

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG**  
**BIOMEDICINA**

**CHRISTOPHER DE SOUZA PEREIRA**  
**DALIANE MACHADO DA CUNHA**

**ANÁLISE DE ÍNDICES HEMATOLÓGICOS DE PROFISSIONAIS**  
**EXPOSTOS À RADIAÇÃO IONIZANTE**

**Varginha**  
**2008**

**CHRISTOPHER DE SOUZA PEREIRA  
DALIANE MACHADO DA CUNHA**

626.15  
P436a  
100484

**ANÁLISE DE ÍNDICES HEMATOLÓGICOS DE PROFISSIONAIS  
EXPOSTOS À RADIAÇÃO IONIZANTE**

Monografia apresentada ao curso de Biomedicina do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel, sob orientação do Prof. Amilton Marques.

**Varginha  
2008**

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**CHRISTOPHER DE SOUZA PEREIRA  
DALIANE MACHADO DA CUNHA**

### **ANÁLISE DE ÍNDICES HEMATOLÓGICOS DE PROFISSIONAIS EXPOSTOS À RADIAÇÃO IONIZANTE**

Monografia apresentada ao curso de Biomedicina do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

( ) Aprovado

( ) Reprovado

Data: / /

---

Prof. Amilton Marques

---

Profª. Ms. Fernanda Tropa

---

Profª. Esp. Roberta Ribeiro de Carvalho  
farmacêutica-bioquímica da FHOMUV

Obs:

Eu, Christopher, dedico esta pesquisa aos meus pais (Romel e Stela), minha irmã e família (Priscila, “Marquinho”, Lua e Nina), minha “pretinha” (Renata), meus grandes amigos e companheiros que me ajudaram muito e sempre que precisei (Lázaro, Varley, Carlos, Natiara e Renan “Jejé”), aos companheiros de “república” (Pâmela, Liliam e Renato), aos participantes voluntários da pesquisa e suas instituições empregadoras, ao nosso ex-orientador Prof. Elierson Rocha que fez o possível para nos auxiliar, ao nosso orientador Amilton, a todos os colaboradores deste trabalho (Profª. Daniela, Profª. Maria Celma e funcionários do laboratório), a minha grande companheira de pesquisa Daliane, que, com muita paciência (muita mesmo!), trabalhou com muita dedicação e competência neste trabalho.

Eu, Daliane, dedico esta pesquisa a minha família (Luzia, Tio Vicente, Tia Augusta, Glau, Lu, cunhados e sobrinhos) por todo carinho, compreensão, motivação e confiança.

Agradeço ao meu pai (Gilson) que mesmo não vivendo mais neste plano com certeza guia cada um dos meus passos.

Agradeço todos os amigos, irmãs de república de Varginha e Poços de Caldas por todo carinho, e em especial agradeço ao meu companheiro de pesquisa Christopher por todo apoio, compreensão e principalmente paciência.

Vocês fazem parte da minha história!!!

Eu, Christopher, agradeço a Deus, fonte de minha inspiração e força para a conclusão deste trabalho.

Agradeço meus pais e minha irmã pela compreensão nos diversos momentos que me ausentei de sua companhia e nas horas de estresse que perdi o controle sobre minhas palavras, e também por todos os bons momentos e o apoio que depositaram sobre mim.

Aos meus amigos de ontem e hoje, que me incentivaram e auxiliaram sempre que possível.

À minha namorada, minha “pretinha”, que me faz feliz todos os dias e, com muita paciência e carinho, soube me esperar e me apoiar nos momentos difíceis.

Enfim, a todos que nos dedicaram confiança e apoiaram a pesquisa. Muito obrigado!

Eu, Daliane, agradeço primeiramente a DEUS, por me dar força e otimismo para realização desta pesquisa.

Ao professor e orientador Amilton Marques a quem devo uma imensa gratidão.

Aos meus familiares e amigos que me apoiaram e incentivaram nesta importante etapa de minha vida.

Aos participantes desta pesquisa, hospitais, clínicas odontológicas e de radiodiagnóstico por todo carinho e interesse pela pesquisa.

A Professora Maria Celma, por ter cedido um espaço no seu laboratório para realização desta pesquisa.

As minhas concedentes de estágio e grandes amigas (Thalula e Thaynã) por toda compreensão, apoio e carinho.

As companheiras e eternas Kabaças (Laís, Kelly, Kátia e Sabrina) por terem me acolhido e terem agüentado parte dos meus surtos.

Agradeço as madrecitas (Núbia, Lígia e Carol) por todo apoio e amizade.

E a todos aqueles que me incentivaram na construção deste projeto.

“Nossa felicidade depende da luta e da esperança.

Mas não existe luta nem esperança solitárias. Em todos os homens se juntam as épocas remotas, a vaidade, os erros, a preguiça, as paixões, as urgências e exigências do tempo. Tudo se concretiza com a velocidade da história e eu faço apenas parte de um dos ponteiros desse tão temido tempo.”

Daliane Machado

## RESUMO

CUNHA, Daliane Machado da; PEREIRA, Christopher de Souza. **Análise de índices hematológicos de profissionais expostos à radiação ionizante.** 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Centro Universitário do Sul de Minas UNIS/MG, Varginha, 2008.

Estudo hematológico realizado em Varginha/MG, a partir de amostras coletadas durante três meses consecutivos em 2008, de 25 profissionais que operam aparelhos emissores de raios X. Os profissionais envolvidos incluem técnicos de radioterapia e radiodiagnóstico, e dentistas que realizam radiografia odontológica. Como a radiação é conhecida por seus efeitos deletérios no organismo, e esses profissionais estão diariamente sujeitos a receber uma dose, mesmo que mínima, em seu ambiente de trabalho, o objetivo desta pesquisa foi verificar se a exposição ocupacional à radiação pode causar alterações nos índices hematológicos dos profissionais envolvidos, durante sua jornada de trabalho. O sangue, coletado no próprio local de trabalho dos pesquisados e analisado de forma automatizada em laboratório que apoiou a pesquisa, posteriormente analisado manualmente através de leitura dos esfregaços sangüíneos, demonstrou algumas alterações em diversos elementos dos hemogramas realizados, principalmente sobre a série vermelha onde foram encontradas anemias, porém nenhuma dessas alterações teve significado clínico relevante. Um questionário pré-analítico foi previamente aplicado aos profissionais, para que pudessem ser relacionadas as alterações encontradas com alguns fatores que pudessem ser motivo da ocorrência das mesmas, ou para comprovar a influência da radiação sobre o tecido hematológico dos pesquisados. Apesar de haver relação entre alguns elementos do questionário com as alterações encontradas, houve também o oposto, em que a comparação mostrou não haver interação suficiente para a ocorrência de tais alterações. Devido à discordância dos resultados e aos valores obtidos serem insuficientemente significantes, não foi atribuído como causa principal o efeito das radiações ionizantes sobre o sangue dos pesquisados.

**Palavras-chave:** Radiação ionizante. Alterações hematológicas. Raios X.

## ABSTRACT

Hematological study conducted in Varginha/MG, from specimens collected during three consecutive months in 2008, of 25 professionals who operate X-ray emitting devices. The professionals involved include technical of radiation therapy and diagnostic radiology, and dentists who perform dental radiography. As the radiation is known for its deleterious effects on the body, and these professionals are subject to receive a daily dose, even if minimal, in their workplace, the goal of this research was to determine whether occupational exposure to radiation can cause changes in hematological indices of professionals involved, during his work time. The blood, collected on-site labor of those surveyed and analyzed in an automated way supported by a lab, analyzed later manually through reading of blood smears, showed some changes in various elements of blood performed, mainly on the red series where anemia was found, but none of these changes had important clinical significance. A pre-test questionnaire was previously applied to professionals, so they could be related to changes found with some factors that could cause the occurrence of them, or to demonstrate the influence of radiation on tissue blood of those surveyed. Although there are links between some elements of the questionnaire with the changes found, there was also the opposite, where the comparison showed no interaction sufficient for the occurrence of such changes. Due to the discrepancy between the results and the values obtained are not sufficiently significant, was not attributed as the main cause the effect of radiation on the blood of those surveyed.

**Keywords:** Ionizing radiation. Hematological Alterations. X-ray.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Alterações gerais por grupo pesquisado. ....	40
Tabela 2: Alterações, segundo automação, representando valores acima do normal. ....	41
Tabela 3: Alterações, segundo automação, representando valores abaixo do normal. ....	42
Tabela 4: Alterações, segundo contagem manual, representando valores acima do normal. ...	43
Tabela 5: Alterações, segundo contagem manual, representando valores abaixo do normal. ..	43
Tabela 6: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas à idade dos voluntários. ....	44
Tabela 7: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas ao sexo dos voluntários. ....	44
Tabela 8: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas à jornada diária de trabalho com o tempo total de trabalho exercido na área pelos voluntários. ....	45
Tabela 9: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas à média de atendimento diário dos voluntários pesquisados. ....	46
Tabela 10: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas ao uso de EPI e à necessidade de exposição direta aos raios ionizantes, pelos voluntários pesquisados. ....	47
Tabela 11: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas à ocorrência de câncer nos familiares dos pesquisados. ....	47

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	11
1 RADIAÇÃO .....	12
1.1 Tipos de radiação .....	12
1.1.1 Radiação alfa ( $\alpha$ ) .....	13
1.1.2 Radiação beta ( $\beta$ ) .....	13
1.1.3 Nêutrons (n) .....	13
1.1.4 Radiação gama ( $\gamma$ ) e raios X .....	13
1.2 Aplicação das radiações .....	14
1.3 Raios X .....	15
1.4 Interação da radiação com a matéria .....	16
1.5 Efeitos biológicos da radiação .....	17
1.5.1 Efeitos sobre a pele .....	19
1.5.2 Efeitos sobre tecidos hematopoéticos .....	19
1.5.3 Efeitos sobre o sistema gastrointestinal .....	20
1.5.4 Efeitos sobre os sistemas reprodutores .....	20
1.6 Proteção radiológica .....	21
1.6.1 Normas nacionais de radioproteção .....	21
2 SISTEMA HEMATOLÓGICO HUMANO .....	23
2.1 Características Gerais do Sangue Normal .....	23
2.2 Hematopoese e Generalidades .....	23
2.3 Eritropoese .....	24
2.4 Eritropoetina .....	28
2.5 Hemoglobina .....	28
2.6 Número dos eritrócitos .....	29
2.7 Hematócrito .....	30
2.8 Índices Eritrocitários .....	30
2.8.1 Hemoglobina Corpuscular Média (HCM) .....	30
2.8.2 Volume corpuscular Médio (VCM) .....	31
2.8.3 Concentração da Hemoglobina Corpuscular Média (CHCM) .....	31
2.9 Leucócitos .....	32
2.9.1 Granulócitos neutrófilos .....	33
2.9.2 Eosinófilos .....	33
2.9.3 Basófilos .....	34
2.9.4 Monócito e macrófagos .....	35
2.9.5 Linfócitos .....	35
2.10 Plaquetas .....	36
2.11 Hemograma .....	37
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	38
3.1 A coleta .....	38
3.2 Transporte e conservação das amostras .....	38
3.3 As análises .....	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
5 CONCLUSÃO .....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
ANEXO A - QUESTIONÁRIO PRÉ-ANALÍTICO .....	52

## INTRODUÇÃO

A radiação ionizante é utilizada como uma grande ferramenta no diagnóstico de muitas patologias, na construção de próteses, em implantes arteriais enfim, está enquadrada em inúmeras áreas ligadas à medicina. Mas, existem inúmeros malefícios provocados por este tipo de radiação e podem vir a causar patologias gravíssimas.

Este trabalho tem como objetivo verificar se o tecido hematológico humano sofre alterações relevantes durante o período de exposição ocupacional à radiação, em seu ambiente de trabalho. Segundo Salvajoli *et al* (1999), a radiação ionizante manifesta efeitos danosos ao meio biológico, tais como morte celular, perda de função do órgão, mutagênese e carcinogênese. Acredita-se que fatores ligados a hereditariedade, relacionada com casos de neoplasia nos familiares da população em estudo, independentemente do tecido ou órgão atingido, possam ser um fator indutor de alterações hematológicas nos indivíduos expostos durante sua jornada de trabalho.

Em virtude da exposição ocupacional à qual estão submetidos todos os profissionais que trabalham direta ou indiretamente com aparelhos emissores de radiação ionizante, é importante que tais profissionais sejam submetidos a exames clínicos e hematológicos em períodos regulares, determinados de acordo com suas funções, conforme os Artigos 46, 47 e 48 do projeto de Lei. Nº 317, de 1975.

Diante destes e outros problemas, define-se a importância da realização desta pesquisa, na intenção de avaliar a ocorrência de possíveis alterações hematológicas em profissionais ocupacionalmente expostos à radiação ionizante, a partir da realização metódica de hemogramas, com análise de questionários que visam focar a radiação ionizante como causa principal das alterações hematológicas.

# 1 RADIAÇÃO

Para se definir “radiação”, deve-se primeiramente definir “energia”.

A palavra energia denomina a capacidade de realizar “trabalho”, expressa em joules (J). Entretanto, para radiologia utiliza-se a unidade elétron Volt (eV), que caracteriza a energia gasta por um elétron para atravessar um campo de 1 V, sendo 1 eV igual a  $1,6 \times 10^{-19}$  J (DIMENSTEIN *et al*, 2004).

Segundo Okuno *et al* (1982, p. 2), “a radiação é a propagação de energia sob várias formas, sendo dividida geralmente em dois grupos: *radiação corpuscular* e *radiação eletromagnética*”.

A radiação corpuscular envolve partículas subatômicas, que quando em altas velocidades formam um feixe (SCAFF, 1979). Todas essas partículas envolvidas nesse tipo de radiação possuem massa  $m$  e velocidade  $V$ , podendo ser calculada a energia segundo a fórmula:  $E = \frac{1}{2} m V^2$ .

Já a radiação eletromagnética não possui partículas constituídas de massa. Sua formação se origina de oscilações elétricas e magnéticas, cujas ondas viajam a mesma velocidade, diferindo somente no seu comprimento de onda, expresso pela letra grega Lambda “ $\lambda$ ” (*Id., Ibid.*). Como descrito por Dimenstein *et al* (2004, p. 12), “[...] quanto menor o comprimento de onda, maior a energia e maior o seu poder de penetração [...]”.

Segundo Scaff (1979), a energia gerada pela radiação eletromagnética foi segmentada em partículas denominadas “fótons”, segundo teoria desenvolvida por M. Planck em 1901 (teoria dos “quanta”), na qual a energia destes fótons não é constante, porém depende diretamente da frequência da radiação.

## 1.1 Tipos de radiação

As radiações são separadas basicamente em dois grupos: corpusculares e eletromagnéticas. Dentro destes grupos é possível se obter vários tipos de radiação. Destacam-se alguns dos principais tipos, por sua natureza ou utilidade para os seres humanos: radiações alfa, beta, nêutrons, gama e raios X.

### 1.1.1 Radiação alfa ( $\alpha$ )

Também chamada de partícula alfa, esse tipo de radiação provém do núcleo de átomos de hélio, formado por dois prótons e dois nêutrons (OKUNO *et al*, 1982). Logo, compreende-se que se trata de uma partícula pesada. Possui trajetória retilínea em um meio material, perdendo energia a cada ionização feita pela interação com átomos encontrados em seu caminho. Portanto, o alcance das partículas alfa é muito pequeno se comparado a outros tipos de radiação, sendo facilmente blindadas.

### 1.1.2 Radiação beta ( $\beta$ )

Schaberle *et al* (2000) definem que estas partículas são constituídas de elétrons, que podem ser obtidos a partir do decaimento de núcleos atômicos excitados. Isso significa que tal átomo, na tentativa de adquirir estabilidade nuclear, converte um nêutron em um próton, gerando uma partícula beta negativa (SCAFF, 1979).

Para Okuno *et al* (1982), também tem o potencial de ionizar a matéria por onde passa, sendo um tipo de radiação mais penetrante que a radiação alfa. Todavia, ainda é facilmente blindada, podendo ser usado plástico ou alumínio para tanto.

### 1.1.3 Nêutrons (n)

As partículas de nêutrons formam um tipo de radiação que não produz ionização diretamente, como a alfa e a beta. Ao invés disso, o fazem indiretamente, ao transferirem energia para outras partículas carregadas. Estas podem, então, produzir ionização (*Id., Ibid.*).

A blindagem para este tipo de radiação, que é caracteristicamente muito penetrante e capaz de percorrer grandes distâncias, é feita por materiais ricos em hidrogênio, como água ou parafina (*Id., Ibid.*).

### 1.1.4 Radiação gama ( $\gamma$ ) e raios X

Ambas as radiações gama e os raios X diferem dos outros tipos por serem formadas por ondas eletromagnéticas, ao invés de partículas. Por este motivo, são dotadas de grande poder de penetração na matéria, segundo Andreucci (2001).

A diferença entre esses dois tipos de radiação ondulatória, de acordo com Schaberle *et al* (2000), está no princípio de formação de cada uma, já que as radiações gama são originadas do núcleo atômico de elementos que sofreram alguma reação ou decaimento nuclear. Por outro lado, a brusca desaceleração de elétrons, em um sistema manipulado pelo homem, resulta na liberação de energia ondulatória ou raios X.

Devido sua natureza muito penetrante, para blindar essas radiações é necessário chumbo, concreto, aço ou terra (OKUNO *et al*, 1982).

## 1.2 Aplicação das radiações

Os raios X, inicialmente descobertos pelo físico alemão Willian Conrad Roentgen, em 1895, assim foram definidos por não se conhecer a origem deste tipo de radiação, naquela época. Passados três anos de sua descoberta, os raios X foram aplicados à área da saúde (KOCH *et al*, 1997). De acordo com Okuno *et al* (1982), a radiação X foi primeiramente utilizada em fraturas de ossos.

Diversos físicos e cientistas, na mesma época, iniciaram inúmeras pesquisas envolvendo o campo da radiologia, como Pierre e Marie Curie, que não só descobriram o polônio e o radium, como também definiram o termo “radioatividade”, como sendo a propriedade de emissão de radiações por diversas substâncias (ANDREUCCI, 2001).

De acordo com Scaff (1979), Antoine Henri Becquerel observou a propriedade das radiações emitidas por sais de Urânio, de produzir sombras de objetos metálicos sobre chapas fotográficas. Essas radiações ainda demonstravam espontaneidade em suas emissões, a que Becquerel denominou “radiação penetrante”.

Conforme descrito por Andreucci (2001), outro grande nome que promoveu o conhecimento no campo da radiologia foi Ernest Rutherford, por criar o primeiro modelo atômico e por separar e denominar três tipos de radiação: alfa, beta e gama (SCAFF, 1979).

Okuno *et al* (1982) descrevem que o desenvolvimento de pesquisas envolvendo radioatividade artificial e produção de radioisótopos em grande escala, influenciou o progresso em setores como a medicina, a agricultura e a indústria.

Na indústria a radiação pode ser usada para detectar imperfeições ou defeitos no interior de materiais, definir sua densidade e espessura, verificar vazamentos, analisar o desgaste de motores, conservar alimentos, esterilizar materiais cirúrgicos, e para inúmeras outras funções (*Id.*, *Ibid.*).

A aplicação de elementos radioativos no setor da agricultura proporciona inúmeros benefícios, relativos à qualidade dos produtos cultivados. O controle de insetos que prejudicam a produção é um exemplo, assim como a aplicação de radioisótopos nos vegetais para o conhecimento do seu metabolismo. Entretanto, a maneira mais impressionante de se usar radiação neste setor, é para o desenvolvimento genético das espécies, obtendo-se plantas que produzam mais, amadureçam mais rapidamente e sejam resistentes a doenças (OKUNO, 1982).

Na área Médica, o campo onde as radiações são aplicadas é chamado “radiologia”, que por sua vez se fragmenta em três setores distintos: radioterapia, radiologia diagnóstica e medicina nuclear (*Id., Ibid.*).

A radioterapia é o campo da radiologia empregada no tratamento de tumores pela irradiação das células malignas, visando a destruição das mesmas, com o mínimo de dano às células saudáveis circunvizinhas (BRASIL, 1993). Os equipamentos utilizados podem ser aparelhos de raios X, isótopos radioativos ou aceleradores de partículas (OKUNO, 1982).

A radiologia diagnóstica é responsável por fornecer dados diagnósticos pela análise anatômica de imagens criadas a partir de raios X, geralmente captadas em filmes radiológicos. Contudo, equipamentos mais modernos utilizam sistemas digitais e de televisão, que otimizam o procedimento. Este setor também envolve a tecnologia da ressonância magnética, tomografia computadorizada e ultrassonografia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FÍSICA MÉDICA, [200?]).

Como afirmado por Okuno *et al* (1982), a medicina nuclear usa materiais radioativos para diagnóstico, tratamento ou estudo de doenças. Diferente da radiologia diagnóstica, seu enfoque principal é a fisiologia, observando-se o metabolismo de substâncias no organismo. Difere também da radioterapia, devido à substância utilizada e à maneira como se procede o tratamento, sendo, neste caso, ingeridos ou injetados materiais radioativos no local do corpo a ser tratado.

### 1.3 Raios X

Após sua descoberta e estudos que definiram mais precisamente o que vem a ser os raios X, como são produzidos, seu comportamento no ambiente, etc, ocorreu que sua utilização hoje é empregada em diversas situações úteis para o benefício humano (FRANCISCO, 2002).

Como Koch *et al* (1997, p. 9) definem, “os raios X são radiações eletromagnéticas de pequeno comprimento de onda que se propagam em linha reta, com a velocidade da luz, ionizando a matéria, inclusive o ar [...]”.

O processo de produção de raios X se dá pelo estímulo de elétrons de um filamento de Tungstênio, por indução elétrica, que são acelerados em direção a um alvo quando aplicada uma diferença de potencial, onde serão desacelerados bruscamente, produzindo então energia em forma de raios X e outras formas (SCAFF, 1979). De acordo com Koch *et al* (1997), esta energia produzida é transformada em calor e apenas 1% em raios X.

Conforme explicado por Dimenstein *et al* (2004), dentro da ampola onde a produção de raios X é efetuada, é feito vácuo, para que os elétrons acelerados não se choquem com partículas de ar e percam energia antes de atingirem o alvo.

A ampola, anteriormente mencionada, é feita de vidro plumbífero, para evitar que a radiação formada se espalhe pelo ambiente. É colocada dentro de um protetor metálico, por sua vez contido num recipiente com uma abertura regulável, denominada colimador. Isto fará com que os feixes emitidos se propaguem unicamente na direção e área desejada (KOCH *et al*, 1997).

É importante ressaltar que a produção de raios X é devido a aplicação de energia elétrica. Portanto, a quantidade de raios produzida e seu poder de penetração são proporcionais ao valor da corrente aplicada no sistema, expressa em kV, ou quilovolts (SCAFF, 1979). A partir disso, fica claro que esse tipo de radiação é ativo somente quando uma voltagem é aplicada ao aparelho. Quando o aparelho está desligado, não há produção de raios X.

#### **1.4 Interação da radiação com a matéria**

De acordo com Dimenstein *et al* (2004), o processo de ionização ocorre com a interação da radiação com os elétrons das camadas orbitais atômicas da matéria, ejetando-os destas camadas e havendo transferência total ou parcial da energia da radiação para o elétron ejetado. Para tanto, a energia do feixe de radiação incidente deve ser maior que a energia de ligação do elétron com o núcleo atômico. Portanto, as radiações capazes de promover ionização sobre a matéria são denominadas “radiações ionizantes” (*Id., Ibid.*).

As ionizações podem ser basicamente de três tipos: Efeito fotoelétrico, Efeito Compton e Produção de pares.

a) Efeito fotoelétrico:

Neste tipo de ionização, a interação do feixe de radiação ocorre com os elétrons das camadas orbitais mais internas e próximas ao núcleo de um átomo. O elétron ejetado deixa sua orbital vazia, que será ocupada por um elétron da camada um nível acima. Como resultado deste processo, haverá a emissão de radiação característica. O efeito da absorção do fóton pelo elétron é mais predominante para baixas energias e para materiais cujos átomos possuem elevado número atômico (DIMENSTEIN *et al*, 2004).

b) Efeito Compton:

Ao contrário do efeito fotoelétrico, este ocorre com a interação do feixe radioativo sobre os átomos das camadas mais externas e distantes do núcleo, havendo parcial absorção da energia do feixe pelo elétron ejetado. Neste caso, o resultado dessa interação não é somente a ejeção do elétron da orbital, mas também do fóton incidente, sendo tal fenômeno denominado *Compton*. Outra particularidade deste efeito, é que a energia incidente deve ser maior que 100 keV e acontece independentemente do número atômico do material absorvedor (*Id., Ibid.*).

c) Produção de pares:

A denominação deste tipo de ionização provém do resultado da interação de fótons com energia superior a 1,02 MeV com a matéria, resultando na formação de um par composto por um elétron e um pósitron. Ambos possuem energia mínima de 511 keV após liberação (*Id., Ibid.*).

O processo de excitação é semelhante à ionização, mas a energia cedida ao elétron é insuficiente para tirá-lo de sua orbital. Isso faz com que ele permaneça por alguns instantes com uma energia maior dentro do átomo. Ao final, com o retorno do átomo excitado ao seu estado normal, há emissão de luz com comprimento de onda característico (SCAFF, 1979).

## 1.5 Efeitos biológicos da radiação

O primeiro efeito biológico da radiação, segundo Okuno *et al* (1982), foi notificado à comunidade científica pelo médico J. Daniels, quatro meses após a descoberta dos raios X, o qual observou a queda de cabelo em um de seus colegas, ao realizar radiografia de crânio. Alguns anos depois, médicos suecos utilizaram o conhecimento sobre os efeitos deletérios dos raios X para curar o tumor de pele de um paciente. Outro médico americano fez o mesmo para diminuir o baço de um paciente com leucemia. Porém, a terapia com uso da radiação estava

produzindo efeitos indesejáveis, sendo observados eritemas seguidos de ulcerações nas mãos dos médicos e, por vezes, câncer nos ossos, como resultado da exposição durante o tratamento de seus pacientes (OKUNO *et al*, 1982).

Para entender os efeitos biológicos das radiações no organismo, estudos de radiobiologia estabelecem relações entre dose e efeito. Os danos biológicos ocasionados pela exposição à radiação ionizante provêm da formação de íons e radicais livres, cuja interação pode induzir quebras cromossômicas e aberrações diversas (DIMENSTEIN *et al*, 2004).

A interação das radiações com as células produz ionização e excitação em suas moléculas. Essa interação pode acontecer de maneira direta, quando a energia do feixe incide diretamente na molécula, ou indireta, quando a energia incidente é transmitida por transferência através de outra molécula (BITELLI, 1982).

Dentro da célula irradiada, a principal molécula afetada é o DNA, por ser ele o responsável por codificar as funções metabólicas celulares e por conter a codificação genética de um indivíduo. Portanto, a quebra da molécula de DNA ou a danificação em uma secção da mesma, induzida por raios ionizantes, resulta em danos somáticos ou genéticos (DIMENSTEIN *et al*, 2004).

Além do DNA, outras moléculas celulares também sofrem ação das radiações, como a membrana citoplasmática, provocando mudanças estruturais e na permeabilidade seletiva. Nas mitocôndrias, o efeito é sobre a síntese de ATP (adenosina trifosfato), cuja função está relacionada ao metabolismo energético. As enzimas podem sofrer inativação. Como a água é uma das moléculas mais sensíveis à ação física das radiações, e as células possuem cerca de 80% de água, as moléculas de água do interior das células formam um ambiente muito favorável para sofrer os efeitos das radiações (BITELLI, 1982).

Segundo Okuno *et al* (1982, p. 71), “existem efeitos biológicos da radiação que se manifestam a curto e a longo prazo”. Os efeitos de curto prazo, ou agudos, podem ocorrer por exposição a altas doses, em curto período de tempo, sendo observados após horas, dias ou semanas. Os sintomas são: náuseas, vômitos, prostração, perda de apetite e de peso, febre, hemorragias dispersas, queda de cabelo e forte diarreia, caracterizando o estado denominado “síndrome aguda de radiação”. Por outro lado, os efeitos a longo prazo são vistos em casos onde houve exposição a altas doses, mas que não foram suficientemente letais, demonstrando aparente recuperação. Entretanto, o mesmo pode ocorrer com a exposição crônica a pequenas doses. Casos de pessoas ocupacionalmente expostas podem ser usados como exemplo (*Id.*, *Ibid.*).

Efeitos genéticos podem ocorrer em indivíduos que tiveram os órgãos reprodutores expostos à radiação, afetando gerações futuras. As conseqüências desse fato não acometem aqueles que foram irradiados, somente seus descendentes. Estes podem transmitir as informações genéticas alteradas para as próximas gerações, nascer com defeitos físicos ou mentais, ser mais vulneráveis a doenças crônicas ou sofrer aborto (OKUNO *et al*, 1982).

A irradiação intensa pode produzir lesão em tecidos e órgãos, caracterizando os efeitos somáticos das radiações.

### 1.5.1 Efeitos sobre a pele

A destruição de células pela intensa exposição aos raios ionizantes gera uma fase inflamatória e eritematosa, seguida de ulcerações denominadas “radioepidermite exsudativa”. Esse tipo de lesão pode cicatrizar, caso haja células não irradiadas próximas. Lesões a nível da derme produzem raiodermite profunda. Já as irradiações crônicas geram distrofias (BITELLI, 1982).

### 1.5.2 Efeitos sobre tecidos hematopoéticos

Tecidos hematopoéticos são aqueles cuja função é produzir glóbulos do sangue, sendo que a medula óssea é sua principal representante. Os danos nesse tecido acarretam a diminuição da produção dessas células e conseqüente deficiência na imunidade do indivíduo, deixando-o susceptível a infecções (ANDREUCCI, 2001).

Segundo Verrastro *et al* (2005) as radiações podem levar à lesão medular de acordo com alguns fatores como a dose de radiação utilizada, o tamanho e o local do campo irradiado, tempo e duração da exposição e principalmente o tipo de radiação utilizada levando-se em consideração que os raios gama ( $\gamma$ ) e os raios X são mais nocivos ao homem em comparação aos raios alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e nêutrons ( $n$ ).

As radiações e, principalmente, os raios X são de grande utilidade na terapêutica. A irradiação total de um corpo usada como terapêutica (pré-transplantes de medula óssea, linfomas cutâneos) ou em exposição acidental, freqüentemente levam a aplasia medular. As células mais sensíveis às radiações ionizantes, depois das células germinativas, são as células hematopoiéticas e, depois delas, os eritroblastos e linfócitos respectivamente (*Id.*, *Ibid.*). A anemia é um fator que não aparece rapidamente, pois as células vermelhas circulantes possuem uma vida média mais longa que os leucócitos e que as plaquetas. Estas diminuem

rapidamente no sangue, pois possuem uma vida média mais curta e duram em média de 5 a 10 dias (VERRASTRO *et al*, 2005).

Na anemia aplástica (AA) há deficiência na formação dos precursores eritroblásticos medulares a partir da célula pluripotente (stem-cell). A perturbação da diferenciação eritroblástica decorre de alterações do elemento primordial, das células que dele originam ou alteração do microambiente em que tais células se desenvolveram. Sendo o maior causador desse tipo de insuficiência funcional da medula óssea a radiação ionizante (LORENZI, 2006).

Segundo Meo (2004), em um estudo realizado na Arábia Saudita com objetivo de identificar os efeitos dos raios X em células sanguíneas de técnicos de radiologia convencional do sexo masculino, a contagem de plaquetas diminuiu significativamente, e não há nenhuma alteração significativa nas contagens de leucócitos e eritrócitos.

Com objetivo de verificar os efeitos da radiação ionizante, especificamente os raios X, sobre o total de leucócitos (TLC) e a atividade fagocítica dos polimorfonucleares (PMN), Meo *et al* (2006) chegaram à conclusão que as funções fisiológicas e atividade fagocítica dos polimorfonucleares (PMN) diminuem, mesmo a baixos níveis de exposição, e não há nenhum tipo de alteração significativa na contagem global de leucócitos. Com isso é possível compreender que a exposição a baixos níveis de radiação pode levar a anormalidades funcionais nas células imunitárias humanas e, com isso, diminuição na própria imunidade, tornando o indivíduo mais susceptível às infecções.

### **1.5.3 Efeitos sobre o sistema gastrointestinal**

A principal característica das lesões nesse tecido são as reações inflamatórias e descamações do epitélio, provocando ulcerações (BITELLI, 1982).

### **1.5.4 Efeitos sobre os sistemas reprodutores**

As células germinativas femininas são mais sensíveis à radiação que as masculinas, havendo esterilidade temporária com duração de 1 a 3 anos, dependendo da dose, ou castração. Para as células masculinas, é necessário doses maiores que nas femininas para provocar esterilidade temporária, e também pode haver esterilidade permanente com doses maiores (*Id.*, *Ibid.*).

## 1.6 Proteção radiológica

A exposição à radiação é um fato a que todos estão sujeitos, desde que a própria natureza é uma das principais fontes emissoras. Como exemplo pode-se citar as radiações cósmicas, provenientes principalmente de explosões solares, e as radiações que se originam do próprio solo terrestre e de substâncias nele presentes (ANDREUCCI, 2001).

Para melhor esclarecer sobre as medidas de radioproteção e as doses de exposição permissíveis, primeiro é necessário compreender as grandezas físicas e suas unidades de medida. Tais grandezas incluem: Exposição (X), Dose Absorvida (D) e Dose Equivalente (H).

De acordo com Dimenstein *et al* (2004, p. 27), “a grandeza Exposição (X) é conceito definido para incidência de radiação que, interagindo com o meio, produz íons”. A unidade adotada para esta grandeza é o Roentgen (R), expressa, porém, por Coulombs por quilograma de ar pelo sistema internacional.

A dose absorvida (D) determina a energia depositada na matéria após a irradiação. Sua unidade é expressa por “gray” (Gy), que se comparada à unidade antiga, o “rad”, obtém-se  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$  (*Id., Ibid.*).

A quantidade de radiação absorvida durante uma exposição depende de alguns fatores, como: o tipo de tecido irradiado, o tipo de radiação e a energia da radiação incidente. A partir de valores obtidos em cada uma dessas informações, pode-se então calcular a dose equivalente (H), cuja unidade é expressa em “sievert” (Sv). Comparando o Sv à unidade antiga, o “rem” (roentgen equivalent men), encontra-se  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$  (*Id., Ibid.*).

### 1.6.1 Normas nacionais de radioproteção

Para regulamentar e padronizar o uso da radiologia para fins diagnósticos e terapêuticos no território nacional, a Secretaria de Vigilância Sanitária publicou, por ordem do Ministério da Saúde, a portaria nº 453. Nela, estão estabelecidas as Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico, onde estão definidas as condições necessárias para que as atividades operacionais que empregam técnicas radioativas e radiológicas sejam adotadas em benefício da sociedade, levando em conta a proteção dos trabalhadores, do público, do paciente e do meio ambiente (BRASIL, 1998).

De acordo com Dimenstein *et al* (2004), as determinações da Secretaria de Vigilância Sanitária englobam exigências quanto às instalações destinadas ao uso dos aparelhos, quanto

às blindagens utilizadas, quanto aos próprios equipamentos e quanto aos testes de controle de qualidade.

As salas devem obedecer, basicamente, a padrões relativos ao tamanho e à segurança dos ambientes externos, sendo necessária a realização de levantamentos radiométricos ambientais periódicos (BRASIL, 1998).

As blindagens devem ser contínuas e não podem ter falhas. Outras atribuições como revestimento das paredes, altura das blindagens, sistema de exaustão na câmara escura, identificação apropriada da sala de raios X, etc, também devem obedecer aos padrões estabelecidos (*Id., Ibid.*).

## 2 SISTEMA HEMATOLÓGICO HUMANO

### 2.1 Características Gerais do Sangue Normal

Segundo Lorenzi (2006) o tecido sanguíneo é formado por uma porção celular denominada hematócrito representando 45% de um volume determinado de sangue circulante em meio líquido, plasma ou porção acelular representando os 55% restantes. A porção acelular é constituída de 92% de água e os 8% são formados por proteínas, sais e outros constituintes orgânicos em dissolução enquanto a porção celular é formada quase que totalmente por glóbulos vermelhos ou eritrócitos, bem como glóbulos brancos ou leucócitos e ainda pelas plaquetas. Estes dois últimos tipos celulares, em conjunto representam um volume celular desprezível, quando comparados com o volume ocupado pelos eritrócitos. Desse modo o valor do eritrócito (HCT) representa, na prática, o volume ocupado pelos glóbulos vermelhos.

Num homem adulto normal, o volume sanguíneo total é de 3.600 a 5.800ml, e para a mulher é de 2.900 a 4.400ml (VERRASTRO *et al*, 2005).

Em condições fisiológicas, esses volumes podem modificar-se. Assim como na gravidez e em várias doenças, como certas hemopatias esse volume pode estar aumentado, ocorrendo a hemodiluição (LORENZI, 2006).

### 2.2 Hematopoese e Generalidades

Segundo Verrastro *et al* (2005) a hematopoese se inicia a partir de uma célula primitiva denominada *stem cell* ou célula-tronco. Agrupadas estas células constituem as UFC (unidades formadoras de células) as quais estimuladas por fatores específicos se diferenciam em linhagens granulares, plaquetárias eritrocitárias, linfóides e outras.

A célula pluripotente expande-se ou divide-se, conservando sempre a característica de pluripotencialidade. Porém, algumas células filhas evoluem em sentido um pouco mais avançado (LORENZI, 2006).

Estas células possuem capacidade de auto-renovação, de modo que a celularidade geral da medula permanece constante em condições normais de saúde (HOFFBRAND *et al*, 2008).

Por volta da sétima e oitava semanas de vida surgem as primeiras células sanguíneas do homem. Daí até o quarto mês, a formação de células se faz em agrupamento de células redondas no saco vitelínico. A partir do saco vitelino, essas células caem na circulação embrionária e se fixam em locais do embrião, e depois do feto, onde há rede vascular muito rica. Do quarto ao sexto mês de vida fetal, as células sanguíneas são formadas no baço e fígado sendo este considerado o período hepatoesplênico da hemopoese e, a partir daí esta passa a ser feita na porção esponjosa do osso que é o chamado período medular (LORENZI, 2006).

De acordo com Verrastro *et al* (2005), o fígado mostra as primeiras células da linhagem vermelha a partir da sexta semana intra-uterina, continuando até a 24ª semana. Após o nascimento, a hematopoese ocorre a nível medular de todos os ossos. A partir do terceiro ano de vida a medular dos ossos longos vai deixando a atividade formadora de glóbulos que permanece na medular dos ossos esponjosos como esterno, costelas, bacia, vértebras, escápula e porções proximais dos úmeros e fêmures.

O sítio hematopoético mais importante a partir de 6 a 7 meses de vida fetal, infância e vida adulta, é a medula óssea, sendo a única fonte de novas células sanguíneas. As células em desenvolvimento situam-se fora dos seios da medula óssea e as maduras são liberadas nos espaços sinusais e microcirculação medular e, a partir daí, na circulação geral. (HOFFBRAND *et al*, 2008).

As células da linhagem branca e plaquetas também começam surgir na fase medular. Também têm formação dinâmica e as células são colocadas diariamente na circulação, de acordo com o seu consumo, mantendo o equilíbrio (VERRASTRO *et al*, 2005).

“A celularidade da medula óssea diminui com a idade. Em torno dos 65 anos e pode diminuir em 30% e daí em diante até 50% [...]” (*Id., Ibid.*, p. 4).

### 2.3 Eritropoese

Para Hoffbrand *et al* (2008) são produzidas em torno de  $10^{12}$  novas células da linhagem vermelha por dia, por meio do processo de eritropoese. A eritropoese passa da célula-tronco por várias células progenitoras até o primeiro precursor eritróide, o proeritroblasto.

Várias fases da eritropoese se realizam graças a síntese do DNA, mecanismo de mitose, incorporação de ferro pela síntese da hemoglobina, perda do núcleo e organelas, para gerar o produto final que é o glóbulo vermelho, anucleado, tendo reservas para uma vida

média funcional de 120 dias. O processo de eritropoese ocorre na medula óssea pela diferenciação da *stem cell* em célula da linhagem eritrocitária (VERRASTRO *et al*, 2005).

A partir da célula indiferenciada totipotente origina-se primeira célula da linhagem eritroblástica proeritroblasto possuindo capacidade para se dividir e, que em condições normais sofre três divisões celulares sucessivas. Com essas divisões, o número das células eritroblásticas filhas aumenta bastante e o tamanho das células vai diminuindo. Assim, o volume do parênquima eritroblástico da medula óssea cresce após o estímulo da eritropoiese (LORENZI, 2006).

Os eritroblastos se encontram na medula óssea, onde ocorre a diferenciação das células da linhagem vermelha a partir as *stem cell* que pela ação de fatores maturativos se diferencia nas seguintes células: eritroblasto basófilo, eritroblasto policromatófilo, eritroblasto ortocromatófilo e reticulócito, que é liberado para a circulação sanguínea periférica. Após 24 a 48 horas, ao perder o seu retículo, passa a receber o nome eritrócito, hemácia ou glóbulo vermelho (VERRASTRO *et al*, 2005).

O número de eritroblastos basófilos corresponde ao dobro dos proeritroblastos, eritroblasto policromatófilo, eritroblasto ortocromatófilo e reticulócito. Entretanto, os dois últimos são incapazes de se dividir, embora continuem a acumular hemoglobina no citoplasma. O seu núcleo sofre cariorréxis, o conteúdo de ácido desoxirribonucléico é cercado por uma fina camada hemoglobilínica do citoplasma celular, sendo envolto numa capa de membrana. Os eritroblastos ortocromatófilos também podem perder os núcleos pelo processo de expulsão dos membros através do citoplasma. O que sobra da célula anucleada é o eritrócito jovem carregado de hemoglobina (reticulócito) (LORENZI, 2006).

Após a maturação dos eritroblastos através da alteração do núcleo, este núcleo torna-se cada vez mais condensado pela picnose e diminui de tamanho, sendo expulsos da célula e ingeridos pelos macrófagos (VERRASTRO *et al*, 2005).

Os reticulócitos sofrem ação dos macrófagos tornando-se eritrócitos maduros. Os macrófagos esplênicos possuem a função de retirar os corpúsculos intracitoplasmáticos e o excesso de membrana dos reticulócitos, uma pequena porcentagem dessas células sempre é destruída ou lisada na medula óssea não chegando à maturidade completa. Essa perda de células durante a maturação é denominada eritropoese ineficiente (LORENZI, 2006).

Para que cada fase desde proeritroblasto e eritroblasto policromatófilo, o tempo da eritropoese calculado é 7 dias ou em média 20 horas para cada uma das fases, a fase do eritroblasto ortocromatófilo é um pouco mais demorada, em torno de 24 a 36 horas, e de 24 a 48 horas como reticulócito (VERRASTRO *et al*, 2005).

Segundo Lorenzi (2006) existem vários fatores nutricionais essenciais para a eritropoese, e entre eles os mais importantes são o ferro, vitamina B<sub>12</sub> e os folatos.

O ferro é um átomo que está no centro da molécula de hemoglobina, ou seja, a molécula de hemoglobina é formada pelo heme e globina. São quatro cadeias protéicas que formam a globina e quatro moléculas de heme. Este é uma porfirina que contém um átomo de ferro no centro da molécula. O ferro possui duas valências livres que se ligam ao oxigênio para seu transporte até os tecidos (VERRASTRO *et al*, 2005)

Segundo Lorenzi (2006) o ferro é fornecido ao organismo pela dieta habitual na quantidade média de 14 mg/dia, mas apenas 1-2 mg o equivalente a 5 a 10% dessa quantidade são absorvidos. Chegando ao estômago se liga a várias substâncias (proteínas e polissacarídeos), o suco gástrico ácido permite que certa porção fique sobre a forma solúvel. O tipo de dieta ingerida modifica a capacidade de absorção do ferro pela mucosa intestinal. Alguns alimentos podem dificultar sua absorção enquanto outros facilitam.

As necessidades diárias desta substância para compensar perdas e o crescimento variam com a idade e o sexo; sendo máxima na gravidez, adolescência e mulheres que menstruam. Quando há perda adicional ou diminuição prolongada na sua ingestão, esses grupos são susceptíveis a desenvolver deficiência de ferro (HOFFBRAND *et al*, 2008).

A absorção do ferro é um mecanismo complexo que depende da atividade das células intestinais, da dieta, da eritropoese, do estado funcional de seus depósitos. Ele não possui via de excreção sendo então absorvido pelo intestino. Podemos avaliar o grau de absorção do ferro mediante a quantidade de ferritina contida nas células intestinais, a variação da ferritina na célula intestinal é reflexo da demanda de ferro pela medula, num homem normal, cerca de um quarto do ferro absorvido permanece nos locais de depósito e na mulher os depósitos são menores devido as perda menstruais periódicas. O ferro se deposita ligado a duas proteínas: ferritina e hemossiderina. A maior parte está ligada a ferritina, que é mais facilmente liberada conforme as necessidades eritroblásticas e a hemossiderina corresponde a agregados grosseiros de ferritina, uma forma mais estável ou menos acessível desse ferro de depósito (LORENZI, 2006).

A vitamina B<sub>12</sub> é encontrada normalmente em alimentos de origem animal e alguns vegetais possuem uma pequena quantidade. Sua estrutura química é semelhante à estrutura da porção heme da hemoglobina. Possuindo um anel de protoporfirina ligado a um nucleotídeo (VERRASTRO *et al*, 2005).

De acordo com Lorenzi (2006) a necessidade diária dessa vitamina é de 1-2 µg, sendo quase sempre inferior a quantidade ingerida na dieta. Existe uma reserva desta vitamina no

organismo que é suficiente para manter níveis plasmáticos normais por muito tempo, mesmo sob regime dietético deficiente.

Segundo Hoffbrand *et al* (2008) a vitamina B<sub>12</sub> ingerida combina-se com a glicoproteína fator intrínseco (IF), sintetizada pelas células parietais gástricas. O complexo IF-B<sub>12</sub> pode, então ligar-se a um receptor de superfície específico para IF chamado cubilina, que se ligará em seguida em outra proteína chamada *amnionless*, que promove endocitose o complexo cubilina/IF-B<sub>12</sub> no íleo distal onde a vitamina é absorvida e o IF destruído.

O transporte desta vitamina é feito pelas transcobalaminas que são glicoproteínas que se ligam a B<sub>12</sub> se encarregando de transportá-la e distribuí-la no organismo (VERRASTRO *et al*, 2005).

A B<sub>12</sub> é adsorvida para o sangue portal onde se liga a transcobalamina (TC) , que entrega a vitamina à medula óssea e a outros tecidos. Embora a TC seja essencial para transferência de B<sub>12</sub> para as células do organismo, a quantidade de B<sub>12</sub> na TC normalmente é baixa (HOFFBRAND *et al*, 2008).

Esta vitamina é essencial à produção normal de células sanguíneas e à função do tecido nervoso. Ela possui uma correlação com o ácido fólico, o mecanismo desta substancia se entrelaça em certos pontos (LORENZI, 2006).

Segundo Hoffbrand *et al* (2008) o ácido fólico é o composto base de todo um grupo. O organismo é incapaz de sintetizar a estrutura do folato e necessita deste composto Pré-formado como uma vitamina.

Os folatos e ácido fólico possuem em comum a pteridina, o ácido para-aminobenzóico e um número variado de ácido glutâmico. Quanto à molécula de ácido fólico se adicionam quatro grupos de hidrogênio, temos a formação do ácido tetraidrofólico, importante nas reações enzimáticas celulares. Uma enzima chamada deidrofolato redutase que catalisa a redução do ácido fólico, formando os ácidos diidrofólico e tetraidrofólico, que atuam nos integrantes da divisão celular (VERRASTRO *et al*, 2005).

Os folatos estão amplamente distribuídos nos alimentos de origem animal e vegetal suas propriedades podem ser destruídas com o calor, luz e outros agentes físicos e químicos. A necessidade diária é de 200-300µg/dia e o depósito norma no homem adulto é de 10-20 mg (LORENZI, 2006).

O folato dietético converte-se a metil-TFH durante a absorção no intestino delgado alto. Dentro da célula é convertido em poliglutamatos de folato. Várias proteínas que ligam folato estão presentes nas superfícies celulares e facilitam a entrada de folatos reduzidos nas

células. Não há proteína plasmática específica que favoreça a tomada celular de folato (HOFFBRAND *et al*, 2008).

Segundo Verrastro *et al* (2005) a deficiência dos folatos resulta na síntese anormal das proteínas nucleares, e como consequência alterações na formação e divisão celular, e diminuição na formação de células eritrocitárias.

Esses ácidos são necessários em várias reações bioquímicas, envolvendo transferência de unidades de carbono em interconversões de aminoácidos e na síntese de precursores purínicos de DNA (HOFFBRAND *et al*, 2008).

## 2.4 Eritropoetina

A eritropoetina (EPO) é um hormônio produzido em maior parte nas células intersticiais peritubulares renais equivalentes a 90% e os outros 10% são produzidos no fígado e em outros locais. É um polipeptídeo de pesadamente glicosilado 165 aminoácidos, peso molecular de 24 kDa. Não há reservas pré-formadas e o estímulo para sua produção é a tensão de oxigênio nos tecidos do rim (*Id.*, *Ibid.*).

A EPO possui papel fundamental na eritropoese, atua de vários modos no sentido de aumentar o número de células progenitoras que darão origem aos eritrócitos. Ela atua sobre a eritropoese de modo complexo, admitindo-se que atue em vários pontos, como na estimulação e proliferação das células indiferenciadas medulares (produzindo maior número de mitoses nessas células), estimula o amadurecimento das células indiferenciadas que caminham para a eritropoese, estimula a síntese da hemoglobina e aumenta a taxa de reticulócitos no sangue (LORENZI, 2006).

## 2.5 Hemoglobina

A hemoglobina (Hb) é uma proteína especializada em efetuar trocas gasosas, cada eritrócito possui cerca de 640 milhões de moléculas de hemoglobina (HOFFBRAND *et al*, 2008).

Segundo Lorenzi (2006) a hemoglobina é formada por duas partes, primeiramente por uma porção que contém o ferro, denominada heme, e por uma segunda porção, porção protéica denominada globina cada uma delas com suas funções específicas.

Para Verrastro *et al* (2005), a estrutura química do grupo heme é de uma porfirina de com átomo de ferro ligado aos nitrogênios de quatro anéis pirrólicos, unidos por pontes de

meteno e sua síntese, ocorre principalmente na mitocôndria do eritroblasto e algumas fases no citoplasma. Além do grupo heme, a hemoglobina possui na sua molécula a globina que é composta por um tetrâmero polipeptídico com duas cadeias alfa e duas outras que podem ser beta, gama ou delta. A globina é formada no ribossoma do eritroblasto.

A cadeia globínica alfa possui uma seqüência de 141 aminoácidos, enquanto as cadeias beta, gama e delta, possuem uma seqüência de 146 aminoácidos cada uma. A estrutura da hemoglobina do adulto é  $\alpha_2\beta_2$  e as cadeias de globina enrolam sobre si mesmas em forma de hélice ou segmentos. Como existem quatro cadeias de globina deve haver quatro grupos de heme, cada um com um átomo de ferro (LORENZI, 2006).

Segundo Hoffbrand *et al* (2008) o sangue normal do adulto também possui pequenas quantidades de outras hemoglobinas, Hb F e Hb A<sub>2</sub>, as quais possuem cadeias alfa, mas com cadeias gama e delta respectivamente ao invés de beta.

As hemoglobinas normais são conhecidas como A1, A2 e F, onde a hemoglobina A1 possui duas cadeias  $\alpha$  e duas  $\beta$  é, portanto identificada como  $\alpha_2\beta_2$ . A hemoglobina A2 possui duas cadeias  $\alpha$  e duas  $\delta$  sendo identificada como  $\alpha_2\delta_2$  e a hemoglobina F (fetal) que possui duas cadeias  $\alpha$  e duas  $\gamma$  sendo identificada como  $\alpha_2\gamma_2$  (VERRASTRO *et al*, 2005).

De acordo com Lorenzi (2006, p. 56) “a principal função da hemoglobina é promover a absorção, o transporte e a liberação de oxigênio aos tecidos”.

Os eritrócitos transportam o O<sub>2</sub> dos pulmões aos tecidos e voltam no sangue venoso, com CO<sub>2</sub>, para os pulmões. As cadeias individuais movimentam-se uma sobre a outra à medida que a molécula de hemoglobina carrega e descarrega O<sub>2</sub> (HOFFBRAND *et al*, 2008).

A dosagem da hemoglobina pode ser feita por espectrofotometria ou obtida pelo método de Coulter, após conversão da hemoglobina em cianometa-hemoglobina ou laurilsulfato de hemoglobina (FAILACE, 2006).

## 2.6 Número dos eritrócitos

De acordo com Verrastro *et al* (2005) o numero de eritrócitos de um indivíduo pode variar bastante, principalmente, de homem para mulher. Os homens costumam apresentar valore mais elevados que as mulheres o que é considerado normal.

A contagem dos eritrócitos pode ser feita de duas maneiras, com auxílio da câmara de contagem ao microscópio ou com auxílio de contadores automáticos ou eletrônicos com canal de impedância (FAILACE, 2006).

De acordo com os valores referenciais quando os eritrócitos encontram-se abaixo dos valores referenciais, diz-se que está havendo uma eritrocitose e a diminuição dessas células é denominada como eritrocitopenia (FAILACE, 2006).

## **2.7 Hematócrito**

É o volume ocupado pelos eritrócitos contidos em uma quantidade de sangue total. Pode ser obtido de duas maneiras, pelo princípio da impedância emitido a partir dos dados do coulter ou pelo método de centrifugação do sangue colhido com anticoagulante em tubo especial para hematócrito e seus valores variam um pouco de homem para mulher (LORENZI, 2006).

O volume desta massa eritróide de sangue pode ser expresso em porcentagem ou fração decimal. Esse exame é muito utilizado em blocos cirúrgicos de alguns hospitais para rapidamente avaliar as variações volêmicas de pacientes em circulação extracorpórea e/ ou em hemodiluição provocada. No laboratório é muito utilizado em casos esporádicos de dificuldade na contagem de eritrócitos, devido sua relação com a contagem destes (FAILACE, 2006).

## **2.8 Índices Eritrocitários**

Para Verrastro *et al* (2005) após obter os resultados do número de eritrócitos, hemoglobina e hematócrito, pode-se calcular os índices eritrocitários ou hematimétricos, como o volume corpuscular médio (VCM), hemoglobina corpuscular média (HCM) e a concentração da hemoglobina corpuscular média (CHCM).

Os índices hematimétricos possuem grande utilidade na diferenciação dos tipos de anemia, dividindo-as em microcíticas, normocíticas e macrocíticas de acordo com o tamanho, concentração e volume dos eritrócitos e concentração de hemoglobina presente nessas células. Além de sugerir a natureza do defeito primário, também podem indicar anomalia subjacente antes que a anemia torne-se evidente (HOFFBRAND *et al*, 2008).

### **2.8.1 Hemoglobina Corpuscular Média (HCM)**

De acordo com Lorenzi (2006) a hemoglobina corpuscular média expressa a quantidade média de hemoglobina existente dentro de uma hemácia. Seu valor normal pode variar entre 28 e 32  $\mu\text{g}$ .

O valor da hemoglobina corpuscular média é a relação existente ente a hemoglobina dividida pelo número de eritrócitos multiplicado por 10. O resultado é expresso em picogramas (pg) ou microgramas ( $\mu\text{g}$ ), pois, a quantidade de hemoglobina por célula é muito pequena (VERRASTRO *et al*, 2005).

Segundo Failace (2006) quando a concentração média de hemoglobina encontra-se acima dos valores referenciais diz-se que está havendo hipercromia e quando os valores encontram-se abaixo dos valores referenciais diz-se que está havendo uma hipocromia.

### **2.8.2 Volume corpuscular Médio (VCM)**

Este índice permite verificar numericamente e/ou com o auxílio de microscopia o tamanho dos eritrócitos, se estão maiores ou menores que o normal. Seu cálculo permite classifica as anemias em micro, normo e macrocíticas. Então quando os valores do (VCM) estão acima dos valores referenciais diz-se que houve uma macrocitose e abaixo dos valores referenciais houve uma microcitose (*Id., Ibid.*).

O volume corpuscular médio é a relação existente entre hematócrito dividido pelo número de eritrócitos multiplicado por 10. Os valores podem variar de 82-93  $\mu^3$  e são expressos em micras cúbicas (LORENZI, 2006).

Os valores de (VCM) não variam de acordo com o sexo, apresentando-se iguais tanto para homens quanto para mulheres. Existem apenas duas situações fisiológicas em que este volume pode estar fora dos limites normais para os adultos. A primeira é em recém nascidos, os valores encontram-se altos durante as primeiras semanas e no lactante é baixo aumentando lentamente durante a infância até atingir os valores para adulto, e a segunda na gravidez onde há um leve aumento (HOFFBRAND *et al*, 2008).

### **2.8.3 Concentração da Hemoglobina Corpuscular Média (CHCM)**

A concentração de hemoglobina corpuscular média é uma relação entre o valor da hemoglobina contida num determinado volume de sangue e o volume globular, sendo considerada de grande importância nas anemias, pois define é a quantidade de hemoglobina existente dentro da hemácia (LORENZI, 2006).

Esta concentração é calculada dividindo-se o resultado da hemoglobina pelo hematócrito multiplicado por 100. O resultado obtido é dado em porcentagem e os valores referências podem variar de 32 e 36 % (VERRASTRO *et al*, 2005).

## 2.9 Leucócitos

Dentro da linhagem das células brancas, incluem-se vários tipos celulares que diferem entre si tanto em aspectos morfológicos como funcionais podendo ser divididos em dois grupos, primeiro é o dos leucócitos que contem granações no citoplasma (granulócitos) e o segundo são os que não possuem granações, sendo que o número de células em diferenciação para a linhagem granulocítica da medula óssea é muito maior do que a da linhagem eritrocitária (LORENZI, 2006).

Hoffbrand *et al* (2008) dividem os leucócitos também em dois grupos, os fagócitos e imunócitos. Os granulócitos incluem três tipos de células, neutrófilos, eosinófilos e basófilos, juntamente com os monócitos constituem o grupo dos fagócitos.

As células brancas originam-se de células indiferenciadas da medula óssea passando por algumas fases até chegar à fase madura, fase em que se encontram na circulação sanguínea em porcentagem variada. Essas células, também podem ser encontradas nos chamados órgãos linfóides primários e secundários (VERRASTRO *et al*, 2005).

Os granulócitos são células encarregadas da defesa do organismo contra germes invasores onde cada um deles possui um tipo de função específica. Os neutrófilos são armas de defesa do organismo encontrando-se em maior quantidade no organismo em relação os outros granulócitos circulantes eles possuem a capacidade de englobar partículas estranhas através da fagocitose. Os monócitos são maiores possuindo a capacidade de fagocitar partículas vivas ou inertes de dimensões maiores. Os eosinófilos e basófilos são células que atuam mais em reações do tipo alérgico ou imunológico (*Id., Ibid.*).

As células linfocitárias fazem parte de uma seção do hemograma onde são identificados, contados e avaliados morfológicamente. A contagem global dessas células pode ser feita tanto pela contagem eletrônica como manual e a contagem específica, também pode ser feita por alguns aparelhos eletrônicos pelo método da impedância ou por meio de lâminas contendo esfregaço sanguíneo corado (FAILACE, 2006).

Segundo Verrastro *et al* (2005) a morfologia das células linfocitárias é bastante simples quando analisadas ao microscópio ótico e com auxílio de corantes de rotina. O estudo morfológico dessas células pela microscopia, exclusivamente, não permite a separação ou

diferenciação de alguns grupos celulares como linfócitos. Para tanto, recorre-se a exames especializados.

### 2.9.1 Granulócitos neutrófilos

Estas células também recebem a denominação de polimorfonucleares em virtude de o seu núcleo possuir aspecto irregular e denso, com dois a cinco lobos, e citoplasma pálido com contorno irregular, contendo vários grânulos finos rosa - azulados. Os grânulos são divididos em primários, que aparecem no estágio promielócito, e secundário (específicos), encontrados no estágio de mielócitos e predominantes no neutrófilo maduro (HOFFBRAND *et al*, 2008).

Os neutrófilos são as células mais numerosas entre os leucócitos, sendo os elementos especializados em fagocitar partículas que invadem o organismo (principalmente bactérias), correspondem a cerca de 60% a 65% dos leucócitos circulantes formando a primeira linha de defesa do organismo contra o ataque de germes patogênicos. Apenas 2% a 5% destas células possuem núcleo não segmentado, como bastão, daí a denominação bastonetes (VERRASTRO *et al*, 2005).

As células jovens permanecem na medula óssea e raramente são vistas na circulação. Em condições em que exista necessidade de maior número de células fagocitárias na circulação, esses precursores também são encontrados em esfregaços de sangue periférico (LORENZI, 2006).

O aumento destas células na corrente sanguínea é denominado neutrofilia, sendo uma das alterações mais comuns do hemograma causada por vários fatores, como infecções bacterianas, inflamações, doenças metabólicas, neoplasias, hemorragias ou hemólises agudas, drogas, leucemias, distúrbios mieloproliferativos, tratamento com fatores mielóides, raros distúrbios genéticos e em muitos outros fatores (HOFFBRAND *et al*, 2008).

Já a neutropenia é a diminuição do número de neutrófilos absolutos e pode ocorrer por vários fatores como: intoxicação por drogas, mieloplasias, por algumas síndromes, doenças auto-imunes e outras patologias (FAILACE, 2006).

### 2.9.2 Eosinófilos

Os eosinófilos possuem uma grande semelhança com os neutrófilos, exceto pelos grânulos citoplasmáticos que possuem um tamanho maior, coram-se de vermelho – alaranjado e raramente possui mais do que três lobos nucleares (HOFFBRAND *et al*, 2008).

Segundo Verrastro *et al* (2005) estas células possuem granulações específicas bastante características e correspondem de 2% a 4% dos leucócitos dos esfregaços. São células que coram-se muito bem por corantes ácidos como a eosina, daí o nome que recebem essas células. As granulações possuem proteínas básicas o que justifica a avidéz da fixação dos corantes ácidos.

Os mielócitos eosinófilos podem ser identificados na medula, mas os estágios mais primitivos são muito parecidos com os precursores dos neutrófilos. O tempo de trânsito dos eosinófilos no sangue é maior do que dos neutrófilos e possuem um papel especial nas respostas alérgicas, na defesa contra parasitos e na remoção de fibrina formada durante a inflamação. São consideradas células raras, correspondendo de 0% a 1% dos esfregaços (VERRASTRO *et al*, 2005).

Segundo Failace (2006) o aumento absoluto dessas células é chamado de eosinofilia, sendo decorrente por vários fatores como doenças alérgicas e da pele, radioterapia, intoxicações, algumas síndromes e outros fatores. A eosinopenia é a diminuição do número de eosinófilos no sangue. Como o limite inferior é muito baixo é de boa técnica prorrogar a observação até 200 leucócitos para tornar o zero mais significativo. Há eosinofilia em todos os casos de estímulo do eixo hipófise/supra-renal, desde estresse até o começo de doenças infecciosas em geral, e também pode ocorrer nas apendicites e demais casos de abdome agudo.

### 2.9.3 Basófilos

Segundo Lorenzi (2006) os basófilos possuem granulações basófilas grandes, pouco numerosas, ricos em mucopolissacarídeos ácidos o que faz com que estas células tenham afinidade por corantes básicos, por isso a denominação basófilos.

Essas células quase não são vistas no sangue periférico normal, quando entram nos tecidos se transformam em mastócitos, além de possuírem um sítio de ligação de imunoglobulina E (IgE), e sua desgranulação libera histamina (HOFFBRAND *et al*, 2008).

Com auxílio de microscopia eletrônica pode-se ver grãos que possuem um arranjo praticamente cristalóide e se diferenciam na forma madura e imatura (LORENZI, 2006).

O aumento dos basófilos do sangue é incomum. A sua causa geralmente está associada à doença mieloproliferativa como policitemina vera ou leucemia mieloide crônica, ode também ser observada em algumas patologias como no mixedema, varíola, varicela e na colite ulcerativa (HOFFBRAND *et al*, 2008).

#### 2.9.4 Monócito e macrófagos

São as mesmas células precursoras dos neutrófilos. Originam-se na medula óssea, então, na medula óssea e apresentam durante seu processo de diferenciação poucas etapas intermediárias entre as formas imaturas e maduras (LORENZI, 2006).

Os monócitos são células que possuem um tempo de permanência muito curto na medula óssea. Depois de circularem durante 20 a 40 horas deixam o sangue para adentrar nos tecidos nos quais amadurecem e desempenham suas funções (HOFFBRAND *et al*, 2008).

De acordo com Lorenzi (2006) estas células são elementos do sangue circulante. Os macrófagos correspondem a monócitos que deixaram a corrente sanguínea e migraram para outros tecidos. São consideradas verdadeiramente células em trânsito na circulação, eles atravessam as paredes dos vasos e fixam-se em tecidos podendo haver estímulo à proliferação celular. Ocorre síntese de ADN e também divisões celulares, resultando no aumento dessas células fixas. Muitas vezes há divisão celular, mas não ocorre separação do citoplasma, resultando em células gigantes multinucleadas. Como essas células possuem grande capacidade de fagocitose, o citoplasma pode ficar carregado de várias partículas.

Os monócitos possuem vários precursores como monoblastos, promonócitos, monócito maduro e macrófago. Os precursores da medula óssea são pouco numerosos podendo ser confundidos com os granulócitos jovens, especialmente promielócitos (VERRASTRO *et al*, 2005).

Essas células podem desempenhas várias funções diferentes em distintos tecidos, como pele, intestino, fígado e outros (HOFFBRAND *et al*, 2008).

As células monocíticas podem ainda apresentar proteínas (antígenos) na membrana citoplasmática que reagem com certos anticorpos monoclonais específicos, podem do ser identificadas em esfregaços sanguíneos, de medula óssea, líquido cefalorraquidiano, gânglios e outros, podem chegar a cerca de 4% a 8% nos esfregaços sanguíneos (VERRASTRO *et al*, 2005).

O aumento na contagem global dessas células é denominado monocitose e pode estar relacionado a infecções bacterianas crônicas, doenças do tecido conetivo, infecções por protozoários, mieloplasia, algumas síndromes e outros (HOFFBRAND *et al*, 2008).

#### 2.9.5 Linfócitos

Os linfócitos são células encontradas em número considerável na circulação sanguínea, sendo mais raros nos esfregaços sanguíneos constituindo mais de 90% dos linfonodos, baço e outros órgãos linfóides (LORENZI, 2006).

Essas células estão presentes de 20% a 30% em esfregaços sanguíneos sendo que a maioria possui morfologia típica o que leva o nome linfócitos típicos. Alguns podem apresentar tamanho um pouco maior, com o núcleo pouco menos maduro e granulações citoplasmáticas, estes recebem a denominação de linfócitos atípicos (VERRASTRO *et al*, 2005).

A resposta imunológica depende de dois tipos de linfócitos, as células B que são as células de memória do organismo ou plasmócitos e as células T que são células apresentadoras de antígenos (LORENZI, 2006).

O aumento absoluto dos linfócitos é denominado linfocitose, sendo comum em lactentes e crianças em resposta a infecções que produzem reação neutrófila em adultos, pode ser decorrente de infecções agudas como a mononucleose, rubéola, coqueluche, caxumba, hepatite infecciosa em infecções crônicas como a tuberculose, toxoplasmose, brucelose sífilis, pode ser encontrada em algumas leucemias e outras patologias (HOFFBRAND *et al*, 2008).

A diminuição do número de linfócitos recebe o nome de linfocitopenia e pode ser decorrente a várias situações e patologias como após radioterapia, no tratamento com drogas imunossupressoras, em algumas síndromes e algumas doenças como a AIDS (FAILACE, 2006).

## **2.10 Plaquetas**

Segundo Shinohara (2005) as plaquetas são pequenas células, na verdade incompletas, pois carecem de material nuclear. São células que participam do processo de formação de coágulo quando há algum tipo de lesão no vaso sanguíneo permitindo o estancamento desta lesão. Elas apresentam uma forma irregular com diâmetro que varia de 1 a 3  $\mu\text{m}$ . A região central apresenta-se mais escura e a região periférica apresenta-se mais clara com finas granulações púrpuras.

As plaquetas são elementos importantes na hemostasia, possuindo capacidade de formar um tampão mecânico em resposta a lesões teciduais vasculares. Na ausência dessas células pode ocorrer vazamento espontâneo de sangue de pequenos vasos (HOFFBRAND *et al*, 2008).

A contagem dessas células pode ser feita tanto ao microscópio com auxílio de câmaras por meio de contadores eletrônicos que medem sistematicamente as plaquetas no conjunto do hemograma (FAILACE, 2006).

A contagem global diminuída dessas células é denominada plaquetopenia podendo ser de dois tipos, congênitas que aparecem nos primeiros meses de vida, geralmente antecedem o quadro de aplasia medular global e adquiridas podem ser casadas por agentes químicos, físicos, infecciosos (bactérias e vírus), deficiências nutritivas (vitaminas B<sub>12</sub>, ácido fólico, ferro), infiltração medular progressiva (VERRASTRO *et al*, 2005).

## **2.11 Hemograma**

O hemograma é composto pela análise das células da linhagem vermelhas, células da linhagem brancas e plaquetas, sendo um exame que auxilia no diagnóstico de doenças ou alterações hematológicas e sistêmicas, sendo muito utilizado no diagnóstico rotineiro das anemias, neoplasias hematológicas, reações infecciosas e inflamatórias, acompanhamento de terapias medicamentosas e avaliação de distúrbios plaquetários. Fornece vários dados que permitem diferenciar os tipos de anemias, ele orienta na diferenciação entre infecções viróticas e bacterianas, parasitoses, inflamações, intoxicações e neoplasias através das contagens global e diferencial de leucócitos e avaliação morfológica (PARDINI, 2006).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em dois hospitais, três centros de radiodiagnóstico e seis clínicas odontológicas do município de Varginha – MG. A pesquisa foi realizada com auxílio de profissionais que operam aparelhos de radiografia convencional, radiografia odontológica e radioterapia.

#### 3.1 A coleta

Foram realizadas coletas sanguíneas de 25 profissionais no total, sendo que 11 deles operam equipamentos de radiografia convencional, 10 operam equipamentos de radiografia odontológica e 4 operam equipamentos de radioterapia.

No total foram realizadas 75 coletas, ou seja, 3 coletas de cada profissional, uma a cada mês durante três meses consecutivos para monitoramento e realização de hemograma com contagem de plaquetas.

As coletas foram realizadas nos próprios locais de serviço de cada um dos profissionais, em um ambiente um pouco mais reservado contendo uma mesinha e uma cadeira onde os profissionais pudessem ficar a vontade. Foram retirados aproximadamente 4,5 mL de sangue de cada profissional com auxílio de tubos a vácuo e material totalmente estéril. Durante a coleta do material biológico foi realizada uma entrevista por meio de questionário a cada um dos participantes da pesquisa para evitar possíveis alterações hematológicas não relacionadas com a radiação ionizante.

#### 3.2 Transporte e conservação das amostras

Todas as amostras foram colhidas com material a vácuo contendo o anticoagulante EDTA na medida certa, e foram conservadas em temperatura ambiente até a análise para evitar qualquer tipo de degradação celular. O transporte das amostras foi feito em caixa de isopor identificada com símbolo de material infectante contendo raque própria para tubos de ensaio.

Após todos os procedimentos da coleta os materiais descartáveis utilizados foram desprezados em descarpack para evitar qualquer tipo de contaminação e após todas as coletas

de cada um dos meses este descartpack foi levado para faculdade onde foram tomados todos os procedimentos adequados de desinfecção e descarte do material utilizado. O sangue depois de analisado, também foi lavado para a faculdade para serem tomados todos os procedimentos adequados de desinfecção por autoclavação e descarte da massa celular.

### 3.3 As análises

As análises foram realizadas em laboratório de análises clínicas que apoiou a pesquisa, situado no município de Varginha. Foi utilizado o aparelho automatizado coulter ABX que faz toda análise da linhagem de células vermelhas, algumas células da linhagem branca e plaquetas.

Para cada paciente foram feitos dois esfregaços sangüíneos para a contagem específica de células e observação morfológica. As lâminas contendo o esfregaço sanguíneo foram coradas uma a uma pelo método panótico rápido, foram observadas através de microscopia óptica (método manual) e foram conferidas e comparadas com a contagem automatizada do coulter ABX.

O aparelho coulter ABX, já fornece todos os valores referenciais que foram comparados com os valores referenciais de (FAILACE, 2006) e (HOFFBRAND *et al*, 2008).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados obtidos pela realização de hemogramas automatizados, posteriormente conferidos pela leitura dos esfregaços sanguíneos, podem ser feitas várias análises, segundo diferentes perspectivas de cada um desses resultados. Ao todo, foram 1800 parâmetros analisados nos três meses de coleta, pelos dois métodos utilizados. Desses resultados, 175 encontravam-se fora da normalidade, tanto acima quanto abaixo dos valores de referência. Isso representou 9,72% de alterações no total.

Os grupos pesquisados, divididos em três (Profissionais de Clínicas Radiológicas, Hospitais e Clínicas Odontológicas), forneceram os dados (Tabela 1) referentes ao número de resultados com valores fora dos limites de referência, obtidos a partir das análises de cada parâmetro dos dois métodos utilizados (automação e contagem manual). Pode-se observar então, que o terceiro mês apresentou maior frequência se comparado aos outros, analisando-se o método automatizado. Como o método manual foi empregado somente para confirmação e fornece apenas resultados referentes à série branca do tecido hematológico, não pode ser utilizado para comparação entre métodos. A diferença observada quanto ao número de alterações de um mês para outro pode ser verificada nos grupos pesquisados, demonstrando que algo fez com que houvesse essa variação. Todavia, não se pode comprovadamente atribuir esse fato à exposição ocupacional à radiação.

Tabela 1: Alterações gerais por grupo pesquisado.

	Clínicas Odontológicas		Clínicas Radiológicas		Hospitais		Total	
	(n)	(%)	(n)	(%)	(n)	(%)	(n)	(%)
Mês 1 (Automação)	7	24	4	13	19	63	30	17
Mês 2 (Automação)	11	44	2	8	12	48	25	14
Mês 3 (Automação)	18	50	4	11	14	39	36	21
Mês 1 (Contagem manual)	13	39	1	3	19	58	33	19
Mês 2 (Contagem manual)	10	40	3	12	12	48	25	14
Mês 3 (Contagem manual)	10	38	4	16	12	46	26	15
<b>TOTAL</b>	<b>69</b>	<b>39</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>88</b>	<b>50</b>	<b>175</b>	<b>100</b>

Legenda: (n) = número de alterações / mês; e (%) = percentual de alterações / mês.

Ao analisar os valores obtidos pela contagem automatizada, determinados por vários elementos constantes em um hemograma convencional, observa-se (Tabela 2) que a frequência de valores que se encontram acima do referencial permitido é de 40% no primeiro mês, 25% no segundo e 35% no terceiro, representando na totalidade 52 parâmetros, independentemente do grupo pesquisado. Com relação ao primeiro mês, o resultado com maior frequência é relativo ao número de linfócitos, que, das amostras dos 25 voluntários participantes, 24% apresentaram valores acima do normal. No segundo mês esse número caiu para 8%, dando lugar à contagem de leucócitos, cuja frequência de alterações foi de 23% das amostras com valores acima do normal. Entretanto, no terceiro mês, o parâmetro mais alterado foi quanto à porcentagem de monócitos, cujo valor obtido foi o mais alto dos três meses, havendo 33% de resultados elevados.

Tabela 2: Alterações, segundo automação, representando valores acima do normal.

<b>Automação</b>	<b>Mês 1 (%)</b>	<b>Mês 2 (%)</b>	<b>Mês 3 (%)</b>
WBC	14	23	6
RBC	5	-	-
HGB	5	-	5
HCT	5	-	-
PLT	14	-	6
PCT	-	-	-
MCV	9	8	-
MCH	-	8	-
MCHC	-	8	17
RDW	-	-	-
MPV	-	-	-
PDW	14	14	22
LYM %	-	-	5
LYM #	24	8	-
MON %	5	8	33
MON #	-	8	6
GRA %	-	-	-
GRA #	5	15	-
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>25</b>	<b>35</b>

A contagem automatizada também revela resultados abaixo dos valores de referência, constando um total de 39 casos, durante os três meses, pela análise dos diferentes parâmetros conferidos pela automação. Desse número, 23% das alterações referem-se ao primeiro mês,

31% ao segundo e 46% ao terceiro. Da mesma maneira que para os valores elevados, destacaram-se alguns resultados em cada mês para os valores baixos, observando-se a contagem de monócitos como a mais freqüente no primeiro mês, com 44% de alterações. No segundo mês, destaca-se o VCM (Volume Corpuscular Médio), com 25% de resultados abaixo do normal. Já no terceiro, houve um empate na freqüência dos valores de hemoglobina e do CHCM (Concentração Corpuscular Média de Hemoglobina), ocorrendo 22% de alterações em ambos os casos. Pode-se observar ainda (Tabela 3), pelas alterações encontradas referentes à hemoglobina (HGB), hematócrito (HCT) e aos índices hematimétricos (VCM, HCM e CHCM), que ocorreram alguns casos de anemia. Este poderia ser um fato importante para a demonstração dos efeitos da exposição à radiação sobre o sangue dos profissionais, já que, além da ocorrência das anemias, de um mês para outro há variação quanto à freqüência dos casos. Isso poderia estar associado à demanda de trabalho maior ou menor nos diferentes meses.

Tabela 3: Alterações, segundo automação, representando valores abaixo do normal.

<b>Automação</b>	<b>Mês 1 (%)</b>	<b>Mês 2 (%)</b>	<b>Mês 3 (%)</b>
WBC	-	-	-
RBC	-	8	-
HGB	11	8	22
HCT	-	17	6
PLT	-	-	-
PCT	-	-	-
MCV	-	25	-
MCH	11	17	17
MCHC	34	-	22
RDW	-	17	6
MPV	-	-	-
PDW	-	-	-
LYM %	-	-	-
LYM #	-	-	-
MON %	-	-	5
MON #	44	8	17
GRA %	-	-	5
GRA #	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>31</b>	<b>46</b>

Se comparadas a análise manual com a automação, pode-se perceber que aparentemente há uma correlação entre as duas, já que o número total de alterações obtidas durante os três meses, com a leitura dos esfregaços sanguíneos, foi de 51, enquanto na automação foram 52 os casos acima dos valores considerados normais. Contudo, ao analisar mais detalhadamente, é possível notar que somente no primeiro mês houve realmente um paralelo entre os dois métodos, sendo a contagem de linfócitos a alteração mais freqüente em ambas: 24% dos casos na automação e 84% na contagem específica realizada manualmente. Nesta, no segundo e terceiro mês, continuou sendo o número de linfócitos o principal analito com valores elevados: 67% e 76%, respectivamente.

Tabela 4: Alterações, segundo contagem manual, representando valores acima do normal.

<b>Contagem Específica</b>	<b>Mês 1 (%)</b>	<b>Mês 2 (%)</b>	<b>Mês 3 (%)</b>
Segmentados	8	18	18
Bastonetes	-	-	-
Linfócitos	84	67	76
Eosinófilos	8	10	6
Monócitos	-	5	-
Basófilos	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>	<b>41</b>	<b>34</b>

A contagem específica manual, ainda apresentou alguns valores abaixo do referencial permitido, totalizando 33 casos nos três meses. Mas é importante ressaltar que esse número não possui significado clínico algum, uma vez que o referencial utilizado, para contagem de bastonetes por exemplo, vai de 1% a 5%, tendo sido consideradas alteradas todas as amostras que não apresentaram nenhum bastonete por esta técnica.

Tabela 5: Alterações, segundo contagem manual, representando valores abaixo do normal.

<b>Contagem Específica</b>	<b>Mês 1 (%)</b>	<b>Mês 2 (%)</b>	<b>Mês 3 (%)</b>
Segmentados	-	-	-
Bastonetes	100	100	89
Linfócitos	-	-	-
Eosinófilos	-	-	-
Monócitos	-	-	11
Basófilos	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>61</b>	<b>12</b>	<b>27</b>

Na tentativa de abranger um maior espectro de informações relevantes à causa das alterações hematológicas, a aplicação de questionários aos voluntários participantes complementa a interpretação dos resultados, pela associação das perguntas aos dados obtidos. Alguns questionamentos somente auxiliam essa interpretação, visando eliminar qualquer fator que induza anormalidades nos elementos hematológicos. Portanto, somente as perguntas que possuem relevância estatística são: idade, sexo, o tempo da jornada diária de trabalho, o tempo total de trabalho na área, a média de pacientes atendidos por dia, o uso de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual), a necessidade de exposição direta aos raios e a ocorrência de câncer nos familiares ligados por herança genética.

A idade parece não afetar a frequência das alterações entre os voluntários, havendo predominâncias variáveis em cada mês.

Tabela 6: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas à idade dos voluntários.

<b>Idade (anos)</b>	<b>Voluntários (%)</b>	<b>Mês 1 (%)</b>	<b>Mês 2 (%)</b>	<b>Mês 3 (%)</b>
<b>19 a 23</b>	20	13	20	30
<b>24 a 28</b>	24	23	36	22
<b>29 a 33</b>	8	3	12	8
<b>34 a 38</b>	16	8	-	6
<b>39 a 43</b>	24	33	12	28
<b>&gt; 44</b>	8	20	20	6

As alterações encontradas, relacionadas ao sexo dos voluntários da pesquisa, não demonstram variações entre si suficientemente grandes para verificar alguma diferença relevante.

Tabela 7: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas ao sexo dos voluntários.

<b>Sexo</b>	<b>Voluntários (%)</b>	<b>Mês 1 (%)</b>	<b>Mês 2 (%)</b>	<b>Mês 3 (%)</b>
<b>Masculino</b>	60	57	48	53
<b>Feminino</b>	40	43	52	47

As duas indagações mais importantes do questionário, que possibilitariam averiguar a influência da radiação sobre o tecido hematológico, aparentemente se contrapõem a essa

afirmação, sendo elas: a jornada diária de trabalho e o tempo total do exercício da função. Ambos os casos possuem um padrão em seus resultados (Tabela 8), porém divergem entre si, como visto que durante a jornada diária de trabalho, as alterações ocorrem em maior frequência àqueles que trabalham entre 8 e 9,5 horas, o segundo maior horário exercido pelos profissionais. Já no caso do tempo total de trabalho, expresso em anos, o maior número de alterações corresponde àqueles com menor experiência no ramo. Uma possível explicação, que aproximaria a possibilidade de que a radiação teve influência nesses resultados, seria justamente essa, de que a inexperiência desses profissionais ocasionaria maior exposição do que aqueles que já possuem longa carreira nessa área. Porém, não é possível fazer uma comparação fidedigna entre as faixas de horas ou anos de trabalho pelos voluntários, pois o número de destes nas diferentes faixas citadas não são iguais e não permitem uma comparação estatística correta. O que pode-se observar, nos únicos casos de números iguais de voluntários (20 nas faixas 10,1 a 15,0 e > 20,1; e 4 nas faixas de 5,1 a 10,0 e 15,1 a 20,0), na comparação por tempo total de trabalho, é que a idade avançada demonstra maior sensibilidade aos efeitos da radiação do ambiente de trabalho, demonstrado pelo maior número de alterações encontrados nas idades mais avançadas por esta comparação.

Tabela 8: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas à jornada diária de trabalho com o tempo total de trabalho exercido na área pelos voluntários.

<b>Jornada diária de trabalho (horas)</b>	<b>Voluntários (%)</b>	<b>Mês 1 (%)</b>	<b>Mês 2 (%)</b>	<b>Mês 3 (%)</b>
4 a 5,5	25	14	16	30
6 a 7,5	4	7	8	-
8 a 9,5	54	69	52	42
10 a 11,5	17	10	24	28
<b>Tempo total de trabalho na área (anos)</b>				
0,1 a 5,0	52	40	56	58
5,1 a 10,0	4	3	-	-
10,1 a 15,0	20	7	12	17
15,1 a 20,0	4	3	4	3
> 20,1	20	47	28	22

A média de atendimento diário dos voluntários pesquisados é outro parâmetro que se opõe à probabilidade de que o sangue possa sofrer ação da radiação pela exposição ocupacional (Tabela 9). O esperado seria uma proporção do número de alterações equivalente ao número de pacientes atendidos por dia. A comparação neste caso pode ser feita, pois algumas das faixas das médias de atendimento diário possuem o mesmo número de voluntários.

Tabela 9: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas à média de atendimento diário dos voluntários pesquisados.

<b>Médida de atendimento diário (pacientes/dia)</b>	<b>Voluntários (%)</b>	<b>Mês 1 (%)</b>	<b>Mês 2 (%)</b>	<b>Mês 3 (%)</b>
<b>1 a 10</b>	16	7	8	25
<b>11 a 20</b>	44	33	44	36
<b>21 a 30</b>	16	17	12	22
<b>31 a 40</b>	12	23	16	6
<b>&gt; 41</b>	12	20	20	11

O uso de EPIs e a necessidade de exposição direta aos raios são dois elementos que, associados, podem fornecer outra importante relação entre a frequência das alterações hematológicas com a exposição à radiação. Os dados obtidos demonstram um padrão lógico de alterações, afirmando que o maior número ocorre naqueles que se expõem diretamente aos raios e nos que usam EPIs que bloqueiam de alguma forma, parcial ou totalmente, os raios que incidem sobre seus corpos. A partir dessas informações, pode-se imaginar que o uso de EPIs faz com que o profissional se sinta mais seguro, porém, descuidado com relação à exposição. Essa afirmação, entretanto, somente poderia ser considerada se houvesse possibilidade de comparação estatística entre cada caso, como visto em outras situações das análises desta pesquisa.

Tabela 10: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas ao uso de EPI e à necessidade de exposição direta aos raios ionizantes, pelos voluntários pesquisados.

<b>Uso de EPI</b>	<b>Voluntários (%)</b>	<b>Mês 1 (%)</b>	<b>Mês 2 (%)</b>	<b>Mês 3 (%)</b>
<b>Usa</b>	72	77	80	50
<b>Não usa</b>	28	23	20	50
<b>Exposição direta aos raios</b>				
<b>Sim</b>	88	97	72	78
<b>Não</b>	12	3	28	22

O câncer, presente ou não na história familiar dos pesquisados, não demonstrou influência sobre a frequência de alterações hematológicas.

Tabela 11: Alterações encontradas, pela automação, relacionadas à ocorrência de câncer nos familiares dos pesquisados.

<b>Histórico familiar de neoplasia</b>	<b>Voluntários (%)</b>	<b>Mês 1 (%)</b>	<b>Mês 2 (%)</b>	<b>Mês 3 (%)</b>
<b>Sim</b>	48	47	48	47
<b>Não</b>	52	53	52	53

Nenhum dos valores anormais encontrados representou perigo à saúde dos pesquisados, tratando-se somente de alterações leves.

De acordo com MEO (2004), em estudo que analisou parâmetros básicos da hematologia, o decréscimo acentuado do número de plaquetas em técnicos de raios X é a única alteração que possui vínculo com a exposição ocupacional à radiação. Outros tipos de alterações, nas linhagens branca e vermelha, aparentemente não possuem relação com a irradiação crônica destes profissionais.

Outra pesquisa envolvendo exposição ocupacional de técnicos que manipulam aparelhos emissores de radiação, analisou a função de polimorfonucleares, células

representantes da série branca do sangue, e concluiu que não há influência da radiação ionizante sobre esse tipo de célula, reforçando a afirmação de que as células da série branca não são afetadas (MEO, 2006).

A atual pesquisa realizada não demonstrou nenhuma alteração significativa em nenhum dos parâmetros analisados, apesar do achado de anemias em alguns casos, indo em contraposição aos trabalhos citados. Para complementar, não houve nenhuma diminuição na contagem de plaquetas, ocorrendo em que os valores permaneceram normais e, naqueles que apresentaram alterações, os resultados encontraram-se acima dos limites de referência, mas não abaixo como o esperado.

## 5 CONCLUSÃO

A aleatoriedade dos resultados obtidos, associado ao fato de que as alterações encontradas foram insignificantes quanto à ameaça à saúde dos profissionais pesquisados, determinou improvável que a exposição ocupacional à radiação ocasione alguma alteração nos índices hematológicos da população estudada. Mesmo que algumas comparações lógicas relacionem alguma possibilidade quanto às alterações serem causadas pela radiação, são necessárias maiores investigações, já que outros trabalhos demonstraram tal relação.

A escassez de trabalhos publicados sobre esse tema é real, não se sabe se por motivos de já haver legislação em vigor para radioproteção ou se há alguma falta de motivação, verba ou interesse por parte dos pesquisadores. O que se sabe é que existem trabalhos publicados que demonstram efeitos deletérios da exposição crônica às radiações. Portanto, o investimento nas pesquisas de tema similar auxiliariam a compreender melhor o custo-benefício das profissões que manipulam as diferentes fontes de radiação ionizante, para assim incrementar as normas de radioproteção, com objetivo de elevar a segurança e promover a saúde desses profissionais.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, Gomes do. **Projeto de Lei nº 317, de 1975**. Florianópolis. Disponível em: <<http://www.crrtrsc.com.br/site/legislação.php?id=13>>. Acesso em: 28 fev. 2008.
- ANDREUCCI, Ricardo. **Curso básico de proteção radiológica: aspectos industriais**. 3.ed. [S.l.: s.n.], 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FÍSICA MÉDICA. **Atribuições do especialista em radiodiagnóstico**. [S.l.: s.n.], [200?]. Disponível em: <[http://www.abfm.org.br/exame\\_radiodiagnostico.asp](http://www.abfm.org.br/exame_radiodiagnostico.asp)>. Acesso em: 18 out. 2008.
- BITELLI, Thomaz. **Dosimetria e higiene das radiações**. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1982.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Controle do câncer: uma proposta de integração ensino-serviço**. 2.ed. Rio de Janeiro: Pro-Onco, 1993. Disponível em: <[http://www.inca.gov.br/conteudo\\_view.asp?ID=100](http://www.inca.gov.br/conteudo_view.asp?ID=100)>. Acesso em: 18 out. 2008.
- \_\_\_\_\_. **Portaria federal nº 453, de 1 de junho de 1998**. Brasília: Diário Oficial da União, 1998. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=1021>>. Acesso em: 19 out. 2008.
- DIMENSTEIN, Renato; HORNOS, Yvone M. Mascarenhas. **Manual de proteção radiológica aplicada ao radiodiagnóstico**. 2.ed. São Paulo: Senac, 2004.
- FAILACE, Renato. **Hemograma: manual de interpretação**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- FRANCISCO, Regina Helena Porto. Os raios X. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos, n.5, mar. 2002. Disponível em: <[http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art\\_05/raiox.html](http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_05/raiox.html)>. Acesso em: 18 out. 2008.
- HOFFBRAND, A. V.; MOSS, P. A. H.; PETTIT, J. E.. **Fundamentos em hematologia**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.
- KOCH, Hilton Augusto; RIBEIRO, Eliana Claudia O.; TONOMURA, Elise Tchie. **Radiologia na formação do médico geral**. Rio de Janeiro: Revinter, 1997.
- LORENZI, Therezinha f.. **Manual de hematologia: propedêutica e clínica**. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara koogan, 2006.
- MEO, Sultan A. et al. **Hazards of X-ray radiation on the qualitative and phagocytic functions of polymorphonuclear neutrophils in X- ray technicians**. Reino da Arábia Saudita, v. 48, p.88-92, jan. 2006. Disponível em: <<http://www.jstage.jst.go.jp/article/joh/48/2/88/pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

MEO, Sultan A.. **Hematological findings in male x-ray**. Reino da Arábia Saudita, v. 25, p. 852-857, jul. 2004. Disponível em:  
<<http://www.smj.org.sa/PDFFiles/Jul04/03HematologicalMS20030611.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2008.

OKUNO, Emico; CALDAS, Ibere L.; CHOW, Cecil. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1982.  
SALVAJOLI, João Victor et al. **Radioterapia em oncologia**. Rio de Janeiro: Medsi, 1999.

SCAFF, Luiz A. M. **Bases físicas da radiologia: diagnóstico e terapia**. São Paulo: Sarvier, 1979.

SCHABERLE, Fábio Antonio; SILVA, Nelson Canzian. **Introdução à física da radioterapia**. Departamento de Física UFSC: Santa Catarina, 2000. Disponível em:  
<<http://www.fsc.ufsc.br/~canzian/intrort/radiacao.html#particulaseondas>>. Acesso em: 15 out. 2008.

SHINOHARA, Elvira Maria Guerra. **Disciplina de hematologia clínica**. Faculdade de Ciências Farmacêuticas – USP: São Paulo, 2005. Disponível em:  
<<http://www.fcf.usp.br/Ensino/Graduacao/Disciplinas/Exclusivo/Inserir/Anexos/LinkAnexos/C%C3%A9lulas%20sangu%C3%ADneas.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2008

VERRASTRO, Therezinha; LORENZI, Therezinha Ferreira; NETO, Silvano Wendel. **Hematologia e hemoterapia: fundamentos de morfologia, fisiologia, patologia e clínica**. São Paulo: Atheneu, 2005.

**ANEXO A - QUESTIONÁRIO PRÉ-ANALÍTICO**

Identificação: \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_

Peso (Kg): \_\_\_\_\_

Sexo: M  F 

Altura (cm): \_\_\_\_\_

Jornada de trabalho (horas/dia): \_\_\_\_\_

Tempo total de trabalho nessa área: \_\_\_\_\_

Média diária de atendimento (pacientes/dia): \_\_\_\_\_

São usados EPIs? Quais? \_\_\_\_\_

A instituição obriga o uso dos EPIs? Sim  Não A instituição realiza exames periódicos para avaliação das condições de saúde dos funcionários? Sim  Não  Obs: \_\_\_\_\_

Histórico de doença: \_\_\_\_\_

Uso de medicamento? Qual? \_\_\_\_\_

Histórico de doença na família: \_\_\_\_\_

Histórico familiar de neoplasia. Qual órgão ou tecido afetado? \_\_\_\_\_

Há exposição direta aos raios ionizantes, mesmo que com uso de EPI, durante o trabalho?

Sim  Não  Obs: \_\_\_\_\_