Tem a função de manter os elétrons próximos ao filamento, por ser carregada positivamente, formando uma nuvem de elétrons pronta para incidir sobre o ânodo giratório.

O ânodo consiste no alvo ou área de colisão. Pode apresentar tungstênio (produz mais fótons e tem boa dissipação do calor) ou molibdênio (Mo, para a mamografia) em sua constituição. Quanto maior a interação dos elétrons com o alvo, maior a produção de raios-X. O ânodo pode ser fixo (para baixas intensidades) ou giratório (para maiores intensidades e maior dissipação de calor).

OBS⁹: São fatores que aumentam a durabilidade e rendimento do tubo: ânodo giratório; sistema de refrigeração a óleo; envoltório de Pyrex; alto ponto de fusão do tungstênio.

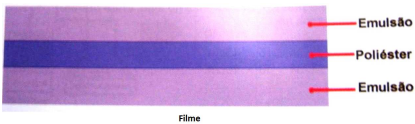
PARÂMETROS TÉCNICOS

- **Tensão da corrente (kV):** quanto maior a tensão, maior a velocidade dos elétrons incidentes, maior transferência de energia, maior energia dos fótons de radiação X e maior a capacidade de penetração da radiação X (sendo necessário o uso de écrans). Aumentando o kV, aumentamos a *penetração* do raio-X.
- **Carga transportável (mAs):** quanto maior a carga transportável, mais elétrons incidentes são produzidos, mais interações com o alvo acontecem, maior o número de fótons de radiação X e maior a nitidez da imagem radiográfica. Aumentando o mAs, aumentamos a *quantidade* de raio-X.



OBS¹⁰: Como se sabe, quanto maior a intensidade de radiação, maior a nitidez da imagem radiográfica. Contudo, deve-se optar por trabalhar com a menor intensidade possível para a obtenção de uma imagem nítida, sem lesão ao paciente. Busca-se, portanto, o uso de aparatos como a grade (que melhoram a nitidez da imagem) e os écrans (que diminuem o nível de radiação necessário para obtenção de uma imagem, mesmo reduzindo a sua qualidade).

FILMES RADIOLÓGICOS E ÉCRANS

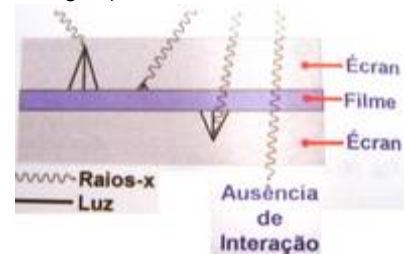


O filme radiológico consiste em uma camada de poliéster revestida por uma dupla camada de material de emulsão. Originalmente, é um filme claro que, quando interage com a radiação-X, precipitam-se os seus componentes e torna-se escuro. O contraste da imagem, isto é, a diferença do claro para o escuro, vai depender da densidade, da absorvância e da transmitância dos tecidos orgânicos.

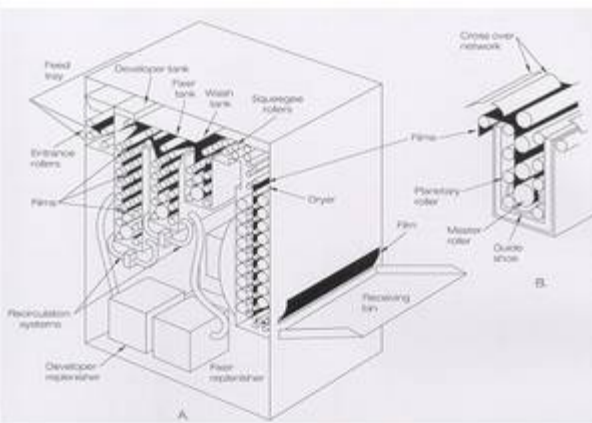
O écran é um dispositivo que converte a energia dos raios-X em energia luminosa (graças à capacidade do raio-X de causar fluorescência em certos sais) que é responsável pela sensibilização do filme e forma também a imagem latente. Em resumo, o écran serve como uma tela intensificadora de imagem, atuando como um amplificador de fótons de luz visível. Embora diminua a dose de radiação a ser utilizada no paciente, o uso do écran diminui a nitidez da imagem (devido ao efeito da energia luminosa de seus componentes sobre o filme radiológico).

Utilizam-se dois écrans para os exames de uma forma geral e apenas um, em especial, para a mamografia (para que a perda da qualidade da imagem devido ao uso do écran não prejudique ainda mais a visualização do parênquima mamário). Quanto aos materiais que constituem o écran, temos:

- ✓ Écran de tungstato de cálcio: emitem luz azul e são utilizados para raio-X industrial.
- ✓ Écran de terras raras: emite luz verde, sendo este o utilizado pelo raio-X médico.



PROCESSAMENTO



PROCESSADORA

O processamento consiste na sequência de revelação do filme, fixação de seus componentes químicos, lavagem (para retirar o excesso de produtos químicos) e secagem do material. Este processo transforma uma imagem latente (pouco nítida) em uma imagem real (visível).

- ✓ A **revelação** consiste na transformação dos haletos de prata expostos pela radiação em prata metálica. A solução reveladora consiste nos seguintes componentes: agente revelador (hidroquinona e fenidona), agente acelerador, agente retardador e solvente (água).
- ✓ A **fixação** consiste na separação e retirada dos haletos de prata não expostos e fixação dos expostos. A solução consiste em um agente revelador (tiosulfato de amônia), veneno e solvente (água).
- ✓ A **lavagem** consiste na retirada do excesso de químicos.
- ✓ A **secagem** da água com vento estabelece o endurecimento da emulsão.

TERMINOLOGIA

Conforme os raios-X entram em contato com as estruturas orgânicas, eles encontrarão resistências diferentes que determinarão, ao final, na quantidade de energia resultante que incidirá sobre o filme. De acordo com a transmitância e a absorvância (ver **OBS⁴**) de cada estrutura orgânica, teremos diferentes tonalidades na impressão do filme radiográfico. Com isso, teremos os seguintes termos:

- **Radiotransparente:** são as estruturas que aparecem em escuro no filme radiográfico revelado. Determina estruturas com maior transmitância, como aquelas que contêm ar (Ex: pulmões).
- **Radiopaco:** são as estruturas que aparecem de forma mais clara (esbranquiçada) no filme radiográfico revelado. Determina estruturas com maior absorvância, como as estruturas ósseas e alguns órgãos compostos por partes moles (como o coração e a aorta).

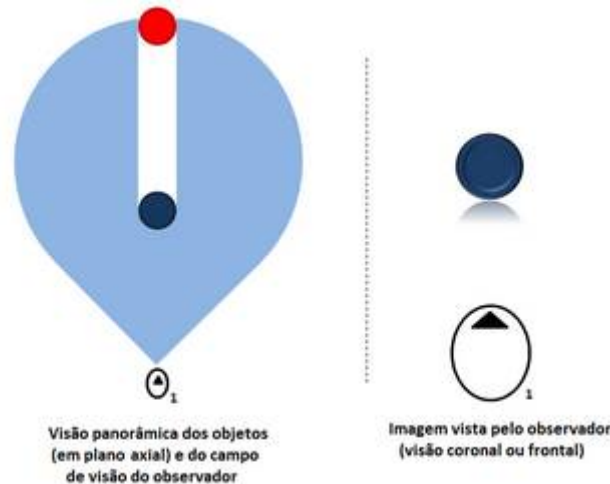
PRINCÍPIOS DIMENSIONAIS DA RADIOGRAFIA

O olho humano é capaz de reconhecer imagens de objetos em 3 dimensões: altura, largura e profundidade. Entretanto, quando sobre este mesmo objeto é projetado um feixe luminoso, na superfície em que sua sombra é projetada, sua imagem se torna bidimensional, perdendo, assim, a profundidade. Da mesma forma ocorre com o exame radiográfico: os raios-X incidem sobre um objeto tridimensional e projetam uma imagem radiográfica bidimensional.

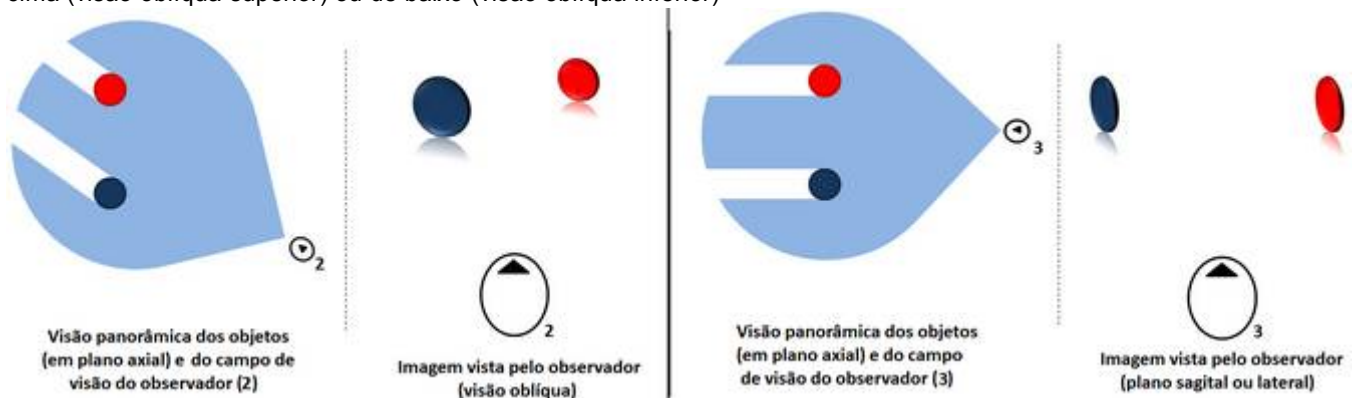


Portanto, as radiografias representam imagens bidimensionais de objetos tridimensionais, em que não existe profundidade.

Desta forma, a ausência de profundidade na radiografia provoca a **sobreposição de imagens** das estruturas anteriores em relação às posteriores: quando dois objetos estão alinhados em relação a um observador, o mais próximo encobrirá o mais distante. É o que mostra a figura a seguir: o fato de o medalhão azul estar na frente do medalhão vermelho com relação ao observador 1 (o que podemos ver com clareza em uma visão panorâmica superior, assim como em um corte axial), faz com ele veja apenas o objeto azul, pois os raios luminosos emanados do objeto vermelho não alcançam a sua retina.



Desta forma, para que o observador tenha uma visão detalhada dos dois objetos alinhados, ele é quem deve se deslocar, podendo optar por uma visão mais oblíqua ou mesmo uma visão mais lateral. Desta forma, os dois objetos podem ser observados separadamente. Além destas visões, o observador ainda teria a opção de olhar os objetos de cima (visão oblíqua superior) ou de baixo (visão oblíqua inferior)



O mesmo viés pode ocorrer, em analogia, com uma radiografia, se considerarmos a ampola de raios-X como o observador: se os raios incidem em duas estruturas alinhadas, as duas poderão ser vistas (pois os raios-X, diferentemente das ondas luminosas normais, atravessam os tecidos a depender de sua densidade); contudo, as imagens das mesmas estarão sobrepostas, como se fossem uma estrutura única.

Da mesma forma, se alteramos a forma de incidência dos raios-X, poderemos ter visões ou cortes diferenciados das mesmas estruturas – não que elas tenham se movido uma com relação a outra (ver *OBS¹¹*), mas sim, o observador – ou a ampola de raios-X – que buscou um melhor ângulo de visão.

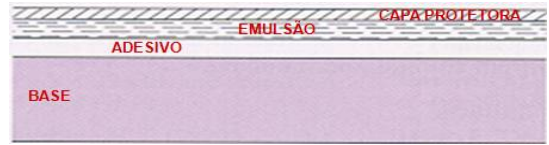
OBS¹¹: Efeito Paralaxe. Consiste no deslocamento aparente da posição de um objeto por mudança real da posição do observador (para os lados, para superior ou para inferior). Na verdade, é uma sensação de um movimento falso que um determinado objeto fez, mas quando, na verdade, o observador quem mudou de posição.

MAMOGRAFIA

O exame radiográfico das mamas é realizado com equipamento próprio, desenvolvido para reprodução imagenológica dos tecidos moles da mama. Uma mamografia normal mostra tecido ductal e conjuntivo num plano de fundo de gordura. Com o aumento da idade, o tecido glandular atrofia e o câncer torna-se mais fácil para identificar. Os aspectos mamográficos da mama normal variam muito de um paciente para outro.

A mamografia é utilizada para examinar mulheres buscando por câncer de mama e também pode ser útil em pacientes apresentando tumores ou áreas sugestivas de massas tumorais nas mamas. Mamografia por ressonância magnética é um exame em desenvolvimento, com até o momento, indicações altamente específicas.

De um modo geral, como a nitidez no exame de mama é bastante importante e deve ser preservada, utiliza-se de apenas uma camada de écran (evitando o efeito *crossover*, ver OBS¹²) e, na maioria das vezes, uma maior carga transportável (mAs), contribuindo ainda mais para a nitidez da imagem.

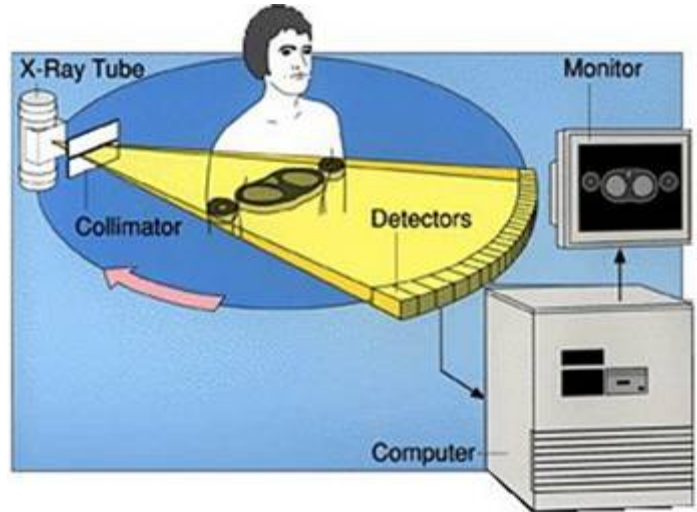


OBS¹²: O *efeito crossover* ocorre em filmes de dupla emulsão (dois écrans), em que ocorre dupla sensibilização do filme, aumentando a borrosidade da imagem. Utiliza-se, portanto, apenas uma emulsão para evitar o *crossover* e aumentar a nitidez.

TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA (TC)

A tomografia computadorizada tem o mesmo fundamento do sistema radiográfico digital direto (DR), com as mesmas propriedades da produção dos raios-X. Ela difere da radiografia convencional por utilizar-se de um sistema de detecção de raios-X mais sensível e porque os dados são manipulados por meio de um computador (por se tratar de um sistema DR).

O tubo de raios-X e os detectores eletrônicos rodam ao redor do paciente. A característica mais importante da TC é o fato de que diferenças muito pequenas nos valores de absorção dos raios-X podem ser visualizadas: não somente é possível distinguir a gordura dos demais tecidos moles, mas gradações de densidade dentro dos tecidos moles também podem ser reconhecidos, assim como a substância cerebral pode ser diferenciada do líquido cérebro-espinhal ou um tumor circundado por tecidos normais.

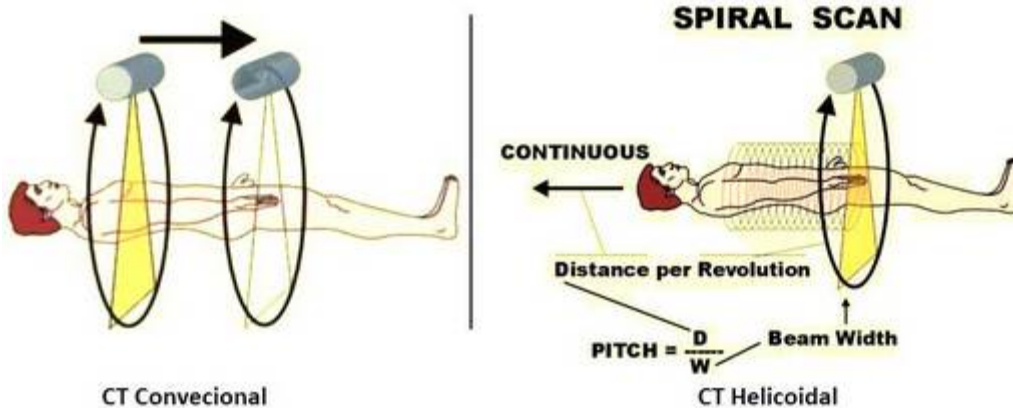


O paciente permanece deitado com a parte a ser examinada dentro do *gantry* que contém o tubo de raios-X e os detectores. Apesar de outros planos algumas vezes serem utilizados, os cortes axiais são, de longe, os mais frequentemente usados. O operador seleciona o nível e a espessura a ser representada na imagem (a espessura usual situa-se entre 1,0 e 10 mm). Movendo-se o paciente através do *gantry*, podem ser visualizados múltiplos cortes adjacentes, fornecendo uma imagem do corpo a ser reconstruída. Cortes finos fornecem informações mais precisas.

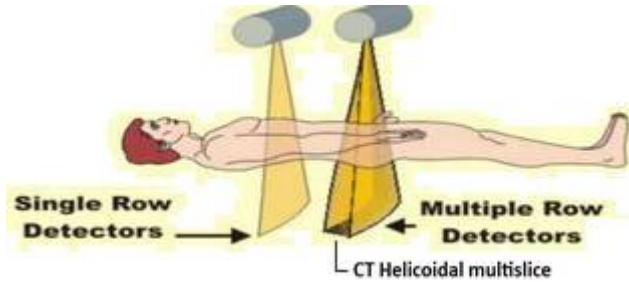
Os raios-X incidem sobre o paciente, reagem normalmente dependendo da densidade dos tecidos e, os resultantes, são captados por receptores que acompanham os movimentos do tubo de raios-X. A informação é transmitida dos receptores direto ao computador, onde a imagem é, enfim, digitalizada.

A aquisição da imagem pela TC pode acontecer por dois modos:

- **Tomografia computadorizada convencional (sequencial):** o escaneamento é feito por fatia a fatia.
- **Tomografia computadorizada espiral (helicoidal):** o tubo roda continuamente e o paciente move-se gradualmente através do scanner, de modo que a direção efetiva do feixe de raios-X é espiral. Com os tomógrafos mais modernos, o paciente é movido através de um dispositivo de detectores dentro da máquina. De fato, os dados de múltiplos níveis adjacentes são coletados continuamente, enquanto o feixe de raios X traça uma via espiral para criar um volume de dados na memória do computador. O técnico determina a espessura do corte e o intervalo (também em milímetros) entre os cortes.

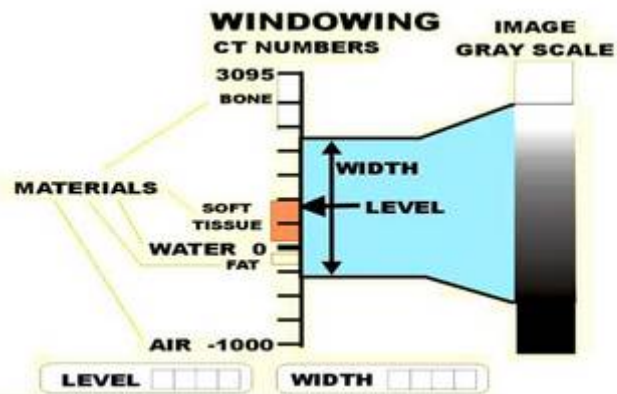


- o TC helicoidal *multislice* (TC com detector múltiplo): é uma recente inovação na qual mais de 16 cortes podem ser obtidos durante uma rotação do tubo de raios-X. A TC multislice possibilita a realização mais rápida de um exame, fornecendo cortes muito mais finos que, por sua vez, permitem uma elevada qualidade multiplanar e reconstruções tridimensionais, assim como a angiografia por TC. O TC *multislice* trata-se de um aparelho de TC helicoidal com uma maior quantidade de canais receptores.



Os dados captados pelos receptores em cada sessão de exposição são reconstruídos, formando uma imagem por meio da manipulação do computador. O computador calcula o valor de atenuação (absorbância) de cada elemento da imagem (conhecido como *pixel* na linguagem de computador). Cada pixel tem um diâmetro de 0,25 – 0,6 mm, dependendo da resolução da máquina. Como cada *pixel* possui um volume definido, o valor de atenuação representa o valor médio naquele volume do tecido (*voxel*). As imagens resultantes são apresentadas em um monitor e fotografias destas imagens são utilizadas para o registro permanente.

OBS¹³: Janelas radiográficas. Os valores de atenuação são expressos em uma escala arbitrária (unidades de Hounsfield) com a densidade da água sendo zero, a densidade do ar sendo menos 1000 unidades e a densidade óssea sendo de 1000 unidades positivas. A variação e o nível de densidades a serem representados podem ser selecionados por meio de controles de computador. A variação das densidades visualizadas de uma imagem em particular é conhecida como *largura (width) da janela* e o valor médio como o *nível ou centro da janela*. O olho humano é somente capaz de apreciar um número limitado de tons de cinza. Com uma janela larga, todas as estruturas ficam visíveis, mas detalhes de diferenças de densidade deixam de ser notados. Com uma janela de largura estreita podem ser observadas variações de somente algumas unidades de Hounsfield, mas a maior parte da imagem é totalmente preta ou totalmente branca e nestas áreas não se obtêm informações úteis.



OBS¹⁴: De forma mais sucinta, quando se quer visualizar melhor o pulmão, se faz uma janela apropriada para este órgão; quando se quer uma visualizar melhor o mediastino, se faz uma janela apropriada para estruturas dessa região. Para apropriar uma janela para um determinado órgão, deve-se ter como referência a densidade de seu conteúdo de acordo com as unidades de Hounsfield. Para estudar o mediastino, por exemplo, centraliza o nível (ou centro) da janela na região da escala que abrange a densidade das partes moles (em torno de 100 U.H.) e regula a largura (abertura) da janela padrão para aquele nível (em torno de 300 U.H.). Deste modo, observaremos bem os tecidos moles, a água, a gordura e demais estruturas que tenham densidade intermediária entre a gordura e tecidos moles (músculos, vasos, etc.). Quanto a estruturas ósseas e que contenham ar terão sua resolução prejudicada, e apresentarão poucos detalhes nítidos na imagem: tudo que estiver abaixo do nível da abertura da janela, apresentar-se-á completamente escuro e, de modo contrário, toda estrutura com densidade acima do nível delimitado pela largura da janela apresentar-se-á totalmente claro. Essas janelas são especialmente importantes para determinar as aberturas radiológicas na tomografia de crânio quando se quer avaliar o encéfalo ou as estruturas ósseas do crânio.

TERMINOLOGIA NA TOMOGRAFIA

- **Hipodenso ou hipoatenuante:** a imagem apresenta-se escurecida no filme radiológico. Ex: ar, pulmão, etc.
- **Isodenso ou isoatenuante:** apresenta mesma atenuação do tecido vizinho comparado. Ex: nódulos hepáticos.
- **Hiperdenso ou hiperatenuante:** apresenta-se na imagem de forma mais clara, esbranquiçada. Ex: ossos.

ULTRASSONOGRRAFIA (ECOGRAFIA)

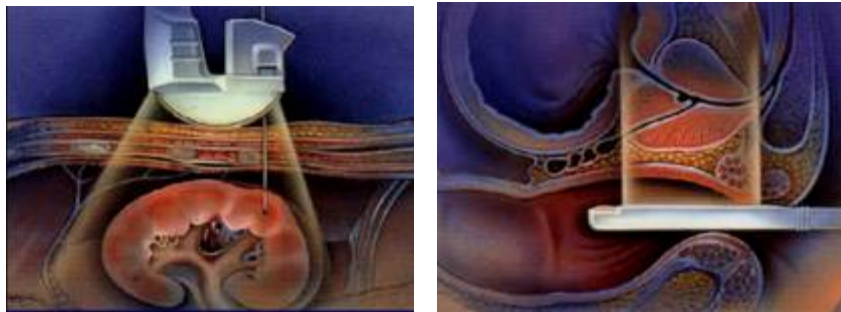
A ultra-sonografia não faz uso de raios-X, mas de um feixe de ondas sonoras de frequência muito elevada que é dirigido para dentro do corpo a partir de um transdutor posicionado em contato com a pele. Visando estabelecer um bom contato acústico, a pele é lubrificada com uma substância gelatinosa, que evita a presença de resquícios de ar entre o aparelho e a pele.

O aparelho utilizado pela ultra-sonografia é o **transdutor**, responsável por converter energia elétrica em sonora. Enquanto o som atravessa o corpo, é refletido pelas interfaces tissulares para produzir ecos que são captados pelo mesmo transdutor e convertidos novamente em sinais elétricos. De fato, transdutor é todo aparelho capaz de converter um tipo de energia em outra: dentro da região de contato do aparelho com a pele, existem vários cristais piezoelétricos responsáveis por esta conversão de energia.

Existem variados tipos de transdutores, que variam de formato e de frequência de acordo com a região do corpo onde serão aplicados: transdutores convexos (frequência de 3,5 – 5 Hz), endocavitários (transretal e transvaginal; frequência de 7,5 – 9,5 Hz) e lineares (frequência de 10 – 14 Hz). Quanto mais alta for a frequência, melhor a **resolução espacial**, isto é, capacidade de distinguir dois pontos próximos na imagem.



Contudo, quanto maior a frequência, menor a capacidade de penetração das ondas sonoras no corpo. Por isso, os transdutores lineares são mais usados para estruturas superficiais (ultrassom de punho, braço, tireóide, mama, músculo esquelético, etc.). O convexo é utilizado para verificar estruturas mais profundas (como órgãos abdominais, inclusive os retroperitoneais, vias urinárias; ultrassom de tórax), mesmo perdendo um pouco da qualidade da imagem. Os transdutores endocavitários, por sua vez, são aplicados necessariamente próximos aos órgãos que se quer avaliar.



- ✓ O músculo é hipocogênico, aparecendo de modo escurecido, mas com alguns traços hiperecogênicos. Eles são vários feixes de fibras musculares e os traços correspondem ao o espaço entre um feixe e outro, é o colágeno, que é hiperecogênico. Para estudar o rim no corte longitudinal, coloca-se o transdutor no eixo longitudinal do rim. Geralmente se estuda todas as estruturas em um corte longitudinal e transversal, pelo menos. O córtex renal é mais hipocogênico que a medula.
- ✓ Para se estudar a próstata, utiliza-se um endocavitário, que insona a próstata ou pode ser por via transabdominal, pélvica, suprapúbica, insona a bexiga, que está cheia e insona a próstata. O endocavitário tem uma frequência maior, por isso dá uma resolução espacial melhor e insona uma estrutura mais próxima. Já da outra maneira, está mais longe, podendo gerar mais artefatos. Geralmente utiliza-se a via transretal para guiar biópsia de próstata (no mínimo 12 pedaços da próstata). O exame não é feito para se estudar periodicamente, até porque só o aspecto ultra-sonográfico não é suficiente para determinar se um nódulo é maligno ou benigno. Para isso faz-se biópsia guiada pela ultra-sonografia.

Os cristais piezoelétricos convertem a energia elétrica em energia sonora capaz de interagir com estruturas orgânicas. De acordo com as propriedades ecogênicas de cada estrutura, o som é refletido, novamente captado pelos cristais e revertidos em energia elétrica, formando uma imagem. Como o ar, osso e outros materiais fortemente calcificados absorvem aproximadamente todo o feixe sonoro, o ultra-som desempenha um papel muito pequeno no diagnóstico de doenças pulmonares ou ósseas. A informação de exames intra-abdominais pode ser significativamente prejudicada por gás no intestino, que interfere na transmissão do som.

O líquido é bom condutor de som e, conseqüentemente, a ultra-sonografia é uma modalidade de imagem particularmente boa para o diagnóstico de cistos, examinar estruturas repletas de líquido, como bexiga e sistema biliar, e demonstrar o feto dentro do saco amniótico. O ultrassom também pode ser utilizado para demonstrar estruturas sólidas que possuem uma impedância acústica diferente dos tecidos normais adjacentes, por exemplo, no caso de metástases.

O ultrassom frequentemente é utilizado para determinar se uma estrutura é sólida ou cística. Cistos e outras estruturas repletas de líquido produzem ecos maiores a partir de suas paredes e não produzem ecos a partir do líquido nelas contido. Assim, mais ecos que o usual são recebidos a partir de tecido atrás do cisto, um efeito conhecido como **reforço acústico** (ou **janela acústica**). Em contrapartida, com uma estrutura calcificada, por exemplo, um cálculo biliar existe uma grande redução do som que o atravessa, de modo que uma faixa de ecos reduzidos, conhecida como **sombra acústica**, é observada por trás do cálculo.

TERMINOLOGIA

- **Hiperecogênico:** aparece mais claro na imagem. Ex: gordura.
- **Hipocogênico:** aparece mais escuro na imagem. Ex: líquidos.

EFEITO DOPPLER

O Doppler é uma categoria radiológica capaz de determinar movimento ou fluxo de determinadas estruturas. O som refletido por uma estrutura móvel mostra uma variação em frequência que corresponde à velocidade de um movimento da estrutura. Esta variação na frequência, que pode ser convertida em um sinal audível, é o princípio básico do Doppler.

O efeito Doppler também pode ser explorado para fornecer uma imagem do sangue fetal fluindo através do coração ou dos vasos sanguíneos. Aqui, o som é refletido pelas células sanguíneas fluindo dentro dos vasos. Se o sangue flui em direção do transdutor, o sinal recebido é de uma frequência mais alta que a frequência transmitida, enquanto o oposto ocorre quando o sangue flui para longe do transdutor.

A diferença na frequência entre o som transmitido e o recebido é conhecida como diferença de frequência Doppler ou *Doppler shift*. O *Doppler shift* depende diretamente do cosseno do ângulo (θ) de incidência do transdutor, de modo que, quanto mais próximo de $\theta=0$ (como o cosseno de 0 é igual a 1), temos o valor máximo do *Doppler shift*, de forma que a velocidade do fluxo determinado no ultra-som fosse cerca de 99% da velocidade real (contudo, é praticamente impossível aplicar o transdutor em ângulo exato com o fluxo sanguíneo). Com $\theta=45^\circ$ de inclinação, temos cerca de 75% da velocidade real. Com $\theta=70^\circ$, temos que a velocidade determinada é cerca de 34% da velocidade real. Por isso, o ângulo aceitável para esta inclinação não pode ultrapassar $\theta=60^\circ$. Até porque, com uma inclinação de 90° , a velocidade aparente nada (0%) se assemelha a velocidade real do fluxo.

OBS¹⁵: Geralmente, o Doppler mostra na imagem¹⁵ um fluxo vascular nas cores vermelha e azul. Contudo, não determina obrigatoriamente se tratar de um fluxo arterial e venoso, respectivamente. O fluxo em azul significa aquele que se aproxima do transdutor, enquanto que o fluxo vermelho se afasta do mesmo.

OBS¹⁶: Existe ainda o Doppler espectral, que fornece o espectro do fluxo. Por exemplo, um fluxo arterial apresenta comportamento diferente diante da sístole e da diástole: acelera no momento da sístole e desacelera na diástole. Se fosse um fluxo venoso, apareceria como se estivesse em diástole o tempo todo, por não acompanhar sístole e diástole.

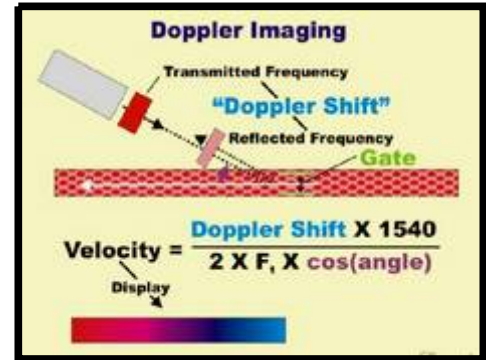
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Assim como o ultrassom, a ressonância magnética (RM, ou *MRI*, do inglês, *Magnetic Resonance Imaging*) não utiliza radiação ionizante e sim captação de sinal de radio frequência. Determina cortes (sagital, coronal, oblíquo) de todos os planos, sem que seja necessário mudar a posição do paciente, mas apenas ajustar no computador.

Verificou-se que determinados núcleos de elementos químicos, quando submetidos a um campo eletromagnético, emitem sinais de rádio que podem ser captados por antenas ou bobinas para serem transformados em imagem. No corpo humano, quando não são submetidos a um campo magnético, os átomos de hidrogênio estão aleatoriamente distribuídos, cada um com seu momento magnético. Quando o paciente é submetido ao campo magnético, alinham-se todos os prótons de hidrogênio, uns no mesmo sentido do campo magnético e outros no sentido oposto, formando os átomos paralelos e antiparalelos. Isso gera um vetor magnético resultante (que geralmente é maior no mesmo sentido do campo magnético, porque a maioria dos átomos se alinha no mesmo sentido). Logo depois do campo e da formação do vetor resultante (a imagem ainda não foi formada), o vetor resultante volta ao equilíbrio e, neste momento, ele emite um sinal de rádio. As bobinas (ou antenas) captam este sinal para se obter a imagem. Cada bobina é específica para o tecido que se deseja estudar: por exemplo, para um exame de crânio, utiliza-se a bobina de crânio; para um exame de ombro, utiliza-se uma bobina de ombro ou de superfície.

A bobina capta, portanto, o sinal que está sendo emitido no momento em que o vetor resultante do campo está voltando ao estado de equilíbrio em dois momentos: T_1 e T_2 . Esse sinal, por sua vez, é convertido em imagem.

OBS¹⁷: De uma forma mais detalhada, temos: Os princípios básicos da RM dependem do fato de que o núcleo de certos elementos alinha-se com a força magnética quando colocado em um campo magnético intenso. Com as forças de campo utilizadas normalmente na imagenologia médica, os núcleos de hidrogênio (prótons) em moléculas de água e gordura são responsáveis pela produção de imagens anatômicas. Se um pulso de radiofrequência é aplicado aos hidrogênios em um campo magnético, uma porção dos prótons alinha o seu movimento (que antes era aleatório) na direção do campo, lança-se através de um ângulo pré-selecionado e roda em fase com outros. No momento do alinhamento, alguns núcleos adotam o mesmo sentido (paralelo) e outros, o sentido inverso (antiparalelo) ao do campo. O campo magnético gerado pelos íons de sentidos contrários forma um vetor resultante (T_0). Depois do pulso de radiofrequência, os prótons retornam as suas posições originais. Quando os prótons se realinham (relaxam), produzem um sinal de rádio que, apesar de muito fraco, pode ser detectado e localizado por sensores de antena colocados ao redor do paciente. Pode ser construída uma imagem representando a distribuição dos prótons de hidrogênio. A força do sinal não depende somente da densidade do próton, mas também de dois tempos de relaxamento, T_1 (recuperação do vetor relaxado em 63° com relação ao vetor resultante inicial) e T_2 (vetor relaxado em 37° com relação ao vetor resultante inicial). T_1 depende do tempo em que os prótons necessitam para retornar ao eixo do campo magnético e T_2

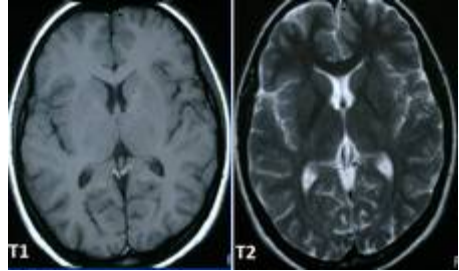


depende do tempo que os prótons necessitam para a defasagem. Uma imagem ponderada em T1 é aquela na qual o contraste entre tecidos se deve, principalmente, a suas propriedades de relaxamento T1, enquanto na imagem ponderada em T2 o contraste é devido, principalmente, às propriedades de relaxamento T2. A maior parte dos processos patológicos apresenta aumento dos tempos de relaxamento T1 e T2 e, conseqüentemente, estes processos aparecem com sinal reduzido (mais escuros) nas imagens ponderadas em T1 e elevado sinal (mais brancos) nas imagens ponderadas em T2 do que os tecidos circundantes. A imagem ponderada em T1 e T2 pode ser selecionada alterando-se adequadamente o tempo e a sequência dos pulsos de radiofrequência.

INTENSIDADE DO SINAL DA RM E TERMINOLOGIA

- **Sinal ausente:** a estrutura não emite sinal devido a ausência (ou carência) de íons H^+ . Ex: cortical óssea.
- **Hipointenso:** a estrutura de referência é mais escura que os tecidos circunvizinhos. Ex: Líquor em T1.
- **Isointenso:** a estrutura de referência apresenta a mesma intensidade dos tecidos circunvizinhos.
- **Hiperintenso:** a estrutura de referência apresenta-se mais clara que os tecidos circunvizinhos. Ex: Líquor em T2.

OBS¹⁸: Note que o LCR é escuro na imagem de RM do encéfalo ponderada em T1 e branco na ponderada em T2 (isso porque o LCR emite muito sinal em T2). A densidade da substancia branca e cinzenta do cérebro varia nas duas imagens. De uma forma geral, a água tem hipsinal em T2; a gordura tem hipsinal em T1. Cada tecido tem, portanto, seu tempo específico de relaxamento. Por isso que se diz que a ressonância é um ótimo exame para avaliação de partes moles, uma vez que cada tecido tem seu comportamento específico diante dos tempos de relaxamento do campo magnético T1 ou T2 que já é previamente conhecido.



OBS¹⁹: A vantagem da RM sobre a CT está no fato de a tomografia computadorizada fornecer apenas imagens nítidas em cortes axiais; já a ressonância magnética é capaz de fornecer imagens em cortes variados: axiais, coronais (ou frontais), sagitais (e paramedianos).

MEIOS DE CONTRASTE

Contrastes são substâncias radiopacas injetadas no corpo com a finalidade de destacar determinada estrutura no exame de imagem. Esses meios de contraste são positivos quando aparecem em branco; e negativos quando não aparecem tão brancos (como a água ou ar, que fica com densidade de líquido, mas distende da mesma forma).

Os principais meios de contraste são:

- **Baritado:** utilizado para imagens por raios-X (se for utilizado para tomografia, deve ser utilizado em baixas concentrações, o que é bem mais caro). O agente químico principal é o bário via oral. É mais utilizado para estudos do trato gastrointestinal.
- **Iodado:** utilizado para imagens por raios-X e TC. Apresenta-se na forma iônica e não-iônica (este é responsável por desencadear menos reações adversas, como reações anafilactóides). Pode ser administrado por via oral, retal, intravenosa (para a TC), transvaginal. São classificados como não-lipossolúveis.
- **Gadolinio:** compostos de gadolínio (Gd) são usados como contrastes intravenosos para realçar imagens em ressonância magnética. Como os demais lantanídeos, os compostos do gadolínio apresentam toxicidade de baixa a moderada, embora sua toxicidade não fosse investigada em detalhe. Podem desencadear reações alérgicas em indivíduos sensíveis. São classificados como lipossolúveis.

EXAME RADIOGRÁFICO

ORIENTAÇÕES GERAIS

O ciclo da radiologia se inicia com a solicitação de um exame feito por um especialista que sugere hipóteses diagnósticas e se encerra com o laudo radiológico, estabelecido após os respectivos exames, competência do médico radiologista. No advento da solicitação do exame, é ideal que haja a identificação do paciente, o exame ou procedimento sugerido e o motivo para tal diagnóstico por meio de um resumo clínico. Estes detalhes guiarão o radiologista na direção certa do estabelecimento de um diagnóstico concreto.

- **Identificação do paciente:** deve constar dados importantes do paciente, tais como; nome ou registro; data de nascimento; data da solicitação; endereço do paciente; outro contato; médico assistente e responsável.
- **Resumo clínico:** deve trazer informações relacionadas com a doença do paciente, as possíveis hipóteses diagnósticas e, de uma forma geral, os detalhes que devem ser investigados durante o exame radiológico.
- **Consulta radiológica:** durante o exame, o médico radiologista deve atentar não somente para os detalhes sugeridos pelo médico especialista, mas deve vasculhar também achados adicionais que possam interferir no prognóstico e tratamento do paciente.

LAUDO RADIOLÓGICO

O laudo ou relatório radiológico deve constar a descrição dos achados e a sua interpretação. É importante que tais dados sejam realizados pelo médico competente para tal função: o médico radiologista. O laudo deve apresentar a identificação do paciente, o nome do médico solicitante, o tipo do exame e a data do exame quando foi realizado, o de tempo de duração do exame, o resumo clínico da doença (com sua respectiva classificação no CID-10), o corpo do laudo (descrição do procedimento e material, achados radiológicos, limitações e comparação) e a conclusão (ou impressão diagnóstica).

Afora a solicitação do exame – estabelecida pelo médico especialista – e a impressão diagnóstica – competência do médico radiologista – a comunicação direta entre os profissionais deve existir sempre que houver intervenção imediata ou urgente, divergência de interpretação anterior e achados significantes e/ou inesperados.

REFERENCIAIS DO EXAME RADIOGRÁFICO

Alguns elementos de referência devem ser levados em consideração para a avaliação de uma imagem de radiografia do sistema esquelético. O primeiro deles é a orientação da imagem no papel radiográfico: como se nós tivéssemos capturando uma foto de um indivíduo de frente, todas as estruturas anatômicas estudadas devem ser analisadas como se o paciente estivesse de frente para o observador. Por convenção, a localização da **identificação do paciente** sempre se faz à direita de sua imagem, ou à esquerda do observador.

Padrão da identificação na radiografia.

A identificação deverá estar impressa e legível na radiografia, sem superpor estruturas importantes do exame radiográfico. Pode ser feita usando um numerador alfa numérico, ou câmaras identificadoras. Deve ser evitada a identificação escrita (com caneta) ou com etiqueta colada diretamente na radiografia.

A identificação de uma radiografia deve conter, no mínimo, os seguintes dados:

- ✓ Nome ou logotipo da instituição onde foi realizado o exame;
- ✓ Data (dia/ mês/ ano) da realização do exame;
- ✓ Iniciais do paciente;
- ✓ Número de registro do exame no serviço de radiologia.

Nos exames de estruturas pares do corpo (mãos, pés, etc.), deve ser acrescentada obrigatoriamente a identificação a letra “D” ou “E”.

Uma numeração sequencial ou o tempo devem ser acrescentados à identificação nos exames seriados. Nos exames realizados no leito, devem ser acrescentadas a localização do paciente e a hora da realização do exame.

Localização da identificação.

A identificação deve estar sempre posicionada na radiografia em correspondência com o **lado direito do paciente**, podendo estar no canto superior (mais utilizado) ou no canto inferior.

Uma radiografia ao ser analisada deve estar com a identificação legível e posicionada de maneira que corresponda ao paciente em **posição anatômica de frente para o observador**, ou seja, a identificação da radiografia deve sempre estar legível e à esquerda do observador, com a borda superior em correspondência com a extremidade superior da região a ser radiografada, exceto para as extremidades (mãos / carpos e pés).

As radiografias das extremidades (mãos / carpos e pés) constituem exceção a essa regra e devem ser posicionadas para análise com os dedos voltados para cima, e o numerador posicionado do lado direito da região anatômica em estudo, com a sua borda inferior em correspondência com a extremidade distal dessa região.

As demais referências para identificar, de modo mais específico, o lado correspondente para cada estrutura fica por conta do conhecimento anatômico da região estudada, sendo necessário lembrar, por exemplo, que, na perna, a fíbula é sempre lateral (ou externa) com relação à tíbia; no antebraço, o rádio é mais lateral (ou externo) com relação à ulna.

