

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ PROGRAMA  
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E  
INFORMÁTICA INDUSTRIAL

CAMILA MUNHOZ LACERDA

**CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR E ANÁLISE DA RESISTIVIDADE  
ELÉTRICA SUPERFICIAL DE PIGMENTOS USADOS EM TATUAGEM**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2017

CAMILA MUNHOZ LACERDA

**CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR E ANÁLISE DA RESISTIVIDADE  
ELÉTRICA SUPERFICIAL DE PIGMENTOS USADOS EM TATUAGEM**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de “Mestre em Ciências” – Área de Concentração: Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Sergei Anatolyevich Paschuk

Co-orientador: Prof. Dr. Vitoldo Swinka Filho

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

L131c  
2017 Lacerda, Camila Munhoz  
Caracterização elementar e análise da resistividade elétrica superficial de pigmentos usados em tatuagem. / Camila Munhoz Lacerda.-- 2017.  
79 f. : il. ; 30 cm

Texto em português, com resumo em inglês  
Disponível também via World Wide Web  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba, 2017  
Bibliografia: f. 64-67

1. Tatuagem. 2. Pigmentos. 3. Fluorescência de raios X. 4. Análise espectral. 5. Microscopia eletrônica de varredura. 6. Resistividade elétrica 7. Engenharia elétrica - Dissertações I. Paschuk, Sergei Anatolyevich, orient. II. Swinka Filho, Vitoldo, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. IV. Título.

CDD: Ed. 22 – 621.3

---

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba  
Bibliotecária : Anna T. R. Caruso CRB9/935

Título da Dissertação N°. 733

# **Caracterização Elementar e Análise da Resistividade Elétrica Superficial de Pigmentos Usados em Tatuagem.**

por

**Camila Munhoz Lacerda**

Orientador: Prof. Dr. Sergei A. Paschuk (UTFPR)

Coorientador: Prof. Dr. Vitoldo Swinka Filho (LACTEC)

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE EM CIÊNCIAS – Área de Concentração: **ENGENHARIA BIOMÉDICA** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, às **13h** do dia 11 de outubro 2016. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores doutores:

---

Prof. Dr. Sergei A. Paschuk  
(Presidente – UTFPR)

---

Prof. Dr. Joaquim Teixeira de Assis  
(UERJ)

---

Prof. Dr. Hugo Reuters Schelin  
(IPPPP)

---

Prof. Dr. Walmor Cardoso Godoi  
(UTFPR)

Visto da coordenação:

---

Prof. Jean Carlos Cardozo da Silva, Dr.  
(Coordenador do CPGEI)



LACERDA, Camila Munhoz, CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR E ANÁLISE DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL DE PIGMENTOS USADOS EM TATUAGEM. 2017. 80 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

## RESUMO

A prática da tatuagem é bastante comum na sociedade e, mesmo sendo considerada uma técnica moderna, algumas preocupações são relevantes diante de procedimentos que envolvam algum risco à saúde. Na presente pesquisa, foram analisadas amostras de pigmentos utilizados para realização de tatuagens, com a finalidade de avaliar os metais presentes em sua composição e correlacionar a ligação da presença desses metais com possíveis patologias. Além da verificação da variação nos valores de resistividade superficial elétrica no local em que o pigmento está tatuado, quando comparado ao material sem a tinta. Para a caracterização elementar dos pigmentos, foi utilizada a técnica de espectroscopia por dispersão de energia (EDXRF), a qual permite resultados quali-quantitativos. Foram utilizados dois equipamentos específicos de EDXRF para a análise dos elementos presentes nas amostras, as quais foram elaboradas especificamente para a pesquisa, aliados a um último método para a caracterização elementar denominado espectroscopia de energia dispersiva (EDS), o qual emprega a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Todos os equipamentos citados, serviram para avaliar os metais presentes na constituição dos pigmentos analisados. Após a primeira etapa de análise, referente a caracterização elementar, a segunda etapa foi analisar os diferentes valores de resistividade elétrica superficial das amostras de tintas, quando inseridas em superfícies sintéticas denominadas pelas artificiais, uma vez que as tintas próprias para tatuagem contêm os metais caracterizados pela primeira etapa do trabalho, os quais lhes conferem cores diferentes e são os responsáveis pelas características referentes à condutividade elétrica. A resistividade superficial elétrica da pele sintética analisada pode diminuir devido a presença dos metais das tintas e, dessa forma, o material que era isolante passa a conduzir corrente elétrica quando sujeito a condições próprias para o aparecimento da corrente, produzindo uma condição favorável para geração de calor por efeito Joule, fator que acarretaria queimaduras ou lesões na região em que o pigmento está depositado. O emprego das técnicas estabelecidas confirmou a presença de alguns metais nas amostras e foi possível inferir que, devido às características fundamentais desses metais, a resistividade elétrica nas peles artificiais tatuadas utilizadas como amostras fosse alterada, mesmo que em pequena escala para algumas cores. Dessa forma foi constatada a relevância da pesquisa no intuito de contribuir com futuros estudos relacionados à saúde acerca dos procedimentos que envolvam tatuagens.

**Palavras-chave:** tatuagem, pigmentos, fluorescência de raios X, EDXRF, MEV, resistividade elétrica.

## ABSTRACT

The practice of tattooing is a widely spread procedure in society and, even though it's been surrounded by modern techniques, some concerns are relevant to procedures that involve some health risk. In the current research samples of pigments were analyzed and used to perform tattoos in order to evaluate the metals present in their composition. Besides to correlate the presence of these metals with possible pathologies. In addition to the verification of the variation in the electrical surface resistivity values in the place where the pigment is tattooed, when compared to the material without the ink. For the pigments elementary characterization, the energy dispersion X-ray fluorescence spectroscopy (EDXRF) technique was used, which allows qualitative and quantitative analyses of the results. Two EDXRF specific techniques were used to analyze the elements present in the samples, which were elaborated specifically for the research, together with a last method for the elementary characterization denominated dispersive energy spectroscopy (DES), which uses the Electron Microscopy of Scanning (EMS). All the aforementioned equipment were used to evaluate the metals present in the constitution of the analyzed pigments. After the first step of analysis, referring to the elementary characterization, the second one was applied to analyze the different values of surface electrical resistivity of the ink samples, when injected in synthetic surfaces called artificial skins. Since the own tattoo paints contain discovered metals in the first step of research, which give them different colors, at that second step the electrical conductivity were measured and compared with defined metals at the first step. Analyzed electrical surface resistivity of the synthetic skin can be reduced due to the presence of the metals in the paints and, therefore, the material that was insulator happens to conduct electric current when submitted to conditions suitable for the appearance of the current, producing a favorable situation for the heat generation by Joule effect, which could cause burns or lesions in the region where the pigment is deposited. The use of mentioned techniques confirmed the presence of some metals in studied samples of tattoo paints and it was possible to conclude that, due to the fundamental characteristics of discovered and identified metals, the electrical resistivity in the tattooed artificial skins was altered. Thus, it was verified the relevance of conducted research in order to contribute for the future studies of health hazard related to tattoos ink.

**Key words:** tattoo, pigments, X-ray fluorescence, EDXRF, SEM, electric resistance.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade da vida.

Ao CPGEI, pelo suporte a este trabalho.

À CAPES e Fundação Araucária, pela bolsa de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Sergei Anatolyevich Paschuk, pela orientação, apoio e confiança depositada no trabalho.

Ao Prof. Dr. Vitoldo Swinka Filho, pela co-orientação e apoio;

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Janine Nicolosi Correa, pelo apoio, incentivo, paciência, colaborações e amizade.

Ao Prof. Dr. Joaquim Teixeira de Assis pela disponibilização do laboratório de Física da UERJ e colaboração em parte da pesquisa.

Aos colegas de laboratório pelas colocações e incentivo, em especial a Catarina Torres e Danielle Narloch pela imensa colaboração durante o processo da pesquisa além das risadas, bons momentos e conselhos.

Ao Allan Felipe Perna, meu amigo e companheiro de estudos e de todas as horas.

À minha família, pelo incentivo ao estudo, pela força e por acreditarem em mim.

Aos amigos e amigas, pelo incentivo e paciência, além dos conselhos e de todo suporte.

Ao meu amor, Murilo, pela dedicação, colaboração, pela paciência e companheirismo em todo tempo de pesquisa.

À minha irmã, Gabriela Lacerda, metade de mim, amor da minha alma e companheira em todos os momentos, por toda paciência, carinho e dedicação de edição e revisão do trabalho.

À minha mãezinha, Rose, meu exemplo de força e integridade, por todo carinho, paciência e atenção durante todo tempo.

Ao meu paizinho, Antonio, que mesmo distante, sempre esteve comigo me dando força e suporte e para quem eu dedico tudo que faço todos os dias.

E ao meu amado filho Antonio, que ainda dentro da barriga já me ajuda a seguir em frente e ainda sem entender, é a minha maior motivação.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática da acumulação de metais e os sistemas de absorção pela pele .....	23
Figura 2: Esquema do tubo de raios X .....	24
Figura 3: Efeito fotoelétrico .....	26
Figura 4: (a) Efeito fotoelétrico ( $h\nu$ : energia contida em um fóton de raios-X primário) e (b) Emissão de raios-X provenientes de transições eletrônicas de um dos subníveis. ....	28
Figura 5: Interação dos raios X com a matéria .....	29
Figura 6: Ilustração da aquisição dos espectros com EDXRF .....	30
Figura 7: Transição das camadas $K_\alpha$ $K_\beta$ e $L_\alpha$ .....	31
Figura 8: Espectro de emissão da produção de raios X .....	33
Figura 9: Geração de sinais quando um feixe de elétrons de alta energia interage com uma amostra .....	33
Figura 10: Configuração básica para medida de resistência superficial .....	38
Figura 11: Equipamento medidor de alta resistividade .....	40
Figura 12: Equipamentos de EDXRF Tubo MINI-X e detector Si drift, ambos da Amptek e tubo com alvo de Ag .....	43
Figura 13: Sistema Artax .....	44
Figura 14: Pele artificial sintética .....	45
Figura 15: peles artificiais pigmentadas .....	45
Figura 16: medidor de alta resistência elétrica (modelo Agilent 4339B) .....	46
Figura 17: Pastilhas de tinta .....	48
Figura 18: Ponto de referência, onde o feixe do equipamento coincide para realizar a medida .....	49
Figura 19: Porta amostra preparado para análise .....	50
Figura 20: Porta amostras sendo inserido no equipamento de microscopia eletrônica de varredura (MEV) .....	51
Figura 21: Amostra posicionada no equipamento medidor de altas resistências com a parte colorida voltada para os discos do eletrodo .....	52
Figura 22: Espectro correspondente a amostra de cor vermelha .....	53

<b>Figura 23: Espectro característico da amostra na cor azul.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 24: Espectro característico da amostra na cor rosa .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 25: Espectro correspondente a amostra de cor Branca.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 26: Espectro característico da tinta na cor amarela.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 27: Espectro característico da tinta na cor rosa.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 28: Espectro característico da tinta na cor branca .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 29: Espectro característico da tinta na cor vermelha .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 30: Espectro específico da tinta na cor preta .....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade máxima teórica de metais permitida, presentes em cosméticos na Itália.....	22
Tabela 2: Cores e marcas das tintas utilizadas na pesquisa .....	42
Tabela 3: Elementos encontrados por cor com XRF e alvo de Ag .....	53
Tabela 4: Elementos encontrados com ARTAX 200.....	55
Tabela 5: valores encontrados com MEV .....	59
Tabela 6: Valores de resistividade superficial corrigidos .....	60
Tabela 7: Tabela gerada com a primeira medida para a cor amarela .....	68
Tabela 8: Tabela gerada com a segunda medida para a cor amarela .....	68
Tabela 9: Tabela gerada com a primeira medida para a cor areia .....	69
Tabela 10: Tabela gerada com a segunda medida para a cor areia.....	69
Tabela 11: Tabela gerada com a primeira medida para a cor azul.....	69
Tabela 12: Tabela gerada com a segunda medida para a cor azul.....	70
Tabela 13: Tabela gerada com a primeira medida para a cor bege laranja... ..	70
Tabela 14: Tabela gerada com a segunda medida para a cor bege laranja... ..	70
Tabela 15: Tabela gerada com a primeira medida para a cor bordô .....	71
Tabela 16: Tabela gerada com a segunda medida para a cor bordô.....	71
Tabela 17: Tabela gerada com a primeira medida para a cor branca.....	71
Tabela 18: Tabela gerada com a segunda medida para a cor branca .....	72
Tabela 19: Tabela gerada com a primeira medida para a cor verde.....	72
Tabela 20: Tabela gerada com a segunda medida para a verde .....	73
Tabela 21: Tabela gerada com a primeira medida para a laranja.....	73
Tabela 22: Tabela gerada com a segunda medida para a cor laranja .....	73
Tabela 23: Tabela gerada com a primeira medida para a cor preta.....	74
Tabela 24: Tabela gerada com a segunda medida para a cor preta .....	74
Tabela 25: Tabela gerada com a primeira medida para a cor rosa pink.....	74
Tabela 26: Tabela gerada com a segunda medida para a cor rosa pink.....	75
Tabela 27: Tabela gerada com a primeira medida para a cor rosa chiclete.....	75
Tabela 28: Tabela gerada com a segunda medida para a cor rosa chiclete .....	75
Tabela 29: Tabela gerada com a primeira medida para a cor rosa salmão.....	76
Tabela 30: Tabela gerada com a segunda medida para a cor rosa salmão .....	76

<b>Tabela 31: Tabela gerada com a primeira medida para a cor vermelha.....</b>	<b>76</b>
<b>Tabela 32: Tabela gerada com a segunda medida para a cor vermelha .....</b>	<b>77</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 MOTIVAÇÕES E JUSTIFICATIVAS</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1 TATUAGEM</b> .....	<b>17</b>
2.1.1 Contexto histórico .....	17
2.1.2 Pigmentos .....	20
2.1.3 Produção de Raios X .....	23
2.1.4 Radiação Caraterística e de Freamento ( <i>bremstrahlung</i> ) .....	24
2.1.5 Efeito fotoelétrico .....	25
2.1.5.1 Efeito Compton .....	28
<b>2.2 Fluorescência de raios X</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3 EDXRF</b> .....	<b>30</b>
2.3.1 Espectro de Emissão .....	31
<b>2.4 PRINCÍPIOS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV</b> ...	<b>33</b>
2.4.1 Elétrons secundários (SE) .....	34
2.4.2 Microanálise por meio do MEV .....	34
<b>2.5 FENÔMENOS ELÉTRICOS</b> .....	<b>34</b>
2.5.1 Materiais Isolantes ou dielétricos .....	35
2.5.2 Propriedades Elétricas dos materiais .....	36
2.5.3 Lei de Ohm .....	36
2.5.4 Resistividade elétrica .....	37
2.5.5 Resistência elétrica e resistividade superficial .....	37
2.5.6 Métodos de medição .....	38
2.5.6.1 Método do eletrômetro .....	39
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1 MATERIAIS</b> .....	<b>41</b>
3.1.1 Pigmentos utilizados em tatuagem para análise EDXRF .....	41
3.1.2 Equipamento de Espectroscopia de Fluorescência de raios X por energia Dispersiva (EDXRF) .....	42
3.1.3 Medidas ARTAX 200 .....	43
3.1.4 Medidas com MEV .....	44
3.1.5 Pele artificial sintética .....	45
3.1.6 Equipamento medidor de alta resistância superficial elétrica .....	46
<b>3.2 MÉTODOS</b> .....	<b>46</b>
3.2.1 Preparo das amostras para análise .....	47
3.2.2 Parâmetros para exposição das amostras EDXRF .....	48
3.2.3 Parâmetros para exposição das amostras ARTAX 200 .....	49
3.2.4 Análise com MEV .....	49
3.2.5 Medidas de resistividade elétrica superficial nas peles artificiais pigmentadas .....	51
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>52</b>
<b>4.1 Caracterização elementar por EDXRF com alvo de Ag</b> .....	<b>52</b>



4.2	Caracterização elementar por EDXRF com alvo de Mo .....	55
4.3	Caracterização elementar por MEV .....	58
4.4	Avaliação de resistividade das peles tatuadas .....	59
5	CONCLUSÕES .....	61
5.1	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	62
	REFERÊNCIAS .....	63
	APÊNDICE A – PUBLICAÇÕES SOBRE O TRABALHO VINCULADAS AO LABORATÓRIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X DA UTFPR .....	67
	APÊNDICE B- TABELAS GERADAS COM A QUALIFICAÇÃO DO MEV.....	68
	APÊNDICE C - VALORES DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL .....	78

# 1 INTRODUÇÃO

Inicialmente tida como arte exótica, devido aos relatos do descobridor da ilha do Taiti James Cook, o qual ficou encantado com os desenhos que os nativos exibiam em seus corpos, advindos de dolorosos rituais sagrados durante os quais era utilizado um objeto de madeira com um pente afiado de osso na ponta para a perfuração da pele, denominado “tatau”. O objeto recebeu esse nome devido ao barulho feito durante as práticas de perfurações, e ao relatar em seu diário as novidades da expedição deu origem ao termo “tattoo” e partindo disso para tattoo e tatuagem em português (MIRANDA, 2007).

O primeiro relato de tatuagem feita em humanos, foi em um desconhecido encontrado congelado nos Alpes entre a Itália e a Áustria, que viveu há cerca de 5.300 anos (MIRANDA, 2007).

As técnicas de tatuagem eram utilizadas para identificar tribos, status ou eram dotadas de significados espirituais, referentes à proteção. (FRANCA, 1996).

Associadas, no Ocidente, à marginalidade até a década de 60 do século XX, quando presidiários, motoqueiros e marinheiros tatuavam, como ato de rebeldia, imagens, palavras ou frases em seus corpos. As tatuagens se tornaram atualmente parte do cotidiano das pessoas em geral. Decoram o corpo de indivíduos de idades variadas e demonstram a existência de um processo de circularidade cultural, no qual o poder de um item estigmatizado se torna emblema de status e domínio, muitas vezes invertendo o jogo social pela disputa de hegemonia simbólica das classes (HOFFMAN, 2006).

A prática contemporânea da tatuagem, por tanto, saiu da marginalidade e se introduziu num contexto mais amplo, incluindo diversos setores sociais. A partir de seu ingresso no mundo do mercado, onde se converteu em um produto de consumo, com base em sua nova fachada e apresentação social, que são as lojas de tatuagem, essa atividade passou a ser encarada de maneira mais profissional e artística, tornando-se parte das opções estéticas procuradas pelas novas gerações (LISSET, 2006).

A aplicação dos pigmentos é realizada por meio de agulhas que penetram a pele depositando a tinta na derme, segunda camada da pele, a qual não se renova como a epiderme, primeira camada. Isto faz com que o pigmento permaneça

estável, não sendo metabolizado nem eliminado pelo organismo com a ação dos glóbulos brancos (FORTE, 2009).

No entanto, mesmo diante de um processo inovador e bastante desenvolvido, é um procedimento invasivo e algumas preocupações na hora de tomar decisões que envolvam algum risco à saúde devem ser consideradas. De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada – RDC 55/2008 (ANVISA, 2014), a qual regulariza o uso de pigmentação permanente para pele, há no Brasil, atualmente, apenas quatro marcas autorizadas para a realização de tatuagens: Starbrite Colors – Amazon Indústria, Comércio, Exportação e Importação de Produtos Especializados; Electric Ink – Electric Ink Indústria Comércio, Importação e Exportação LTDA; Iron Works – Brasil LTDA e Master’s Ink- Brasil Art & Cores Indústria, Comércio, Importação e Exportação Ltda (ANVISA, 2014).

Observa-se pela disponibilidade dos materiais no mercado que os pigmentos utilizados nas tatuagens mudaram muito com o passar dos anos e atualmente são bastante variados.

Com relação à composição dos pigmentos, antigamente eram preparados com compostos inorgânicos predominantemente, os quais apresentam maior risco de toxicidade, bem como reações imunológicas adversas (POON, 2008).

No contexto atual, as tintas para tatuagem são constituídas de materiais orgânicos, em sua maioria, os quais são mais tolerados pelo organismo e apresentam menor risco à saúde (POON, 2008). A quantidade de metais presentes na composição, oscila muito de acordo com as cores, composições e marcas (VASOLD, 2008).

Existem alguns trabalhos que relacionam os riscos das tintas de tatuagem, quando inseridas na pele, a infecções ou alergias (VASOLD, 2008). No entanto, a presença de metais inseridos na pele pode afetar a saúde de outras formas, como exemplo, se o tatuado vier a fazer um exame de imagem como a ressonância nuclear magnética, uma vez que para realizar esse exame, frequentemente utilizado para auxiliar no diagnóstico de várias doenças, é necessário que o paciente retire qualquer acessório de metal que esteja portando, isso devido ao campo magnético intenso dentro do equipamento, o qual funciona como um grande ímã alinhando as moléculas de hidrogênio que compõe o corpo humano. Dessa forma, a região tatuada, por conter metais presentes na tinta pode sofrer ação do campo, criando

uma corrente elétrica que aumenta a temperatura da pele, descaracterizando e/ou danificando a tatuagem, além do risco de causar lesões na pele. Especialistas afirmam que algumas cores causam mais reações que outras, por exemplo as tintas avermelhadas, as quais contém óxido de ferro, muito sensível aos campos magnéticos durante o exame de ressonância magnética (KANAL E SHELLOCK, 1998).

## 1.1 MOTIVAÇÕES E JUSTIFICATIVAS

Tendo em vista a ampla difusão da prática da tatuagem em todas as classes e contextos sociais com significados culturais variados e também para fins estéticos, bem como devido à escassez de material relacionado ao assunto, esta pesquisa busca avaliar e qualificar metais potencialmente prejudiciais à saúde presentes na composição das tintas utilizadas para pigmentação intradérmica (tatuagem), por meio da técnica de espectroscopia por dispersão de energia (EDXRF), aliada à técnica com o Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV EVO® (Zeeis).

Partindo do conceito da crescente tendência de tatuar o corpo, a preocupação com possíveis danos à saúde é bastante relevante, uma vez que existem fatores e riscos ligados aos efeitos físicos e toxicológicos referentes aos metais presentes na composição das tatuagens (VASOLD, 2008).

Em 2011, o Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) adquiriu um equipamento de espectroscopia de Fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF), com o qual é possível desenvolver pesquisas na área de caracterização elementar de amostras, constituindo uma importante ferramenta para a pesquisa.

Os INSTITUTOS LACTEC são um dos maiores centros de ciência e tecnologia do país, sendo referência em soluções inovadoras. Possui cinco unidades na cidade de Curitiba (PR), nas quais abriga seu corpo técnico qualificado e multidisciplinar e sua rede de laboratórios próprios, onde foi desenvolvida a pesquisa referente à resistividade elétrica superficial.

Nesse contexto a presente pesquisa se justifica, tendo como objetivos principais os mencionados à seguir.

## 1.2 OBJETIVOS

O Objetivo geral desta pesquisa é caracterizar metais presentes em amostras de tintas de tatuagem, por meio de uma análise qualitativa e correlacionar os elementos encontrados com a diminuição da resistividade elétrica e consequente aumento na condutividade elétrica do material em que eles se encontram depositados.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Caracterização elementar de amostras sólidas de tintas de tatuagem por meio da técnica de espectroscopia de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF).
- Utilizar Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para caracterização elementar das amostras de tinta de tatuagem.
- Preparar amostras de material sintético tatuadas de cores diferentes para posterior avaliação da resistividade elétrica.
- Medir a resistividade elétrica das amostras de material sintético com as tintas tatuadas na superfície do material.

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para melhor organização do trabalho, preferiu-se a divisão em capítulos.

O capítulo 1 apresenta a introdução, na qual o tema é abordado de forma geral, os objetivos gerais e específicos bem como as justificativas, em que são descritos os fatos que motivaram o desenvolvimento deste trabalho.

No capítulo 2 uma abordagem dos principais pontos de conhecimentos da área científica de que trata este trabalho é colocada de forma sucinta a fim de reunir informações necessárias que comportam e embasam a metodologia de pesquisa utilizada. Neste tópico é realizada também uma revisão de literatura que apresenta os principais trabalhos relacionados com a presente pesquisa.

Já a metodologia de toda a pesquisa, descrita em etapas com os materiais e métodos usados para o desenvolvimento da proposta da pesquisa, encontra-se no capítulo 3.

Enquanto que o capítulo 4 apresenta os resultados, análises e discussão da pesquisa, tendo como base o referencial teórico.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho e sua correlação com os objetivos propostos bem como, sugestões de trabalhos futuros. Na sequência são exibidas as referências, os apêndices e anexos, os quais contêm detalhes técnicos desta pesquisa e de publicações associadas a este trabalho.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

As tintas utilizadas para confecção de tatuagens são constituídas basicamente por resinas, aditivos, solventes e pigmentos. Os pigmentos são partículas sólidas em consistência de pó, compostos por materiais orgânicos e inorgânicos os quais conferem ao material diferentes cores além de aumentarem a proteção e durabilidade da pintura (FAZENDA, 1995).

Nas tatuagens, a tinta é introduzida na pele por meio de movimentos repetidos com uma agulha vibratória. A quantidade de tinta depositada, depende da espessura da agulha, da tinta e da profundidade que se pretende atingir, a cicatrização se inicia após a fase inflamatória inicial devido às perfurações (GOPEE, 2005).

Esse procedimento garante que os pigmentos e materiais que constituem a tinta não sejam removidos pelo organismo. Por essa razão o organismo fica exposto aos danos que esses ingredientes podem acarretar durante muito tempo (FORTE, 2009).

Os efeitos adversos podem ser algumas reações inflamatórias, as quais podem aparecer imediatamente depois do procedimento e perdurar por uma ou duas semanas, ou se manifestam como algumas reações infecciosas, que aparecem retardadas depois de meses ou anos devido à prática de tatuagem como por exemplo, o surgimento de tumores (MATAIX, 2009).

Durante o tempo em que as tintas de tatuagem eram compostas por compostos inorgânicos os riscos de toxicidade e reações imunológicas adversas eram grandes devido aos metais pesados presentes nos compostos, hoje, na maioria dos casos são utilizados compostos orgânicos os quais são mais tolerados

pelo organismo. Independente disto, ainda são encontrados tradicionais sais metálicos nas tintas de tatuagem (POON, 2008).

Os pigmentos inorgânicos são geralmente constituídos por óxidos, cromatos e sulfatos de metais, muitos deles tóxicos (Pb, Cr, Co, Sb, Cd etc.), conferindo diferentes tonalidades de cor e às tintas, conforme a concentração dos pigmentos (SARON & FELISBERTI, 2006).

Esses metais quando presentes no organismo podem gerar uma série de complicações e riscos à saúde, os quais podem ser irreversíveis. Dentre as reações mais comuns, destacam-se as devidas ao pigmento vermelho. Elas podem estar associadas à dermatite de contato alérgica, à dermatite liquenóide e ao pseudolinfoma (SCHWARTZ, MATHIAS E MILLER, 1987).

No entanto, é necessário que se observe alguns outros efeitos relacionados às tatuagens, que não são mencionados e que muitas vezes as pessoas não têm ciência. Como é o caso dos efeitos físicos ocasionados pela presença dos metais das tintas de tatuagem em campos magnéticos oscilantes, que ocorrem durante os procedimentos que envolvam os equipamentos de ressonância nuclear magnética. (KREIDSTEIN; GIGUERE E FREIBERG, 1997). A presença de metais nos pigmentos utilizados para realização de tatuagens, faz com que os valores de resistividade elétrica do material impregnado, se alterem e dessa forma algumas características como as propriedades isolantes podem ser alteradas e, dessa forma, é possível que mediante a um campo magnético, como é o caso do equipamento de ressonância magnética, pela presença dos metais, uma corrente elétrica pode ser induzida, a qual pode por efeito Joule liberar energia na forma de calor, podendo causar queimaduras e lesões nos locais tatuados (KREIDSTEIN; GIGUERE E FREIBERG, 1997).

## 2.1 TATUAGEM

### 2.1.1 Contexto histórico

Os propósitos para a prática da tatuagem variam bastante de cultura para cultura. Já foram utilizadas para marcar criminosos e escravos, para comunicação entre espiões, identificação nos campos nazistas, para ritos de passagens, devoção religiosa e espiritual, demonstração de coragem e valentia, foi empregada como

marca de fertilidade, como promessas de amor, amuletos ou talismãs para proteção, bem como foi símbolo de gerações nos movimentos hippies entre os anos 60 e 70 e punk nos anos 80 e 90. Atualmente a prática de tatuar-se é muito popular e atinge todos os setores e classes socioeconômicas e constitui uma tendência de moda (RIBEIRO e OLIVEIRA, 2011).

A arte de tatuar o corpo é muito mais antiga do que se encontram relatos. O primeiro homem noticiado que apresentou desenhos permanentes na pele foi um desconhecido que viveu há cerca de 5300 anos, encontrado congelado nos Alpes entre a Itália e a Áustria (MIRANDA, 2007). As primeiras técnicas de tatuagem relatadas eram de tribos indígenas, e eram utilizadas para identificação, poder, status ou proteção (FRANCA, 1996).

Saindo da marginalidade, a prática de tatuar-se, foi inserida em um novo contexto mais amplo, o qual inclui diversos setores sociais, culturais e mercadológicos. Partindo desse ingresso no mercado, as tatuagens obtiveram status de produto de consumo. Tendo neste novo contexto um público alvo mais específico, essa atividade, passou a ter um enfoque profissional e artístico tornando-se uma opção estética bastante procurada pelas novas gerações (FONSECA, 2003).

O equipamento utilizado para a confecção de tatuagens, conta com tecnologia avançada e é baseado na antiga invenção do renomado empresário e inventor americano Thomas Edison que, em 1876, patenteou a chamada impressora autográfica a qual foi a precursora do equipamento para tatuagem atual, no entanto a finalidade inicial do aparelho não era tatuar, e sim, perfurar o papel para se obter uma cópia do documento, fazendo o contorno das letras para a folha que estava embaixo. A máquina denominada impressora autográfica, vibrava de cima para baixo entre 50 e 3.000 vezes por minuto.

Partindo da invenção de Edison, em 1891, o norte-americano Samuel O'Really, revolucionou os aspectos-chave do exercício do ofício de tatuar, pois aperfeiçoou a máquina ao adicionar agulhas especiais e um reservatório de tinta e também mudou os sistemas de tubos, fazendo com que o equipamento oscilasse eletromagneticamente, movimentando a agulha, assim, quando antes se precisava de horas para poder realizar uma tatuagem, agora são necessários minutos (PIERRAT, 2000).



A qualificação técnica na aplicação das tatuagens, que aperfeiçoava o acabamento de seus traços, dos contornos, do brilho e do colorido, foi adaptada e melhorada. Isso apenas quanto ao aspecto técnico, porém o que adquiriu uma maior dimensão social foi o fato do uso da eletricidade ter criado a necessidade de um ponto de corrente elétrica, portanto de fixar, de alguma maneira, o exercício dessa prática, de ter um cenário que possibilitasse a aplicação da tatuagem, e com isso um tatuador, que atuasse dentro deste cenário, com disposição de tempo e com uma certa dedicação para esse ofício. Por isso, como disse Pierrat (2000), a máquina elétrica identificou o tatuador moderno e também o começo de sua profissionalização.

O aperfeiçoamento da técnica, a fixação da prática, a nova imagem, o status do tatuador e, sobretudo, sua inserção nas grandes cidades no começo do século XX, tais como São Francisco e Nova Iorque, onde proliferavam diferentes estilos, públicos e estéticos, ampliou o campo de oferta e demanda da tatuagem, transformando-a paulatinamente numa prática profissional. Isso deu lugar a uma nova configuração de seu cenário, principalmente, dentro de certas cidades de Estados Unidos e Canadá, nas quais os estúdios ou pequenas lojas, que, em seus inícios, funcionavam dentro de barbearias ou casas de bilhar, com o passar do tempo, estabeleceram-se independentemente (PIERRAT, 2000).

Atualmente, o procedimento de tatuagem, quando feito de forma apropriada, conta com tecnologia avançada e especializada. A máquina utilizada para tatuar atualmente é muito diferente da inventada por O'Reilly em 1981, hoje o equipamento conta com inovações tecnológicas que modernizaram todo o procedimento. Os equipamentos modernos de tatuagem são capazes de inserir a agulha na pele de 80 a 150 vezes por segundo e são compostos por bobinas, chassi, molas dianteira e traseira, suporte para agulhas, capacitor eletrolítico, chave de relê, trava de tubo e engate de tubo, além dos complementos necessários para o funcionamento de qualquer máquina de tatuar independente do modelo, tais como: pedal ou pedaleiras, o clip-cord que conduz energia até a máquina e a fonte, a qual regula voltagem e amperagem (MARQUES, 1997).

### 2.1.2 Pigmentos

A definição de pigmento é uma partícula sólida, orgânica ou inorgânica, com cores específicas ou fluorescentes, o qual é insolúvel no substrato no qual será incorporado e também não promove nenhuma reação com este. O pigmento fornece a cor por meio da simples dispersão mecânica no meio a ser colorido (BANDIOLLI et al., 1998).

A constituição das tinturas empregadas na realização da pigmentação intradérmica, também mudou bastante no decorrer dos anos. No passado as tintas eram constituídas predominantemente por compostos inorgânicos sintetizados, os quais apresentavam maior risco de toxicidade, bem como reações imunológicas adversas devido aos metais existentes nos compostos (VASOLD,2008). Nos dias de hoje, são empregados compostos orgânicos majoritariamente, os quais são mais tolerados pelo organismo, no entanto, ocorre também a presença de sais metálicos na composição dos pigmentos (POON, 2008).

Os produtos responsáveis pelas cores características das tintas são chamados colorantes e são classificados como pigmentos e corantes. Os pigmentos em geral possuem tamanho de partículas maior e são insolúveis no polímero, e os corantes têm partículas menores e são solúveis no polímero (SARON e FELISBERTI, 2006).

Os compostos inorgânicos, são constituídos geralmente por óxidos cromatos e sulfatos de metais, alguns bastante tóxicos como chumbo (Pb), cromo (Cr), cobalto (Co), cádmio (Cd), entre outros, os quais conferem cores e tonalidades características aos pigmentos (SARON e FELISBERTI, 2006). Os pigmentos são compostos tanto de sais e metais inorgânicos – como o mercúrio (vermelho), o cromo (verde), o manganês (lilás), o cobalto (azul), o cádmio (amarelo), o hidrato de ferro (ocre) – quanto de preparações orgânicas – como o sândalo (vermelho) e o pau-brasil (vermelho) – e têm sido associados a várias dermatoses. As reações podem ser agudas, secundárias à injúria física da injeção de pigmentos na pele, logo após vários meses ou anos. Nestes casos, as reações mais encontradas são a dermatite de contato alérgica e a liquenóide (SCHWARTZ, *et al* 1987).

Um estudo sobre segurança dos ingredientes e produtos para cuidados pessoais, ressalta os efeitos adversos do contato dos metais pesados com a pele

humana, os quais possuem propriedades físicas específicas que comprometem o funcionamento do organismo. Dentro da indústria farmacêutica, existem normas, as quais regulam a presença de elementos toxicológicos para produção de cosméticos e, tais normas estabelecem quantidades máximas que podem estar na composição sem que isso afete a saúde humana. (MARINOVICH, *et al* 2014)

A segurança dos produtos de cuidado pessoal (PCP) é regulamentada no âmbito dos cosméticos e / ou regulamentações farmacêuticas dentro da UE, sob um CFR - Código Federal de Regulações de Título 21 - parte 700 nos EUA e sob a Norma para Cosméticos; Ministério da Notificação de Saúde e Bem-Estar No. 331 de 2000 no Japão. Formuladores de cosméticos têm que estar cientes da abordagem dupla na Europa para a segurança dos ingredientes cosméticos, que envolve tanto o Comitê Científico da Segurança dos Consumidores (SCCS) para algumas categorias de ingredientes (conservantes, filtros UV, tinturas de cabelo, etc.) e uma avaliação de segurança individual realizados por fabricantes de produtos sobre os ingredientes que não estão sujeitos a quaisquer restrições regulamentares. (BOCCA, *et al* 2014).

A maioria dos produtos cosméticos são aplicados topicamente. Portanto a disponibilidade sistêmica dependerá fortemente da absorção dérmica do composto, além de outros fatores como percentagem de quantidade da substância aplicada, tipo de produto, quantidade relativa aplicada, fator de retenção (enxaguar, diluição) para calcular a exposição diária aos componentes tóxicos (BOCCA, *et al* 2014).

Os metais frequentemente encontrados em produtos de cuidado pessoal (PCP) são antimônio, arsênico, cádmio, cobalto, cromo, mercúrio, níquel e chumbo. O cromo (III) é o único metal da lista que é utilizado como um ingrediente ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – óxido de cromo III), nos pigmentos das maquiagens, ao passo que os outros metais são impurezas. A presença destes metais nos produtos cosméticos varia muito e por tanto, uma norma com a quantidade máxima prevista de contaminação foi elaborada, visando um controle na produção e comercialização destes cosméticos na Europa, esses valores se encontram referenciados na Tabela 1 (MARINOVICH, *et al* 2014).

**Tabela 1: Quantidade máxima teórica de metais permitida, presentes em cosméticos na Itália**

Metal	(Ppm)
Antimônio	10
Arsênico	5
Cádmio	5
Cobalto	70
Cromo (III)	100
Cromo (VI)	25
Mercúrio	1
Níquel	200
Chumbo	20

Fonte: *MARINOVICH, et al 2014*

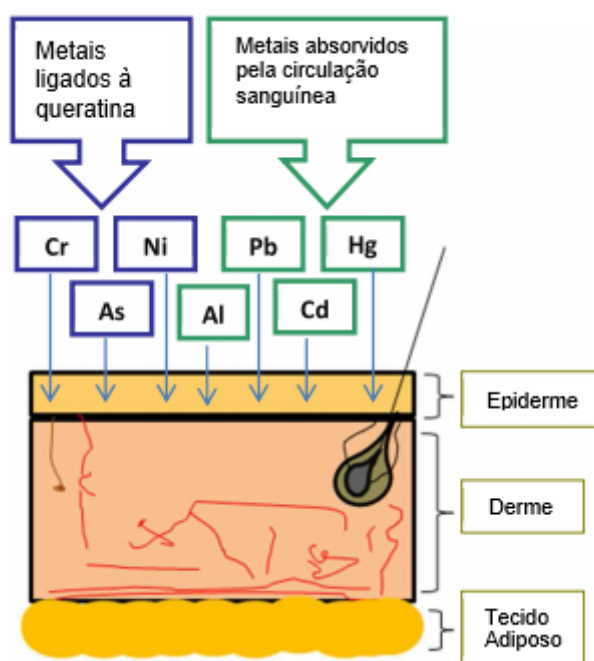
Por meio de pesquisas, como essa desenvolvida na Europa, nota-se o risco existente da presença de metais pesados em contato com o organismo humano. Alguns sintomas advindos de altos índices de metais pesados no organismo estão relacionados a alergias e cânceres de pele. Quando se trata do cromo, além de ulcerações, dermatites e sintomas respiratórios que incluem tosse e chiado há também a falta de ar e coceira nasal (LORETZ, *et al* 2005).

O níquel pode causar reação alérgica quando ele entra em contato com a pele e, se utilizado em quantidades elevadas, afeta os rins, estômago e fígado. O mercúrio é uma neurotoxina e é utilizado em produtos cosméticos tais como cremes para clareamento da pele. O uso prolongado de produtos que contenham mercúrio pode conduzir a inflamação do fígado, rins e trato urinário, por isso a presença de mercúrio em cremes para a pele tornou-se um problema de saúde pública global, pois os compostos de mercúrio são facilmente absorvidos pela pele em aplicações tópicas e têm a tendência de acumular-se no corpo, além de causar reações alérgicas, irritação da pele ou problemas neurológicos (SAHU, *et al* 2014).

Os metais presentes nos cosméticos podem ser acumulados na pele ou absorvidos por esta via (Figura 1). Elementos tais como Ni, Co e Cr são acumulados no estrato córneo e podem provocar reações alérgicas e dermatites de contato, enquanto Hg, Pb, Cd e Al podem passar através das camadas da pele para os vasos sanguíneos sendo transportados para vários órgãos, onde eles se acumulam e exercem efeitos tóxicos em todo organismo (BOROWSKA e BRZÓSKA, 2015).

O aumento das concentrações de Pb, Cd, Hg e Al no sangue, urina ou órgãos internos observados nos indivíduos os quais utilizam produtos cosméticos é

devido à sua absorção através da pele e embora a absorção destes metais por essa via seja menos eficaz do que pela gastrintestinal ou por inalação, algumas quantidades podem entrar no corpo por este caminho. Como exemplo o Hg que entra na pele principalmente por meio de apêndices, como folículos pilosos e glândulas sudoríparas (BOROWSKA e BRZÓSKA, 2015).



**Figura 1: Representação esquemática da acumulação de metais e os sistemas de absorção pela pele**  
**Fonte: BOROWSKA e BRZÓSKA, 2015.**

A falta de indicações regulatórias claras a respeito do limite de segurança quantitativa de metais em PCPs suscitou diversas incertezas no mercado de cosméticos (SAHU, *et al* 2014). Com relação as tintas para tatuagens os mesmos problemas são recorrentes em maior intensidade, uma vez que o metal é inserido na derme em um processo permanente e a escassez de pesquisas e regulamentações sobre a quantidade metais presentes nas tintas de tatuagem são quase inexistentes.

### 2.1.3 Produção de Raios X

Os raios X são ondas eletromagnéticas de natureza semelhante à da luz, no entanto com maior frequência de vibração, descobertas ao acaso em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, que utilizou essa denominação devido à natureza, até então, desconhecida da radiação. Essa forma de radiação é utilizada

para diversas finalidades, incluindo exames de imagens, fundamentais para o diagnóstico na medicina atualmente (LIFSHIN, 1999).

A radiação X pode ser produzida pela desaceleração de elétrons de alta energia, transições eletrônicas entre níveis atômicos internos de átomos, decaimento radiativo e aceleração de elétrons em órbitas circulares como é o caso da radiação sincrotron. Em tubos de raios X, a produção da radiação ocorre em uma ampola de vidro, sob vácuo. No processo, um filamento aquecido pela passagem de uma corrente elétrica emite elétrons que são acelerados por uma diferença de potencial entre o filamento (o cátodo) e o ânodo, material alvo que pode ser de tungstênio (W) ou outro elemento dependendo do tipo de tubo de raios X. Ao atingir o ânodo, os elétrons são freados bruscamente, emitindo radiação e ionizando os átomos do material do alvo (Figura 2). O espectro dos raios X produzidos apresenta uma componente contínua correspondente a radiação de freamento dos elétrons, e uma componente discreta correspondente à desexcitação dos níveis eletrônicos internos do material do ânodo (GRIEKEN; MARKOWICZ, 2002).

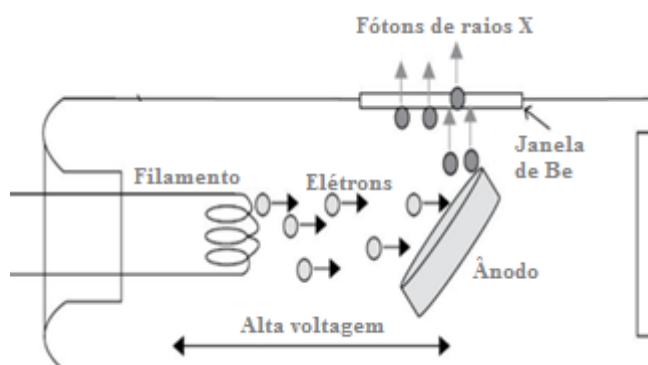


Figura 2: Esquema do tubo de raios X  
Fonte: Beckhoff et al. (2006)

#### 2.1.4 Radiação Característica e de Freamento (*bremstrahlung*)

Os raios X característicos surgem em duas etapas. Primeiro o elétron do feixe incidente arranca um elétron de uma camada interna do átomo quando se choca com o átomo do alvo. Isso gera um buraco ou vacância na camada de onde o elétron foi ejetado e acarreta em uma instabilidade eletrônica. Na segunda etapa, em busca de restabelecer a estabilidade eletrônica, um elétron de uma das camadas de maior energia salta para preencher a vacância. Com o salto, ocorre a emissão de

um fóton cuja energia é igual à diferença de energia entre as camadas de origem e destino (THORNTON; REX, 2013).

A radiação de freamento ou *bremstrahlung*, emitida pelos elétrons que colidem com o material denso do anodo, apresenta um espectro de energia contínuo (BECKHOFF *et al.*, 2006).

O processo envolve um elétron passando bem próximo a um núcleo do material alvo. A atração entre o elétron carregado negativamente e o núcleo positivo faz com que o elétron seja desviado de sua trajetória perdendo parte de sua energia. Esta energia cinética perdida é emitida na forma de um raio-X, que é conhecido como "bremstrahlung" ("braking radiation") ou radiação de frenagem. A emissão de raios X de freamento encontra uma explicação simples em termos de teoria eletromagnética clássica, porque, de acordo com esta teoria, a aceleração de partículas carregadas deve ser acompanhada pela emissão de radiação (BECKHOFF *et al.*, 2006).

O espectro de emissão resultante, espectro contínuo, apresenta um valor máximo de energia, correspondente ao caso extremo de colisões em que o elétron perde a totalidade de sua energia de uma só vez, emitindo um único fóton de frequência  $U_{\text{máx}}$ . A energia máxima do espectro é então,

$$hu_{\text{máx}} = E_c = e \cdot v \quad (1)$$

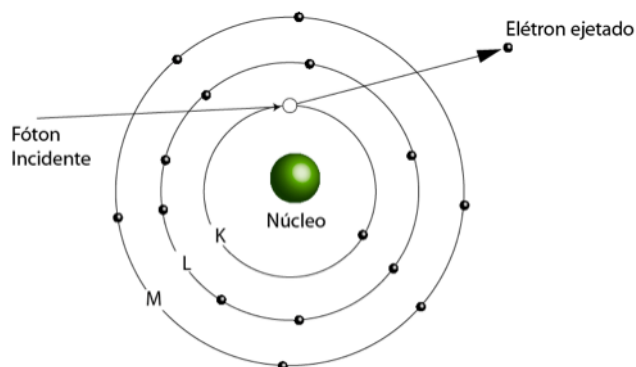
Onde  $E_c$  é a energia cinética dos elétrons incidentes, a qual por sua vez é igual a carga  $e$  do elétron multiplicada pela tensão de aceleração  $v$  entre cátodo e ânodo ( $h$  é a constante de Planck) (THORNTON; REX, 2013).

#### 2.1.5 Efeito fotoelétrico

O Efeito Fotoelétrico ocorre na medida em que um fóton incide em um elétron orbital fortemente ligado ao núcleo atômico, dessa forma, a energia será totalmente absorvida pelo elétron, o fóton deixará de existir e esse elétron é ejetado do átomo.

Esse tipo de interação varia de acordo com o número atômico do material, caso o átomo possuir um número atômico alto, terá mais elétrons fortemente ligados e a probabilidade de ocorrer efeito fotoelétrico é maior (BECKHOFF *et al.*, 2006).

Para que essa interação ocorra, o fóton deve, obrigatoriamente, ter energia maior do que a energia de ligação do elétron. Ao absorver toda a energia do fóton, o elétron consegue sair do átomo, deixando uma vaga na camada onde estava. Ocorre, portanto, uma ionização representada na figura 3, a seguir (GRIEKEN; MARKOWICZ, 2002).



**Figura 3: Efeito fotoelétrico**  
**Fonte: hipermídia**

O efeito fotoelétrico tem por característica a transferência total da energia da radiação X ou gama a um único elétron orbital, o qual é ejetado com energia cinética  $E_c$  definida por:

$$E_c = h \cdot \nu - B_e \quad (2)$$

Onde  $h$  é a constante de Planck,  $\nu$  é a frequência da radiação e  $B_e$ , a energia de ligação do elétron orbital. É um efeito predominante para baixas energias e para elementos de alto número atômico (GRIEKEN; MARKOWICZ, 2002).

Para que seja possível a produção de raios-X, é necessário que elétrons de camadas mais internas (mais próximas ao núcleo, camada K, como exemplo) sejam retirados; a energia mínima requerida para este processo deve ser maior que a energia de ligação do elétron para esta camada (JENKIS, 1999).

A estimativa do valor desta energia de ligação eletrônica é efetuada baseando-se no modelo atômico de Bohr (1913) para o hidrogênio e nos experimentos de Moseley (1913 e 1914).

A seguir, é demonstrada a Equação 1, que permite o cálculo deste valor para os elétrons das camadas K e L:



$$E = \frac{me^4 (Z-b)^2}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2} \quad (3)$$

Onde:

$E$  = energia de ligação do elétron (J),

$M$  = massa de repouso do elétron =  $9,11 \times 10^{-31}$  kg,

$e$  = carga elétrica do elétron =  $1,6 \times 10^{-19}$  C,

$Z$  = número atômico do elemento emissor dos raios-X,

$b$  = constante de Moseley, com valores iguais a 1 e 7,4, para as camadas K e L, respectivamente.

$\epsilon_0$  = permissividade elétrica no vácuo =  $8,8534 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ,

$h$  = constante de Planck =  $6,626 \times 10^{-34}$  J s, e

$n$  = nº quântico principal do nível eletrônico ( $n = 1$  para camada K,  $n = 2$  para camada L e assim, sucessivamente.)

Esta etapa é denominada de ionização, onde a vacância gerada pelo elétron que estava alocado em camada mais próxima ao núcleo é preenchida por elétron de camada mais externa, gerando assim a produção de raios X característicos do elemento (Equação 2).

Os valores das energias liberadas estão relacionados com as energias de ligação dos elétrons nos dois níveis quânticos envolvidos na transição (Figura 3) (SMITH, CRESSER, 2004). Que correspondem às diferenças de energia potencial entre os dois orbitais envolvidos (ATKINS, 2001).

$$\Delta E = E_i - E_s = h \cdot \nu \quad (4)$$

Onde:

$\Delta E$  = energia do raio-X característico emitido,

$E_i, E_s$  = energias de ligação dos elétrons nos níveis inferior e superior, respectivamente.

$\nu = \frac{c}{\lambda}$ ;  $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ,  $h =$  constante de Planck =  $6,626 \times 10^{-34}$  J s

Com o esquema da Figura 3b, teríamos para a linha  $K_{\alpha II}$ :

$$E (K\alpha II) = \Delta E = E (K) - E (LII) \quad (5)$$

Torna-se importante salientar que elétrons da mesma camada não possuem necessariamente as mesmas energias de ligações; conseqüentemente, estes estão distribuídos em outros subníveis, conforme ilustra a Figura 4 a e b (SOUZA, FARIAS, 2007).

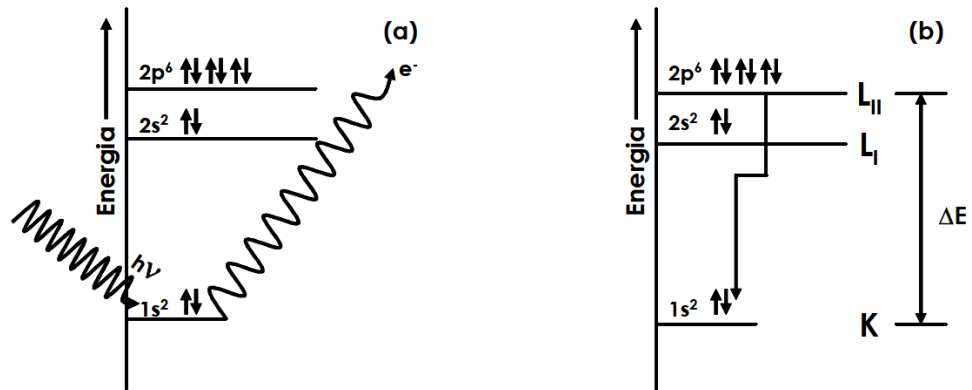


Figura 4: (a) Efeito fotoelétrico ( $h\nu$ : energia contida em um fóton de raios-X primário) e (b) Emissão de raios-X provenientes de transições eletrônicas de um dos subníveis.  
Fonte: (ATKINS,2001)

#### 2.1.5.1 Efeito Compton

No espalhamento Compton, fótons de raios X são defletidos com perda de energia e conseqüente aumento no comprimento de onda e ejeção de um fotoelétron (TAUHATA *et al.*, 2003). Segundo os conceitos da física quântica, Compton interpretou esse espalhamento em termos de transferência de energia e de momento por meio de fótons do feixe incidente para elétrons quase livres (baixa energia de ligação) do alvo. Segundo o conceito, na interação de um fóton do feixe de raios X incidente com energia  $E = h \cdot \nu$  com um elétron estacionário, a direção de propagação do fóton é alterada (espalhamento de raios X) e o elétron entra em movimento. Isto significa que parte da energia do fóton é transferida para o elétron e pela conservação de energia na interação, a energia do fóton espalhado será menor, energia do fóton remanescente ( $E' = h \cdot \nu'$ ) e os raios X espalhados terão uma frequência  $\nu'$  menor e um comprimento de onda  $\lambda'$  maior. Pelos experimentos realizados, Compton confirmou a previsão de que os fótons possuem energia e momento (TAUHATA *et al.*, 2003).

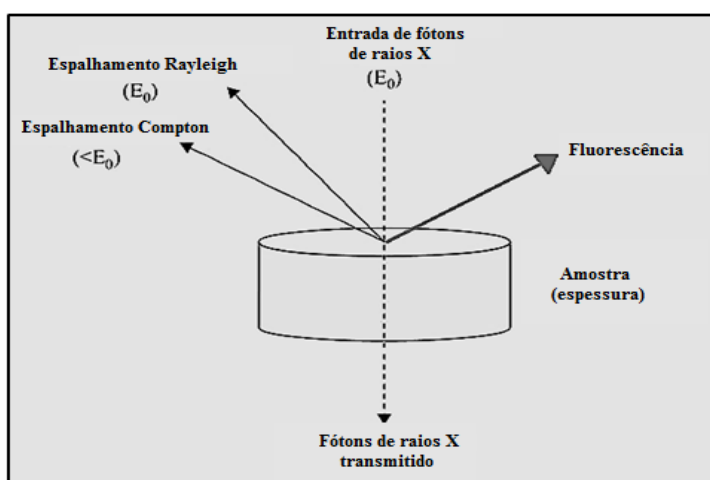
Outro tipo de interação, denominada espalhamento Compton coerente ou efeito Rayleigh, pode ser considerado um caso particular do espalhamento Compton, ocorre quando os raios X são defletidos sem que haja perda de energia, ou seja, sem o aumento de  $\lambda$ , apenas uma mudança na direção do fóton. Sua ocorrência se dá pela interação de fótons de baixa energia com elétrons muito ligados (TAUHATA *et al.*, 2003). Como nenhuma mudança de energia está envolvida neste processo, a radiação Rayleigh reterá exatamente a mesma energia que a do feixe incidente (MARGUÍ; GRIEKEN, 2013).

## 2.2 Fluorescência de raios X

A técnica analítica de fluorescência de raios X é um método quali-quantitativo, o qual se baseia na medida de intensidades do feixe de raios X característicos emitidos pelos elementos constituintes da amostra (BOUMANS, 1989).

Os raios X emitidos excitam os elementos presentes na amostra e estes, por sua vez, emitem linhas espectrais com energias características que os distinguem.

Da interação dos fótons desse feixe de raios X incidente na colisão com a amostra, uma fração corresponde à fluorescência e outra parte da radiação também pode ser transmitida através da amostra ou dispersada para trás a partir dela (THORNTON; REX, 2013) como ilustra a Figura 5, a seguir.



**Figura 5: Interação dos raios X com a matéria**  
Fonte: Marguí; Grieken (2013)

## 2.3 EDXRF

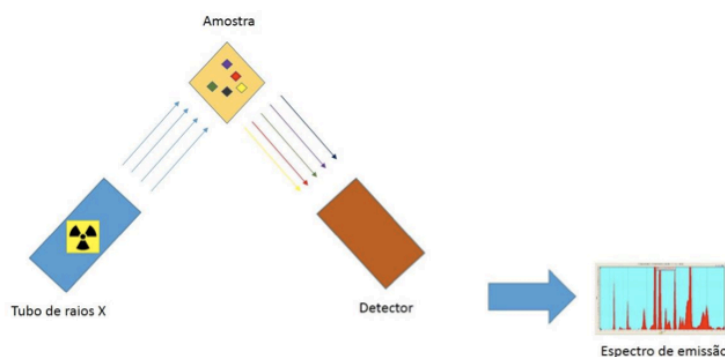
A análise multielementar instrumental por fluorescência de raios X (XRF) se baseia na medida de intensidades dos raios X característicos emitidos pelos elementos químicos que compõem a amostra (NASCIMENTO FILHO).

A partir do desenvolvimento do detector semicondutor de Si (Li), o qual descarta os raios X de energias muito próximas, surgiram pesquisas envolvendo a fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF, *energy dispersive X-ray fluorescence*), também denominada fluorescência de raios X não dispersiva.

Esta técnica vem sendo utilizada em larga escala principalmente em amostras sólidas, pois é prática, rápida, barata e, na maioria dos casos, a amostra não perde suas características fundamentais, bem como, é possível uma caracterização simultânea de muitos componentes

Por se tratar de um método instrumental analítico, o qual não danifica as amostras, a técnica de espectroscopia de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF), é utilizada para a obtenção de dados qualitativos e quantitativos de amostras sólidas e líquidas.

Essa técnica permite identificar de maneira rápida e eficiente os elementos que constituem a amostra analisada, por meio de um espectro gerado com as energias respectivas de cada elemento encontrado, representado na figura 6 a seguir (NAGATA, *et al.*, 2001).



**Figura 6: Ilustração da aquisição dos espectros com EDXRF**  
Fonte: Parreira (2007)

As fontes de excitação podem ser: tubos de raios X com ânodos de diferentes elementos como Ag, Au, Mo, Rh com diferentes energias de excitação; radioisótopos como o  $^{55}\text{Fe}$  - emissor de raios X com energia de 5,9 keV, o  $^{238}\text{Pu}$  -

emissor de partículas  $\alpha$  cuja energia é de 17,2 keV e também pode ser utilizado emissor de radiação gama com energia de 59,5 keV. As fontes de excitação estão relacionadas ao fato de que para retirar um elétron da camada mais interna K é preciso uma energia mínima que deve ser superior à energia de ligação do elétron na respectiva camada. Se a intensidade das linhas alvo estiverem próxima às linhas de absorção na amostra, elas exercem uma contribuição dominante para a excitação da amostra. Se o contrário ocorrer o espectro contínuo, agrupamento de várias linhas de emissão, será a contribuição dominante (NASCIMENTO FILHO, 1999).

As transições dos elétrons de camadas mais externas para internas recebem nomes específicos, dependendo da condição em que acontecem. Por exemplo, uma transição de um elétron da camada L para a camada K recebe o nome de  $K_{\alpha}$ , da camada M para a K é denominada  $K_{\beta}$ , demonstrado na figura 7. Portanto, a camada que recebe o elétron é que nomeia a transição (GRIEKEN e MARKOWICZ, 2002).

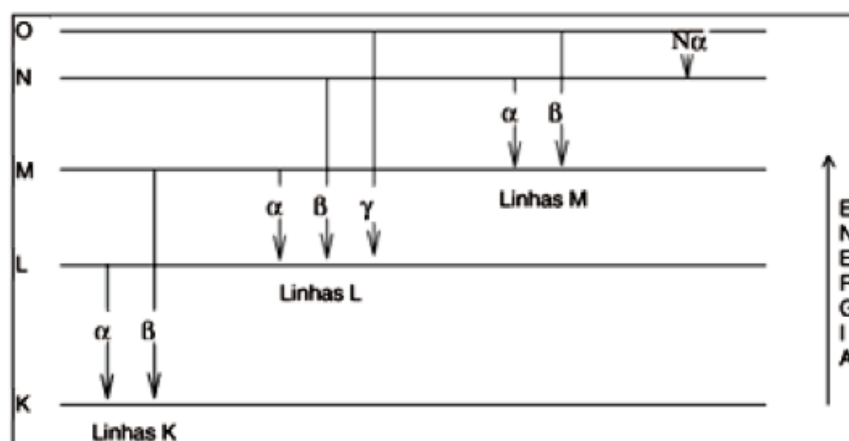


Figura 7: Transição das camadas  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$  e  $L_{\alpha}$   
 Fonte: NAGATA, et al. (2001)

O termo dispersão em energia, está relacionado aos métodos de dispersão usados na maioria dos espectrômetros de raios X em que as amplitudes dos pulsos são diretamente proporcionais às energias dos raios X (MORAES, 2004).

### 2.3.1 Espectro de Emissão

Em 1908 os físicos Barkla e Sadler deduziram que os raios X continham componentes com características do material do alvo. Eles chamavam esses

componentes de radiações K e L e estas radiações tinham nitidamente comprimentos de onda definidos de acordo com os experimentos de difração de W.H. Bragg em 1913. Estas experiências demonstraram a existência de um espectro de linha sobreposta a um espectro contínuo (BECKHOFF *et al.*, 2006).

A região dos raios X no espectro eletromagnético está compreendida entre 0,1 a 400 Å (0,01 a 40 nm), sendo que a faixa de interesse para a XRS é de 0,1 a 113 Å.

De modo geral, podem ser citados alguns tipos de fontes de excitação de raios-X passíveis de serem utilizadas em XRS: (I) partículas aceleradas (elétrons, prótons ou íons), (II) emprego de uma fonte radioativa, cujo processo de decaimento resulte na emissão de raios X, partículas  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  e (III) raios X produzidos em um tubo. Para os raios X e  $\gamma$ , a energia por fóton corresponde a aproximadamente 10-19 J.

Particularizando para a utilização de um tubo de raios X, podem-se verificar dois tipos distintos de espectros de raios X: o espectro contínuo (*Bremsstrahlung*, “freamento da radiação”) que resulta da desaceleração de elétrons pelos átomos do alvo e a radiação característica de cada elemento, que é gerada pelo bombardeamento da amostra, produzindo emissões de raios X específicos (linhas de emissão  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$ ,  $L_{\alpha}$ , e assim por diante) (JENKIS, 1999).

Os Espectros de emissão de raios X são compostos por uma região contínua correspondente aos raios X de freamento e os picos correspondem aos raios X característicos (Figura 8). Com relação a porção contínua, essa varia de acordo com a energia dos elétrons e material do alvo, portanto quanto maior a tensão, maior será a energia do elétron, modificando, dessa forma, o espectro gerado (VERMA, 2007).

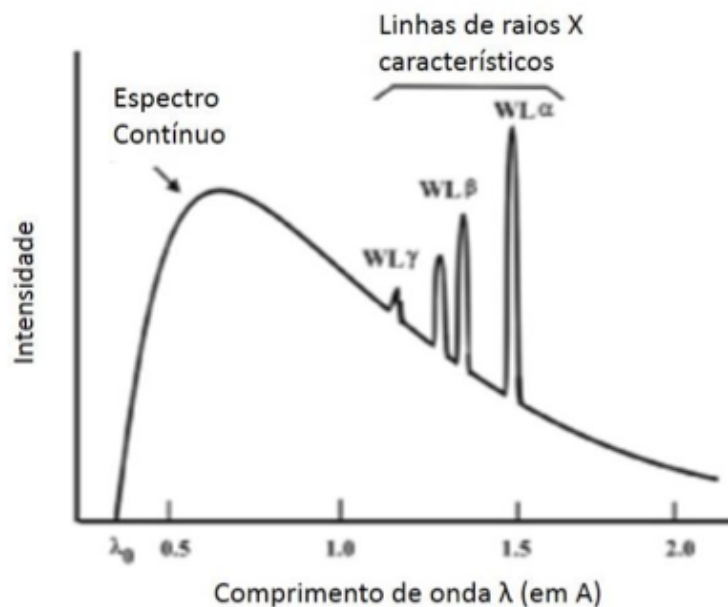


Figura 8: Espectro de emissão da produção de raios X  
 Fonte: VERMA 2007

#### 2.4 PRINCÍPIOS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV

Na Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) o feixe de elétrons é gerado a partir do filamento no qual se aplica uma alta tensão e corrente elétrica de saturação. Todo sistema precisa estar em vácuo para que o feixe alcance a amostra com o mínimo possível de interações. A técnica permite obtenção de imagens por meio da captação da informação gerada pela reflexão do feixe de elétrons de alta energia sobre uma amostra e os vários sinais secundários vindos da amostra, como mostra a Figura 9 (WILLIAMS; CARTER, 2009).

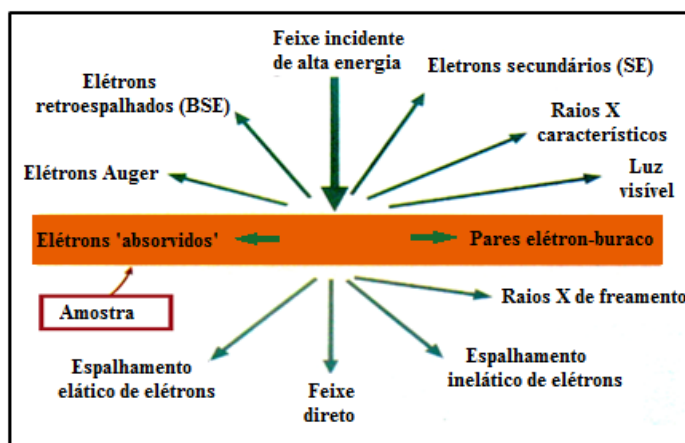


Figura 9: Geração de sinais quando um feixe de elétrons de alta energia interage com uma amostra  
 Fonte: Williams; Carter (2009)

#### 2.4.1 Elétrons secundários (SE)

Os elétrons secundários de baixa energia são atraídos pelo coletor, um polarizador variável, após coletados, causam cintilação – conversão a fótons visíveis na tela em frente ao tubo de luz. Em seguida, os fótons são guiados pelo tubo para o fotomultiplicador e convertidos em corrente elétrica. Essa é amplificada, enviada para o processador de imagens e usada para formar a imagem (WILLIAMS; CARTER, 2009).

#### 2.4.2 Microanálise por meio do MEV

A microanálise por meio do MEV pode ser feita por dispersão em energia (EDS) ou dispersão de comprimento de onda (WDS). Com essa técnica de microanálise é possível analisar partículas menores que um micrômetro e determinar os elementos presentes em uma amostra. A determinação é feita com o espectro de raios X característicos emitidos pela amostra após excitação pelo feixe de elétrons (WILLIAMS; CARTER, 2009). Apenas esse sistema de detecção será descrito por ter sido o único utilizado na pesquisa.

A partir do sistema de detecção de raios X por EDS, acoplado ao MEV, pode ser feita a identificação de todos os elementos presentes na amostra, uma vez que cada elemento possui seu próprio e único espectro que pode ser identificado como uma impressão digital. Um material semicondutor é utilizado para detectar os raios X e o sistema de processamento analisa o espectro obtido. O espectro de EDS mostra as contagens no eixo vertical e energia em keV no eixo horizontal, no qual pode ser feita a identificação das linhas de emissão dos elementos presentes, identificando-os (WILLIAMS; CARTER, 2009).

### 2.5 FENÔMENOS ELÉTRICOS

A eletricidade ocorre no mundo natural de diversas formas, é um termo geral que abrange vários fenômenos que resultam da presença e do fluxo de carga elétrica. Um corpo eletrizado é aquele que possui a propriedade de atrair os outros



corpos. A primeira observação da eletrificação de objetos deu-se na antiguidade, com experiências simples utilizando indução de cargas elétricas por atrito as quais introduziram o conceito de carga elétrica (SCHRODER, 1990).

A carga é uma propriedade fundamental e característica das partículas elementares as quais constituem a matéria. Sabe-se que a matéria é composta por prótons, nêutrons e elétrons, sendo que apenas duas dessas partículas possuem carga elétrica. Existem, no entanto, duas espécies de cargas, a positiva e a negativa, quando nos referimos a um objeto carregado eletricamente, subentende-se que esse objeto possui excesso de elétrons (carga negativa) ou excesso de prótons (carga positiva) (MARTON, 1959).

A corrente elétrica é o movimento de portadores de carga que ocorre dentro dos materiais, em resposta à ação de um campo elétrico externo. Em muitos condutores, os portadores de carga são os elétrons, no entanto, em outros casos a carga pode ser conduzida por íons positivos ou negativos. Portanto, a carga em movimento constitui a corrente elétrica e o processo por meio do qual a carga é transportada é chamado de condução. A corrente  $I$ , é definida como uma razão segundo a qual a carga é transportada por meio de uma dada superfície em um sistema condutor, como por exemplo uma seção reta de um fio elétrico. Assim

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (6)$$

### 2.5.1 Materiais Isolantes ou dielétricos

De acordo com o comportamento eletrostático, os materiais podem ser subdivididos em duas categorias: Condutores de eletricidade e isolantes (dielétricos).

Nos materiais condutores, as cargas elétricas se movimentam com mais liberdade em função dos elétrons livres presentes na sua camada de valência. A ligação dos elétrons livres com o núcleo atômico é bastante fraca. Assim, esses elétrons têm tendência para serem doados, movimentam-se e espalham-se facilitando a passagem da eletricidade (SCHRODER, 1990).

Os isolantes são as substâncias em que todas as partículas carregadas estão ligadas fortemente às moléculas constituintes, podem mudar ligeiramente suas

posições em resposta a um campo elétrico, entretanto não se afastam da proximidade de suas moléculas. Os dielétricos físicos reais apresentam uma débil condutividade num dielétrico típico, todavia a condutividade é 1020 vezes menor do que um bom condutor (SCHRODER, 1990).

### 2.5.2 Propriedades Elétricas dos materiais

Os materiais condutores, são substâncias como metais, os quais contém grande número de portadores de carga essencialmente livres. Estes portadores de carga (em geral elétrons), estão livres e percorrem todo o material condutor respondendo a campos elétricos diversos e continuam a se mover durante ação de um campo, conduzindo a corrente elétrica quando um campo elétrico estacionário for mantido no condutor devido a uma fonte externa de energia (MARTON, 1959).

São caracterizados por diversas grandezas, dentre as quais se destacam: condutividade ou resistividade elétrica, coeficiente de temperatura, condutividade térmica, potencial de contato, comportamento mecânico, etc. Estas grandezas são importantes na escolha adequada dos materiais, uma vez que das mesmas vai depender se estes são capazes de desempenhar as funções que lhe são atribuídas. A escolha do material condutor mais adequado, nem sempre recai naquele de características elétricas mais vantajosas, mas sim, em um outro metal ou uma liga, que, apesar de eletricamente menos vantajoso, satisfaz as demais condições de utilização (SCHRODER, 1990).

Os principais materiais de elevada condutividade elétrica são os metais nobres, acrescidos de alguns de outros grupos, e de suas ligas. Os metais de alta condutividade se empregam como condutores, enrolamentos de máquinas elétricas e transformadores, etc. Por outro lado, em determinadas aplicações, também há interesse em materiais, normalmente ligas, de alta resistência, para fins de fabricação de resistências, aparelhos de calefação, filamentos para lâmpadas incandescentes, entre outros (MARTON, 1959).

### 2.5.3 Lei de Ohm

Em 1827 Georg Simon Ohm, baseado em evidências experimentais e utilizando o conceito resistência elétrica ( $R$ ) de um corpo, formulou uma lei que

relaciona a voltagem ( $U$ ) aplicada sobre o corpo com a corrente elétrica ( $I$ ) que o atravessa.

$$U=R \cdot I \quad (7)$$

Onde  $U$  (V) = J / C,  $I$  (A) = C / s e  $R$  ( $\Omega$ ) = V / A.

Utilizando o conceito de condutividade ( $\sigma$ ), a lei de ohm determina que a densidade areolar de corrente ( $J$ ) num dado material é diretamente proporcional ao campo elétrico ( $E$ ) aplicado sobre o mesmo.

$$J= \sigma \cdot E \quad (8)$$

#### 2.5.4 Resistividade elétrica

A resistividade elétrica é uma grandeza que também está relacionada a um impedimento sofrido pelos portadores de carga, porém, é uma propriedade intrínseca da matéria, sendo independente das dimensões do corpo estudado. Portanto, resistividade é uma propriedade da matéria. (GIROTTO e SANTOS, 2002).

A resistência elétrica ( $\Omega$ ) de uma dada peça de determinado material é dada pela equação a seguir:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (9)$$

Onde,  $\rho$  é a resistividade elétrica do material ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ),  $A$  é a seção transversal (em  $\text{cm}^2$ ) e  $l$  é o comprimento do condutor (em cm).

Quando a temperatura em um material condutor é aumentada, as partículas vibram interferindo nos movimentos dos elétrons. Uma tal influência causa perdas nos deslocamentos dos elétrons e, conseqüentemente, aquecimento do corpo condutor (LEONCINI, 2011).

#### 2.5.5 Resistência elétrica e resistividade superficial

A resistência elétrica é uma grandeza física que representa o “impedimento” sofrido pelos portadores de carga, quando estão sujeitos à ação de um campo

elétrico no momento em que atravessam de um ponto ao outro um determinado corpo (GIROTTTO e SANTOS, 2002).

Resistência superficial ( $R_s$ ) representada na equação 10,

$$R_s = \frac{U}{I_s} \quad (10)$$

é definida como a razão entre uma tensão ( $U$ ) aplicada à um condutor e a de corrente elétrica de superfície ( $I_s$ ) que está fluindo entre dois eletrodos de configuração específica que estão em contato com o mesmo lado de um material sob teste (Figura 10). (MARYNIAK, et al 2003)

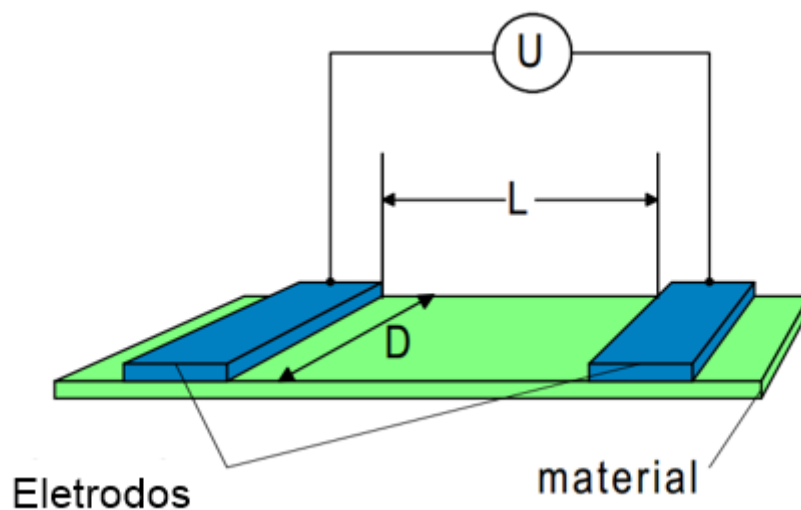


Figura 10: Configuração básica para medição de resistência superficial  
Fonte: MARYNIAK, et al 2003

A resistividade superficial ( $\rho_s$ ), por outro lado, é determinada pela razão da diferença de voltagem ( $U$ ) DC por unidade de comprimento ( $L$ ) do condutor em relação à densidade areolar de corrente elétrica por unidade de largura ( $D$ ) do condutor (MARYNIAK, et al 2003).

$$\rho_s = \frac{\frac{U}{L}}{\frac{I_s}{D}} \quad (11)$$

### 2.5.6 Métodos de medição

Existem diversos métodos descritos na literatura que podem ser usados para o cálculo e a determinação da resistividade elétrica DC (*direct current*, corrente contínua) ou AC (*alternating current*, corrente alternada) em sólidos. A diferença entre a resistividade DC e a AC está simplesmente no tipo de excitação usada para

sua determinação. No caso da resistividade *DC*, a amostra é excitada por um campo elétrico *DC* e no caso da resistividade *AC*, a amostra é excitada por um campo elétrico *ac* (MARTON, 1959).

Quando estamos interessados em estudar fenômenos elétricos localizados em um ponto específico da amostra, devemos focalizar não a diferença de potencial e a corrente elétrica neste ponto, mas sim, o campo elétrico e a densidade de corrente elétrica no ponto em questão. Em um condutor sujeito à ação de um campo elétrico *DC*, os portadores de carga fluem na direção deste campo (LEONCINI, 2011).

#### 2.5.6.1 Método do eletrômetro

Existem uma variedade de métodos de medição da resistência, no entanto, para este trabalho foi utilizado o método do eletrômetro, baseado em medidas de resistividade elétrica pelo método duas pontas. É um método padrão quando o material a ser analisado possui uma altíssima resistividade elétrica (geralmente acima de  $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ ), o que conseqüentemente requer a detecção de valores de corrente elétrica muito baixos.

Para que as medidas sejam eficientes, estas devem ser feitas em ambiente seco e, se possível, dentro de “gaiolas de Faraday”. A Figura a seguir (figura 11), ilustra o esquema experimental para este tipo de medida, com o suporte de amostra e os terminais de conexão do eletrômetro da fonte *DC* (GIROTTO e SANTOS, 2002).

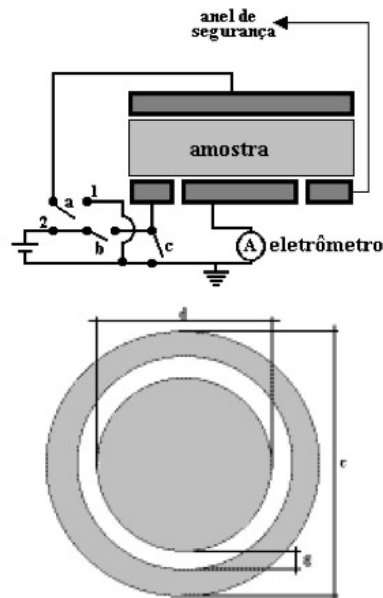


Figura 11: Equipamento medidor de alta resistividade  
 Fonte: GIOTTO e SANTOS, 2002

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada no laboratório Física Nuclear Aplicada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, em parceria com o Departamento de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, com uso do ARTAX 200 e o Departamento de Eletricidade e Materiais dos institutos LACTEC.

A metodologia foi dividida em duas etapas e foram utilizados quatro equipamentos e duas técnicas. Na primeira etapa, de caráter exploratório, foi realizado um estudo preliminar do principal objetivo da pesquisa de caracterizar o tipo de metal presente nas tintas analisadas.

Nesta etapa foram utilizadas as técnicas de XRF e MEV para caracterização elementar, a fim de proporcionar maior compreensão das características das amostras e ter uma maior precisão para a segunda etapa, na qual foi testada se a presença desses metais faria com que a resistividade elétrica superficial diminuísse e dessa forma passasse a conduzir corrente elétrica em condições específicas.

Esta etapa por sua vez, teve como premissa a interpretação da hipótese: em uma superfície não condutora (ex. material utilizado como pele sintética) a presença

dos metais na composição das tintas influenciaria na resistividade elétrica superficial.

Os fundamentos teóricos e revisão de literatura foram realizados por meio de livros, publicações, trabalhos acadêmicos, normas nacionais e internacionais das áreas relacionadas ao tema da pesquisa.

### 3.1 MATERIAIS

- Tintas específicas utilizadas em tatuagem
- Equipamento XRF, kit composto por tubos Mini-X com ânodo de Ag da marca Amptek,
- Equipamento XRF, composto por um tubo de raios X de foco fino com alvo de Mo, o ARTAX 200 da marca Bruker
- Equipamento de microscopia eletrônica por varredura (MEV)
- Pele artificial sintética (semelhante EVA)
- Equipamento Medidor de Alta Resistência, da marca Agilent 4339B

#### 3.1.1 Pigmentos utilizados em tatuagem para análise EDXRF

De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada – RDC 55/2008 da ANVISA, a qual regulariza o uso de pigmentação permanente para pele, há no Brasil, atualmente, apenas quatro marcas autorizadas para a realização de tatuagens: Starbrite Colors – Amazon Indústria, Comércio, Exportação e Importação de Produtos Especializados; Electric Ink – Electric Ink Indústria Comércio, Importação e Exportação LTDA; Iron Works – Brasil LTDA e Master's Ink- Brasil Art & Cores Indústria, Comércio, Importação e Exportação Ltda (ANVISA, 2014).

Foram analisadas 11 amostras dos pigmentos, das marcas Electric Ink, Intenze, Strabrite Colors, Master's Ink e Iron Works, descritas na tabela 2. As tintas são líquidas, foram utilizadas entre 5g a 10g de cada amostra que inicialmente foram desidratadas e maceradas até a consistência de pó, para posteriormente serem prensadas em um tubo cilíndrico e transformadas em pastilhas para serem analisadas e caracterizadas.

**Tabela 2: Cores e marcas das tintas utilizadas na pesquisa**

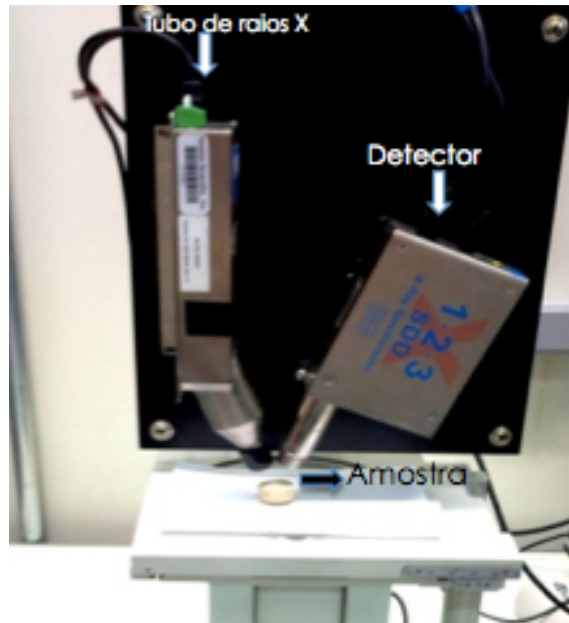
<b>COR</b>	<b>MARCA</b>	<b>NOME COMERCIAL</b>
Branca	Star Brite Colors	Brite White
Amarela	Electric Ink	Banana
Bege Laranja	Electric Ink	Bege
Laranja	Electric Ink	Blush
Rosa Pink	Electric Ink	Pink
Rosa Chiclete	Electric Ink	Rosa Claro
Vermelho	Electric Ink	Vermelho Ferrari
Preto	Master's Ink	Preto Tribal
Azul	Intenze	Mario's Ligth Blue
Verde	Star Brite Colors	Leaf Green
Areia	Electric Ink	Areia

Fonte: Autor

### 3.1.2 Equipamento de Espectroscopia de Fluorescência de raios X por energia Dispersiva (EDXRF)

As primeiras análises foram realizadas no Laboratório de Física Nuclear Aplicada da UTFPR, campus Curitiba, com equipamento XRF *experimenter* kit composto por tubos Mini-X com ânodo de Ag da marca Amptek, ambos operam com tensão de 10 a 50 kV, corrente de 5  $\mu$ A a 200  $\mu$ A e o tempo de exposição é selecionado pelo operador. O sistema de detecção utiliza um detector de Si (Li) modelo X-123 SDD, também da Amptek montado em uma base móvel (Figura 12).





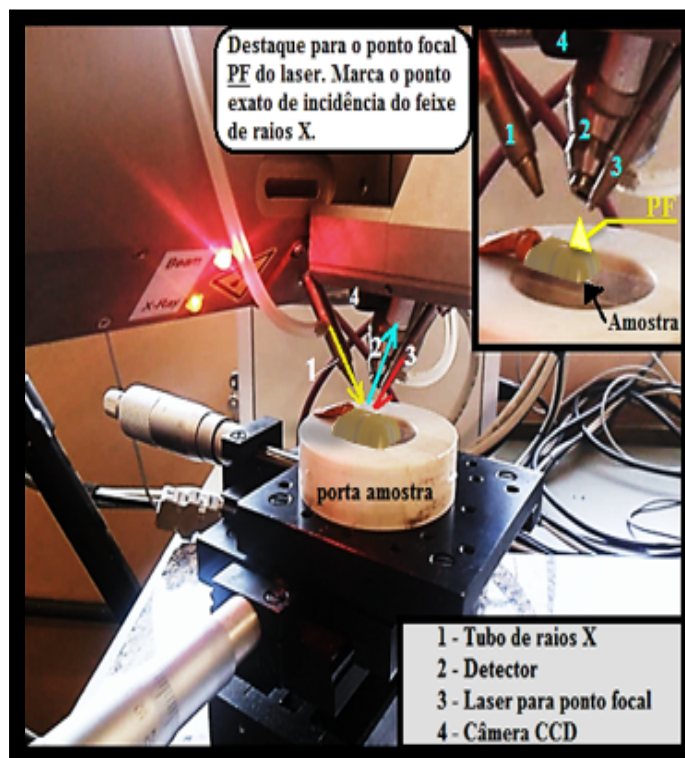
**Figura 12: Equipamentos de EDXRF Tubo MINI-X e detector Si drift, ambos da Amptek e tubo com alvo de Ag**  
Fonte: Autor

### 3.1.3 Medidas ARTAX 200

Essa técnica também realiza análise qualitativa e quantitativa de vários tipos de amostras de forma não destrutiva e caracteriza elementos de número atômico de 12 a 92.

O equipamento, possui um tubo de raios X de foco fino com anodo (alvo) de Mo refrigerado a ar e colimador de 0,65 mm. Opera com tensão máxima do tubo de 50 kV e corrente de 1000  $\mu$ A. Utiliza um detector do tipo XFlash 3001 do tipo SDD (Silicon Drift Detector) capaz de trabalhar com altas taxas de contagens com pouca distorção nos espectros e resolução de energia nominal de 155 eV.

Possui ainda, um sistema composto por laser e uma câmera tipo CCD que permitem o alinhamento do feixe de raios X no ponto específico da amostra. Os espectros de cada análise realizadas no ARTAX são adquiridos e avaliados no programa SPECTRA 5.3 do mesmo fabricante (Bruker). A Figura 13 ilustra o sistema ARTAX 200 mostrando a posição do feixe de raios X, detector, laser, câmera, porta amostra. Em destaque o ponto focal (PF) do laser sobre a amostra.



**Figura 13: Sistema Artax**  
**Fonte: Autor**

### 3.1.4 Medidas com MEV

O equipamento utilizado foi o Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV EVO® (Zeeis).

As amostras de tintas em forma de pastilha foram colocadas no porta-amostra (Stub), grudadas com uma fita dupla face de carbono em formato de carrossel, onde é possível analisar nove amostras por vez.

A obtenção das imagens foi feita pela detecção dos elétrons secundários (SE1). Operou-se em 200kV de tensão e a magnificação foi de até 5000 vezes e distância de trabalho (WD) de 8,5mm. Todo o processo de operação é realizado pelo técnico do equipamento.

Foram selecionados 2 pontos de medição para avaliar a diferença dos metais encontrados nas amostras em relação à caracterização elementar, a qual segue o princípio de fluorescência de raios X, resultante da interação do feixe de elétrons na amostra.

A análise quali-quantitativa gera um relatório com a composição da amostra em fração de massa e em peso atômico a partir do programa Smart MEV® V05.05. Foram analisadas 12 amostras no total.

### 3.1.5 Pele artificial sintética

As amostras (10cmx10cm) avaliadas se baseiam em superfícies de pele artificial.

A pele artificial sintética, mostrada na Figura 14, é feita de material polimérico semelhante ao EVA, o qual simula a pele humana e é utilizada para treinamento de tatuadores.



**Figura 14: Pele artificial sintética**  
Fonte: autor

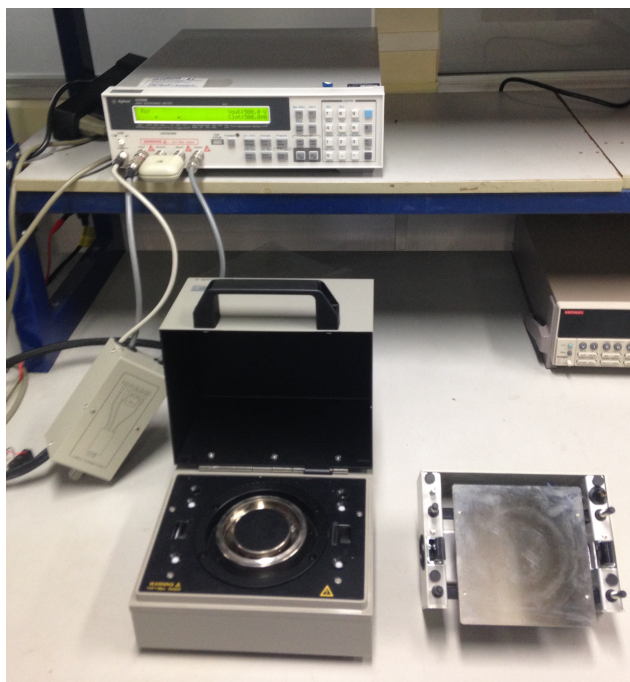
Essas amostras foram pigmentadas com o mesmo equipamento utilizado para confecção de tatuagens, por meio de tintas próprias para o procedimento, de forma a cobrir toda superfície a ser analisada. Na Figura 15, observa-se duas peles artificiais pigmentadas (verde e vermelho) sobre uma base de papel e plástico.



**Figura 15: peles artificiais pigmentadas**  
Fonte: Autor

### 3.1.6 Equipamento medidor de alta resistência superficial elétrica

Após a pigmentação das amostras artificiais, estas foram analisadas no laboratório do Departamento de Eletricidade e Materiais dos institutos LACTEC, com um equipamento medidor de alta resistência elétrica, modelo Agilent 4339B, que mede a resistência elétrica superficial, representado na Figura 16. Para efeitos de comparação, foram mensurados os valores da resistividade elétrica das amostras antes e após a pigmentação com diferentes cores.



**Figura 16: medidor de alta resistência elétrica (modelo Agilent 4339B)**  
**Fonte: Autor**

Em cada medida foi utilizada uma tensão aplicada de 100 V no equipamento, durante o tempo de 1 minuto. O equipamento mede a corrente que circula na amostra e dessa forma, determina o valor da resistividade elétrica superficial.

## 3.2 MÉTODOS

Em alguns trabalhos é possível observar o uso de duas ou mais técnicas de análise para comparar e ou obter resultados mais precisos. Na presente pesquisa,

foram utilizados três métodos complementares para caracterização elementar dos pigmentos.

Primeiramente foi utilizado o método de análise não destrutiva EDXRF com alvos de Ag encontrado no Laboratório de Microscopia da UTFPR, no entanto, durante os testes o equipamento apresentou algumas avarias e os testes precisaram ser interrompidos, para finalizar o procedimento algumas análises foram realizadas no laboratório da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, com a utilização do equipamento disponível, o ARTAX 200 – também com a técnica de análise não destrutiva de EDXRF com alvo de Mo.

Finalmente, a análise elementar dos pigmentos foi concluída com a utilização do equipamento de Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV EVO® (Zeeis), o qual gera um relatório com a composição da amostra em fração de massa e em peso atômico a partir do programa Smart MEV® V05.05.

A segunda e última etapa da pesquisa foi realizada no Departamento de Eletricidade e Materiais dos institutos LACTEC, com um equipamento medidor de alta resistência elétrica, modelo Agilent 4339B, que mede a resistência elétrica superficial em materiais sólidos, com o qual foi possível mensurar a resistividade elétrica dos pigmentos quando inseridos em um material semelhante ao EVA, denominado pele sintética.

### 3.2.1 Preparo das amostras para análise

O material para primeira análise foi elaborado de forma a reduzir o background nos espectros gerados, para isso, as amostras de tintas foram desidratadas e maceradas até atingir a consistência de pó para finalmente serem prensadas por meio de uma prensa mecânica com um tubo cilíndrico, com a finalidade de compactar as amostras transformando-as em pastilhas para análise (Figura 17).



**Figura 17: Pastilhas de tinta**  
Fonte: Autor

### 3.2.2 Parâmetros para exposição das amostras EDXRF

Os testes iniciais foram realizados utilizando um tubo Mini-X do equipamento XRF *Experimenter's Kit*, da seguinte forma:

- **Amostra:** foram analisadas amostras de cores diferentes, uma pastilha de cada cor respectiva;
- **Região de medição:** Inicialmente foram estabelecidas medidas com o feixe de raios X no centro e na borda das amostras, no entanto, ficou estabelecida a homogeneidade das pastilhas de tinta e por tanto, foram mensuradas apenas as medidas no centro de cada amostra para padronização dos resultados.
- **Os tubos Mini-X:** para padronização das medições, todos os testes foram realizados com o alvo Ag;
- **Colimador:** foi utilizado colimador de 1 mm na saída do tubo de raios X, devido à rotina de análise do laboratório, para maioria das amostras.
- **Parâmetros de operação dos tubos:** Nos testes para o tubo com alvo de Ag foi usado 40 kV e corrente de 5 $\mu$ A durante 300s
- **Os tempos de exposição:** em todos os testes o tempo de exposição foi de 300s, estipulado como tempo de medição para etapa.

O objetivo dos testes foi estabelecer um parâmetro ideal para excitação de todos os possíveis elementos presentes para realizar a etapa de medições comprobatórias.

De acordo com as instruções do manual do equipamento o tempo para



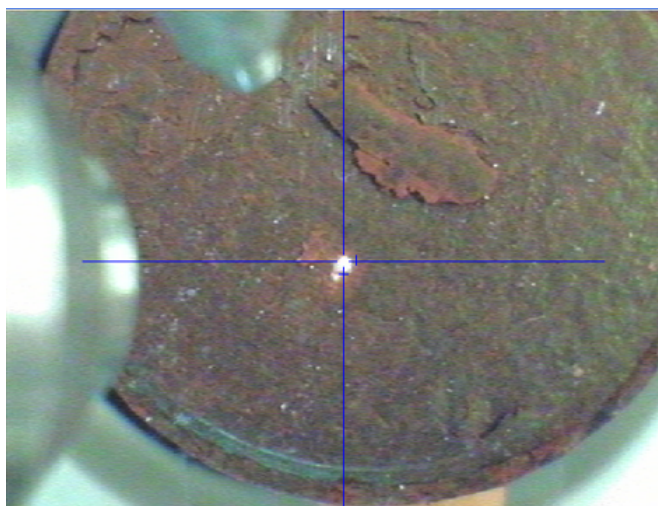
aquisição das medidas varia conforme os picos do espectro gerado pelo software, atingem uma contagem expressiva, geralmente quando ultrapassam 1000 contagens.

Após realizadas as medidas os espectros gerados pelo software (ADMCA), foram analisados e dessa forma, foram detectados os elementos metálicos presentes na amostra.

### 3.2.3 Parâmetros para exposição das amostras ARTAX 200

A seleção do ponto de medição é feita quando o feixe de excitação e o eixo óptico do detector encontram-se no ponto de medição da amostra, então na imagem do vídeo, aparece um ponto de referência (centro do plano cartesiano) e coincide com o ponto luminoso produzido pelo feixe do laser (Figura 18).

A escolha dos pontos de medições foi o centro de cada pastilha com os seguintes parâmetros: 25 kV, 300  $\mu$ A e 300s, tempo suficiente para mostrar a linha de emissão dos metais constituintes da amostra.



**Figura 18: Ponto de referência, onde o feixe do equipamento coincide para realizar a medida**  
Fonte: Autor

### 3.2.4 Análise com MEV

A análise com o MEV, foi realizada no Laboratório de Microscopia do Departamento de Mecânica ambos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). As amostras utilizadas foram as mesmas pastilhas prensadas, no entanto

para essa análise, as amostras foram cortadas ao meio, para que coubessem no Stub (porta amostra), demonstrado na figura 19.

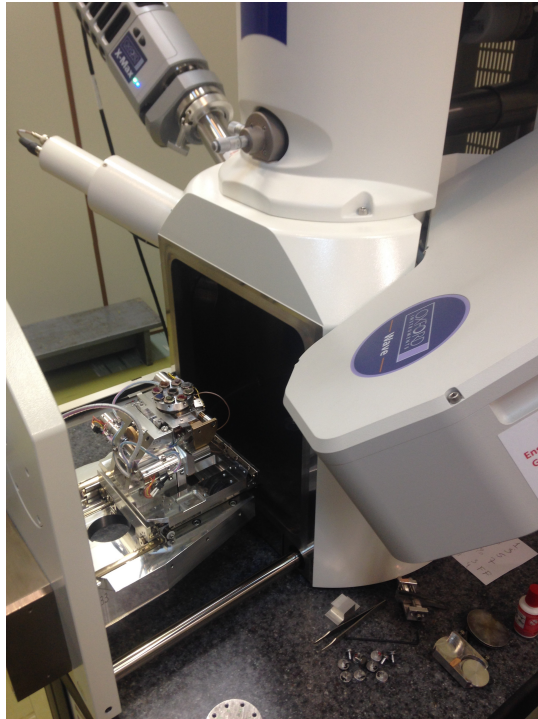


**Figura 19: Porta amostra preparado para análise**  
**Fonte: autor**

Antes da análise, as amostras já posicionadas no porta amostra foram metalizadas com pó de ouro (Au), por meio de uma vaporização de partículas de ouro com um equipamento dedicado, denominado metalizador, para que dessa forma aumentasse a condutividade das amostras, tornando a pesquisa mais detalhada e precisa.

Após esse primeiro processo o porta amostra, com nove pastilhas foi inserido no equipamento de microscopia eletrônica por varredura (MEV EVO®). Como ilustra a Figura 20.





**Figura 20: Porta amostras sendo inserido no equipamento de microscopia eletrônica de varredura (MEV)**  
**Fonte: Autor**

A obtenção das medidas foi feita pela detecção dos elétrons secundários (SE1), com o equipamento operando em 200kV de tensão, com magnificação foi de 5000 vezes e distância de trabalho (WD) de 8,5mm

### 3.2.5 Medidas de resistividade elétrica superficial nas peles artificiais pigmentadas

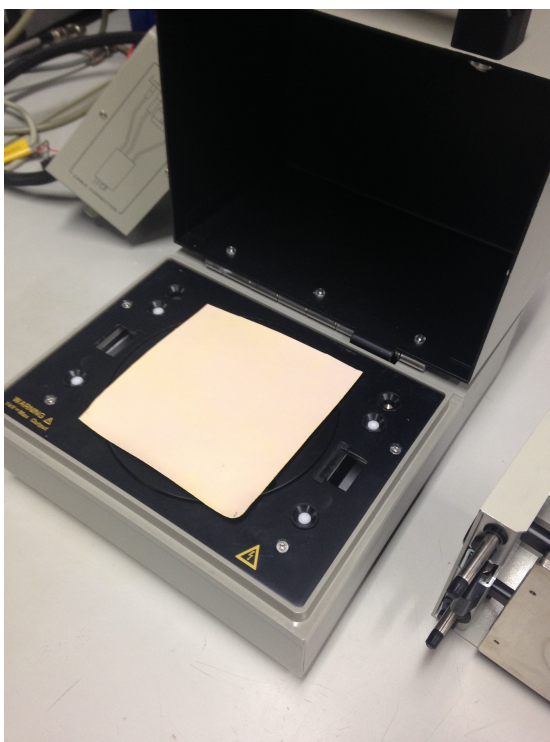
Esta etapa da pesquisa foi desenvolvida no Departamento de Eletricidade e Materiais dos Institutos LACTEC, localizado no centro politécnico da UFPR em Curitiba, Paraná.

Os pigmentos utilizados para cobrir as amostras de pele sintética com suas respectivas marcas foram os seguintes: Vermelho Ferrari (Eletric Ink), Mario's Light Blue (Intenze), Leaf Green (Star Brite) e Banana (Eletrick Ink).

As amostras foram posicionadas de forma que a parte pintada recobrisse todo o disco com os eletrodos que fazem a leitura da resistividade elétrica superficial, como mostra a Figura 21.

Cada amostra foi submetida a quatro medidas referentes a cada posicionamento. Assim, após feita a primeira medida a amostra foi rotacionada de 90° para então se fazer a segunda medida e assim por sequência até que todas posições fossem analisadas.

Posteriormente calculou-se a média dos valores obtidos para cada amostra e o erro associado, baseado no cálculo dos desvio-padrão, desvio da média, na correção de Student para quatro valores e erro sistemático do equipamento. O erro final obtido indicou a precisão das médias, que foram explicitadas em termos de seus valores e erros associados.



**Figura 21: Amostra posicionada no equipamento medidor de altas resistências com a parte colorida voltada para os discos do eletrodo**  
Fonte: Autor

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Caracterização elementar por EDXRF com alvo de Ag**

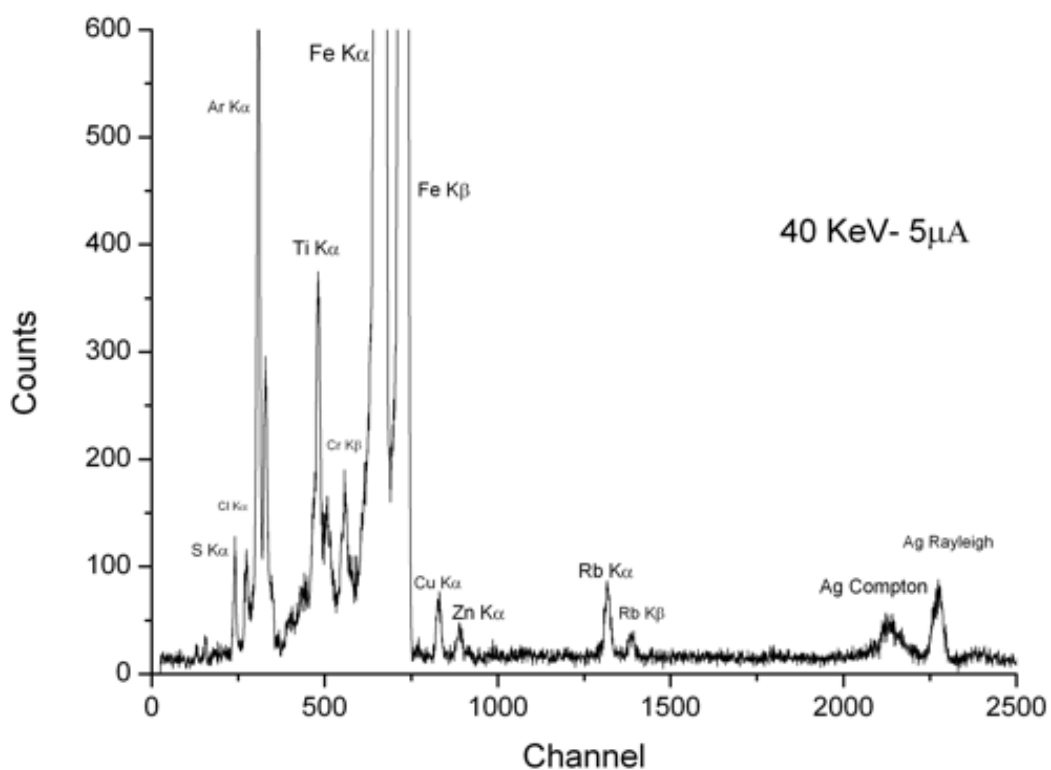
A primeira etapa de caracterização elementar das amostras com o sistema EDXRF, realizado no laboratório da UTFPR com o equipamento com alvo de Ag apresentou os espectros das amostras representados pelas Figuras 22 – 25 e foram

identificados os seguintes elementos: Al, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Cu, Zn, Rb, Zr e Nb, representados na tabela 3.

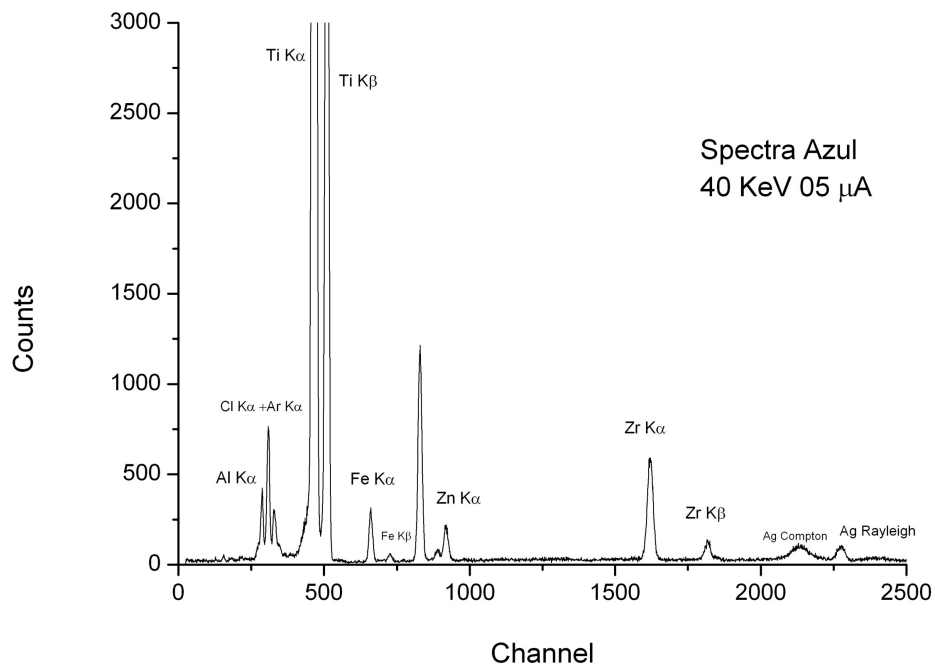
**Tabela 3: Elementos encontrados por cor com XRF e alvo de Ag**

Amostras	Elementos												
	Al	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Cu	Zn	Rb	Zr	Nb
Vermelha		X	X			X	X	X	X	X	X		
Azul	X		X			X						X	
Rosa Claro						X						X	
Branca					X	X		X				X	X

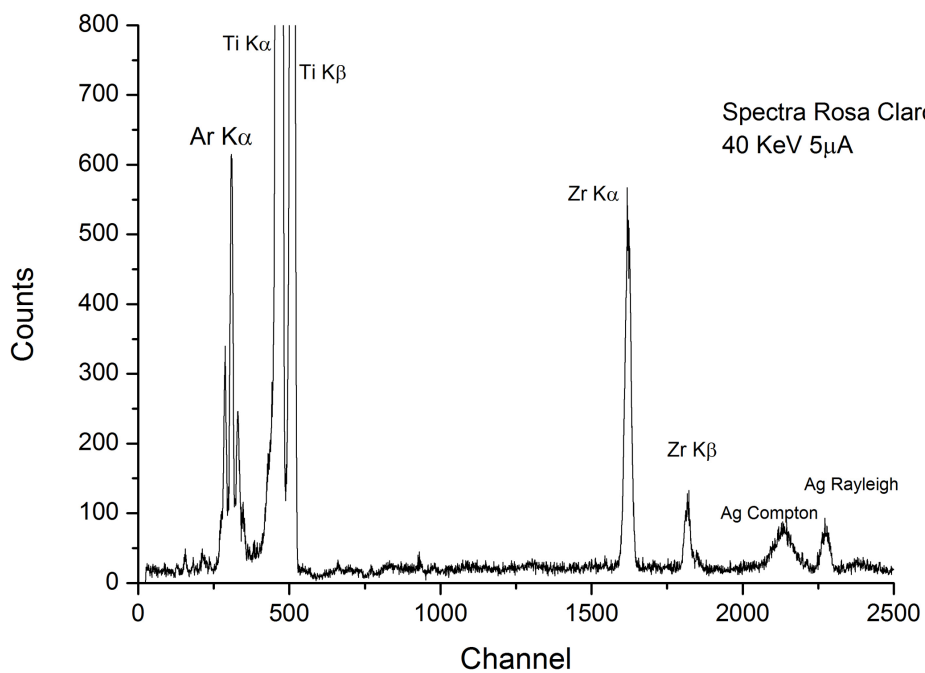
Fonte: Autor



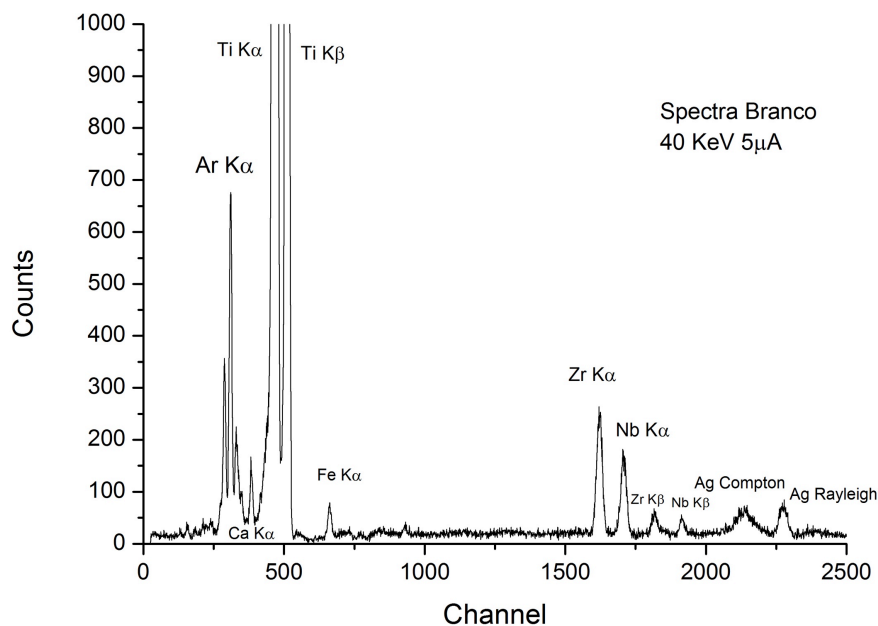
**Figura 22: Espectro correspondente a amostra de cor vermelha**  
Fonte: Autor



**Figura 23: Espectro característico da amostra na cor azul**  
**Fonte: Autor**



**Figura 24: Espectro característico da amostra na cor rosa**  
**Fonte: Autor**



**Figura 25: Espectro correspondente a amostra de cor Branca**  
**Fonte: Autor**

Devido a problemas técnicos no equipamento da UTFPR, a pesquisa não foi finalizada com as 13 amostras.

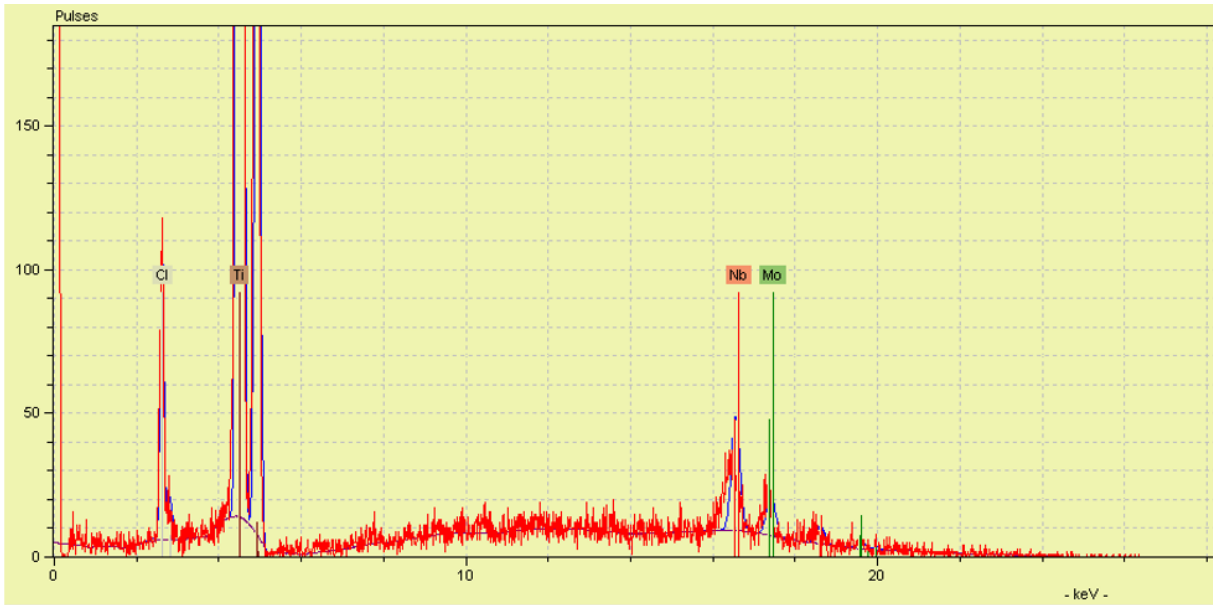
#### 4.2 Caracterização elementar por EDXRF com alvo de Mo

A segunda etapa para caracterização elementar das amostras foi realizada no Departamento de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, com uso do equipamento de EDXRF ARTAX 200, o qual determinou a presença dos seguintes elementos nas amostras: Cl, Ca, Ti, Cr, Fe, Cu, Br, Ni, Zr e Nb como representa a tabela a seguir (Tabela 4). Os espectros gerados pelo sistema de aquisições estão representados logo a seguir nas figuras 26 - 30.

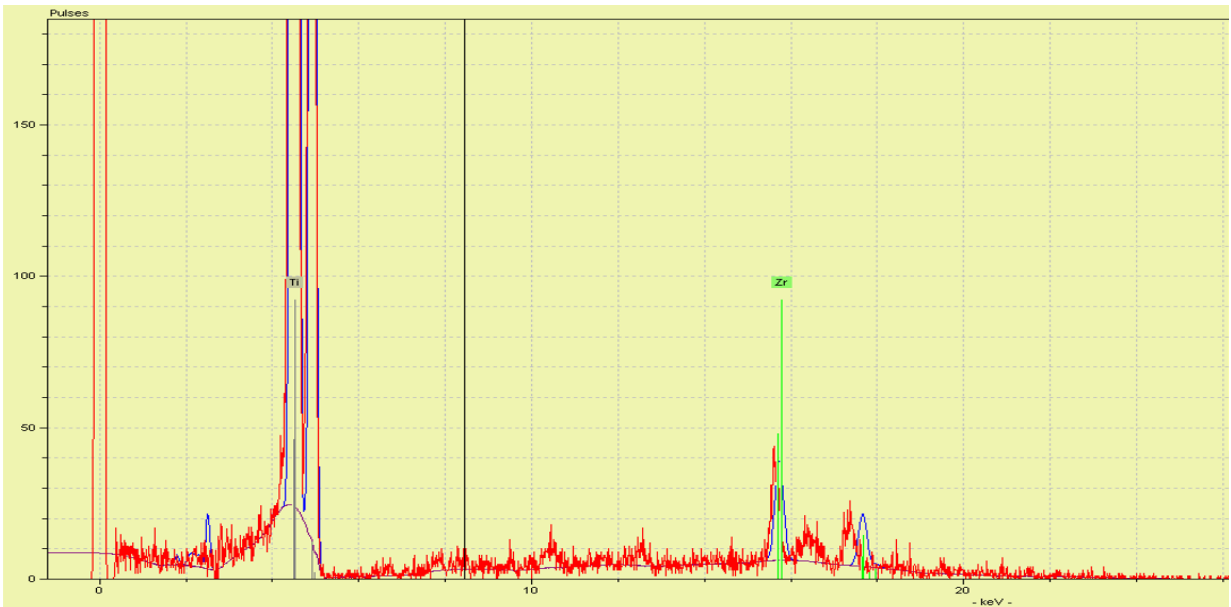
**Tabela 4: Elementos encontrados com ARTAX 200**

Amostras	Elementos												
	Al	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Cu	Br	Ni	Zr	Nb
Amarela			X			X							X
Branco					X	X		X				X	X
Preta						X		X	X			X	X
Rosa						X						X	
Vermelha					X	X	X	X		X	X		X

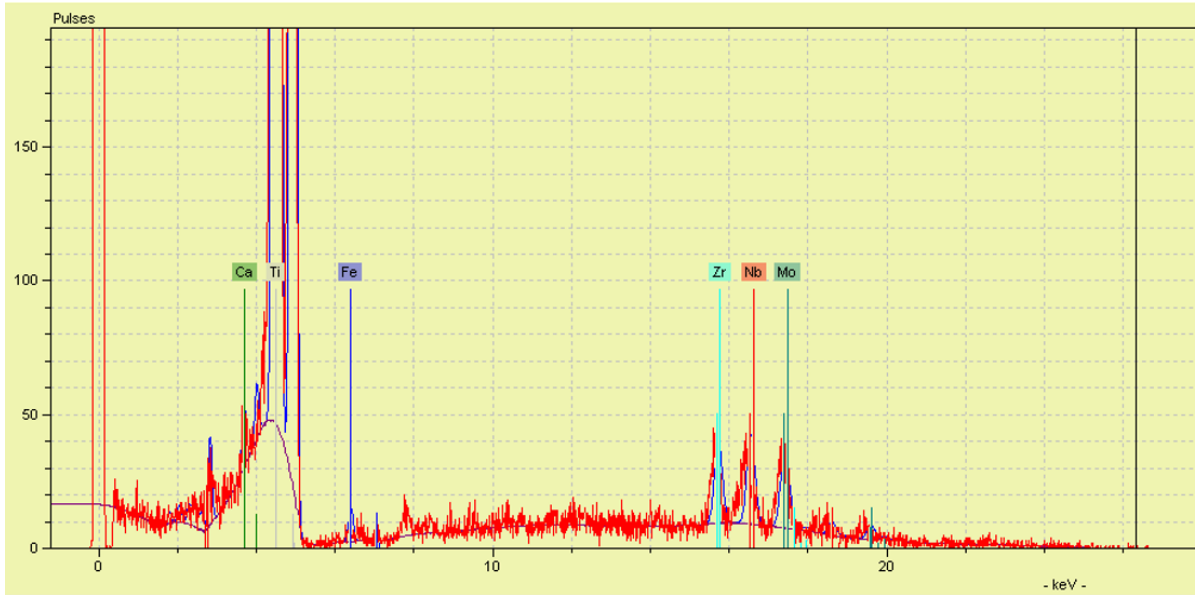
Fonte: Autor



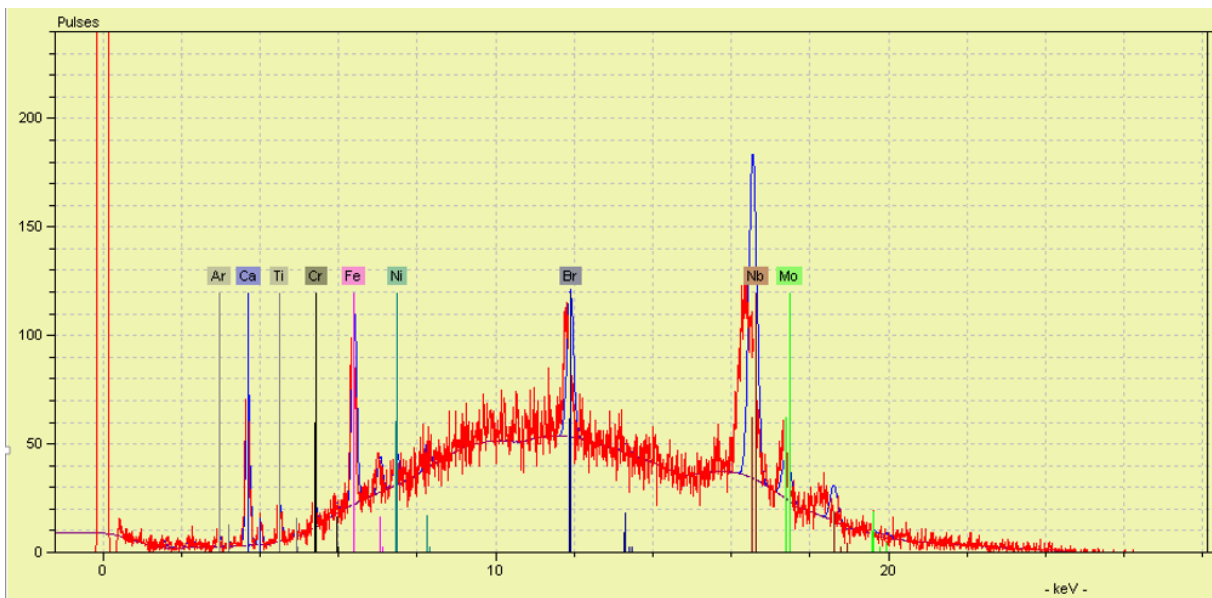
**Figura 26: Espectro característico da tinta na cor amarela**  
**Fonte: Autor**



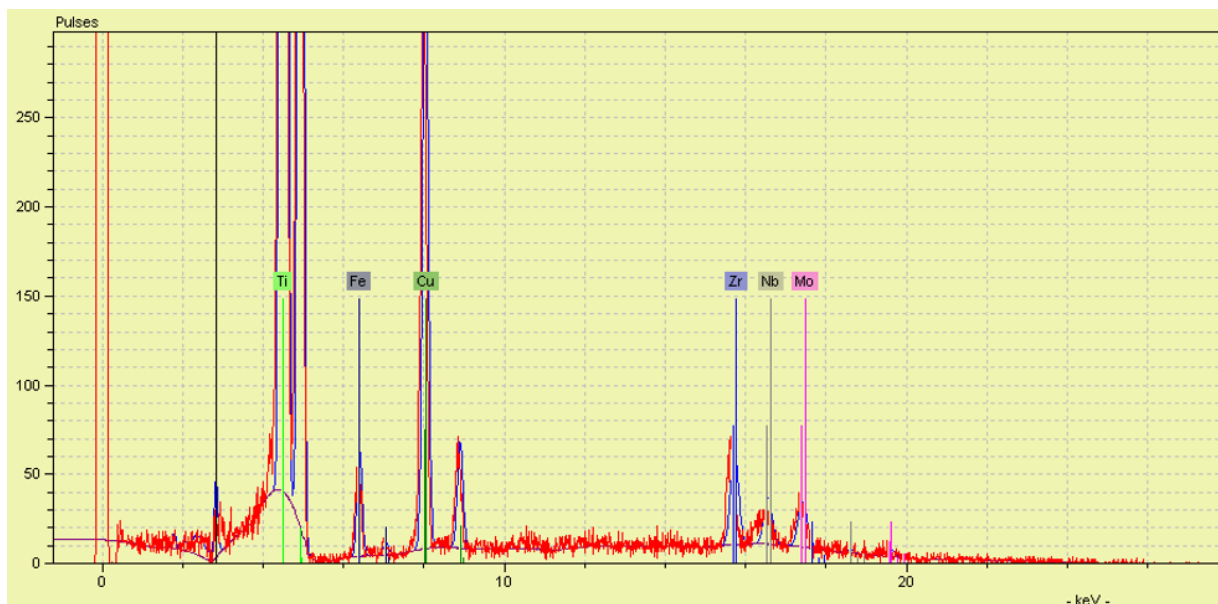
**Figura 27: Espectro característico da tinta na cor rosa**  
**Fonte: Autor**



**Figura 28: Espectro característico da tinta na cor branca**  
**Fonte: Autor**



**Figura 29: Espectro característico da tinta na cor vermelha**  
**Fonte: Autor**



**Figura 30: Espectro específico da tinta na cor preta**  
**Fonte: Autor**

### 4.3 Caracterização elemental por MEV

Nesta etapa da caracterização das amostras, o software do equipamento (Smart MEV® V05.05) gera um gráfico que demonstra a quantidade dos metais presentes na amostra em fração de massa e em peso atômico, estes gráficos constam anexados no apêndice B da pesquisa.

Os metais encontrados nas treze amostras variaram bastante de acordo com cada cor analisada. Basicamente foram encontrados os metais Alumínio (Al), Silício (Si), Titânio (Ti), Ferro (Fe) e Cobre (Cu). A tabela a seguir apresenta os valores respectivos para cada amostra. (Tabela 5).



**Tabela 5: valores encontrados com MEV**

AMOSTRAS	Fração em massa %						Fração em massa %					
	1º ponto						2º ponto					
	C	Al	Si	Ti	Fe	Cu	C	Al	Si	Ti	Fe	Cu
AMARELA	14.37	1.52	0.19	31.94	...	...	13.93	1.49	0.22	31.88	...	...
VERMELHA	48.73	1.13	...	34.56	...	...	40.19	0.90	0.34	17.80	0.93	...
VERDE	41.99	0.79	...	19.28	...	0.38	41.64	0.73	...	18.24	...	...
AZUL	11.36	3.01	0.85	43.36	1.26	0.96	15.19	1.04	...	57.51	...	1.22
ROSA PINK	37.17	0.97	...	30.26	...	...	31.14	1.03	...	22.00	...	...
LARANJA	43.05	0.78	...	15.53	...	...	45.12	1.11	0.24	18.51	...	...
PRETA	94.74	0.08	0.37	...	...	...	94.84	...	0.53	...	...	...
BEGE	11.63	1.63	0.25	37.67	...	...	12.47	1.62	0.18	35.46	...	...
ROSA CHICLETE	53.01	...	...	47.89	...	...	51.12	...	...	46.38	...	...
AREIA	14.37	1.30	0.46	47.07	5.34	...	4.78	1.51	0.62	46.39	5.67	...
BRANCA	6.60	1.29	0.25	35.66	...	...	6.08	1.24	...	33.68	...	...
BORDÔ	74.72	0.14	...	...	...	...	66.12	...	...	...	...	...
SALMÃO	66.41	...	...	...	...	...	67.32	...	...	...	...	...

Fonte: Autor

#### 4.4 Avaliação de resistividade das peles tatuadas

Na pele sem pigmento foi obtido o valor da resistividade elétrica superficial de  $(4,65 \pm 0,33) \times 10^{14} \Omega$ . Esse resultado é esperado para materiais não condutores, caracterizando um material que conduz pouca corrente elétrica.

Dos pigmentos analisados, os que obtiveram maior discrepância de valores quando comparados ao material sem a tinta foram as cores verde com valor de  $(5,94 \pm 0,64) \times 10^9 \Omega$  e preto  $(4,7 \pm 5,3) \times 10^7 \Omega$ , isso devido à alta concentração de Carbono (C) na composição das tonalidades. Uma vez que o Carbono é considerado um elemento com alto índice de condutibilidade elétrica.

O pigmento que apresentou valores quase inalterados em comparação com o material ainda sem nenhum pigmento inserido foi o de cor amarelo cujo valor de resistividade foi de  $(1,27 \pm 0,19) \times 10^{14} \Omega$ .

Os valores médios e erros associados da resistividade elétrica superficial das medidas relativas a cada pigmento estão apresentados, na Tabela 6 e constam detalhados no APÊNDICE C, em anexo.

Tabela 6: Valores de resistividade superficial corrigidos

Amostras	Resistividade ( $\Omega$ )
Sem pigmento	$(4.65 \pm 0.33) \times 10^{14}$
Amarela	$(1.27 \pm 0.19) \times 10^{14}$
Vermelha	$(2.96 \pm 0.17) \times 10^{13}$
Verde	$(5.94 \pm 0.64) \times 10^9$
Azul	$(1.4 \pm 0.24) \times 10^{13}$
Rosa Pink	$(1.6 \pm 0.09) \times 10^{13}$
Laranja	$(2.6 \pm 0.05) \times 10^{13}$
Preta	$(4.7 \pm 5.3) \times 10^7$
Bege alaranjado	$(9.1 \pm 6.2) \times 10^{13}$
Rosa chiclete	$(4.5 \pm 9.0) \times 10^{13}$
Areia	$(8.8 \pm 0.1) \times 10^{13}$
Branca	$(2.5 \pm 0.9) \times 10^{10}$

Fonte: Autor

## 5 Conclusões

A determinação dos metais presentes nas amostras, por meio das técnicas analíticas de caracterização elementar, trouxe uma contribuição para a pesquisa, na medida em que, devido à presença dos metais encontrados, foi possível inferir que os valores de resistividade elétrica superficial se alterariam, como foi constatado.

Quanto à caracterização elementar por EDXRF das pastilhas produzidas com tintas de tatuagem, foram encontrados os seguintes elementos: Al, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Cu, Zn, Rb, Ni, Br, Zr e Nb, a caracterização elementar por meio do processo de microscopia eletrônica por varredura, ressaltou ainda a presença dos seguintes elementos nas amostras: Al, Si, Ti, Fe e Cu.

Outros metais, citados na literatura não foram qualificados pelas técnicas desenvolvidas, devido ao baixo limiar de detecção, talvez seria necessária a aplicação de outra técnica de maior sensibilidade a fim de determinar um maior número de elementos além de quantificar as proporções desses componentes, a fim de mensurar os riscos toxicológicos apresentados na literatura.

Com relação aos elementos encontrados na pesquisa, a presença dos metais como cobre, ferro e cromo já é suficiente para sugerir uma preocupação relevante com relação às tintas utilizadas para confecção de tatuagens, uma vez que, como citado na revisão de literatura, esses metais oferecem riscos potenciais à saúde e podem ser a causa de inúmeras patologias.

É importante ressaltar que a prática da tatuagem está em dinâmica expansão, por este motivo é necessário que haja um maior controle na venda e manuseio das tintas de tatuagem, bem como, maior fiscalização quanto aos componentes presentes nas mesmas. Para fazer uma tatuagem, as pessoas devem estar cientes de que não é apenas o ato de escolher um desenho, com um significado qualquer, é necessário principalmente um estudo na questão da escolha do local, tinta utilizada e certeza que o seu corpo não apresentará nenhuma reação alérgica ou inflamatória a nenhum dos componentes presentes nas tintas.

Quanto aos valores para resistividade elétrica superficial, os quais sugerem possíveis lesões por queimaduras, mediante a presença de corrente elétrica circulando na região tatuada. Observamos que estes valores foram reduzidos para todas as amostras mesmo que em menor escala e ainda considerando o erro do

equipamento, o qual não influencia estatisticamente, bem como as correções necessárias para os valores de média e desvio-padrão.

Foi constatado que os valores de resistividade elétrica medidos na superfície do material tatuado, foram reduzidos devido a presença da tinta no material sintético principalmente para as cores verde e preta devido à alta concentração de Carbono (C) na composição. E de um modo geral para as outras cores os valores de resistividade foram reduzidos mediante à presença dos pigmentos, por tanto, podemos inferir que a presença dos metais característicos em cada tinta faz com que a resistividade elétrica diminua e em uma situação específica, como é o caso de exames de ressonância magnética nuclear, a interação do campo magnético com os metais presentes, possa vir a causar lesões na pele tatuada, como queimaduras de menor e maior grau.

#### 5.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- Preparo adequado de amostras para pesquisa, envolvendo parâmetros de medidas e especificações.
- Quantificar os metais presentes nas tintas utilizadas para realização de tatuagem, avaliando os riscos das proporções.
- Realizar testes envolvendo equipamentos de ressonância magnética nuclear com o material sintético tatuado, avaliando a mudança na temperatura a região tatuada mediante ao campo magnético do equipamento.
- Avaliar quali e quantitativamente a presença de metais pesados em cosméticos no Brasil.

## REFERÊNCIAS

ANVISA, *Referência Técnica para o Funcionamento dos Serviços de Tatuagem e Piercing*, Brasília, dezembro de 2009.

ATKINS P.; *Princípios de Química*, Bookman: Porto Alegre, 2001.

BECKHOFF B.B., KANNGIEßER, N., LANGHOFF, R. WEDELL, H.W. *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. Germany, 2006.

BOCCA B., PINO A., ALIMONTI A., FORTE, G., *Toxic metals contained in cosmetics: a status report*. Regul. Toxicol. Pharmacol. 68, 447–467. 2014.

BONDIOLI F., MANFREDINI T., OLIVEIRA A.P.N., *Pigmentos Inorgânicos: Projeto, Produção e Aplicação Industrial*, Cerâmica Industrial, 3, 4-6, Julho/Dezembro, 1998.

BOROWSKA S., BRZÓSKA M. M., *Metals in cosmetics: implications for human health*. J. Appl. Toxicol. 35, 551–572. 2015.

BOUMANS P., R. KLOCKENKÄMPER, *Total reflection X-ray fluorescence spectrometry. Proc. of the Second Workshop on TXRF*, Dortmund, 26-27 May, 1988.

CHIAVARI G.; PRATI S., *Analytical pyrolysis as diagnostic toll in the investigation of works of art*, *Chromatographia*; 58, 543, 2003.

FAZENDA, J. M. R.; *Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia*, 2a ed., Abrafati: São Paulo, 1995.

FONSECA A. L. P., *TATUAR E SER TATUADO “Etnografia da Prática Contemporânea da Tatuagem”*, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

FORTE G., PETRUCCI F., CRISTAUDO A., BOCCA B., *Market survey on toxic metals contained in tattoo inks*. Science of total environment; 407, 5997-6002, 2009.

GIROTTTO, E. M.; SANTOS I. A., *Medidas de Resistividade Elétrica DC em Sólidos: Como Efetuá-las Corretamente*. Quim. Nova, Vol. 25, No. 4, 639-647, 2002.

GOPEE, N. V., CUI Y., OLSON G., WARBRITTON, A.R., MILLER B. J., COUCH L. H., WAMER W. G., HOWARD P.C., *Response of mouse skin to tattooing: Use of SKH-1 mice as a surrogate model for human tattooing*. Toxicology and Applied Pharmacology, 209,145- 158, 2005.

GRIEKEN, R. E. V.; MARCOWICZ, A. A. **Handbook of X-Ray Spectrometry**. 2. ed. New York: Marcel Dekker Inc, 2002.

HEANEY M.B., **The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook**, chapter Electrical Conductivity and Resistivity. CRC Press, 1999.

JENKIS R.; **X-ray fluorescence spectrometry**, Wiley-Interscience: New York, 2a ed.1999.

KREIDSTEIN M.L., GIGUERE D., FREIBERG A., **MRI interaction with tattoo pigments: case report**, pathophysiology, and management. *Plast Reconstr Surg.*; 99, 1717-1720,1997.

KANAL E., SHELLOCK F.G. **MRI interaction with tattoo pigments**. *Plast Reconstr Surg.*;101,1150-1151,1998.

LENCIONI, J. W. **Estudos sobre resistividade elétrica superficial em concreto: análise e quantificação de parâmetros intervenientes nos ensaios**. Tese Doutorado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica-Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, Brasil, 2011.

LISSET, A. **A identidade á flor da pele. Etnografia da pratica da tatuagem na contemporaneidade**. *Mana*, 12, 2006.

LIFSHIN, E. **X-Ray Characterization of Materials**. New York: Willey – Vch, 1999.

LOPEZ, C. H., **Como a tinta da tatuagem fixa na pele**. *Superinteressante* 61, 1992.

LORETZ L.J., API A.M., BARRAJ L.M., BURDICK J., DRESSLER W.E., GETTINGS S.D., HAN HSU H., PAN Y.H.L., RE T.A., RENSKERS K.J., ROTHENSTEIN A., SCRAFFORD C.G., Sewall C. **Exposure data for cosmetic products: lipstick, body lotion, and face cream**. *Food and Chemical Toxicology*; 43, 279–291, 2005.

MARINOVICH M., BORASO M. S., TESTAI E., GALLI C. L., **Metals in cosmetics: An a posteriori safety evaluation**, *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 69, 416–424, 2014.

MARYNIAK W. A., UEHARA T., NORAS M. A., **Surface Resistivity and Surface Resistance Measurements Using a Concentric Ring Probe Technique**. *Trek Application Note*, 0623/MAN Rev., 1-4, 2003.

MARQUES T., **O Brasil Tatuado e Outros Mundos**. Rio De Janeiro: Rocco, Janeiro, 1997.

MARTON, L.; **Methods of Experimental Physics**, Academic Press: New York, v. 6, parte B, 32,1959.

MATAIX, J., **Reacciones cutáneas adversas por tatuajes y piercings**. *Actas Dermossifiliogr* 100, 643-656, 2009

MIRANDA C., 2007. **Tatuagem: A flor da pele.** Disponível em: <<http://historia.abril.com.br/cultura/tatuagem-flor-pele-435179.shtml>> acesso em 17/09/2013.

NAGATA N.; BUENO M.I.M.S.; PERALTA-ZAMORA P.G. **Métodos matemáticos para correção de interferências espectrais e efeitos interelementos na análise quantitativa por Fluorescência de Raios X.** Química Nova, Campinas, v. 24, n. 4, 531-539, 2001.

PARREIRA P.S., **Metodologia de EDXRF e aplicações com um sistema portátil.** Lfnatec: Publicação Técnica do Laboratório de Física Nuclear Aplicada, Londrina, p.1-16, jun. 2006.

PIERRAT JÉRÔNNE., **Les hommes illustrés. Le tatouage des origines a nos jours,** Paris: Larivière, 2000.

POON K. W. C., DADOUR I. R., MCKINLEY A. J., **In situ chemical analysis of modern organic tattooing inks and pigments by Micro- Raman spectroscopy.** Journal of Raman spectroscopy 39, 1227- 1237, 2008.

RIBEIRO P. C. P., OLIVEIRA P. B. R., **Culto ao Corpo: beleza ou doença?.** Adolesc. Saúde, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, 63-69, jul/set 2011.

SAHU R., SAXENA P., JOHNSON S., **Heavy Metals in Cosmetics.** Centre for Science and Environment 41, New Delhi 110062. Jan/2014. Disponível em:<[http://www.cseindia.org/userfiles/Heavy\\_Metals\\_in\\_Cosmetics\\_Report.pdf](http://www.cseindia.org/userfiles/Heavy_Metals_in_Cosmetics_Report.pdf)> acesso em 20/07/2016

SARON C., FELISBERTI M. L.; **Ação de colorantes na degradação e Estabilização de Polímeros** , Quim. Nova 2006, 29(1), 124, 2006.

SCHRODER D. K.; **Semiconductor Material and Device Characterization,** John Wiley & Sons: New York, p 3, 1990.

SCHWARTZ R.A.; MATHIAS C.G; MILLER C.H; ROJAS-CORONA R., LAMBERT, W.C. **Granulomatous reaction to purple tattoo pigment.** Contact Dermatitis.;16, 198-202, 1987.

SMITH K. A.; CRESSER M. S., **Soil and Environmental Analysis Modern Instrumental Techniques,** Marcel Dekker: New York Cap.7, 3a ed., 2004.

SOUZA A. A.; FARIAS R. F.; **Elementos de Química Quântica,** Editora Átomo: Campinas, 2007.

TARÉIEV B.M., **Física de los Materiales Dieléctricos.** Editora Mir, Moscow, 1978.

THORNTON S.T., REX A., ***Modern Physics For Scientists and Engineers***. 4 ed. Cengage Learnin, 2013.

VASOLD R., ***Health risks of tattoo colors***. *Anal Bioanal*, 391, 9-13, 2008.

WILLIAMS D.B., CARTER C. B., ***Transmission Electron Microscopy***. 2 ed. v1. Springer, 2009.

VERMA H R. ***Atomic and Nuclear Analytical Methods***. New York: Springer, 2007.



## APÊNDICE A – PUBLICAÇÕES SOBRE O TRABALHO VINCULADAS AO LABORATÓRIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X DA UTFPR

1. LACERDA C. M., PASCHUK S. A., LARA A. L, CORREA J.N., Avaliação de pigmentos utilizados em tatuagem por meio de EDXRF. In: XII Workshop de Física Molecular e Espectroscopia, 2014, Brasília, DF. Programa e Resumos de XII Workshop de Física Molecular e Espectroscopia. São Paulo, SP: Sociedade Brasileira de Física, 2014. v. 1. p. 1-1.
2. LACERDA C. M., PASCHUK S. A., CORREA J.N.,TORRES, C.A.M.P, XV edição do Seminário Latino-Americano de Análises por Técnicas de Raios X, 2016, Petrópolis, Rio de Janeiro. Programa e Resumos de XIV Seminário Latino-americano de Análises por Técnicas de Raios X, 2016. v. 1. p. 6-6.
3. LACERDA C. M., PASCHUK S. A., CORREAJ.N. SWINKA FILHO V., C.A.M.P. Torres e FAGUNDES A. C. F. Análise da resistividade elétrica de pigmentos utilizados em tatuagem. In XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2016, Foz do Iguaçu, Paraná. Programa e Resumos de XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2016, Rio de Janeiro, RJ: Sociedade Brasileira de Engenharia Biomédica, 2106. V. 1 p 1-1.

## APENDICE B- Tabelas geradas com a qualificação do MEV

Tabela 7: Tabela gerada com a primeira medida para a cor amarela

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Ti	Total
1	Yes	14.37	51.98	1.52	0.19	31.94	100.00
Mean		14.37	51.98	1.52	0.19	31.94	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		14.37	51.98	1.52	0.19	31.94	
Min.		14.37	51.98	1.52	0.19	31.94	

Fonte: Autor

Tabela 8: Tabela gerada com a segunda medida para a cor amarela

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Ti	Total
1	Yes	13.93	52.48	1.49	0.22	31.88	100.00
Mean		13.93	52.48	1.49	0.22	31.88	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		13.93	52.48	1.49	0.22	31.88	
Min.		13.93	52.48	1.49	0.22	31.88	

Fonte: Autor

**Tabela 9: Tabela gerada com a primeira medida para a cor areia**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Ti	Total
1	Yes	14.37	51.98	1.52	0.19	31.94	100.00
Mean		14.37	51.98	1.52	0.19	31.94	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		14.37	51.98	1.52	0.19	31.94	
Min.		14.37	51.98	1.52	0.19	31.94	

Fonte: Autor

**Tabela 10: Tabela gerada com a segunda medida para a cor areia**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Ti	Fe	Total
1	Yes	4.78	41.05	1.30	0.46	47.07	5.34	100.00
Mean		4.78	41.05	1.30	0.46	47.07	5.34	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		4.78	41.05	1.30	0.46	47.07	5.34	
Min.		4.78	41.05	1.30	0.46	47.07	5.34	

Fonte: Autor

**Tabela 11: Tabela gerada com a primeira medida para a cor azul**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Ti	Cu	Total
1	Yes	11.63	28.61	1.04	57.51	1.22	100.00
Mean		11.63	28.61	1.04	57.51	1.22	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		11.63	28.61	1.04	57.51	1.22	
Min.		11.63	28.61	1.04	57.51	1.22	

Fonte: Autor

**Tabela 12: Tabela gerada com a segunda medida para a cor azul**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Ti	Fe	Cu	Total
1	Yes	15.19	35.37	3.01	0.85	43.36	1.26	0.96	100.00
Mean		15.19	35.37	3.01	0.85	43.36	1.26	0.96	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		15.19	35.37	3.01	0.85	43.36	1.26	0.96	
Min.		15.19	35.37	3.01	0.85	43.36	1.26	0.96	

Fonte: Autor

**Tabela 13: Tabela gerada com a primeira medida para a cor bege laranja**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Ti	Cu	Total
1	Yes	11.63	28.61	1.04	57.51	1.22	100.00
Mean		11.63	28.61	1.04	57.51	1.22	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		11.63	28.61	1.04	57.51	1.22	
Min.		11.63	28.61	1.04	57.51	1.22	

Fonte: Autor

**Tabela 14: Tabela gerada com a segunda medida para a cor bege laranja**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Ti	Total
1	Yes	12.47	47.98	1.63	0.25	37.67	100.00
Mean		12.47	47.98	1.63	0.25	37.67	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		12.47	47.98	1.63	0.25	37.67	
Min.		12.47	47.98	1.63	0.25	37.67	

Fonte: Autor

**Tabela 15: Tabela gerada com a primeira medida para a cor bordô**

Spectrum	In stats.	C	N	O	Al	Ca	Total
1	Yes	74.72	0.00	24.99	0.14	0.15	100.00
Mean		74.72	0.00	24.99	0.14	0.15	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		74.72	0.00	24.99	0.14	0.15	
Min.		74.72	0.00	24.99	0.14	0.15	

Fonte: Autor

**Tabela 16: Tabela gerada com a segunda medida para a cor bordô**

Spectrum	In stats.	C	N	O	Total
1	Yes	66.12	11.41	22.46	100.00
Mean		66.12	11.41	22.46	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	
Max.		66.12	11.41	22.46	
Min.		66.12	11.41	22.46	

Fonte: Autor

**Tabela 17: Tabela gerada com a primeira medida para a cor branca**

Spectrum	In stats.	C	N	O	Na	Al	Ti	Total
1	Yes	6.60	0.00	58.09	0.39	1.24	33.68	100.00
Mean		6.60	0.00	58.09	0.39	1.24	33.68	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		6.60	0.00	58.09	0.39	1.24	33.68	
Min.		6.60	0.00	58.09	0.39	1.24	33.68	

Fonte: Autor

**Tabela 18: Tabela gerada com a segunda medida para a cor branca**

Spectrum	In stats.	C	O	Na	Al	Si	Ti	Total
1	Yes	6.08	56.28	0.45	1.29	0.25	35.66	100.00
Mean		6.08	56.28	0.45	1.29	0.25	35.66	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		6.08	56.28	0.45	1.29	0.25	35.66	
Min.		6.08	56.28	0.45	1.29	0.25	35.66	

Fonte: Autor

**Tabela 19: Tabela gerada com a primeira medida para a cor verde**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Cl	Ti	Total
1	Yes	41.99	37.12	0.73	1.92	18.24	100.00
Mean		41.99	37.12	0.73	1.92	18.24	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		41.99	37.12	0.73	1.92	18.24	
Min.		41.99	37.12	0.73	1.92	18.24	

Fonte: Autor

**Tabela 20: Tabela gerada com a segunda medida para a verde**

Spectrum	In stats.	C	O	Na	Al	Cl	Ca	Ti	Cu	Total
1	Yes	41.64	35.25	0.35	0.79	1.99	0.31	19.28	0.38	100.00
Mean		41.64	35.25	0.35	0.79	1.99	0.31	19.28	0.38	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		41.64	35.25	0.35	0.79	1.99	0.31	19.28	0.38	
Min.		41.64	35.25	0.35	0.79	1.99	0.31	19.28	0.38	

Fonte: Autor

**Tabela 21: Tabela gerada com a primeira medida para a laranja**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Ti	Total
1	Yes	43.05	37.09	1.11	0.24	18.51	100.00
Mean		43.05	37.09	1.11	0.24	18.51	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		43.05	37.09	1.11	0.24	18.51	
Min.		43.05	37.09	1.11	0.24	18.51	

Fonte: Autor

**Tabela 22: Tabela gerada com a segunda medida para a cor laranja**

Spectrum	In stats.	C	O	Na	Al	Ti	Total
1	Yes	45.12	38.32	0.24	0.78	15.53	100.00
Mean		45.12	38.32	0.24	0.78	15.53	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		45.12	38.32	0.24	0.78	15.53	
Min.		45.12	38.32	0.24	0.78	15.53	

Fonte: Autor

**Tabela 23: Tabela gerada com a primeira medida para a cor preta**

Spectrum	In stats.	C	O	Na	Al	S	Total
1	Yes	94.74	4.61	0.21	0.08	0.37	100.00
Mean		94.74	4.61	0.21	0.08	0.37	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		94.74	4.61	0.21	0.08	0.37	
Min.		94.74	4.61	0.21	0.08	0.37	

Fonte: Autor

**Tabela 24: Tabela gerada com a segunda medida para a cor preta**

Spectrum	In stats.	C	O	Na	S	Total
1	Yes	94.84	4.45	0.18	0.53	100.00
Mean		94.84	4.45	0.18	0.53	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		94.84	4.45	0.18	0.53	
Min.		94.84	4.45	0.18	0.53	

Fonte: Autor

**Tabela 25: Tabela gerada com a primeira medida para a cor rosa pink**

Spectrum	In stats.	C	O	Na	Al	Ti	Total
1	Yes	37.17	39.54	0.25	1.03	22.00	100.00
Mean		37.17	39.54	0.25	1.03	22.00	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		37.17	39.54	0.25	1.03	22.00	
Min.		37.17	39.54	0.25	1.03	22.00	

Fonte: Autor



**Tabela 26: Tabela gerada com a segunda medida para a cor rosa pink**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Ti	Total
1	Yes	31.14	37.63	0.97	30.26	100.00
Mean		31.14	37.63	0.97	30.26	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		31.14	37.63	0.97	30.26	
Min.		31.14	37.63	0.97	30.26	

Fonte: Autor

**Tabela 27: Tabela gerada com a primeira medida para a cor rosa chiclete**

Spectrum	In stats.	O	CL	K	Ti	Total
1	Yes	53.01	0.36	0.25	46.38	100.00
Mean		53.01	0.36	0.25	46.38	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		53.01	0.36	0.25	46.38	
Min.		53.01	0.36	0.25	46.38	

Fonte: Autor

**Tabela 28: Tabela gerada com a segunda medida para a cor rosa chiclete**

Spectrum	In stats.	O	CL	K	Ti	Total
1	Yes	51.12	0.46	0.53	47.89	100.00
Mean		51.12	0.46	0.53	47.89	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		51.12	0.46	0.53	47.89	
Min.		51.12	0.46	0.53	47.89	

Fonte: Autor

**Tabela 29: Tabela gerada com a primeira medida para a cor rosa salmão**

Spectrum	In stats.	C	N	O	Na	Cl	Total
1	Yes	66.41	11.65	16.75	0.55	4.64	100.00
Mean		66.41	11.65	16.75	0.55	4.64	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		66.41	11.65	16.75	0.55	4.64	
Min.		66.41	11.65	16.75	0.55	4.64	

Fonte: Autor

**Tabela 30: Tabela gerada com a segunda medida para a cor rosa salmão**

Spectrum	In stats.	C	N	O	Na	Cl	Total
1	Yes	67.32	11.39	15.76	0.41	5.12	100.00
Mean		67.32	11.39	15.76	0.41	5.12	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		67.32	11.39	15.76	0.41	5.12	
Min.		67.32	11.39	15.76	0.41	5.12	

Fonte: Autor

**Tabela 31: Tabela gerada com a primeira medida para a cor vermelha**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Ti	Fe	Total
1	Yes	48.73	31.30	0.90	0.34	17.80	0.93	100.00
Mean		48.73	31.30	0.90	0.34	17.80	0.93	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		48.73	31.30	0.90	0.34	17.80	0.93	
Min.		48.73	31.30	0.90	0.34	17.80	0.93	

Fonte: Autor

**Tabela 32: Tabela gerada com a segunda medida para a cor vermelha**

Spectrum	In stats.	C	O	Al	Ti	Total
1	Yes	40.19	24.12	1.13	34.56	100.00
Mean		40.19	24.12	1.13	34.56	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		40.19	24.12	1.13	34.56	
Min.		40.19	24.12	1.13	34.56	

Fonte: Autor

## APÊNDICE C - Valores de resistividade elétrica superficial

amostra sem tatuagem	medidas ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	média	dpadrao	dp/r4	cstudent(1,14)	erro equip	erro medida	medida corrig ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )
1	3,99E+14	4,654E+14	5,745E+13	2,872E+13	3,2746E+13	1,50E+11	3,275E+13	(4,65±0,33)E+14
2	4,43E+14							
3	4,88E+14							
4	5,32E+14							
<b>Cor amarelo</b>								
1	1,41E+14	1,272E+14	3,388E+13	1,694E+13	1,931E+13	1,50E+11	1,931E+13	(1,27±0,19)E+14
2	1,69E+14							
3	9,42E+13							
4	1,06E+14							
<b>Cor vermelho</b>								
1	2,82E+13	2,957E+13	2,982E+12	1,491E+12	1,700E+12	1,50E+10	1,700E+12	(2,96±0,17)E+13
2	3,39E+13							
3	2,90E+13							
4	2,72E+13							
<b>Cor verde</b>								
1	6,43E+09	5,944E+09	1,117E+09	5,587E+08	6,369E+08	1,50E+06	6,369E+08	(5,94±0,64)E+09
2	7,08E+09							
3	5,79E+09							
4	4,47E+09							
<b>Cor azul</b>								
1	1,15E+13	1,430E+13	4,320E+12	2,160E+12	2,463E+12	1,50E+10	2,463E+12	(1,4±0,24)E+13
2	1,23E+13							
3	1,27E+13							
4	2,07E+13							
<b>Cor rosa pink</b>								
1	1,83E+13	1,596E+13	1,649E+12	8,244E+11	9,398E+11	1,50E+11	9,517E+11	(1,6±0,09)E+13
2	1,45E+13							
3	1,55E+13							
4	1,55E+13							
<b>Cor Laranja</b>								
1	2,80E+13	2,668E+13	9,451E+11	4,726E+11	5,387E+11	1,50E+11	5,592E+11	(2,6±0,05)E+13
2	2,66E+13							
3	2,62E+13							
4	2,59E+13							
<b>Cor preta</b>								
1	7,200E+08	4,776E+08	9,256E+07	4,628E+07	5,276E+07	1,50E+05	5,276E+07	(4,7±5,3)E+07
2	5,927E+08							
3	4,958E+08							
4	5,795E+08							
<b>cor bege laranjado</b>								
1	2,536E+15	9,165E+14	1,089E+15	5,443E+14	6,205E+14	1,50E+11	6,205E+14	(9,1±6,2)E+14
2	3,671E+14							
3	5,519E+14							
4	2,112E+14							
<b>Cor rosa chiclete</b>								
1	2,852E+14	4,583E+14	1,581E+14	7,904E+13	9,011E+13	1,50E+11	9,011E+13	(4,5±9,0)E+13
2	4,838E+14							
3	4,029E+14							
4	6,615E+14							
<b>Cor areia</b>								
1	1,042E+13	8,893E+12	1,761E+12	8,807E+11	1,004E+12	1,50E+09	1,004E+12	(8,8±0,1)E+13
2	7,074E+12							
3	7,694E+12							
4	1,038E+13							
<b>Cor branco</b>								
1	4,840E+10	2,537E+10	1,603E+10	8,013E+09	9,135E+09	1,50E+07	9,135E+09	(2,5±0,9)E+10
2	2,108E+10							
3	2,081E+10							
4	1,120E+10							