

Universidade de São Paulo

Instituto de Física

Física Aplicada
Aula 11

Profa. Márcia de Almeida Rizzutto

Edifício Oscar Sala – sala 220

rizzutto@if.usp.br

<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=24279>

2º Semestre de 2016

Programa

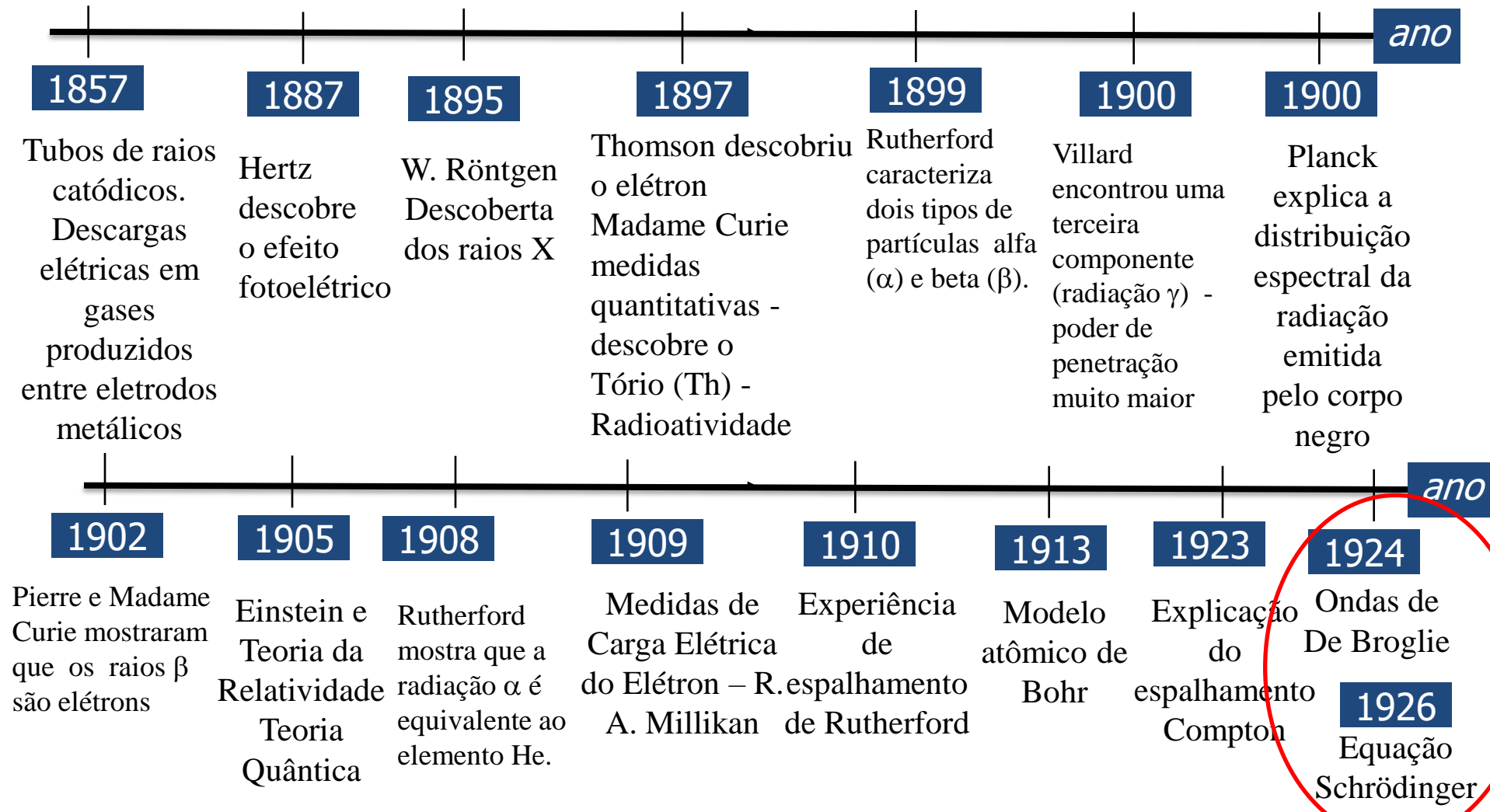
- O Espectro Eletromagnético
 - Dimensões dos objetos
 - Produção de energia
- Revisão sobre ondas Mecânicas;
- Princípios de acústica - Efeito Doppler;
 - Imagens por Ultrassom
 - Levitação mecânica
- Revisão das Equações de Maxwell - Equação da onda eletromagnética
 - Ondas de rádio; TRC, LCD,
 - Estrutura atômica – Revisão de física moderna;
 - Efeito Fotoelétrico, Celulares solares, Modelo atômico
- Descrição dos princípios de geração dos Raios-X: Tubos de raios-X
 - Propriedades dos Raios-X – Difração, Absorção
 - Aplicações de raios X: e interação com a matéria
 - Imagens obtidas com Raios-X – Radiografia,
 - Fluorescência de raios X (XRF)
 - Tomografia.
 - Microscopia
 - Aceleradores de partículas e radiação Síncrotron
 - Uso de aceleradores para análise de materiais
 - Ressonância magnética nuclear
 - Lasers e Aplicações

Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
agosto						
	Aula 1		Aula 2			
	Aula 3		Aula 4			
	Aula 5		Aula 6			
	Aula 7		Aula 8			
setembro						
	SEMANA DA	DA	PÁTRIA			
	AULA 9		não AULA			
	não AULA		não AULA			
	Aula 10		Aula 11/AP1			
outubro						
	Aula 12/AP2		Aula 13/AP3			
SEMANA Física	Aula 14		feriado			
	Aula 15/AP4		Aula 16/AP5			
	Aula 17/AP6		Aula 18 /AP7			
	Aula 19/AP8					
novembro			feriado			
	Aula 20		Aula 21			
	RECESSO	feriado	não AULA			
	Aula 22		Aula 23			
	Aula 24		Aula 25			
dezembro						
	PROVA					

Calendário

Física Clássica x Moderna

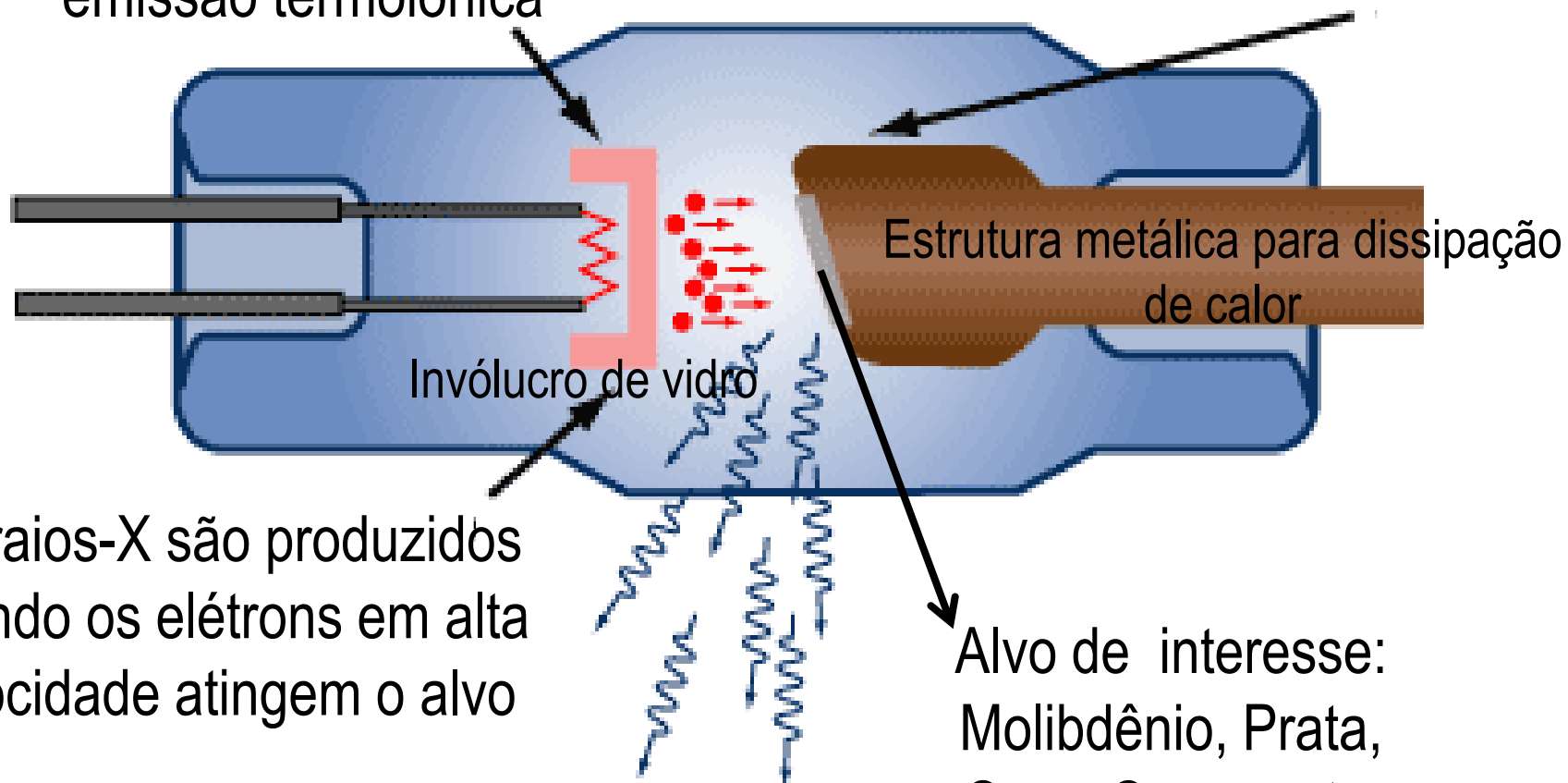
Evidências experimentais que sugeriram a divisibilidade do átomo - existência de uma subestrutura (no entanto só compreendido no século XX)



Emissão de Raios-X

O filamento aquecido emite elétrons por emissão termoiônica

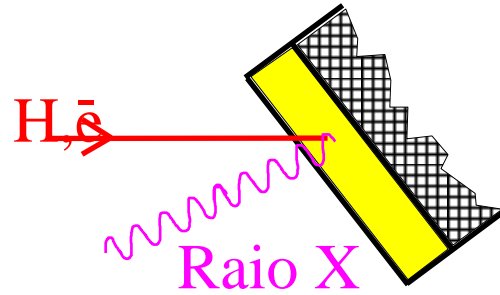
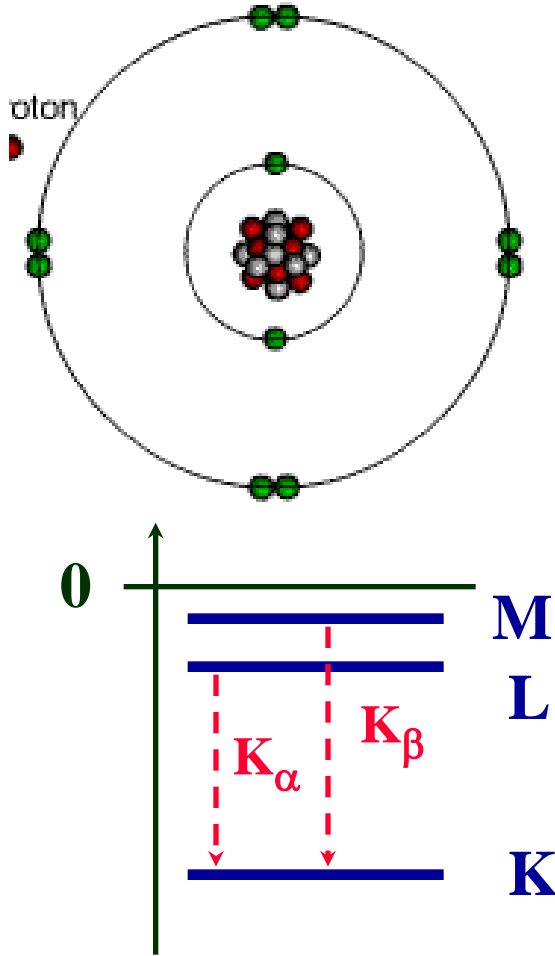
Os elétrons são acelerados através de uma alta voltagem



Os raios-X são produzidos quando os elétrons em alta velocidade atingem o alvo

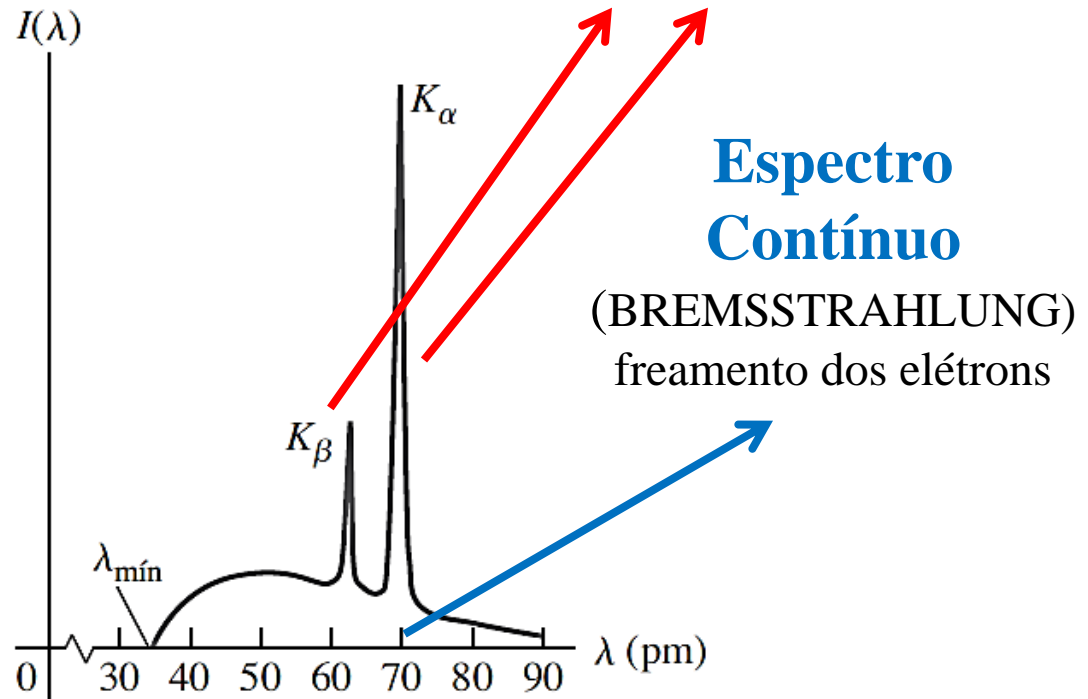
Alvo de interesse:
Molibdênio, Prata,
Ouro, Cromo, etc.

Método Emissão de raios X



Espectro Característico

Os elétrons colidem com o alvo com energia suficiente para arrancar elétrons das camadas internas dos átomos do alvo



Espectro Contínuo

(BREMSTRahlung)
freamento dos elétrons

✓ Curva para o Molibdênio;

✓ Voltagem de aceleração de 35 kV;

Método Emissão de raios X: o espectro característico

Incident Radiation from
Primary X-ray Source

Linha K:

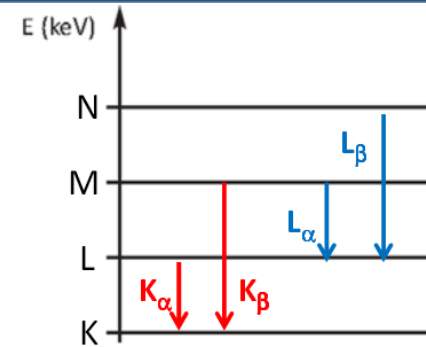
$K_{\alpha} \Rightarrow L \rightarrow K$

$K_{\beta} \Rightarrow M \rightarrow K$

Linha L:

$L_{\alpha} \Rightarrow M \rightarrow L$

$L_{\beta} \Rightarrow N \rightarrow L$



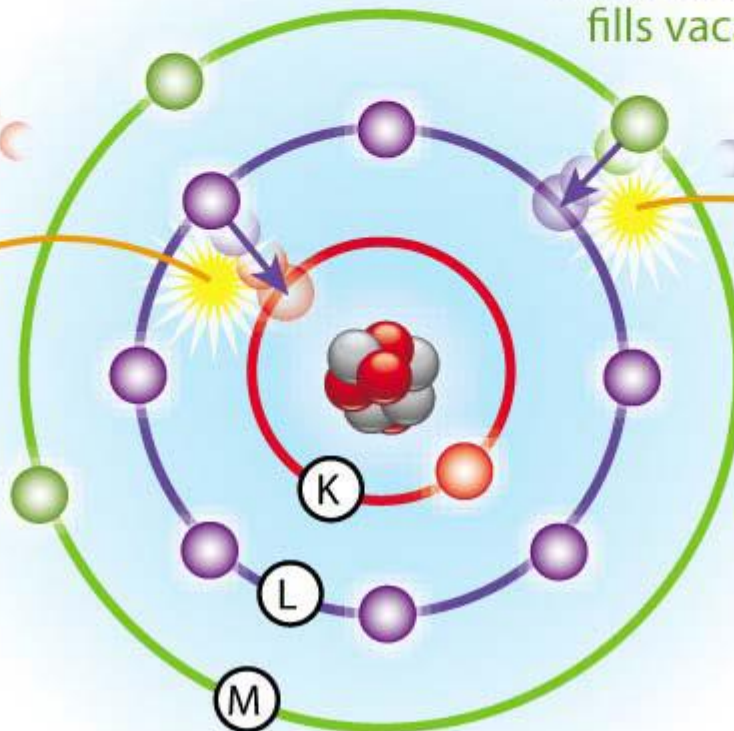
Ejected
K-Shell
electron

M-Shell electron
fills vacancy

Ejected
L-Shell
electron

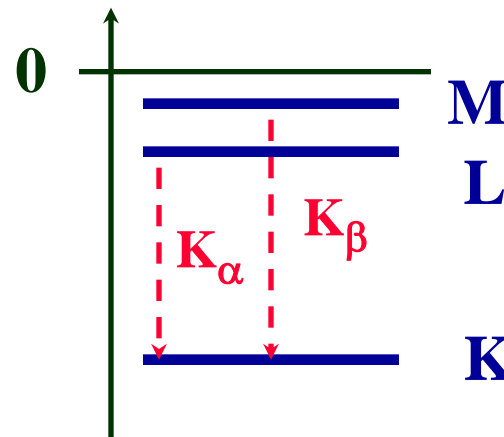
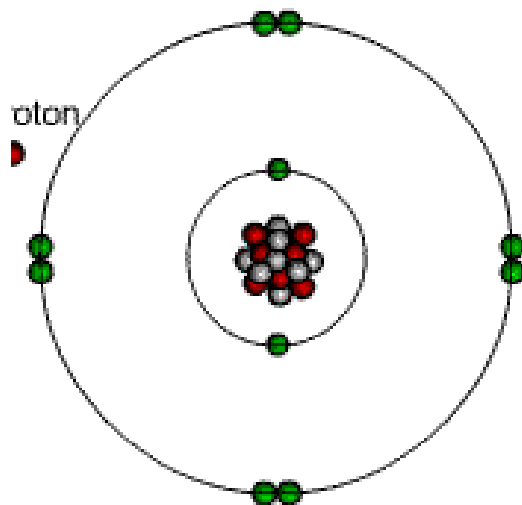
K x-ray
emitted

L x-ray
emitted



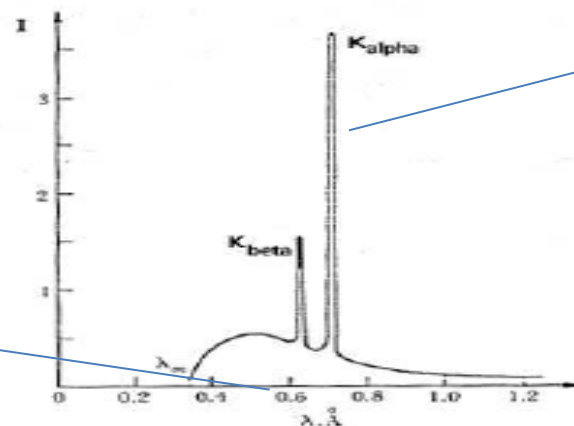


Emissão de raios X característicos



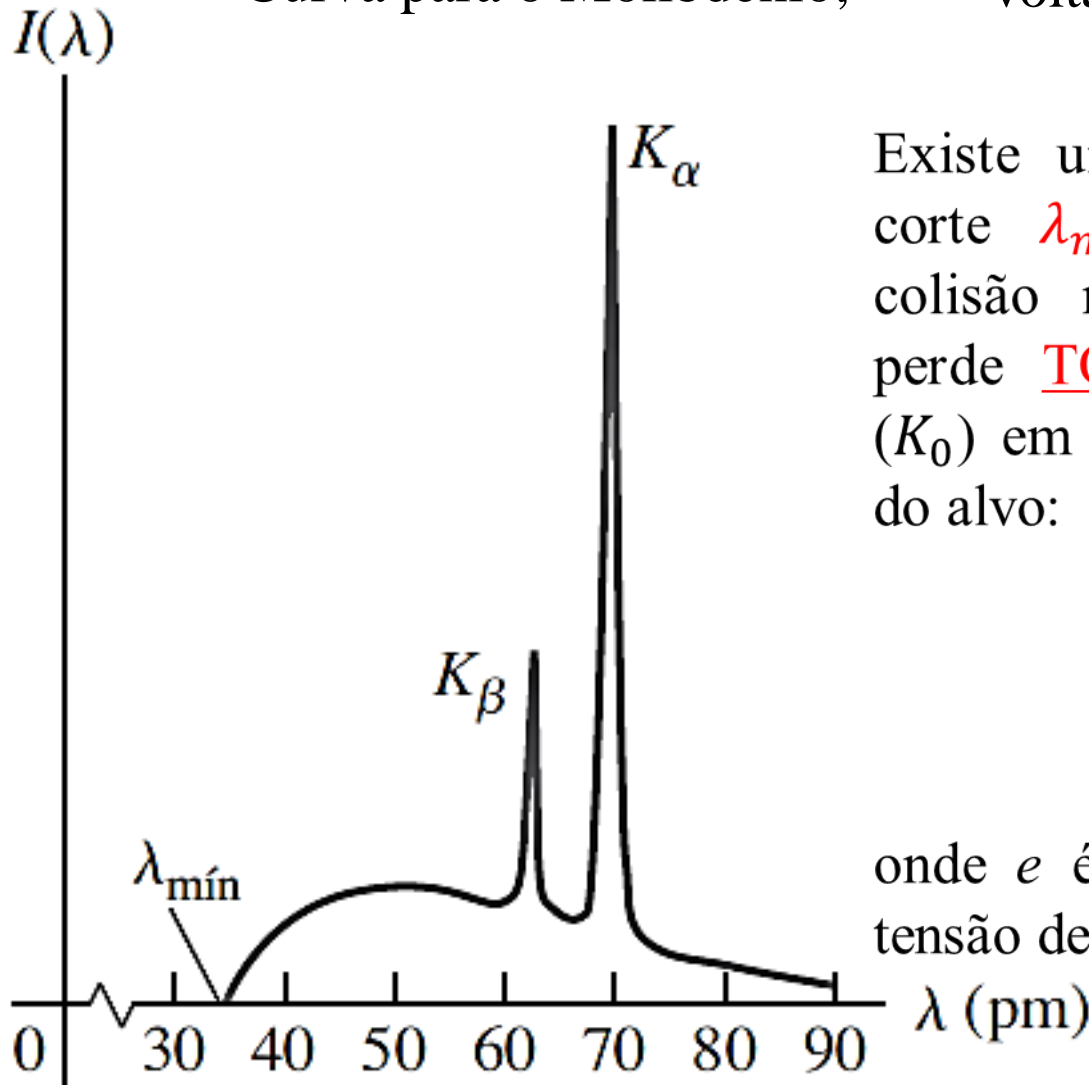
Raios X característicos

Espectro contínuo



Método Emissão de raios X: o espectro contínuo

- ✓ Curva para o Molibdênio;
- ✓ Voltagem de aceleração de 35 kV;



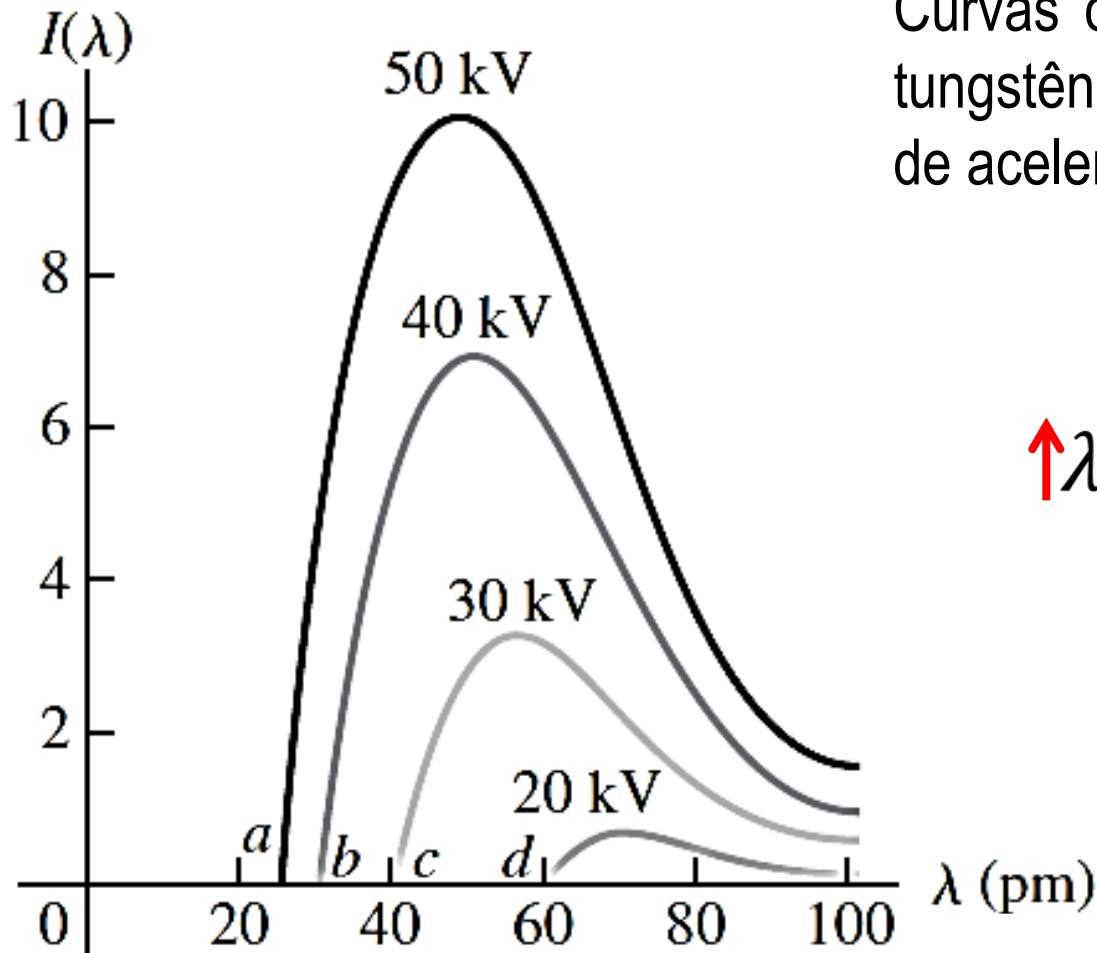
Existe um comprimento de onda de corte λ_{min} que corresponde a uma colisão na qual o elétron incidente perde **TODA** energia cinética inicial (K_0) em uma só colisão com o átomo do alvo:

$$\lambda_{min} = \frac{h c}{K_0} = \frac{h c}{e V}$$

onde e é a carga do elétron e V é a tensão de aceleração aplicada.

Método Emissão de raios X: o espectro contínuo

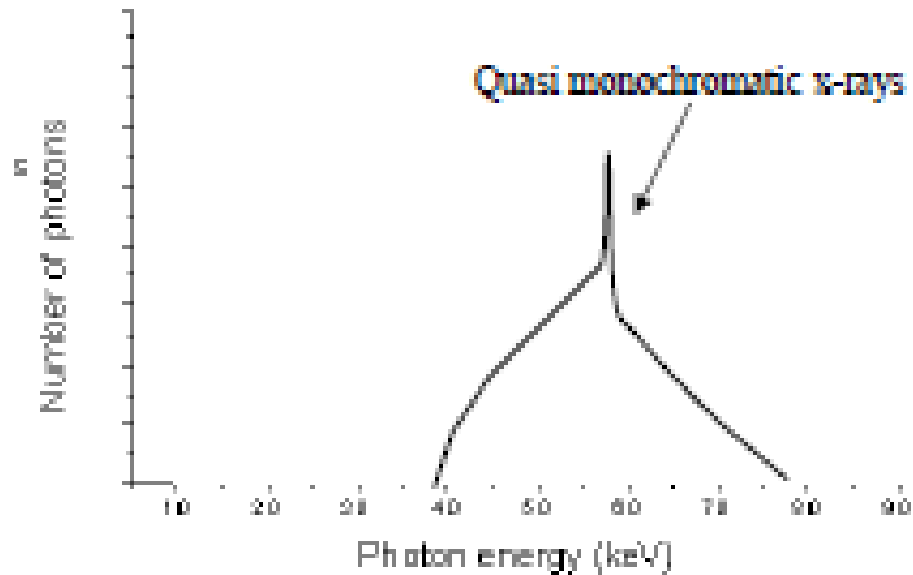
Curvas obtidas para um alvo fixo de tungstênio onde foi variada a tensão de aceleração aplicada.



$$\uparrow \lambda_{min} = \frac{h c}{K_0} = \frac{h c}{e V} \downarrow$$

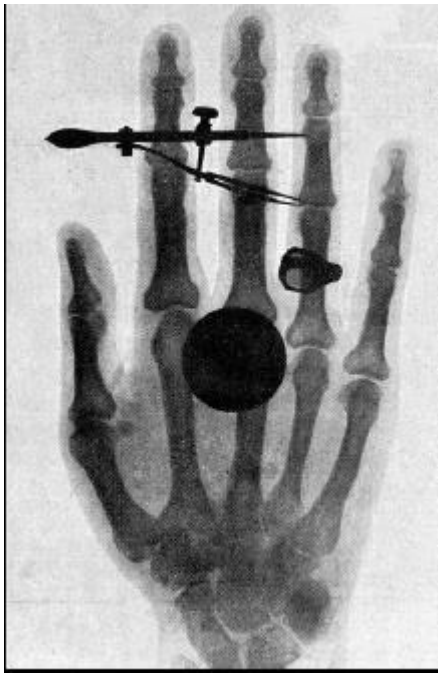
FEIXE DE RAIOS X

O uso de filtro na frente do tubo de raios X permite criar um feixe de raios X quase monocromático

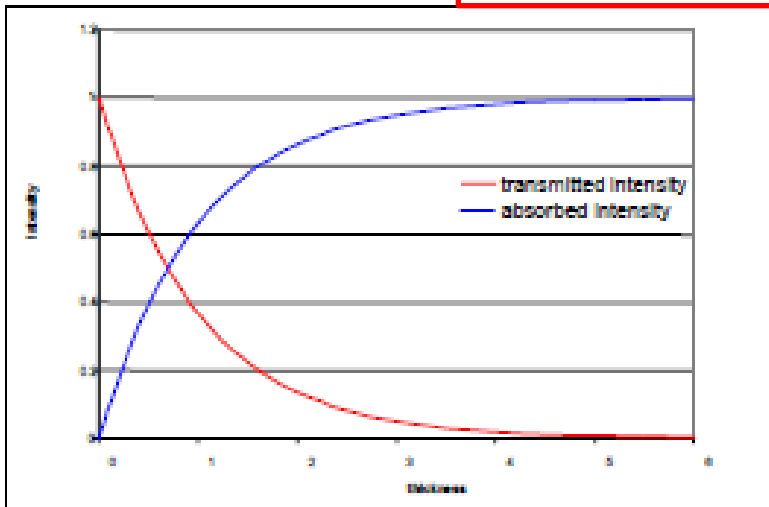


Os raios X de baixa energia são absorvidos pelo material do filtro

Dependendo do material a ser analisado devemos escolher a tensão do tubo de raios X e a corrente usada



O efeito da Radiografia de raios X depende da probabilidade de absorção (transmissão) dos raios X que passam através da matéria e da placa de imagem utilizada. A imagem obtida é resultado das diferentes probabilidades de absorção que são definidos pelo coeficiente de absorção do material



TÉCNICAS ANALÍTICAS - Equipamentos

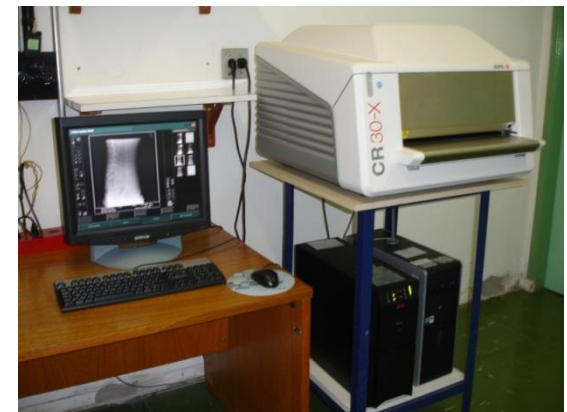
Radiografia

Laboratório de Dosimetria (IFUSP)

Profa. Elisabeth Yoshimura
Martha A Aldred (IF/USP)



A radiografia fundamenta-se nas diferenças de comportamento dos materiais ao serem atravessados pela radiação X. O grau de opacidade aos raios X depende da massa específica do material atravessado e da sua natureza química.



TÉCNICAS ANALÍTICAS - Equipamentos

Radiografia



Laboratório de Dosimetria (IFUSP)

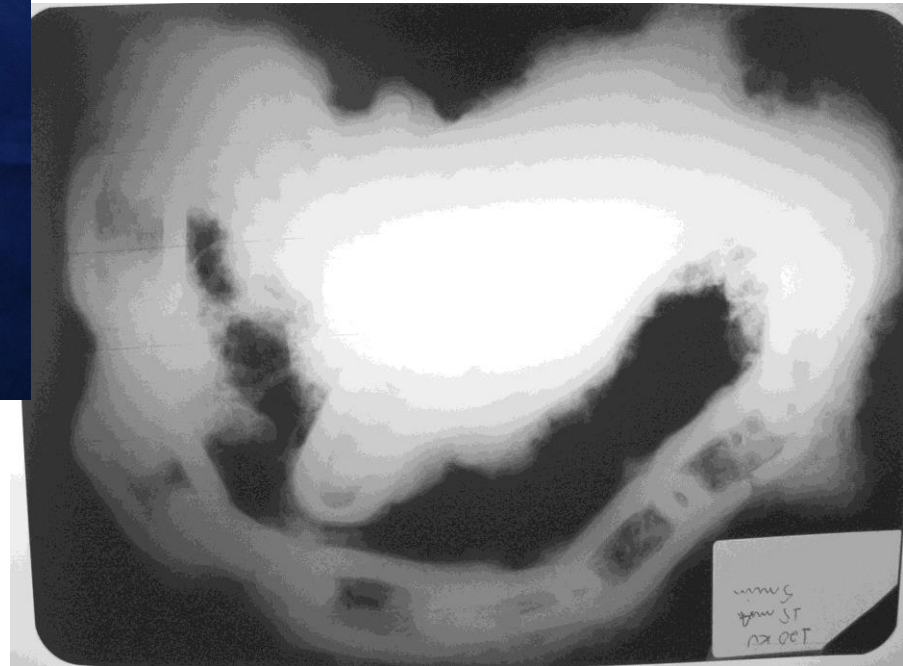
Profa. Elisabeth Yoshimura
Martha A Aldred (IF/USP)



A radiografia fundamenta-se nas diferenças de comportamento dos materiais ao serem atravessados pela radiação X. O grau de opacidade aos raios X depende da massa específica do material atravessado e da sua natureza química.



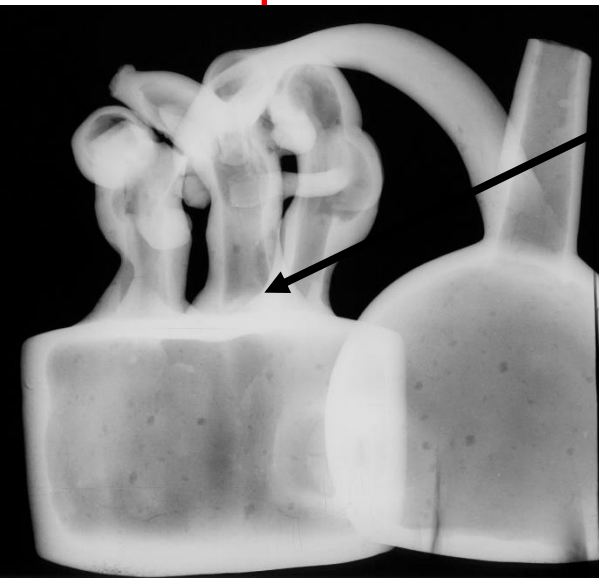
Raios-X (radiografia)



A radiografia (IF-USP) mostra o conteúdo de uma peça encontrada pela marinha com uma massa de sedimento ao redor

R. S. Guimarães – Marinha – MAE-USP

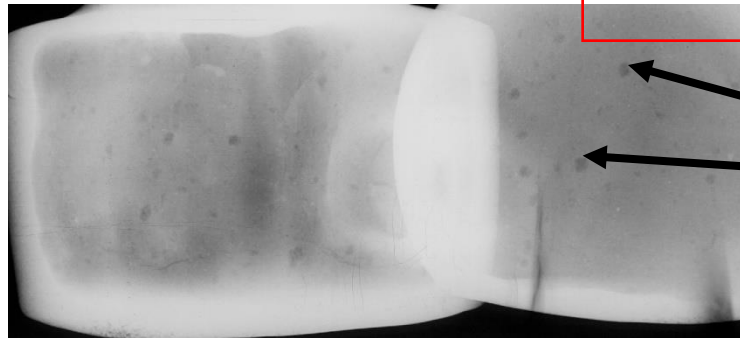




Composição das
pelas com
decorações
complexas

RX – Philips MG450 tubo
50kV, 14mA, 8min

*Radiografia comum com filme
IBF(AGFA)*

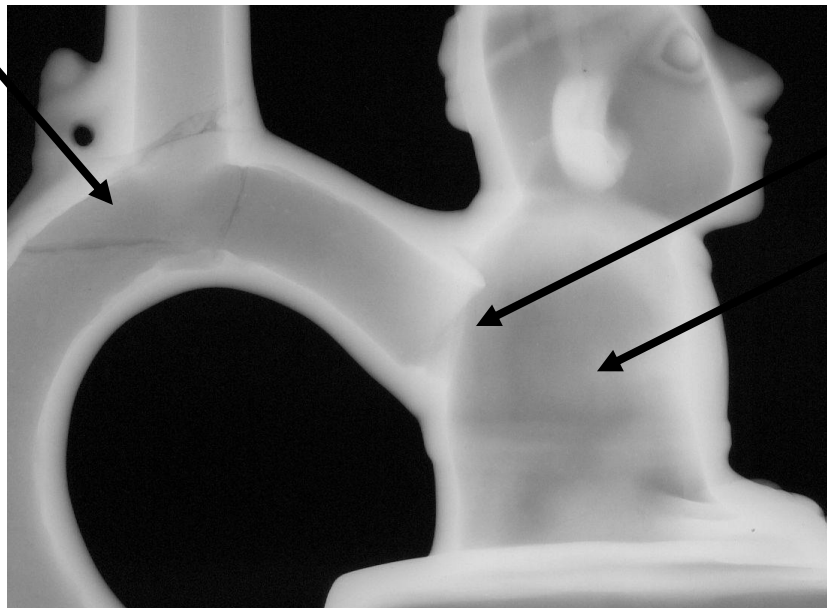
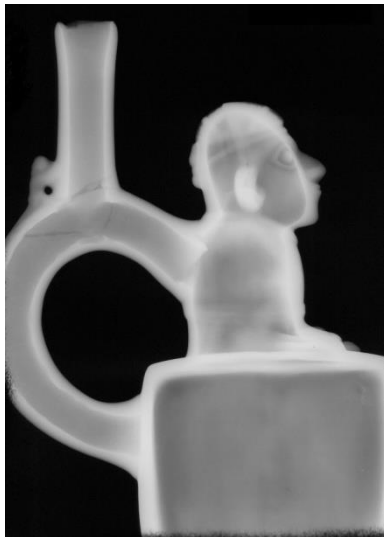


Forma Circula dos
temperos com baixa
densidade

Inserção da alça à
figura do corpo

quebras

3601



Granularidade
muito fina

A cultura Chimu introduziu (ou
especializou) o uso de moldes
verticais com montagens entre
os corpos e pescoços das
peças

Radiografia



Image: E. M. Kajiya



Escultura policromada,
encolada, estrutura de
madeira e ferro- coleção
particular
materiais mais densos se
apresentam com
coloração branca

Radiografia

Trabalho realizado em parceria com as restauradoras da Pinacoteca do Estado de São Paulo
Responsável: Valeria Mendonça



Mudança de imagem

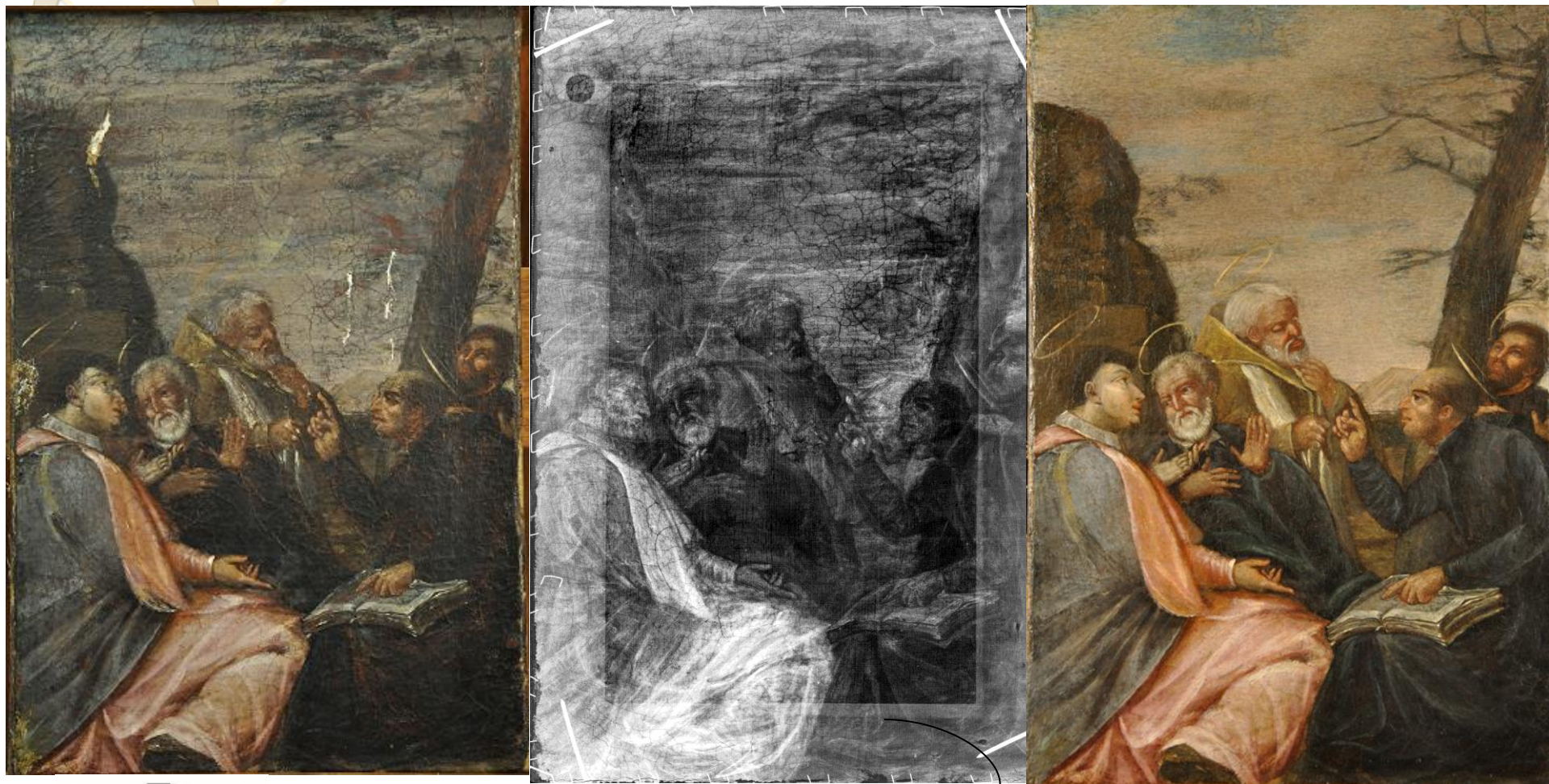


Obra: São Lucas escrevendo o evangelho
Autor: desconhecido
PINACOTECA DO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho realizado em parceria com as restauradoras da Pinacoteca do

Radiografia

Estado de São Paulo
Responsável: Valeria Mendonça



Vermeer's Woman with a Pearl Necklace

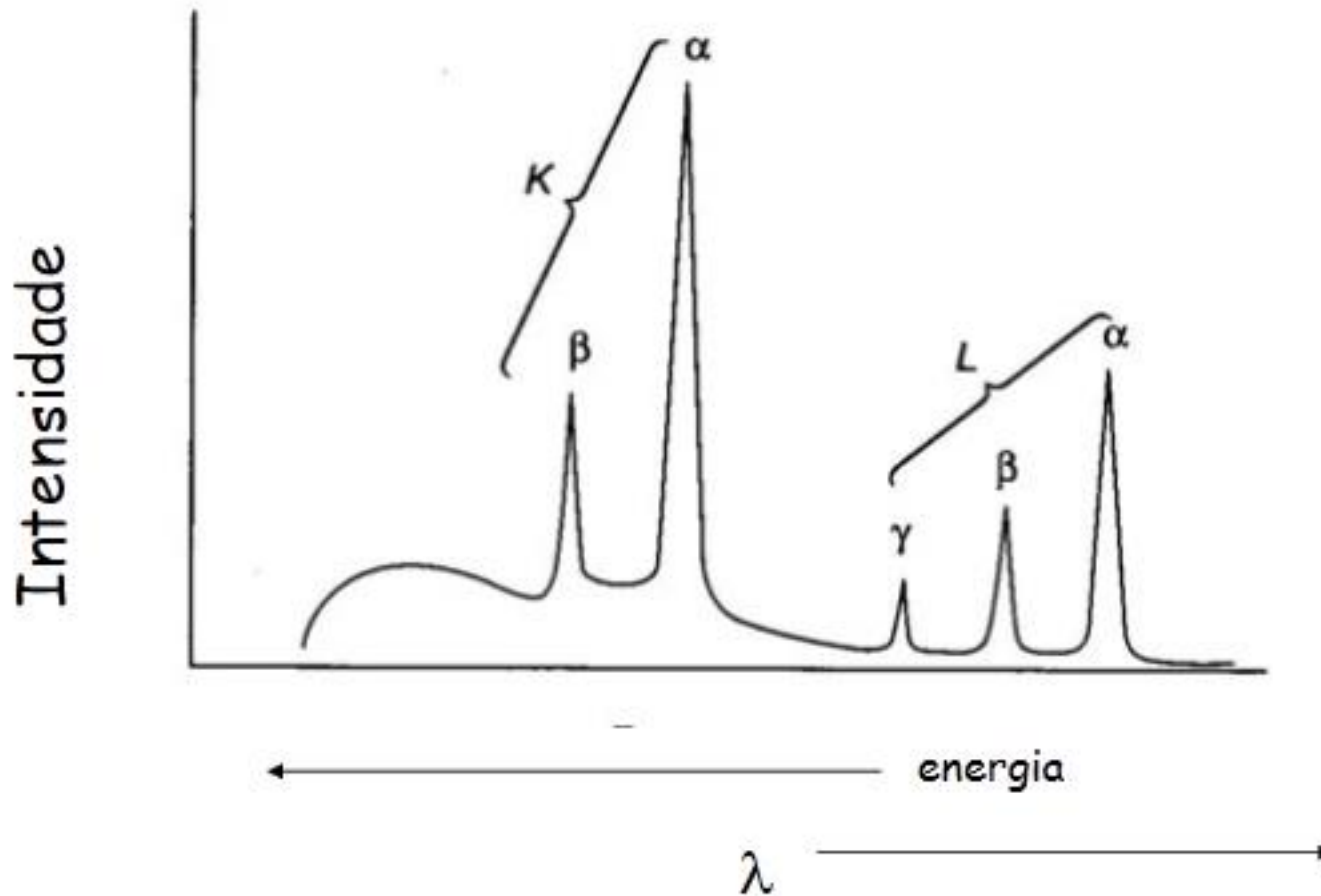
1660-1665



Covered wall-hanging
tile structure of the floor
details of the chair

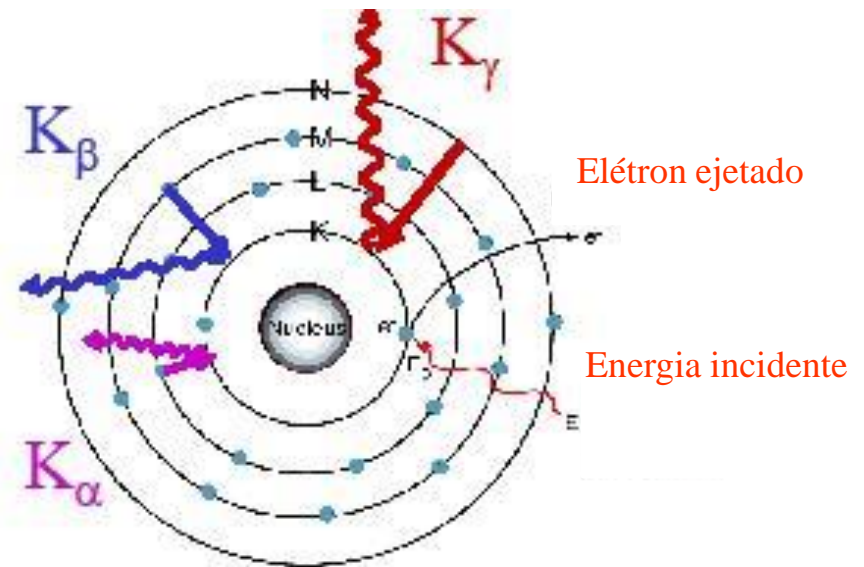
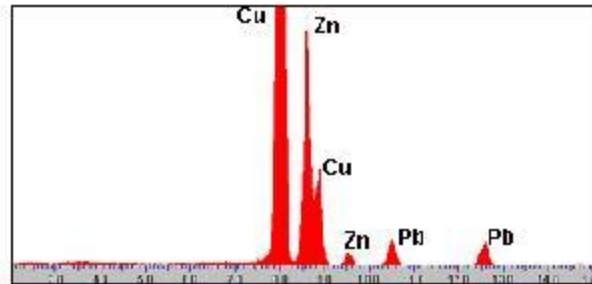
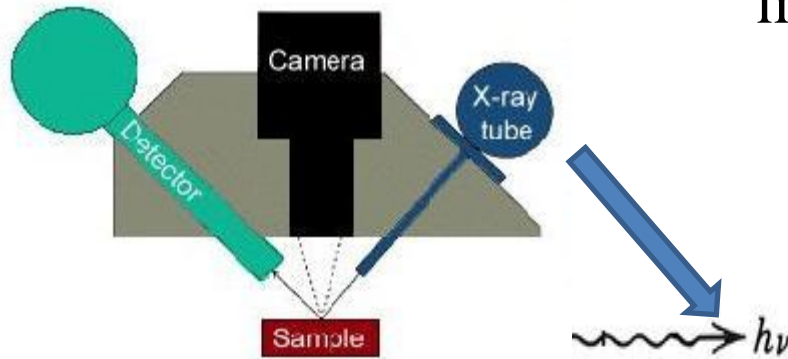
Olhando somente o espectro característico

Espectro de raios X de um metal



XRF – FLUORESCENCIA DE RAIOS-X

Fluorescência de raios-X é baseada na excitação do material por uma fonte de raios-X e conseqüente emissão de raios-X do material



Roman Economy



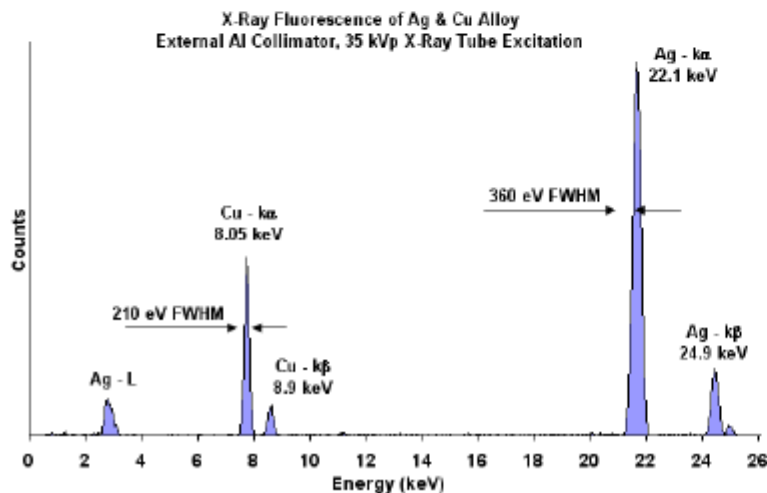
Marcus Aurelius 149 AD Commodus 189 AD Septimus Severus 197 AD



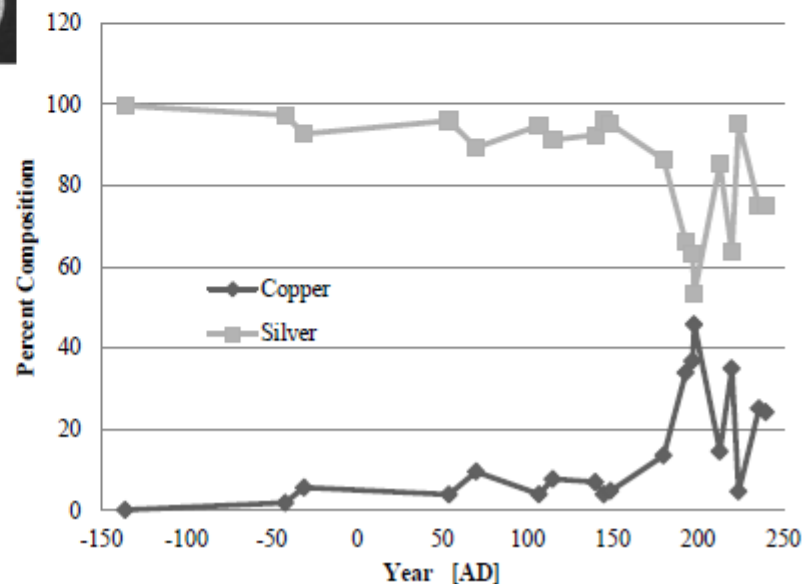
Septimus Severus 199 AD Geta 200 AD Caracalla 213 AD



Elagabalus 220 AD Severus Alexander 224 AD Maximus I 235 AD



The average of the measured Silver and Copper content in the Roman Denarii as a function of time. Clearly visible are the debasement ordered by Octavianus Augustus and Nero, as well as the continuing debasement of the Denarii during the Severan period of the empire in the first half of the third century.





XRF – FLUORESCENCIA DE RAIOS-X

Tese de doutorado
Pedro H.V. O Campos
IFUSP - 2015

Análises “in situ” portáteis
XRF,



Tubo de raios X

Detector de raios X



Sistemas portáteis de Raios-X



“home-made”
UEL –
Prof. C. Appoloni



Espectrômetro XRF
portátil
www.metorex.com

Espectrômetro XRF
portátil
www.bruker.com



“home-made”
USP – Poli
Prof. C. A. Neiva

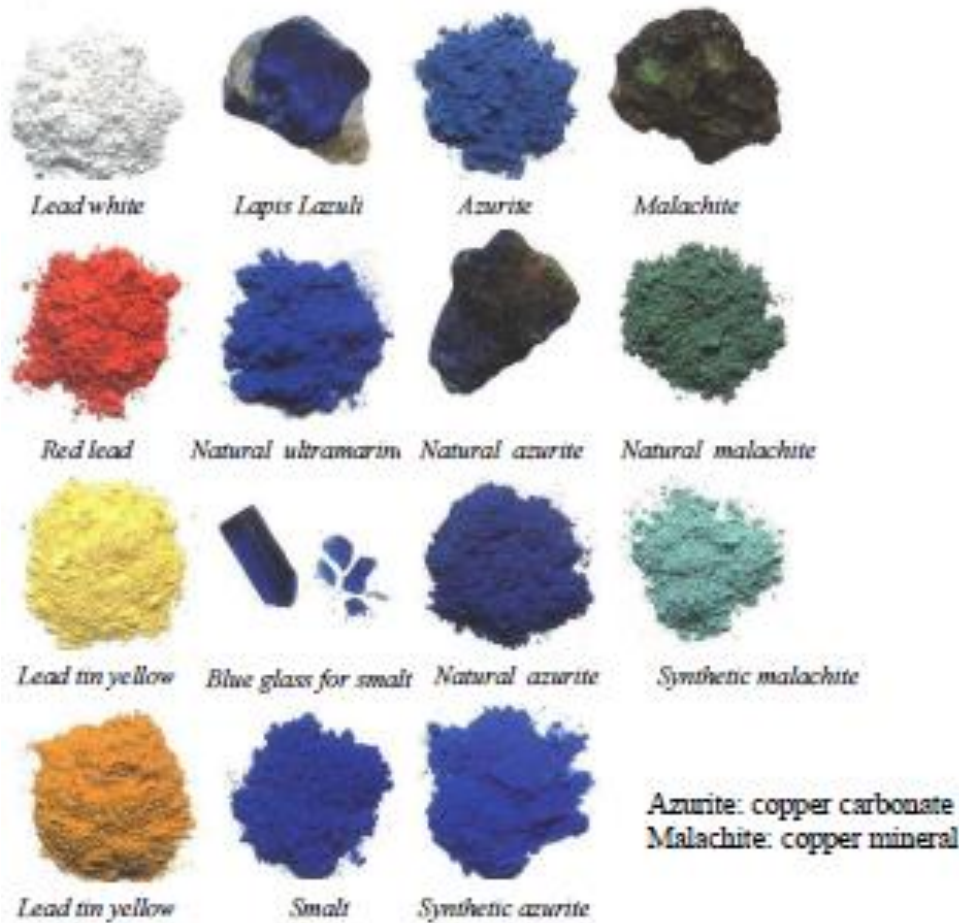


“home-made”
COPPE -UFRJ
Cristiane Calza



pigmentos

Pigmentos conhecidos até 1800



- ✓ Pintura é composta de pigmentos coloridos e substâncias ligantes.
- ✓ Inicialmente os pigmentos eram provenientes de minerais.
- ✓ Substâncias ligantes eram materiais que aglutinavam o pigmento em pó e faziam a adesão na superfície e permitia a secagem
- ✓ Após esta data começam a ser produzidos os pigmentos sintéticos

Analysis of paint pigments

Medieval oil paintings contained specific pigments to achieve the deep impressive color effects. A list of typical inorganic pigments and their chemical composition is :

White pigments

Antimony white	Sb_2O_3
Lithopone	$\text{ZnO} + \text{BaSO}_4$
Permanent white	BaSO_4
Titanium white	TiO_2
White lead	$2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$
Zinc white	ZnO
Zirconium oxide	ZrO_2
Chalk	CaCO_3
Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Yellow pigments

Auripigmentum	As_2S_3
Cadmium yellow	CdS
Chrome yellow	$2\text{PbSO}_4 \cdot \text{PbCrO}_4$
Cobalt yellow	$\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$
Lead-tin yellow	$\text{Pb}_2\text{SnO}_4 / \text{Pb}_3\text{Sn}_2\text{SiO}_7$
Massicot	PbO
Naples yellow	$\text{Pb}(\text{SbO}_3)_2 / \text{Pb}_3(\text{SbO}_4)_2$
Strontium yellow	SrCrO_4
Titanium yellow	$\text{NiO} \cdot \text{Sb}_2\text{O}_3 \cdot 20\text{TiO}_2$
Yellow ochre	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (20–70%)
Zinc yellow	$\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{ZnO} \cdot 4\text{CrO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Red pigments

Cadmium red	$\text{CdS} + \text{CdSe}$
Cadmium vermilion	$\text{CdS} + \text{HgS}$
Chrome red	$\text{PbO} \cdot \text{PbCrO}_4$
Molybdate red	$7\text{PbCrO}_4 \cdot 2\text{PbSO}_4 \cdot \text{PbMoO}_4$
Realgar	As_2S_3
Red lead	Pb_3O_4
Red ochre	Fe_2O_3 (up to 90%)
Vermilion	HgS

Green pigments

Basic copper sulfate	$\text{Cu}_x(\text{SO}_4)_y(\text{OH})_z$
Chromium oxide	Cr_2O_3
Chrysocolla	$\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Cobalt green	$\text{CoO} \cdot 5\text{ZnO}$
Emerald green	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$
Guignent green	$\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{BO}_3$
Malachite	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$
Verdigris	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot n\text{Cu(OH)}_2$

Blue pigments

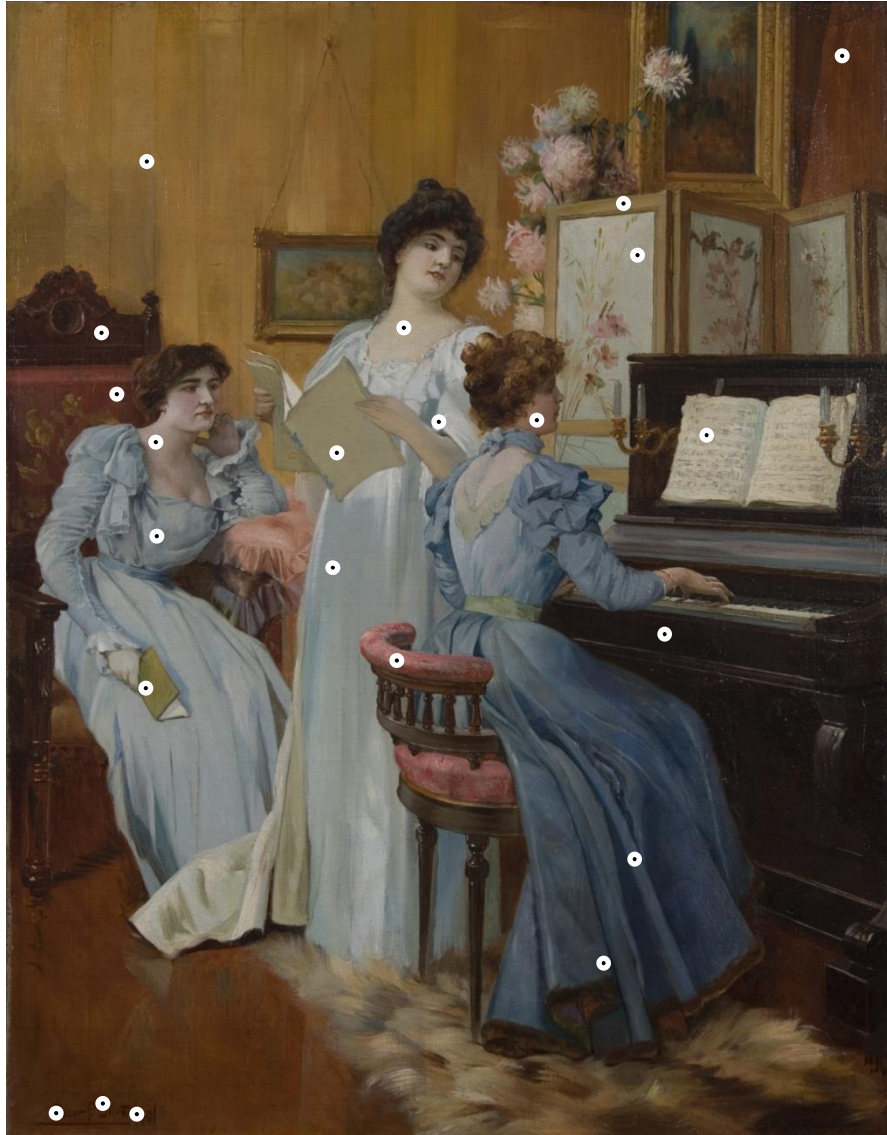
Azurite	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$
Cerulean blue	$\text{CoO} \cdot n\text{SnO}_2$
Cobalt blue	$\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
Cobalt violet	$\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$
Egyptian blue	$\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$
Manganese blue	$\text{BaSO}_4 \cdot \text{Ba}_2(\text{MnO}_4)_2$
Prussian blue	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$
Smalt	Co-glass ($\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2 + \text{CoO}$)
Ultramarine	$\text{Na}_{8-10}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2-4$

Black pigments

Antimony black	Sb_2O_3
Black iron oxide	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
Carbon or charcoal black	C (95%)
Cobalt black	CoO
Ivory black	$\text{C} + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Manganese oxide	$\text{MnO} + \text{Mn}_2\text{O}_3$

Fluorescência de Raios X (XRF)

Pontos Analisados



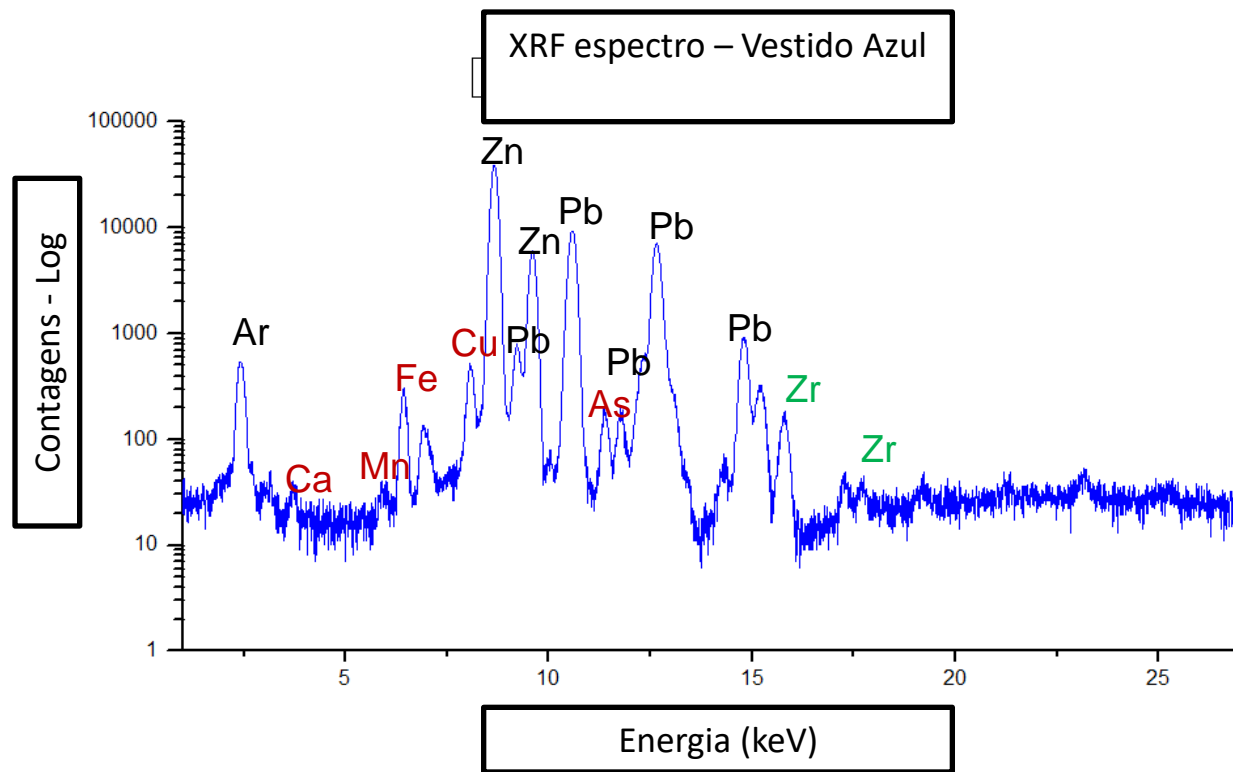
Trabalho realizado em parceria com as restauradoras da Pinacoteca do Estado de São Paulo Valeria Mendonça e Tatiana Russo e Prof. Augusto. C. Neiva – Poli – USP



Fluorescência de Raios X (XRF)



Trabalho realizado em parceria com as restauradoras da Pinacoteca do Estado de São Paulo
Valeria Mendonça e Tatiana Russo
e Prof. Augusto. C. Neiva – Poli – USP

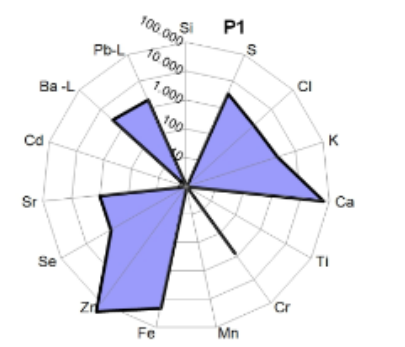
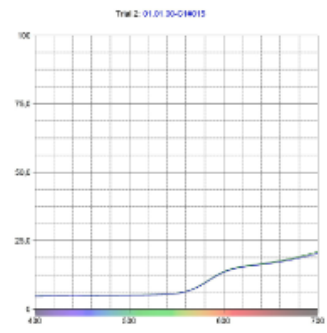
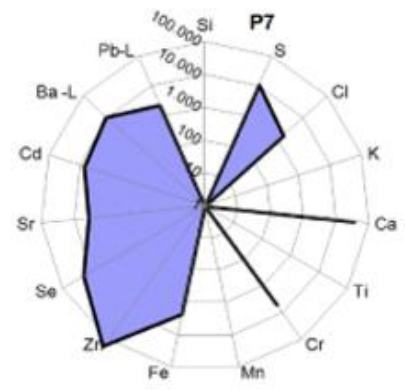
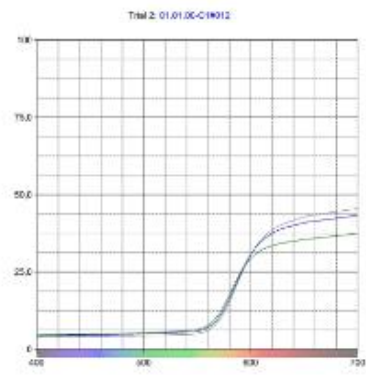


Estudo das obras do artista Volpi

Dissertação de mestrado de Eva K. Mori do Instituto de Geociências da USP sob orientação da Prof^a. Dr^a. Eliane Del Lama em parceria com o GFAA. Projeto: documentação e caracterização dos materiais e técnicas utilizadas por Volpi

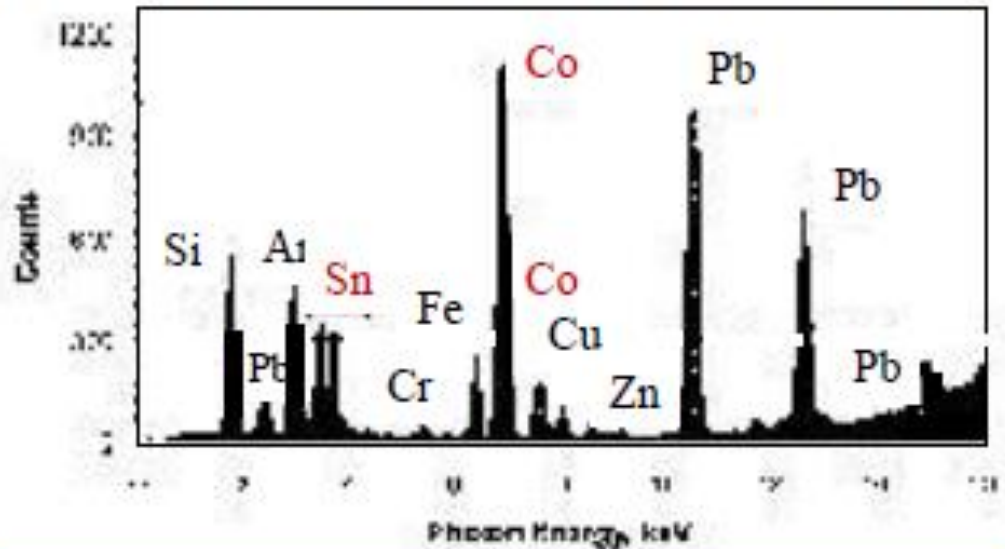


Santo Ingênuo
54,3x72,9 cm
Tempera sobre aglomerado



Modigliani: Fake or Forgery?

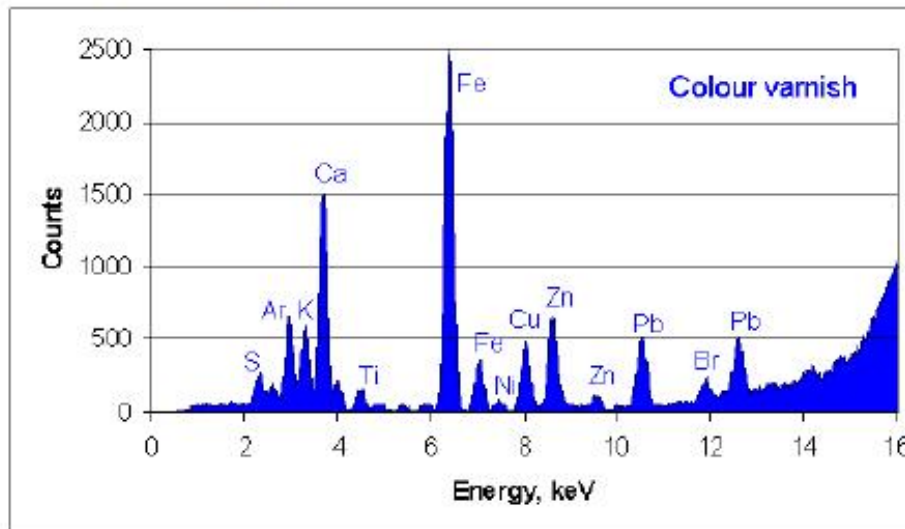
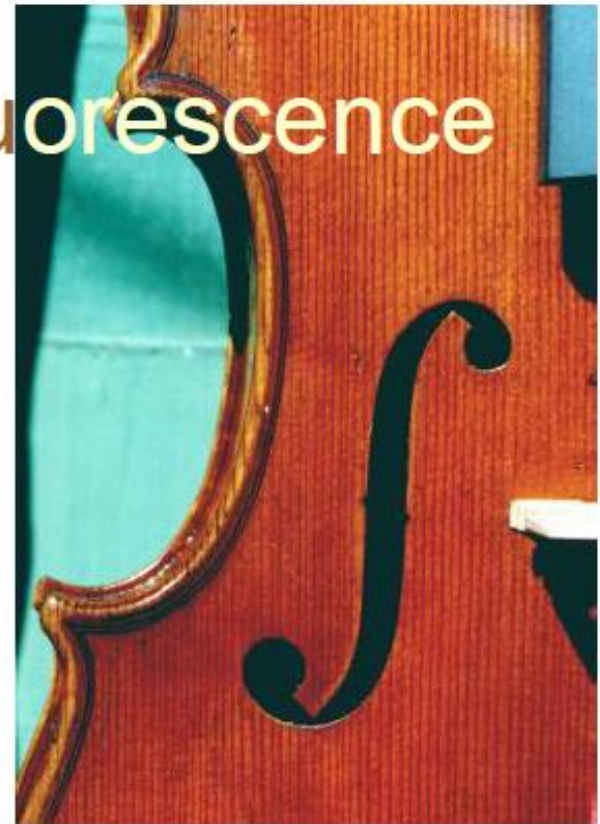
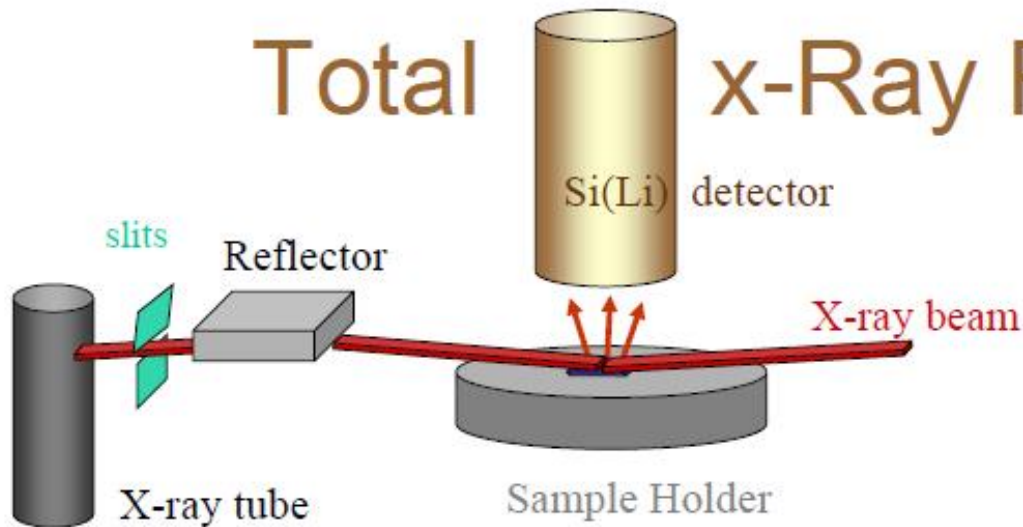
The art market is flooded with fake paintings of 20th century artists such as ... Matisse, Modigliani, Picasso ...



X-ray spectrum indicated the use of cerulean blue $\text{CoO} \cdot n \cdot \text{SnO}_2$ a pigment Modigliani did not use in any other of his paintings \Rightarrow forgery?



Total x-Ray Fluorescence



20 different elements detected:

Fe, As, Pb, pigments in varnish
Zn, Cu, Pb drying substrate in oil

Alex von Bohlen, Historical Violin Varnishes Spectroscopic Studies and Characterization – Actes de la journée d'étude les vernis de violon – Cite de la Musique -2006, pg. 60

Alex von Bohlen Friedrich Müller, Microanalysis of old violin varnishes by total-reflection X-ray fluorescence; Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 52, 1053–1056 (1997)

LABORATÓRIO DE LUZ SINCROTRON EM campinas

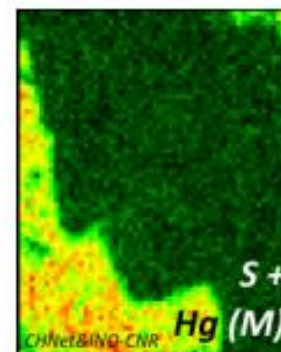
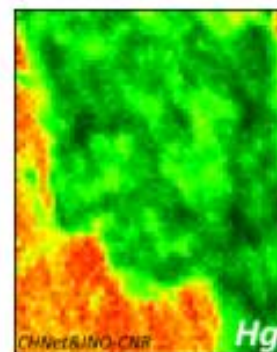
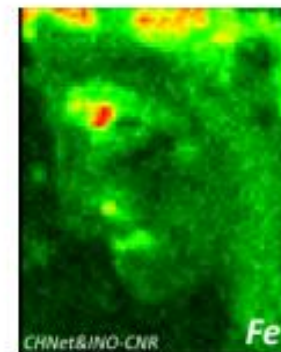
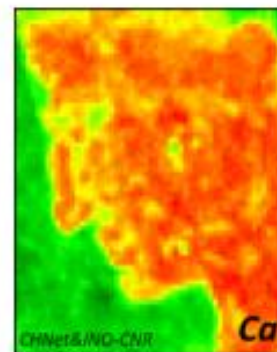


MAPAS COM XRF DALL'ARTE CLASSICA ALL'IMAGING XRF

27 febbraio 2015 · di fed2013 · in Collaborazioni, XRF ·

Le immagini mostrano un esempio di mappe elementali ottenibili con il sistema XRF a scansione sviluppato all'interno dell'attività di CHNet. Il campione in studio è un lacerto di affresco romano (Soprintendenza archeologica di Napoli).

Condizioni di misura: tubo con anodo di Cr, tensione 30 kV e corrente anodica 100 μ A, area scansionata 36 x 29 mm, passo della scansione 0,250 mm e velocita 0,5 mm/s.



MAPAS COM XRF

UN RESTAURO AI RAGGI X

21 maggio 2015 - di fed2013 - in Collaborazioni, Media, TC, XRF, ...

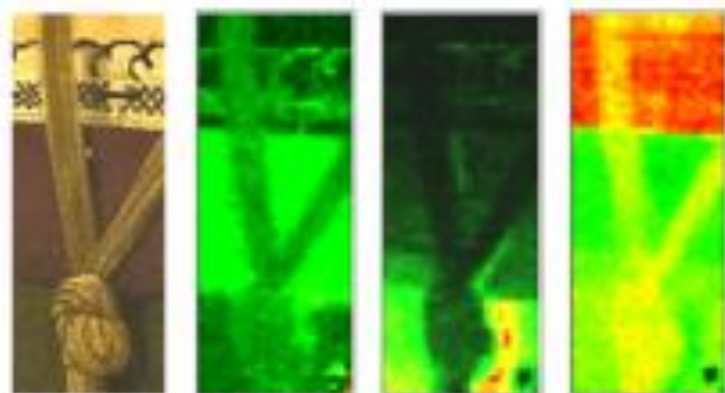


Immagine
ottica

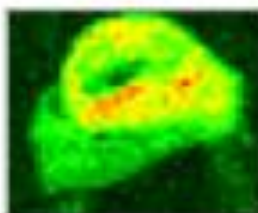
Ca

Cu

Pb



Immagine
ottica



Hg

Scala dei colori (intensità di segnale)



Min

Max

il 7 maggio scorso in occasione del Salone dell'Arte del Restauro
ne dei Beni Culturali e Ambientali di Ferrara il volume Raffaello,
i e restauro, a cura di Marco Ciatti e Maria Rosaria Valazzi, edito

