

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA NUCLEAR**

LEANDRO DE LIMA MEDEIROS

**ANÁLISES DE PARÂMETROS SENSITOMÉTRICOS DOS SISTEMAS
FILMES-ÉCRANS UTILIZADOS EM EXAMES DE MAMOGRAFIA**

Rio de Janeiro
2014

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

LEANDRO DE LIMA MEDEIROS

**ANÁLISES DE PARÂMETROS SENSITOMÉTRICOS DOS SISTEMAS
FILMES-ÉCRANS UTILIZADOS EM EXAMES DE MAMOGRAFIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear.

Orientadores:

Prof. Julio José da Silva Estrada D.Sc.

Prof. Luis Alexandre Gonçalves Magalhães D.Sc.

Prof.^a Nadya Maria P. Damasceno Ferreira D.Sc.

Rio de Janeiro

2014

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que não tenha finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

621.48 Medeiros, Leandro de Lima
M488a

Análises dos parâmetros sensiométricos dos sistemas- écrans utilizados em exames de mamografia. / Leandro de Lima Medeiros, orientado por Estrada, Julio José da Silva; Magalhães, Luis Alexandre Goncalves; Ferreira, Nadya Maria P. Damasceno – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2014.

88 p.: il

Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2014.

1. Curso de Engenharia Nuclear – teses e dissertações. 2. Parâmetros sensiométricos. 2. Mamografia I. Estrada, Julio José da Silva II. Magalhães, Luis Alexandre Gonçalves. III. Ferreira, Nadya Maria P. Damasceno. Título. IV. Instituto Militar de Engenharia.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

LEANDRO DE LIMA MEDEIROS

**ANÁLISES DE PARÂMETROS SENSITOMÉTRICOS DOS SISTEMAS
FILMES-ÉCRANS UTILIZADOS EM EXAMES DE MAMOGRAFIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear.

Orientadores: Prof. Julio José da Silva Estrada D.Sc.
Prof. Luis Alexandre Gonçalves Magalhães D.Sc.
Prof.^a Nadya Maria Prado Damasceno Ferreira D.Sc.

Aprovada em 10 de julho de 2014, pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Julio José da Silva Estrada - D.Sc. do IME – Presidente.

Prof. Luis Alexandre Gonçalves Magalhães - D.Sc. da UERJ.

Prof.^a Nadya Maria Prado Damasceno Ferreira - D.Sc. do IME.

Prof. Carlos Frederico Estrada Alves - D.Sc. da UERJ

Prof.^a Camila Salata – D.Sc. da UERJ

Rio de Janeiro
2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me sustentado até o momento, sempre dando a devida força para perseverar nas situações de dificuldades.

Agradeço ao meu pai pelo favorecimento dos meus estudos, sendo este o maior legado que ele irá deixar para mim. Gostaria de agradecer a minha querida mãe (in memoriam) por toda dedicação e incentivo prestados por ela para que eu pudesse estudar, e que por vontade de Deus, já não se faz mais presente em vida para celebrarmos juntos este momento.

Agradeço ao Laboratório de Ciências Radiológicas (LCR) e ao Instituto Militar de Engenharia (IME) pela colaboração e orientação na difícil tarefa de conclusão desse valoroso trabalho.

Agradeço ao professor Luis Alexandre, e ao professor Carlos Eduardo, por tornarem possível a realização do trabalho, não somente através de seus ensinamentos, mas por concederem todas as ferramentas úteis para que o trabalho pudesse acontecer.

Meus agradecimentos aos professores Evandro Jesus Pires e David Mariano, pois além de todo o apoio, disponibilizaram parte de seus tempos para ajudar-me na obtenção dos resultados.

Meus agradecimentos aos professores Nadya Maria Prado e Julio José da Silva Estrada, pela orientação e pela colaboração na construção desta dissertação.

Agradecimento a todos os meus colegas de turma de mestrado, pois certamente continuarei a lembrar de todos com muito carinho, com este grupo pude desfrutar de companheirismo, parceria e solidariedade. Obrigado a todos vocês!

Agradeço a minha esposa, pela compreensão nos momentos em que precisava estudar e não podia lhe dar a atenção devida.

Agradeço a CAPES por oferecer o suporte financeiro.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	8
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	12
LISTA DE SIGLAS.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Relevancia científica.....	20
1.2 Objetivos.....	21
1.3 Organização do trabalho.....	22
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1 Uma breve história dos filmes radiográficos.....	23
2.2 Características gerais relacionadas aos receptores de imagens.....	24
2.2.1 Telas intensificadoras ou écrans.....	24
2.2.2 Conjunto Chassi/écran.....	26
2.2.3 Filmes radiográficos.....	27
2.2.3.1 Cuidados com os filmes radiográficos.....	28
2.2.4 Processamento do filme radiográfico.....	29
2.2.4.1 Cuidado com a câmara escura.....	29
2.2.4.2 Processamento automático.....	30
2.2.5 Classificação dos grãos.....	33
2.2.5.1 Elemento sensível a radiação.....	34
2.2.6 Formação da imagem latente.....	35
2.2.6.1 Processo de sensibilização.....	36

2.3	Principais propriedades sensitométricas.....	38
2.3.1	Curva caracaterísiticas.....	38
2.3.2	Densidade óptica.....	39
2.3.3	Contraste radiográfico ou gradiente médio.....	40
2.3.4	Latitude.....	42
2.3.5	Velocidade ou sensibilidade.....	43
2.3.6	Sensitometria.....	44
2.3.6.1	Conceitos sensitométricos.....	44
2.4	Particularidades do feixes de raios X.....	45
2.4.1	Radiação de freamento ou Bremsstrahlung.....	45
2.4.2	Radiação caracterísitica.....	46
2.4.3	Espectro radiográfico.....	47
2.4.4	Influência dos fatores radiográficos na imagem radiográfica.....	48
3	MATERIAS E METODOS.....	51
3.1	Materiais.....	51
3.2	Câmara escura.....	51
3.3	Processadora.....	52
3.4	Processamento da imagem.....	54
3.4.1	Ações referentes à processadora automática.....	55
3.5	Sensitometria de raios X.....	56
3.5.1	Geometria para determinação da curva característica do filme de mamografia.....	57
3.5.2	Exposição.....	59
3.5.4	Determinação do gradiente médio.....	60
3.5.5	Determinação da velocidade ou sensibilidade.....	61

3.5.6	Tubo de raios X utilizado nas exposições.....	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
4.1	Processamento do Filme.....	63
4.2	Avaliações realizada para as três marcas de filme avaliadas sem a utilização do écran.....	69
4.3	Avaliações realizadas para quatro marcas de filme avaliadas com o uso do écran.....	73
4.4	Dependência energética.....	76
4.5	Gráfico do desvio da velocidade e do gradiente dos filmes.....	77
4.6	Modificações da temperatura do revelador para o ciclo de mamografia.....	79
5	CONCLUSÃO.....	84
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 1.1	Distribuição de mamógrafos âmbito SUS.....	19
FIG. 2.1	Conversão da energia dos raios X nas telas intensificadoras.....	24
FIG. 2.2	Espectro de emissão da tela intensificadora contendo oxissulfito de gadolínio, térbio ativado, e uma curva de absorção do filme sensível a luz verde.....	26
FIG. 2.3	Detalhes referentes ao écran e ao chassi.....	27
FIG.2.4	Artefatos no filme provocados por manchas no écran.....	27
FIG. 2.5	Modelo de representação das camadas de um filme radiográfico.....	28
FIG. 2.6	Modelo esquemático dos componentes de uma processadora automática de filmes.....	31
FIG. 2.7	Relações típicas entre contraste, velocidade e fog para filmes revelados em diferentes condições de temperatura do revelador.....	33
FIG. 2.8	Tipos de grãos da emulsão. Formatos: tridimensional, tabular e cúbicos respectivamente.....	34
FIG. 2.9	Estrutura do cristal halogenado de prata	35
FIG. 2.10	As transformações físicas- químicas para a obtenção da Imagem.....	36
FIG. 2.11	Sequência que exemplifica o procedimento que converte grãos transparentes em prata metálica ou prata escurecida.....	37
FIG. 2.12	Curvas características com suas regiões.....	39
FIG. 2.13	Representação de uma escala de contraste em um filme radiográfico.....	41
FIG. 2.14	Exemplo da influência da escala de contraste na imagem.....	41
FIG. 2.15	Filmes com diferentes latitudes.....	42
FIG. 2.16	Filme A é mais rápido que o filme B.....	43
FIG. 2.17	Produção da radiação de freamento.....	46

FIG. 2.18	Produção da radiação característica.....	47
FIG. 2.19	Aspectos do espectro radiográficos.....	48
FIG. 2.20	Aspectos do espectro radiográficos.....	48
FIG. 2.21	Representação da alteração do espectro radiográfico(sem a representação do espectro característico)	49
FIG. 2.22	Aspecto do espectro radiográfico(sem a representação do espectro característico).....	49
FIG. 3.1	Arranjo do experimento utilizado para obter a curva característica fazendo uso do tubo de raios X do LCR/UERJ. distância fixa.....	58
FIG. 3.2	Arranjo do experimento utilizado para obter o Kerma no ar para cada qualidade do feixe aplicada fazendo uso do tubo de raios X do LCR/UERJ.....	59
FIG. 3.3	Arranjo experimental.....	62
FIG. 4.1	Gráfico da temperatura do revelador da processadora do LCR/UERJ.....	63
FIG. 4.2	Gráfico do pH da solução fixadora.....	64
FIG. 4.3	Gráfico do pH da solução reveladora.....	64
FIG. 4.4	Gráfico base+fog.....	65
FIG. 4.5	Gráfico índice de contraste.....	66
FIG. 4.6	Gráfico índice de velocidade	66
FIG. 4.7	Gráfico tempo de processamento.....	67
FIG. 4.8	Gráfico nível de fog da câmara escura.....	68
FIG. 4.9	Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a três fabricantes e sem o uso do écran para o feixe de 25kV.....	70
FIG. 4.10	Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a três fabricantes e sem o uso do écran para o feixe de 28 kV.....	71
FIG. 4.11	Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a três fabricantes e sem o uso do écran para o feixe de 30kV.....	71

FIG. 4.12	Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a três fabricantes e sem o uso do écran para o feixe de 35kV.....	72
FIG. 4.13	Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a quatro fabricantes com o uso do écran para o feixe de 25kV.....	73
FIG.4.14	Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a quatro fabricantes com o uso do écran para o feixe de 28kV.....	74
FIG. 4.15	Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a quatro fabricantes com o uso do écran para o feixe de 30kV.....	74
FIG. 4.16	Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a quatro fabricantes com o uso do écran para o feixe de 35kV.....	75
FIG. 4.17	Dependência energética para os quatro filmes testados.....	76
FIG. 4.18	Gráfico para o desvio da velocidade para as quatro marcas de filmes avaliadas. Limite determinado para $\pm 0,10$	77
FIG. 4.19	Gráfico para o desvio do gradiente para as quatro marcas de filmes avaliadas. Limite determinado para $\pm 0,06$	78
FIG. 4.20	Gráfico da curva sensitométrica do filme 1 para as temperaturas de 34 °C e 37 °C. Técnica (28kV-20mA).....	81
FIG. 4.21	Gráfico da curva sensitométrica do filme 1 para as temperaturas de 34 °C e 37 °C. Técnica (30kV-30mA).....	81
FIG. 4.22	Gráfico da curva sensitométrica do filme 2 para as temperaturas de 34 °C e 37 °C. Técnica (28kV-20mA).....	82
FIG. 4.23	Gráfico da curva sensitométrica do filme 2 para as temperaturas de 34 °C e 37 °C. Técnica (30kV-30mA).....	82
FIG. 4.24	Gráfico da curva sensitométrica do filme 3 para as temperaturas de 34 °C e 37 °C. Técnica (30kV-30mA).....	83

LISTA DE TABELAS

TAB.1.1	Tipos de equipamentos utilizados nas instituições.....	18
TAB.1.2	Distribuição dos mamógrafos, por 100 mil habitantes conforme macrorregiões.....	19
TAB.1.3	Principais problemas identificados que interferem no funcionamento do mamógrafo.....	21
TAB. 2.1	Valores característicos para o processamento automático.....	32
TAB. 3.1	Qualidade do feixe para a determinação da curva caracterísitica com e sem écran.....	57
TAB. 4.1	Testes de verificação da quantidade de tiosulfato no filme após o processamento.....	69
TAB. 4.2	Fator de correlação para as curvas sensitométricas para filmes sem écran.....	70
TAB. 4.3	Parâmetros base+fog e gradientes médio para a temperatura do revelador em 34 °C. Técnica 25kV.....	78
TAB. 4.4	Parâmetros base+fog e gradiente médio para a temperatura do revelador em 34 °C. Técnica 35kV.....	79
TAB. 4.5	Parâmetros base+fog e gradiente médio para a temperatura do revelador em 37 °C. Técnica 28kV.....	79
TAB. 4.6	Parâmetros base+fog e gradiente médio para a temperatura do revelador em 37 °C. Técnica 30kV.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABREVIATURAS

kV	–	Kilovolts
mGy/nC	–	Miligray por nanocoulomb
mmMo	–	Milímetro -Molibdênio
mmAl	–	Milímetro -Alumínio
mA	–	Miliampère
Gy	–	Gray
mGy	–	Miligray
K	–	Kerma
Cm	–	Centímetro
Z	–	Número atômico
m	–	Metro
km	–	Kilometro
Mo	–	Molibdênio
mAs	–	Miliampère-segundo
W	–	Watts
μm	–	Micrometro
g/m^2	–	Gramas por metro quadrado

SÍMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$	–	Grau Celsius
e^{\pm}	–	Elétron

LISTA DE SIGLAS

PGQ	Programa de Garantia da Qualidade
ISO	International Standardization for Organization
DENASUS	Departamento Nacional de Auditoria do SUS
CR	Radiografia Computadorizada
DR	Radiografia Digital
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
SUS	Sistema Único de Saúde
LCR	Laboratório de Ciências Radiológicas
UV	Ultravioleta
DO	Densidade Óptica
pH	Potencial Hidrogeniônico
HVL	Half-Value Layer (CSR – camada semirredutora)
IEC	International Electrothechnical Commission
TRS	Technical Report Series

RESUMO

Com o intuito de avaliar a qualidade do sistema filme/écran utilizado em exames mamográficos, foram realizados diferentes testes pautados no parâmetros sensitométricos. Esses testes foram realizados com filmes para mamografia, com e sem o écran. Como complemento realizou-se o controle do processamento automático dos filmes com a finalidade de garantir que processamento não interferiria nos parâmetros sensitométricos avaliados. Ter parâmetros supracitados em conformidade é fundamental para que se possa gerar uma imagem de qualidade, evitando a ocorrência de diagnósticos incorretos, além de diminuir a dose no paciente, tendo em vista que não precisará repetir o exame.

No Brasil não há laboratórios credenciados que avaliem a qualidade dos filmes disponibilizados no mercado. Assim, este trabalho servirá como um estudo inicial de avaliação da qualidade do conjunto filme/écran para exames de mamografia.

Os resultados mostraram que para os filmes sem o écran, que o filme 1 foi o que apresentou o melhor parâmetro de contraste, quando comparado aos outros filmes. Considerando que para exames de mamografia o contraste é extremamente importante, logo o filme 1 tende a ser o mais indicado para a visualização de pequenas estruturas. O filme 2, mostrou ser menos veloz, o que o faz necessitar de maior exposição para a obtenção de densidades ópticas úteis para diagnósticos, aumentando assim a dose no paciente.

Para os testes com écran, o filme 1 novamente apresentou melhores resultados. Suas curvas sensitométricas evidenciam melhores respostas as exposições. Conseqüentemente este filme, perante aos demais filmes testados, é o que proporciona imagens de melhor qualidade.

ABSTRACT

In order to assess the quality of the film / screen mammograms used in system testing different guided the sensitometric parameters were performed. These tests were performed with film mammography, sometimes making use of screen, now no screen. Complementing held control of the automatic processing of the films also, for the purpose of processing Guaranteeing that this would not interfere with reviews sensitometric parameters. Having aforementioned parameters accordingly is essential so that you can generate an image quality, avoiding the occurrence of misdiagnosis, and reduce the dose to the patient, considering that do not need to repeat the exam.

In Brazil there is no accredited laboratories to assess the quality of movies available on the market. This work will serve as an initial study to evaluate the quality of the film/screen mammography for assembly.

The results showed that for films without the screen, the film was the one that presented the best parameter of contrast when compared to other films. Whereas for mammograms contrast is extremely important, so the movie 1 tends to be the most suitable for the visualization of small structures. The film 2 was less rapid, which makes it requires more exposure to obtain the optical densities useful for diagnostics, increasing the dose to the patient.

For tests with the screen, the film 1 again showed better results. Their sensitometric curves show better responses exposures. Consequently this movie before the tested films, will provide better quality images.

1 INTRODUÇÃO

Fatores que englobam o cuidado e a qualidade dos serviços prestados são de fundamental importância e permeiam as metas a serem alcançadas por um Serviço de Radiologia Médica. Com isso, em se tratando de serviços ligados a radiologia, é necessário o devido cuidado em relação à condução dos exames, bem como na interpretação dos resultados obtidos.

A qualidade da imagem, obtida em um exame, é um dos aspectos que pode gerar impacto, positivo ou negativo, no alcance dos objetivos almejados pelos serviços de aquisição de imagem utilizando filmes. Para que seja possível obter uma imagem útil ao diagnóstico, é necessário que seja realizado o controle dos equipamentos radiológicos de modo que se possa assegurar que o seu funcionamento esteja de acordo com as determinações de seu fabricante. Para isso, o Ministério da Saúde, através da portaria 453 do dia 01 de junho de 1998, definiu um conjunto de diretrizes com o intuito de que o serviço de radiologia possa atingir uma padronização de modo a garantir a qualidade e a segurança.

No Brasil estima-se um custo anual, com filmes radiográficos, em torno de 24,3 milhões de reais, valor este estimado com base no menor valor de mercado (MAGALHÃES, 2007). Levando em consideração os gastos no processo global de radiodiagnóstico chega-se à cifra de aproximadamente 250 dólares a cada metro quadrado de filme revelado (MAGALHÃES, 2013). Isso evidencia o elevado investimento que é feito, e a necessidade de se executar um programa da garantia da qualidade, que possibilite otimizar o uso dos filmes de modo a não comprometer a relação custo/benefício.

Com isso é possível destacar a importância e a eficiência dos programas da garantia da qualidade (PGQ) que remetem à performance dos equipamentos de raios X, processadoras e combinações filmes-écrans. A aplicação de um PGQ pode significar uma redução da exposição à radiação em relação ao paciente, diminuição de custos, além de resultar em excelente melhoria do serviço prestado. O controle realizado com uso do PGQ faz com que seja possível alcançar os objetivos principais do serviço radiológico, como: imagem de qualidade, redução de custos e diminuição de dose nos pacientes (MAGALHÃES, 2007).

Fatores relevantes como: menor dose e imagem de qualidade possuem dependência de bons resultados ligados a parâmetros como: velocidade do conjunto écran/filme, contraste e o processamento da imagem (BUHR, BERGMANN, HOESHEN, AILLIET, REY, GAZZOLA, URAS, 2000). Visando a entrega de menor dose utilizam-se sistemas de écran/filme cuja material tem em sua composição os fósforos de terras raras, estes apresentam grande absorção de raios X, além de apresentarem maior velocidade que quando comparado às telas de fósforos de tungstato de cálcio (BURGESS e HICKEN, 1982). As maiores velocidades das telas de fósforos de terras raras não compromete a qualidade da imagem, pois a mesma está equiparada às imagens obtidas com as telas de fósforos de tungstato de cálcio. Com isso temos que a velocidade, assim como outros parâmetros: gradiente médio, contraste e base+fog, são fundamentais para que se possa apresentar uma imagem de boa qualidade, assim como uma dose mais baixa. (MAGALHÃES, 2001; R. SHARMA e S.D SHARMA, 2012).

Tido como o método de detecção mais relevante no diagnóstico precoce do câncer de mama, a mamografia tem como alvo obter a precisão de informação de diagnóstico, e ao mesmo tempo entregar uma dose menor ao paciente que se submete ao exame, sem que haja o prejuízo da qualidade da imagem (DARIO, DAMIR, ZDRAVKO, MIADEN, ANA, DRAGAN, VESNA, ZORAN e OLIVEIRA, 2008).

Indicativos mostram que o câncer de mama é a doença que mais acomete mulheres hoje no mundo, segundo dados reportados pelo DENASUS (Departamento Nacional de Auditoria do SUS, 2011), aproximadamente por ano tem se 49.000 novos casos da doença, levando a óbito cerca de 10.000 mulheres por ano. Estatística alarmante que enfatiza a necessidade da realização do controle da qualidade de todo aparato utilizado para a realização desse exame, como por exemplo, os filmes-écrans de mamografia utilizados nos processos de aquisição de imagem convencional. Com isso melhora-se a detecção precoce e conseqüentemente o diagnóstico radiológico do câncer de mama.

Novas tecnologias têm sido desenvolvidas com o objetivo de otimização no rastreamento do câncer de mama em sua fase inicial. Uma delas está no aparecimento de mamógrafos tipo digital CR (radiografia computadorizada) e mamógrafos tipo digital DR (radiografia digital), sendo este, no futuro, o processo de aquisição de imagem que irá prevalecer nas unidades médicas. No entanto a

realidade mostra que tal transição, da unidade convencional para a digital, não acontecerá em curto prazo, principalmente quando nos referimos às unidades médicas afastadas dos grandes centros. Estudos realizados pelo DENASUS (Departamento Nacional de Auditoria do SUS, 2011), revelam que 66,7% dos mamógrafos em atividade em instituições públicas de saúde são do tipo analógico de comando simples, ou seja, informação que ratifica o uso acentuado de unidades de mamografia convencional. A aquisição de uma unidade digital pode representar um custo de 1,5 a 4 vezes a mais do que quando comparada a uma unidade de filme (PEREGRINO 2012). Portanto conclui-se que ainda perdurará por um tempo considerável a utilização de mamógrafos convencionais, o que faz desse estudo algo pertinente. A TAB 1.1 apresenta dados referentes ao número e aos tipos de mamógrafos mais utilizados nas instituições públicas de saúde (ANVISA, 2012). A distribuição de mamógrafos por localidades é mostrada na TAB 1.2, onde é estimada uma relação de mamógrafos para cada 100 mil habitante (ANVISA, 2012). A localização desses equipamentos está representada na Fig. 1.1.

TAB 1.1 Tipos de equipamentos utilizados nas instituições.

Tipo de mamógrafo	Comando simples	Com estereotaxia	S/I	Total
Analógico	334	58	11	403
Digital CR	24	11	1	36
Digital DR	32	12	4	48
S/I	4	4	6	14
Total	394	85	22	501

Fonte: ANVISA, 2012

S/I- Sem Informações

TAB 1.2 Distribuição dos mamógrafos, por 100 mil habitantes, conforme macrorregiões.

Região/UF	População	Nº de mamógrafos	Nº de mamógrafos por 100 mil habitantes
Região Norte	15.864.454	86	0,54
Região Nordeste	53.081.950	351	0,66
Região Sudeste	80.364.410	669	0,83
Região Sul	27.386.891	287	1,05
Região C. Oeste	14.058.094	121	0,86
Brasil	190.755.799	1.514	0,79

Fonte: ANVISA, 2012

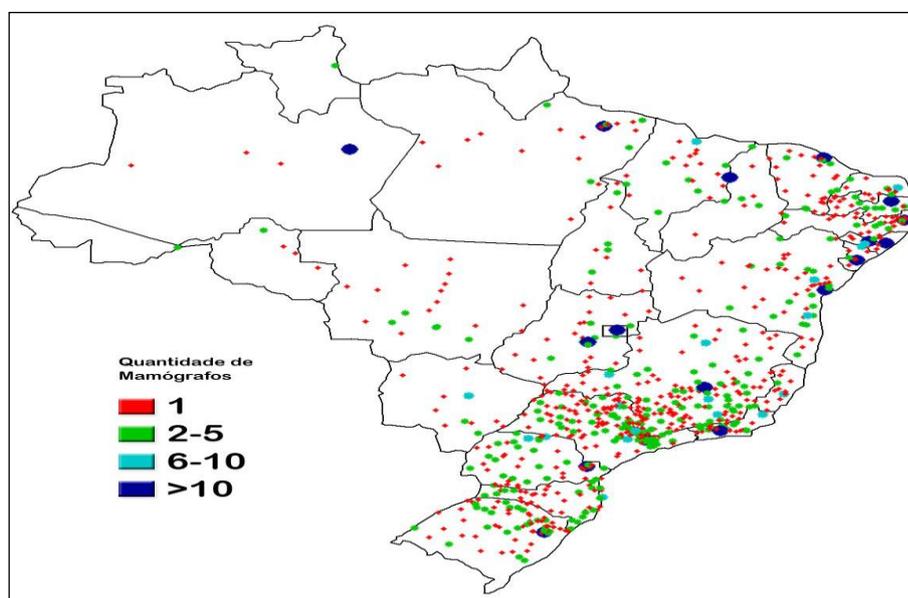


FIG.1.1 Distribuição de mamógrafos âmbito SUS
(FONTE: Departamento Nacional de Auditoria do SUS, 2011).

1.1 RELEVÂNCIA CIENTÍFICA

O trabalho tem como principal intuito realizar testes que comprovem a eficiência do sistema filme/écran através da análise dos principais parâmetros sensitométricos, sendo estes fundamentais para a obtenção de uma imagem radiográfica adequada para diagnóstico.

Tendo em vista esses aspectos e associando o fato do Brasil não ter um laboratório que avalie a qualidade do sistema filme-écran utilizado no serviço radiológico (MAGALHÃES, 2007), este trabalho serve como uma análise inicial da qualidade dos filmes e dos écrans mais utilizados no serviço de mamografia. Portanto, esse estudo visa o levantamento de curvas características, gradiente médio e velocidade do sistema filme-écran de diferentes fabricantes de filmes. Estes testes são orientados pela norma ***International Standardization for Organization*** (ISO 9236-3,1999). Estudos já comprovaram a influência ocasionada nos parâmetros sensitométricos quando relacionamos filmes e produtos químicos (FERREIRA, 2007). Também será feito o controle da qualidade da processadora automática de modo que a mesma possa atuar de maneira correta e segundo as recomendações do fabricante. Isso garantirá que o processamento automático não irá promover alterações referentes aos parâmetros sensitométricos estudados, e conseqüentemente não trará prejuízo às avaliações do conjunto filme-écran testado. Ao término do trabalho, os resultados obtidos com os testes serão disponibilizados aos fabricantes de modo que os mesmos possam corrigir possíveis falhas melhorando então a qualidade dos filmes e écrans disponibilizados no mercado. A TAB 1.3 exhibe dados que mostram os principais problemas identificados, que interferem no funcionamento de um mamógrafo (ANVISA, 2012).

TAB 1.3 Principais problemas identificados que interferem no funcionamento do mamógrafo.

Problemas	Número	Percentual (%)
Manutenção	343	22,7
Deficiência de Rec. humanos	285	18,8
Processadora	223	14,7
Infraestrutura inadequada	163	10,7
Falta de insumos	80	5,3

Fonte: ANVISA, 2012

1.2 OBJETIVOS

O Trabalho apresenta os seguintes objetivos:

- A realização de testes com o intuito de avaliar a qualidade da imagem dos filmes de mamografia utilizados no estado do Rio de Janeiro;
- Auxiliar na melhora da qualidade dos filmes que apresentarem problemas significativos após as análises com o fornecimento de dados aos fabricantes;
- Transformar a processadora do LCR (Laboratório de Ciências Radiológicas) em um padrão de qualidade relacionado ao processamento de filmes, que servirá de referência para a comparação entre processadoras com ou sem controle da qualidade.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Com o intuito de explicitar as ideias relacionadas ao trabalho em questão, o mesmo está dividido em 5 capítulos. No primeiro capítulo foi feita uma introdução de modo a expor a relevância do trabalho no cenário do serviço radiológico, além de apresentar os objetivos a serem alcançados com a pesquisa. Já no capítulo 2 são apresentados os embasamentos teóricos que serão de extrema importância no contexto de discussão referentes a esta dissertação. Para o capítulo 3 é expressa a metodologia e toda a instrumentação utilizada durante a realização do trabalho. No capítulo 4 foi feita a apresentação de todos os resultados obtidos e cálculos relacionados aos parâmetros sensitométricos. Com relação ao capítulo 5 são feitas as considerações sobre a conclusão do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 UMA BREVE HISTÓRIA DOS FILMES RADIOGRÁFICOS

Logo após a descoberta dos raios X, houve o surgimento dos filmes radiográficos. A percepção da primeira imagem radiográfica foi realizada pelo francês Joseph Nicéphore Niepce, no ano de 1826, ao expor um material com grande sensibilidade à luz em uma câmara escura com espelhos e lentes (FERREIRA, 2007). O físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, descobriu em 1895, o raios X. A descoberta se deu quando Roentgen realizava as suas pesquisas fazendo uso de descargas elétricas em tubos contendo gases. O cientista percebeu que era produzida luminescência em uma tela de material fosforescente que se encontrava no laboratório. Roentgen verificou que mesmo colocando obstáculos dispostos entre a ampola e a tela, a luminescência continuava a existir. Com isso, as descargas foram repetidas várias vezes até que fosse possível entender a natureza da radiação emitida. Após essa descoberta Roentgen fez a sua primeira radiografia no ano de 1895 utilizando a mão de sua mulher, Bertha Roentgen (ALMEIDA, AREDE e VIEIRA, 2008).

Com a descoberta dos raios X, estudos foram realizados para que fosse possível registrar a imagem radiográfica. Com isso foi utilizado brometo de prata como emulsão, e como base utilizou-se chapas de vidro. Com a primeira grande guerra mundial, em 1914, estudos relacionados a filmes para radiologia tiveram grande avanço. Isso se deu em função da Bélgica estar em guerra, e resultar no corte de suprimento de vidro utilizados na fabricação de chapa. Hoje em dia, os filmes de raios X são compostos por uma base de poliéster de coloração azul, podendo conter um lado, ou até dois lados, repletos por emulsão gelatinosa sendo esta formada por diversos grãos de haletos de prata sensíveis à luz.

2.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS RELACIONADAS AOS RECEPTORES DE IMAGEM

2.2.1 TELAS INTENSIFICADORAS OU ÉCRAN

Com o advento do écran, também conhecido como tela intensificadora fluorescente, conseguiu-se proporcionar um grande impacto na história da radiologia na década de 70. O sistema filme-écran é um conjunto utilizado para converter fótons de raios X em luz visível, ou seja, os écrans conseguem converter apenas um fóton de raios X em aproximadamente 100 fótons de luz (FERREIRA, 2007), isso possibilita o aumento da exposição do filme, portanto, ocasiona uma melhora do nível de sensibilização do filme. O aumento da sensibilidade do filme se dá devido aos fótons que quando atingem a camada fluorescente fazem brilhar a mesma emitindo luz de modo proporcional a quantidade de interações ocorrentes (FIG. 2.1). Filmes radiográficos são pouco sensíveis aos raios X, já com relação à radiação luminosa apresentam grande sensibilidade, portanto o fenômeno da fluorescência favorece bastante a redução do tempo de exposição e conseqüentemente da dose recebida pelo paciente durante os exames (FORWARD, 1995).

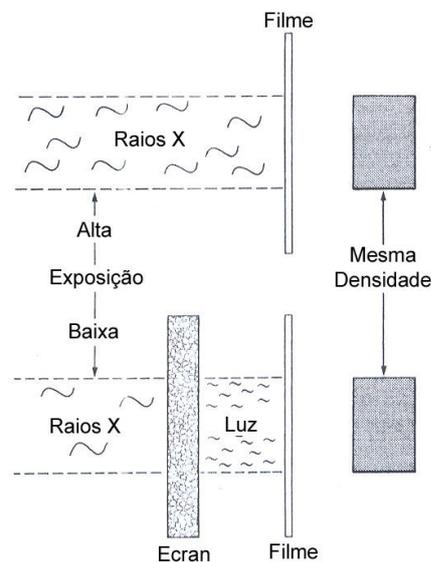


FIG. 2.1. Conversão da energia dos raios X nas telas intensificadoras (FONTE: SPRAWLS, 1995).

Com relação à composição do écran temos a camada denominada base, que serve como suporte para as outras camadas. Já a segunda camada é chamada de refletora, pois serve apenas para o direcionamento da luz gerada para sensibilizar o filme. Dentre as camadas existentes nas telas intensificadoras a mais importante é a camada ativa, que também é conhecida como camada de fósforo. A essa camada são creditadas as propriedades relacionadas à fluorescência, que quando estimulada pela radiação X emite luz (SPRAWLS, 1995). A camada que entra em contato com o filme recebe o nome de camada protetora, esta possui uma fina cobertura de plástico transparente que reveste a camada de fósforo e ajuda a prevenir contra a eletricidade estática.

Na atualidade utiliza-se o écran de terras-raras, pois apresenta melhor resultado para o aumento da velocidade, e conseqüentemente a redução da dose, sem gerar perdas de detalhes na imagem (TILLY JUNIOR, 2010). A velocidade dessa tela se dá em função da mesma apresentar maior absorção de raios X e assim ocasionar maior capacidade de convertê-los em mais luz. A velocidade é o parâmetro principal pelo qual se faz necessário o uso do écran, essa rapidez está atrelada à dependência do tamanho dos cristais de fósforos, e também da espessura dessa camada. Para alterar a velocidade das telas, alguns fabricantes costumam tornar padrão o tamanho dos cristais, provocando modificações apenas na espessura dos fósforos.

Estudiosos sugeriram, na década de 70, a utilização de telas fluorescentes compostas por oxissulfato de gadolínio, térbio ativado, que são emissores de luz verde para radiografias médicas. Com isso ainda há o predomínio do uso dessas telas no Brasil, já que filmes sensíveis à luz azul têm o seu uso proibido no país pela portaria 453 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998). Isso se dá em função da combinação tela-filme apresentar menor grau de enegrecimento para menores exposições (FERREIRA, 2007), ou seja, possui menor velocidade, aumentando conseqüentemente a dose para o paciente. A FIG.2.2 apresenta a intensidade relativa do espectro de emissão das telas de fósforo, assim como a intensidade relativa de absorção de filmes sensíveis a luz verde. A luz emitida pelo écran pode ter comprimento de onda na faixa do ultravioleta (UV), verde ou azul. Os écrans emissores de luz no comprimento de onda do azul são constituídos por fósforos de tungstato de cálcio (CaWO_4) e conseqüentemente são úteis para filmes com base

azul. Já aqueles que possuem emissão de luz verde, são compostos por fósforos de oxissulfato de gadolínio ativado por térbio ($Gd_2O_2S:Tb$), e são utilizados por filmes ortocromáticos (verdes). É importante ressaltar que a sensibilidade do filme deve sempre combinar com a luz emitida pelo écran (SPRAWLS, 1995).

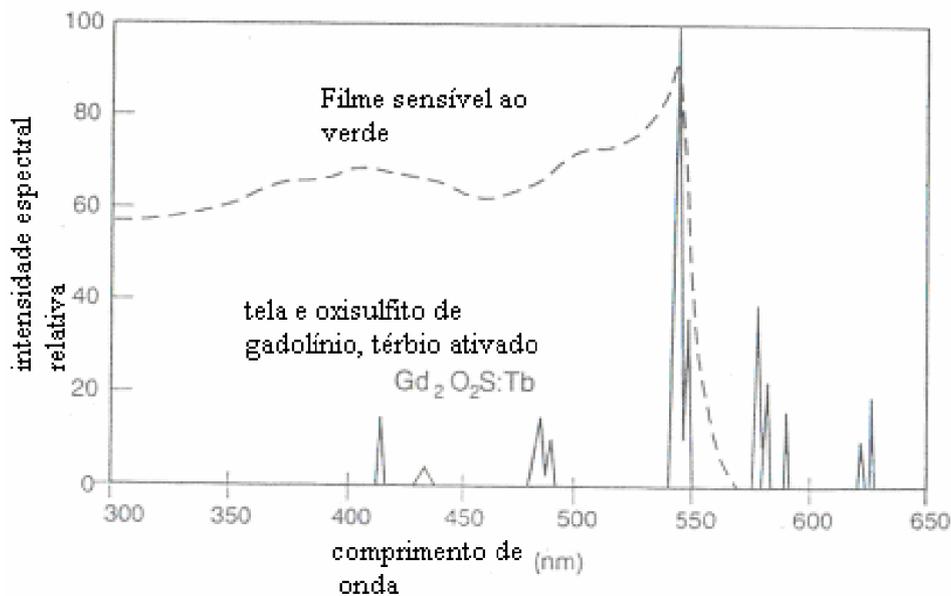


FIG. 2.2. Espectro de emissão da tela intensificadora contendo oxissulfato de gadolínio, térbio ativado; e uma curva de absorção do filme sensível à luz verde (FONTE: FERREIRA, 2007).

2.2.2 CONJUNTO CHASSI/ÉCRAN

Chassi é um compartimento utilizado para manter o filme radiográfico e o écran protegidos de qualquer exposição indesejada, além de ser um facilitador para a realização do transporte do sistema filme-écran da câmara escura até a sala de exames. Faz parte da composição do chassi, plásticos e fibras de carbono. No chassi consta uma frente e tampa, sendo estas conectadas por dobradiças, conforme exhibe a FIG 2.3. É relevante destacar que os écrans devem ser mantidos limpos para evitar o aparecimento de artefatos visíveis na imagem, portanto deve-se ter muito cuidado ao manuseá-lo evitando choques mecânicos que possam gerar danos ao seu material. Vale ressaltar que os écrans são materiais de custo elevado,

logo mais um motivo para ter o devido cuidado com este equipamento. Na FIG 2.4 aparecem artefatos ocasionados por manchas no écran.



FIG. 2.3. Detalhes referentes ao écran e ao chassi (FONTE: FERREIRA, 2007).

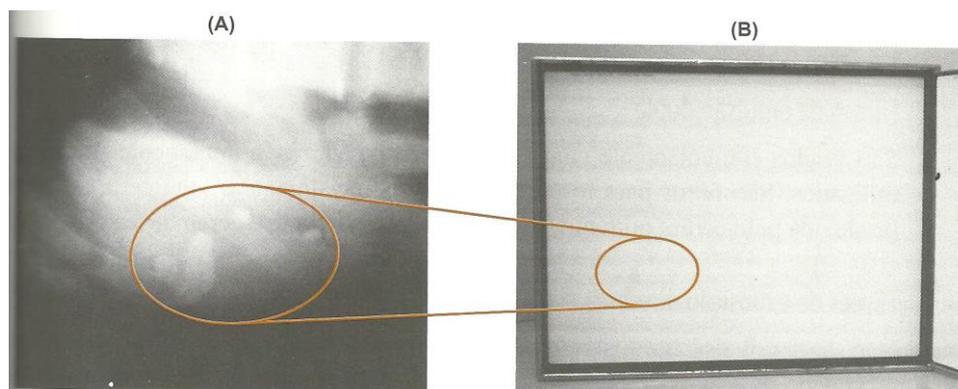


FIG. 2.4. Artefatos no filme provocados por manchas no écran (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

2.2.3 FILMES RADIOGRÁFICOS

Filmes radiográficos são constituídos basicamente por uma película azulada e transparente que é denominada base, esta possui espessura que pode variar de 150 a 250 μm mantendo a estabilidade dimensional e excelente flexibilidade para manuseio. A base exerce a função de suporte para que seja aplicada a emulsão fotossensível, que corresponde ao material no qual raios-X, assim como a luz do

écran, interagem para que haja posteriormente o registro da imagem. No serviço radiológico utilizam-se filmes de emulsão simples, e de dupla emulsão. Os sistemas tela-filme, que possuem dupla emulsão e dupla tela, apresentam maior rapidez quando comparado ao sistema de emulsão simples e única tela (MAGALHÃES, 2007), no entanto esse conjunto pode aumentar o borramento da imagem o que inviabiliza o seu uso para o serviço de mamografia. A emulsão possui uma camada de 3 a 5 μm de gelatina de haleto de prata (principais brometo e iodeto), contendo aproximadamente 800.000 cristais/ cm^2 em sua superfície (TILLY JUNIOR, 2010). A gelatina tem como principal função servir como elemento de proteção a emulsão quando a mesma for manipulada, além de manter os cristais bem dispersos e fixos. Também é função da gelatina fotográfica facilitar a penetração do revelador e fixador durante o processamento da imagem. A FIG.2.5 faz uma representação das camadas do filme radiográfico.

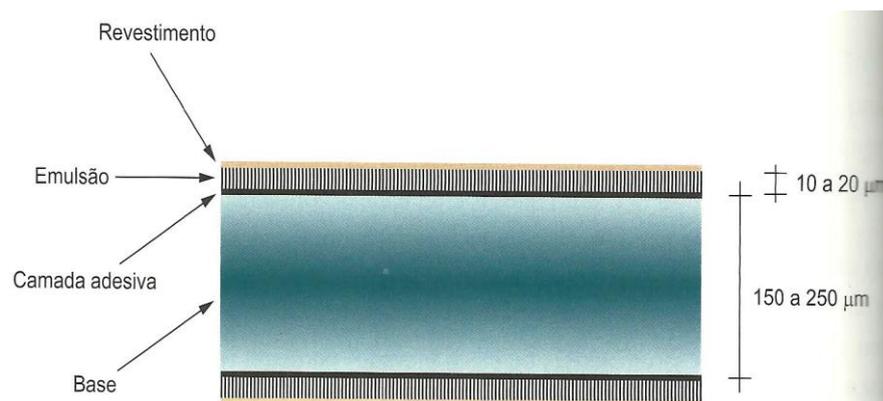


FIG. 2.5. Modelo de representação das camadas de um filme radiográfico (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

2.2.3.1 CUIDADOS COM OS FILMES RADIOGRÁFICOS

Os filmes radiográficos possuem sensibilidade ao calor, umidade, pressão, luz, radiação e a contaminação química. Sendo assim são necessários os devidos cuidados que remetem desde o armazenamento até o processamento da imagem. Negligenciar os cuidados com os filmes pode representar o comprometimento da imagem e conseqüentemente prejuízo do diagnóstico. Portanto devem-se ter os

seguintes cuidados para os filmes: o manuseio deve ser suave, nunca dobrado, as mãos limpas e sem cremes ou loções. Os cuidados referentes ao armazenamento são: posição vertical das caixas, umidade do ar em cerca de 40 e 60% e temperatura de 20°C (TILLY JUNIOR, 2010).

2.2.4 PROCESSAMENTO DO FILME RADIOGRÁFICO

O processamento do filme radiográfico refere-se a inúmeras reações químicas. Pode-se entendê-lo como processos químicos que reforçam as reações no sal de prata, preferencialmente nas regiões de imagem latente, consolidando a imagem radiográfica (TILLY JUNIOR, 2010). O processo refere-se a um banho químico que consiste em basicamente três etapas de atuação: processos de revelação, fixação, e por fim lavagem do filme. Também há o processo de secagem que é de extrema importância para o manuseio do filme. Para o processamento da imagem existem parâmetros fundamentais que necessitam de elevada atenção, são eles: temperatura, concentração das soluções e tempo de processamento. Caso haja variações acima do esperado para tais fatores citados, certamente haverá significativas influências na qualidade da imagem processada (TILLY JUNIOR, 2010).

2.2.4.1 CUIDADOS COM A CÂMARA ESCURA

Para a realização do processamento do filme radiográfico, é de fundamental relevância que haja uma área separada para o grande número de operações que serão realizadas durante o processamento. Essa área é chamada de câmara escura. Câmara escura é um ambiente cuidadosamente planejado que tem como objetivo prezar pela qualidade da imagem radiográfica, além de minimizar o aumento de custos, devido à perda de filmes, desgaste do aparelho e do material de processamento dos filmes (LIZ, 2007).

Dentre as principais características de uma câmara escura está ter uma bancada de materiais lisos, impermeáveis e fáceis de serem limpos.. A não preservação da

limpeza referente à câmara escura pode resultar em sérios prejuízos para a imagem radiográfica, pois a poeira pode provocar artefatos na imagem e assim gerar comprometimento na realização do diagnóstico. Também é de suma importância que haja boas condições de renovação de ar na câmara escura para evitar o acúmulo de gases que são prejudiciais à saúde. Dentro da câmara escura, quando a sua porta for devidamente fechada, deve haver total escuridão quando as luzes de segurança assim estiverem apagadas. As luzes de segurança devem conter baixa potência, cerca de 15 W e deve estar posicionada a 1,5 m acima da bancada de manipulação de filmes (TILLY JUNIOR, 2010).

2.2.4.2 PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO

É um sistema eletromecânico que reduz o tempo de revelação de um filme, tornando-o mais seguro e padronizado (LIZ, 2007). A redução do tempo de processamento dos filmes radiográficos só foi possível graças à chegada das processadoras automáticas. Estas máquinas reduzem o tempo de processamento em até quatro vezes quando comparado ao processamento manual. Portanto a processadora automática tornou-se um equipamento fundamental no setor de radiologia para aqueles que ainda trabalham com procedimentos de aquisição de imagem com o uso de unidades convencionais. As processadoras automáticas são constituídas de três ou até quatro tanques, possuem secador, sistema de transporte e de reposição dos fluidos, circuitos eletrônicos, controles térmicos, sistema de circulação forçada e conjuntos de racks (TILLY JUNIOR, 2010). A FIG.2.6 ilustra algumas partes pertencentes à processadora automática.

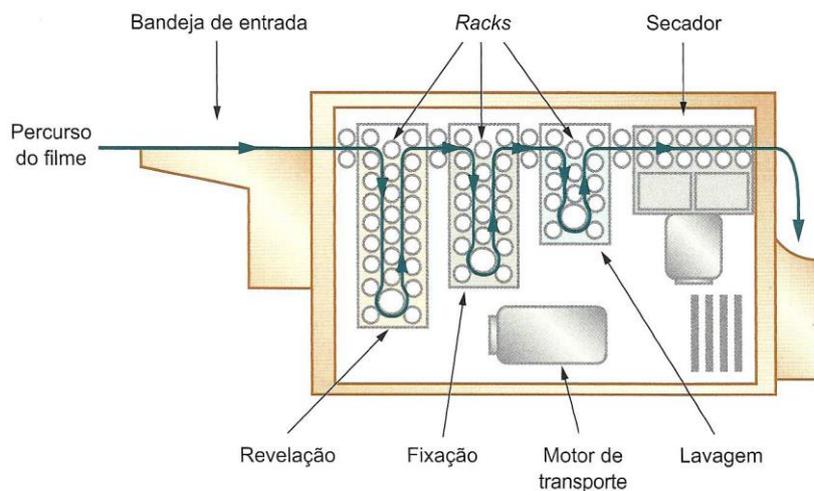


FIG. 2.6. Modelo esquemático dos componentes de uma processadora automática de filmes (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

Os fluidos utilizados no processo de revelação e fixação da imagem, assim como a água para a lavagem, são necessariamente mantidos aquecidos. A temperatura dos líquidos é controlada com enorme precisão, sendo este controle feito de modo eletrônico. A processadora também dispõe de mecanismos de agitação dos químicos durante sua utilização, isso se dá de maneira que os líquidos possam manter-se sempre numa mistura homogênea e com distribuição uniforme da temperatura (TILLY JUNIOR, 2010).

Com o intuito de evitar a saturação dos químicos e conseqüentemente a sua diminuição nos tanques, a processadora possui um sistema de reposição que é ativado sempre que um filme é processado. Esse sistema favorece a manutenção da atividade química das soluções, imprescindível para um bom processamento. Havendo falha no processo de reposição, ou seja, super-exposição ou sub-reposição, parâmetros relevantes como contraste radiográfico podem sofrer alterações e trazer prejuízos para a obtenção da imagem (TILLY JUNIOR, 2010). A TAB 2.1 mostra alguns valores referentes a parâmetros relevantes para o processamento automático.

TAB. 2.1 Valores característicos para o processamento automático.

Parâmetros	Revelação	Fixação	Lavagem	Secagem
Temperatura [°C]	mín.: 32,2 máx.:37,8	mín.: 29,4 máx.: 35,0	mín.: 2,8 máx.: 5,6	mín.:37,8 máx.:71,2
Taxa de reposição [ml/35cm] ¹	mín.: 27 máx.: 270	mín.: 36 máx.: 360	mín.: 450 máx.: 2.565	-----
Tempo de revelação [s]	Tempo de processamento total [s]			
mín.: 21	mín.: 90			
máx.: 33	máx.: 150			

¹ Tem dependência com a carga de trabalho do setor (Fonte: TILLY JUNIOR, 2010).

As processadoras automáticas possuem como desempenho um comportamento bastante estável quando nos referimos ao tempo de imersão dos filmes em seus tanques. O tempo de transporte dos filmes durante o processamento nunca deve exceder a ± 3 % do tempo já especificado pelo fabricante (MAGALHÃES, 2001). Entre as temperaturas dos líquidos envolvidos em todo o processamento, a temperatura do revelador é a que apresenta maiores problemas para o processamento da imagem, pois mesmo com pequenas variações é capaz de representar prejuízo para os parâmetros: velocidade, contraste e base+fog. Com isso é essencial que sejam obedecidas às recomendações dos fabricantes quanto ao limite de variabilidade da temperatura do revelador que está em cerca de $\pm 0,3^\circ\text{C}$ (MAGALHÃES, 2001). Com relação à temperatura do fixador, a mesma não ocasiona maiores consequências ao sofrer variações. Ressaltando que quanto maior a temperatura, melhor será o processo de fixação (MAGALHÃES, 2001). A FIG.2.7 esboça a variabilidade sofrida dos parâmetros sensitométricos de acordo a variação da temperatura do revelador. Com isso percebe-se que a velocidade aumenta

linearmente com a temperatura do revelador perante a faixa de temperatura indica. Portanto a temperatura de revelação será ótima para o contraste mais elevado desde que os valores para o fog sejam aceitáveis (TILLY JUNIOR, 2010).

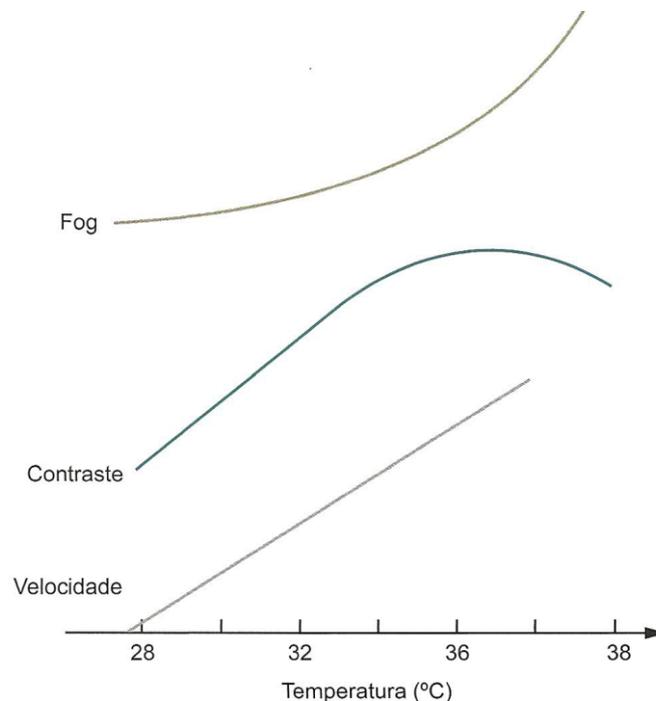


FIG. 2.7. Relações típicas entre contraste, velocidade e fog para filmes revelados em diferentes condições de temperatura do revelador (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

2.2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS GRÃOS

Parte essencial na composição dos filmes radiográficos os grãos de haletos de prata são classificados conforme a sua geometria espacial, podendo ser considerados como: tridimensional, cúbicos e tabulares. Os grãos tridimensionais possuem características assimétricas e distribuição não uniforme na gelatina fotográfica. Já os grãos cúbicos e tabulares, são caracterizados por apresentarem área superficial maior, boa simetria e também distribuição simétrica regular (FERREIRA, 2007). A FIG.2.8 ilustra os formatos existentes para cada tipo de grão, assim como a sua distribuição na emulsão.

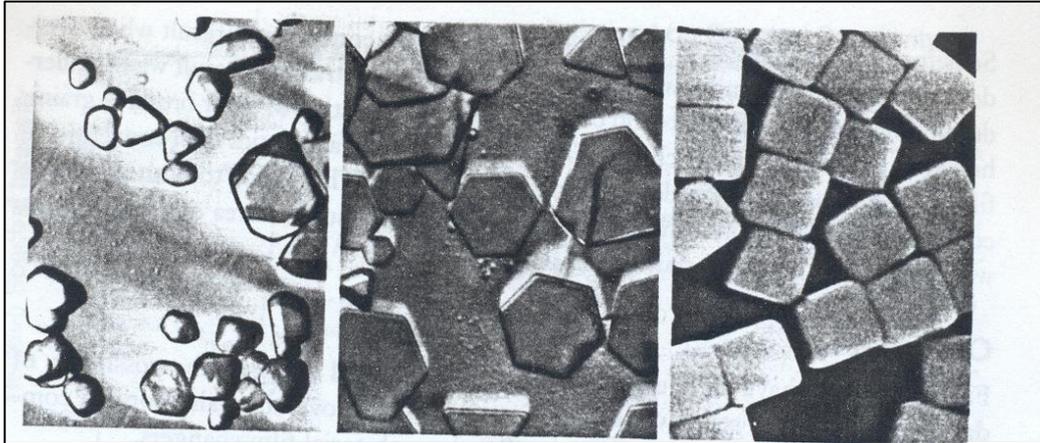


FIG. 2.8. Tipos de grãos da emulsão. Formatos: tridimensional, tabular e cúbico respectivamente (FONTE: HAUS, 1998).

Tido como sendo o grão que possui maior superfície, os grãos do formato tabular são responsáveis por maior sensibilidade ocasionando menor tempo de exposição (FERREIRA, 2007). No entanto, os filmes que possuem este tipo de grão em sua emulsão apresentam baixo contraste, portanto o grão tabular é mais encontrado em filmes para a radiografia convencional. Com relação a filmes cuja necessidade seja obter alto contraste o grão cúbico é o mais utilizado. Este se apresenta melhor distribuído na emulsão e são comumente utilizados em filmes de mamografia (FERREIRA, 2007).

2.2.5.1 ELEMENTO SENSÍVEL A RADIAÇÃO

Os haletos de prata (brometo) são os principais elementos sensíveis à radiação, sendo estes os principais elementos responsáveis pela absorção da radiação e conseqüentemente formação da imagem através de tons claros e escuros. Estes são postos em forma de microcristais sobre a base, misturados à gelatina que é responsável por mantê-los numa posição definida. Para aumentar a sensibilidade dos microcristais são adicionados iodeto de prata, numa quantidade de até 10% (SOARES e LOPES, 2001). A FIG. 2.9 esboça o posicionamento dos átomos dentro dos microcristais.

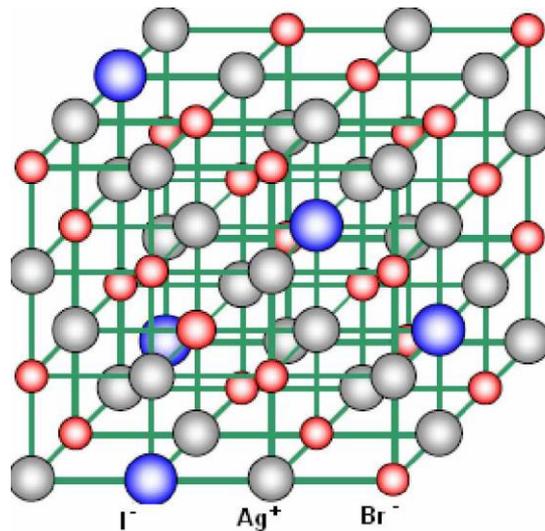


FIG. 2.9. Estrutura do cristal halogenado de prata (FONTE: SOARES e LOPES, 2001).

Com o intuito de favorecer a *captura* dos fótons pelos haletos de prata, os fabricantes de filme realizam a mistura de impurezas durante a composição dos cristais. Estas impurezas que têm por função atrair os elétrons livres após a incidência dos fótons ocasionando assim o início do processo de formação da imagem (FERREIRA, 2007).

2.2.6 FORMAÇÃO DA IMAGEM LATENTE

A emulsão de cristais sensíveis à radiação, revestida com material de base transparente é o componente ativo do filme radiográfico (SPRAWLS, 1995). Com isso a produção da imagem radiográfica se dá através de duas etapas, sendo elas: a exposição e o processamento da imagem que pode ser automático ou manual. Na primeira etapa o filme é exposto à radiação, normalmente à luz, sendo esta responsável por ativar a emulsão de cristais. É importante ressaltar que nessa etapa não há formação de imagem visível, ou seja, há apenas a formação de uma imagem latente. Na segunda etapa, o filme já exposto, é processado em várias soluções químicas cuja função está em converter a imagem latente, a princípio invisível, em imagem visível que é composta por vários tons de cinza.

A produção da densidade óptica nos filmes se dá através da conversão de íon de prata em prata metálica, no qual cada grão após o processamento se tornará escurecido (SPRAWLS, 1995). A FIG. 2.10 ilustra os tipos de transformações físico-químicas dos filmes durante o processo de obtenção da imagem. A ilustração exemplifica a situação de um filme exposto, assim como o estágio final do processo de revelação onde os grãos não sensibilizados são retirados durante o processo de fixação (MAGALHÃES, 2001).

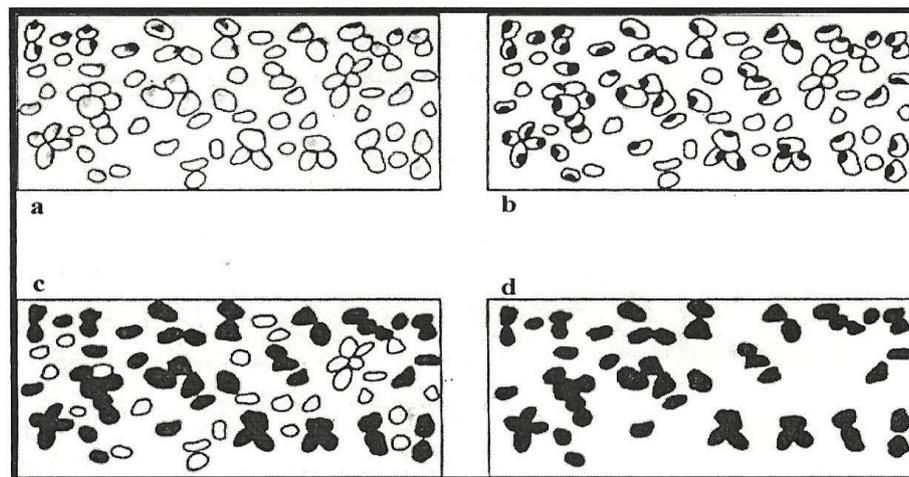


FIG. 2.10 As transformações físico-químicas para a obtenção da imagem (FONTE: HAUS, 1998).

Consta na parte ativa dos filmes um número significativo de grãos de brometos de prata. Após a exposição ocorre a quebra da molécula de brometo de prata em íons de prata, íons de brometo e elétrons livres. A quebra da molécula de brometo de prata é resultado da absorção dos fótons de luz. Os íons de prata possuem carga positiva, ou seja, um déficit de elétrons. Já o íon de brometo possui carga negativa, portanto um elétron extra. Faz parte de cada grão um defeito estrutural denominado de sitio de sensibilidade (SPRAWLS, 1995).

2.2.6.1 PROCESSO DE SENSIBILIZAÇÃO

Já é sabido que a parte ativa dos filmes radiográficos é extremamente mais sensível aos fótons de luz do que aos fótons de raios X. Portanto consideraremos apenas a interação dos fótons de luz em relação aos micros cristais. Sendo assim

temos que o início do processo de sensibilização ocorre quando o fóton de luz, procedente da interação dos raios X com a tela intensificadora, interage com os micros cristais presente na emulsão dos filmes. Em decorrência dessa interação pode haver perda total ou parcial da energia dos fótons resultando no efeito fotoelétrico ou Compton respectivamente. O importante é ressaltar que através dos efeitos terá ocorrido à liberação de um elétron, geralmente cedido pelo íon de bromo ou iodo possibilitando assim o início do processo de formação da imagem latente (MAGALHÃES, 2001). A FIG. 2.11 faz uma representação do processo de sensibilização dos filmes.

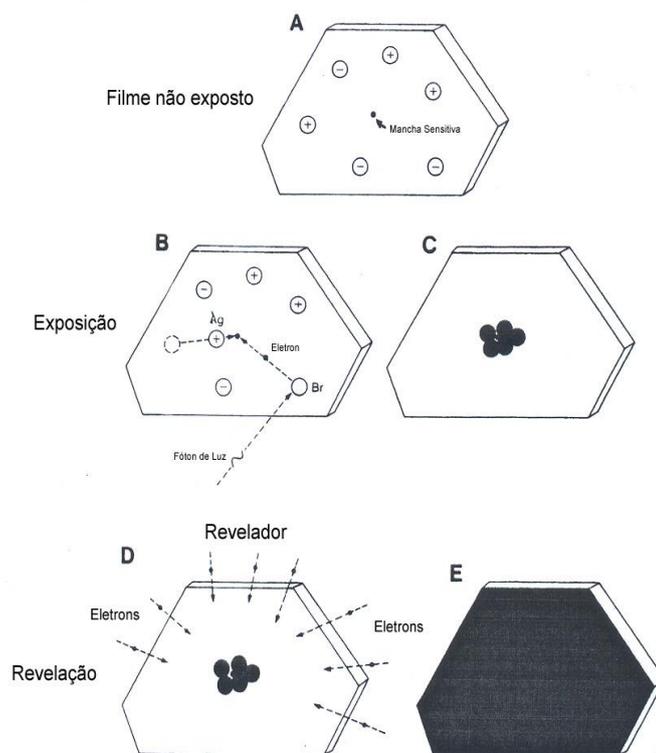


FIG. 2.11. Sequência que exemplifica o processo que converte grãos transparentes em prata metálica ou prata escurecida (FONTE: SPRAWLS, 1995).

Com a liberação do elétron, o mesmo se move para o sítio de sensibilidade e o faz carregado negativamente. Após esse processo o sítio é atraído para o íon de prata carregado positivamente, sendo então a carga positiva neutralizada pelo elétron. Com isso é gerado o processo que converte íon de prata em átomo de prata escurecido. Esta ação é repetida diversas vezes, sendo a exposição total do filme o

elemento responsável pelo número de grãos da emulsão que alcançará essa fase (MAGALHAES, 2007). Os grãos expostos sofrem transformação irreversível e são indistinguíveis dos grãos não expostos, no entanto os mesmos são sensíveis às ações do revelador. Com isso tem-se a imagem latente.

2.3 PRINCIPAIS PROPRIEDADES SENSITOMÉTRICAS

2.3.1 CURVA CARACATERÍSTICA

A resposta do filme em relação à exposição é caracterizada pelas propriedades sensitométricas. As principais propriedades sensitométricas são: base+fog, velocidade (sensibilidade), latitude e gradiente médio. O modo fundamental de representação das propriedades sensitométricas geralmente é realizado através de um gráfico que possui três denominações: curva característica, curva sensitométrica ou curva Hurter & Driffield, tal curva remete a relação entre as densidades do filme e as variações de exposições geradas, ou seja, a quantidade de energia que atingem uma determinada área do filme (FERREIRA, 2007). O formato da curva tem dependência direta com as características da emulsão que compõe o filme, e também com as condições de processamento da imagem (SPRAWLS, 1995).

As representações das regiões da curva características podem ser descritas como: regiões de baixa densidade óptica estão localizadas no pé da curva (base+fog), ou seja, é uma medida da transparência da base do filme acrescida da revelação dos grãos de prata que não contém informação de diagnóstico útil (MAGALHÃES, 2001), e é um indicativo da exposição do filme à luz, à revelação e à contaminação química. Já a alta densidade óptica situa-se na região conhecida com ombro da curva. A região linear da curva é aquela que possui maior variação de densidades, portanto diferentes tons de cinzas. Este trecho da curva representa a região cujas densidades ópticas são úteis para a realização do diagnóstico, fornecendo assim a latitude do filme (FERREIRA, 2007). A FIG. 2.12 ilustra uma curva sensitométrica.

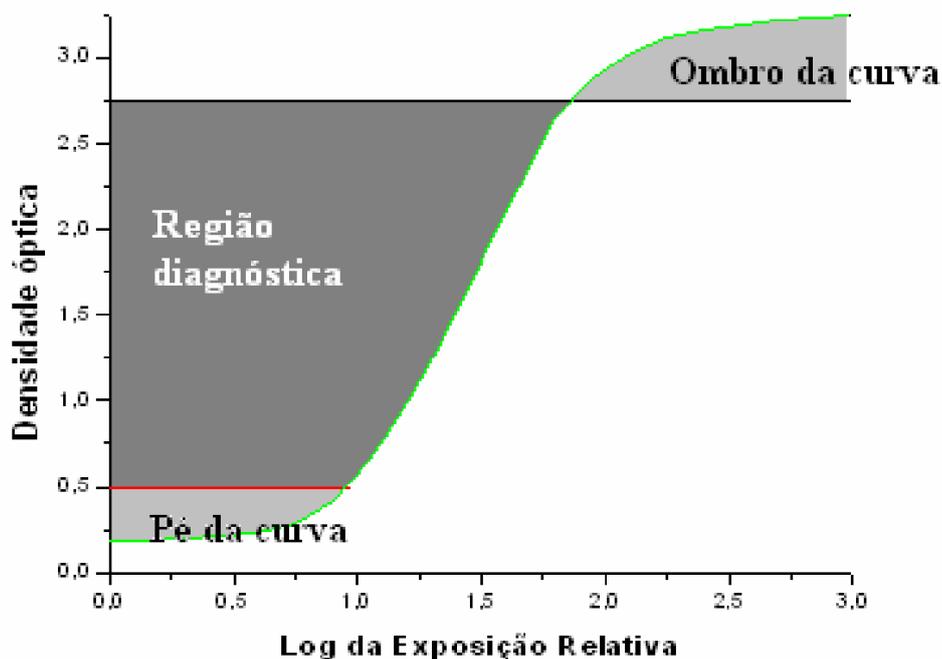


FIG. 2.12. Curva característica com suas regiões (FONTE: FERREIRA, 2007).

2.3.2 DENSIDADE ÓPTICA

Densidade óptica (DO) ou densidade radiográfica é caracterizada como sendo o registro da absorção diferencial em um filme radiográfico (TILLY JUNIOR, 2010), ou seja, o grau de enegrecimento de uma determinada região do filme já revelado. O valor que expressa a densidade óptica é adimensional. As densidades ópticas podem apresentar variações num intervalo de 0 a 4 (MAGALHÃES, 2001).

A equação que define densidade óptica:

$$DO = \log \frac{I}{I_0} \quad (2.1)$$

onde:

I = Intensidade de luz incidente no filme;

I_0 = Intensidade de luz que é transmitida através do filme.

O filme radiográfico não exposto à radiação, mas que mesmo assim foi banhado nas soluções químicas de modo apropriado, pode apresentar densidades ópticas no intervalo de 0,1 a 0,3. A essa densidade é dado o nome de base+fog ou base+véu (fog). O valor elevado desse tipo de densidade pode ocasionar sérios prejuízos à qualidade da informação diagnóstica (TILLY JUNIOR, 2010).

2.3.3 CONTRASTE RADIOGRÁFICO OU GRADIENTE MÉDIO (GM)

O contraste radiográfico apresenta a diferença entre as densidades ópticas para as regiões de interesses numa radiografia. O contraste radiográfico é composto por dois elementos, sendo eles: contraste do objeto e contraste do filme (FERREIRA, 2007). O contraste do filme é algo intrínseco do tipo de filme que se está utilizando, mas também pode ser afetado pelas condições de processamento e pelas condições de armazenamento. Já o contraste do objeto tem dependência com as diferentes atenuações geradas ao feixe em diferentes regiões, portanto está atrelado aos fatores que afetam a absorção dos raios X, ou seja, está vinculado à natureza do objeto radiografado. As FIG.2.13 e FIG.2.14 ilustram a representação de uma escala de contraste em um filme radiográfico.

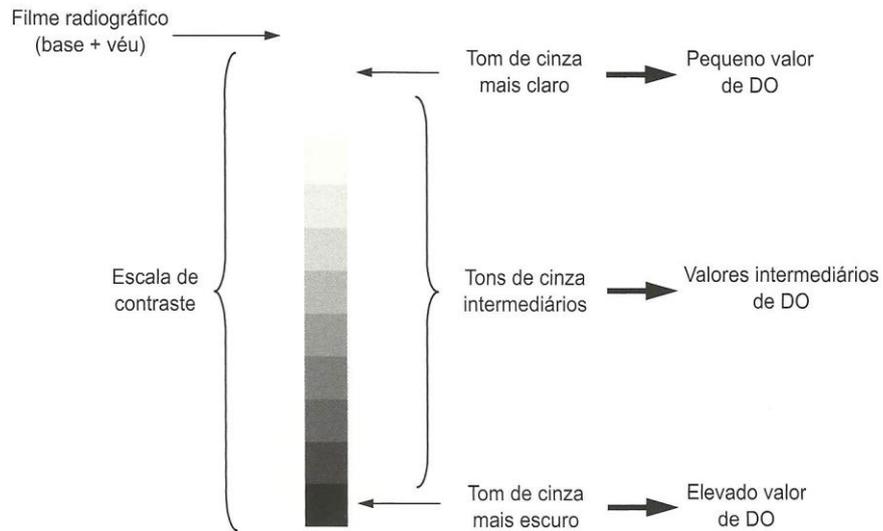


FIG. 2.13. Representações de uma escala de contraste em um filme radiográfico (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

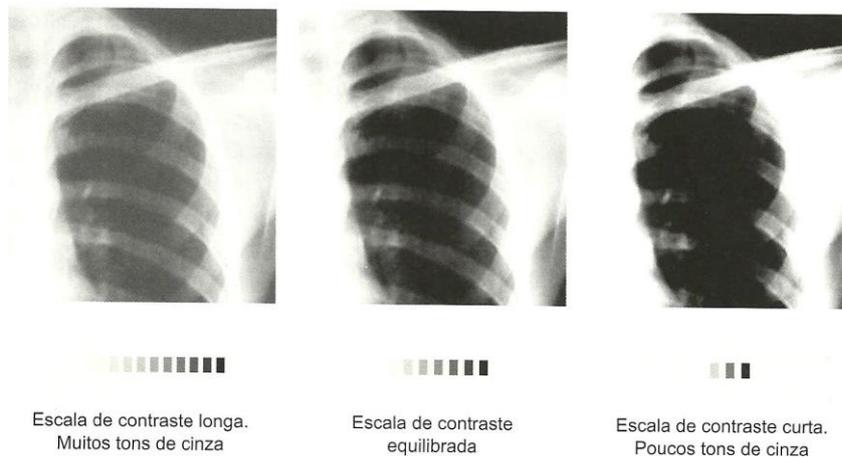


FIG. 2.14. Exemplo da influência da escala de contraste na percepção da imagem (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

Na curva característica o contraste radiográfico é determinado na porção reta da curva entre as densidades ópticas de 0,25 e 2,0 estando acima dos valores correspondentes à densidade base+fog (MAGALHÃES, 2001).

2.3.4 LATITUDE

O parâmetro latitude refere-se à condição de um filme de poder registrar uma imagem radiográfica com alcance significativo de tons de cinza. Sendo assim filmes com maior latitude registram maior número de tons de cinza, portanto possuem baixo contraste (MAGALHÃES, 2007). A latitude de um filme é determinada principalmente pela composição de sua emulsão, e em menor escala pelas condições do processamento da imagem (SPRAWLS, 1995). Na curva sensitométrica a latitude de um filme pode ser constatada através de sua inclinação (ou contraste), portanto quanto menor for à inclinação da curva, maior será a latitude do filme (FERREIRA, 2007). A FIG.2.15 mostra dois filmes com latitudes diferentes, onde o filme A tem maior latitude.

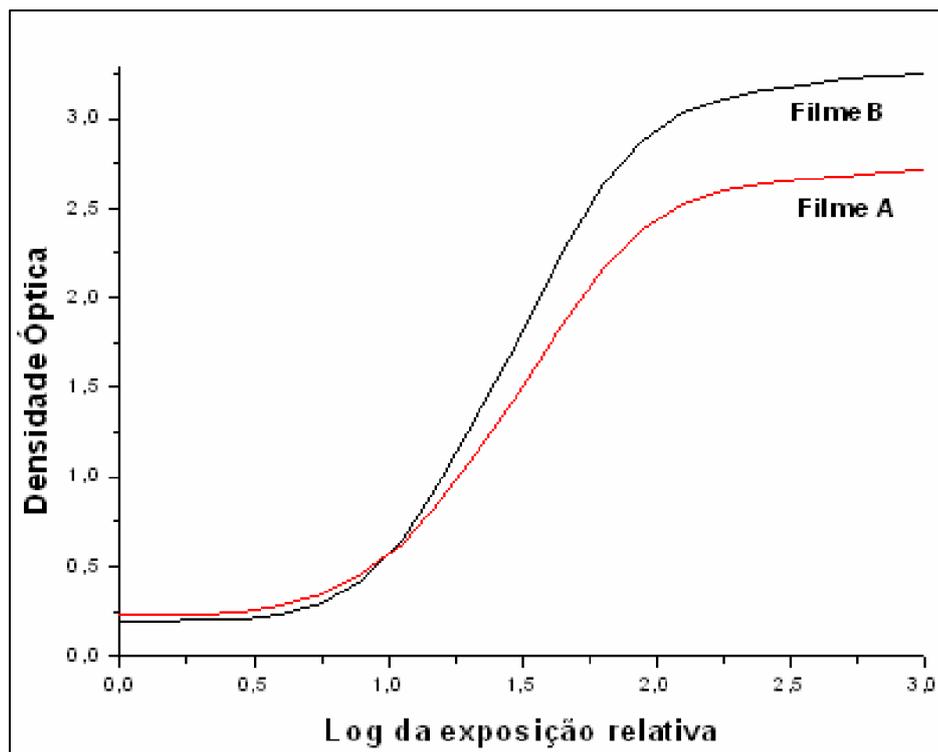


FIG. 2.15. Filmes com diferentes latitudes (FONTE: FERREIRA, 2007).

2.3.5 VELOCIDADE OU SENSIBILIDADE

A velocidade ou sensibilidade é definida como o inverso da exposição necessária para produzir uma densidade óptica que seja igual a 1,00 acima da densidade base+fog (FERREIRA, 2007). Sendo assim filmes com maior velocidade necessitam de menor exposição para obter uma densidade óptica, que para outro filme menos sensível, seria necessário maior exposição. A FIG.2.16 exemplifica curvas comparativas de sensibilidade entre os filmes A e B. A equação abaixo exhibe o conceito de velocidade.

$$\text{Sensibilidade} = \frac{1}{\text{Exposição}} \quad (2.2)$$

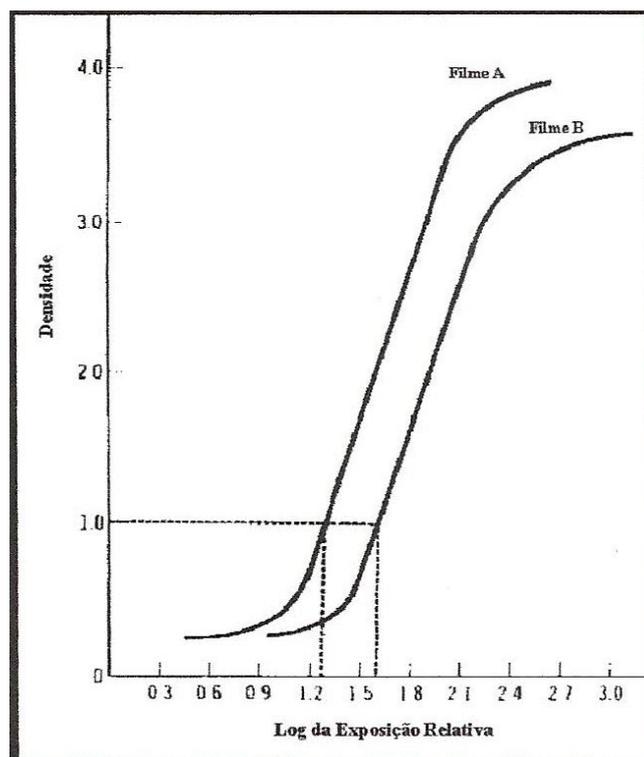


FIG. 2.16. Filme A é mais rápido que o filme B (FONTE: MAGALHÃES, 2001).

2.3.6 SENSITOMETRIA

A realização do controle da qualidade do processamento automático é uma das iniciativas de extrema relevância no contexto do programa de garantia da qualidade no serviço de radiodiagnóstico. A concordância entre a geração correta da imagem latente associada ao processamento automático apropriado certamente resultará numa imagem radiográfica de ótima qualidade. A metodologia mais implementada no controle do processamento automático, se dá através do método sensitométrico, este indicará medidas corretivas que deverão ser tomadas antes que a imagem radiográfica se deteriore (MAGALHÃES, 2002).

2.3.6.1 CONCEITOS SENSITOMÉTRICOS

- Densidade base+fog: esta é determinada em uma área do filme que não tenha recebido qualquer exposição de radiação (NETTO, 1998). Pode ser medida no degrau 1 ou numa região do filme que não foi exposta.
- Degrau de sensibilidade: é o degrau cuja densidade óptica está mais próxima do valor 1,20, ou seja, densidade 1 mais densidade base+fog. O degrau de sensibilidade é normalmente encontrado entre os degraus 10,11 e 12 (MAGALHÃES, 2001).
- Índice de sensibilidade ou velocidade: o índice de sensibilidade é dado pela densidade óptica obtida no degrau de sensibilidade. O índice de sensibilidade é determinado após três dias de medições, onde serão conseguidas três tiras sensitométricas que darão o degrau de sensibilidade. Este degrau será aquele cuja densidade óptica mais se aproxima do valor 1,20 (MAGALHÃES, 2001).

- Degrau de contraste: é o quarto degrau acima do degrau de sensibilidade, já previamente determinado. Normalmente está situado entre os degraus 14, 15 e 16 (MAGALHÃES, 2001).
- Índice de contraste: o índice de contraste é dado pela densidade óptica obtida no degrau de contraste. O índice de contraste é determinado após três dias de medições, onde serão conseguidas três tiras sensiométricas que darão o degrau de contraste (MAGALHÃES, 2001).

2.4 PARTICULARIDADES DO FEIXE DE RAIOS X

Os aparelhos de raios X utilizados na obtenção de imagens médicas são fabricados para trabalharem com voltagem de pico que normalmente varia entre 25 kV a 150 kV. O princípio de funcionamento do tubo se dá quando elétrons, do catodo extremamente aquecido, são acelerados em direção ao anodo. Os elétrons são acelerados por alta tensão, e conseqüentemente são lançados contra um meio material perdendo e transferindo energia, logo a produção de raios X é basicamente um fenômeno elétrico que resulta da interação entre elétrons em movimento e átomos de um determinado material (TILLY JUNIOR, 2010). A produção de raios X ocorre através da radiação de freamento e da radiação característica.

2.4.1 RADIAÇÃO DE FREAMENTO OU BREMSSTRAHLUNG

Quando um elétron dotado de muita energia é acelerado em direção ao átomo, há a probabilidade desse elétron passar pelo átomo sem qualquer tipo de interação. Porém se a trajetória descrita pelo elétron for aquela em que o fará passar próximo ao núcleo do referido átomo alvo, o elétron sofrerá atração eletrostática em função das cargas positivas nucleares. Esse elétron sofrerá ação de uma força que atuará de maneira que o fará alterar sua trajetória incidente, quando isso se dá, ocorre à produção de raios X. O ajuste do movimento do elétron incidente com a atração eletrostática do núcleo ocasiona numa desaceleração por parte do elétron, e

consequentemente a perda de energia de movimento que é irradiado em forma um fóton de raios X. Para esse tipo de interação o elétron poderá perder qualquer quantidade de energia (TILLY JUNIOR, 2010). A FIG.2.17 esquematiza a produção da radiação de freamento.

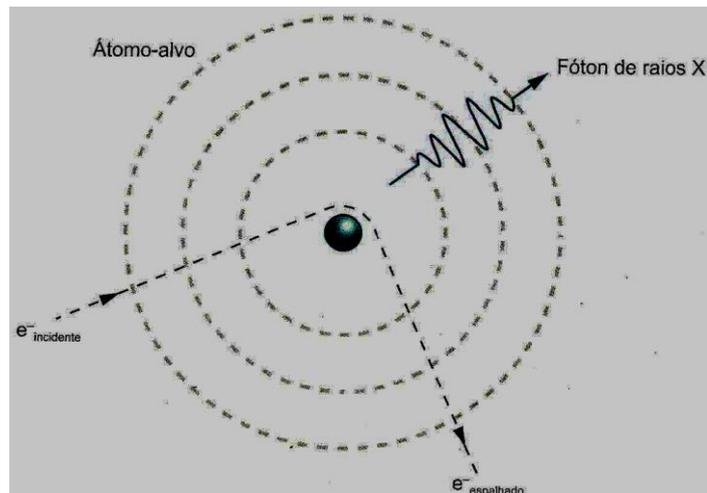


FIG. 2.17. Produção da radiação de freamento (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

2.4.2 RADIAÇÃO CARACTERÍSTICA

Quando um elétron incidente, com energia superior à energia de ligação do elétron orbital, interage, ocorre a remoção do elétron alvo gerando assim uma vacância. Essa vacância será percebida por um elétron dos orbitais mais externos que irá transicionar, ou seja, será acelerado emitindo um fóton de radiação eletromagnética que geralmente ocorrerá na faixa dos raios X. A intensidade da energia dos raios X característicos está relacionada à diferença de energia de ligação dos elétrons envolvidos na ação. Também é fato que para cada átomo a energia de ligação dos elétrons é extremamente específico, portanto a energia da camada K não é igual para todos os átomos. Com isso, a energia do fóton de raios x liberado neste processo é característica do tipo de transição ocorrida para aquele átomo em questão, ou seja, é uma radiação característica (TILLY JUNIOR, 2010). A FIG.2.18 esquematiza a produção da radiação característica.

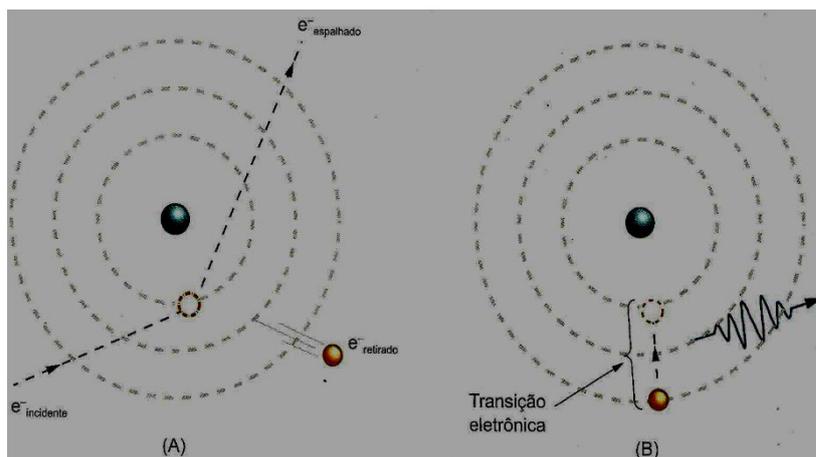


FIG. 2.18. Produção da radiação característica (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

2.4.3 ESPECTRO RADIOGRÁFICO

O formato do espectro radiográfico possui dependência de fatores preponderantes, sendo eles: a voltagem aplicada ao tubo de raios X, a forma de onda do gerador, do material de que é composto o alvo, da angulação do material do anodo e do número de filtração adicional e inerente relacionadas ao feixe que está sendo aplicado (MAGALHÃES, 2007). O espectro radiográfico é classificado como sendo a soma do espectro contínuo com o espectro característico. O formato do espectro radiográfico se apresenta sempre do mesmo modo, com alterações apenas na altura da curva e na energia máxima (TILLY JUNIOR, 2010). Os picos característicos se tornam visíveis quando se aplica tensões superiores a 60 kV , sendo os picos decorrentes da radiação característica cuja energia está relacionada a energias de ligação correspondente ao material do anodo (conforme a FIG. 2.19) (TILLY JUNIOR, 2010). De qualquer modo é importante salientar que o espectro de emissão de raios X tem o predomínio da contribuição da radiação de freamento. A FIG.2.20 ilustra o aspecto geral do espectro radiográfico.

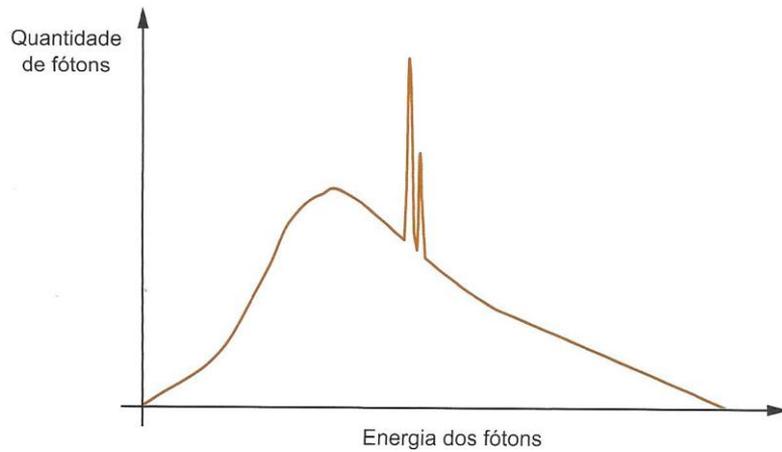


FIG. 2.19. Aspecto do espectro radiográfico (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

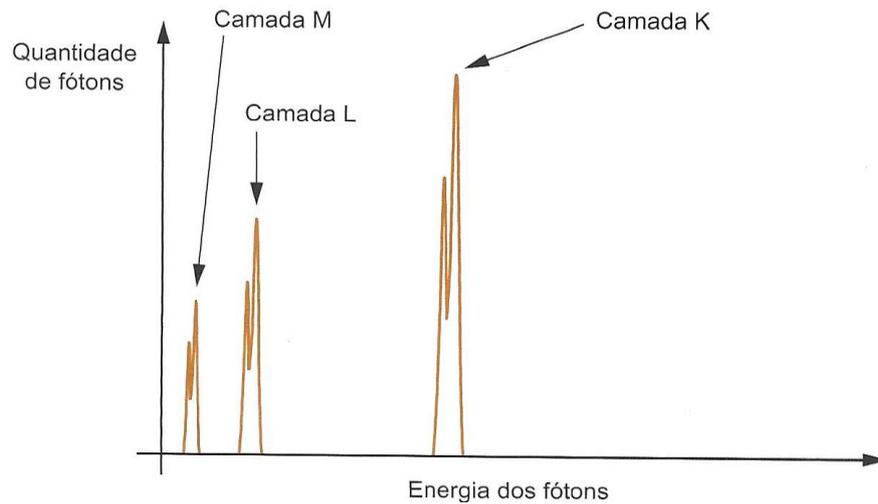


FIG. 2.20. Aspecto do espectro radiográfico (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

2.4.4 INFLUÊNCIA DOS FATORES RADIOGRÁFICOS NA IMAGEM

Tensão Radiográfica (KV)

Tida como o elemento principal pertencente à técnica radiográfica, a tensão é fundamental para determinação do espectro radiográfico. Quando o kV é aumentado, provoca alterações referentes à amplitude e às energias médias e

máximas do feixe. A tensão radiográfica é essencial, pois determina a penetrabilidade do feixe, portanto tem influência direta no contraste radiográfico (TILLY JUNIOR, 2010). A FIG.2.21 representa a alteração promovida no espectro radiográfico após a variar a tensão.

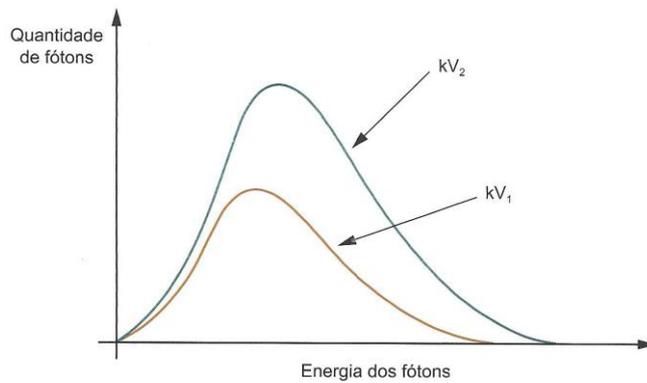


FIG. 2.21. Representação da alteração do espectro radiográfico (sem a representação do espectro característico) (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

Miliampère-Segundo (mAs)

O conjunto exposição (mAs) é o parâmetro radiográfico que possibilitar realizar o controle do número de fótons produzidos. Ao provocar mudanças no mAs, um aumento proporcional na amplitude do espectro radiográfico é gerado, de modo que a energia máxima não é modificada (TILLY JUNIOR, 2010). A FIG. 2.22 representa alteração promovida no espectro radiográfico após a variar o mAs.

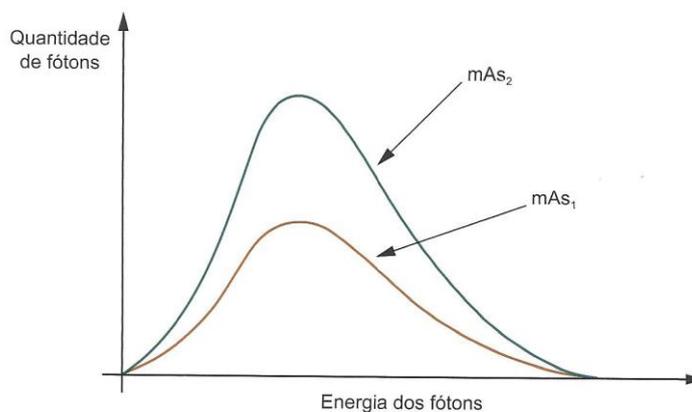


FIG. 2.22. Aspecto do espectro radiográfico (sem a representação do espectro característico) (FONTE: TILLY JUNIOR, 2010).

Filtração Inerente e Adicional

A filtração inerente é assim chamada, pois é caracterizada como sendo a soma das filtrações do cabeçote, do tubo radiográfico (em média aproximadamente 0,5 mm Al), e do colimador (em valor aproximado de 1,0 mm Al) (TILLY JUNIOR, 2010).

A filtração adicional é aquela que quando utilizada tem como função reduzir o número de fótons de baixa energia, sendo estes responsáveis pelo aumento de dose no paciente sem qualquer ganho para a melhoria da qualidade da imagem (MAGALHÃES, 2007). Também é decorrente da filtração adicional o aumento da energia média do feixe proporcionando maior penetrabilidade.

Material do Anodo

Parte importante na obtenção de um feixe de raios X, o material do anodo deve ter um número atômico (Z) grande para aumentar a eficiência da produção de radiação de freamento. Isso faz crescer o número de fótons de alta energia quando comparados aos de baixa energia. Normalmente o anodo é constituído de tungstênio ($Z = 74$), molibdênio ($Z = 42$) ou ródio ($Z = 45$).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Para a realização do trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos:

- 1 **Tubo de Raios X** (fabricante Philips, modelo PW 2185/00);
- 2 **Câmara de ionização**, (Radcal, modelo 10X5-6M);
- 3 **Eletrômetro** (fabricante Keithley, modelo 6517A);
- 4 **Lâminas de alumínio com pureza de 99,9 % e espessura variáveis de 0,1 mm a 2,0 mm** (fabricante Goodfellow);
- 5 **Telas intensificadoras** (fabricante IBF, modelo R300MM 18 cm x 24 cm);
- 6 **Trena**;
- 7 **Filmes de mamografia de fabricantes distintos**;
- 8 **Revelador e fixador** (fabricante Kodak);
- 9 **Cronômetro** (fabricante MJ – 1822 – Moure Jar);
- 10 **Termômetro digital** (fabricante Digi – Sense Scanning Thermometer);
- 11 **pHmetro** (modelo PH - 107, alcance de 0.0 até 14.0 pH);
- 12 **kit de retenção de tiosulfato** (Hypo – fabricante Kodak);
- 13 **Densitômetro** (Densix, modelo 603, fabricante PTW FREIBURG);
- 14 **Sensitômetro** (Sensix, modelo 4071, fabricante PTW FREIBURG) e
- 15 **Processadora automática** (MAMORAY CLASSIC, modelo 1754, fabricante AGFA).

3.2 CÂMARA ESCURA

Perfeitas condições de funcionamento da câmara escura são extremamente necessárias para que se possa garantir a qualidade de uma imagem radiográfica. É importante ressaltar que uma câmara escura em condições corretas de operação

coopera para a obtenção de menor exposição do paciente, assim como para a diminuição de gastos relacionados aos produtos químicos (revelador e fixador) e a manutenção dos equipamentos (LIZ, 2007).

Para a constatação de que a câmara escura está em ótimas condições de utilização, é necessária a aplicação de testes que verifiquem o estado da câmara escura, e que se forem satisfatórios poderão garantir ótimas condições de operação.

Com isso, testes de verificação de *fog* da câmara escura foram realizados no interior da câmara. Os procedimentos adotados foram encadeados do seguinte modo. Primeiramente um filme é sensibilizado, com a utilização de um sensitômetro, sendo então geradas tiras de 21 degraus, após isso o filme é imediatamente processado. As condições de sensibilização e processamento deste filme ocorrem com a luz de segurança apagada e longe de qualquer fonte luminosa. Este filme então passa a ser descrito como sendo o filme processado em zero minuto, portanto a curva característica deste filme será a curva de comparação, ou curva padrão. Depois o procedimento é repetido para outros 3 filmes, sendo estes sensibilizados e processados após ficarem expostos sobre a bancada da câmara escura nos tempos de 1, 2 e 4 minutos (MAGALHÃES,2001). Com isso, os filmes processados têm suas densidades ópticas determinadas pelo uso de um densitômetro, sendo estas então relacionadas ao tempo de exposição na câmara escura para cada filme. A resposta dos testes deve ser tal que a diferença de DO dos filmes submetidos aos testes, não sejam superiores a 0,05 quando feita a comparação com a curva do filme que não tem *fog* (filme processado imediatamente).

3.3 PROCESSADORA

O processamento automático se dá através de um sistema eletromecânico que tem como objetivo promover a redução do tempo de revelação de um filme radiográfico, além de garantir uma revelação mais segura e de modo padronizado. Portanto para que as vantagens oferecidas pelo processamento automático sejam de fato aproveitadas, é necessário operar a processadora automática em conformidade com as recomendações do fabricante da processadora. Também é extremamente relevante o planejamento e a execução de um controle da qualidade

para que caso haja alguma falha no sistema, a mesma possa ser prontamente detectada.

Para o monitoramento do funcionamento da processadora automática, além do cuidado com a parte mecânica, é necessário à realização de testes que verifiquem a qualidade dos produtos químicos, ou seja, os agentes responsáveis pelo processo de revelação. Para isso testes de pH e controle da temperatura foram realizados diariamente como seguem abaixo:

- **Teste de pH**

O controle dos produtos químicos utilizados para o processamento foram feitos através da verificação do pH (revelador e fixador). Para o monitoramento utilizou-se um pHmetro. Este foi mergulhado na solução durante ± 1 minuto (MAGALHÃES, 2001). Após é realizada a limpeza do instrumento (para evitar a contaminação) e depois o mesmo é utilizado no outro tanque contendo a outra solução.

- **Temperatura**

A processadora automática já possui, um termômetro digital conectada a ela que disponibiliza a temperatura do revelador e fixador. Após ligar a processadora foi aguardado aproximadamente 30 minutos de modo que a temperatura nos tanques da processadora pudesse ser estabilizada. Com isso foram registrados os tempos para os produtos químicos (revelador e fixador) a cada processamento da imagem realizado

Com intuito de promover um bom funcionamento da processadora, se faz necessário ter um condicionamento mínimo da máquina. Este condicionamento possui relação com as seguintes ações realizadas:

- 1) A preparação correta das soluções obedecendo às especificações do fabricante da processadora;
- 2) A realização da limpeza quinzenal dos rolos e guias dos filmes;

- 3) O uso separado do material de limpeza (esponjas, panos, etc.) estes com identificados para o uso em cada solução química;
- 4) Fez-se uso somente de água filtrada para a lavagem dos filmes e mistura dos produtos químicos;
- 5) Após desligar a processadora, a tampa da mesma foi deixada aberta para evitar a contaminação dos produtos químicos;
- 6) Os filmes foram guardados sob condições adequadas como temperatura entre 10 e 21°C, e umidade entre 30 e 50%. As caixas de filmes foram armazenadas na posição vertical.

3.4 PROCESSAMENTO DA IMAGEM

O controle da qualidade requer também testes que verifiquem a combinação existente entre processadora, produtos químicos e filmes. Efeitos decorrentes do mau ajuste entre esses três elementos podem ocasionar um subprocessamento, o que pode gerar danos à imagem e implicar em aumento de dose para o paciente. Com isso, testes como retenção de tiosulfato e medição do tempo de processamento se fazem necessários.

- **Verificação de retenção de tiosulfato**

A avaliação da quantidade de tiosulfato retida no filme após o processamento foi feita com o uso do teste do hypo. Para isso processamos um filme sem que o mesmo tenha sido exposto a qualquer radiação, e logo em seguida o filme foi colocado sobre a bancada branca da câmara escura onde uma pequena quantidade da solução do teste (hypo) foi pingada justamente sobre a emulsão do filme. Depois de passados 2 minutos, houve o aparecimento de uma mancha sendo está comparada com uma tabela de cores disponibilizada pelo fabricante do hypo. Após a comparação foi possível constatar qual a tonalidade de cor da tabela mais se

aproxima da tonalidade obtida com a mancha e assim estimar a quantidade de tiosulfato retido no filme.

- **Tempo**

O tempo de processamento foi medido com a utilização de um cronômetro, o mesmo foi acionado no momento em que o filme foi posto na entrada da processadora, sendo o cronômetro interrompido após o filme atravessar toda a processadora e sair totalmente seco (tempo seco a seco). Após o filme cair na bandeja o cronômetro foi imediatamente parado.

- **Sensitometria**

Para estabelecer as condições iniciais para se obter os parâmetros de processamento, ou seja, base+fog, velocidade e contraste, foram obtidas por 3 dias subsequentes tiras sensitométricas. Para isso selecionou-se uma caixa de filmes e somente daquela caixa foram retirados os filmes que seriam sensibilizados por um sensitômetro dentro da câmara escura. Após o filme revelado, foram medidas as densidades ópticas dos 21 degraus obtidos e feita a média dos degraus de base+fog, sensibilidade e contraste para cada tira obtida em 3 dias.

Para a densidade óptica base+fog, a mesma foi determinada pelo degrau 1 da tira. Já os degraus de sensibilidade foram escolhidos aquele que cujo valor mais se aproxima da densidade 1+base+fog (geralmente são verificados nos degraus 10, 11 ou 12). O degrau de contraste foi determinado após encontrar o degrau de sensibilidade e somado a estes quatro degraus (10+4,11+4 ou 12+4). Assim foram determinados os limites para a realização da sensitometria para o controle do processamento dos filmes.

3.4.1 AÇÕES REFERENTES À PROCESSADORA AUTOMÁTICA

Os procedimentos referentes à processadora automática foram executados diariamente num período de aproximadamente 15 dias, sendo este o tempo em que

as soluções químicas (revelador e fixador) mantiveram suas atividades químicas adequadas para o uso. Segue abaixo os parâmetros verificados:

- a) Medição da temperatura dos tanques de revelação, fixação e lavagem com o auxílio do termômetro digital;
- b) Medição do tempo de processamento;
- c) Teste de retenção de tiosulfato;
- d) Testes referentes à vedação luminosa da câmara escura;
- e) Medições de pH das soluções em uso.

3.5 SENSITOMETRIA DE RAIOS X

Com o intuito de garantir a menor dose para os pacientes, é necessário abordar aspectos que visam a melhor qualidade dos filmes de mamografia utilizados no serviço radiológico. Para isso, parâmetros importantes como: velocidade, gradiente médio, latitude e base+fog, foram analisados de modo a qualificar esses filmes quanto à qualidade da imagem. Sendo assim, curvas características referentes aos filmes de mamografia estudados foram levantadas, em parte, com algumas aplicações citadas na literatura ISO 9236-3.

Para a realização do estudo foram utilizados quatro filmes de diferentes fabricantes e dois cassetes, como na TAB. 3.1. Para a exposição foi feito uso do tubo metrológico de raios X para as faixas de tensão utilizadas em exames de mamografia, instalado no LCR/UERJ, cuja material do anodo é composto de molibdênio (Mo), onde foram empregadas as seguintes qualidades de feixes de radiação para mamografia, sendo estas: 25 kV, 28 kV (este sendo o valor de referência estabelecido pela ISO 9236-3), 30 kV e 35 kV, conforme a TAB 3.1.

TAB. 3.1 Qualidade do feixe para a determinação da curva característica com e sem écran.

Qualidade do feixe	Voltagem do tubo (kV)	HVL (mm Al)
I	25	0,56
II	28	0,61
III	30	0,63
IV	35	0,70

1-Material do anodo: molibdênio (Mo)

2-Filtração adicional utilizada: 0,03 mm Mo + 1,8 mm Al

O material do qual é composto à janela do tubo teve a sua atenuação desconsiderada como filtração inerente. Com isso só foi considerada apenas a filtração adicional, como sendo de 0,03 mm Mo + 1,8 mm Al. O alumínio utilizado possui pureza de 99,9% (ISO 9236-3,1999).

3.5.1 GEOMETRIA PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA DOS FILMES DE MAMOGRAFIA.

A fim de obter as curvas características com as qualidades já mencionadas, foi feito o uso do tubo de raios X, juntamente com uma câmara monitora, uma câmara de ionização e a filtração adicional citada, tudo conforme o arranjo mostrado na FIG. 3.1. Para que fosse possível obter a modulação da intensidade do feixe e assim poder produzir as densidades ópticas, fixou-se o colimador e a filtração adicional tendo como referencial o ponto focal do tubo. Depois também foi fixada a câmara de ionização, o filme foi posicionado ora sozinho, ora dentro do cassete, a uma distância fixa de 100 cm em relação ao ponto focal. Fazendo-se uso dessa distância, sabe-se que o espalhamento não trará influências significativas nos resultado, já que a **International Standardization for Organization** (ISO 9236-3,1999), tolera que as medições sejam realizadas até 3 metros do tubo. Com o objetivo de limitar a área

exposta do filme de mamografia foi utilizado uma máscara de chumbo que possui uma abertura circular com 10 mm de diâmetro, alinhada com a janela do tubo utilizando-se um laser. É importante frisar que a abertura do colimador é ampla de modo suficiente que a penumbra do feixe produzido fique fora do volume sensível da câmara de ionização. Para as exposições sem o écran, os filmes foram colocados dentro de um plástico preto e lacrados para vedar a entrada de luz. Logo em seguida o filme era posicionado a 100 cm do ponto focal e fixado e suspenso por um suporte de altura regulável. Depois, foram colocados dois filtros sendo um de alumínio de espessura de 1,8 mm de Al e outro de 0,03 mm de Mo como filtração adicional. Com o posicionamento correto e alinhado as irradiações eram feitas para cada tempo escolhido.

Após cada exposição, o filme era deslocado na direção horizontal de modo que outra área do filme pudesse ser irradiada e assim fossem obtidas as diferentes densidades, ou seja, os diferentes graus de enegrecimento para cada tempo de exposição. O mesmo procedimento foi realizado para as exposições com écran como mostra a FIG. 3.1. De posse das áreas irradiadas os filmes eram imediatamente levados para a câmara escura e processados. Depois as densidades ópticas eram lidas com a ajuda de um densitômetro e as informações armazenadas em planilhas do Excel.

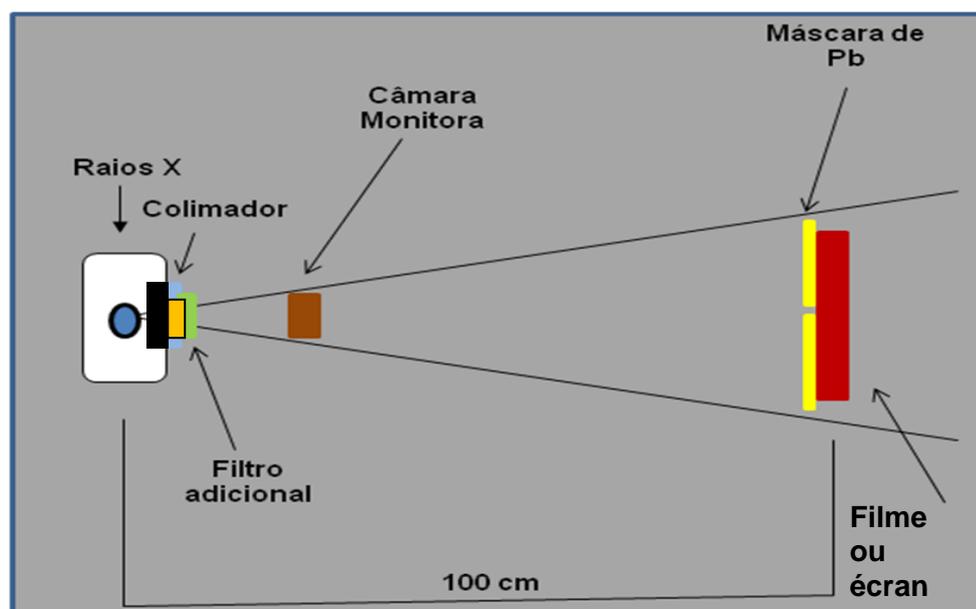


FIG. 3.1: Arranjo do experimento utilizado para obter a curva característica fazendo uso do tubo de raios X do LCR/UERJ. Distância fixa.

3.5.2 EXPOSIÇÃO

Para obter as densidades ópticas, ou seja, para modular a intensidade do feixe de radiação, optou-se por variar apenas o conjunto exposição. Portanto variou-se o tempo de exposição para cada qualidade do feixe de raios X aplicada, de modo que diferentes graus de enegrecimento nos filmes testados fossem obtidos. Para obter-se o kerma referente a cada densidade óptica obtida, a câmara de ionização foi posicionada à mesma distância do filme exposto, ou seja, a 100 cm (distância do filme em relação ao ponto focal) e feita à irradiação. A partir daí, de posse das densidades ópticas e de seus respectivos kerma, foram obtidas as curvas características $[\log(\text{Kerma}) \times \text{DO}]$ para cada filme de mamografia nas qualidades de 25 kV, 28 kV, 30 kV e 35 kV. A FIG 3.2 exemplifica o posicionamento da câmara de ionização durante a exposição.

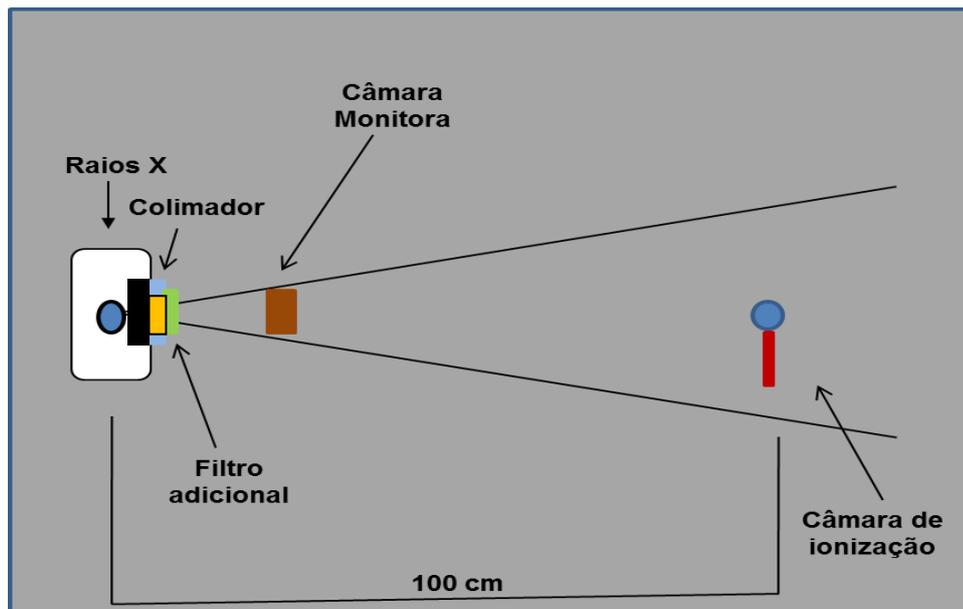


FIG. 3.2: Arranjo do experimento utilizado para obter o kerma no ar para cada qualidade do feixe aplicada fazendo uso do tubo de raios X do LCR/UERJ.

As exposições foram realizadas de modo ininterruptas somente para as tensões maiores, pois o tempo de irradiação para que fossem obtidas as densidades de saturação nas faixas de energia de 30 kV e 35 kV eram menores. Já para as tensões menores, como 25 kV e 28 kV, os tempos de irradiação utilizados eram

bastante elevados para se chegar à saturação da curva, por isso nesses casos as exposições não foram ininterruptas. Os tempos utilizados durante a irradiação estiveram entre 3 segundos e 1200 segundos para os filmes expostos sem o uso das telas intensificadoras. Para o levantamento das curvas características, foram realizadas de 14 a 23 exposições considerando as faixas de 25 kV a 35 kV, sendo estas distribuídas numa escala logarítmica nos quais foram relacionadas suas densidades ópticas correspondentes, onde as mesmas variaram entre 0,25 e 4,1. Esse procedimento foi repetido para as técnicas selecionadas, e com isso, foram obtidas as curvas características para as qualidades mencionadas.

3.5.4 DETERMINAÇÃO DO GRADIENTE MÉDIO

O gradiente médio possui forte relação com as condições em que a imagem foi processada, além do armazenamento do filme e também com o tipo de filme utilizado (FERREIRA, 2007). Para a determinação desse parâmetro utilizou-se a seguinte equação:

$$\bar{G} = \frac{D_2 - D_1}{\log_{10} K_2 - \log_{10} K_1} \quad (3.1)$$

onde:

D_2 e D_1 são densidades cujos valores estão entre 0,25 e 2,0 respectivamente.

K_2 e K_1 são os correspondentes valores de kerma retirados da curva sensitométrica.

3.5.5 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE OU SENSIBILIDADE

A sensibilidade ou velocidade é um parâmetro que caracteriza a necessidade de um determinado filme de requerer mais ou menos exposição, quando comparado a outro filme, para que se possa produzir a mesma densidade óptica. Esse parâmetro foi determinado fazendo uso da seguinte equação:

$$S = \frac{K_0}{K_s} \quad (3.2)$$

onde:

K_0 é 10^{-3} Gy;

K_s é o kerma cuja a densidade óptica mais se aproxima 1.

3.5.6 TUBO DE RAIOS X UTILIZADOS NAS EXPOSIÇÕES

O tubo de raios X utilizado para irradiar os filmes de mamografia durante os testes possui alvo de molibdênio e janela de berílio, sendo este alimentado por um gerador de alta frequência. Toda a emissão realizada é controlada pelo *shutter*, sendo este um dispositivo eletromecânico de fechamento e abertura. As medições de kerma no ar, são feitas por duas câmaras de ionização de placas paralelas, sendo uma como padrão (com fator de calibração de 4,789 mGy/nC) e a outra de transmissão para monitorar o feixe, conectadas a eletrômetros de alta resistência. As grandezas como: temperatura, pressão e umidade, são medidas por sensores dispostos na sala onde ocorrem as irradiações. Trata-se de um sistema de calibração já testado e controlado, logo não houve a necessidade da realização de testes de avaliação do equipamento de raios X, como por exemplo: grau de homogeneidade do campo, a contribuição do espalhamento e o valor das camadas semi-redutoras. As camadas semi-redutoras utilizadas neste trabalho foram obtidas do seguinte trabalho: ***Implantação das Qualidades de Radiação para Mamografia***

Segundo os Critérios de IEC 61627 e do TRS 457 (PIRES, DAVID, DE ALMEIDA, PEIXOTO, 2009). A FIG. 3.3 apresenta algumas partes do tubo metrológico de mamografia do LCR, ou seja, o mesmo utilizado para irradiar os filmes testados.

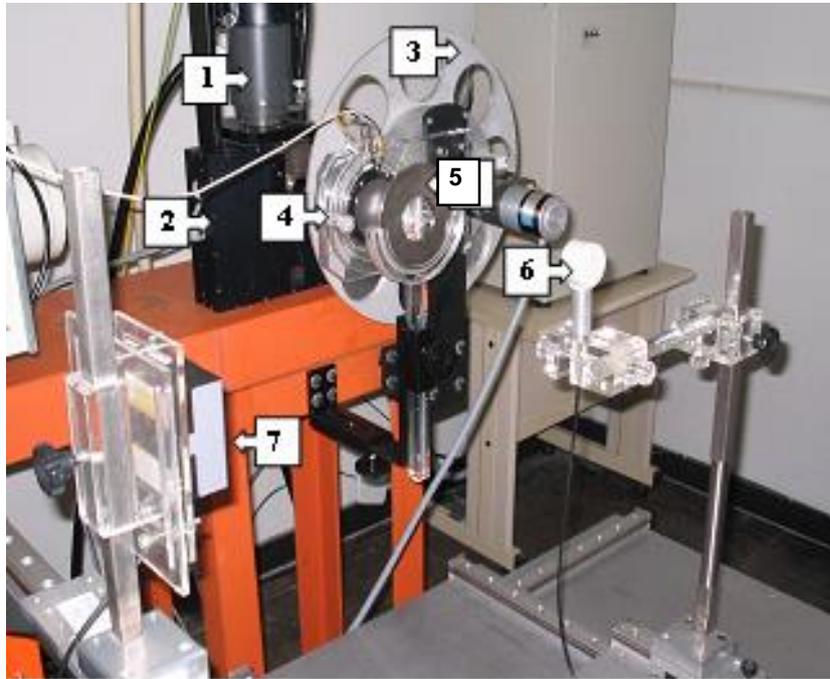


FIG. 3.3: Arranjo experimental: (1) tubo de raios X, (2) *shutter*, (3) roda de filtro, (4) câmara de ionização monitora, (5) segundo colimador, (6) câmara de ionização padrão para mamografia presa ao suporte e (7) aparelho laser. (FONTE: PIRES, DAVID, DE ALMEIDA, PEIXOTO, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROCESSAMENTO DO FILME

As FIG. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 remetem as condições de processamento dos filmes avaliados. O processamento da imagem pode gerar sérias consequências em parâmetros importantes como: contraste e sensibilidade. Sabendo disso, um controle do processamento foi feito de modo que elementos importantes do processamento fossem monitorados e analisados. A FIG. 4.1 mostra que a temperatura do revelador se manteve dentro dos limites aceitáveis durante o processamento, ou seja, com variação inferior a $0,3^{\circ}\text{C}$ do tempo determinado pelo fabricante da processadora. As FIG. 4.2 e 4.3 mostram que o pH das soluções reveladora e fixadora, estiveram dentro dos limites aceitos. Isso caracteriza que as soluções químicas não estavam velhas ou preparadas de modo incorreto.

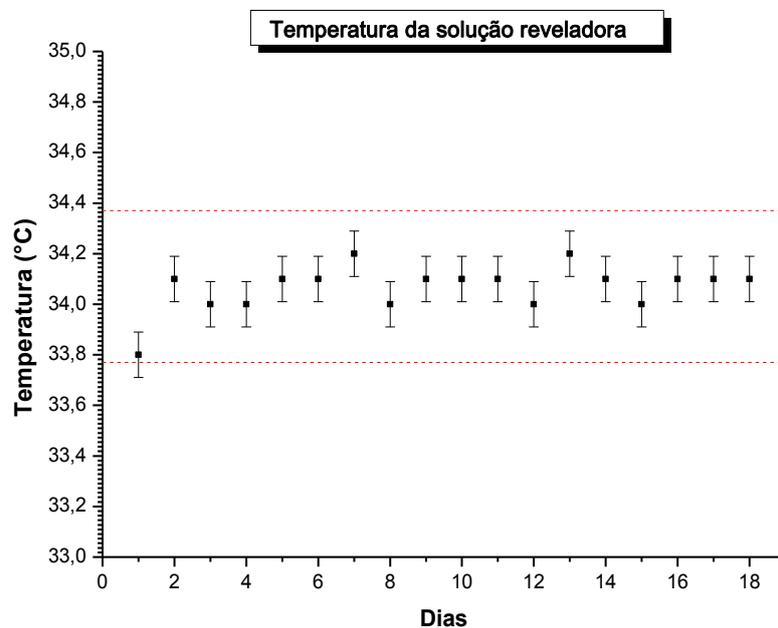


FIG. 4.1: Gráfico da temperatura do revelador da processadora.

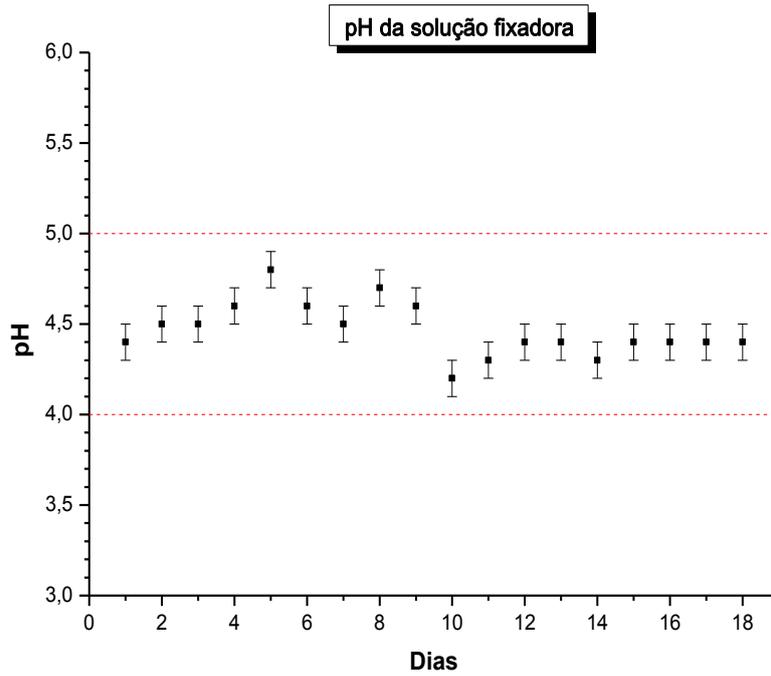


FIG. 4.2: Gráfico do pH da solução fixadora.

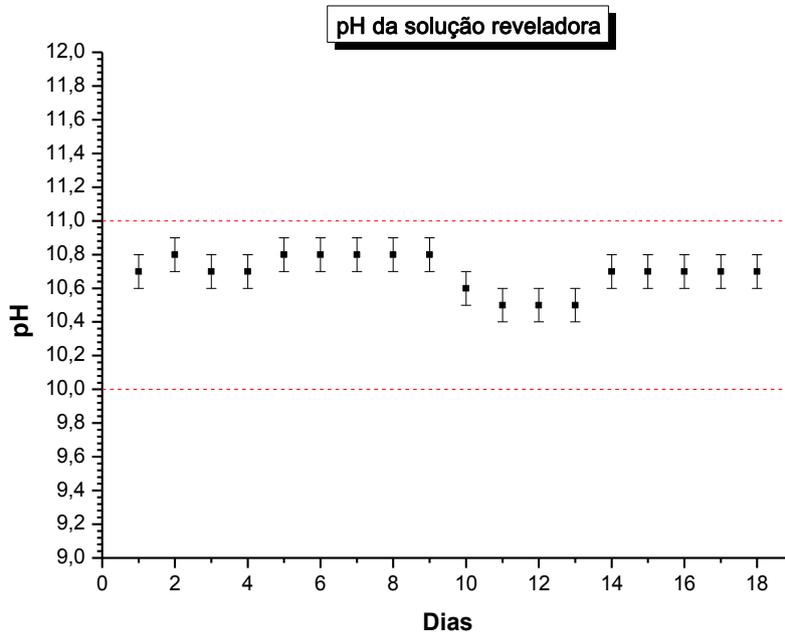


FIG. 4.3: Gráfico do pH da solução reveladora.

A FIG 4.4 mostra que as densidades base+fog mantiveram-se abaixo do valor limite de 0,27. Apenas no quarto dia houve aumento significativo da densidade que possivelmente tenha sido ocasionado por alguma falha na emulsão do filme.

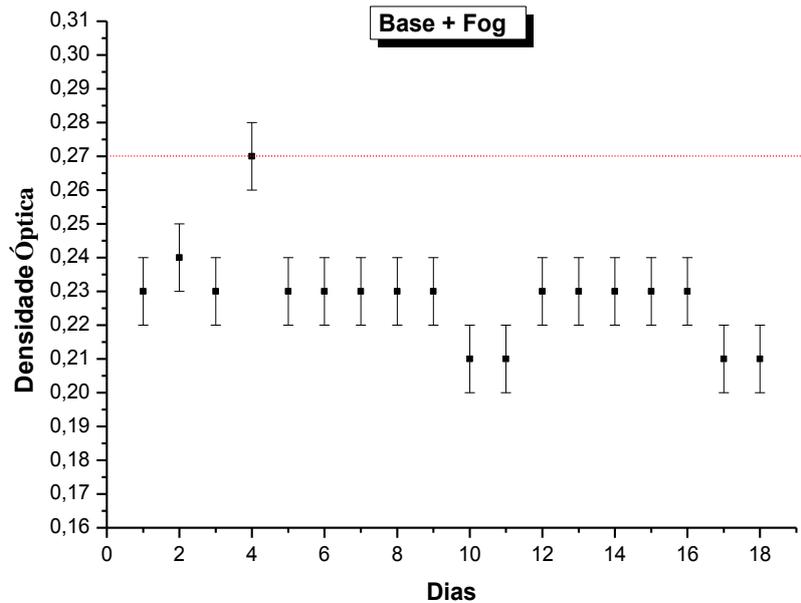


FIG. 4.4: Gráfico base+fog.

As FIG. 4.5 e 4.6 apresentam a variabilidade dos índices de contraste e de velocidade. Os testes sensitométricos mostram que os valores estiveram dentro dos limites. Somente no quarto dia houve variação dos referidos índices, o que indica, novamente, uma possível falha na emulsão do filme utilizado no teste sensitométrico deste dia.

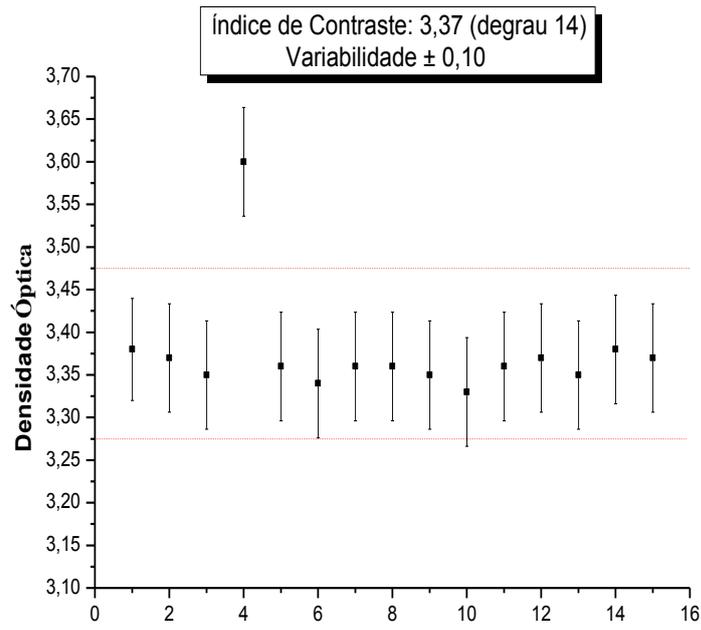


FIG. 4.5: Gráfico índice de contraste.

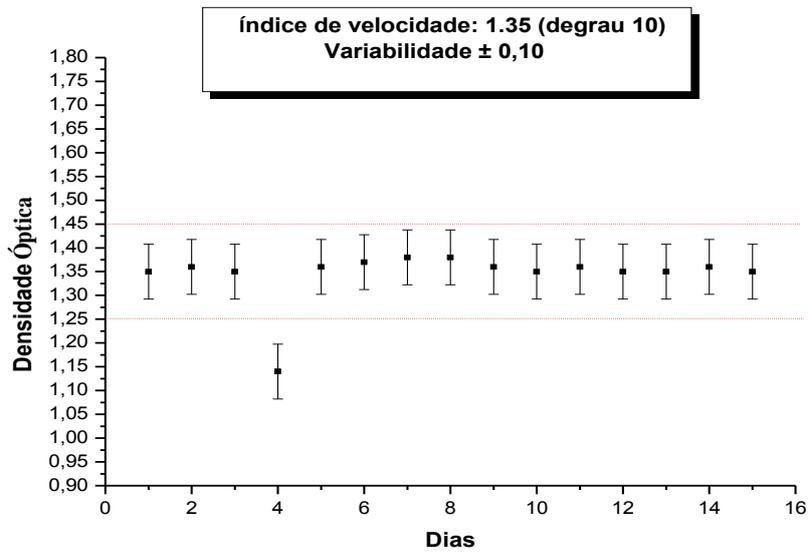


FIG. 4.6: Gráfico índice de velocidade.

As FIG. 4.7 e 4.8 apresentam a variabilidade do tempo de processamento e do nível de fog da câmara escura. O tempo de processamento manteve-se abaixo do limite de 3% do tempo determinados pelo fabricante da processadora, o que confere que o tempo de imersão dos filmes nas soluções químicas está em conformidade com as especificações. Já o nível de *fog* da câmara escura apresentou variação de densidade óptica acima de 0,05 somente para o tempo de 4 minutos, o que garante que a câmara escura está em boas condições de operação. Com a análise desses fatores relacionados ao processamento, pode-se garantir que o processamento não influenciou nos resultados obtidos na avaliação dos filmes.

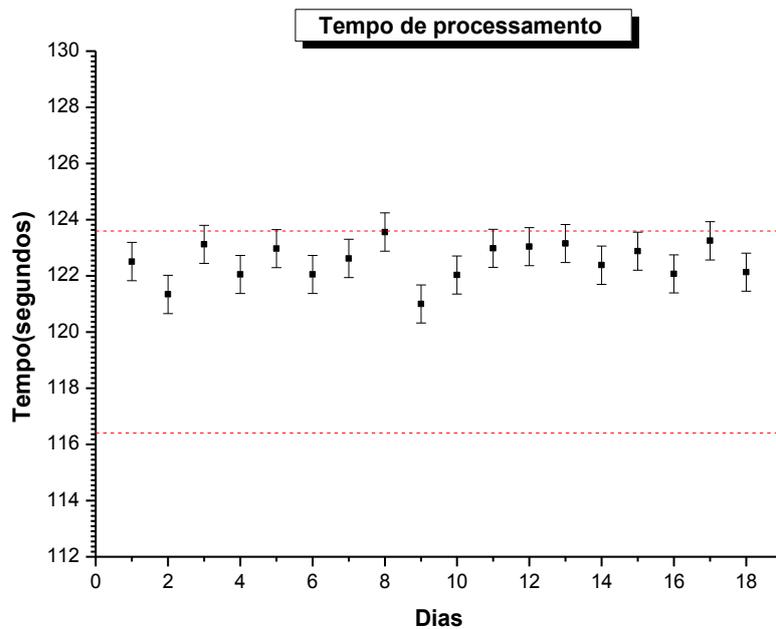


FIG. 4.7: Gráfico tempo de processamento

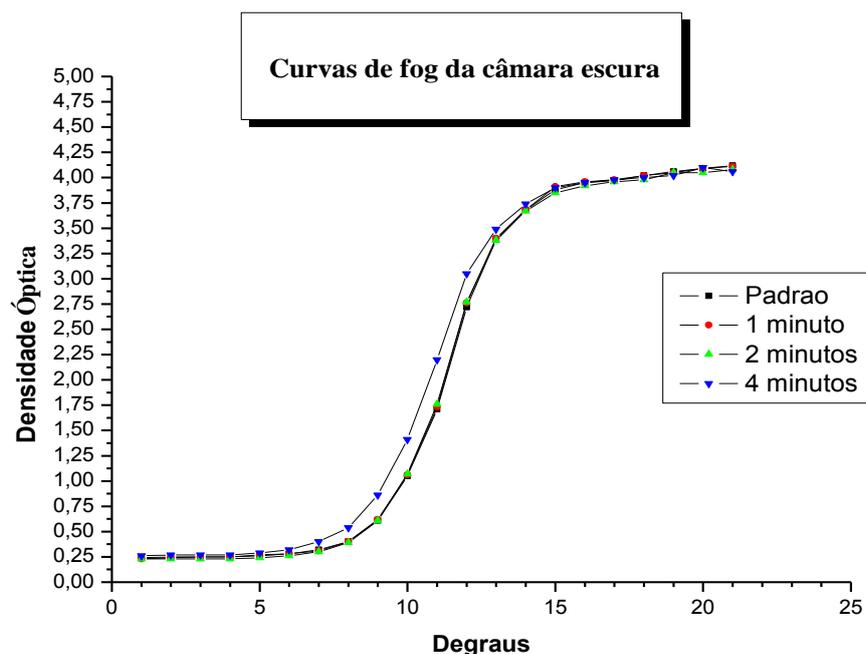


FIG. 4.8: Gráfico nível de fog da câmara escura

A TAB. 4.1 apresenta as densidades da mancha e os valores estimados em gramas de íons de tiosulfato por metro quadrado correspondente a cada densidade encontrada após o teste do hypo. Para o teste realizado, observamos com o auxílio do negatoscópio, que a densidade da mancha averiguada é a de número 1, ou seja, 0,01 g/m² de íons de tiosulfato de sódio. Esta quantidade estimada está dentro do limite aceito de retenção tiosulfato determinado pelo fabricante do material de teste. Conclui-se que a processadora realiza ótima lavagem dos filmes, e com isso, consegue retardar a degradação da imagem. Este é mais um indicativo de que o processamento automático atuou de modo correto e sem influenciar nos resultados de avaliação dos filmes.

TAB. 4.1 Teste de verificação da quantidade de tiosulfato no filme após o processamento.

Densidade da mancha	Quantidade estimada de gramas de íons de tiosulfato por m ² (g/m ²)
1	0,01
2	0,02 (Limite aceito)
3	0,05
4	0,12
Mancha averiguada	Quantidade
1	0,01

4.2 AVALIAÇÕES REALIZADAS PARA AS TRÊS MARCAS DE FILMES AVALIADAS SEM A UTILIZAÇÃO DO ÉCRAN

Com objetivo de analisar e observar as formas das curvas características dos filmes das três marcas testadas sem o uso do écran, foi usado o arranjo experimental apresentado nas FIG. 3.1 e 3.2. Com isso foram obtidas as curvas características para as qualidades de 25 kV, 28 kV, 30 kV e 35 kV. O kerma no ar variou de 0,07 mGy a 58 mGy. Os valores foram obtidos variando-se apenas as exposições e manteve-se o filme a uma distância fixa do tubo de raios X. O formato das curvas características é um representativo da qualidade da imagem, ou seja, refere-se à resposta do filme a exposição realizada. A TAB. 4.2 apresenta os valores dos fatores de correlação das curvas sensitométricas para os filmes sem o écran. Apenas o filme 3 apresentou valor de correlação de menor ajuste para a tensão de 25 kV. Isso indica uma resposta à exposição para este filme inferior quando comparada aos filmes 1 e 2. Os fatores de correlação foram obtidos com o uso do programa OrigimPro 8. As FIG 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 exibem as curvas características dos filmes avaliados.

TAB. 4.2 Fatores de correlação para as curvas características para filmes sem écran.

Qualidade	Filmes	Fator de Correlação
25 kV – 30 mA	1	0,99985
	2	0,99961
	3	0,99758
28 kV – 20 mA	1	0,99818
	2	0,99969
	3	0,99973
30 kV- 30 mA	1	0,99967
	2	0,99974
	3	0,99933
35 kV – 30 mA	1	0,99963
	2	0,99972
	3	0,99988

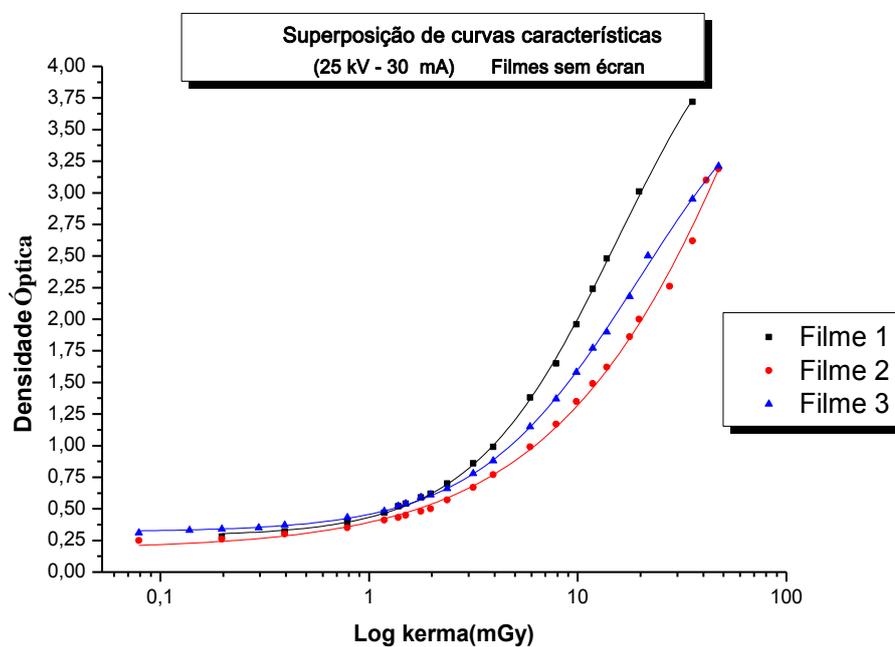


FIG. 4.9: Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a três fabricantes e sem o uso do écran para o feixe de 25 kV.

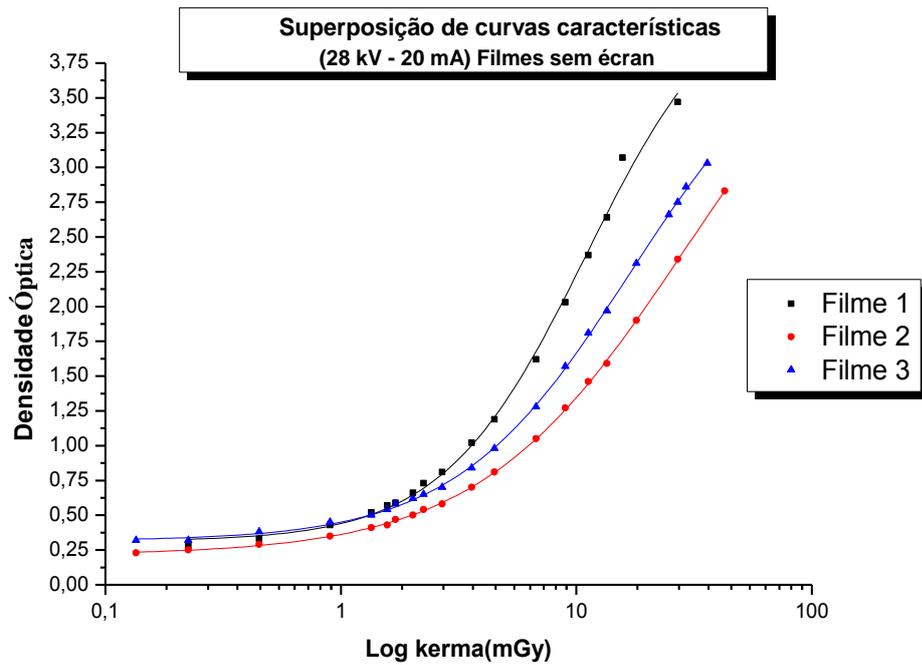


FIG. 4.10: Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a três fabricantes e sem o uso do écran para o feixe de 28 kV.

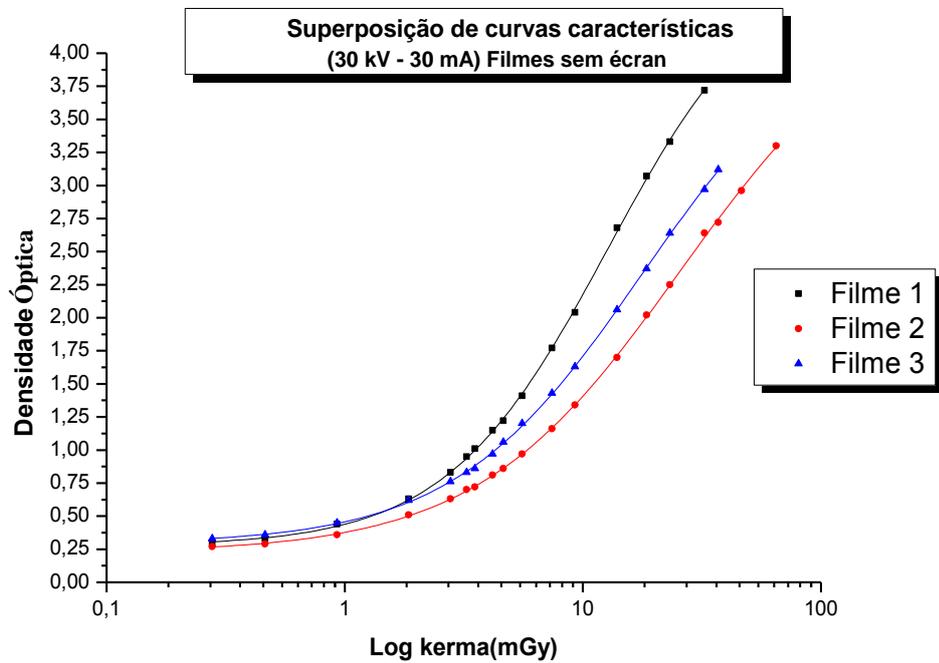


FIG. 4.11: Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a três fabricantes e sem o uso do écran para o feixe de 30 kV.

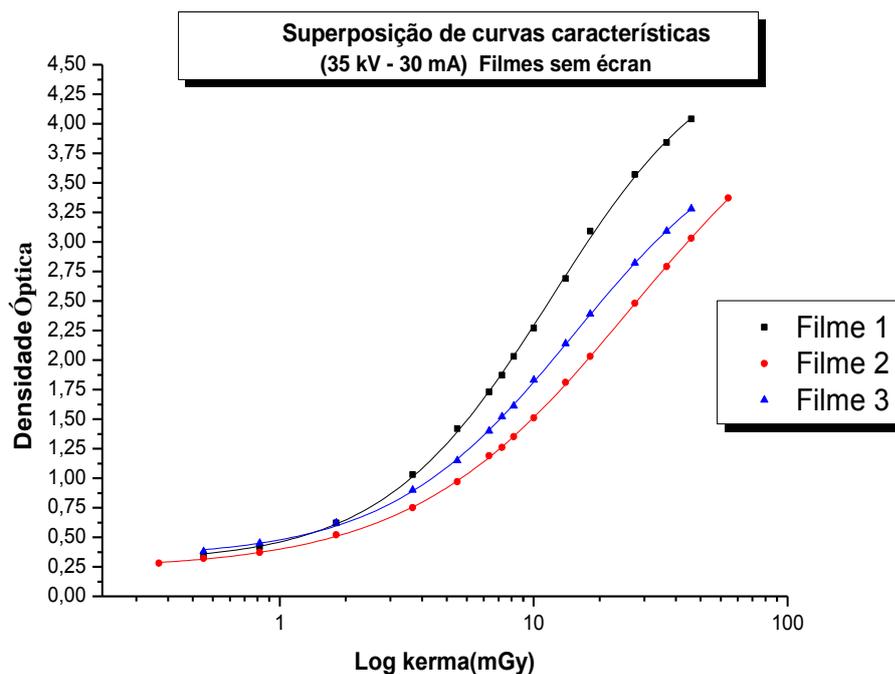


FIG. 4.12: Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a três fabricantes e sem o uso do écran para o feixe de 35 kV.

As curvas características dos filmes avaliados sem o uso do écran apresentaram as mesmas características para todas as qualidades do feixe de radiação aplicadas. Foi notado apenas uma leve inclinação das curvas, em relação à abcissa, quando era aumentada a energia do feixe. As curvas referentes ao filme 1, em todas qualidades aplicadas, apresentou menor latitude em relação aos outros filmes, ou seja, a emulsão deste filme possui menor capacidade de registrar um longo alcance de tons de cinza, isso resulta em um filme de mamografia de alto contraste. É importante ressaltar que quanto maior for o contraste da imagem em exames de mamografia melhor será a observação de microcalcificações, podendo este filme favorecer ao ótimo diagnóstico.

O filme 2 apresentou discreta diferença de sensibilidade quando comparada aos demais filmes. O filme 2 se mostrou um pouco mais lento em relação às outras marcas de filme, portanto requer maior exposição para atingir uma mesma densidade óptica quando comparado aos filmes 1 e 3.

4.3 AVALIAÇÕES REALIZADAS PARA QUATRO MARCAS DE FIMES AVALIADA COM O USO DO ÉCRAN

As FIG. 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16, apresentam as curvas com o uso do écran durante as exposições. Esta é a situação que mais se aproxima do cotidiano das salas de exame, pois o écran intensifica a quantidade de luz que sensibiliza o filme, reduzindo a dose no paciente e por isso deve ser utilizado.

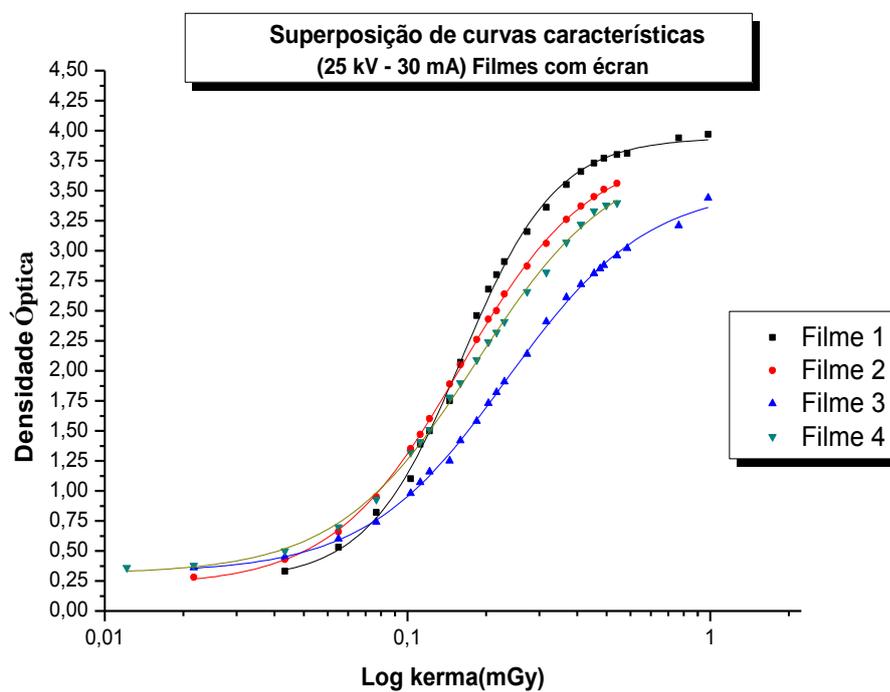


FIG. 4.13: Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a quatro fabricantes com o uso do écran para o feixe de 25 kV.

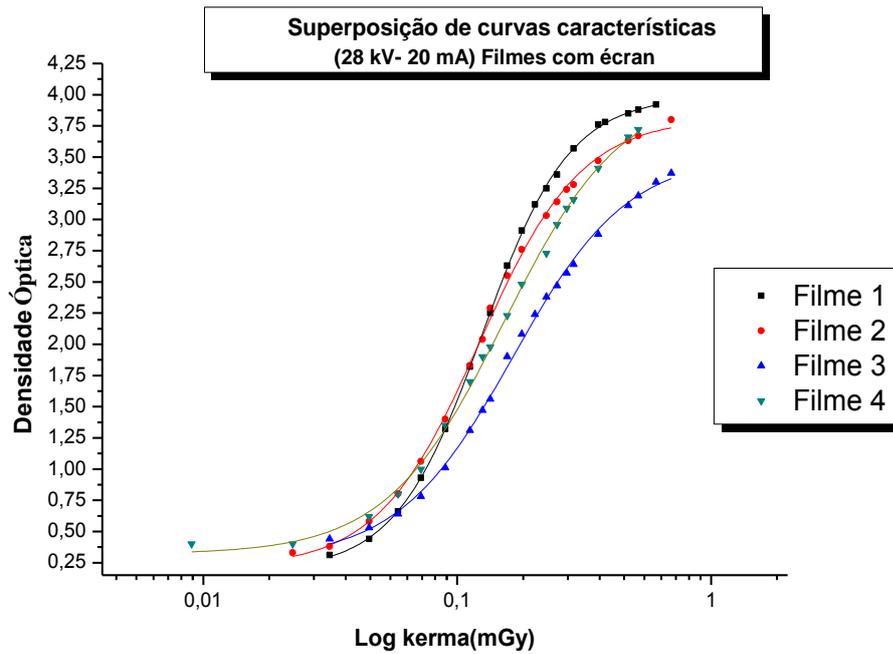


FIG. 4.14: Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a quatro fabricantes com o uso do écran para o feixe de 28 kV.

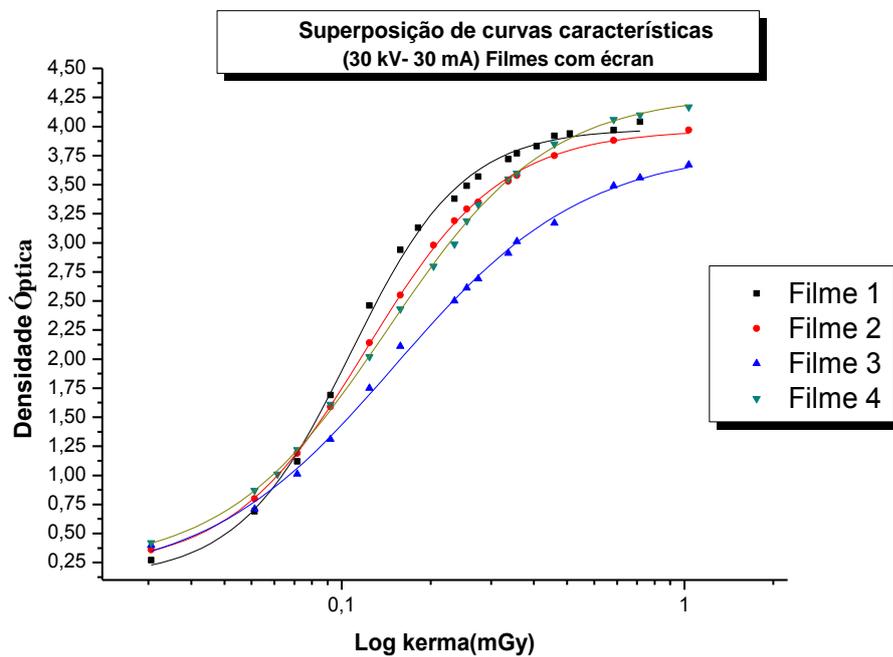


FIG. 4.15: Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a quatro fabricantes com o uso do écran para o feixe de 30 kV.

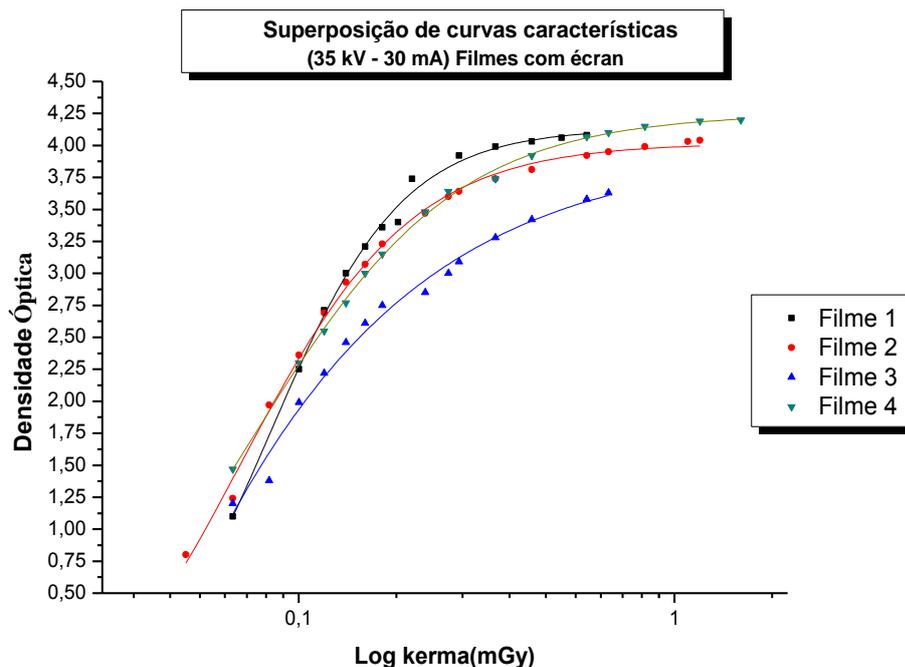


FIG. 4.16: Curvas sobrepostas para filmes pertencentes a quatro fabricantes com o uso do écran para o feixe de 35 kV.

A curva característica do filme 3 apresentou comportamento diferenciado para todas as qualidades de feixe apresentadas. O filme 3 obteve um aumento de sua latitude quando comparada ao filme 2 sem a utilização do écran. Isso mostra que o filme 3 tem maior dependência energética, ocasionando instabilidade no filme podendo gerar modificações de contraste na imagem. Com latitude maior (maior tons de cinza), o filme 3 pode dificultar a visualização de pequenas estruturas gerando assim prejuízo ao diagnóstico. A curva característica do filme 1 novamente mostrou-se com maior inclinação para o eixo das densidades, ou seja, maior contraste quando comparado aos outros filmes, portanto manteve o comportamento descrito quando foi irradiada sem o écran, apresentado assim maior estabilidade com menor variação de sensibilidade e contraste. Portanto mais uma vez a curva do filme 1 apresentou melhor formato em relação aos outros filmes exemplificando assim ser o filme que possivelmente irá proporcionar uma imagem com o melhor contraste. A curva do filme 4 mostra que este obteve maior densidade base+fog para todos potenciais aplicados, com isso este filme também apresentará problemas em seu contraste. A FIG. 4.16 apresenta curvas onde às densidades de base+fog, dos quatros filmes testados, aparecem na região linear da curva sensitométrica. Isso

pode acarretar problemas para o contraste da imagem quando tais filmes forem utilizados em exames que requeiram maior tensão, principalmente exames para mamas mais espessas.

4.4 DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA

A FIG. 4.17 ilustra o gráfico da dependência energética. A dependência foi determinada mantendo fixo o valor do kerma em 1 mGy e correlacionando as densidades ópticas para esse kerma com as camadas semi-redutoras referentes a cada potencial aplicado. O filme 1, como já se observou na análise das curvas sensitométricas, apresenta ser mais estável frente as mudanças de potencial aplicada. Portanto é um filme mais confiável para a realização de diagnósticos por apresentar pequenas variações de contraste e sensibilidade. Observando o HVL para o potencial de 30 kV, constatamos que o filme de maior dependência energética é o filme 3. Com isso percebe-se que este é o filme de maior instabilidade podendo, por exemplo, apresentar variações significativas de velocidade a cada mudança de potencial provocando borramento e conseqüentemente gerar prejuízo para a resolução da imagem.

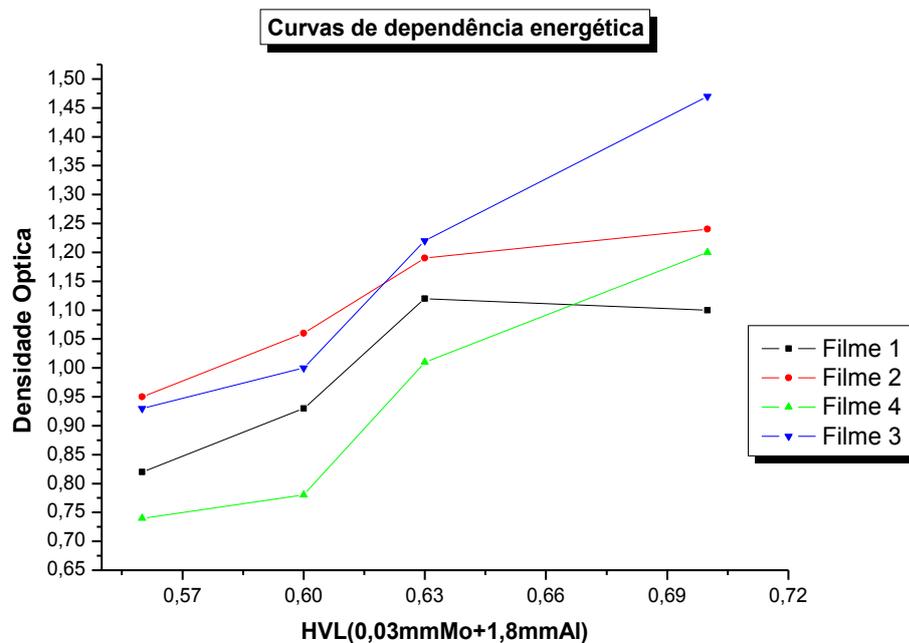


FIG. 4.17: Dependência energética para os quatro filmes testados. Kerma fixo.

4.5 GRÁFICOS DO DESVIO DA VELOCIDADE E DO GRADIENTE DOS FILMES

Os gráficos das FIG 4.18 e 4.19 exibem as velocidades do sistema filme-écran para as quatro marcas de filmes avaliadas. As velocidades apresentam o limite de $\pm 0,10$, e o gradiente (ou contraste radiográfico) do filme possui limite de $\pm 0,06$ conforme estabelece a ISO 9236-3. A maioria dos filmes tiveram desvios para a velocidade e gradiente acima do recomendado pela ISO 9236-3. Para a velocidade o único filme que se manteve dentro dos limites aceitáveis para todos os potenciais aplicados foi o filme 1. Os demais tiveram maior desvio para a velocidade em pelo menos dois dos quatro potenciais aplicados. Isso caracteriza que a maioria dos filmes tem maior sensibilidade quando comparados ao filme 1. Isso sugere maior instabilidade nos filmes que se apresentam fora dos limites. Com relação ao gradiente a maior parte dos filmes mantiveram-se fora dos limites com exceção do filme 3. As TAB 4.3 e 4.4 rementem ao gradiente médio dos filmes testados para as tensões de 25 kV e 35 kV.

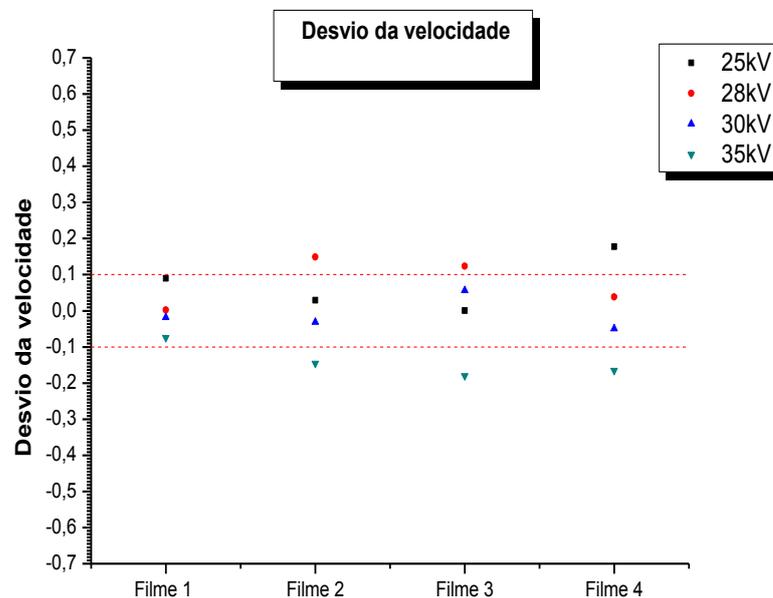


FIG. 4.18: Gráfico para o desvio da velocidade para as quatro marcas de filmes avaliadas (limite aceitável de $\pm 0,10$ conforme a ISO 9236-3).

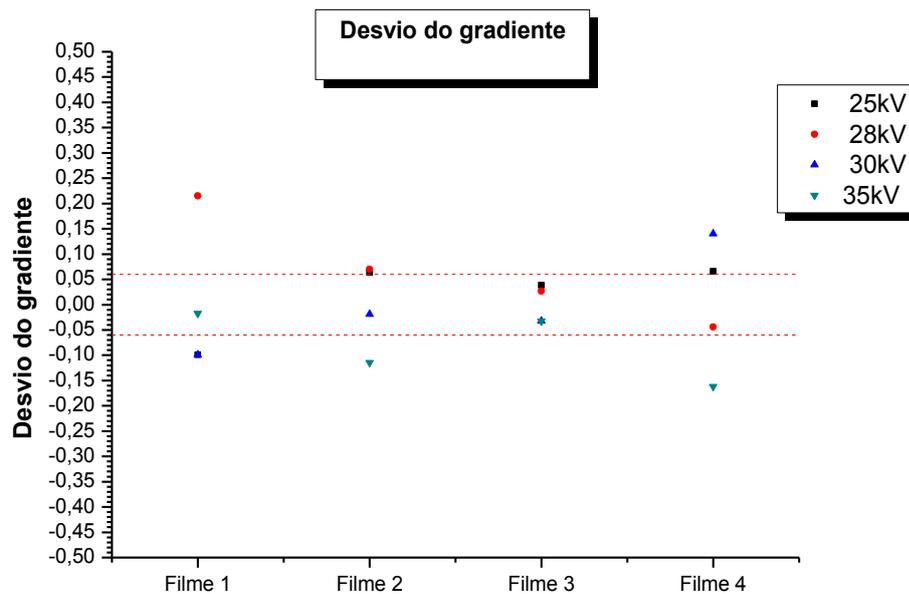


FIG. 4.19: Gráfico para do desvio do gradiente para as quatro marcas de filmes avaliadas (limite aceitável de $\pm 0,06$ conforme a ISO 9236-3).

TAB 4.3 Parâmetros base+fog e gradiente médio para temperatura do revelador em 34 °C Técnica 25 kV.

Qualidade 25 kV – filtração adicional de 0,03 mm Mo +1,8 mm Al – 30 mA		
	Base+fog	Gradiente médio
Filme 1	0,33	3,83
Filme 2	0,28	2,76
Filme 3	0,36	2,55
Filme 4	0,36	3,35

TAB 4.4 Parâmetros base+fog e gradiente médio para temperatura do revelador em 34°C Técnica 35 kV.

Qualidade 35 kV – filtração adicional de 0,03 mm Mo +1,8 mm Al – 30 mA		
	Base+fog	Gradiente médio
Filme 1	1,10	5,81
Filme 2	0,80	7,20
Filme 3	1,20	2,91
Filme 4	1,47	3,38

4.6 MODIFICAÇÃO DA TEMPERATURA DO REVELADO PARA O CICLO DE MAMOGRAFIA

Com o objetivo de verificar as variações ocorridas com o parâmetro gradiente médio dos filmes 1, 2 e 3 após modificações da temperatura do ciclo RP (ciclo indicado pelo fabricante da processadora para a realização do processamento de filmes mamográficos), constatou-se sérias modificações de gradiente para todos os três filmes testados. As TAB. 4.5 e 4.6 mostram o quanto de variação sofreram os gradientes médios após a modificação da temperatura de 34°C (temperatura indicada para o revelador de filmes de mamografia) para 37°C.

TAB 4.5 Parâmetros base+fog e gradiente médio para temperatura do revelador em 37°C. Técnica 28 kV

Qualidade 28 kV – filtração adicional de 0,03 mmMo +1,8 mmAl – 20 mA				
Temperatura do revelador (°C)	37 °C		34 °C	
	Base+fog	Base+fog	Gradiente médio	Gradiente médio
Filme 1	0,27	0,22	4,07	1,25
Filme 2	0,28	0,22	2,77	1,46
Filme 3	0,41	0,31	2,41	1,65
Filme 4	-----	0,40	-----	2,91

TAB 4.6 Parâmetros base+fog e gradiente médio para temperatura do revelador em 37°C. Técnica 30 kV.

Qualidade 30 kV – filtração adicional de 0,03 mm Mo +1,8 mm Al – 30 mA				
Temperatura do revelador (°C)	37 °C	34 °C	37 °C	34 °C
	Base+fog	Base+fog	Gradiente médio	Gradiente médio
Filme 1	0,32	0,22	2,75	1,75
Filme 2	0,28	0,22	2,75	1,46
Filme 3	0,41	0,31	1,75	1,75
Filme 4	-----	0,42	-----	4.87

As FIG. 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 e 4.24 apresentam as curvas sensitométricas que correspondem às respostas dos filmes 1, 2 e 3 ao aumento de temperatura provocado. Em todos os filmes houve alteração da inclinação da região linear da curva (região útil para diagnóstico também denominado de contraste radiográfico) quando comparadas as curvas obtidas a temperatura do revelador em 34°C. Alteração maior sofreu o filme 1 quando feito o uso do feixe de 28 kV e corrente de 20 mA. Alterações significativas do contraste da imagem podem representar aumento de dose no paciente, já que ajustes na qualidade do feixe podem ser realizados de modo a tentar visualizar partes antes imperceptíveis.

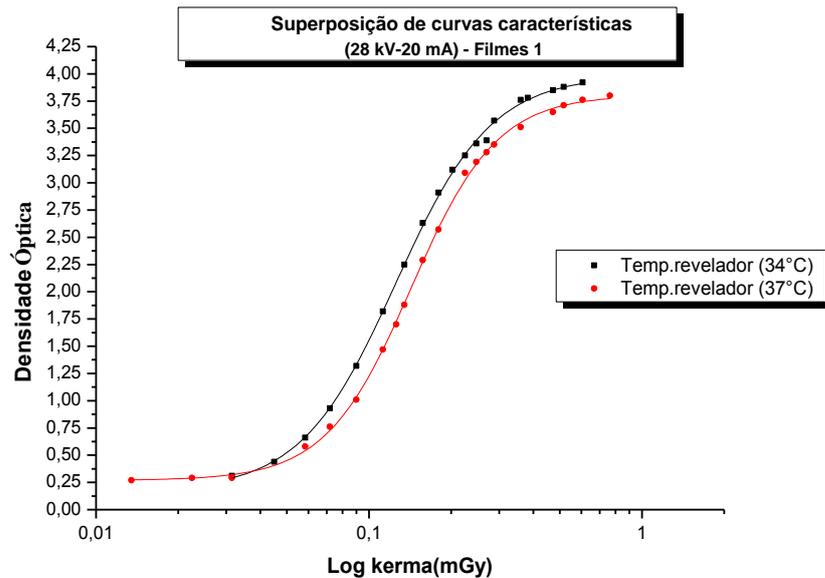


FIG. 4.20: Gráfico da curva sensiométrica do filme 1 para as temperaturas 34 °C e 37 °C. Técnica (28 kV - 20 mA).

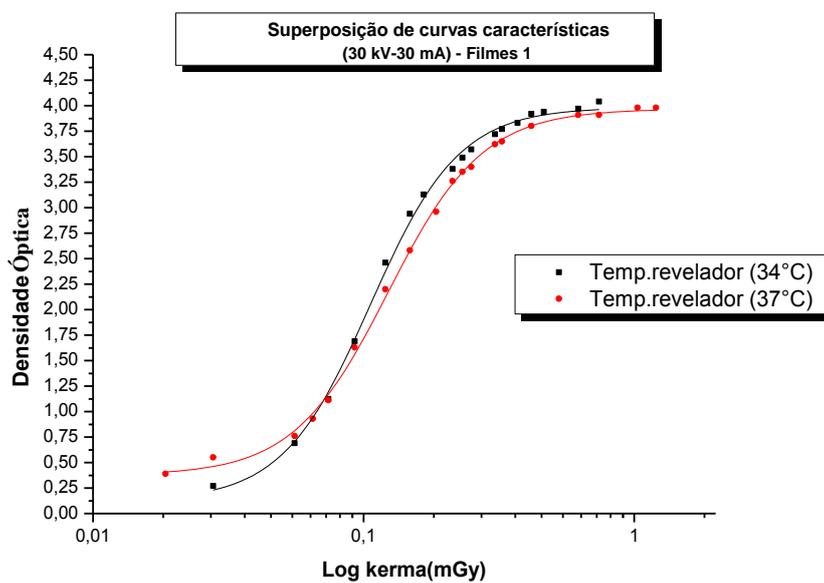


FIG. 4.21: Gráfico da curva sensiométrica do filme 1 para as temperaturas 34 °C e 37 °C. Técnica (30 kV - 30 mA).

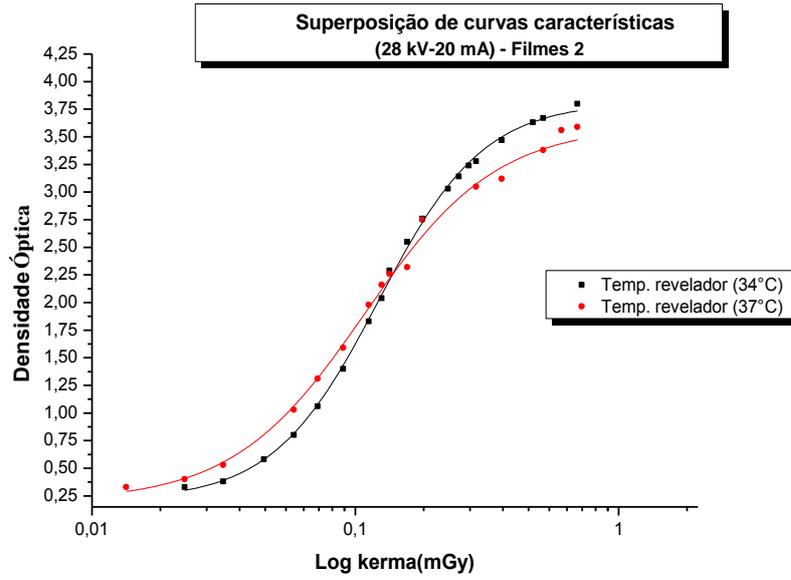


FIG. 4.22: Gráfico da curva sensiométrica do filme 2 para as temperaturas 34 °C e 37 °C. Técnica (28 kV - 20 mA)

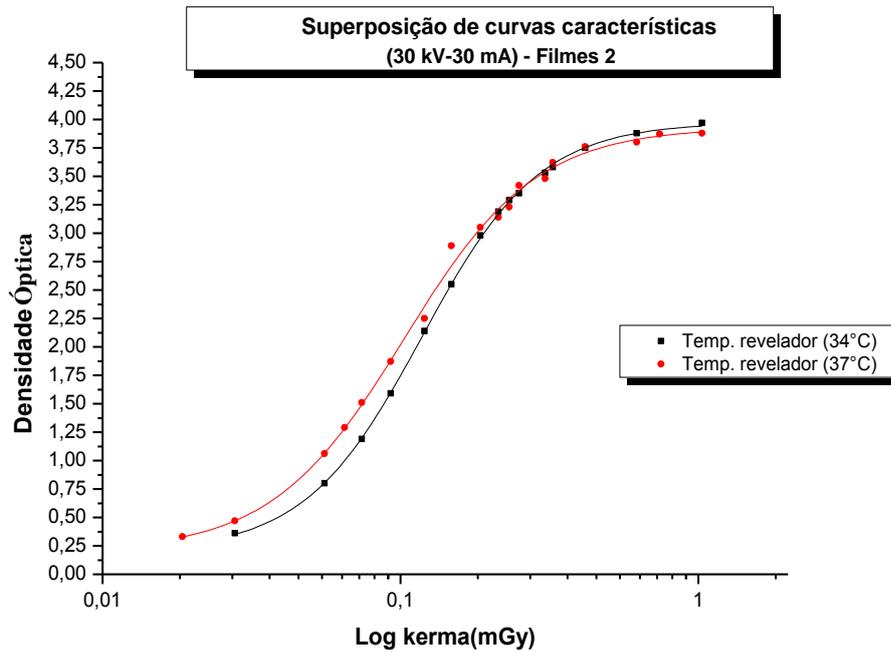


FIG. 4.23: Gráfico da curva sensiométrica do filme 2 para as temperaturas 34 °C e 37 °C. Técnica (30 kV - 30 mA)

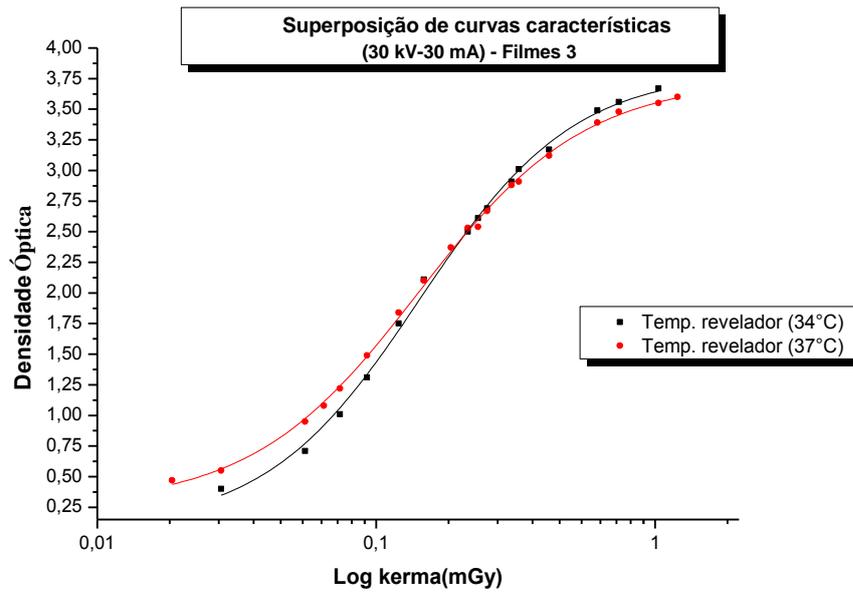


FIG. 4.24: Gráfico da curva sensitométrica do filme 2 para as temperaturas 34 °C e 37 °C. Técnica (30 kV - 30 mA)

5.0 CONCLUSÃO

Foi possível observar, e principalmente avaliar, os parâmetros sensitométricos tão importantes e capazes de caracterizar as qualidades dos filmes de mamografia utilizados no serviço radiológico. Cuidados foram tomados de modo a assegurar que o processamento automático dos filmes não interferisse nos resultados e nas análises obtidas dos quatro fabricantes de filmes avaliados.

A primeira das características avaliadas foi o levantamento das curvas sensitométricas dos filmes dos quatro fabricantes. Com isso foram obtidas as curvas para as qualidades de 25 kV, 28 kV (valor de referência para mamografia), 30 kV e 35 kV. Para isso as curvas características foram obtidas variando apenas o conjunto exposição (tempo de exposição) mantendo o filme a uma distância fixa de 100 cm em relação ao ponto focal do tubo de raios X. As exposições ocorreram com e sem o uso do écran, de modo que é possível notar a mudança no formato das curvas com écran, pois as mesmas atingem rapidamente as densidades de saturação. Os formatos das curvas variaram conforme o aumento da energia do feixe. O uso do écran, embora reduza a exposição, piora a qualidade da imagem. Isso é perceptível ao notarmos a mudança acentuada no formato da curva sensitométrica, quando aplicada a tensão de 35 kV ao tubo (tensão indicada para exames em mama mais espessas). Os filmes praticamente não apresentam o véu da curva, e sim a região de diagnóstico acompanhada do ombro da curva, ou seja, as densidades de base+fog, comumente encontradas no véu da curva, estão na região linear da mesma, o que pode representar problemas no contraste nas imagens. Com a utilização do écran obteve-se uma diminuição em até 50 vezes do Kerma quando feitas comparações das curvas com e sem écran.

Para os testes aplicados primeiramente em três marcas de filme sem écran, em todas as qualidades, as curvas mantiveram o mesmo comportamento.

As curvas referentes ao filme 1 apresentaram o maior contraste, comparados aos outros filmes. Já o filme 2 apresentou ser menos veloz que os outros o que o faz necessitar de maior exposição para a obtenção de densidades ópticas úteis para diagnósticos.

Com uso do écran foi adicionada mais uma marca de filme, e os resultados avaliados mostram que o filme 1 apresentou comportamento semelhante ao que foi

obtido sem o écran. Novamente o filme 1 exibiu o melhor formato para as suas curvas para todas as qualidades quando comparadas as outras marcas evidenciando mais uma vez um melhor contraste. O filme 2 teve uma diminuição de sua latitude com o uso do écran, o que mostra o quanto esse filme tem respostas diferenciadas ao mudar as condições de exposição.

Com a utilização do écran o filme 3 apresentou aumento de sua latitude quando comparada ao seu uso sem o écran, ou seja, com o écran o filme expôs uma diminuição do contraste da imagem, o que desfavorece a observação de pequenas estruturas em um exame. O filme 4 caracterizou-se por apresentar maior base+fog em todas as qualidades usadas, o que remete a possíveis problemas de contraste nas imagens obtidas com esse filme.

Para os testes realizados de dependência energética o filme 3 mostrou-se com maior dependência energética, o que caracteriza que a emulsão deste filme pode ocasionar mudanças significativas para cada potencial aplicado gerando borramento em sua imagem. Novamente o filme 1 apresentou melhor resultado, apresentando-se mais estável perante as mudanças de potencial, ou seja, a emulsão deste filme apresenta pequenas variações de contraste e sensibilidade.

Ao calcular o desvio da velocidade, temos que o filme 1 foi o único que teve resultados dentro dos limites aceitáveis em todos os potenciais aplicados, isso o caracteriza por ser um filme menos propenso a problemas de borramento da imagem. Com relação ao cálculo do desvio do gradiente todos os filmes apresentaram resultados fora dos limites recomendados pela ISO 9236-3, isso se dá devido à falta de qualidades dos filmes já que possíveis influências do processamento automático foram totalmente controladas.

Perante as considerações realizadas, é possível afirmar que dentre as quatro marcas de filmes analisadas apenas uma marca obteve resultados satisfatório diante dos testes aplicados. Isso mostra a necessidade dos fabricantes de realizarem um controle da qualidade mais efetivo do processo de fabricação dos filmes de mamografia. Maior cuidado na fabricação dos filmes representa melhoria na informação diagnóstica, assim como melhora na relação custo/efetividade, já que haverá redução do índice de filmes rejeitados no serviço radiológico, além da redução da dose nos pacientes em virtude de não ter que repetir exames que não sejam para obter informações diagnósticas adicionais. Sendo assim, ao realizar

este estudo preliminar, fica aberta a possibilidade de ser empregada tal metodologia de modo que um laboratório devidamente credenciado consiga reproduzi-la e assim contribuir atestando a da qualidade dos filmes em uso no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C., AREDE, E., VIEIRA, S. **A descoberta e a evolução do raios X.** Disponível em:<<http://www.imagenologia.com.br/RX.pdf>>. Acesso: Outubro 2013.
- ANVISA. **Avaliação das Condições de Funcionamento dos Mamógrafos no Âmbito do SUS.** Disponível em: <http://site.qualihosp.com.br/mac/upload/arquivo/Andre_Paes.pdf>:Acesso: Outubro 2013.
- BUHR, E., BERGMANN, D., HOESHEN D.,AILLIET, M., REY, G.S., GAZZOLA, C., URAS, S. **An interlaboratory measurement of screen-film speed and average gradient according to ISO 9236-1**, Medical Physics v.27, 2000.
- BURGESS, A.E., HICKEN, P. **Comparative Performance of X-ray Intensifying screens**, Radiology v.143, p. 551-556, 1982.
- DENASUS. **Avaliação do Funcionamento dos Mamógrafos no Âmbito do SUS.**Disponível<bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt0924_26_04_2011.htm>:Acesso: Outubro 2013.
- FAJ,D.,POSEDEL,D.,STIMAC,D.,IVEZIC.,Z. **Survey of Mammography Practive in Croatia: Equipment Performance, Image Quality and Dose**, Radiation Protection Dosimetry v.131, p.535-540,2008.
- FERREIRA, C.C. **Implantação de um Programa de Garantia da Qualidade da Imagem Radiográfica em Hospitais da Rede Pública de Aracajú – SE.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Sergipe, 2007.
- FORWARD,W.,H.,M. **What is True Film-Screen Sensitivity?** , Radiation Protection Dosimetry v.57, p.301-304, 1995.
- HAUS, A.,G., JASKULSKI, S.,M. **The Basics of Film Processing in Medical Imaging.** Editora Medical Physics Publishing Corporation, 1997.
- ISO 9236-3.**Photography-Sensitometry of Screen/Film Systems for Medical Radiography-Part 3: Determination of Sensitometric Curve Shape,Speed and Average Gradient for Mammography.** First Edition, 1999.
- LIZ,R.,S.,O. **Instalação e Utilização Adequada de uma Camara Escura para Processamento de Filmes Radiográficos.** Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC – Dossiê Técnico, 2007.

- MAGALHÃES,L.,A.,G. **Implantação do Laboratório para o Controle da Qualidade dos Filmes Radiográficos.** Tese de Doutorado – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007.
- MAGALHÃES,L.,A.,G. **Controle da Qualidade de Processadoras Automáticas.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro,2001.
- MAGALHÃES,L.,A.,G., AZEVEDO,A.,C.,P.,CARVALHO,A.,C.,P. **A Importância do Controle de Qualidade de Processadoras Automáticas.** Radiol Bras v.35, p.357-363, 2002.
- MAGALHÃES,L.,A.,G.,DREXLER,G.,G.,DE ALMEIDA,C.,E.,V. **Compatibility Characteristics of Five Radiography Films Utilised in Brazilian Diagnostic Radiology.** Radiation Protection Dosimetry v.156, p.184-189,2013.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Secretária de Vigilância Sanitária.** Portaria n. 453, de 1. Jun.1998. 53f.
- NETTO,C.,T. **Garantia de Controle da Qualidade em Radiodiagnóstico.** FFCLRP-USP, 1998.
- PEREGRINO,A.,A.,F.,VIANNA,C.,M.,M.,DEALMEIDA,C.,E.,V.,GONZÁLES,G.,B.,MACHADO,S.,C.,F.,SILVA,F.,V.,C.,RODRIGUES,M.,P.,S. **Análise de Custo-Efetividade do Rastreamento do Câncer de Mama com Mamografia Convencional, Digital e Ressonância .** Ciência & Saúde Coletiva, v.17, p. 215-222, 2012.
- PIRES,E.,J., DAVID,M.,G.,PEIXOTO,J.,G., DE ALMEIDA,C.,E. **Establishment of Radiation Qualities for Mammography According To The IEC 61267 And TRS 457.** Radiation Protection Dosimetry, p. 1-7, 2010.
- SOARES,F.,A.,LOPES, H.,B. **Filme Radiográfico e Processamento.** Curso Técnico de Radiologia, CEFET/SC, 2001.
- SHARME,R.,SHARME,S.,D. **A Quality Control Programme For Medical X-Ray Films in India.** Radiation Protection Dosimetry, v.148, p. 51-57, 2012.
- SPRAWLS,P. **Physical Principles of Medical Imaging.** Madison, Wisconsin. Medical Physics Publishing, 1995.
- TILLY JUNIOR,,J.,G. **Física Radiológica.** Editora Guanabara Koogan, 2010.