

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Luísa Linhares Moraes

**AVALIAÇÃO DE INTERFERENTES NA REAÇÃO
QUIMIOLUMINESCENTE DO LUMINOL COM SANGUE**

Belo Horizonte
2026

Luísa Linhares Moraes

**AVALIAÇÃO DE INTERFERENTES NA REAÇÃO
QUIMIOLUMINESCENTE DO LUMINOL COM SANGUE**

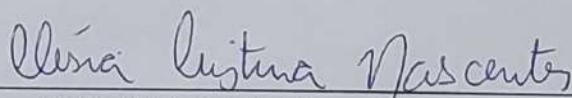
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Química do Instituto de
Ciências Exatas, da Universidade Federal de
Minas Gerais, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Clésia Cristina
Nascentes

Coorientador: Dr. Washington Xavier de Paula

Ata da sessão de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Química da Universidade Federal de Minas Gerais, da aluna Luísa Linhares Moraes, nº de registro 2021038666.

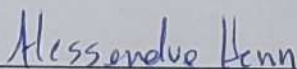
O Trabalho de Conclusão de Curso da aluna **Luísa Linhares Moraes**, intitulado "**Avaliação de interferentes na reação quimioluminescente do luminol com sangue**", foi avaliado e aprovado pela Banca Examinadora constituída por Me. Pablo Alves Marinho (Polícia Civil de Minas Gerais), Profa. Alessandra Henn (DQ - UFMG) e Profa. Clésia Cristina Nascentes (DQ - UFMG), orientadora do trabalho de conclusão de curso, no dia 23 de junho de 2026.



Profa. Clésia Cristina Nascentes



Me. Pablo Alves Marinho



Profa. Alessandra Henn



Documento assinado digitalmente

DALVA ESTER DA COSTA FERREIRA SANTOS

Data: 30/06/2026 14:29:18-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dario Windmüller / Profa. Dalva Ester da Costa Ferreira
Coordenador dos Cursos de Graduação em Química e Química Tecnológica
ICEx –UFMG

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marly e André, por não medirem esforços para que eu chegasse até aqui. Obrigada por tanto amor, cuidado, preocupação e dedicação. É impossível mensurar quanto sou grata por tudo que fizeram e fazem por mim. Eu amo muito vocês.

Ao meu noivo Ian, pelo apoio incondicional, por estar sempre ao meu lado e por sempre acreditar em mim, até quando eu mesma duvidava. Você é meu porto seguro. Eu te amo infinito!

Aos amigos que tive o prazer de conhecer nesta faculdade, por deixarem o curso mais leve e divertido. Agradeço, em especial, ao Pedro Mendes, ao Douglas, ao Pedro Fonseca e ao Henrique, vocês foram essenciais nessa graduação.

Aos meus amigos mais próximos, especialmente à Renata, por estar sempre por perto, mesmo que fisicamente distante, sorrindo e chorando comigo.

Aos meus pais científicos, Clésia, Pablo e Washington, pela oportunidade, pela paciência, pelo carinho e por tanto conhecimento. Foi uma honra trabalhar e aprender com pessoas tão incríveis. Vocês são inspirações para mim.

À Divisão de Laboratório da Polícia Civil de Minas Gerais, por todos esses anos de acolhimento. Agradeço, em especial, aos peritos da Seção Técnica de Física e Química Legal, por todo aprendizado, convivência e carinho. Sentirei muita saudade da rotina no laboratório com vocês.

À minha família, por torcer por mim e celebrar comigo as minhas conquistas.

À Carine Horta, por ter fornecido a amostra de sangue utilizada neste projeto.

À prof. Dra. Isolda, pela disposição em realizar as análises de fluorescência de raios X comigo.

À FAPEMIG pelo financiamento da Rede Mineira de Ciências Forenses, que apoiou o desenvolvimento deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, colaboraram na minha formação e que, embora não citados aqui, não deixam de merecer o meu agradecimento.

“Todo contato deixa uma marca.”
(Edmond Locard)

RESUMO

O sangue é o fluído corpóreo mais encontrado em locais de crime, sendo ele crucial na investigação que será realizada. Pode apresentar diferentes aspectos, conforme o tempo de exposição ao ambiente e o tipo de superfície em que fora encontrado. A identificação das manchas de sangue pode ser realizada por testes presuntivos e por testes de confirmação. Os testes presuntivos, também chamados de triagem ou orientação não são métodos precisos, pois vários fatores podem influenciar seus resultados, mas apontam a possibilidade de uma amostra conter ou não sangue. O luminol (5-amino-2,3-dihidroftalazina-1,4-diona) é utilizado nas ciências forenses para revelação de vestígios de sangue desde 1937, quando foi proposto por Walter Specht. Sua funcionalidade baseia-se na quimioluminescência (QL), em que uma solução alcalina de luminol com peróxido de hidrogênio, ao entrar em contato com o sangue, utiliza o ferro presente na hemoglobina como agente catalisador, emitindo uma luz branco-azulada. Essa reação é muito sensível, porém apresenta baixa especificidade, de forma que a presença de contaminantes químicos, assim como o uso de materiais capazes de mascarar ou modificar a aparência do sangue, pode comprometer a confiabilidade dos resultados obtidos. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a potencial interferência de revestimentos e alguns materiais na reação quimioluminescente do sangue com luminol, a fim de contribuir para otimização de exames realizados pela perícia criminal. Para isso, diferentes produtos de limpeza e revestimentos foram aplicados a superfícies de cerâmica. Avaliou-se também o efeito da lavagem e do entintamento do sangue em diferentes superfícies. Utilizou-se sangue humano como controle positivo. Borrifou-se a solução de luminol sobre as placas em um ambiente escuro, com registro fotográfico de longa exposição, avaliando a intensidade e duração da quimioluminescência. Foram feitas análises de fluorescência de raios X das tintas, verniz e zarcão para identificar possíveis metais que atuem como catalisadores na reação. Observou-se que superfícies porosas apresentaram maior retenção do sangue, com maior intensidade de brilho em relação à superfície não absorvente. Ademais, quando associado a lavagem, o ocultamento por tinta foi mais significativo, dificultando a identificação de manchas de sangue latente. Os resultados obtidos demonstram a necessidade de uma análise cuidadosa na interpretação da intensidade e duração da reação de quimioluminescência do luminol em locais de crime.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESTRUTURA QUÍMICA DO LUMINOL.	13
FIGURA 2 – SÍNTESE DO LUMINOL.	13
FIGURA 3 – ESTRUTURA QUÍMICA DA PORÇÃO HEME DA HEMOGLOBINA LIGADO AO O ₂ E HISTIDINA.	15
FIGURA 4 – ESTRUTURA QUÍMICA HEMATINA.	15
FIGURA 5 – REAÇÃO DO LUMINOL.	17
FIGURA 6 – SUPERFÍCIES UTILIZADAS: A – PISO CERÂMICO POROSO CINZA, B – PISO CERÂMICO NÃO ABSORVENTE BRANCO E C – PISO CERÂMICO POROSO COLORIDO	21
FIGURA 7 – PLACAS DE CERÂMICA POROSA PÓS PINTURA: A) SEM PINTURA B) TINTA G C) TINTA H D) TINTA F E) BETUME DA JUDEIA F) PRIMER G) ZARCÃO H) PRIMER PRETO I) VERNIZ.....	26
FIGURA 8 – REAÇÃO DOS PRODUTOS COM LUMINOL: A) ÁGUA SANITÁRIA B) LUSTRA MÓVEIS C) CERA LÍQUIDA D) SAPÓLIO E) DESINFETANTE F) TINTA G G) TINTA H H) TINTA F I) BETUME J) PRIMER CINZA K) ZARCÃO L) PRIMER PRETO M) VERNIZ. IMAGEM À ESQUERDA DAS FIGURAS CONTROLE +.	27
FIGURA 9 – REAÇÃO COM ÁGUA SANITÁRIA POR TEMPO. IMAGENS INFERIORES: CONTROLE POSITIVO (SANGUE).....	29
FIGURA 10 – REAÇÃO COM DESINFETANTE POR TEMPO. IMAGENS INFERIORES: CONTROLE POSITIVO (SANGUE).....	30
FIGURA 11 – REAÇÃO COM A TINTA G POR TEMPO. IMAGENS À ESQUERDA: CONTROLE POSITIVO (SANGUE).....	32
FIGURA 12 – REAÇÃO COM TINTA F POR TEMPO. IMAGENS INFERIORES: CONTROLE POSITIVO (SANGUE).....	34
FIGURA 13 – REAÇÃO COM ZARCÃO POR TEMPO. IMAGENS INFERIORES: CONTROLE POSITIVO (SANGUE).....	35
FIGURA 14 – REAÇÃO COM VERNIZ POR TEMPO. IMAGENS À ESQUERDA: CONTROLE POSITIVO (SANGUE).....	37
FIGURA 15 – EFEITO DA LAVAGEM NA REAÇÃO DE LUMINOL COM SANGUE DEPOSITADO EM CERÂMICA NÃO ABSORVENTE: A) CONTROLE POSITIVO- SANGUE; B) PLACA APÓS LAVAGEM COM ÁGUA; C) APÓS LAVAGEM COM ÁGUA SANITÁRIA.....	39
FIGURA 16 – EFEITO DA LAVAGEM NA REAÇÃO DE LUMINOL COM SANGUE DEPOSITADO EM CERÂMICA POROSA. A) CONTROLE POSITIVO- SANGUE; B) PLACA APÓS LAVAGEM COM ÁGUA; C) APÓS LAVAGEM COM ÁGUA SANITÁRIA.....	40
FIGURA 17 – SUPERFÍCIE LISA COM SANGUE LAVADA COM ÁGUA SANITÁRIA APÓS 24 H.....	40
FIGURA 18 – TINTA H SOBRE SANGUE: A) PLACA DE CERÂMICA NÃO ABSORVENTE SEM ETAPA DE LAVAGEM ANTES DA APLICAÇÃO DA TINTA E B) PLACA DE CERÂMICA LISA LAVADA COM ÁGUA CORRENTE ANTES DA APLICAÇÃO DA TINTA.	41
FIGURA 19 – TINTA F SOBRE SANGUE À ESQUERDA E À DIREITA APENAS COM O REVESTIMENTO. .	42
FIGURA 20 – VERNIZ SOBRE SANGUE À ESQUERDA E À DIREITA O PADRÃO APENAS COM O REVESTIMENTO.	42
FIGURA 21 – ZARCÃO SOBRE SANGUE À ESQUERDA E À DIREITA O PADRÃO APENAS COM O REVESTIMENTO.	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS PRODUTOS UTILIZADOS	22
TABELA 2 – ANÁLISE XRF DA TINTA G	33
TABELA 3 – ANÁLISE XRF DA TINTA H.....	33
TABELA 4 – ANÁLISE XRF DA TINTA F.....	34
TABELA 5 – ANÁLISE XRF DO ZARCÃO	36
TABELA 6 – ANÁLISE XRF DO VERNIZ	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL:	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 O LUMINOL: HISTÓRIA, SÍNTESE E PROPRIEDADES	13
3.2 O SANGUE COMO VESTÍGIO FORENSE	14
3.3 QUIMIOLUMINESCÊNCIA	16
3.4 LUMINOL E O SANGUE	17
3.5 INTERFERENTES E FALSOS-POSITIVOS	18
4. PARTE EXPERIMENTAL	21
4.1 MATERIAIS E REAGENTES	21
4.1.1 Superfícies	21
4.1.2 Reagentes	21
4.1.3 Equipamentos e vidrarias	21
4.1.4 Produtos	22
4.2 METODOLOGIA	23
4.2.1 Solução de luminol	24
4.2.2 Preparo dos corpos de prova	24
4.2.2.1 Controle positivo e negativo	24
4.2.2.2 Corpos de prova e avaliação da reação com luminol	24
4.2.2.3 Corpos de prova e avaliação da lavagem	24
4.2.2.4 Corpos de prova e avaliação da tinta sobre o sangue	25
4.3 Análise química	25
4.4 Uso de Inteligência artificial	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1 AVALIAÇÃO DA QUIMIOLUMINESCÊNCIA DOS PRODUTOS	26
5.1.1 Hipoclorito de sódio	29
5.1.2 Revestimentos	31
5.1.2.1 Tinta G	32
5.1.2.2 Tinta H	33
5.1.2.3 Tinta F	34
5.1.2.4 Zarcão	35
5.1.2.5 Verniz	36
5.2 AVALIAÇÃO DA LAVAGEM DA CERÂMICA	39
5.3 AVALIAÇÃO DA TINTA SOBRE O SANGUE	41
6. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44
ANEXO 1	47

1. INTRODUÇÃO

A perícia criminal desempenha um papel fundamental na elucidação de delitos, pois analisa os vestígios com embasamento técnico-científico, fornecendo provas materiais e reconstrução dos fatos (APCF, 2026). Em locais de crime, um dos principais vestígios é o sangue, uma vez que além de ser possível identificar vítimas e suspeitos, o padrão das manchas de sangue pode fornecer elementos pra elucidação da dinâmica dos fatos (VASCONCELLOS *et al.*, 2017).

O sangue corresponde de 7-8 % da massa total do corpo, variando em volume entre 4,5 e 6 litros. As hemácias são as células mais abundantes no tecido hemático, as quais possuem a hemoglobina, responsável pela coloração avermelhada típica. A hemoglobina se liga ao grupo heme, cujo núcleo é um átomo de ferro, o que confere à hemoglobina a atividade de pseudoperoxidase (URSINI *et al.*, 2022). Em superfícies claras, o sangue é facilmente detectado, mas em superfícies escuras, sua visualização é prejudicada (BUTLER, 2019). Ademais, é possível que o sangue se apresente como um vestígio latente, ou seja, invisível a olho nu, uma vez que os criminosos tentam remover através de lavagem ou ocultação (FRAGOSO, 2021). No entanto, o sangue é difícil de se eliminar completamente, com superfícies porosas retendo traços hemáticos, como rejuntas, cerâmicas, carpetes etc. Esses traços se tornam visíveis ao aplicar reagentes químicos durante a investigação (BARNI *et al.*, 2007).

Reagentes quimiluminescentes possuem larga aplicação em análises forenses, sendo utilizadas na detecção de alimentos, medicamentos, sangue, águas mineiras e bebidas industrializadas. As vantagens incluem alta sensibilidade, baixos limites de detecção, ampla faixa de resposta linear e de fácil preparo. Dentre esses, tem-se o luminol, que é o reagente químico mais amplamente consagrado para revelação de manchas de sangue latente. Em um ambiente escuro, pulveriza-se uma solução alcalina de luminol com um agente oxidante sob a superfície a ser examinada. Ao entrar em contato com o ferro presente na hemoglobina, que atua como catalisador, ocorre uma reação de oxidação que emite a luz branco-azulada característica, fenômeno denominado quimioluminescência.

A quimioluminescência pode ocorrer de duas formas: direta e indireta. A reação envolve a oxidação de moléculas específicas, gerando um intermediário instável, que ao voltar para o estado fundamental, pode liberar sua energia pela emissão de luz (direta) ou transferir para um fluoróforo adjacente, que fica excitado e libera parte da energia emitindo luz (indireta) (TZANI *et al.*, 2021).

Na reação do luminol com o peróxido de hidrogênio em água, é necessário um

catalisador redox, em que muitos metais de transição podem ser utilizados para esse fim (ALBERTIN, 1998). Pequenas concentrações de cátions de metais de transição (como Ni(II), Th, Tl, As, Al(III), Sn(II), Pb(II), Bi(III), Cr(III), Fe(II), Fe(III), Os(III), Co(II), Cu(II), Zn(II), Pd(II), Ag(I), Au(III), Hg(II), Ce(IV), U(VI), Sb (III), Zr (IV), V(III), Mn(II), e Cd(II)) podem causar efeito significativo na velocidade da reação, uma vez que métodos cinéticos analíticos apresentam elevada sensibilidade (FERREIRA, 2002). Portanto, materiais contendo esses íons podem gerar resultado falso positivo na reação de luminol com o sangue. Ainda não se compreendeu totalmente o mecanismo da catálise, acreditando-se que o catalisador forma algum tipo de complexo intermediário ou radical, o que por sua vez leva ao estado excitado do luminol (CREAMER, 2003).

O hipoclorito (OCl^-) é um componente comum em muitos produtos de limpeza, e foi um dos primeiros reagentes a apresentar quimioluminescência branco-azulada com o luminol. É classificado como oxidante médio-forte, de forma que não necessita de um catalisador para que a reação aconteça (BARNI, 2007). No entanto, seu padrão de brilho gera lampejos rápidos, como estrelas cintilantes, enquanto a reação com sangue apresenta uma luminosidade intensa e duradoura (BRENZINI, 2018).

O pH do meio também é capaz de gerar interferências na reação com o luminol, uma vez que as etapas do mecanismo dependem do pH, afetando a taxa de reação (MERENYI, 1986).

Dessa forma, o interesse das ciências forenses em analisar as potenciais interferências na reação de quimioluminescência de sangue com o luminol motivou a realização deste trabalho, com o intuito de auxiliar na elucidação de crimes pelo aprimoramento das técnicas utilizadas a fim de reduzir interpretações errôneas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Avaliar a potencial interferência de revestimentos e produtos de limpeza na reação quimioluminescente do sangue com luminol.

2.2 Objetivos específicos:

Avaliar a presença, o tempo de resposta e a duração da luminescência nas superfícies pintadas com diferentes revestimentos;

Avaliar a interferência de produtos de limpeza na reação quimioluminescente do luminol com sangue;

Contribuir para a otimização dos exames realizados na rotina do Instituto de Criminalística.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O luminol: história, síntese e propriedades

O luminol (5-amino-2,3,dihidroftalazina-1,4-diona) é um sólido cristalino branco-amarelado, praticamente insolúvel em água, com temperatura de fusão entre 319-320°C, pKa1 de 6,74 e pKa2 de 15,1, é estável a temperatura ambiente e sensível a luz (BARNI *et al.*, 2007). Apresenta fórmula molecular $C_8H_7N_3O_2$ e número CAS 521-31-3. É um composto lábil, sendo necessário que a solução seja preparada no momento do uso. Sua estrutura pode ser observada na Figura 1.

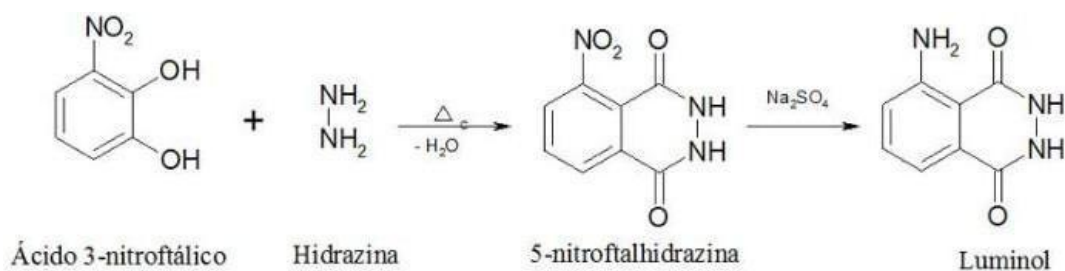
Figura 1 – Estrutura química do luminol.



Fonte: Vasconcellos *et al.*, 2017.

A síntese clássica do luminol acontece em duas etapas principais, ilustradas na Figura 2. Primeiramente ocorre a reação do ácido 3-nitroftálico com a hidrazina que, sob aquecimento, forma a 5-nitroftalhidrazina. Posteriormente, há a redução do grupo nitro, gerando o produto final (CHEMELLO, 2007).

Figura 2 – Síntese do luminol.



Fonte: Chemello, 2007.

Embora Schmitz seja frequentemente citado como o primeiro a sintetizar o luminol no início do século XX, foi Albrecht, em 1928, quem descreveu sua participação em reações quimioluminescentes (BARNI *et al.*, 2007). Em 1934, Huntress sugeriu nomear esse composto de luminol, que significa “produtor de luz”. Seu uso nas ciências forenses começou em 1937, quando o cientista alemão Walter Specht o propôs para a detecção preliminar de sangue, após pulverizar sangue em cercas de ferro enferrujadas, paredes de pedra e em um jardim, e observar a quimioluminescência ao aplicar a solução de luminol duas semanas depois. Sua conclusão foi de que a reação positiva foi mais evidente em amostra de sangue envelhecido do que em sangue fresco (GRISPINO, 1991). Atualmente, o luminol é um dos testes presuntivos amplamente utilizados para identificação de sangue, devido ao seu fácil manuseio e alta sensibilidade (FRAGOSO *et al.*, 2021).

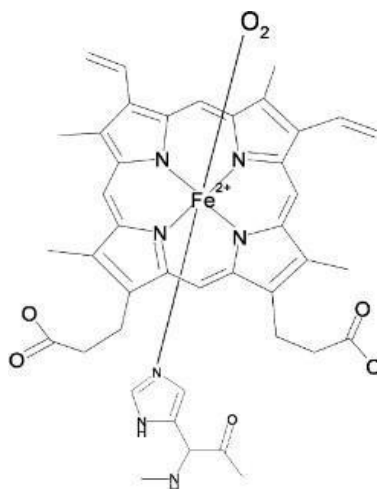
3.2 O sangue como vestígio forense

O sangue é o único tecido líquido do corpo, sendo formado por uma porção plasmática e uma porção celular, chamada de elementos figurados. Tal porção é constituída por três grupos principais de células: os eritrócitos (glóbulos vermelhos), os leucócitos (glóbulos brancos) e os trombócitos (plaquetas) (FRAGOSO *et al.*, 2021).

Os eritrócitos, também chamados de hemácias, são as células mais abundantes no tecido sanguíneo e são os elementos responsáveis pela coloração vermelha do sangue, devido a hemoglobina (URSINI *et al.*, 2022).

A hemoglobina é uma proteína formada por quatro subunidades polipeptídicas, cada uma ligada a um grupo heme, que possui em seu centro um átomo de ferro (Figura 3). Este ferro (na forma ferrosa Fe^{2+}), ligado a uma histidina da porção proteica, confere à hemoglobina a capacidade de se ligar ao oxigênio na forma gasosa (O_2). Quando oxidado para a forma férrica (Fe^{3+}), forma-se a metemoglobina, que perde a capacidade de transportar oxigênio (URSINI *et al.*, 2022).

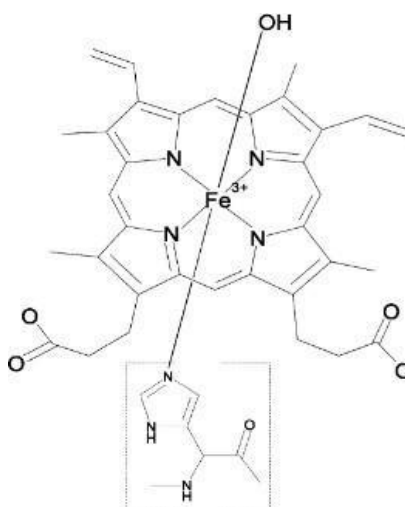
Figura 3 – Estrutura química da porção heme da hemoglobina ligado ao O₂ e histidina.



Fonte: Barni *et al.*, 2007

Quando o sangue se deposita sob uma superfície, ao extravasar do corpo, sofre uma série de processos degradativos, levando a perda da ligação de Fe²⁺ com a histidina, oxidando o ferro a Fe³⁺. Quando o meio apresenta um pH básico, o íon hidroxila se liga ao íon férrico, originando a molécula de hematina, responsável pela mudança da coloração vermelha para tons acastanhados, conforme Figura 4. Quando há um cloro no lugar da hidroxila, recebe-se o nome de hemina. A hematina e a hemina frequentemente são utilizados indistintamente na literatura, pois o importante é que ambas espécies contém o íon Fe³⁺, que é a base de muitos testes presuntivos para identificação do sangue, pela sua atividade de peroxidase (URSINI *et al.*, 2022).

Figura 4 – Estrutura química hematina.



Fonte: Barni *et al.*, 2007

Os testes presuntivos, também chamados de triagem ou orientação não são métodos precisos, pois vários fatores podem influenciar seus resultados, mas apontam a possibilidade de uma amostra conter ou não sangue. São úteis para orientar as regiões no local de crime onde as amostras devem ser coletadas com o intuito de serem analisados por outros testes confirmatórios. Esses testes se caracterizam pela alta sensibilidade e baixa especificidade, baseando-se na oxidação do indicador por um agente oxidante, usando o ferro no sangue como catalisador (ALMEIDA, 2009). Alguns dos testes mais utilizados são: luminol, teste de Alder-Ascarelli (benzidina), teste de Kastle-Meyer (fenolftaleína), orto-toluidina, verde malaquita, tetrametilbenzidina e flurosceína (JAMES *et al.*, 2005).

A orto-toluidina e a benzidina são testes colorimétricos que não são mais utilizadas por serem fortemente carcinogênicos, no entanto, a tetrametilbenzidina é sensível e não carcinogênica, mas pouco específica. O teste de Kastle-Meyer, também colorimétrico, possui alta especificidade, mas é menos sensível do que o luminol, assim como o verde-malaquita, o qual também pode dificultar a análise de DNA (WEBB *et al.* 2006). Tal como o luminol, a flurosceína é capaz de detectar sangue latente, mas necessita de uma fonte de luz alternativa para emitir o brilho fluorescente.

Por outro lado, os testes confirmatórios são caracterizados por apresentarem maior especificidade, atestando a presença de sangue, além de verificar se o material encontrado é de origem humana. Os métodos mais amplamente utilizados são: a inibição da antiglobulina humana, teste imunocromatográfico para detecção de hemoglobina humana, testes de cristais (Takayama e Teichmann), espectrofotometria, extração e quantificação de DNA (ALMEIDA, 2009; URSINI *et al.*, 2022).

3.3 Quimioluminescência

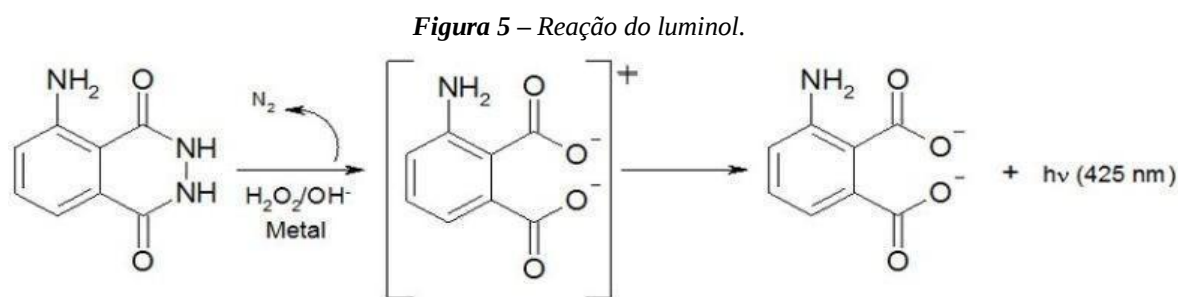
Em 1888, E. Wiedemann definiu a quimioluminescência como a emissão de luz ocorrendo junto a processos químicos, ou seja, reações químicas produzem radiação luminosa eletromagnética (ALBERTIN *et al.*, 1998).

A reação de quimioluminescência com luminol ocorre com um agente oxidante e um catalisador (como metais de transição), sendo mais eficiente em meio básico, com o pH ideal para a identificação de manchas de sangue de aproximadamente 11,5 (Blum *et al.*, 2006). As características do meio reacional podem, portanto, interferir diretamente na cinética da quimioluminescência, resultando em grande variação no tempo de reação, na duração e na intensidade da emissão (VASCONCELLOS *et al.*, 2017).

A formulação inicial, proposta por Grodsky, utilizava uma mistura de luminol,

perborato de sódio (agente oxidante) e carbonato de sódio (meio alcalino) diluídos em água destilada. Já na formulação proposta por Weber, utiliza-se peróxido de hidrogênio como agente oxidante e hidróxido de sódio como alcalinizante. Algumas outras propostas foram feitas a partir da formulação de Weber, como Weber II que utiliza metade das concentrações e BlueStar®, que também utiliza o peróxido de hidrogênio e o hidróxido de sódio (QUINONES *et al.*, 2007).

Na Figura 5 tem-se a proposta de reação do luminol, apresentada por Albertine e colaboradores. Embora o mecanismo geral seja bem conhecido, o mecanismo detalhado e as rotas intermediárias ainda não estão totalmente elucidadas, de forma que é estudado até hoje e há diversas propostas mecanísticas para a reação de oxidação do luminol (ALBERTIN *et al.*, 1998).



Fonte: Vasconcellos, 2017

A reação não é reversível, pois, uma vez que a radiação foi emitida, uma molécula de nitrogênio (N_2) é liberada, sendo necessário adicionar mais luminol para emitir novamente a quimioluminescência (BRENZINI *et al.*, 2018).

3.4 Luminol e o sangue

Na reação com o sangue, o luminol utiliza o ferro presente no sangue como catalisador, emitindo uma luz branco-azulada, com comprimento de onda em torno de 425 nm em solução aquosa (FERREIRA *et al.*, 2002).

Thornton e Maloney, em 1985, propuseram um mecanismo em que a oxidação do luminol pelo peróxido de hidrogênio em meio básico é catalisada pela hemina. Na hemina, o ferro apresenta estado de oxidação 3^+ e nesse processo, ele perde mais um elétron, se tornando Fe^{4+} , um intermediário instável, o qual catalisa a oxidação, produzindo a quimioluminescência ao reduzir novamente a Fe^{3+} . Dessa forma, a reação pode ocorrer diversas vezes ao adicionar mais luminol, uma vez que esse ferro pode participar do processo repetidas vezes. Portanto, a intensidade e a duração da quimioluminescência são

amplificadas em amostras envelhecidas, o que já tinha sido constatado por Specht em 1937 (FERREIRA *et al.*, 2002).

Os efeitos do luminol em testes subsequentes é um tema recorrente de pesquisa, devido ao possível efeito negativo na tipagem do DNA. Barbaro e colaboradores (2004) concluíram que o luminol não interfere significativamente na capacidade de obtenção de perfis de DNA. Porém, Freageau *et al.* (2000, apud NILSSON, 2006) observou que a exposição prolongada aumenta o risco de degradar o DNA. Ademais, a formulação de Grodsky reduz as chances de se obter um perfil de DNA útil, possivelmente devido ao perborato, que é capaz de penetrar nas células e danificar o material genético, conforme sugerido por Seiler, em 1989. Mas é necessário lembrar que o luminol é utilizado em manchas latentes, que possivelmente não seria encontrado de outras formas, o que torna o luminol tão relevante (QUINONES *et al.*, 2007).

O preparo e a aplicação do luminol são bem simples, no entanto a interpretação dos resultados é mais desafiadora, de forma que o perito deve levar em consideração a estrutura física do substrato sobre o qual as manchas de sangue são encontradas, sua composição química e quaisquer outras substâncias interferentes presentes sobre o substrato ao examinar as características de quimioluminescência do luminol e os padrões em locais de crime (BARNI *et al.*, 2007). Além disso, é necessário um ambiente escuro para que a quimioluminescência seja observada e que as fotografias sejam registradas com longa exposição (VASCONCELLOS *et al.*, 2017).

É uma reação altamente sensível e possui baixos limites de detecção, sendo reportado por Webb *et al.* (2006) e Ferreira *et al.* (2002) uma sensibilidade superior a ppb. Todavia, apresenta baixa especificidade, de forma que a presença de contaminantes químicos, assim como o uso de materiais capazes de mascarar ou modificar a aparência do sangue, pode comprometer a confiabilidade dos resultados obtidos.

3.5 Interferentes e falsos-positivos

Por ser um teste presuntivo baseado na atividade catalítica do sangue, o luminol pode reagir com diversas substâncias presentes no cotidiano, gerando os chamados falsos-positivos (URSINI *et al.*, 2022). Barni *et al.* (2007) classificam essas substâncias interferentes em três grandes grupos: compostos com atividade catalítica de peroxidase ou pseudoperoxidase, compostos com elevado poder oxidante e substâncias de composição química complexa.

O primeiro grupo engloba compostos inorgânicos e bioinorgânicos, sendo

principalmente íons metálicos (como em solos, minerais e objetos metálicos), complexos biológicos com metais (como pigmentos de plantas) e enzimas oxidoredutases. Esses compostos catalisam a oxidação do luminol de maneira semelhante ao grupo heme presente no sangue.

O hipoclorito de sódio se encaixa no segundo grupo, assim como permanganato de potássio e iodo, possuindo propriedades oxidantes fortes. Esses componentes são frequentemente utilizados em formulações de produtos de limpeza e desinfecção.

A última categoria se refere a matrizes complexas como óleos, tintas, carpetes e bancos automotivos, e não apresentam um mecanismo de ação definido na reação com o luminol.

Entre os oxidantes, o hipoclorito de sódio é um dos principais interferentes, uma vez que é o princípio ativo da água sanitária, um produto largamente utilizado, inclusive para fazer a limpeza de locais de crime. Segundo um estudo de Quickenden e Cooper, em 2001, a quimioluminescência produzida pelo sangue humano e pelo hipoclorito apresentaram variações no comprimento de onda em que o pico de emissão ocorre, porém é uma variação dificilmente notada a olho nu (URSINI *et al.*, 2022). Ademais, eles concluíram que a reação pela hemoglobina do sangue é mais intensa e duradoura do que a reação com hipoclorito, no entanto não conseguiram diferenciar hemoglobina humana da animal (QUICKENDEN *et al.*, 2001). Uma vez que o hipoclorito é um composto volátil, sua rápida evaporação pode fazer com que sua presença se torne indetectável após aproximadamente 16 horas da aplicação (NILSSON, 2006), não sendo visualizada mais a reação de quimioluminescência do luminol.

Alguns produtos cotidianos que podem afetar a reação são detergentes, alvejantes, ou antioxidantes comuns em bebidas e alimentos, como chá, vinho, cerveja, café, legumes e frutas, desinfetantes ou antissépticos contendo permanganato de potássio ou iodo. No caso de chás, a totalidade dos estudos encontrados na literatura conclui que a alta capacidade antioxidante dos chás verde e preto pode minimizar a emissão de luz quimioluminescente do luminol, podendo gerar resultados falso-negativos (CAVALCANTI *et al.*, 2016).

A pesquisa de Creamer *et al.* (2003) avaliou 250 substâncias quanto à interferência na detecção de sangue por luminol, abrangendo compostos de natureza doméstica, ambiental e industrial. Apenas 10 apresentaram resultado positivo de diferentes intensidades de quimioluminescência, dentre elas hipocloritos, cobre metálico, polidores de móveis e algumas tintas.

Outro fator importante refere-se à natureza do substrato. Laux, em 2005, concluiu que superfícies porosas, como madeira, paredes, tecidos, carpetes e telhas, tendem a absorver maiores quantidades de sangue devido aos seus sulcos e fissuras, mesmo após várias lavagens. Já superfícies não absorventes, como vidro, metal, azulejo e vinil, apresentam maior dificuldade de análise, pois o sangue pode ser removido com maior facilidade (VASCONCELLOS *et al.*, 2017).

Embora a detecção de sangue sob superfícies pintadas não seja uma tarefa comum aos peritos criminais (ADAIR, 2006), uma forma utilizada para ocultar o sangue é o entintamento de paredes, em que no estudo de caso relatado por Miranda *et al.* (2016), houve a necessidade de remover a tinta para visualização do sangue, sugerindo que o luminol não consegue penetrar uma camada de tinta.

Ainda não está completamente esclarecido de que forma variáveis como o tipo de pintura, o processo de limpeza, o padrão da mancha, a textura da parede e o tempo decorrido podem influenciar a eficácia dessa técnica (ADAIR, 2006), sendo necessários mais estudos para elucidar esses efeitos.

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1 Materiais e Reagentes

4.1.1 Superfícies

Utilizou-se 3 modelos de superfície, sendo suas porosas e uma não absorvente. Todas foram provenientes da Seção Técnica de Física e Química Legal (STFQL), pertencente a Divisão de Laboratório do Instituto de Criminalística da Polícia Civil de Minas Gerais. Na figura 6 tem-se as superfícies, sendo A – 8 fragmentos de piso cerâmico poroso cinza 10 cm x10 cm, B – 9 fragmentos de piso cerâmico não absorvente branco 14 cm x10 cm e C – 6 fragmentos de piso cerâmico poroso colorido de formato irregular.

Figura 6 – Superfícies utilizadas: A – piso cerâmico poroso cinza, B – piso cerâmico não absorvente branco e C – piso cerâmico poroso colorido



Fonte: Arquivo pessoal

4.1.2 Reagentes

Utilizou-se o Luminol Inlab (Lote 860309) e soluções de Hidróxido de Sódio (Nuclear. Lote 00071048. Solução 0,25 mol.L⁻¹) e de Peróxido de Hidrogênio (Química Moderna. Lote 04735. Solução 10% v/v) provenientes do STFQL. O sangue foi fornecido pela perita criminal Carina de Oliveira Dumont Horta, da Seção Técnica de Biologia e Bacteriologia Legal do Instituto de Criminalística de Minas Gerais, conforme o termo de consentimento livre e esclarecido, o qual encontra-se no anexo 1 deste projeto. O sangue foi usado exclusivamente como controle positivo.

4.1.3 Equipamentos e vidrarias

Foram utilizados balança analítica, marca Marte (modelo AL200 máx 200g, min 0,025 g, d = 0,5 mg), vidrarias de laboratório (béquer de 100 mL, bastão de vidro, provetas de 25 mL),

espátula, tubo capilar para hematócrito, pincel e borrifador.

Para os registros das imagens, utilizou-se a câmera Sony Cyber-shot DSC-H300 16.2 mp (Figura 6). As configurações foram: 1) flash desligado, 2) tempo de exposição de 2,5 segundos, 3) ISSO 3200, 4) Abertura do diafragma F2.8. Não houve qualquer edição nas fotos. Os vídeos foram gravados com um Iphone 16, sendo anexado ao trabalho em forma de frames. As imagens dos materiais foram feitas pelo Redmi Note 14.

Para análise química, utilizou-se o espectrômetro de fluorescência de raios X Innov-X systems Olympus Delta DP-6000.

4.1.4 Produtos

Todos os produtos, listados de A a M, foram adquiridos no mercado local. A Tabela 1 indica a composição de cada um desses produtos.

Tabela 1 – Composição química dos produtos utilizados

CÓDIGO	PRODUTO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA
A	Água Sanitária	Hipoclorito de sódio (2,0 a 2,5 % p/p) e água.
B	Lustra móveis	Óleo mineral, álcool etoxilado, espessante, emulsificante, alcalinizante, conservantes, fragrância e água.
C	Cera líquida	Dispersão acrílica metalizada, emulsão de polietileno, agente nivelador, agente formador de filme, plastificante, conservante, fragrância, corante e água.
D	Sapólio cremoso	Linear alquilbenzeno sulfonato de sódio, coadjuvantes, espessante, alcalinizantes, abrasivo, conservante, fragrância e água.
E	Desinfetante com Cloro ativo em gel	Hipoclorito de sódio (1,20% p/p), sinergista, coadjuvante, estabilizantes, alcalinizante, sequestrante, espessante, fragrância e água.
F	Tinta esmalte sintético	Resina Alquílica é a base de óleo vegetal semissecativo, resina fenólica para cor alumínio, pigmentos orgânicos e inorgânicos, cargas minerais inertes, secantes organometálicos, Destilados (petróleo) leves tratados com hidrogênio; querosene

		(petróleo); Bis(2-etilhexanoato) de estrôncio; bis(2-etilhexanoato) de zinco; bis(2-etilhexanoato) de cobalto; xileno; bis(2-etilhexanoato) de cálcio; 2-octil-2H-isotiazol-3-ona (Fungicida); Solvente de nafta (petróleo); aromática leve; nafta de baixo ponto de ebulição; Mistura de: 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona e 2-metil-2H-isotiazol-3-ona (3:1 Bactericida); 1,2,4-trimetilbenzeno; n-metilpirrolidona; Ácido dodecilbenzenossulfônico, composto com isopropilamina (1:1).
G	Esmalte sintético premium	Resina alquídica, pigmentos orgânicos e inorgânicos, aditivos, hidrocarbonetos alifáticos.
H	Tinta esmalte brilhante branco	Caulim, dióxido de titânio, óxido férrico, ácido sulfônico, C13-C17-sec-alcano, propilenoglicol, 1-fenoxi-2-propanol, aguarrás mineral
I	Betume da judeia	Asfalto natural, betumin, cálcio.
J	Primer cinza	Resina acrílica, solventes aromáticos, cargas minerais anticorrosivas, butano e propano como propelentes.
K	Zarcão	Resina alquídica, azeite vegetal semi-secante, carga sintéticas (fosco), hidrocarbonetos alifáticos e secantes organometálicos.
L	Primer preto	Resina alquídica, pigmentos inorgânicos e/ou orgânicos, cargas apropriadas, aditivos e solventes.
M	Verniz premium	Resina alquídica, pigmentos anticorrosivos e inertes, secantes, aditivos e solventes alifáticos com pequena fração de aromáticos.

4.2 Metodologia

Todas as análises foram realizadas na Seção Técnica de Física e Química Legal, pertencente a Divisão de Laboratório do Instituto de Criminalística da Polícia Civil de Minas Gerais.

4.2.1 *Solução de luminol*

A solução de luminol foi preparada com base no procedimento operacional padrão da Seção Técnica de Física e Química Legal do Instituto de Criminalística. Uma solução de 0,25 mol.L⁻¹ de hidróxido de sódio e uma solução de 10% v/v de peróxido de hidrogênio foram misturadas na proporção 1:1. A concentração de luminol foi de 0,5% m/v e o pH em torno de 12. Em cada preparação foram pesados 0,5 g de luminol e adicionados 50 mL de solução de hidróxido de sódio 0,25 mol.L⁻¹ e 50 mL de uma solução de 10% v/v de peróxido de hidrogênio. A solução foi preparada pouco antes da utilização, sendo acondicionada para uso em um borrifador.

4.2.2 *Preparo dos corpos de prova*

4.2.2.1 *Controle positivo e negativo*

Inicialmente, borrifou-se a solução de luminol em ambos os pisos de cerâmica (Figuras 6A, 6B e 6C), a fim de garantir que eles não apresentassem quimioluminescência. O controle positivo foi feito com 4 gotas de sangue, adicionadas com auxílio de um capilar, e borrifando o luminol após a secagem por aproximadamente 48 horas.

4.2.2.2 *Corpos de prova e avaliação da reação com luminol*

Iniciou-se as análises com os materiais que não se fixavam no piso, sendo possível lavar posteriormente e reutilizar superfícies. Portanto, com auxílio de um algodão, aplicou-se em toda a extensão de 5 placas, respectivamente, o lustra móveis, água sanitária, desinfetante, cera líquida e sapólio nas superfícies. Após secagem ao toque, borrifou-se o luminol e fotografou-se os resultados. Após as análises, lavou-se as placas com água corrente e álcool 70%.

Em outras placas, iniciou-se a pintura com as tintas, betume, primers, verniz e zarcão, com auxílio de um pincel. Aguardou-se a secagem ao toque dos produtos e borrifou-se o luminol, fotografando os resultados.

Todas as análises com luminol foram realizadas em uma sala escura na Divisão de Laboratório do Instituto de Criminalística.

4.2.2.3 *Corpos de prova e avaliação da lavagem*

Foram utilizadas 4 placas de cerâmica (duas lisas e duas porosas) e, com auxílio de um capilar, adicionou-se 4 gotas de sangue. Com o sangue seco, em uma placa de cada tipo lavou-se com água corrente sem esfregação e, com ela já seca, borrifou-se o luminol e

avaliou-se os resultados. As duas outras placas foram lavadas com água sanitária, borrifando-se o luminol após a secagem. Em outra placa, embebedou-a de água sanitária e deixou-a secando por 24h. Borrifou-se o luminol e avaliou-se o resultado.

4.2.2.4 Corpos de prova e avaliação da tinta sobre o sangue

Em duas placas lisas, com auxílio de um capilar, adicionou-se 4 gotas de sangue. Com o sangue seco, uma das placas foi lavada com água corrente. Passou-se uma camada da tinta Luks (Figura 6N) em cada uma das placas. Com a tinta seca, borrifou-se o luminol e avaliou-se os resultados. Em placas de cerâmica porosa, adicionou-se alíquotas de sangues. Com o sangue seco, aplicou-se em diferentes placas: tinta Suvinil (3 demãos), verniz (3 demãos), e zarcão (uma demão). Com os revestimentos secos, borrifou-se o luminol e avaliou-se os resultados.

4.3 Análise química

Adicionou-se a amostra em um copo de amostra com auxílio de uma pipeta Pasteur. Vedou-se o copo com uma película SpectroMembrane® a Chemplex®. No analisador de fluorescência de raios X Delta, utilizou-se o modo Mining Plus do software Element Suite. Ele apresenta dois feixes de excitação: o de alta energia 1 – 40 kV (o qual analisa V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, W, As, Pb, Bi, Zr, M, Ag, Cd, Sn e Sb) e o de baixa energia 1 – 10 kV (o qual analisa Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti e Mn).

4.4 Uso de Inteligência artificial

Utilizou-se inteligência artificial Gemini e Chat GPT como apoio auxiliar para revisão textual e direcionamento de referências bibliográficas. Com a seleção de artigos escolhida, utilizou-se o Notebook LM para esclarecimento de dúvidas. Todas as decisões, interpretações e redação final foram realizadas pela autora.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

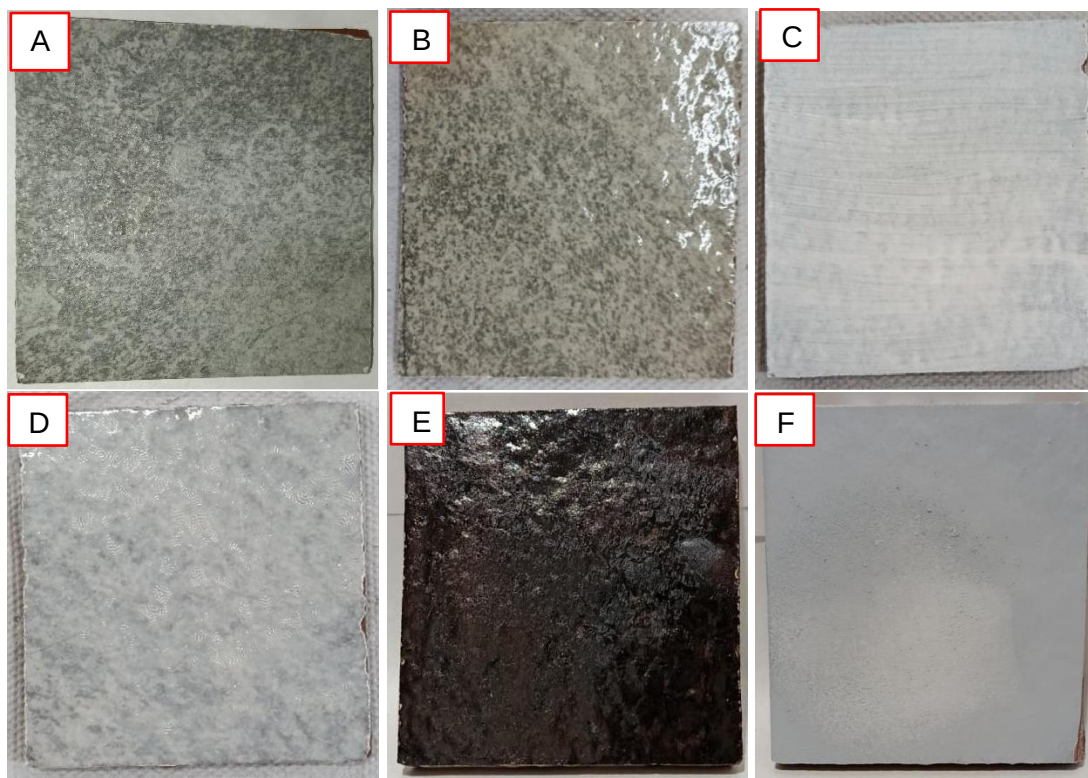
5.1 Avaliação da quimioluminescência dos produtos

Essa etapa tinha como objetivo avaliar produtos que pudessem produzir uma quimioluminescência com o luminol equiparável a reação com o sangue. As superfícies de cerâmicas não reagiram com o luminol, sendo um controle negativo da análise.

Uma cerâmica de cada tipo foi utilizada exclusivamente para sangue, a fim de não contaminar as demais. Durante os experimentos, a duração da quimioluminescência do sangue variou entre 3 e 5 minutos, com a média de aproximadamente 4 minutos.

Na Figura 7 verifica-se as placas de cerâmica porosa pós pintura utilizando os produtos avaliados. Não há imagens da cera, sapólio, água sanitária, desinfetante e do lustra móveis, pois estes não apresentaram qualquer alteração visual significativa em comparação com a placa isolada.

Figura 7 – Placas de cerâmica porosa pós pintura: a) sem pintura b) Tinta G c) Tinta H d) Tinta F e) Betume da Judeia f) Primer g) Zarcão h) Primer preto i) Verniz.

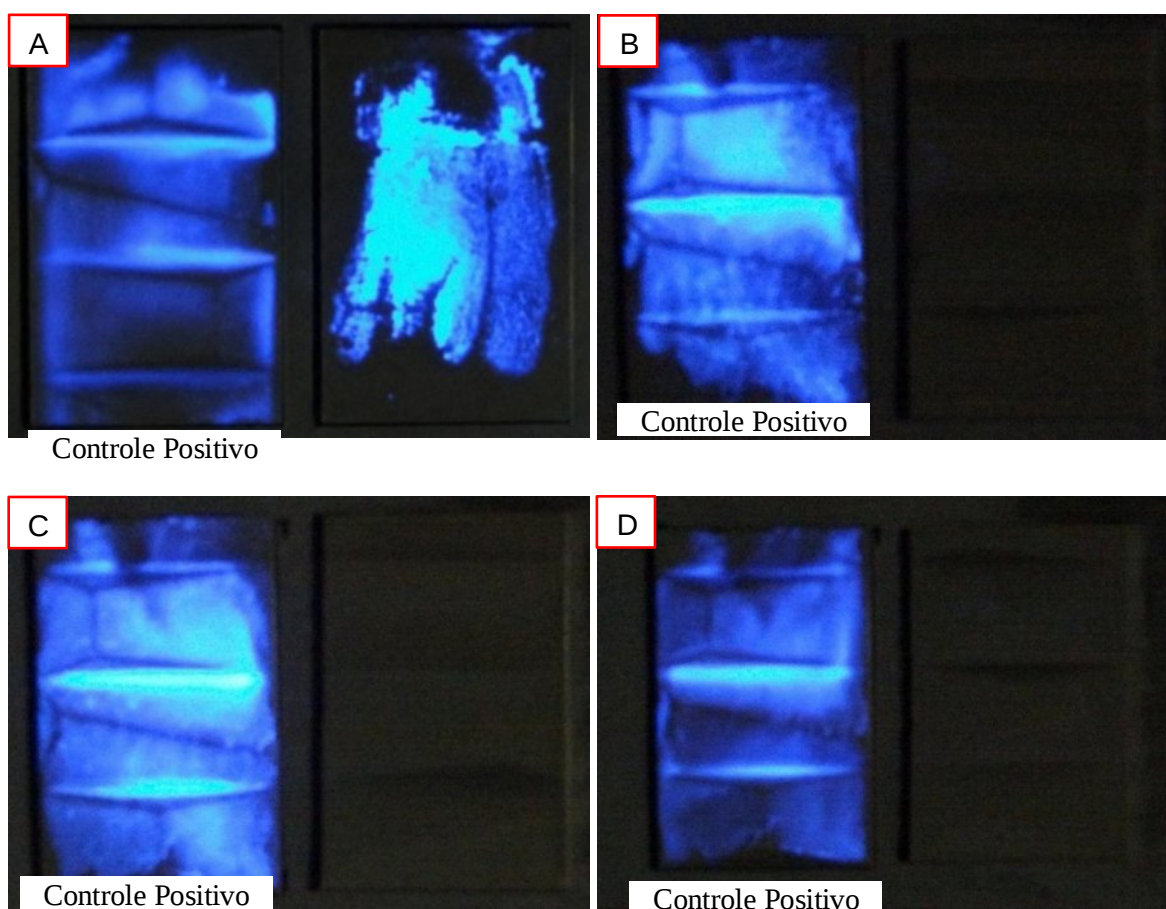


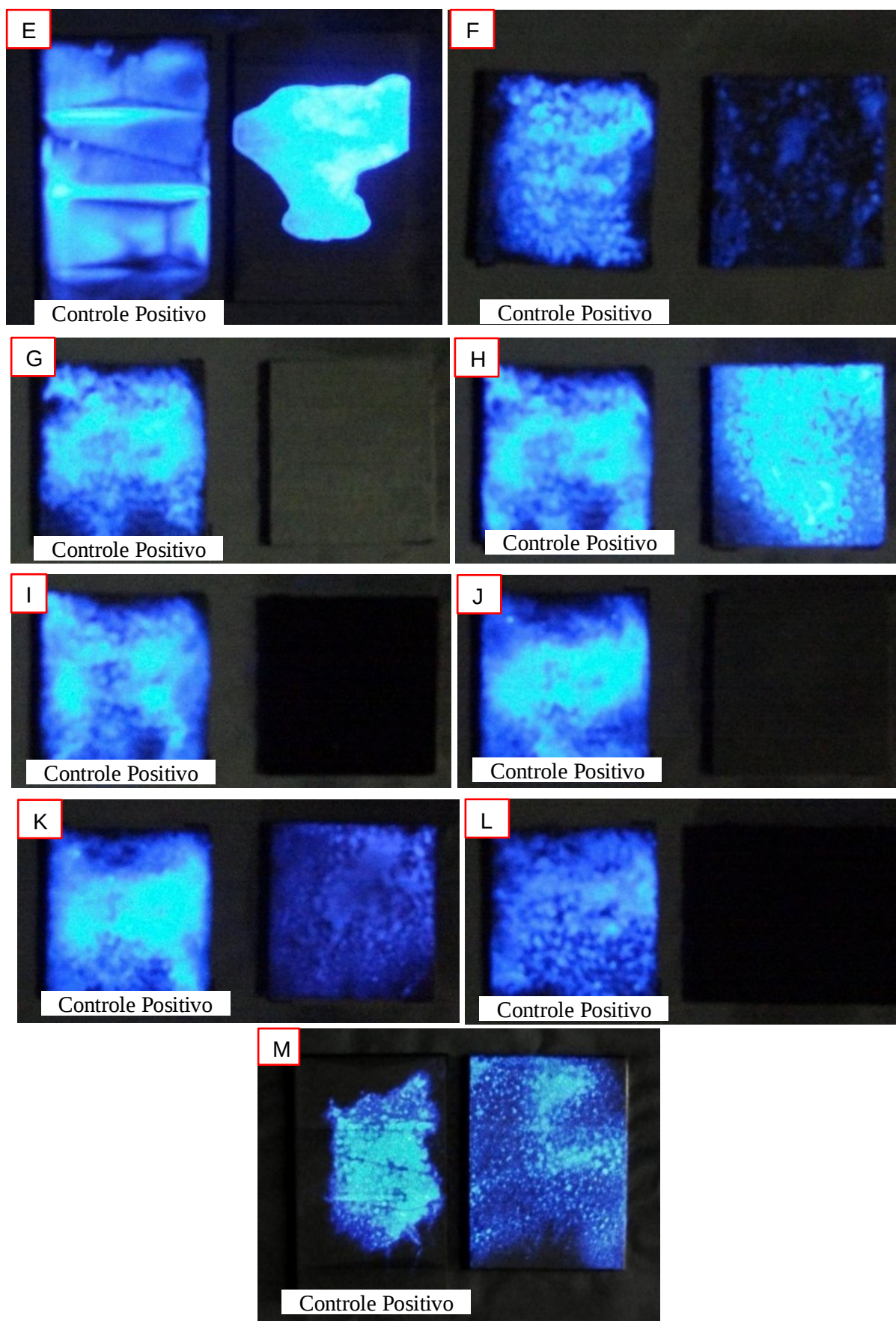


Fonte: Arquivo pessoal

A Figura 8 apresenta o resultado da aplicação de luminol em cada um dos materiais avaliados, sendo o controle positivo de sangue em todo o trabalho sempre à esquerda ou na placa inferior, em que utilizau-se a cerâmica não absorvente branca na A, B, C, D, E e M e a cerâmica porosa cinza de F a L.

Figura 8 – Reação dos produtos com luminol: a) Água sanitária b) Lustra móveis c) Cera líquida d) Sapólio e) Desinfetante f) Tinta G g) Tinta H h) Tinta F i) Betume j) Primer cinza k) Zarcão l) Primer preto m) Verniz. Imagem à esquerda das figuras controle +.





Fonte: Arquivo pessoal

Conforme pode-se observar nas imagens, a água sanitária, o desinfetante, o zarcão, a tinta da F, a tinta G e o verniz apresentaram quimioluminescência. Nas sessões a seguir, esses produtos são discutidos individualmente.

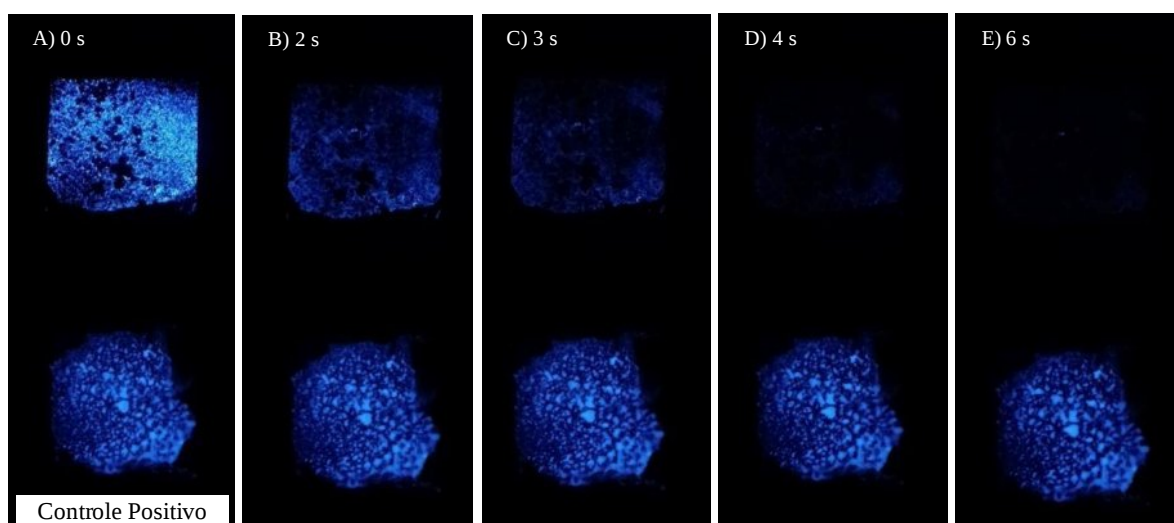
5.1.1 Hipoclorito de sódio

Tanto a água sanitária quanto o desinfetante apresentam hipoclorito de sódio em sua formulação. No entanto, o desinfetante, por ser um produto em gel, percebeu-se ser uma liberação mais irregular, de forma que, após 25 segundos, ainda era possível visualizar pontos de luz isolados.

Na Figura 9 tem-se a reação com água sanitária e na Figura 10 com desinfetante. O padrão de sangue se encontra na parte inferior.

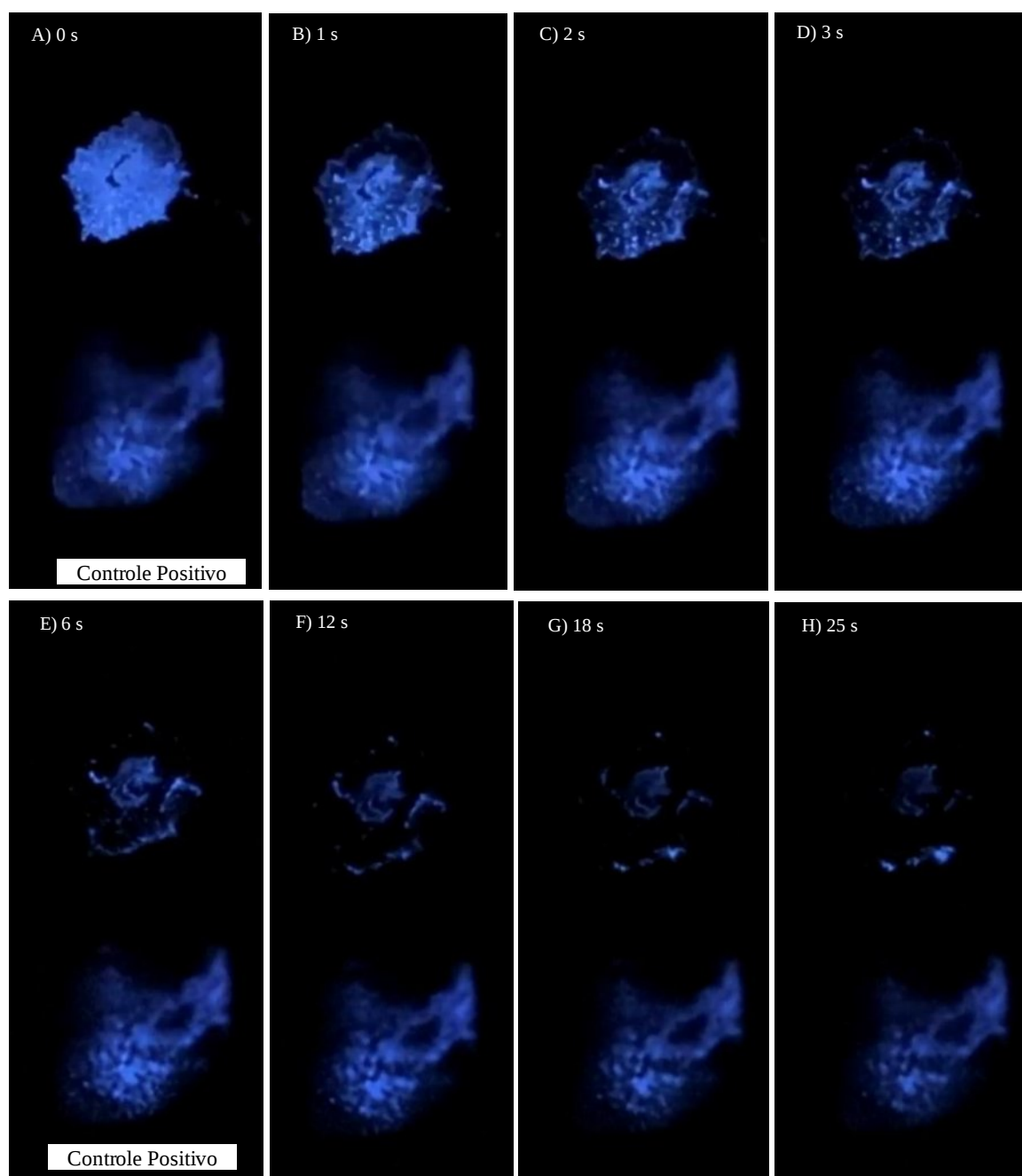
Os resultados obtidos demonstraram reação quimioluminescente positiva, porém com uma cinética rápida, como relatado por Quickenden *et al.* em 2001. Na água sanitária visualiza-se os lampejos rápidos descritos por Brenzini *et al.*, 2018.

Figura 9 – Reação com água sanitária por tempo. Imagens inferiores: controle positivo (sangue).



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 10 – Reação com desinfetante por tempo. Imagens inferiores: controle positivo (sangue).



Fonte: Arquivo pessoal

5.1.2 Revestimentos

Em 2003, Creamer *et al.* já havia relatado a quimioluminescência de tintas esmaltadas, com intensidade equiparável a da hemoglobina. O presente trabalho apresentou três tintas esmaltadas diferente das marcas F, G e H, sendo que as duas primeiras apresentaram quimioluminescência, corroborando com o estudo de Creamer. Contudo, o padrão de emissão dos produtos positivos é diferente do teste com sangue, de forma que a duração e a intensidade do brilho são parâmetros importantes para diferenciação entre o sangue e falsos positivos.

Como se pode observar na Tabela 1, a composição das tintas é extremamente genérica, de modo que não é possível saber quais componentes estão presentes no produto. Em vista disso, foi feita análises de fluorescência de raios X (XRF), a fim de elucidar os possíveis componentes inorgânicos que pudessem ser responsáveis pela reação. As análises no equipamento são semiquantitativas, no entanto é suficiente apenas a identificação, não sendo necessário a concentração absoluta. Ademais, o equipamento não possuía um padrão de tintas para análise, sendo utilizado o modo *mining plus*, direcionado a análise geoquímica e mineralógica em operações de mineração, uma vez que este apresenta uma ampla faixa de elementos calibrados.

Outra informação relevante, é que a análise por XRF apenas identifica a presença dos elementos, sem informar a forma química em que se encontram. Portanto, não é possível saber o estado de oxidação dos metais identificados. Os componentes dos revestimentos são majoritariamente orgânicos (resinas alquílicas, solventes, hidrocarbonetos) e, como a análise por XRF não quantifica compostos com carbono e hidrogênio, os compostos orgânicos não são identificados nas análises (NICOLA, 2026).

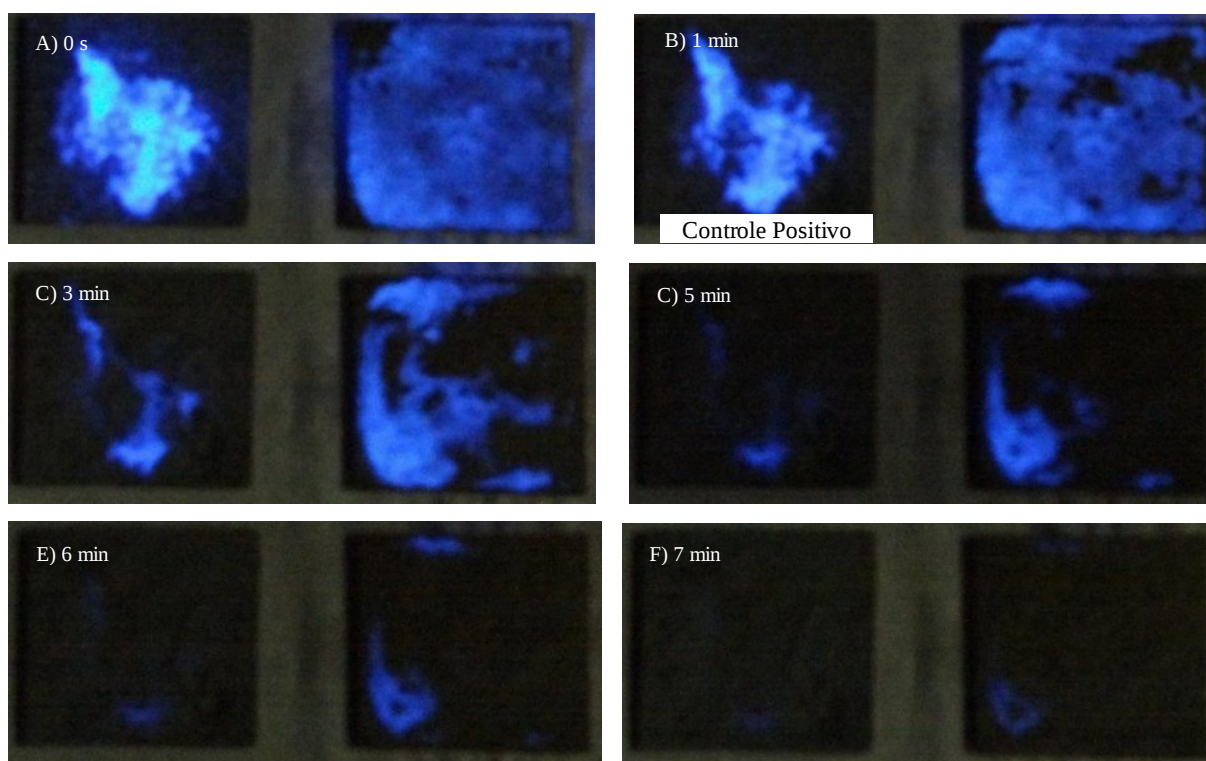
Nas tabelas contendo os resultados das análises de XRF, o termo “LE” refere-se a elementos leves, *light elements* em inglês, os quais são elementos de baixo número atômico. Essa fração não detectada corresponderá, majoritariamente, a matriz orgânica dos revestimentos.

5.1.2.1 Tinta G

A tinta G é um esmalte sintético na cor prata lunar, o qual apresenta pigmentos inorgânicos em sua composição. Foi o produto que apresentou maior duração da quimioluminescência, sendo superado até mesmo a duração do sangue, com 7 minutos até a total desaparecimento do brilho. No entanto, embora não seja perceptível pela Figura 11, pessoalmente a luminosidade era mais fosca do que a intensidade característica do sangue.

Uma particularidade acerca deste produto é que ele apresenta quimioluminescência apenas uma vez por dia. Após finalizar a reação e ter a superfície seca, ao borrifar novamente o luminol, não há visualização de luz. No entanto, em um intervalo superior a 48 h (não foi testado em um intervalo entre 24 a 48h), a reação ocorre normalmente. Supõe-se que ocorra alguma saturação do meio, o qual é regenerado com o tempo.

Figura 11 – Reação com a tinta G por tempo. Imagens à esquerda: controle positivo (sangue).



Fonte: Arquivo pessoal

Na Tabela 2 têm-se os resultados da análise por fluorescência de raios X da tinta G. Através dos resultados observa-se uma maior concentração percentual de cloro, zinco e magnésio, os quais podem ter contribuído para o meio reacional necessário para a reação quimioluminescente do luminol. O zinco e o magnésio agindo como catalisador da reação e o cloro o agente oxidante. A tinta não apresentou ferro em sua composição.

Tabela 2 – Análise XRF da tinta G

Elemento	%	+/-
LE	95,1640	0,2760
Cloro	3,3140	0,0330
Zinco	0,5070	0,0010
Magnésio	0,4090	0,1080
Potássio	0,1630	0,0030
Silício	0,0790	0,0040
Cálcio	0,0589	0,0006
Fósforo	0,0570	0,0010
Manganês	0,0570	0,0010
Cobalto	0,0253	0,0006
Enxofre	0,0074	0,0006

5.1.2.2 Tinta H

Embora a tinta H não tenha produzido quimioluminescência, no rótulo é descrito “óxido férrico” em sua composição, portanto, houve o interesse em mensurar sua concentração, visto que o ferro é um elemento chave na reação do luminol. Como é possível visualizar na Tabela 3, não foi encontrado ferro entre os elementos identificados. O rótulo a classifica como “esmaltada”, mas não apresentou quimioluminescência conforme esperado. Diferentemente da tinta G, a tinta H não apresentou em sua composição zinco e cloro, o que pode ter contribuído pela reação negativa de quimioluminescência.

Tabela 3 – Análise XRF da tinta H

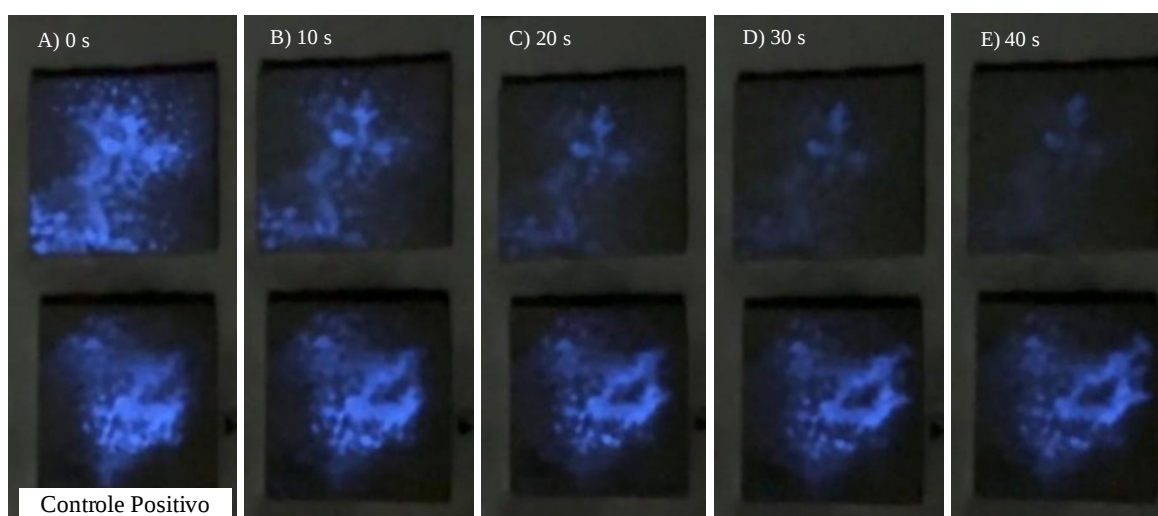
Elemento	%	+/-
LE	91,3650	0,4100
Titânio	8,3050	0,0330
Silício	0,1430	0,0080
Vanádio	0,1220	0,0110
Antimônio	0,0144	0,0010
Enxofre	0,0110	0,0010
Fósforo	0,0100	0,0020
Estanho	0,0098	0,0008

Zinco	0,0078	0,0004
Cádmio	0,0063	0,0006
Zircônio	0,0038	0,0001
Níquel	0,0020	0,0006

5.1.2.3 Tinta F

Na Figura 12 a quimioluminescência da tinta esmaltada F é apresentada durante 40 segundos. Entretanto, observa-se uma maior duração da intensidade da quimioluminescência quando se tem a presença de sangue, que é a placa inferior.

Figura 12 – Reação com tinta F por tempo. Imagens inferiores: controle positivo (sangue).



Fonte: Arquivo pessoal

Na composição da tinta F, diversos compostos organometálicos são citados, os quais apresentam estrôncio, zinco, cobalto e cálcio, além de pigmentos inorgânicos não especificados (Tabela 4). Ao fazer a análise de XRF da tinta, não foi pesquisado estrôncio na composição, uma vez que este elemento não se encontra na gama de elementos analisados pelo equipamento. Detectou-se ferro em sua formulação.

Tabela 4 – Análise XRF da tinta F

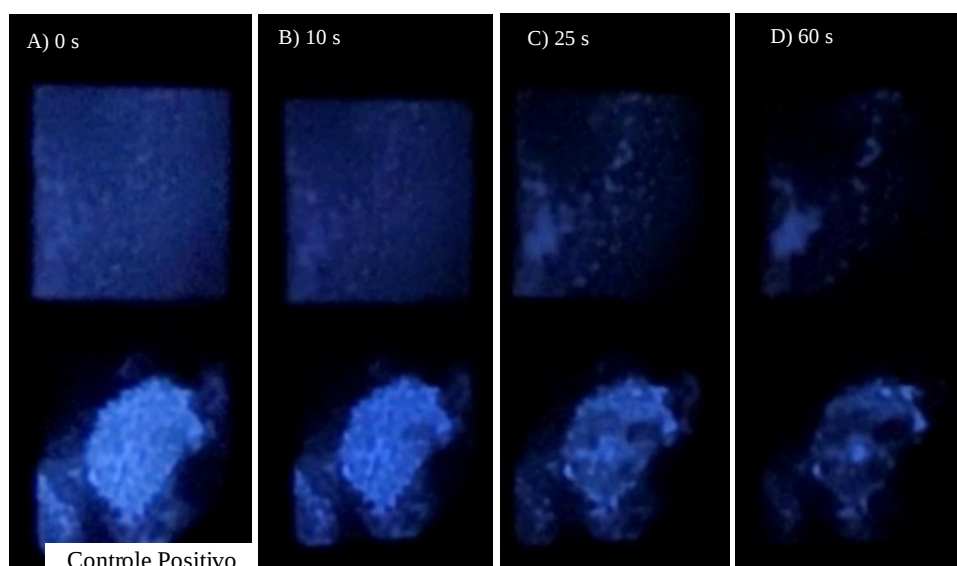
Elemento	%	+/-
LE	94,0690	0,3570
Titânio	4,8320	0,0230
Magnésio	0,3900	0,1750

Zinco	0,1490	0,0010
Zircônio	0,1289	0,0004
Silício	0,1120	0,0060
Potássio	0,0550	0,0020
Enxofre	0,0370	0,0010
Ferro	0,0160	0,0010
Manganês	0,0090	0,0010

5.1.2.4 Zarcão

A Figura 13 apresenta a quimioluminescência do zarcão durante 60 segundos, sendo o produto com a segunda maior duração. No entanto, sua intensidade é reduzida frente a reação com o sangue, apresentando um brilho mais fosco.

Figura 13 – Reação com zarcão por tempo. Imagens inferiores: controle positivo (sangue).



Fonte: Arquivo pessoal

O zarcão apresenta cargas sintéticas e secantes organometálicos em sua composição. Na análise de XRF, diversos metais foram identificados, incluindo o ferro, com uma concentração estimada de $(2,61 \pm 0,01) \%$. Os resultados estão descritos na Tabela 5. Da mesma maneira que a tinta G, o zarcão apresentou metais que podem agir como catalisadores na reação de quimioluminescência, além de cloro que pode agir como agente oxidante a reação.

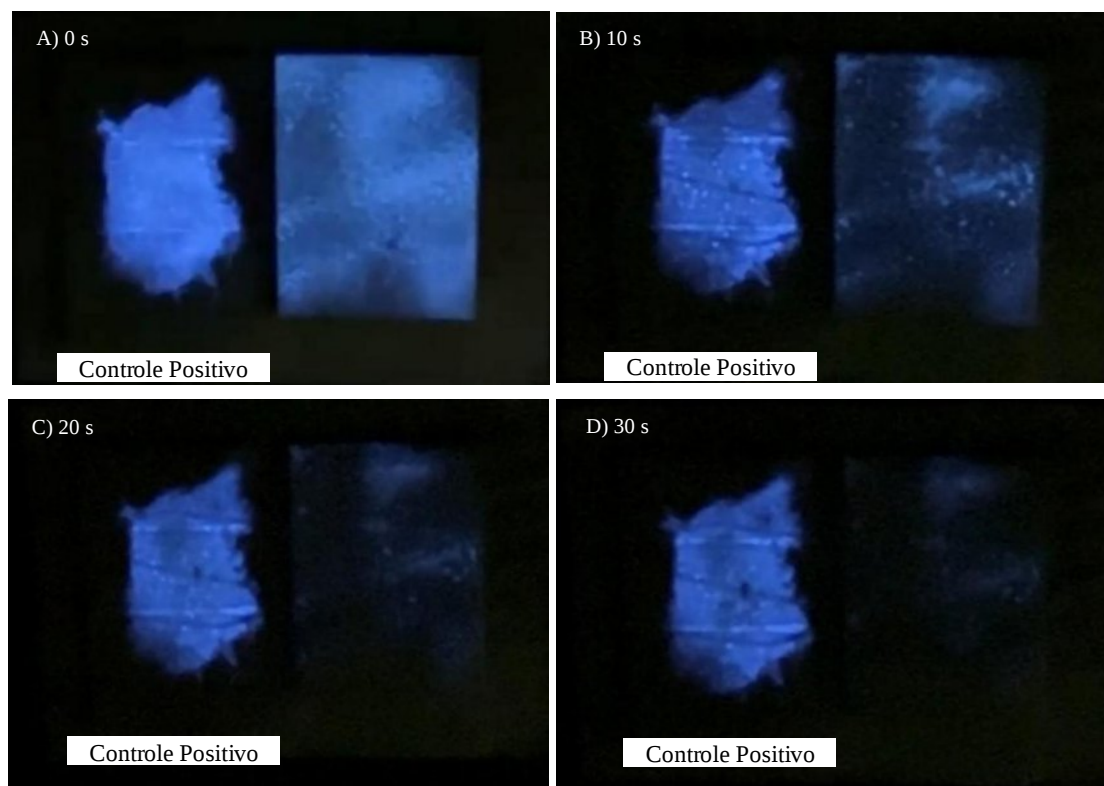
Tabela 5 – Análise XRF do zarcão

Elemento	%	+/-
LE	85,6020	0,3950
Cloro	3,1540	0,0530
Potássio	2,6600	0,0110
Ferro	2,6140	0,0100
Cálcio	2,5250	0,0040
Silício	1,3320	0,0140
Magnésio	0,5900	0,1610
Zinco	0,5710	0,0030
Titânio	0,5370	0,0100
Alumínio	0,2450	0,0250
Cobalto	0,0440	0,0030
Fósforo	0,0380	0,0020
Zircônio	0,0239	0,0002
Antimônio	0,0173	0,0010
Tungstênio	0,0120	0,0020
Estanho	0,0119	0,0008
Cádmio	0,0092	0,0006
Enxofre	0,0085	0,0010
Cromo	0,0060	0,0020

5.1.2.5 Verniz

A Figura 14 apresenta a avaliação da quimioluminescência do verniz durante 30 segundos, com uma intensidade equiparável a do sangue, porém menor duração, sendo que a partir de 10 segundos já se observa uma redução significativa da luminescência

Figura 14 – Reação com verniz por tempo. Imagens à esquerda: controle positivo (sangue).



Fonte: Arquivo pessoal

A composição do verniz não deixou explícito possíveis metais, mas na análise por XRF, pode-se identificar a presença de ferro no produto, além de outros metais de transição como zinco e cobalto, conforme demonstrado na Tabela 6, os quais também podem ter influenciado o meio reacional, como a tinta G e o zarcão.

Tabela 6 – Análise XRF do verniz

Elemento	%	+/-
LE	95,2320	0,2590
Cloro	3,6070	0,0330
Magnésio	0,3220	0,1080
Cálcio	0,2760	0,0010
Ferro	0,1640	0,0020
Potássio	0,1510	0,0030
Zinco	0,1075	0,0007
Cobalto	0,0710	0,0010
Silício	0,0630	0,0040

Fósforo	0,0052	0,0009
Zircônio	0,0010	0,0001

Com exceção da tinta G, todos os revestimentos que apresentaram quimioluminescência apresentam ferro em sua composição. Além disso, todos apresentaram outros metais de transição como manganês, cobalto e zinco, que também podem contribuir para a reação de quimioluminescência. Visto que a sensibilidade do teste é alta, a presença dos metais pode explicar parcialmente a quimioluminescência observada, apresentando um potencial catalítico na reação do luminol. Porém, tintas como a H indicam que só conter metais de transição não garantem a reação, pois embora tenha sido identificado íons de vanádio, estanho, antimônio, zinco, níquel e zircônio, cátions citados por Ferreira *et al.* (2002) como possíveis catalisadores, a tinta não apresentou quimioluminescência. Portanto, outros fatores relacionados à formulação influenciam a reação, sendo necessários mais estudos para elucidar esses efeitos.

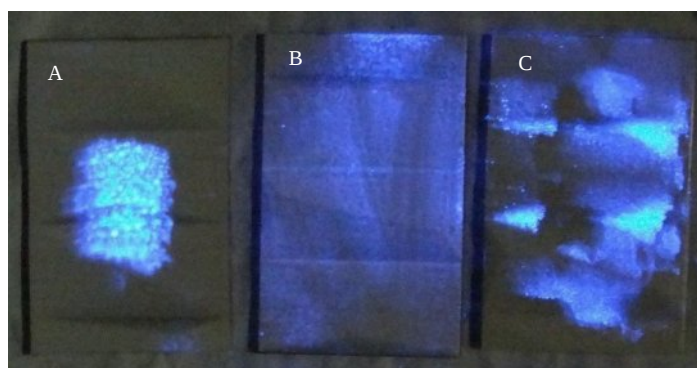
5.2 Avaliação da lavagem da cerâmica

Nas figuras 15 e 16 tem-se a quimioluminescência produzida pela placa com sangue (a), lavada apenas com água (b) e lavada com água sanitária (c). A Figura 15 refere-se a cerâmica não absorvente branca e a Figura 16 refere-se a cerâmica porosa colorida.

Tanto na figura 15A quanto na 16A é possível visualizar o controle positivo sendo uma mancha intensa e concentrada. Na 15B e na 16B ao ser lavada com água, as superfícies apresentam uma redução da luminescência, indicando que houve remoção de parte do sangue. É ainda possível perceber como na cerâmica porosa (16B), o sangue se mantém concentrado na região de aplicação, evidenciando a absorção de superfícies porosas (Laux, 2005, apud Vasconcellos *et al.* (2017)). Dessa forma, conclui-se que a água retira o sangue superficial mas não elimina completamente o vestígio.

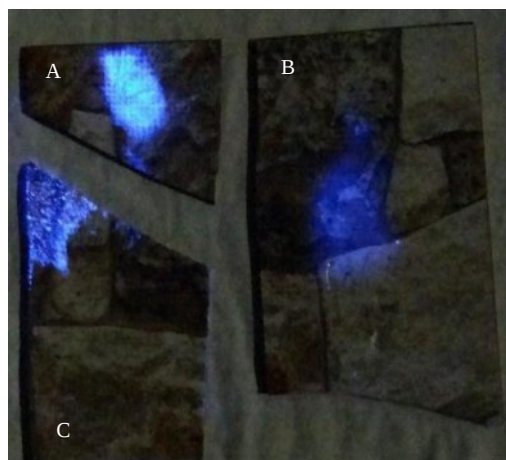
Nas placas lavadas com água sanitária, 15C e 16C, o padrão de luminescência foi majoritariamente provindo da reação do hipoclorito com o luminol, com o brilho rápido e intenso.

Figura 15 – Efeito da lavagem na reação de luminol com sangue depositado em cerâmica não absorvente: a) controle positivo- sangue; b) placa após lavagem com água; c) após lavagem com água sanitária.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 16 – Efeito da lavagem na reação de luminol com sangue depositado em cerâmica porosa. a) controle positivo- sangue; b) placa após lavagem com água; c) após lavagem com água sanitária.



Fonte: Arquivo pessoal

Quando alvejantes são usados para limpar áreas manchadas de sangue, sugere-se arejar o local de crime por um a dois dias para reduzir sua interferência (NILSSON, 2006). Normalmente, demora-se um tempo entre a limpeza do local de crime por parte do autor e a chegada da perícia, de forma que uma superfície lavada com água sanitária provavelmente não estará molhada durante a perícia. Portanto, avaliou-se a água sanitária após 24 horas de secagem e obteve-se o resultado da Figura 17. É possível perceber que a intensidade é reduzida frente a poucas horas após aplicação do produto. A duração se manteve em torno de 6 segundos, mas, ao aplicar novamente o luminol, a reação não se renova, uma vez que há a evaporação do produto com o tempo e, como está menos concentrado, o brilho é menor.

Figura 17 – Superfície lisa com sangue lavada com água sanitária após 24 h.



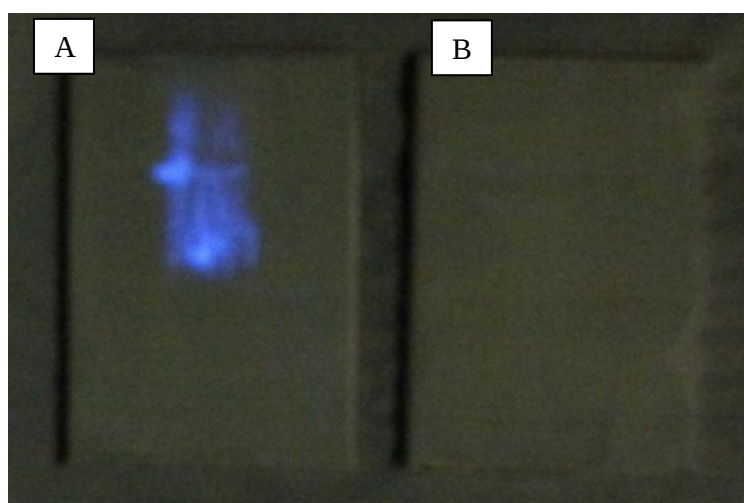
Fonte: Arquivo pessoal

5.3 Avaliação da tinta sobre o sangue

Nesta etapa foram avaliadas duas hipóteses: se era possível visualizar o sangue sob uma camada de tinta e se, nas tintas que apresentaram quimioluminescência, era possível diferenciar o agente causador do brilho.

Na Figura 18, observa-se duas placas de cerâmica não absorventes, em que a placa da esquerda não foi lavada após aplicação de sangue, enquanto a da direita foi lavada apenas com água corrente. Ambas foram submetidas a uma demão da tinta H, a qual não apresentou quimioluminescência. Verifica-se que foi possível detectar o sangue na placa que não foi lavada, demonstrando que apenas uma camada da tinta não foi capaz de cobrir o sangue seco, mas foi suficiente para ocultar o vestígio latente (lavado).

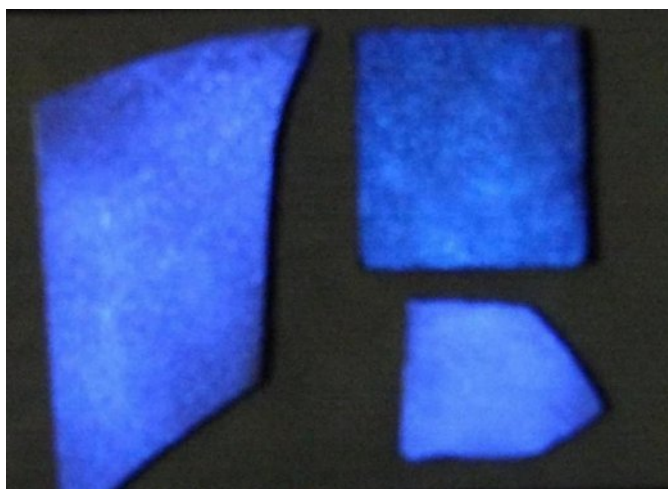
Figura 18 – Tinta H sobre sangue: a) placa de cerâmica não absorvente sem etapa de lavagem antes da aplicação da tinta e b) placa de cerâmica lisa lavada com água corrente antes da aplicação da tinta.



Fonte: Arquivo pessoal

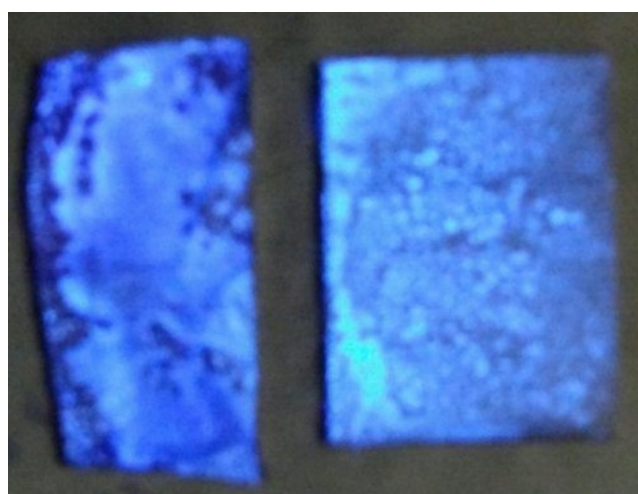
Aplicou-se sangue sobre placas de cerâmica porosas à esquerda nas Figuras 19-21, sendo posteriormente adicionados os revestimentos, sem lavar a superfície, conforme o padrão da primeira peça de cerâmica do tópico 5.1. Não foi possível diferenciar o brilho do sangue do revestimento, possivelmente pelo fato de que o luminol não penetra a camada de tinta, conforme relatado por Miranda *et al.* (2018) o que pode dificultar a interpretação do local de crime. Além disso, provavelmente a quimioluminescência produzida pelo revestimento se sobrepõe a QL do sangue. Na Figura 21 do zarcão, a placa sem sangue (à direita) apresentou um brilho mais intenso, possivelmente em razão do envelhecimento do revestimento, com intervalo de 3 semanas da Figura 13, a qual apresentou o brilho fosco como o do revestimento sobre o sangue (à esquerda).

Figura 19 – Tinta F sobre sangue à esquerda e à direita apenas com o revestimento.



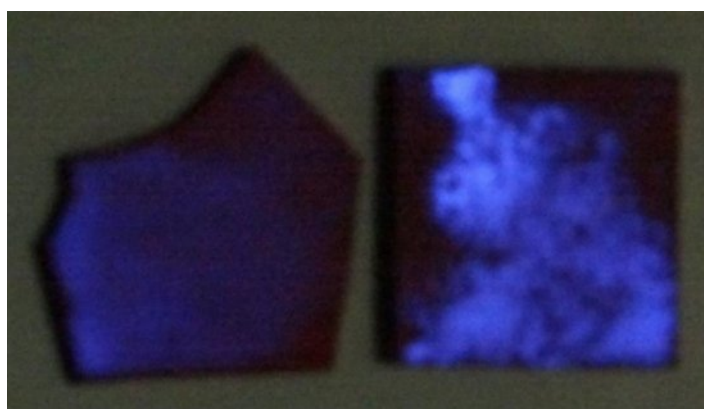
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 20 – Verniz sobre sangue à esquerda e à direita o padrão apenas com o revestimento.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 21 – Zarcão sobre sangue à esquerda e à direita o padrão apenas com o revestimento.



Fonte: Arquivo pessoal

6. CONCLUSÃO

A partir do trabalho realizado é possível concluir que o luminol é uma técnica importante na solução de crimes, sendo muito utilizada pelos especialistas forenses devido a seu fácil manuseio e alta sensibilidade na busca de manchas de sangue latente em locais e peças de crime. Entretanto, deve-se atentar ao fato da existência de diversos interferentes, os quais também podem proporcionar a quimiluminescência na reação, estabelecendo resultados falso-positivos.

O estudo realizado demonstrou a interferência de produtos de limpeza na reação quimioluminescente do luminol com sangue, bem como a presença, o tempo de resposta e a duração da quimioluminescência nas superfícies pintadas com diferentes revestimentos, o que torna um grande desafio a interpretação da quimioluminescência em locais de crime, visto que esses materiais podem ser utilizados com a intenção de remover vestígios de sangue.

Os resultados obtidos demonstram a necessidade de uma análise cuidadosa na interpretação da intensidade e duração da reação de quimioluminescência do luminol. A utilização de algumas tintas e alvejantes apresentam inicialmente uma reação positiva, com diminuição da mesma com o passar do tempo, mostrando assim diferença nas cinéticas da reação.

Da mesma maneira, os resultados apresentados pelo verniz e pelo zarcão também podem contribuir para uma falsa interpretação da reação quimioluminescente do luminol com sangue.

O trabalho atingiu o objetivo de identificar interferentes e esses resultados contribuem para a rotina forense dos peritos criminais na busca de vestígios latentes, como o sangue.

REFERÊNCIAS

- ADAIR, T.W. Experimental detection of blood under painted surfaces. *IABPA News*, v. 21, p. 12–19, 2006. Disponível em: Crime Scene Investigator Network. Acesso em: 13 maio 2026.
- ALBERTIN, R.; ARRIBAS, M. A. G.; BASTOS, E. L.; RÖPKE, S.; SAKAI, P. N.;
- SANCHES, A. M. M. *et al.* Quimiluminescência orgânica: alguns experimentos de demonstração para a sala de aula. *Química Nova*, v. 21, n. 6, p. 772–779, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40421998000600018>.
- ALMEIDA, J. P. Influência dos testes de triagem para detecção de sangue nos exames imunológicos e de genética forense. 2009. 49 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Molecular) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PERITOS CRIMINAIS FEDERAIS (APCF). O que é a perícia criminal?. Brasília, DF, [s.d.]. Disponível em: <https://apcf.org.br/pericia-criminal/o-que-e-a-pericia-criminal/>. Acesso em: 20 maio 2026.
- BARBARO, A.; CORMACIA, P.; TEATINO, A.; BARBARO, A. Validation of forensic DNA analysis from bloodstains treated by presumptive test reagents. *International Congress Series*, Amsterdam, v. 1261, p. 631–633, 2004. DOI: 10.1016/S0531-5131(03)01539-5.
- BARNI, F.; LEWIS, S. W.; BERTI, A.; MISKELLY, G. M.; LAGO, G. Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection. *Talanta*, v. 72, n. 3, p. 896–913, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.12.045>.
- BLUM, L. J.; ESPERANÇA, P.; ROCQUEFELTE, S. A new high-performance reagent and procedure for latent blood stain detection based on luminol chemiluminescence. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, v. 39, n. 3, p. 81–110, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/00085030.2006.10757139>.
- BRENZINI, V.; PATHAK, R. A comparison study of the detection of bloodstains on painted and cleaned surfaces with luminol. *Forensic Science International*, v. 289, p. 75–82, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.04.043>.
- CAVALCANTI, D.R.; BARROS, R.M. Escondendo Manchas de Sangue em Locais de Crime: Análise da Ação Antioxidante dos Chás Verde e Preto Sobre o Luminol. *Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics*. V.6, n.1, p.47-60, 2016;

- CHEMELLO, E. Química Virtual, Ciência Forense: manchas de sangue. Janeiro (2007)
- CREAMER, J.; QUICKENDEN, T. I.; APANAH, M. V.; KERR, K. A.; ROBERTSON, P. A comprehensive experimental study of industrial, domestic and environmental interferences with the forensic luminol test for blood. *Luminescence*, v. 18, p. 193–198, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1002/bio.723>.
- CREAMER, J. I.; QUICKENDEN, T. I.; CRICHTON, L. B.; ROBERTSON, P.; RUHAYEL, R. Attempted cleaning of bloodstains and its effect on the forensic luminol test. *Luminescence*, v. 20, n. 6, p. 411–413, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/bio.865>.
- FERREIRA, E. C.; ROSSI, A. V. A quimiluminescência como ferramenta analítica: do mecanismo a aplicações da reação do luminol em métodos cinéticos de análise. *Química Nova*, São Paulo, v. 25, n. 6A, p. 1003-1011, 2002. DOI: 10.1590/S0100-40422002000600018.
- FRAGOSO, L. V.; CARVALHO NETO, A. G. V.; PELEGRINA, J. O.; RISSATO, S. R. Luminol: possíveis interferentes no estudo de sangue humano. *Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics*, v. 10, n. 2, p. 111–129, 2021. DOI: [https://doi.org/10.17063/bjfs10\(2\)y2021111-129](https://doi.org/10.17063/bjfs10(2)y2021111-129).
- GRISPINO, R. R. J. Luminol and the crime scene. *Prosecutor*, v. 25, p. 28–32, 1991.
- JAMES, S. H.; KISH, P. E.; SUTTON, T. P. Principles of bloodstain pattern analysis: theory and practice. *Boca Raton: CRC Press; Taylor & Francis Group*, 2005.
- MERÉNYI, G.; LIND, J.; ERIKSEN, T.E. Nucleophilic addition to diazaquinones: formation and breakdown of tetrahedral intermediates in relation to luminol chemiluminescence. *Journal of the American Chemical Society*, Washington, v. 108, n.24, p. 7716–7726, 1986. DOI: 10.1021/ja00284a014.
- MIRANDA, G. E.; PAULA, W. X.; ROMANO, A.; SANTOS, V. R. D. E.; MELANI, R. F. H. Detecção de manchas de sangue pelo luminol onde houve entintamento das paredes – estudo de caso. *Revista Brasileira de Criminalística*, v. 5, n. 1, p. 14–17, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15260/rbc.v5i1.119>.
- NICOLA, M.; MATULLO, L.; MARELLO, A.; MASTRIPPOLITO, C.; GOBETTO, R. Portable XRF for paintings and metals authentication: a critical guide to some practical limitations and multi-technique integrations. *npj Heritage Science*, [S.l.], v. 14, art. 256, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1038/s40494-026-02499-3>

NILSSON, A. The forensic luminol test for blood: unwanted interference and the effect on subsequent analysis. Linköping: Linköping University; Swedish National Laboratory of Forensic Science (SKL), 2006.

QUICKENDEN, T. I.; COOPER, P. D. Increasing the specificity of the forensic luminol test for blood. *Luminescence*, v. 16, n. 3, p. 251–253, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1002/bio.635>. QUINONES, I.; SHEPPARD, D.; HARBISON, S.; ELLIOT, D. Comparative analysis of luminol formulations. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, v. 40, n. 2, p. 53–63, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/00085030.2007.10757151>.

TZANI, M. A. *et al.* Direct and indirect chemiluminescence: reactions, mechanisms and challenges. *Molecules*, Basel, v. 26, p. 7664, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26247664>

URSINI, A. G. *et al.* Hematologia forense: da identificação à análise de manchas de sangue. Campinas: Millennium Editora, 2022. (Série Ciência contra o Crime, 1).

VASCONCELLOS, F. A.; PAULA, W. X. Aplicação forense do luminol – uma revisão. *Revista Criminalística e Medicina Legal*, v. 1, n. 2, p. 28–36, 2017.

WEBB, J. L.; CREAMER, J. I.; QUICKENDEN, T. I. A comparison of the presumptive luminol test for blood with four non-chemiluminescent forensic techniques. *Luminescence*, v. 21, n. 3, p. 214–220, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/bio.908>.

ANEXO 1

Título da pesquisa: Avaliação de interferentes na reação quimioluminescente do luminol com sangue

Pesquisadora responsável: Luísa Linhares Moraes

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

A Senhora está sendo convidada a participar de uma pesquisa. Por favor, leia este documento com bastante atenção antes de assiná-lo. Caso haja alguma palavra ou frase que a senhora não consiga entender, converse com o pesquisador responsável pelo estudo ou com um membro da equipe desta pesquisa para esclarecê-los.

A proposta deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) é explicar tudo sobre o estudo e solicitar a sua permissão para participar do mesmo.

O objetivo desta pesquisa é avaliar interferentes na reação quimioluminescente do luminol com sangue, tem como justificativa contribuir para otimizar os exames realizados pelas forças policiais.

A amostra utilizada não será coletada especificamente para esta pesquisa. Trata-se de uma amostra de sangue previamente coletada em outra ocasião e já armazenada pela própria participante. Apenas uma alíquota será fornecida para utilização nos experimentos laboratoriais, com uso exclusivo como controle positivo da reação do luminol com o sangue, e será descartada conforme as normas de biossegurança após a conclusão dos experimentos. Não haverá novas coletas. Não há riscos nem benefícios para o participante.

Sua participação na pesquisa é totalmente voluntária, ou seja, não é obrigatória. Caso a Sra. decida não participar, ou ainda, desistir de participar e retirar seu consentimento durante a pesquisa, não haverá nenhum prejuízo ao atendimento que você recebe ou possa vir a receber. Não está previsto nenhum tipo de pagamento pela sua participação na pesquisa e a Sra. não terá nenhum custo com respeito aos procedimentos envolvidos.

Solicitamos também sua autorização para apresentar os resultados deste estudo em eventos da área forense e publicar em revista científica nacional e/ou internacional.

Declaração de Consentimento

Concordo em participar do estudo intitulado: Avaliação de interferentes na reação quimioluminescente do luminol com sangue.

Nome da participante: Carina de Oliveira Dumont Horta

Assinatura da participante: _

Data: 08/06/2026

Documento assinado digitalmente
 **CARINA DE OLIVEIRA DUMONT HORTA**
Data: 08/06/2026 10:28:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nome da pesquisadora: Luísa Linhares Moraes

Documento assinado digitalmente
 **LUISA LINHARES MORAES**
Data: 05/06/2026 13:59:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura da pesquisadora: ____