



Universidade Federal do ABC

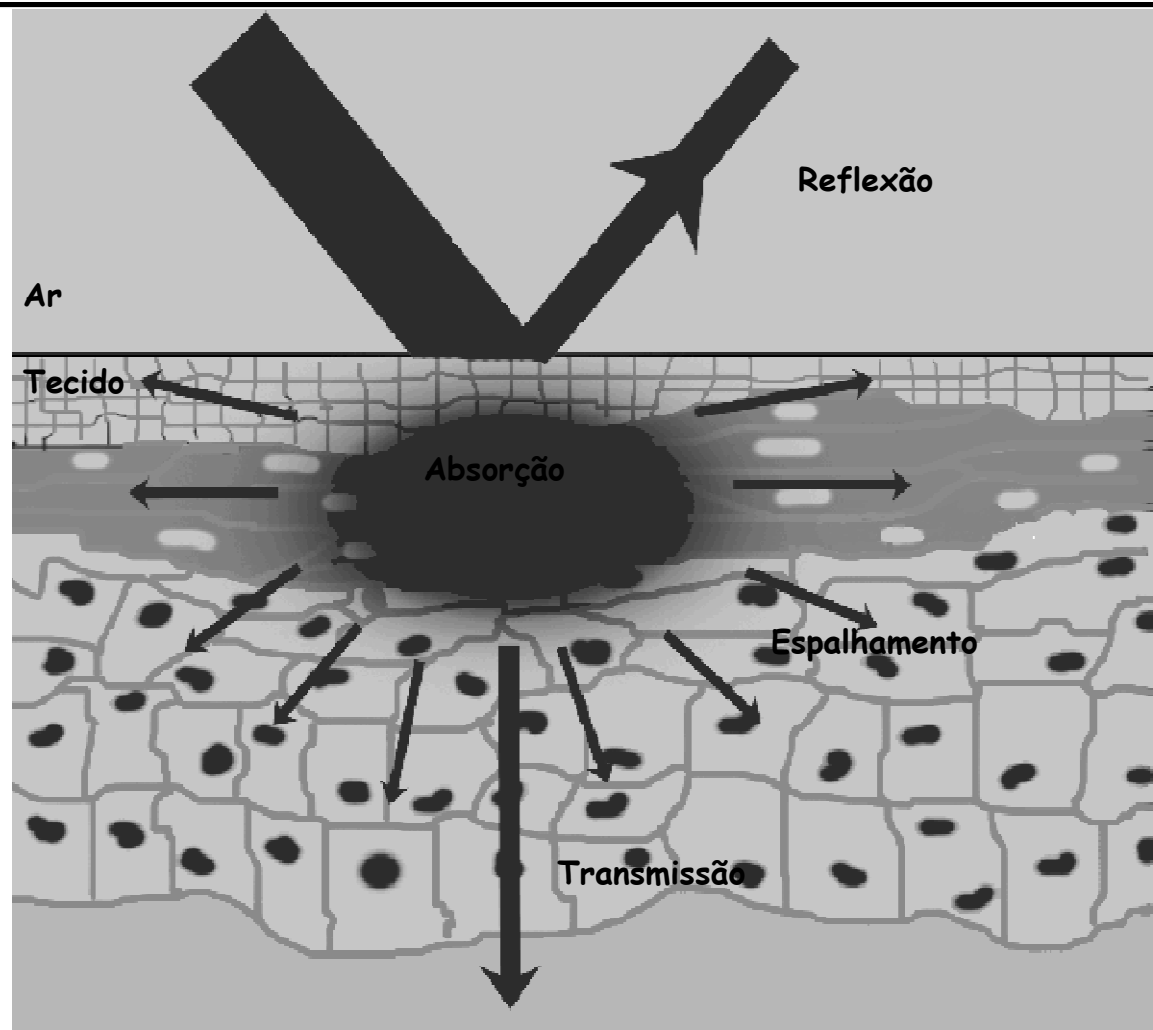
INTERAÇÃO LASER-TECIDO

DISCIPLINA EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÕES NÃO IONIZANTES

1º. QUADRIMESTRE DE 2012

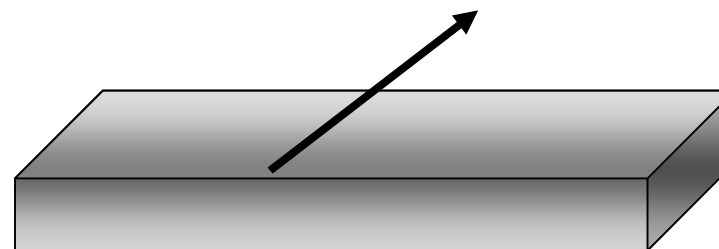
INTERAÇÃO LUZ-TECIDOS

- ✓ Reflexão
- ✓ Espalhamento
- ✓ Transmissão
- ✓ Refração
- ✓ Absorção



INTERAÇÃO LUZ-TECIDOS

- ✓ Reflexão e refração
- ✓ Espalhamento
- ✓ Transmissão
- ✓ Absorção

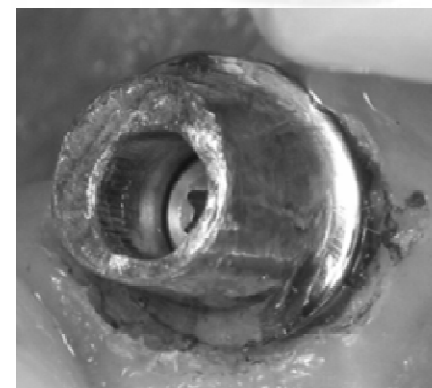


Laser atinge o tecido
alvo e é refletido



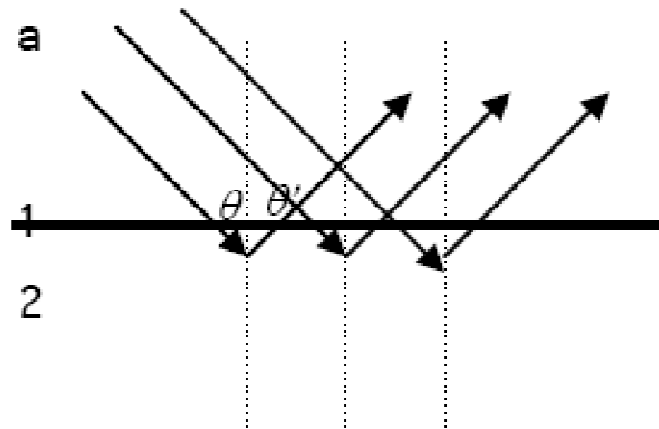
Cuidados:

- Olhos
- Espelhos
- Restaurações metálicas
- Queimaduras



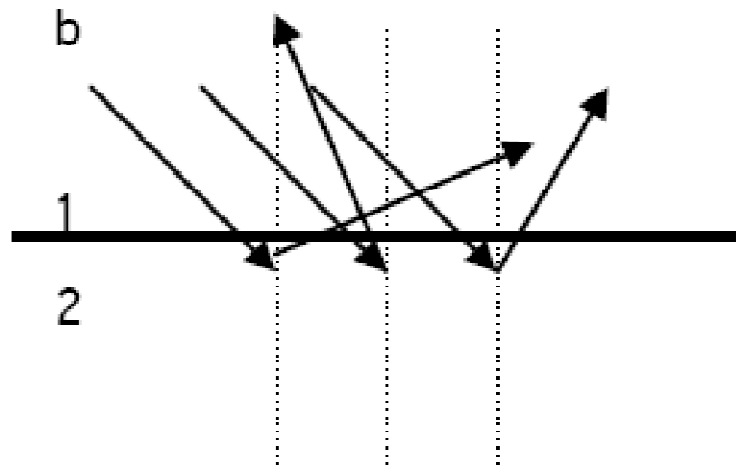
REFLEXÃO E REFRAÇÃO

- radiação eletromagnética que incide numa superfície e retorna para o meio de origem
- superfície refletora: é uma interface física entre dois materiais de índices de refração diferentes -> ar e tecido
- reflexão especular: ocorre em superfícies cujas irregularidades são pequenas quando comparadas ao comprimento de onda da radiação incidente



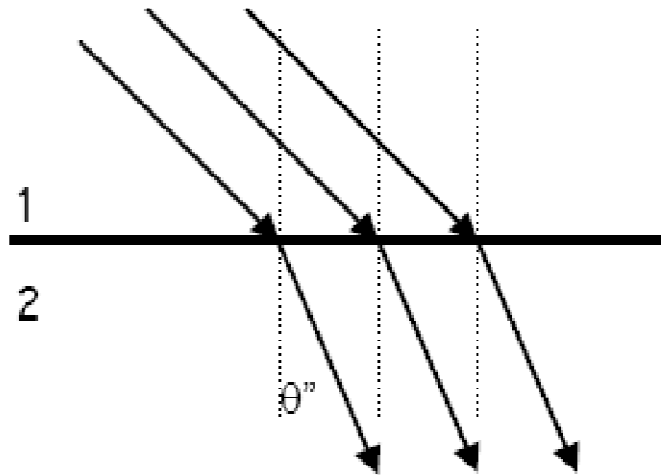
REFLEXÃO E REFRAÇÃO

- Reflexão difusa: quando a rugosidade da superfície é igual ou maior que o comprimento de onda da radiação incidente
 - Frequente nos tecidos biológicos



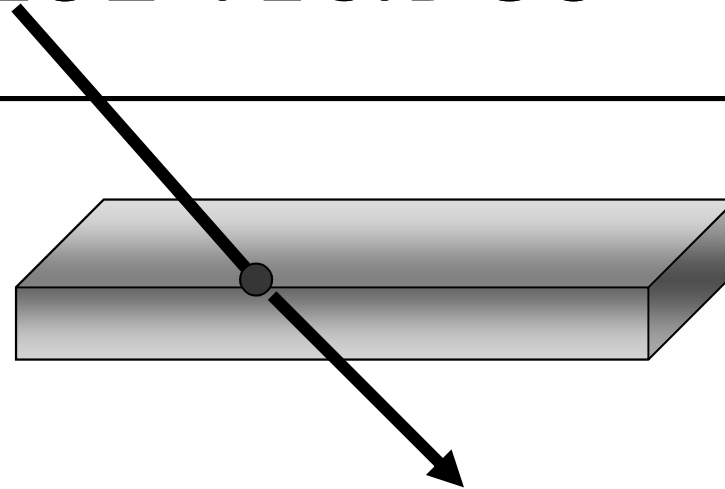
REFLEXÃO E REFRAÇÃO

- Refração: superfície refletora separa dois meios com índices de refração diferentes. Ocorre em consequência da mudança de velocidade da luz incidente.

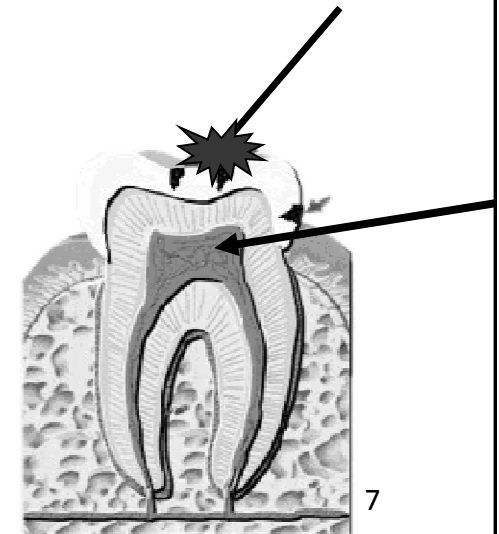


INTERAÇÃO LUZ-TECIDOS

- ✓ Reflexão
- ✓ Espalhamento
- ✓ Transmissão
- ✓ Absorção

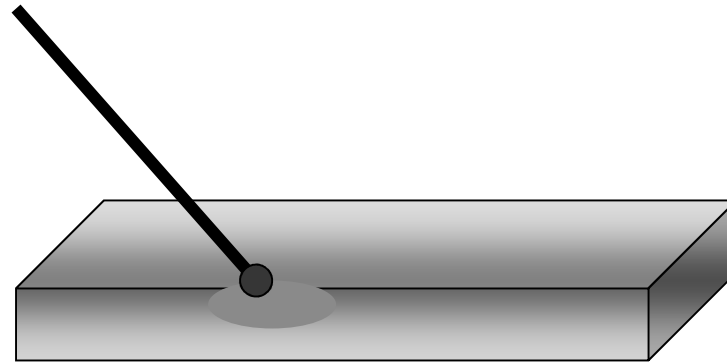


Feixe atinge o tecido e atravessa, sem causar nenhum tipo de efeito superficial

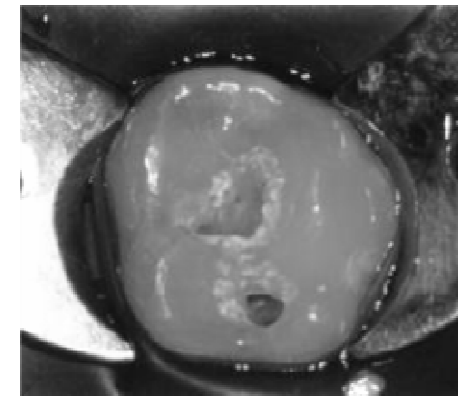
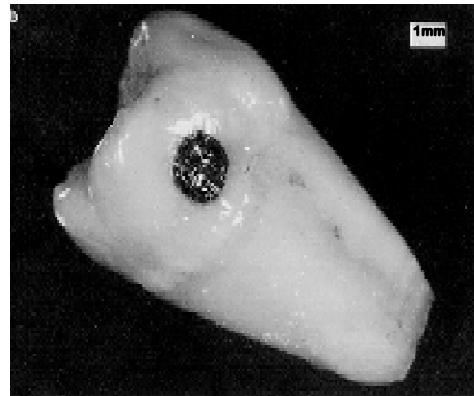
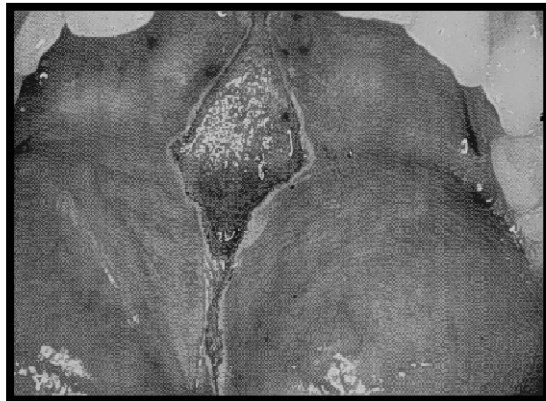


INTERAÇÃO LUZ-TECIDOS

- ✓ Reflexão
- ✓ Espalhamento
- ✓ Transmissão
- ✓ Absorção

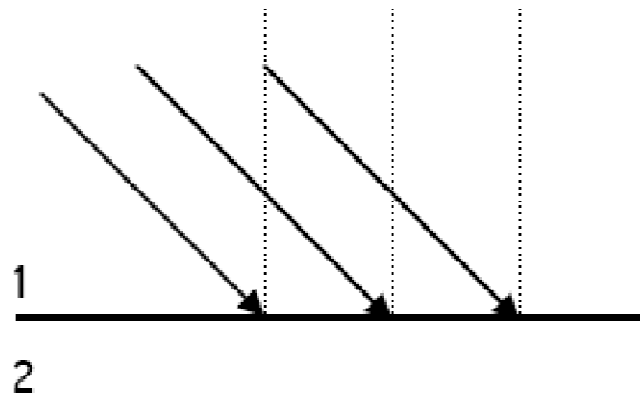


Tecido alvo sofre interação pelo feixe de laser, originando diversos tipos de efeitos.



ABSORÇÃO

- conversão parcial de energia luminosa em calor ou certa vibração das moléculas no material absorvedor
- ocorre quando a onda eletromagnética não retorna a partir da superfície incidente e nem se propaga no meio
- frequência da onda incidente é igual à frequência natural das vibrações livres das partículas -> ressonância, acompanhada por quantidade considerável de absorção



ABSORÇÃO

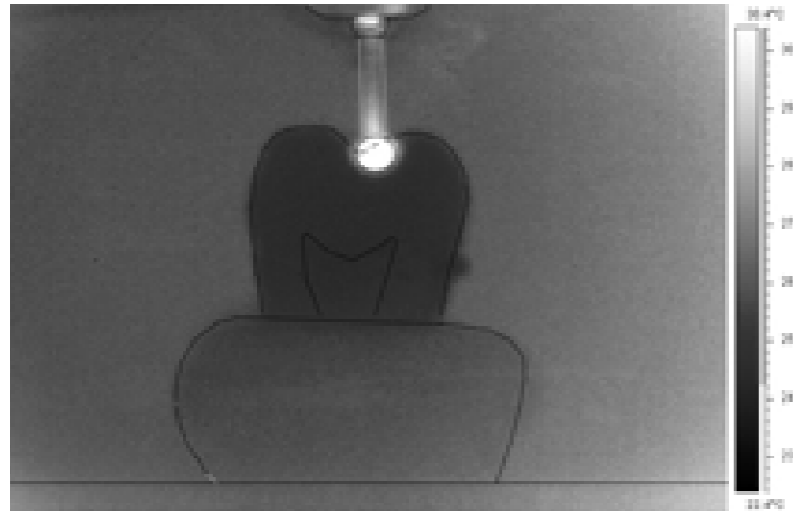
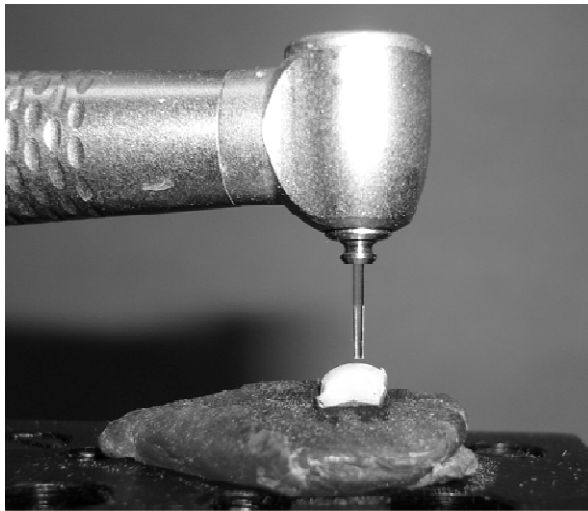
- A absorção por um dado tecido é função do comprimento de onda (λ) da radiação incidente e dos cromóforos presentes
- O processo de absorção pode ser modelado pelo coeficiente de absorção α ou pelo seu recíproco α^{-1} denominado comprimento de absorção

ABSORÇÃO

- Absorbância: razão das intensidades absorvida e incidente
- meio transparente: permite a passagem da luz sem qualquer absorção, ou seja, a energia radiante total que entra e sai desse meio é a mesma
- meio opaco: reduz a energia da radiação incidente praticamente a zero

ABSORÇÃO

- A propriedade de transparência ou opacidade dependem do comprimento de onda.
 - Ex. A córnea é transparente no visível e absorvedora no UV



ABSORÇÃO

- Depende de:
 - constituição eletrônica de átomos e moléculas do tecido
 - λ da radiação
 - espessura da camada absorvedora
 - temperatura de agentes absorvedores
 - concentração de agentes absorvedores

ABSORÇÃO

- **Lei de Lambert**

- Efeito da espessura

$$I(z) = I_0 e^{-\alpha z}$$

z : eixo óptico = distância

$I(z)$: intensidade na distância z ;

I_0 : intensidade incidente;

α : coeficiente de absorção do meio.

ABSORÇÃO

- **Lei de Beer**

- Efeito da concentração

$$I(z) = I_0 e^{-\kappa' cz}$$

z : eixo óptico = distância

$I(z)$: intensidade na distância z ;

I_0 : intensidade incidente;

c : concentração de agentes absorvedores;

κ' : depende dos demais parâmetros internos.

ABSORÇÃO

- **Lei de Beer-Lambert**

– ambas as leis descrevem o mesmo comportamento de absorção

$$z = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{I_0}{I(z)}$$

z : eixo óptico = distância

$I(z)$: intensidade na distância z ;

I_0 : intensidade incidente;

α : coeficiente de absorção do meio.

ABSORÇÃO

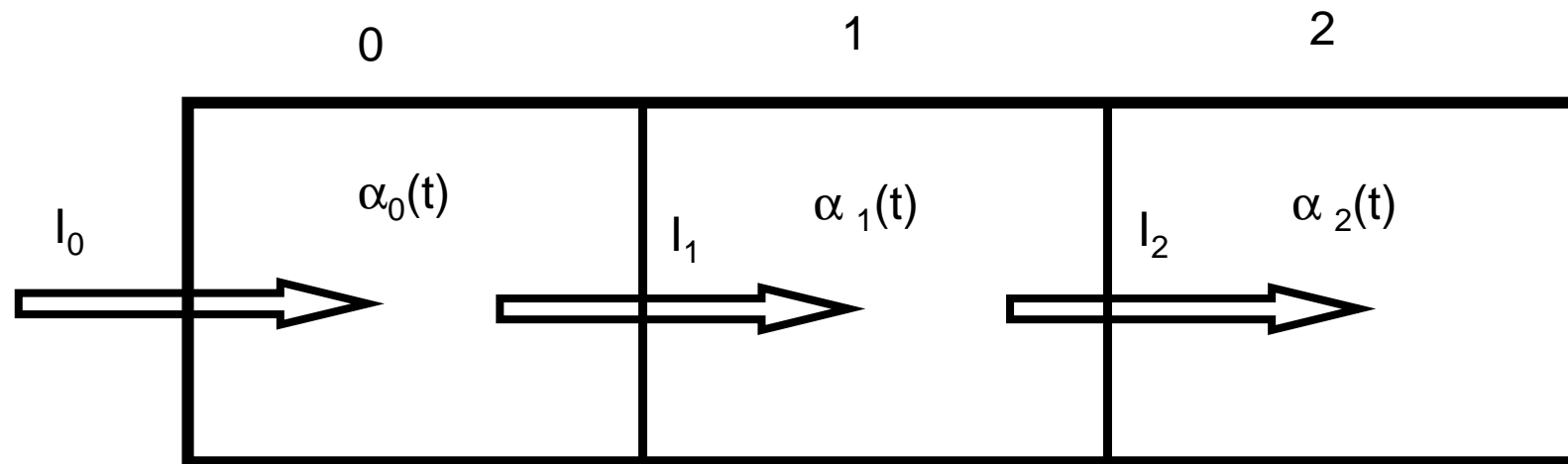
- **Lei de Beer-Lambert**

$$A = \epsilon LC$$

- A: absorção
- L: caminho óptico (cm)
- C: concentração (M)
- ϵ : coef. Absortividade molar ($\text{cm}^{-1} \text{M}^{-1}$)

DEPOSIÇÃO DA ENERGIA

- Lei de Beer

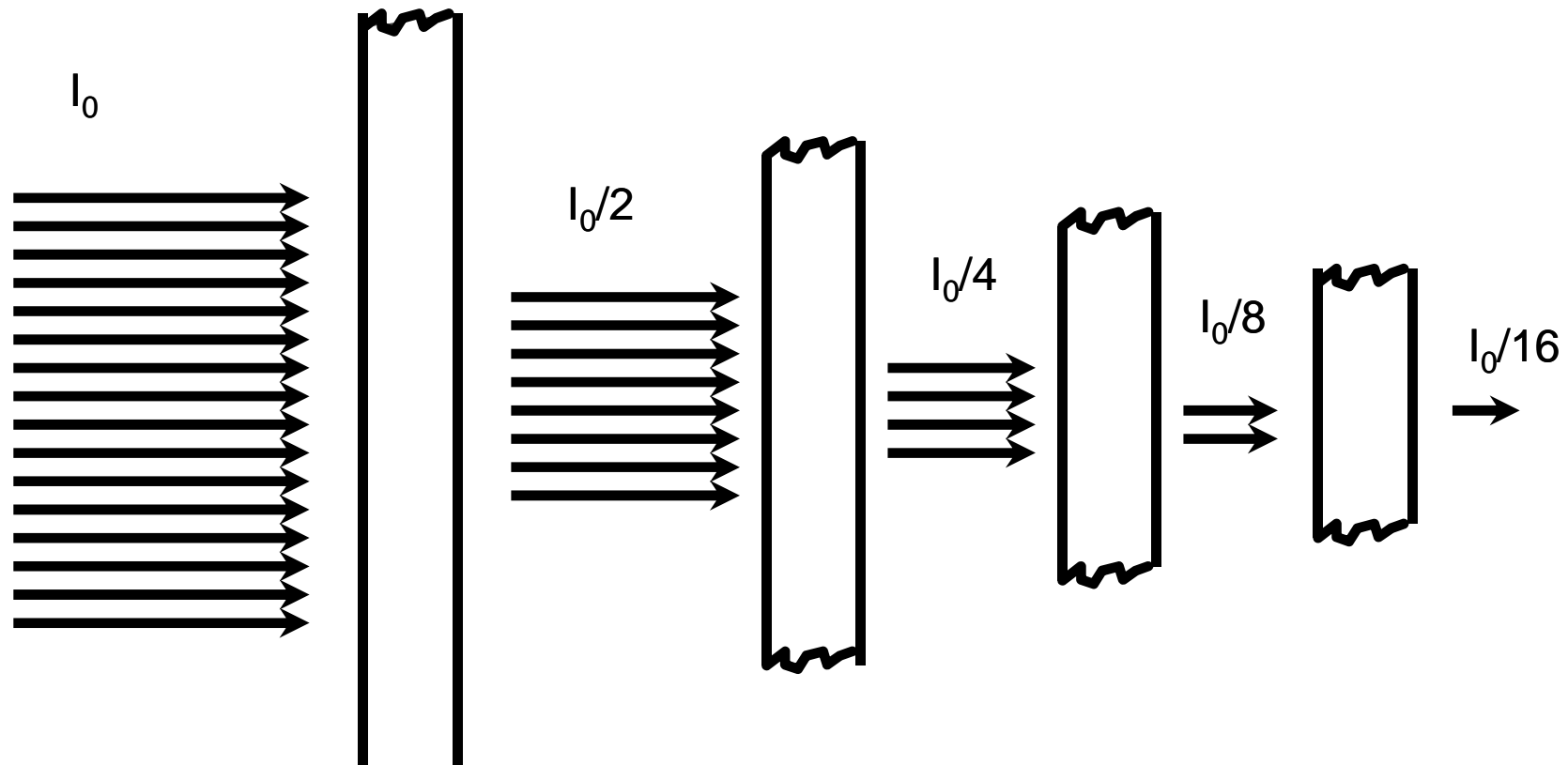


$$I_1 = I_0 e^{-\alpha_0 t}$$

$$I_2 = I_1 e^{-\alpha_1 t}$$

A lei de Beer determina a fração de energia depositada em cada camada, e o coeficiente de absorção de uma célula particular muda conseqüentemente a deposição de energia

ATENUAÇÃO DE UM FEIXE DURANTE ABSORÇÃO



$$\text{Fração absorvida} = (I_{\text{saída}} - I_{\text{entrada}}) / I_{\text{entrada}}$$

ABSORÇÃO

- **Comprimento de absorção**

- = distância média percorrida por um fóton no interior do tecido antes de ser absorvido
- Traduz a profundidade média a que ocorre a transferência de energia para o tecido
- O inverso do coeficiente de absorção α

$$L = \frac{1}{\alpha}$$

α : coeficiente de absorção do meio.

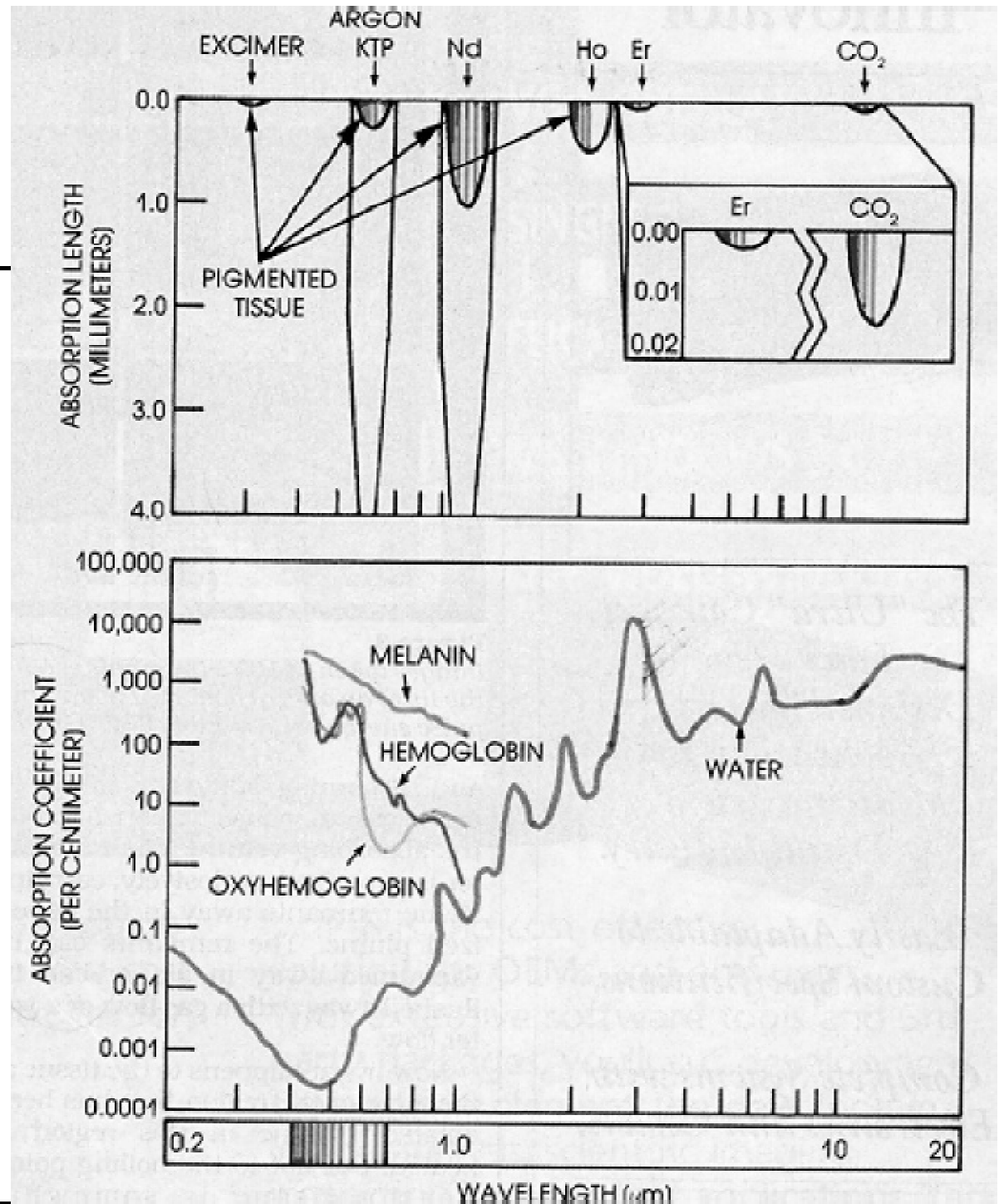
ABSORÇÃO

- **Comprimento de absorção**

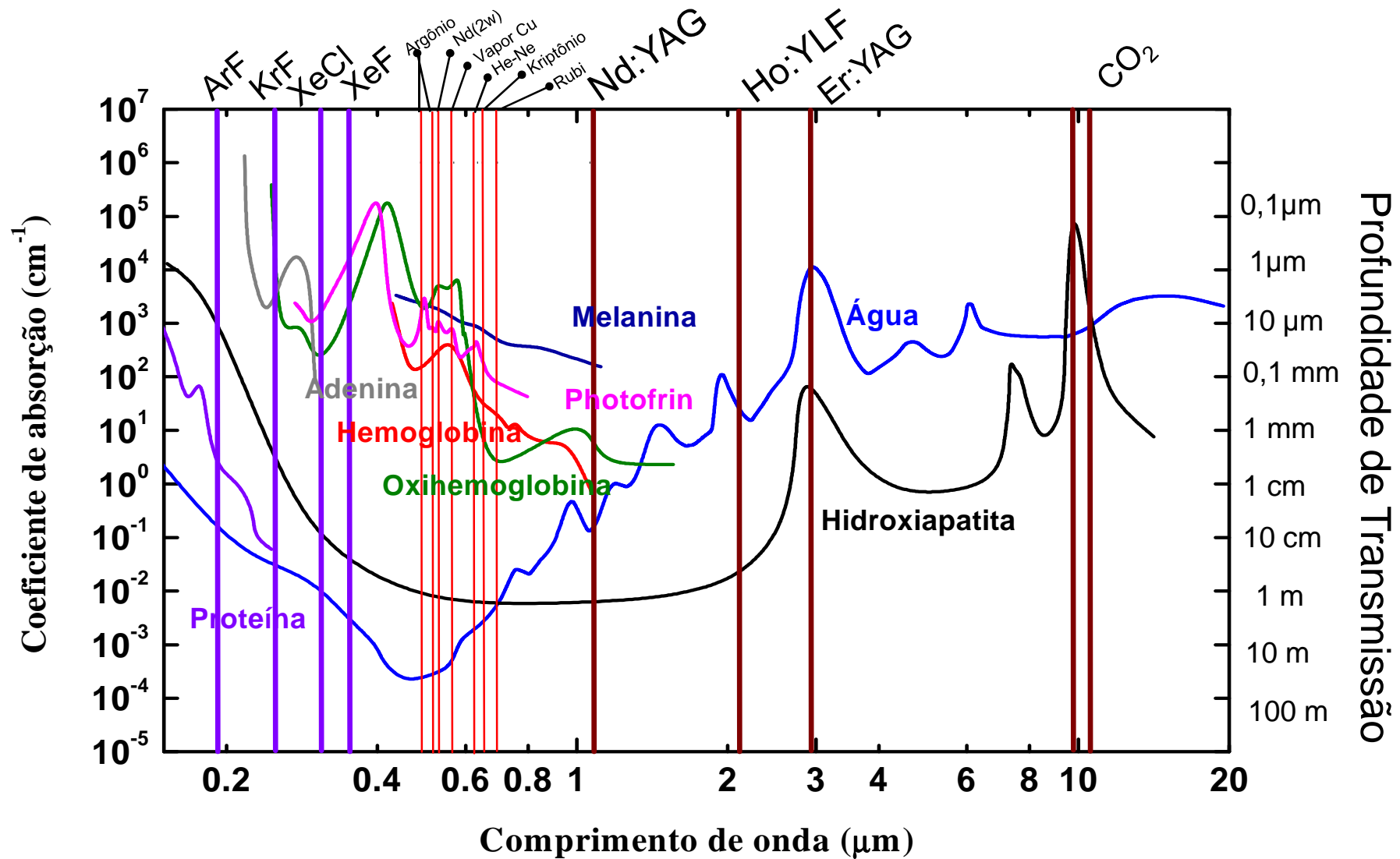
- mede a distância z que terá intensidade $I(z)$ reduzida a $1/e$, que é igual a 37% de seu valor incidente I_0

ABSORÇÃO

Comprimento de absorção é $1/\alpha$ e corresponde à distância x na qual a intensidade cai para $1/e$ do seu valor de incidência I_0 .

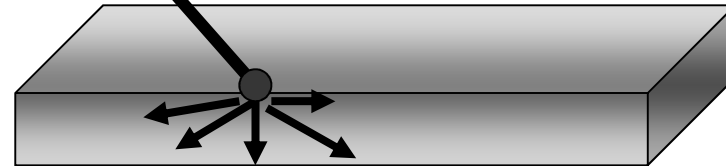


ABSORÇÃO



INTERAÇÃO LUZ-TECIDOS

- ✓ Reflexão
- ✓ Espalhamento
- ✓ Transmissão
- ✓ Absorção

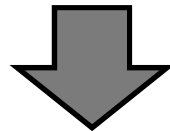


Energia atinge o tecido alvo e é espalhada



ESPALHAMENTO

- ocorre quando a frequência da onda incidente não corresponde à frequência natural das partículas do tecido
- oscilação resultante é determinada pela vibração forçada -> mesma frequência e direção daquela da força elétrica da radiação incidente, porém com menor amplitude

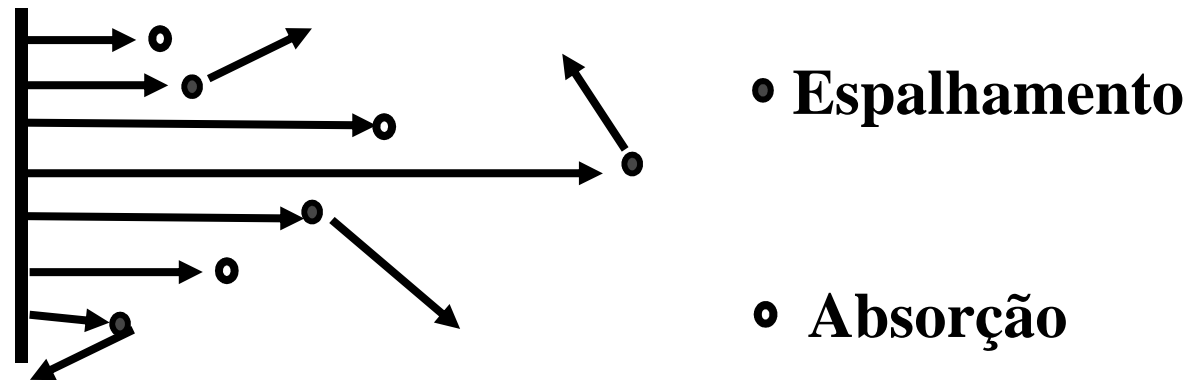


fótons diminuem a velocidade

ESPALHAMENTO

- ✓ limita a penetração da radiação.
- ✓ Permite que os fótons atinjam regiões distantes do ponto de aplicação.

Ex. Para o comprimento de onda de $1\ \mu\text{m}$, em tecidos moles, o espalhamento limita a profundidade de penetração a uns poucos milímetros.



Decaimento de intensidade de um feixe colimado

ESPALHAMENTO

- **ELÁSTICO:**

- fótons incidente e espalhado têm a mesma energia, apenas mudam de direção
- $\lambda_i = \lambda_f$
- É inversamente proporcional à quarta potência de λ -> **lei de Rayleigh**

$$I_a = \frac{1}{\lambda^4}$$

ESPALHAMENTO

- **INELÁSTICO:**
 - partículas espalhadas têm comprimento de onda menor que o da radiação incidente -> aumenta energia

ESPALHAMENTO

- **INELÁSTICO:**
 - partículas espalhadas têm comprimento de onda menor que o da radiação incidente

ESPALHAMENTO

- O grau de espalhamento depende do comprimento de onda do laser e das propriedades ópticas do tecido.
- Para os comprimentos de onda UV (190 -300nm) e IR (2 - 10 μm):
 - a profundidade de penetração no tecido está entre 1 e 20 μm (**abs \gg espalhamento**)

ESPALHAMENTO

- Para os comprimentos de onda entre 450 e 590 nm: a profundidade de penetração no tecido está entre 0,5 - 2,5 mm (**abs ~ espalhamento**)
- Para os comprimentos de onda entre 590 nm e 1,5 μm : a profundidade de penetração no tecido está entre 2 - 8 mm (**abs << espalhamento**)

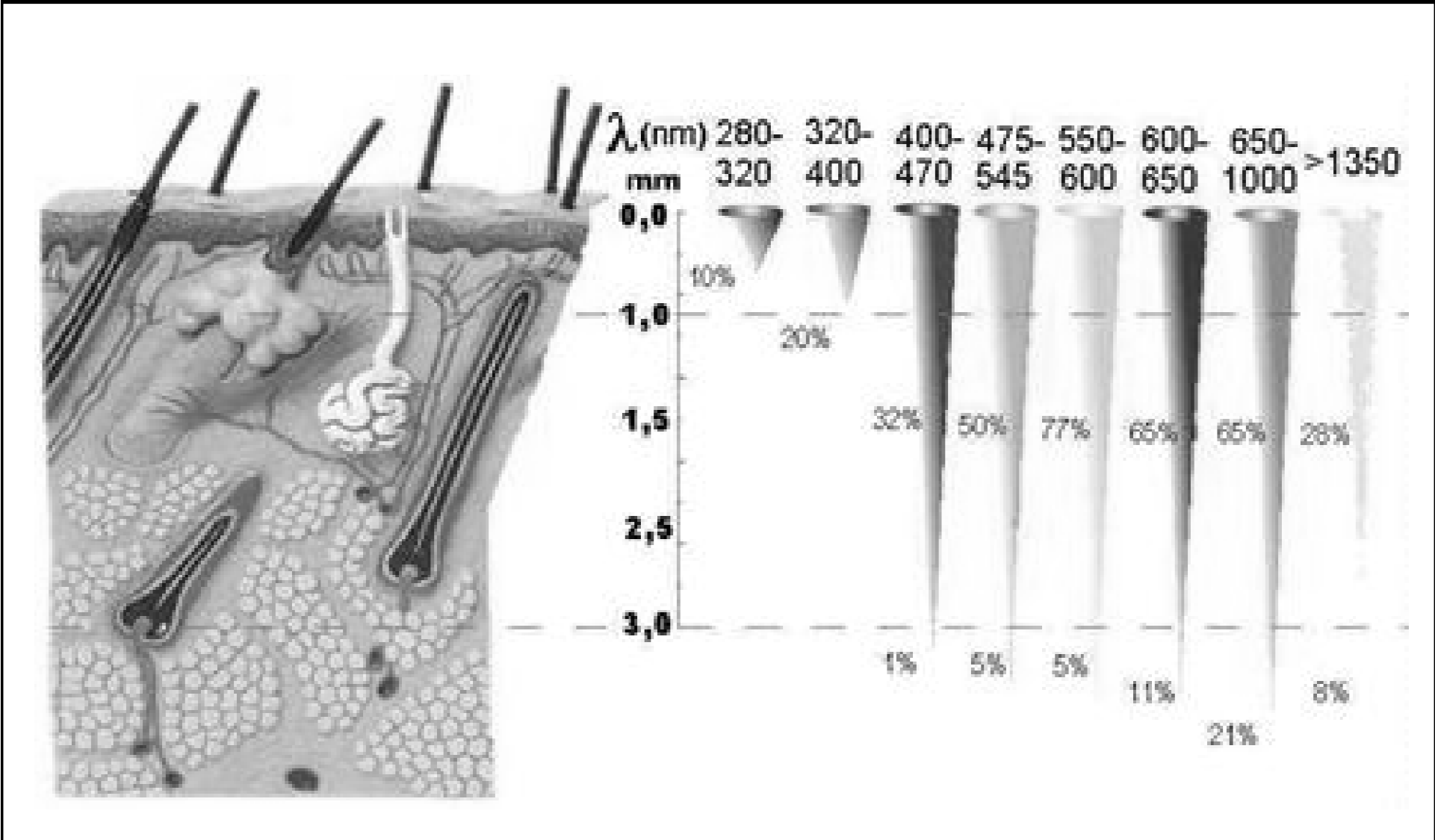
ESPALHAMENTO

$$I = I_0 e^{-\alpha_0 x}$$

A lei de Lambert-Beer pode ser aplicada no caso da absorção predominar sobre o espalhamento, e é relativamente precisa para materiais homogêneos

Ex. Na pele a absorção é predominante na epiderme e derme superior enquanto o espalhamento pelas fibras colágenas em camadas mais profundas predomina.

ESPALHAMENTO

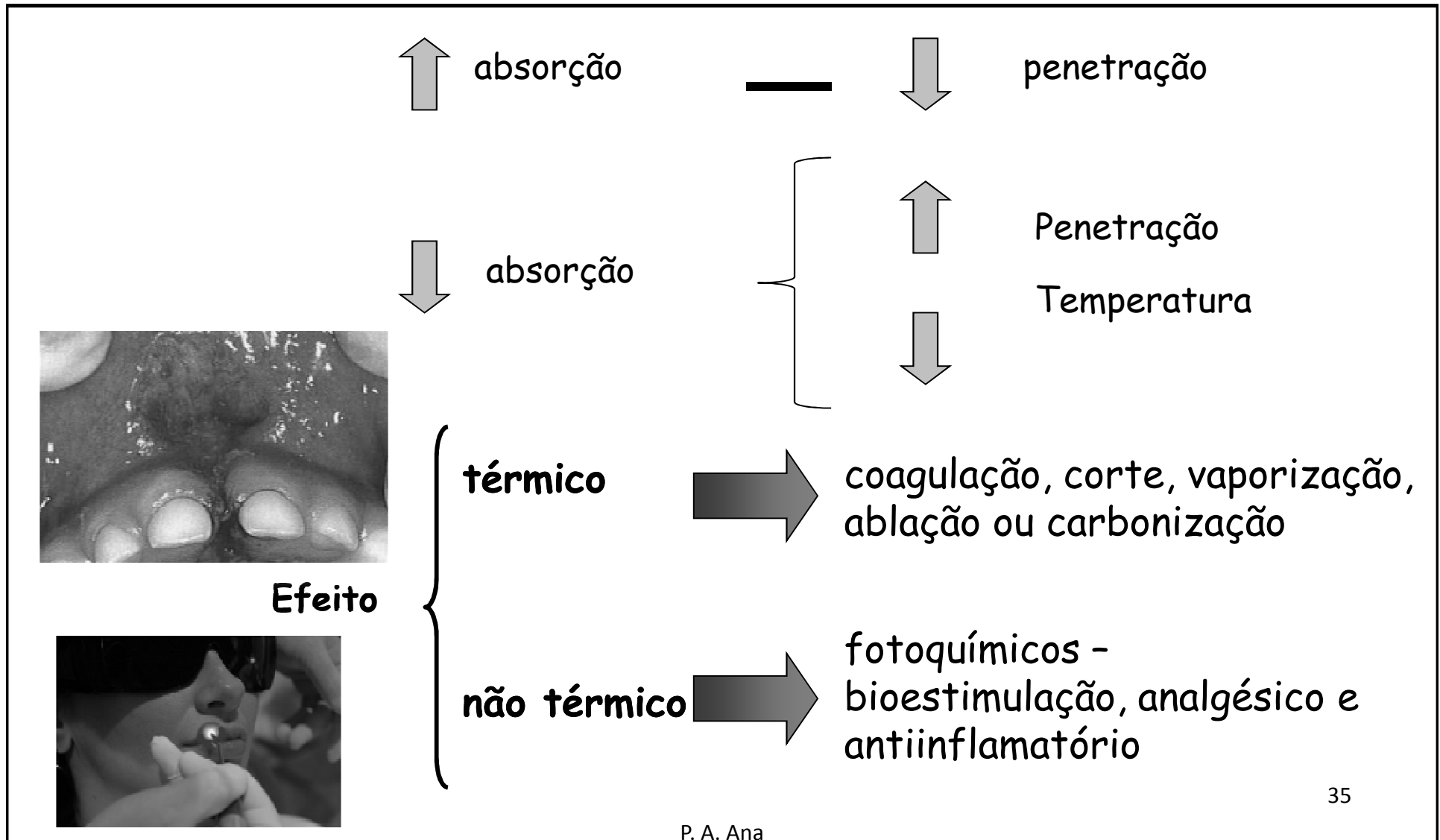


ABSORÇÃO X ESPALHAMENTO

- Coeficientes de absorção para o comprimento de onda do laser de CO₂

Tecido	Espessura (μm)	Coef. Absorção médio (α) – cm ⁻¹
Cartilagem	80 - 120	210
	130 - 140	500
Osso	200 - 250	230
	130 - 150	510

FUNDAMENTAL!



EXERCÍCIO

- Sabendo que o limiar de ablação para o laser de CO₂ de tecidos duros está na entre 1,8 e 7,4 J/cm² use a lei de Beer para estimar a intensidade de um feixe com intensidade 5 J/cm² em:
 - cartilagem com 130 μm de espessura
 - osso com 130 μm de espessura

$$I = I_0 e^{-\alpha_0 x}$$

Dados: $\alpha_{\text{cartilagem}} = 500 \text{ cm}^{-1} (130 \text{ } \mu\text{m})$; $\alpha_{\text{osso}} = 510 \text{ cm}^{-1} (130 \text{ } \mu\text{m})$

SOLUÇÃO



EXERCÍCIO PARA CASA ...

- Os componentes dos tecidos biológicos que têm relevância para a absorção de radiação luminosa são chamados cromóforos. Considerando a concentração destes componentes nos principais tecidos humanos (pesquise), e considerando a radiação eletromagnética na faixa do ultravioleta ao infravermelho próximo, como você classificaria opticamente os diversos tecidos (moles e duros) do corpo humano para cada região espectral?
- Transparente
- fracamente absorvedor
- altamente absorvedor