

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA VIDA
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA**

Vinícius Ferreira Franco

**Análise dos tons de cinza dos filmes autorreveláveis em diferentes momentos
de processamento químico após exposição aos raios X**

Governador Valadares

2025

Vinícius Ferreira Franco

**Análise dos tons de cinza dos filmes autorreveláveis em diferentes momentos
de processamento químico após exposição aos raios X**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de
Odontologia, do Instituto de Ciências da
Vida, da Universidade Federal de Juiz de
Fora, Campus Governador Valadares,
como requisito parcial à obtenção do grau
de bacharel em Odontologia.

Orientadora: Profa. Dra. Larissa de Oliveira Reis

Coorientador: Prof. Yuri Oliveira da Silva

Governador Valadares

2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Franco, Vinícius Ferreira .

Análise dos tons de cinza dos filmes autorreveláveis em diferentes momentos de processamento químico após exposição aos raios X /

Vinícius Ferreira Franco. -- 2025.

33 f. : il.

Orientadora: Larissa de Oliveira Reis

Coorientadora: Yuri Oliveira da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares, Faculdade de Odontologia, 2025.

1. Filme radiográfico. 2. Processamento de imagem. 3. Radiologia. 4. Diagnóstico por imagem. 5. Odontologia. I. Reis, Larissa de Oliveira, orient. II. Silva, Yuri Oliveira da, coorient. III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

Vinicius Ferreira Franco

Análise dos tons de cinza dos filmes autorreveláveis em diferentes tempos de processamento químico após exposição aos raios X

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Odontologia, do Instituto de Ciências da Vida, da Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Odontologia.

Aprovado em 18 de dezembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Larissa de Oliveira Reis - Orientador (a)
Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares

Prof. Yuri Oliveira da Silva - Coorientador (a) (se houver)
Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares

Profa. Dra. Francielle Silvestre Verner
Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares

Profa. Dra. Sibele Nascimento de Aquino
Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares



Documento assinado eletronicamente por **Larissa de Oliveira Reis, Professor(a)**, em 18/12/2025, às 15:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sibele Nascimento de Aquino, Professor(a)**, em 18/12/2025, às 15:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francielle Silvestre Verner, Professor(a)**, em 18/12/2025, às 15:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Yuri Oliveira da Silva, Professor(a)**, em 18/12/2025, às 15:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2785681** e o código CRC **B8CD3C20**.

Referência: Processo nº 23071.955286/2025-91

SEI nº 2785681

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar força, saúde e sabedoria para chegar até aqui. À minha família, por todo apoio, incentivo e compreensão em cada etapa desta caminhada. Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nos momentos difíceis e não deixaram que eu desistisse, meu sincero agradecimento.

À minha orientadora, Profa. Dra. Larissa de Oliveira Reis, expresso minha profunda gratidão pelos puxões de orelha que me fizeram crescer, pela dedicação, paciência e, principalmente, pelo papel fundamental na construção deste trabalho. Ao meu co orientador, Prof. Yuri Oliveira da Silva, agradeço pela disponibilidade constante, orientação técnica e suporte sempre presente quando mais precisei.

À banca avaliadora, por aceitar o convite e contribuir com este estudo, deixo meu respeito e reconhecimento. Em especial, agradeço à Profa. Dra. Francielle Silvestre Verner, que atuou como ponte entre a pesquisa e a empresa parceira, tornando possível a obtenção dos materiais indispensáveis para o experimento.

À empresa Gnatus, representada por Alexandre e Andrea, que confiaram na proposta e forneceram os filmes autorreveláveis necessários para o início desta pesquisa, deixo meu agradecimento especial.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo registrada minha sincera gratidão.

RESUMO

A radiografia odontológica constitui ferramenta essencial para o diagnóstico, monitoramento e planejamento clínico, sendo a qualidade da imagem diretamente influenciada pela estabilidade e fidelidade dos tons de cinza que compõem a radiografia final. Os filmes autorreveláveis configuram uma alternativa prática aos métodos convencionais de processamento por dispensarem câmara escura e soluções separadas de revelador e fixador. Porém não se sabe se o intervalo de tempo entre a exposição à radiação X e a ativação do monobanho podem interferir nos tons de cinza gerados. Considerando que pequenas alterações nos tons intermediários podem comprometer a distinção de estruturas anatômicas e lesões incipientes, compreender essa relação torna-se fundamental. Assim, este estudo teve como objetivo analisar a influência do momento do processamento químico na variação dos tons de cinza de filmes autorreveláveis submetidos à exposição radiográfica. Trata-se de um estudo experimental in vitro, no qual 36 radiografias foram obtidas utilizando filme autorrevelável Dental Film Ergonom-X® e aparelho de raios X intrabucal Gendex®, padronizado em 70 kVp, 7 mA e 0,63 s, sob técnica do paralelismo e com uma escala de alumínio de 11 degraus para calibração de densidade óptica. Os filmes foram processados em seis intervalos distintos: imediatamente à exposição (0 hora), ou após 1, 2, 4, 12 e 24 horas da exposição, e posteriormente digitalizados de forma padronizada. As imagens foram analisadas no software ImageJ, com coleta dos valores médios de tons de cinza em regiões de interesse de 40 × 40 pixels, sendo 22 regiões dentro da escala (duas por degrau) e 4 fora da escala. Os valores foram avaliados quanto à normalidade e foi realizado o teste Kruskal-Wallis e o post-hoc de DSCF para comparação entre os momentos de processamento no software Jamovi (versão 2.6) com nível de significância de 5%. Os resultados demonstraram que os tons intermediários, especialmente nos degraus 4 a 7, apresentaram maior sensibilidade ao retardo do processamento, revelando diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os intervalos imediatos e aqueles processados após 24 horas. Esses achados indicam que a instabilidade química da emulsão ao longo do tempo, associada à oxidação progressiva da prata sensibilizada, podem comprometer o contraste e reduzir o potencial diagnóstico, especialmente em situações que dependem da percepção de nuances discretas, como a identificação de lesões de cárie iniciais. Observou-se também a presença de

manchas em algumas radiografias, possivelmente decorrentes da distribuição não homogênea do monobanho no momento da ativação do filme. Conclui-se que o intervalo entre a exposição e o processamento exerce influência direta sobre a estabilidade tonal dos filmes autorreveláveis, recomendando-se o processamento imediato como medida indispensável para assegurar previsibilidade, fidelidade da imagem e segurança diagnóstica.

Palavras-chave: diagnóstico por imagem; filme radiográfico; odontologia; processamento de imagem; radiologia.

ABSTRACT

Dental radiography is an essential tool for diagnosis, monitoring, and clinical treatment planning, and its diagnostic quality is directly influenced by the stability and fidelity of the grayscale tones that compose the final image. Self-developing films represent a practical alternative to conventional processing because they eliminate the need for a darkroom and separate chemical solutions; however, it remains unclear whether the interval between X-ray exposure and monobath activation can affect the grayscale values produced. Considering that subtle variations in intermediate tones may compromise the differentiation of anatomical structures and early incipient lesions, understanding this relationship becomes fundamental. This study aimed to analyze the influence of the processing interval on grayscale variation in self-developing films subjected to radiographic exposure. An in vitro experimental design was employed, in which 36 radiographs were obtained using Dental Film Ergonom-X® and a Gendex® intraoral X-ray unit (70 kVp, 7 mA, 0.63 s), following the paralleling technique and using an 11-step aluminum step wedge for optical density calibration. Films were processed at six different time intervals (0, 1, 2, 4, 12, and 24 hours after exposure) and subsequently digitized under standardized conditions. Grayscale mean values were extracted from 40 × 40-pixel regions of interest using ImageJ software, and data were analyzed using the Kruskal–Wallis test and DSCF post-hoc method at a 5% significance level. Intermediate grayscale steps—particularly steps 4 to 7—showed significant sensitivity to delayed processing ($p < 0.05$), revealing differences between immediate processing and 24-hour intervals. These findings indicate that chemical instability of the sensitized emulsion over time, associated with progressive oxidation of silver particles, may compromise contrast and diagnostic potential, especially for tasks requiring subtle tonal discrimination such as early caries detection. Staining artifacts were also observed, likely related to non-homogeneous monobath distribution during activation. It is concluded that the interval between exposure and processing directly influences tonal stability in self-developing films, and immediate processing is recommended to ensure image predictability, tonal fidelity, and diagnostic safety.

Keywords: dentistry; diagnostic imaging; image processing; radiology; X-Ray film.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVO.....	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1	AQUISIÇÃO DAS IMAGENS.....	14
3.2	PROCESSAMENTO RADIOGRÁFICO QUÍMICO.....	14
3.3	REALIZAÇÃO DA DIGITALIZAÇÃO DAS RADIOGRAFIAS.....	17
3.4	ANÁLISE DOS TONS MÉDIOS DE CINZA.....	18
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	19
4	RESULTADOS.....	21
5	DISCUSSÃO.....	24
6	CONCLUSÃO.....	27
	REFERÊNCIAS.....	28
	ANEXO A - Cartilha do fabricante: recomendações e guia de	
	soluções de problemas.....	31

1 INTRODUÇÃO

Desde a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen, em 1895, a radiologia tem sido fundamental para o diagnóstico e o planejamento terapêutico em odontologia (Arruda, 1996). Inicialmente, os filmes radiográficos convencionais dependiam de processamento químico manual em câmara escura e demandavam tempo e infraestrutura específica, o que podia atrasar os atendimentos. Com a evolução tecnológica, surgem novas formulações de filmes, como modelos Kodak E-speed, que apresentaram maior sensibilidade e menor tempo de exposição, embora, ainda dependiam do processamento convencional (Geist *et al.*, 2001). Posteriormente, a radiografia digital, por meio de sensores, placas de fósforo, passou a oferecer imagens de maior qualidade, menor exposição à radiação e visualização imediata (Alkurt *et al.*, 2007). As placas de fósforo, apesar de mais confortáveis, possuem alta sensibilidade a arranhões, dobras e luz ambiente, dependem de leitores específicos cujo custos para aquisição e manutenção são significativamente elevados (Geist *et al.*, 2001). Essas limitações tornam a adoção plena dos métodos digitais ainda inviável em muitos contextos clínicos, mantendo assim a necessidade de métodos radiográficos alternativos e acessíveis na rotina odontológica.

Nesse contexto, os filmes autorreveláveis foram desenvolvidos como uma alternativa intermediária entre o processamento químico tradicional e os sistemas digitais, destacando-se por dispensarem câmara escura e processadoras automáticas (Raees *et al.*, 2018). Essa praticidade representa uma evolução dos filmes radiográficos intra orais convencionais, permitindo a obtenção rápida da imagem por um método simples e direto, especialmente útil em ambientes com infraestrutura limitada (AlShwaimi *et al.*, 2013).

Tecnicamente, os filmes autorreveláveis são definidos como filmes intraorais que possuem, em seu interior, um invólucro contendo uma solução monobanho. Após a exposição aos raios X, essa solução é liberada e distribuída sobre a emulsão, realizando o desenvolvimento da imagem em um único processo químico integrado, sem etapas separadas de revelação e fixação (Dental-Film srl, 2015). Essa configuração reduz o tempo total de processamento e garante maior praticidade operatória, permitindo a formação da imagem diretamente no consultório.

Entretanto, a utilidade diagnóstica clínica de uma radiografia depende não apenas de sua disponibilidade ou praticidade de processamento, mas sobretudo, da fidelidade dos tons de cinza que compõem a imagem final (Sameye *et al.*, 2018). A acurácia diagnóstica, especialmente na detecção precoce de lesões e alterações depende de contrastes sutis entre diferentes densidades (esmalte, dentina, lesões iniciais) e avaliação endodôntica (Raees *et al.*, 2018). Estudos demonstram que a percepção desses tons varia conforme a experiência e a idade dos observadores: por exemplo, Jacquet *et al.* (2019) mostraram que profissionais mais velhos exigem mais contraste para distinguir mudanças tonais em uma escala de 12 bits. Além disso, a reprodutibilidade dos valores de cinza em sistemas digitais varia dependendo do tempo de exposição, impactando o ruído e a uniformidade tonal (Poletti *et al.*, 2019). Isso evidencia a necessidade de estabilidade nos níveis de cinza para garantir imagens diagnósticas confiáveis, visto que, a escolha do tempo correto impacta diretamente o diagnóstico, além de apresentarem uma curva tonal de maior instabilidade nos filmes autorreveláveis (Sameye *et al.*, 2018).

No caso dos filmes autorreveláveis, essa preocupação torna-se ainda mais relevante. A curva tonal, relação entre densidade óptica e exposição, pode apresentar maior instabilidade devido às condições de processamento, à composição química do monobanho e ao tempo decorrente entre a exposição e a revelação (Sameye *et al.*, 2018). Apesar disso, existe uma lacuna considerável na literatura sobre filmes autorreveláveis: poucos estudos avaliam como o tempo de processamento ou a degradação da solução reveladora embutida no filme afetam a fidelidade dos tons de cinza em exposições repetidas. Pesquisas clássicas já mostraram que variáveis como tempo e temperatura influenciam densidade, velocidade e contraste (ISO, 1996; Price, 1980), mas os filmes autorreveláveis não foram suficientemente investigados nesse aspecto (AlShwaimi *et al.*, 2013). Pourshakibaei *et al.* (2019) ao compararem filmes autorreveláveis e convencionais na determinação do comprimento de trabalho endodôntico observaram maior variação de contraste nos autorreveláveis, sugerindo que o desempenho radiográfico desses filmes depende diretamente do momento em que o processamento é iniciado após a exposição aos raios X, justificando, portanto que a estabilidade tonal ainda é uma questão aberta.

Diante dessa lacuna metodológica, o presente trabalho tem o objetivo de analisar a influência do momento do processamento químico na variação dos tons cinza de filmes autorreveláveis após a exposição à radiação X. Para tanto, será realizado um estudo experimental in vitro. espera-se que os resultados contribuam para o estabelecimento de parâmetros clínicos mais previsíveis e para a validação diagnóstica desse recurso em contextos odontológicos diversos

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi analisar a influência do momento do processamento químico na variação dos tons cinza de filmes autorreveláveis após a exposição à radiação X.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo é do tipo experimental *in vitro* e, por não utilizar material biológico humano, encontra-se isento de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFJF (Lei número 527 de 18 de novembro de 2011).

3.1 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

Antes da realização das etapas experimentais, foram definidos os materiais e equipamentos necessários para padronizar tanto a obtenção quanto o processamento das radiografias. A escolha dos filmes autorreveláveis, do aparelho de raio X e do sistema de captura das imagens teve como objetivo garantir reprodutibilidade, estabilidade dos parâmetros de exposição e condições controladas de iluminação, essenciais para a avaliação dos tons de cinza. Portanto os procedimentos foram organizados de modo sequencial.

Para a aquisição das radiografias, utilizou-se o filme autorrevelável DentalFilm Ergonom-X® (Itália), a exposição foi realizada por meio de um aparelho de raio X intrabucal Gendex (Gendex Dental Systems, Lake Zurich, IL, USA) (Figura 1), foi utilizado conforme as especificações técnicas manual do fabricante, sendo configurado com os seguintes padrões: tensão de 70 kVp; corrente 7mA; tempo de exposição de 0,63s. Todas as aquisições radiográficas seguiram a técnica do paralelismo, mantendo sempre a distância de 40cm do ponto focal ao filme radiográfico, todas as imagens obtidas seguiram as mesmas condições (Figura 2). Uma escala de alumínio com 99,9% de pureza, composta por 11 degraus a cada milímetro com diferentes densidades de acordo com o degrau, posicionada centralmente sobre o filme radiográfico produzindo a imagem que permitiu a posterior análise dos tons de cinza.

3.2 PROCESSAMENTO RADIOGRÁFICO QUÍMICO

O processamento radiográfico químico foi realizado em todos os filmes autorreveláveis após a exposição, de acordo com a separação de cada grupo experimental (6 grupos) para posterior análise, respeitando as recomendações do

Figura 1 - Organização do ambiente e aparelho de raios X intrabucal Gendex utilizado para as aquisições radiográficas

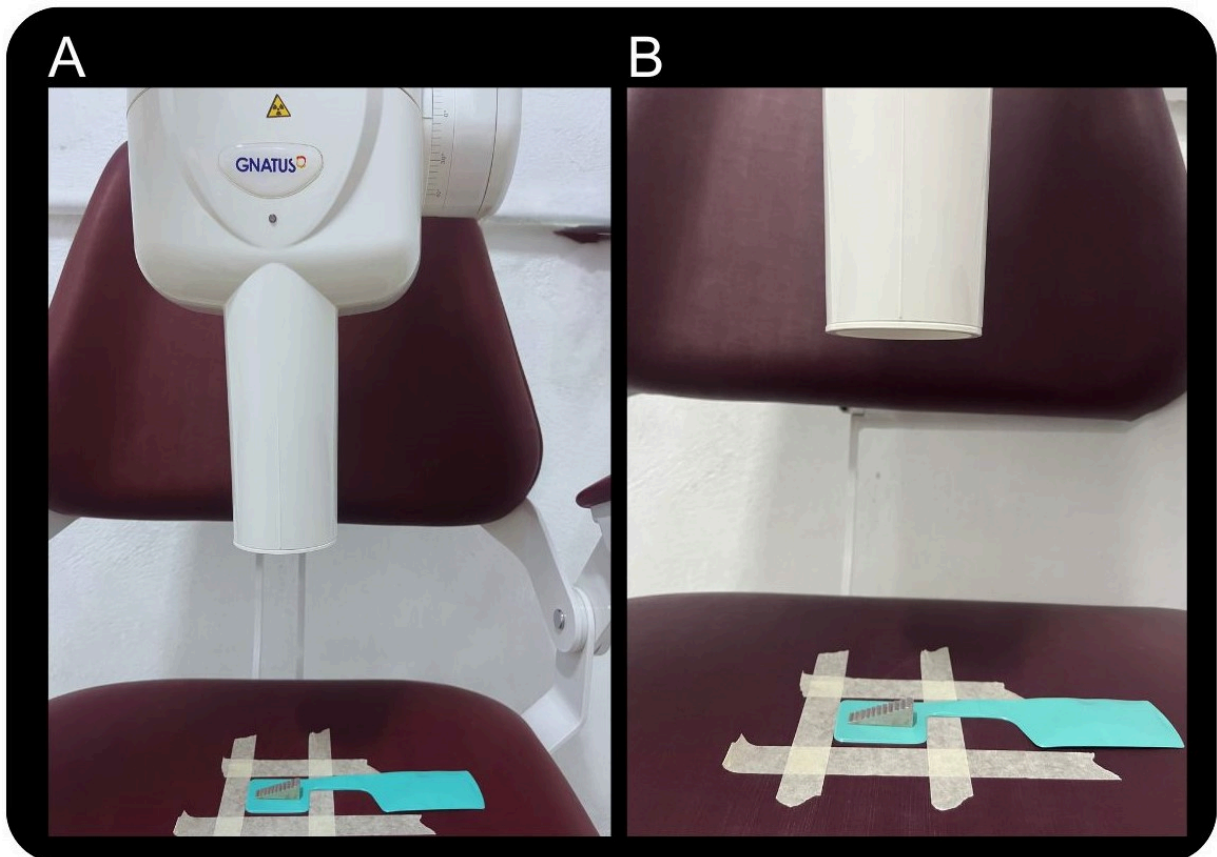


Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2025)

fabricante (ANEXO A). Após a aquisição radiográfica, cada filme foi colocado na posição vertical, com a face sensível voltada para baixo, em seguida, pressiona-se a bolsa que contém o líquido fixador e revelador, localizado na parte superior em um invólucro até o seu rompimento, permitindo que a solução escoe para a extremidade inferior que contém o filme que foi exposto a radiação. Com a solução em movimento, os dedos foram deslizados de cima para baixo, garantindo a sua distribuição homogênea em toda a superfície. Esse processo dispensa o uso de câmera escura ou processadora, uma vez que os filmes possuem uma solução de monobanho integrada ao próprio envelope, devendo ser agitada por 50 segundos para que a imagem seja revelada e fixada simultaneamente. Após esse período, a embalagem foi colocada com a parte que contém o filme radiográfico na parte superior, fazendo com que o líquido de monobanho, devolvido a bolsa original, novamente deslizando os dedos sobre o invólucro, em seguida, a embalagem externa foi aberta por uma aleta na parte que une as duas extremidades, sendo o filme removido por meio de uma colgadura e lavado em água corrente, sendo

friccionado os dedos sobre a superfície para a eliminação do excesso de solução, por fim, foi colado em repouso de modo que ocorra a evaporação natural dos líquidos remanescentes em sua superfície.

Figura 2 - Distanciamento do ponto focal à área de interesse de 40 centímetros (A) e disposição do filme autorrevelável junto com a escala de alumínio, posicionada de modo centralizado (B)

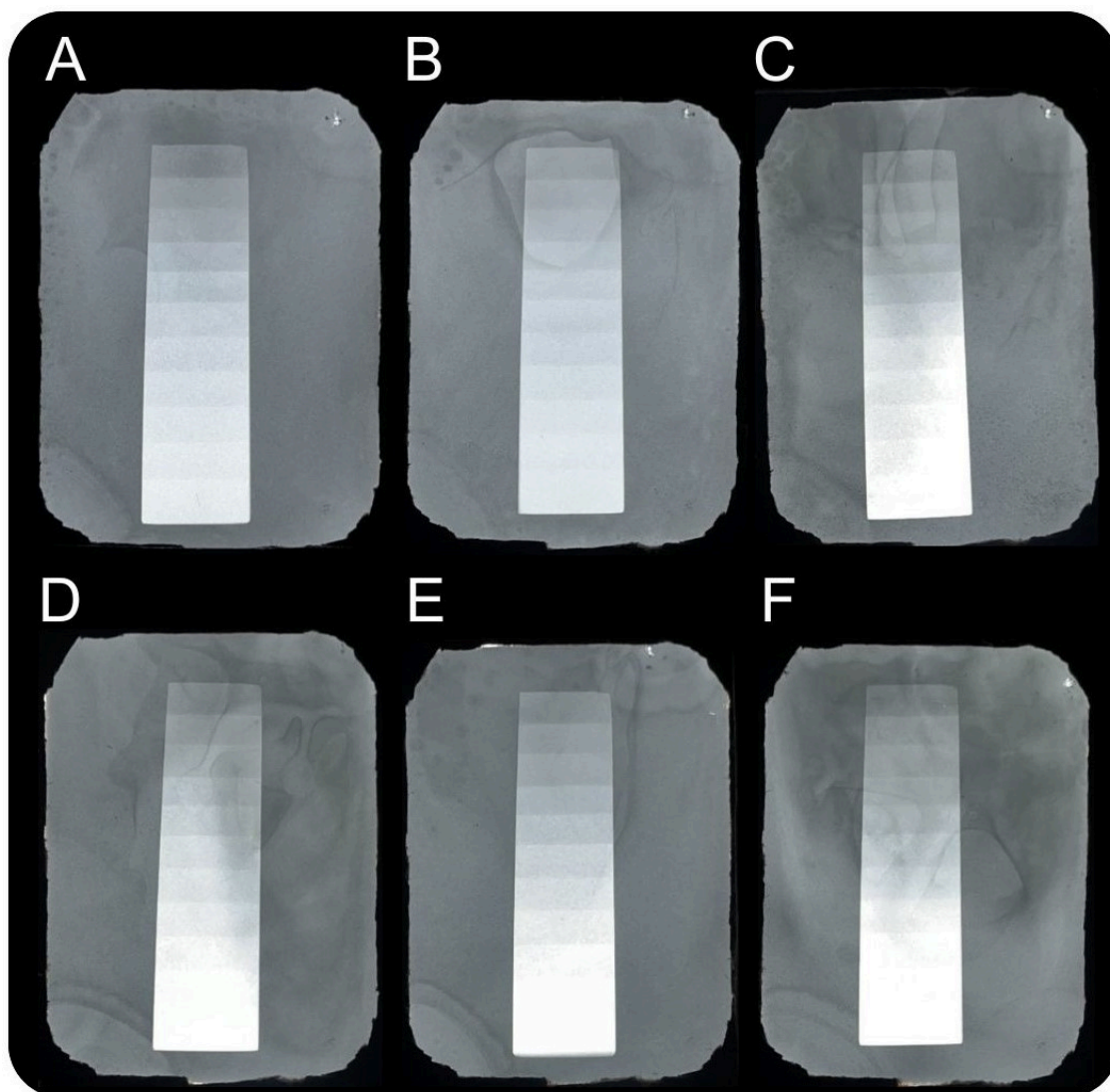


Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2025)

A amostra final foi composta por 36 radiografias, que foram distribuídas em seis grupos ($n = 6$ radiografias por grupo), de acordo com o intervalo entre a exposição e o momento do processamento químico (Figura 3). O Grupo G0 correspondeu às radiografias processadas imediatamente após a exposição; o Grupo G1 reuniu as radiografias processadas após 1 hora; o Grupo G2, aquelas processadas após 2 horas; o Grupo G3, as radiografias processadas após 4 horas; o Grupo G4, após 12 horas e, por fim, o Grupo G5, após 24 horas. Dessa forma, cada

intervalo temporal resultou em seis imagens, totalizando 36 radiografias analisadas ao final do experimento.

Figura 3 - Exemplo de uma radiografia de cada grupo: processamento imediato (A), após 1 hora (B), após 2 horas (C), após 4 horas (D), após 12 horas (E), após 24 horas (F)



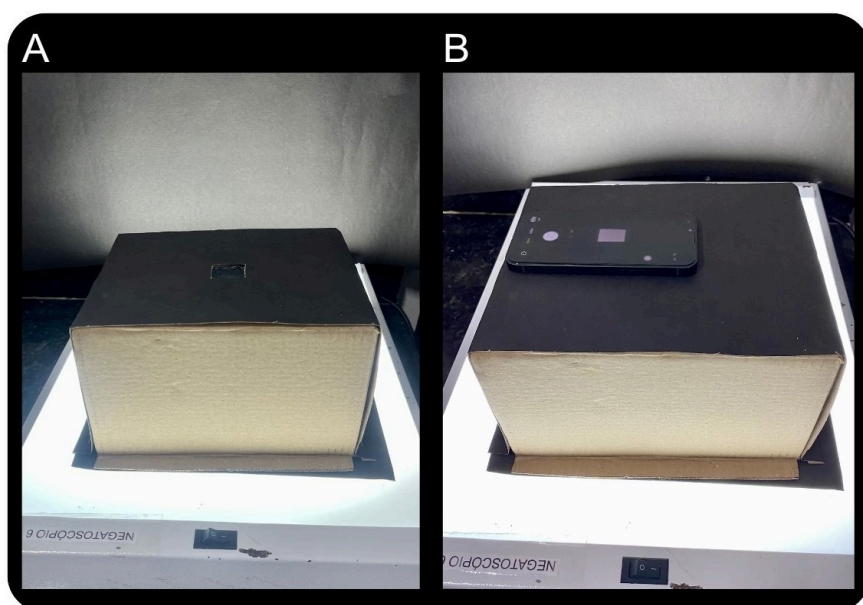
Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2025)

3.3 REALIZAÇÃO DA DIGITALIZAÇÃO DAS RADIOGRAFIAS

Para a realização da digitalização das radiografias, utilizou-se um negatoscópio (Prevtech, Brasil). As radiografias foram fotografadas com um smartphone iPhone 13 Mini (12 MP; grande angular 26 mm; f/1.6; software versão

iOS 18.7), com utilização do foco automático acionado por toque único na área útil da radiografia, acoplado a uma caixa retangular de formato padronizado (dimensões de 17,5cm x 22cm x 14cm), posição estática e distância constante de 14 cm entre a câmera e o negatoscópio (Figura 4). Essa padronização garante a reprodutibilidade do método em quaisquer locais em condições semelhantes.

Figura 4 - Disposição da caixa retangular usado sobre o negatoscópio (A), Smartphone usado para a aquisição das imagens posicionado sob a abertura central para enquadramento da fotografia (B)

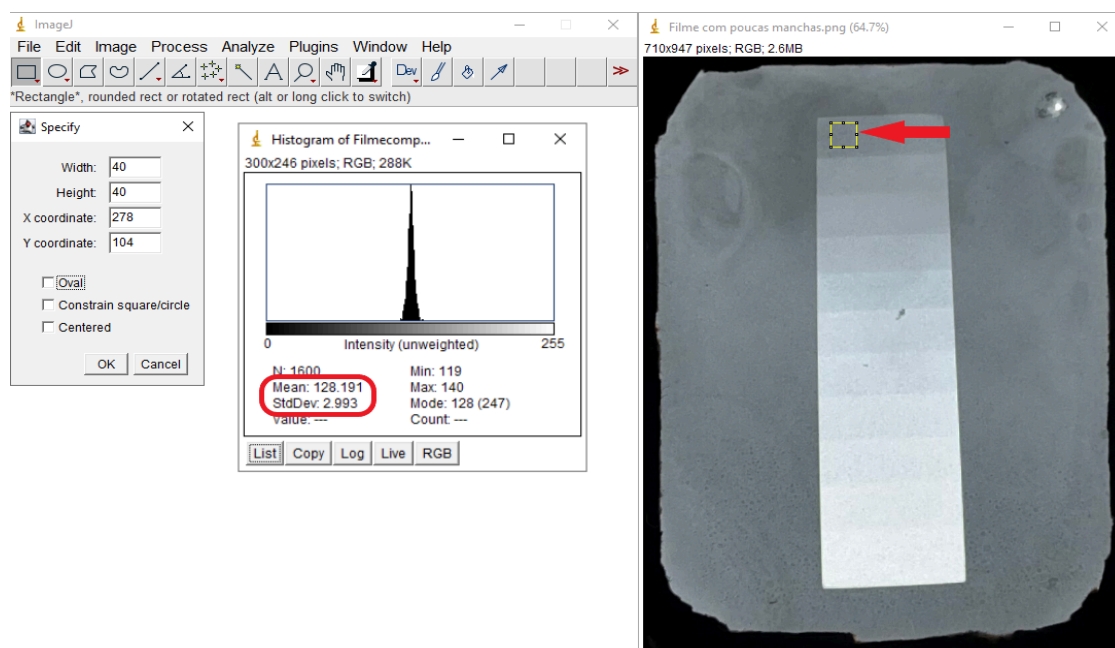


3.4 ANÁLISE DOS TONS MÉDIOS DE CINZA

As imagens obtidas foram convertidas do formato HEIF para o formato JPEG, recortadas no padrão 3x4, mantendo apenas a área do filme autorrevelável. As imagens foram avaliadas pelo programa ImageJ, versão 1.8.0 (National Institutes of Health, EUA), de domínio público (Figura 5). Foram selecionadas regiões de interesse (ROI) utilizando a ferramenta retângulo com dimensões de 40x40 pixels, em dois diferentes pontos de cada degrau da escala de alumínio (Figura 6), Foram coletados os valores médios do histograma (tons de cinza) de cada ROI e os desvios padrão dos degraus 4 e 8 e dos pontos externos, sendo devidamente

anotados em uma planilha Excel (Excel 2010). Por fim, os dados foram analisados de modo inferencial pelo modelo ANOVA.

Figura 5 - Apresentação da interface do software de processamento de imagens Image J, evidenciando a ROI definida em 40 x 40 pixels, e a ferramenta histograma, com o valor médio fornecido e o desvio padrão.

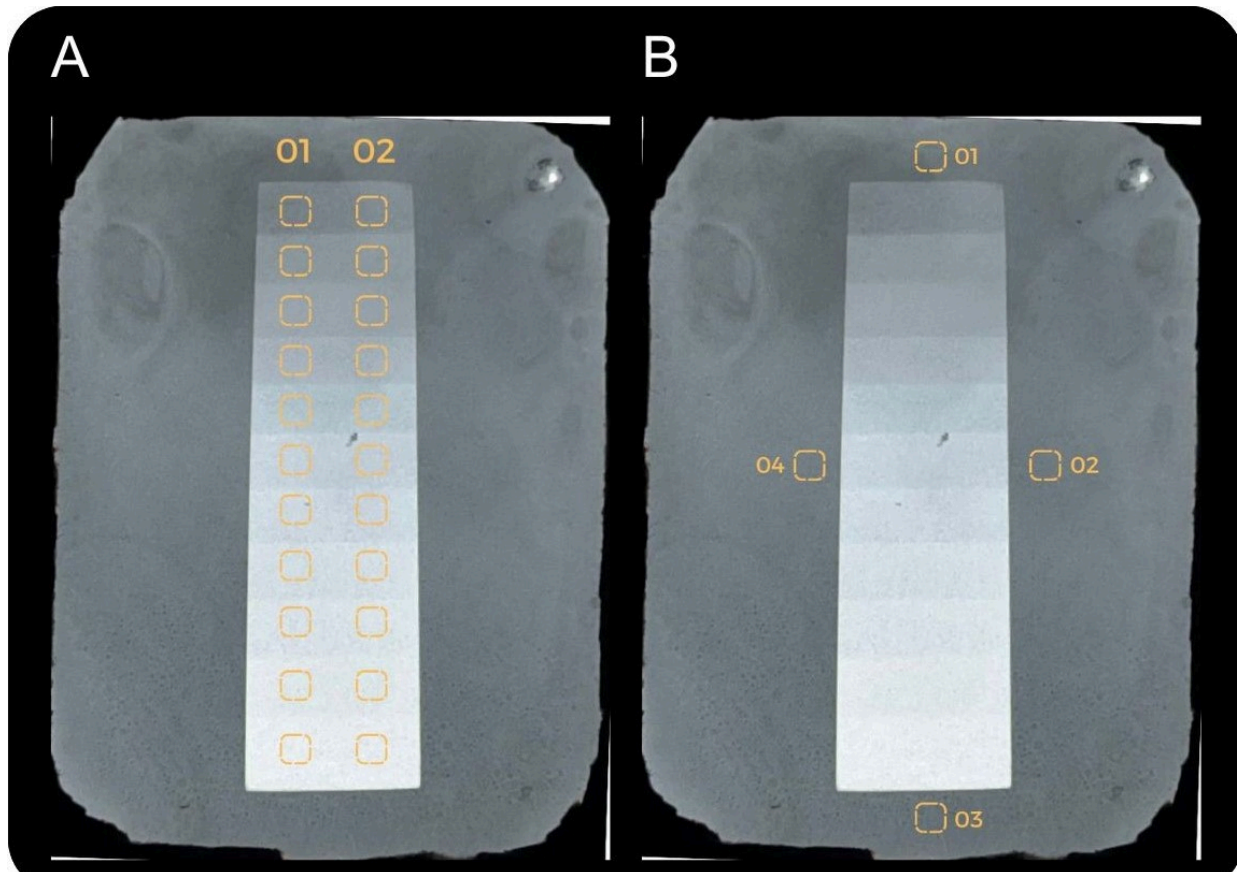


Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025)

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos dos tons de cinza foram avaliados estatisticamente no software Jamovi (versão 2.6) com nível de significância de 5%. A normalidade dos dados e a presença de outliers foi avaliada pela análise de distribuição dos gráficos de Boxplot e teste de Shapiro–Wilk. A comparação entre as médias de tons de cinza de acordo com cada degraus da escala metálica e o véu/fog medido fora da escala nos os diferentes tempos de processamento dos filmes autorreveláveis foi realizada através do teste de Kruskal–Wallis e o teste de comparações múltiplas (Post-Hoc) de Dwass-Steel-Crithlow-Fligner (DSCF).

Figura 6 - Fotografia das aquisições radiográficas e o posicionamento das ROIs para análise. Imagem A, posicionamento das 2 ROIs por cada degrau da escala de alumínio; Imagem B, posicionamento dos pontos externos para obtenção dos tons de cinza e os desvios padrão.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2025)

4 RESULTADOS

O resultado do teste de Shapiro-Wilk indicou que os dados não eram normais ($p < 0,05$) e havia presença de outliers, que não foram excluídos para análise devido ao manchamento das áreas avaliadas. Os dados da estatística descritiva estão disponíveis na tabela 1.

Tabela 1 - Valores medianos e mínimo e máximo dos tons de cinza e o valor de p entre os onze degraus da escala de alumínio independente do tempo de processamento

Degrau	Valor mediano de cinza	Mínimo	Máximo	Valor de p
1	132,9	119,2	149,0	0,014
2	151,5	130,5	164,0	0,007
3	158,3	134,3	173,2	<0,001
4	167,7	140,7	186,5	<0,001
5	181,3	148,5	201,33	<0,001
6	194,3	152,6	214,7	<0,001
7	207,2	167,7	227,8	<0,001
8	219,2	191,8	243,33	<0,001
9	233,0	208,7	254,2	0,002
10	243,7	221,8	255,0	<0,001
11	248,2	231,5	255,0	<0,001

* $p < 0,05$

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A partir do teste de Kruskal–Wallis (Tabela 2) para comparação entre os grupos de tempo de processamento e os degraus da escala foi observada diferença significativa entre os tempos de processamento e os degraus 4 ($H(5)=20.29$, $p=0,001$), degrau 5 ($H(5)=32.30$, $p<0,001$), degrau 6 ($H(5)=27.77$, $p<0,001$) e degrau 7 ($H(5)= 23.49$, $p<0,001$).

Tabela 2 - Valores do teste de Kruskal-Wallis na comparação dos seis tempos de processamento em relação aos degraus da escala

Degrau	χ^2	gl	p
1	6,39	5	>0,05
2	3,86	5	>0,05
3	6,51	5	>0,05
4	20,29	5	0,001*
5	32,30	5	<0,001*
6	27,77	5	<0,001*
7	23,49	5	<0,001*
8	9,91	5	>0,05
9	6,04	5	>0,05
10	4,39	5	>0,05
11	9,94	5	>0,05

*p<0,05 para o teste de Kruskal-Wallis

χ^2 : Valor do teste de Kruskal-Wallis

Fonte: Realizado pelo autor (2025).

Para encontrar os tempos de processamentos em que houve a diferença foi realizado o teste de comparações múltiplas (Post-Hoc) de DSCF e os resultados estão descritos na (tabela 3). O valor do tom de cinza no processamento químico imediato (0 horas) mostrou diferença significativa entre o processamento após 24 horas nos degraus 4, 5, 6 e 7. Houve diferença também entre o processamento após 1 hora quando comparado com o após 24 horas e quando comparados o processamento imediato e 4 horas após em três dos quatro degraus comparados.

Os quatro pontos externos de cada radiografia foram agrupados por tempo de processamento e analisados também através do teste de Kruskal-Wallis devido a não normalidade. O resultado apontou que não há diferença estatística entre os tempos de processamento e o velamento das imagens radiográficas sendo $H(5) = 7.9$, $p=0,162$.

Tabela 3 – Valores de W e dos valores de p nas comparações entre os momentos para os degraus 4, 5, 6 e 7.

Comparação entre tempos		Degrau 4		Degrau 5		Degrau 6		Degrau 7	
		W	p	W	p	W	p	W	p
0 HORAS	1 HORAS	0.816	0.993	-0.816	0.993	0.000	1.000	-0.898	0.988
0 HORAS	2 HORAS	-1.796	0.802	-3.756	0.084	-2.776	0.364	-2.858	0.330
0 HORAS	4 HORAS	-3.266	0.190	-4.736	0.011*	-4.164	0.038*	-4.572	0.016*
0 HORAS	12 HORAS	-0.163	1.000	-1.960	0.736	-1.306	0.941	0.735	0.995
0 HORAS	24 HORAS	-4.164	0.038*	-5.552	0.001*	-4.817	0.009*	-5.307	0.002*
1 HORAS	2 HORAS	-2.776	0.364	-3.266	0.190	-3.184	0.215	-2.531	0.473
1 HORAS	4 HORAS	-3.919	0.062	-3.838	0.073	-3.593	0.113	-3.103	0.241
1 HORAS	12 HORAS	-0.980	0.983	-1.306	0.941	-1.470	0.905	0.327	1.000
1 HORAS	24 HORAS	-4.572	0.016*	-4.736	0.011*	-4.736	0.011*	-4.001	0.053
2 HORAS	4 HORAS	-1.633	0.858	-1.470	0.905	-0.980	0.983	-0.163	1.000
2 HORAS	12 HORAS	2.041	0.701	3.103	0.241	2.613	0.435	2.858	0.330
2 HORAS	24 HORAS	-2.286	0.588	-2.694	0.399	-2.531	0.473	-0.898	0.988
4 HORAS	12 HORAS	3.674	0.098	4.491	0.019*	4.654	0.013*	4.001	0.053
4 HORAS	24 HORAS	-0.653	0.997	-1.306	0.941	-1.796	0.802	-1.225	0.955
12 HORAS	24 HORAS	-4.001	0.053	-5.471	0.002*	-5.471	0.002*	-4.736	0.011*

*p<0,05

W: Valor do teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram que o tempo decorrido entre a exposição e o processamento influenciou diretamente a densidade óptica das radiografias, principalmente nos graus 4, 5, 6 e 7 da escala metálica de alumínio, que apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,001$). Esse achado evidencia que o filme radiográfico é sensível ao intervalo entre sensibilização e processamento, uma vez que a prata ionizada presente na emulsão está sujeita à oxidação progressiva, alterando o padrão de formação da imagem (Bushong, 2017).

A diferença encontrada concentrou-se nesses degraus intermediários porque eles representam faixas tonais em que as diferenças entre níveis de cinza são mais próximas, tornando pequenas variações químicas mais perceptíveis (Semeye et al, 2018). Assim, qualquer oscilação na ação do monobanho — especialmente quando o processamento é atrasado — impacta diretamente a estabilidade desses tons. Clinicamente, isso é relevante porque diagnósticos como cárie incipiente, desmineralizações iniciais e alterações sutis na interface esmalte-dentina dependem da capacidade da imagem radiográfica de registrar diferenças discretas de densidade. Estudos como os de Sameye *et al.* (2018) e AlShwaimi & Majeed (2013) confirmam esse comportamento, reforçando que filmes autorreveláveis são particularmente vulneráveis a variações químicas nas faixas intermediárias da escala tonal.

O teste de post-hoc revelou que os intervalos de 0 hora para 24 horas e de 1 hora para 24 horas apresentaram as maiores diferenças nos tons de cinza intermediários, indicando que atrasos prolongados intensificam a instabilidade tonal desses degraus. Esse comportamento pode ser explicado pela degradação progressiva da emulsão sensibilizada, uma vez que os cristais de prata expostos sofrem oxidação quando o processamento é retardado, conforme descrito por Bushong (2017) e Akdeniz *et al.* (2006). Alterações químicas decorrentes desse intervalo afetam especialmente tons intermediários, que dependem de diferenças discretas de densidade para adequada representação radiográfica. Achados semelhantes também foram relatados por Al-Kahtani *et al.* (2019), que observaram prejuízo no contraste radiográfico com atrasos superiores a algumas horas. Assim, os resultados reforçam que o processamento químico dos filmes autorreveláveis

deve ser realizado imediatamente após a exposição, a fim de preservar a estabilidade tonal e garantir maior fidelidade diagnóstica.

A literatura odontológica reforça que a densidade radiográfica é crucial para o diagnóstico, principalmente na detecção de lesões iniciais, restaurações, reabsorções radiculares e alterações periodontais (White; Pharoah, 2014). Assim, alterações nos tons de cinza decorrentes de processamento inadequado podem gerar interpretações equivocadas, reduzindo a efetividade diagnóstica em lesões incipientes, como já discutido por Haiter-Neto *et al.* (2008). O presente estudo corrobora a recomendação de fabricantes de filmes autorreveláveis, que orientam o processamento imediato para garantir a estabilidade da imagem. Evidências experimentais mostram que atrasos superiores a 2 h já induzem diferenças significativas na densidade óptica, sobretudo quando o filme permanece à temperatura ambiente (Akdeniz *et al.*, 2006). Em comparação, sistemas digitais apresentam vantagens importantes, pois não dependem de processamento químico nem do tempo entre exposição e aquisição (Alkurt *et al.*, 2007). Esses autores demonstraram que sensores digitais apresentam maior estabilidade tonal, menor variabilidade e melhor repetibilidade de contraste quando comparados a filmes radiográficos, reforçando que a dependência de processamento químico aumenta a suscetibilidade a falhas.

A compreensão das variações observadas nos tons de cinza também requer uma análise da composição química das soluções tradicionalmente utilizadas no processamento radiográfico. O revelador convencional contém agentes redutores, como fenidona e hidroquinona, responsáveis pela redução dos cristais de prata expostos; ativadores alcalinos, como hidróxido de sódio ou potássio; conservantes como sulfito de sódio; e restritores à base de brometo, que modulam a velocidade da reação (White; Pharoah, 2014). O fixador, por sua vez, é composto por tiosulfato responsável pela remoção da prata não exposta, ácido acético como acidificante, conservantes à base de sulfito e endurecedores como sulfato de alumínio, que estabilizam a emulsão durante e após o processamento. Nos filmes autorreveláveis, entretanto, essas funções são combinadas em um único monobanho, no qual agentes redutores, alcalinos, conservantes e fixadores coexistem em proporções concentradas e altamente reativas. Essa fusão torna o sistema mais sensível a pequenas variações químicas quando o processamento é atrasado, especialmente porque oscilações no pH e na oxidação dos agentes redutores afetam de forma mais

acentuada os tons intermediários. Essa característica explica parte da instabilidade tonal observada no presente estudo quando o processamento não ocorreu imediatamente após a exposição.

Como limitação, observou-se a ocorrência de manchamentos recorrentes na maioria das radiografias processadas, percebidos durante o processamento. Embora não tenham sido mensurados sistematicamente, esses artefatos apresentaram um padrão relativamente constante, geralmente localizado na região que primeiro recebe o monobanho após o rompimento do invólucro. Supõe-se que o contato inicial e não homogêneo da solução com a emulsão sensibilizada possa ter provocado micro variações químicas locais, levando a áreas de densidade irregular. Ainda que essa hipótese não tenha sido confirmada experimentalmente, trata-se de uma observação pertinente, compatível com a literatura, que descreve que a distribuição não uniforme da solução pode resultar em manchas, alterações de contraste e variações abruptas de densidade (Price, 1980; ISO 3665, 1996). Esses achados reforçam a necessidade de estudos futuros com controle mais rigoroso dessa etapa e com métodos de processamento suplementares que minimizem tais variabilidades.

Deste modo, os resultados do presente estudo reforçam que o controle rigoroso do processamento continua sendo indispensável na utilização de filmes autorreveláveis. A ausência desse controle impacta diretamente a reprodução da densidade e, conseqüentemente, a capacidade diagnóstica, tornando o processo menos previsível que os métodos digitais. Recomenda-se, portanto, que o processamento seja realizado imediatamente após a exposição, seguindo as orientações dos fabricantes e a literatura consolidada, garantindo máxima fidelidade da imagem radiográfica.

6 CONCLUSÃO

O momento do processamento químico no filme autorrevelável influenciou nos tons de cinza intermediários, sendo que, no geral, o tempo maior entre a exposição e o processamento químico altera os tons de cinza. Desta forma, sugere-se que o processamento químico seja feito imediatamente após à exposição do filme autorrevelável à radiação X garantindo melhor qualidade e previsibilidade da imagem. Apesar disso, limitações como manchamentos e pequenas variações ambientais reforçam a necessidade de investigações futuras para otimizar o uso clínico desses filmes.

REFERÊNCIAS

- AKDENIZ, B. G.; SOBOUTI, F.; ERKAN, M. The effect of delayed processing on radiographic density in intraoral films. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 35, n. 3, p. 179–182, 2006.
- AL-KAHTANI, S. et al. Effect of processing delay on radiographic image quality: an in vitro assessment. **Saudi Dental Journal**, v. 31, n. 4, p. 480–486, 2019.
- ALKURT, M. T. et al. In vitro comparison of four different dental X-ray films and direct digital radiography for proximal caries detection. **Operative Dentistry**, v. 32, n. 5, p. 504-509, set./out. 2007.
- ALSHWAIMI, E.; MAJEED, A. Perceived quality, clarity, and accuracy of manually processed and self-developing radiographs in endodontics. **International Journal of Health Sciences (Qassim)**, v. 7, n. 2, p. 116-123, jun. 2013.
- ARRUDA, W. O. Wilhelm Conrad Röntgen: 100 years of X-rays discovery. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 54, n. 3, p. 387-392, 1996.
- BUSHONG, S. C. Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection. 11. ed. St. Louis: **Elsevier**, 2017.
- CANDEIRO, G. T. M.; BRINGEL, A. S. F.; VALE, I. S. Radiologia digital: revisão de literatura. **Revista Odontológica de Araçatuba**, v. 30, n. 2, p. 38-44, 2009.
- DENTAL-FILM SRL. Ergonom-X Self-Developing Film – Technical Specifications. Milano: **Dental-Film**, 2015.
- EIKENBERG, S.; VANDRE, R. Comparison of digital dental X-ray systems with self-developing film and manual processing for endodontic file length determination. **Journal of Endodontics**, v. 26, n. 2, p. 65-67, fev. 2000.
- GEIST, J. R. et al. Effects of processing on the sensitometric properties of Kodak Insight and Ektaspeed Plus intraoral films. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 91, n. 2, p. 203-209, 2001.

HAITER-NETO, et al. Effect of image manipulation on diagnosis of proximal caries. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 37, n. 6, p. 357–362, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3665: Radiographic film for dental intra-oral radiography – Specifications. Geneva: ISO, 1996.

JACQUET, W.; CLEYMAET, R.; BOTTENBERG, P. Influence of observer age on radiographic grey value perception in a 12-bit scale. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 48, n. 3, p. 20180337, 2019.

POLETI, M. D. *et al.* Effect of exposure time on grey values in digital radiography systems: a phantom study. **Imaging Science in Dentistry**, v. 49, n. 4, p. 317-324, 2019.

POURSHAKIBAEI, H. *et al.* Comparison of self-developing x-ray film and conventional film in working length estimation: an in vitro study. **Iranian Endodontic Journal**, v. 14, n. 1, p. 36-41, 2019.

PRICE, C. Sensitometric methods for dental radiographic film. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology**, v. 49, n. 4, p. 321-327, 1980.

RAEES, M. U. *et al.* Evaluation of the diagnostic quality of self-developing radiographic films in endodontics. **Pakistan Oral & Dental Journal**, v. 38, n. 2, p. 229-232, 2018.

RAEES SAMEYE, M. *et al.* Comparison of Digital Radiography, Conventional Film and Self-Developing Film for Working Length Determination. **Iranian Endodontic Journal**, v. 13, n. 3, p. 381-384, 2018.

SAMEYE, E. *et al.* Evaluation of contrast and density of self-developing films at different time intervals. **Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects**, v. 12, n. 2, p. 100-105, 2018.

TAKESHITA, W. M. *et al.* Avaliação da qualidade das radiografias periapicais processadas em consultórios odontológicos particulares. **Revista Brasileira de Odontologia**, v. 69, n. 2, p. 116-120, 2012.

WHITE, S. C.; PHAROAH, M. J. ***Oral Radiology: Principles and Interpretation***. 7. ed. St. Louis: Mosby/Elsevier, 2014.

ANEXO A - Cartilha do fabricante: recomendações e guia de soluções de problemas

INSTRUÇÕES PARA USO

1. Sugerimos que desinfete o filme antes de usar. Depois da exposição ao raio-x, coloque o ERGONOM-X na posição vertical com o filme para baixo e pressione a bolsa do líquido até romper-la, fazendo-o escorrer para baixo. É importante pressionar a bolsa até a sua extremidade, certificando-se de que todo o banho siga até a extremidade oposta do filme.



2. Segurando o filme pelo topo, comece a pressionar com a outra mão, deslizando os dedos desde cima e descendo até o fim do filme, repetindo este movimento durante 50 seg. no mínimo. É **IMPORTANTE PRESSIONAR CONSTANTEMENTE DURANTE 50 SEG.** E **IMEDIATAMENTE APÓS A BOLSA DO BANHO TER SIDO ABERTA**, caso contrário a imagem pode ficar manchada.



3. Quando a revelação e a fixação estiverem completas, coloque o ERGONOM-X com o filme para cima e force todo o líquido de volta para a bolsa original também pressionado e deslizando os dedos. Rasgue a embalagem externa puxando a aba dobrada próxima ao filme. Retire o filme e limpe-o com água corrente, deslizando os dedos sobre sua superfície para retirar todo o banho residual, caso contrário a imagem pode ficar amarela. Toda a embalagem do filme pode ser descartada com outros objetos agressivos do ambiente.



GNATUS

ERGONOM-X

FILME RADIOGRÁFICO AUTO-REVELÁVEL

GNATUS Produtos Médicos e Odontológicos LTDA
Rua 4, n° 889, Centro, Barretos, SP, CEP: 14780-005
Tel. (17) 3321-6999



NÃO!

Não bloqueie a parte central -
Siga as instruções do ponto 2.



CE
0476



TABELA DE EXPOSIÇÃO

TABELA DE EXPOSIÇÃO	OBJETO	TEMPO (70kV 8 mA)
Maxilar	Molares	0,5 Seg.
	Premolares	0,35 *
	Caninos	0,3 *
	Incisivos	0,3 *
Mandibular	Molares	0,35 Seg.
	Premolares	0,3 *
	Caninos	0,25 *
	Incisivos	0,25 *

FILME CLASSE "D". AJUSTE O TEMPO E FORMA DE USO DE ACORDO COM O EQUIPAMENTO

GUIA DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS



DEMASIADA EXPOSIÇÃO - Imagem escura e ilegível. Diminua o tempo de exposição ou verifique se a voltagem de raio-x está conforme com a voltagem referenciada na nossa tabela de exposição (70 kV-8mA). Se a voltagem não estiver adequada diminua ou aumente os tempos de exposição. Para aparelhos de 50 kV, 60 kV ou 75 kV, modifique o tempo de exposição em + ou - 2 a 3 décimos de segundo.



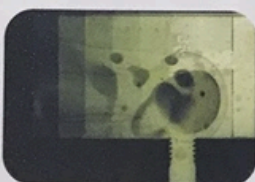
POUCA EXPOSIÇÃO - Imagem fraca, com falta de detalhes. Aumente o tempo de exposição, caso contrário verifique o comprimento do cone contra a voltagem do aparelho. Por favor note que um cone "longo" pode causar a impressão de uma exposição menor. Se é usado um cone "longo", aumente o tempo de exposição em 20-30%.



EFEITO AMARELADO - Lavagem insuficiente ou parcial. Banho residual que oxida alguns segundos após o filme ser retirado do banho causa este efeito amarelado. Passe por água corrente ambos os lados do filme completamente. Se for necessário, o filme pode ser passado por água corrente durante um minuto. Enquanto lava, deslize os dedos sobre a superfície do filme removendo toda a solução do banho. O filme não será danificado.



MANCHAS - Banho insuficiente. Manchas pretas ou transparentes podem aparecer no filme revelado. Podem aparecer formas diferentes: manchas pequenas ou grandes, pontos pretos, riscos, auréolas, etc. Todos esses casos são causados por banho insuficiente, o que permite que permaneçam bolhas de ar. Ative e agite através do cartão vermelho de instruções incluído em cada caixa de ERGONOMX. Os riscos podem mesmo aparecer quando o filme não está completamente seco.



VÁRIOS DEFEITOS - Este exemplo mostra um filme que ficou sob pouca exposição e também teve um banho insuficiente. É importante começar o banho (massageando o filme) imediatamente depois da bolsa do líquido ser rompida. Libere todo o líquido contido na bolsa e massageie o líquido por cima do filme num movimento de trás para a frente durante 50 seg. Evite guardar o filme em geladeira pois as temperaturas baixas provocam um endurecimento da solução do banho, reduzindo as suas características fluidas.