

A PRODUÇÃO DOS RAIOS - X

THE X-RAY GENERATION

* COSTA, Roberto Fernandes

RESUMO - O presente trabalho tem como objetivo mostrar como são produzidos os raios-X, através da análise dos componentes básicos de um aparelho gerador, bem como algumas considerações sobre física elementar necessárias ao entendimento da iniciação do processo. Dirige-se, basicamente, a alunos de graduação e a profissionais que, por desconhecerem de alguma forma o funcionamento de tais aparelhos, muitos deles sequer possuem um aparelho de raios-X em seus consultórios, deixando assim de se valerem dos benefícios que eles propiciam. Pretende ainda, este estudo, desmistificar o seu uso, sem, contudo, deixar de frisar os cuidados que devem ser tomados para a proteção dos pacientes e dos próprios profissionais.

UNITERMOS - Raios-X, radiologia, radiação.

ABSTRACT - The aim of the present job is exhibit how the x-rays are generated across analysis of the generator equipment basic components, as well as some concerns about elementary physics necessities to understand the procedure initiation. It is adressed to graduations students and practitioners who misunderstanding under no circumstances how such equipments functioning, many of them even posses one x-ray equipment in their offices, leaving so to take advantage of benefit that it propiciate. This study intends to unmystify its use without to quite the attention that can be taken to protect the patientes and practioneers themselves.

KEY WORDS - X-ray, radiology, radiation.

INTRODUÇÃO

Existem muitas formas de energia além da energia irradiante e, frequentemente, um tipo de energia se transforma em outro. Assim, a energia da água de um rio pode ser transformada em energia elétrica, que por sua vez poderá ser convertida em calor e este em radiação visível e esta em energia elétrica que servirá para operar um contato para dar partida em um motor, etc. A produção de raios-X requer alguns conhecimentos da estrutura dos átomos, bem como de alguns elementos capazes de liberar elétrons de alta energia. Necessário também se torna que conheçamos os componentes básicos de um aparelho de raios-X, as tensões e correntes normalmente usadas, bem como o seu funcionamento, pois só assim estaremos aptos a prevenir acidentes, que podem prejudicar não só os profissionais que operam tais equipamentos, mas também a terceiros. Antes, entretanto, de entrarmos na geração ou produção dos raios-X, necessário será apresentar algumas considerações sobre física para que possamos entender como se inicia o processo, já que a física radiológica requer um conhecimento de matérias contidas na física elementar incluindo energia, radiação, estrutura atômica, eletricidade e magnetismo. Faremos aqui, portanto, uma rápida abordagem desses assuntos.

A literatura disponível em nossa língua a respeito do assunto Física das Radiações, ou mais precisamente, produção dos raios-X, em Odontologia, não é muito vasta. Normalmente encontram-se alguns pontos relacionados a esse assunto em livros diferentes, uns mais outros menos abrangentes. De forma que, para se conhecer um pouco mais, será necessário consultar várias obras e, nem sempre, se ficará compreendendo como ocorre todo o processo. Com base nesse raciocínio, decidiu-se fazer uma coletânea de

obras de diversos autores, incluindo aí noções de física elementar, para que se pudesse ter uma idéia mais abrangente de todo o processo que redunda na produção dos raios-X. É o que se poderá ver a seguir.

Radiação: É a energia transferida de um lugar para outro com ou sem transporte de matéria, visto que, de acordo com a experiência de Rutherford, elas podem ser corpusculares e eletromagnéticas. São corpusculares quando contém massa e eletromagnéticas, quando se propagam sob a forma de ondas. Essas partes do espectro de radiação são conhecidas como ondas elétricas, ondas de rádio, radiação infra-vermelha, radiação ultra-violeta e raios-X. Os raios gama e a radiação cósmica estão na mesma parte do espectro dos raios-X, diferindo destes apenas no seu ponto de origem.

Associada com esta transferência de energia, conhecida como radiação, está a eletricidade e o campo magnético. As forças instantâneas destes dois campos num ponto pelo qual passa a radiação variam continuamente e a direção dos campos muda periodicamente. A variação na força e as mudanças na direção podem ser representadas por uma curva conhecida como curva do seno. O mesmo tipo de curva é usado para representar a transmissão do som através de um meio ou as variações de corrente e potencial de sua fonte de corrente elétrica alternada. A curva do seno se repete periodicamente. Isto pode ser descrito em termos do número de vezes que ela se repete a cada segundo, a qual é chamada de frequência. A distância entre os pontos correspondentes a duas ondas sucessivas chama-se comprimento de onda. O produto entre a frequência e o comprimento de onda é igual à velocidade na qual as ondas caminham. No vácuo, a velocidade de todas as radiações é a mesma, em torno dos 300.000 Km por segundo ou 3×10^{10} cm/seg. Diferentes tipos de radiação podem definir-se em termos de sua frequência

¹ Prof. Assistente da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal Fluminense - Mestrando em Clínica Odontológica - Universidade Federal Fluminense

ou mais comumente por seus comprimentos de onda. A radiação de comprimento de onda de milhões de metros é conhecida como ondas elétricas. Quando o comprimento de onda diminui para metros a radiação é conhecida como ondas de rádio; ainda menor, o comprimento de onda da radiação é conhecido como infra-vermelho. A radiação visível tem o comprimento de onda medido em poucos mil angstroms (1 angstrom é igual a 1×10^{-8} cm); ainda menor, o comprimento de onda da radiação é conhecido como ultra-violeta; quando o comprimento de onda é em torno de 12 angstroms ou menos, a radiação é conhecida como raios-X.

Algumas das interações da radiação com a matéria só podem ser explicadas pela teoria quântica a qual postula que a energia é transferida em pequenas quantidades chamadas fótons. A energia contida em um fóton se relaciona com o comprimento de onda da vibração eletromagnética por uma relação inversa: a energia de um fóton em eletrovolts é igual a 12.400, devido ao comprimento de onda em angstroms. Um eletro-volt (eV) é a energia que terá um elétron depois de ter sido acelerado entre dois pontos com diferença de potencial de um volt. Uma unidade mil vezes maior, o kiloeletrovolt (KeV), é uma unidade mais prática. A constante 12.400 inclui a constante de Planck, a velocidade da luz e fatores para converter ergs para eletrovolts e para converter centímetros em angstroms. Por isso, as diferentes zonas de radiação podem ser diferenciadas pela energia de seus fótons; os fótons de ondas elétricas têm íntimas quantidades de energia; aqueles de irradiação visível têm energia em torno de 1,8 a 3,6 eV e os fótons de raios-X têm energia superior a 1000 eV ou 1KeV.

Produção dos raios-X: A energia existe em muitas formas além da radiação e um tipo de energia frequentemente se transforma em outro tipo. A energia da água corrente de um rio pode ser convertida em energia mecânica para impulsionar um gerador elétrico; esta energia elétrica pode ser convertida em calor, o qual pode ser convertido em radiação visível; a radiação visível pode ser convertida em energia elétrica numa célula foto-elétrica e esta energia elétrica operará um contato para dar partida ou parar um motor. A produção de radiação é a conversão de algum tipo de energia no tipo de energia conhecida como radiação. Um fóton de raio-X é, às vezes, produzido quando um elétron de alta energia perde energia; a energia perdida pelos elétrons torna-se um fóton dessa mesma quantidade de energia. Por isso o primeiro passo na produção de raios-X é a produção de um grande número de elétrons de alta energia, um processo que é obtido praticamente, em tubos de raios-X. Um tubo de raios-X consiste de dois eletrodos, numa ampola de vidro com vácuo. Um eletrodo, o cátodo, é o manancial de elétrons e o outro eletrodo, o ânodo, apra os elétrons depois deles terem sido acelerados a uma alta velocidade. Os raios-X são produzidos no anodo com a parada dos elétrons. Os elétrons emitidos pelo cátodo, através de um filamento, são acelerados por causa da diferença de potencial elétrico entre os dois eletrodos. Visto que um elétron possui massa, é necessário que o trabalho seja feito nele, para que ele possa fazer um trajeto em alta velocidade. O manancial de energia cinética que o elétron obtém será igual ao trabalho feito sobre ele por

causa da diferença de potencial. Este trabalho medido em eletrovolts é numericamente igual à diferença de potencial entre os dois eletrodos. Se a diferença de potencial é de 60 KV, então a energia cinética de um elétron quando ele deixa o ânodo será de 60 KeV. Deste modo, a energia elétrica é transformada em energia cinética. A maior parte da energia cinética dos elétrons é transformada em calor e somente uma pequena fração em fótons de raios-X, quando os elétrons são parados no ânodo. A fração de energia dos elétrons convertida em fótons aumenta de acordo com a sua energia e com o número atômico do material contra o qual eles se chocam. Quando uma diferença de potencial de 100 KV é aplicada a um tubo de raios-X que tem um ânodo de tungstênio, menos de 1% da energia dos elétrons é convertida em raios-x e todo o resto convertido em calor.

A compreensão da produção de raios-X requer alguns conhecimentos da estrutura dos átomos. Todos os átomos consistem de um núcleo e um ou mais elétrons. O núcleo contém prótons e nêutrons. Prótons e nêutrons possuem, aproximadamente, a mesma massa (cerca de 6×10^{23} pesam 1g). O próton tem uma carga elétrica positiva e o nêutron não tem carga elétrica. Um elétron pesa cerca de 1000/800.P (mil, oitocentos avo do próton) e tem uma carga elétrica negativa da mesma magnitude da carga positiva do próton. Normalmente um átomo possui o mesmo número de elétrons quanto o de prótons e a sua carga elétrica é zero. Ocasionalmente um átomo irá ter, temporariamente, uns poucos elétrons extras ou um pouco menos de elétrons; em tal estado, o átomo é chamado de íon: íon negativo, se possui elétrons a mais e íon positivo, se está deficiente em elétrons. Um elétron livre é chamado de íon negativo.

Quando uma corrente de 1mA flui através de um tubo de raios-X, aproximadamente 6×10^{15} elétrons vão do cátodo ao ânodo em cada segundo.

Todos os átomos de um elemento têm o mesmo número de prótons em seus núcleos e por isto o mesmo número de elétrons. O número de prótons no núcleo, chamado número atômico, determina o elemento químico ao qual o átomo pertence. O número de nêutrons no núcleo dos átomos de um mesmo elemento químico pode variar.

Uma teoria discutida comumente, a teoria de Bohr, postula que os elétrons giram em torno do núcleo em orbitais tal como a Terra e outros planetas giram em torno do Sol. Os elétrons são mantidos no átomo por causa da atração entre suas cargas negativas e positivas do núcleo; os elétrons não são atraídos para o núcleo por causa da força centrífuga resultante da sua trajetória, que iguala a força de atração entre as cargas. Pode haver mais de um elétron girando em uma órbita; o número de elétrons em cada órbita é uma característica de cada elemento. A remoção de um elétron de uma órbita requer que o trabalho seja feito por um agente externo para retirar o elétron da influência do núcleo. Se o elétron é afastado o suficiente, a força de atração se torna insuficiente, o elétron não fará mais parte do átomo e dois íons foram produzidos: o elétron livre é um íon negativo e o átomo que perdeu o elétron é um íon positivo.

A posição de um elétron em um átomo pode ser descrita não somente como sendo em uma órbita, mas também como

sendo em um nível de energia. O valor de um nível de energia é a quantidade de trabalho que deve ser feito por um elétron naquele nível para liberar-se do átomo, para produzir ionização. A quantidade de trabalho requerida para remover um elétron é frequentemente chamada de potencial de ionização, ou energia de união do elétron. Os potenciais de ionização dos níveis energéticos de um átomo são determinados pelo seu número atômico. Se um elétron é removido de sua posição normal no átomo, seja por ionização ou porque se desloca a um lugar vazio em seu nível de energia mais afastado do núcleo, diz-se que o átomo está em estado de excitação. Geralmente um átomo permanece em estado de excitação somente por um período curto de tempo, talvez por uma fração de microssegundo. Comumente o espaço na nuvem eletrônica é preenchido por um elétron que é atraído para o espaço do nível de energia mais próximo, ou o segundo exteriormente ou até o terceiro nível energético externo. Tais transições envolvem uma aceleração do elétron; a energia assim ganha pelo elétron se perde como um fóton quando este chega ao lugar vago. Se no estado de excitação ocorre também um estado de ionização, eventualmente o átomo captura um elétron para completar o número de elétrons normais.

Os fótons produzidos pelos elétrons dentro de um átomo, o qual foi acelerado para o núcleo, são característicos do elemento a que pertencem; são chamados de reações características. Elas são características do elemento por causa dos valores dos potenciais de ionização e por isto as diferenças entre os níveis de energia são diferentes para todos os elementos, mas o mesmo para todos os átomos de um elemento. O potencial de ionização para um nível energético particular, K, L e demais, aumenta como o número atômico do elemento aumenta. A energia de um fóton característico é igual à diferença no potencial de ionização de dois níveis energéticos envolvidos. Todos os elementos têm radiação característica nas áreas do espectro (infra-vermelho, visível e ultra-violeta). O sódio (número atômico 11) é o elemento de menor número atômico com radiação característica na região de raios-X porque é o elemento de menor número atômico com um potencial de ionização superior a 1KeV.

Quando um elétron de alta energia choca-se com o ânodo de um tubo de raios-X, geralmente tungstênio, ele talvez perca uma parte ou toda a sua energia fazendo o átomo do ânodo vibrar mais violentamente. Ocasionalmente o elétron de alta energia irá chocar-se num elétron e deslocá-lo para fora de sua posição normal em um átomo de tungstênio; em consequência de tal acontecimento o átomo emitirá radiação característica. Ocasionalmente um elétron que alcançou o alvo do tubo de raios-X passa muito próximo ao núcleo de um átomo; lá, por causa da força de atração entre a carga do elétron e do núcleo, o elétron é retardado. A energia perdida pelo elétron, a qual é a diferença entre a energia que o elétron possuía quando alcançou o átomo e a energia que passou a ter quando retardado, torna-se um fóton. A radiação produzida por este retardo do elétron é chamada de frenagem.

Aparelhos de raios-X: Para a produção de raios-X é necessário que os elétrons sejam acelerados a uma velocidade tal que a sua energia seja suficientemente alta para ser convertida

em fótons de raios-X. Para os raios-X usados na roentgenografia odontológica é recomendado um potencial através do tubo de cerca de 65 KV a 90 KV. Os aparelhos mais modernos usados em radiologia odontológica utilizam até mesmo 50 KV, muito embora, segundo levantamento feito na cidade do Rio de Janeiro por Mota et al⁵, somente 5% dos aparelhos estão dentro da faixa ideal. O operador do aparelho de raios x deve ser capaz de escolher um valor de potencial o qual irá produzir raios-X de qualidade desejável, fótons tendo uma quantidade de energia suficiente. Ele deve ser capaz de controlar a intensidade de radiação, sendo que essa intensidade depende da corrente que circula através do tubo e que, para a maioria dos aparelhos para uso odontológico, oscila entre 5 e 15 miliamperes. Entretanto será preciso observar que, nos aparelhos odontológicos de uso geral em radiografias intra-orais, os aparelhos possuem sua KVp (quilovoltagem de pico) fixa, bem como sua milamperagem. A única coisa possível de ser controlada é a duração do tempo em que os raios-X são produzidos, ou seja, o tempo de exposição.

Transformadores: O alto potencial necessário para a aceleração dos elétrons e também o baixo potencial para o filamento do tubo de raios-X são obtidos com o uso de transformadores. A maioria dos transformadores tem duas bobinas. Uma das bobinas está conectada na fonte de energia elétrica e é chamada bobina primária. A outra bobina, chamada de bobina secundária, é conectada ao aparelho que requer a corrente, os eletrodos ou o filamento dos tubos de raios-X. A relação entre o potencial aplicado à bobina primária e o desenvolvido na bobina secundária é igual à relação entre o número de voltas do fio metálico nas duas bobinas. Se a bobina secundária tiver um número maior de voltas do fio metálico do que na bobina primária, o potencial desenvolvido na secundária será maior do que aquele aplicado na primária; tal transformador é chamado transformador de alta voltagem ou transformador elevador de tensão. Se a bobina secundária tiver um número menor de espirais do que a bobina primária, o potencial desenvolvido na secundária será menor do que o aplicado na primária; tal transformador é chamado de transformador de baixa voltagem ou transformador abaixador de tensão. As duas bobinas dos transformadores também isolam os circuitos secundários dos primários, o que é desejável quando a diferença de potencial dos dois circuitos é grande.

Para um campo magnético variável dado, a tensão induzida em uma bobina situada no campo, será proporcional à quantidade de espiras da bobina. Se as duas bobinas do transformador estão no mesmo campo (como ocorre quando ambas se acham sobre o mesmo núcleo fechado) observa-se que as tensões induzidas serão proporcionais à quantidade de espiras existentes em cada bobina. No caso do primário, ou bobina conectada à fonte de energia, a tensão induzida é praticamente igual e oposta à tensão aplicada. De modo que, para todos os fins práticos: $E_s = n_s/n_p \cdot E_p$, donde: E_s = tensão secundária; E_p = tensão primária; n_s = quantidade de espiras do secundário; n_p = quantidade de

espiras do primário. A relação n_s/n_p denomina-se relação de espiras do transformador.

Efeito da corrente secundária: A corrente que flui no primário quando não se consome corrente do secundário recebe o nome de corrente de magnetização do transformador. Em qualquer transformador projetado corretamente, a auto-indução primária será tão elevada que a corrente de magnetização será bastante pequena. A potência consumida pelo transformador quando seu secundário está aberto, isto é, quando sem fornecer energia, é somente a quantidade necessária para atender as perdas no núcleo de ferro e na resistência do fio com que se há feito o primário. Quanto se consome corrente no enrolamento secundário, tal corrente estabelece por sua vez um campo magnético próprio no núcleo. O campo, devido à corrente secundária, sempre reduz a intensidade do campo original. Porém, se a tensão induzida no primário se iguala à tensão aplicada, o campo original é mantido. Em consequência, a corrente primária deve mudar de tal modo que se cancele ou neutralize completamente o efeito do campo estabelecido pela corrente secundária. Isto ocorre quando o primário admite uma corrente maior que estabelece um campo exatamente igual ao estabelecido pela corrente secundária, porém que se opõe ao campo secundário. A corrente primária adicional está assim 180° fora de fase com a corrente secundária.

Nos cálculos práticos relativos a transformadores é conveniente não levar em conta a corrente de magnetização e supor que a corrente primária se deve integralmente à carga secundária. Isto se justifica devido a que a corrente de magnetização deverá ser muito pequena em comparação com a corrente de carga quando esta última está próxima ao seu valor de regime. Se os campos magnéticos estabelecidos pelas correntes primária e secundária são iguais, a corrente primária, multiplicada pela quantidade de espiras primárias, deve ser igual à corrente secundária multiplicada pelas espiras do secundário. Daí ocorre que a corrente primária será igual à corrente secundária multiplicada pela relação entre as espiras secundárias e primárias, ou seja: $I_p = n_s/n_p \cdot I_s$, onde: I_p = corrente primária; I_s = corrente secundária; n_p = número de espiras do primário; n_s = número de espiras do secundário.

Outro tipo de transformador, chamado de auto-transformador, consiste em uma única bobina de fio metálico envolvendo um núcleo de ferro. Parte da bobina é usada como primária e parte como secundária; muitas das espiras de fio metálico tomam parte em ambos os circuitos, primário e secundário. O número de espiras do fio metálico no secundário pode ser modificado por um comutador ou cursor que se desloca ao longo da bobina. O número de espiras contido no secundário pode ser menor ou um pouco maior do que o número contido no primário. O auto-transformador é usado para obter um suprimento de voltagem variável quando a voltagem necessária difere pouco daquela que supriu a bobina primária e quando não é necessário que os circuitos primário e secundário sejam isolados um do outro.

A relação da corrente que flui nas bobinas primária e secundária é inversamente proporcional ao número de voltas do fio metálico nas duas bobinas. Por isto, no transformador de alta voltagem a corrente é maior no circuito primário, e no

transformador de baixa voltagem a corrente é maior no circuito secundário.

Circuito primário principal: O circuito principal de um aparelho de raios-X compreende uma fonte de voltagem variável, comumente um auto-transformador e um transformador de alta voltagem para prover o alto potencial necessário para o tubo de raios-X. O aparelho é geralmente conectado a uma linha de suprimento de 110 ou 220 volts, tendo o transformador principal uma proporção aproximada de 1 para 1000, tanto que o secundário pode prover diferenças de potencial ao tubo de raios-X de até 100 KV. O potencial para suprir o primário do transformador principal provém do secundário do auto-transformador. O valor deste potencial é indicado no voltímetro. Ao invés de indicar os volts úteis para o primário do transformador principal, a leitura neste voltímetro geralmente indica os kilovolts que serão aplicados ao tubo de raios-X; isto é possível porque há aproximadamente uma razão constante entre a voltagem aplicada ao primário do transformador principal e os kilovolts aplicados ao tubo de raios-X.

Os raios-X são produzidos quando o interruptor do circuito primário está fechado; quando está aberto não há corrente fluindo através das bobinas do transformador principal. É necessário utilizar um interruptor resistente no circuito primário do transformador principal porque a corrente que nele circula é grande; este interruptor é comumente operado por meio de um relé. O circuito do relé contém um marcador de tempo que permite passar a corrente durante um tempo determinado, controlando assim a exposição aos raios-X. Outros interruptores, tais como o interruptor manual, podem incluir-se no circuito do relé para permitir que os raios-X sejam disparados sem o uso do marcador de tempo.

Circuito do filamento: A fonte de elétrons no tubo de raios-X é uma espiral de fio de tungstênio chamado filamento, o qual é parte do catodo. Como a maioria dos metais, quando o tungstênio é aquecido a uma temperatura suficientemente alta, elétrons são emitidos; a proporção na qual eles são emitidos aumenta rapidamente conforme se eleva a temperatura sobre o limiar de emissão dos elétrons. O filamento é aquecido pela passagem de uma corrente através do mesmo. Uma corrente maior através do filamento resultará numa temperatura alta, numa emissão maior de elétrons e numa corrente maior através do tubo de raios-X. Devido o filamento ser parte do catodo e ser conectado ao alto potencial, é necessário que o circuito do filamento seja isolado do suprimento principal de corrente. Este isolamento se realiza por meio de um transformador de baixa voltagem que supre um potencial de poucos volts (normalmente entre 3 e 5 volts) e uma corrente de poucos amperes (normalmente entre 1,5 e 2,5 A) para o filamento. A temperatura do filamento deve ser controlada com cuidado para manter a corrente desejada através do tubo de raios-X; a corrente que circula pelo filamento é determinada pelo potencial gerado no secundário do transformador de filamento, o qual, por sua vez, é conseguido pelo potencial aplicado no primário deste transformador. O controle deste potencial primário, comumente chamado de controle do filamento ou controle de miliamperagem, é uma resistência variável chamada

reostato, no primário do circuito de filamento. Este dispositivo não existe nos aparelhos intra-orais usados normalmente nos consultórios.

Circuito de alta voltagem: Se parte da voltagem do circuito (secundário do transformador principal e do filamento e tubo de raios-X) é inteiramente isolada dos outros circuitos e da terra, poderia gerar-se uma grande diferença de potencial em relação ao potencial de terra. Essa diferença de potencial se produziria pelas cargas elétricas que fluem através dos materiais isolantes dos condutores do circuito. Essa diferença de potencial pode causar o fracasso do isolamento. Para prevenir a manifestação de potencial em relação ao solo, um ponto do circuito de alta voltagem, quer seja o centro ou um dos extremos do transformador secundário é conectado à terra. Esta fixação do circuito secundário permite que um dos fios de metal fixados sejam conectados a um medidor de miliamperagem na cabine de controle antes de ser conectado à terra. Visto que o medidor está em encadeamento com o secundário do transformador e do tubo de raios-X, ele irá medir a corrente que flui através do tubo.

Na maioria dos equipamentos de raios-X odontológicos o transformador principal, o transformador de filamento e o tubo de raios x são mantidos num pequeno invólucro de metal. Este invólucro é preenchido com óleo para isolar as partes do circuito umas das outras e do próprio invólucro, o qual é conectado ao solo para que qualquer pessoa que o toque não receba um choque elétrico. O invólucro, exceto por uma pequena área através da qual o raio utilizável emerge, é revestido com chumbo para que os raios-X não saiam em todas as direções do tubo.

O desenvolvimento do potencial no secundário do transformador principal é um potencial de corrente alternada, o qual normalmente produz uma corrente para fluir em direção oposta durante metade do ciclo alternado. Portanto, uma corrente pode fluir através do tubo de raios-X somente numa direção, do filamento para o alvo, a menos que o local do foco se torne quente o suficiente para emitir elétrons, o qual então poderia fluir do local do foco para o filamento, igual a uma corrente inversa que aqueceria o catodo a uma temperatura muito alta e o arruinaria porque este não foi projetado para suportar tais temperaturas altas. Se o aparelho de raios-X é operado corretamente, o local do foco não ficará suficientemente quente para emitir elétrons. Uma corrente flui através do tubo de raios-X somente durante aquelas metades de ciclos quando o potencial é tal que o filamento é negativo e o alvo é positivo; estas metades de ciclos são chamados metades de ciclo utilizáveis. Durante as outras metades do ciclo, as metades do ciclo inversas, não flui corrente. O tubo de raios-X opera como um retificador; este circuito é chamado um circuito auto retificador. Os equipamentos de raios-X usados para muitos exames de diagnóstico e para radioterapia podem ter circuitos de alta voltagem mais complicados.

Quando uma corrente está fluindo, parte do potencial é usado para enviar a corrente através de várias resistências no circuito; isto produz o valor máximo do potencial durante a metade do ciclo utilizável sendo um pouco menor do que o valor máximo durante a metade do ciclo inverso.

Devido ao potencial variar continuamente, o valor do potencial aplicado ao tubo de raios x é igualmente apontado como aquele de valor máximo durante a metade do ciclo utilizável. Por isto, se o potencial é regulado para ser de 60 KV, compreende-se que o máximo, ou o pico do potencial utilizável aplicado ao tubo é de 60 KV, frequentemente escrito como 60 KVp.

Tubo de raios-X: Os tubos de raios-X são também chamados ampolas de Coolidge, em homenagem ao seu idealizador. As imagens no roentgenograma são sombras emitidas por estruturas que têm vários graus de transmissão de raios-X. Estas sombras não terão suficiente definição para mostrar pequenos detalhes a menos que a fonte de raios-X seja muito pequena. A verdadeira fonte de raios-X é a área do alvo atingida pelos elétrons, chamada de ponto focal. A forma do catodo que circunda o filamento é tal que faz os elétrons atingirem uma área muito pequena no anodo e que faz com que o ponto focal seja muito pequeno. Pelo fato de mais de 99% da energia dos elétrons ser convertida em calor, o local do foco deve ser de um material com uma temperatura muito alta de fusão e vaporização; o tungstênio satisfaz estes requisitos muito bem. Também é necessário que o calor produzido na área do local do foco seja removido tão rapidamente quanto possível e já que o cobre é um condutor de calor muito melhor que o tungstênio, o pequeno pedaço de tungstênio é incrustado em um grande pedaço de cobre.

O real tamanho do ponto focal é maior do que aparenta ser porque o ângulo entre a superfície do alvo e o raio central do feixe útil de raios-X é pequeno. Este ângulo é geralmente de 15° a 20° para tubos roentgenográficos. O real tamanho do ponto focal é um retângulo com um comprimento de 3 a 4 vezes sua largura. Quando este retângulo é observado ao longo do raio central, este parece ser um quadrado com dimensões iguais à largura, comumente 1mm a 2 mm. Com o real tamanho do ponto focal que é um retângulo ao invés de um quadrado, a produção de calor é dissipada sobre uma grande área, deste modo reduzindo a elevação da temperatura. Por isto um local de foco efetivamente pequeno pode ser usado com perigo menor de ser superaquecido.

DISCUSSÃO

Como foi visto, a produção de raios-X só é conseguida a partir de determinados elementos básicos que poderíamos sintetizar como sendo: vácuo, fonte de elétrons, alta voltagem e alvo, elementos sem os quais não se obterá a produção dos raios-X. Portanto, não faz sentido julgar que poderia haver produção de raios-X de forma natural, uma vez que ela só é conseguida artificialmente. Por outro lado, toda a literatura em língua portuguesa, inclusive a legislação que regulamenta o uso dos raios-X, têm estado mais preocupadas com a sua utilização em medicina, preocupando-se com a Odontologia, somente de uns poucos anos para cá. Os aparelhos radiográficos usados nos consultórios odontológicos para produzirem radiografias intra-orais, utilizam uma quilovoltagem baixa, donde a necessidade imperiosa do uso de sistemas de proteção adequados, especialmente para os pacientes e operadores, um tempo de exposição bastante reduzido e

atingem uma área corpórea bastante restrita, desde que se obedeça as normas para sua utilização, muito embora alguns autores⁵ considerem que um exame intraoral total das arcadas propicia uma dose de radiação efetiva 50% maior do que um exame de torax e 15 vezes maior do que em um exame panorâmico. Daí não haver justificativa para se abandonar ou minimizar os cuidados que se deve ter com a proteção própria ou dos pacientes. Assim, a área onde se efetuarão as tomadas radiográficas devem ser isoladas, de tal forma que se evite a irradiação de ambientes contíguos. O profissional deve se colocar a uma distância adequada da fonte de radiação, para não ser atingido, especialmente pela radiação secundária produzida pelos corpos que o feixe principal, também chamado de raio central, atravessa. O uso de avental ou colarinho de chumbo, especialmente em crianças e senhoras grávidas deve se constituir num hábito comum a todos os profissionais. Contudo, não há nenhuma razão para não possuímos um aparelho de raios-X, uma vez que não existe nenhuma especialidade odontológica que prescindir de seus benefícios, nem tão pouco será necessário sairmos correndo de perto do aparelho ou trancarmos as portas, pois isso só despertará suspeitas nos pacientes, além de perdermos o controle da tomada radiográfica no exato momento da irradiação, tendo em vista que o paciente poderá mover-se e, com isto, produzir uma radiografia de má qualidade, provocando uma segunda tomada e, conseqüentemente, mais irradiação.

CONCLUSÕES

Do trabalho apresentado, parece-nos lícito retirar as seguintes conclusões:

- 1 - Para entendermos como se processa a produção dos raios-X, necessário se torna alguns conhecimentos básicos da física elementar.
- 2 - Para que se obtenha a produção de raios-X, é necessária uma alta voltagem, um alvo, uma fonte de elétrons e o vácuo.
- 3 - O processo de produção dos raios-X pode ser sintetizado como energia elétrica sendo transformada em energia cinética, da qual, apenas 1% produzirá radiação X.
- 4 - A intensidade da radiação depende da corrente circulante no tubo que, para a maioria dos aparelhos de uso odontológico, oscila entre 5mA e 15 mA.
- 5 - O uso de meios de proteção adequados, tanto para os pacientes como para os profissionais é de fundamental importância, bem como um bom isolamento da área onde se efetuam as tomadas radiográficas.
- 6 - A produção de raios-X deve ser bem entendida pelos profissionais que, direta ou indiretamente, se valem de seus benefícios, não só para evitar possíveis acidentes mas também para desmistificar o seu uso e acabar de vez com um verdadeiro pavor que se observa, especialmente entre alunos dos cursos de graduação e até mesmo entre profissionais mais experimentados, tudo pela falta de conhecimento adequado do funcionamento dos aparelhos e da produção dos raios-X.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ALVARES, L. C. & TAVANO, O. *Curso de Radiologia em Odontologia*. Ed. Santos. 2ª ed., 1960, São Paulo.
- 2 - DA SILVA, E. B., DA SILVA, R.H. *Curso de Química*. Harper & Row do Brasil Ltda. São Paulo, 1979.
- 3 - FREITAS, A. et al. *Radiologia Odontológica*. São Paulo, Artes Médicas, 1984.
- 4 - GONÇALVES, D. *Física*, Vol. 5. Livro Técnico S.A. Rio de Janeiro, 1969.
- 5 - MOTA, H. C. et al. *Proteção Radiológica e Controle de Qualidade em Radiologia Dentária*. IRD/CNEN, Rio de Janeiro, 1994.
- 6 - NEWLANDS, C. *Radiologia Dentária. Interpretação de radiografias*. Ed. Científica Rio de Janeiro, 1952.
- 7 - RECAREDO, A. G. M. *Radiologia Odontológica*. Editorial Mundi S.A., 3ª ed. 1979 Buenos Aires.
- 8 - STAFNE, E. C. & GIBILISCO, J. A. *Diagnóstico Radiológico Bucal*. Interamericana, Rio de Janeiro, 1982.
- 9 - THE RADIO AMATEUR'S HANDBOOK. Publicação em castelhano da A.R.R.L. (American Radio Relay League), EEUU, 1948.
- 10- VALKENBURGH, V., NOOGER & NEVILE, Inc. *Eletricidade Básica*, v. 4. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 1960.
- 11- VALKENBURGH, V., NOOGER & NEVILE, Inc. *Eletrônica Básica*, v. 1, Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 1960.
- 12- WUEHRMANN, A. H. & MANSON-HING, L. R. *Radiologia Dentária*, Guanabara Koogan, 5ª ed. Rio de Janeiro, 1985.