

Monitoramento de partículas em água ultrapura em aplicações microeletrônicas

Ross Bryant
ULTRAPURE WATER® MICRO
Austin, TX
Novembro de 2007



Programa

- Incentivo ao monitoramento de partículas
- Fundamentos da contagem de partículas ópticas
- Especificações dos instrumentos
- Estatísticas da contagem
- Análise e interpretação de dados



Partículas: Parte integral do roteiro do ITRS

Ano de produção	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DRAM ½ pitch (nm)	80	70	65	57	50	45	40	36	32
Dimensão crítica de partículas (nm)	40	35	33	29	25	22	20	18	16
Resistência específica a 25° C(MΩ-cm)	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2
Total de carbono oxidável (ppb) POE	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Bactéria (UFC/litro)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Total de sílica (ppb) como SiO2	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Número de partículas > 0,05um (/ml) POE	<0.2	<1	<0.9	<0.8	<0.4	<0.3	<0.3	<0.3	<0.2
Oxigênio dissolvido (ppb) POE	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nitrogênio dissolvido (ppm)	8-12	8-12	8-18	8-18	8-18	8-18	8-18	8-18	8-18
Metais críticos (ppt, cada)	<1	<1	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Outros íons críticos (ppt, cada)	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Estabilidade de temperaturas (K)	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1
Gradiente de temperaturas em K/10 minutos POE para litografia de imersão	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

 Soluções temporárias são conhecidas
 Soluções manufaturáveis não são conhecidas
 Soluções manufaturáveis são conhecidas

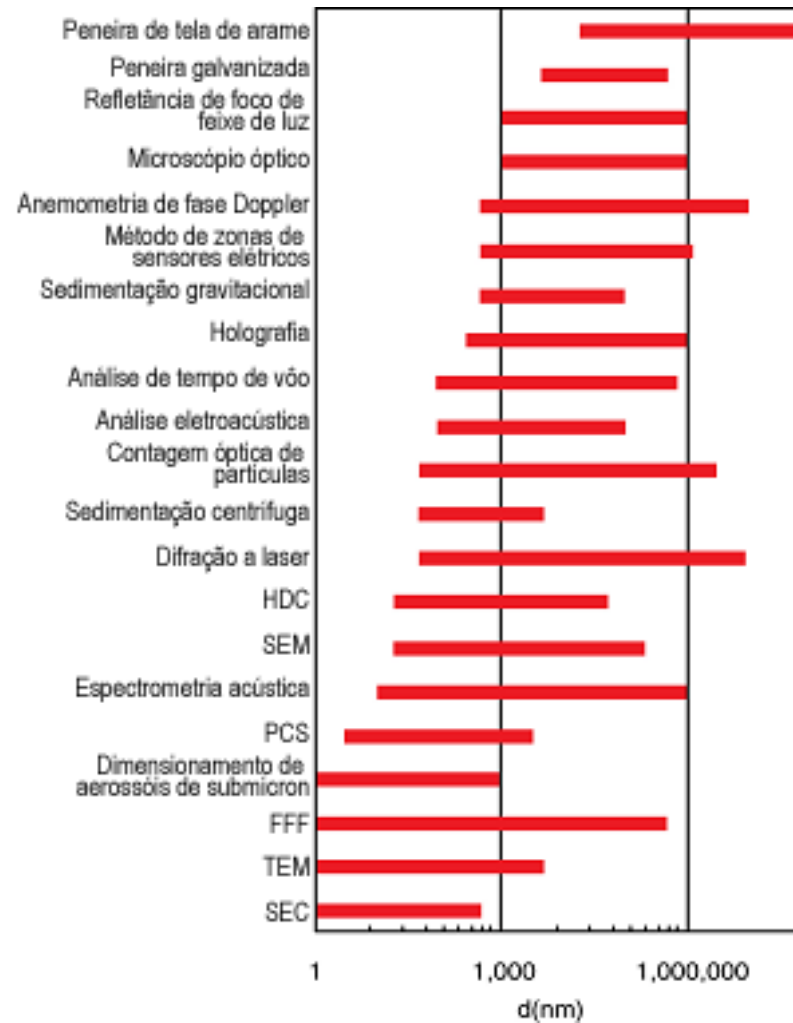


Água ultrapura

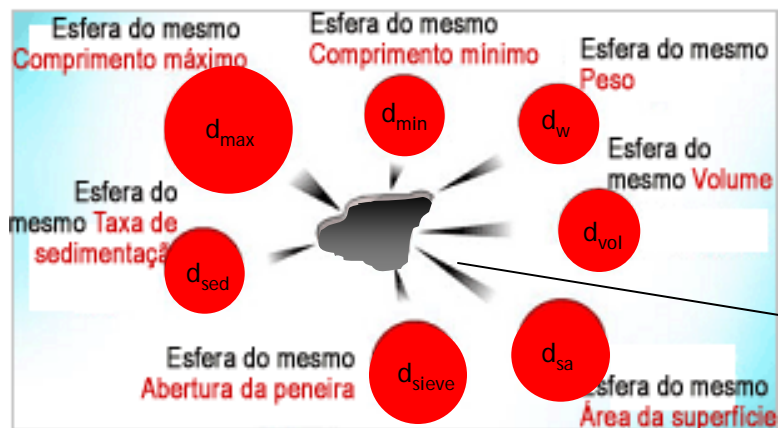
- Forças propulsoras que aumentam a necessidade de melhor desempenho dos contadores de partículas
 - Fabricações com 300 mm
 - Poucas partículas nos mais recentes sistemas AUP
 - $< 0,2$ partículas/ml (ou 200/litro) maiores do que 0,05 microns
 - Erros de partículas em um sistema de AUP têm grandes implicações financeiras
 - Maior uso
- A melhor tecnologia de monitoramento para AUP é a contagem de partículas ópticas a laser
 - Sensibilidade
 - Confiabilidade
 - Operador independente



Métodos de dimensionamento de partículas



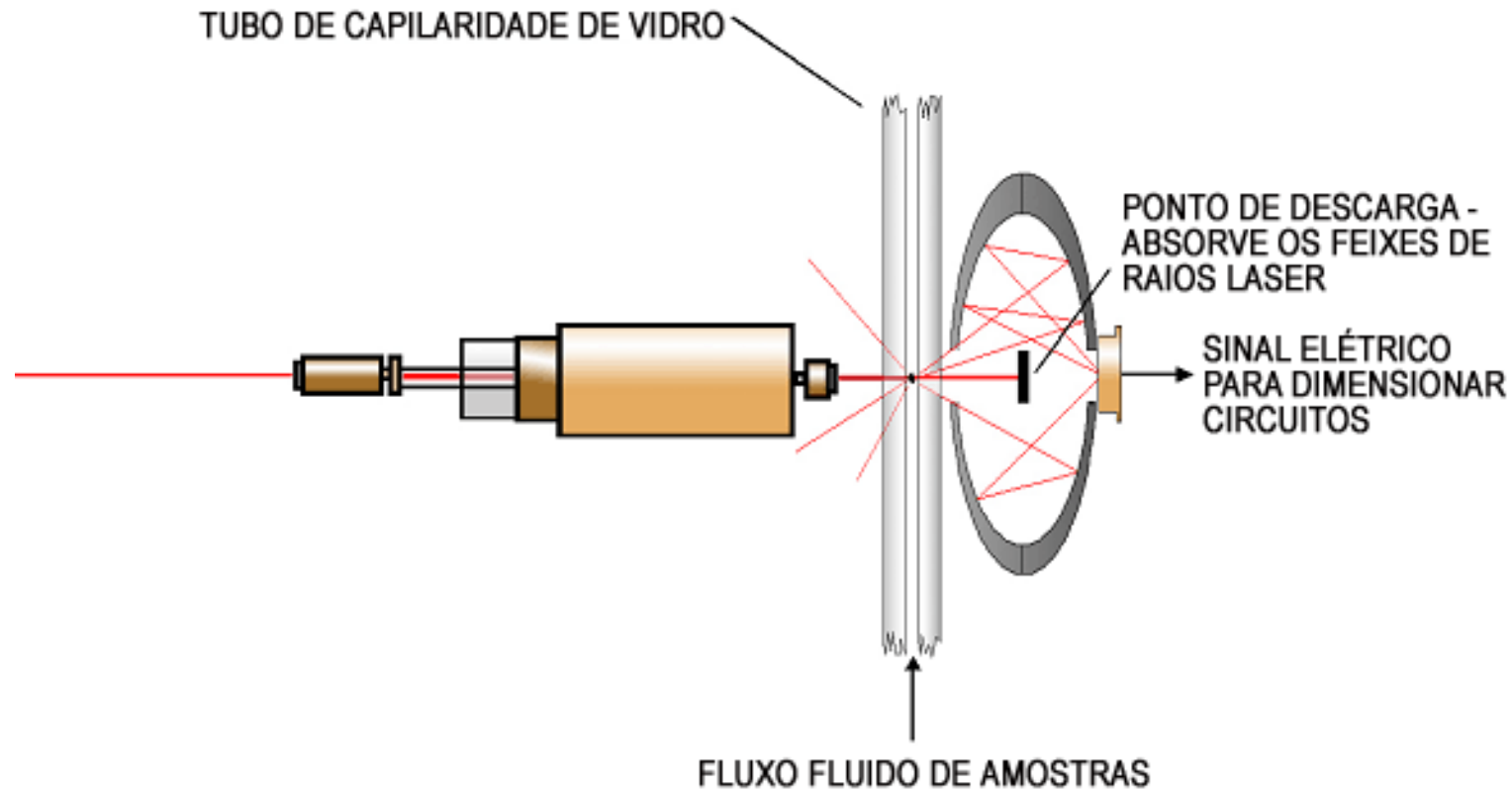
Equivalentes esféricos de medições



Esfera com mesmo
"equivalente óptico"
(látex de poliestireno)



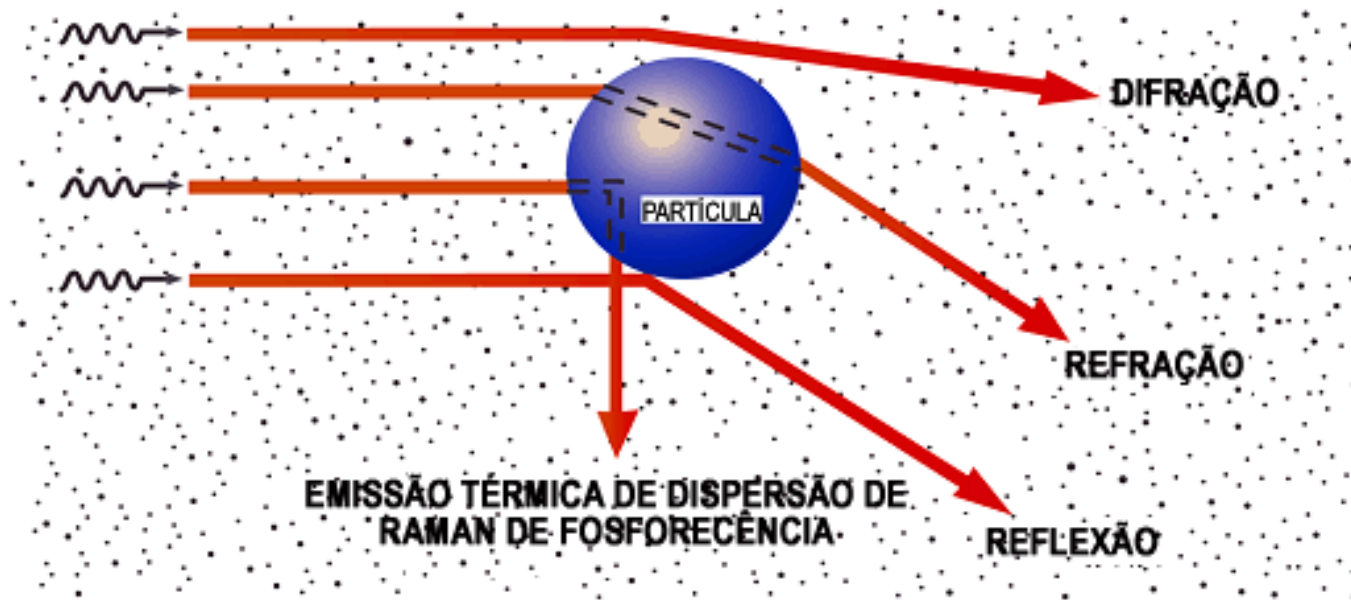
Contador de partículas líquidas



Propriedade da Particle Measuring Systems



Fenômeno de dispersão

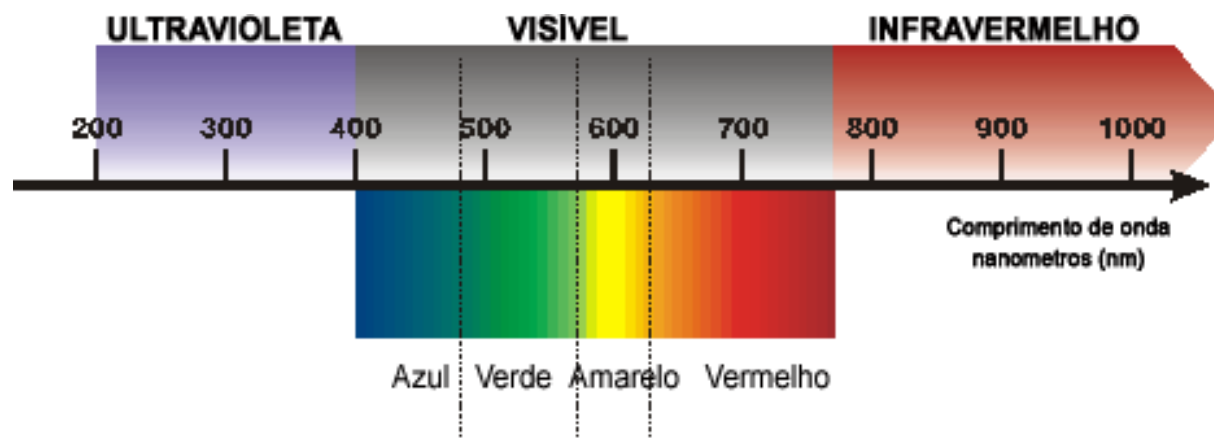


Propriedade da Particle Measuring Systems



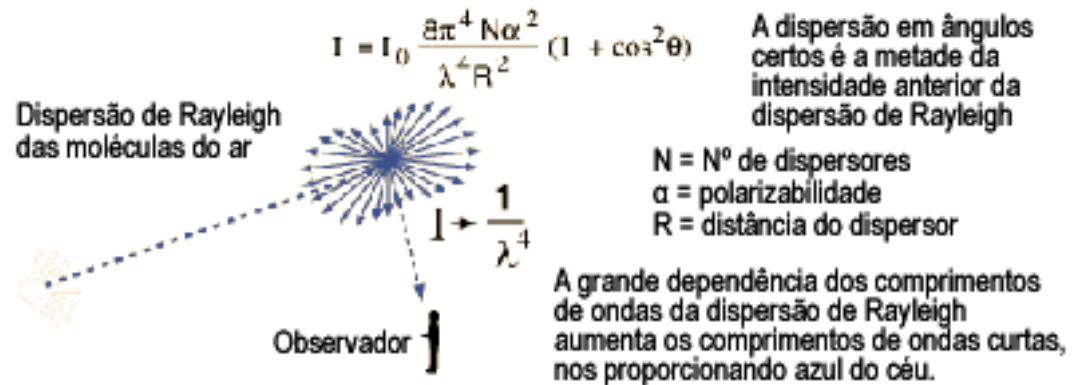
Domínios de dispersão

- Dispersão de Rayleigh
 - Partículas muito menores do que o comprimento de ondas de luz
- Dispersão de Lorenz-Mie
 - Tamanhos de partículas comparáveis ao comprimento de ondas de luz
- Dispersão geométrica
 - Partículas muito maiores do que o comprimento de ondas de luz



Dispersão de Rayleigh

$$I_s \sim \lambda^2 f(\alpha) = \lambda^2 \alpha^6 = \frac{d^6}{\lambda^4}$$



- Intensidade da dispersão muito independente da forma da partícula
- Refração domina
- Dispersão simétrica (frente = atrás)

Dispersão de Lorenz-Mie



$$I_s \sim \lambda^2 f(\alpha) = \lambda^2 \alpha^{(6 > n > 2)} = \frac{d^{x < 6}}{\lambda^{y < 4}} \text{ to } \frac{d^{x > 2}}{\lambda^{y > 0}}$$

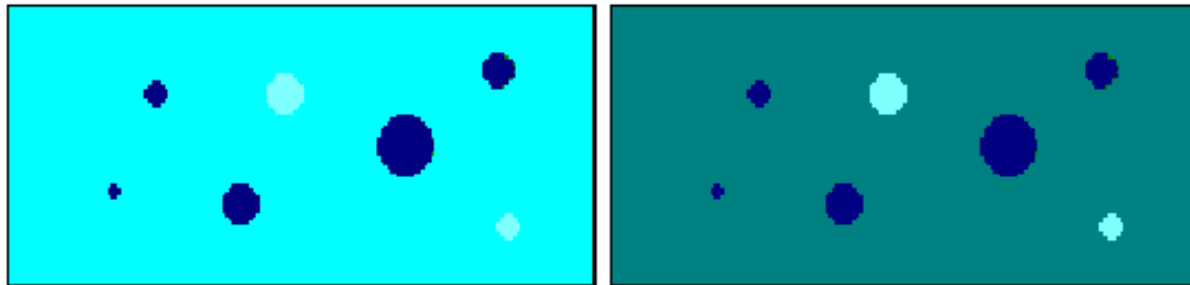
- Intensidade de dispersão e distribuição angular muito dependente da forma da partícula
- Intensidade e polarização oscilam em função do angulo de dispersão
- Dispersão assimétrica (frente >> atrás)
- Lobo da frente principalmente difração (torna-se mais concentrado)



Índice do componente de refração

- A intensidade de dispersão depende do “Contraste de IR”

$$IR_Contrast = \frac{Particulate_IR}{Media_IR}$$



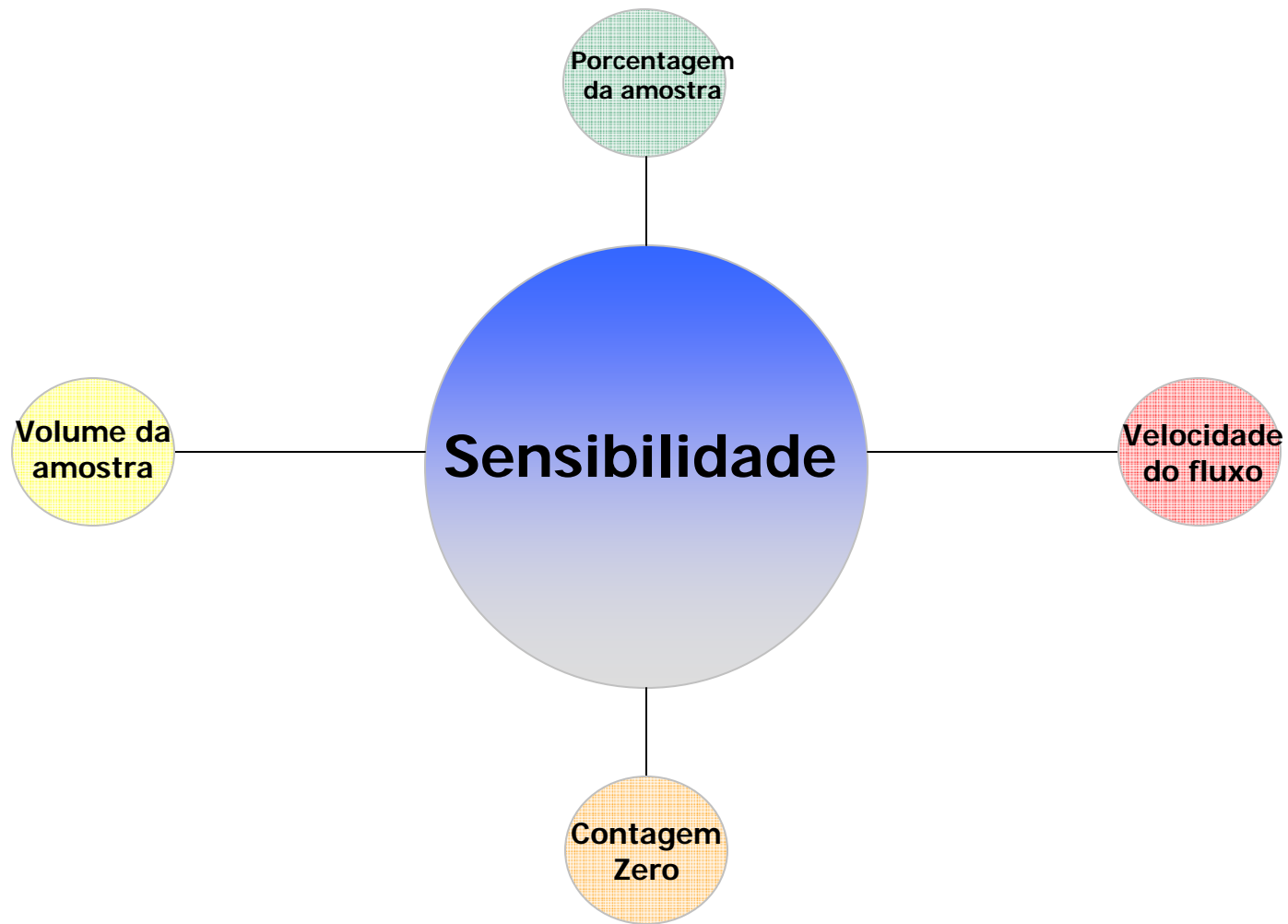
Índice de refração

- Índices refrativos de partículas típicas e vários meios de amostras ($\lambda = 633 \text{ nm}$)

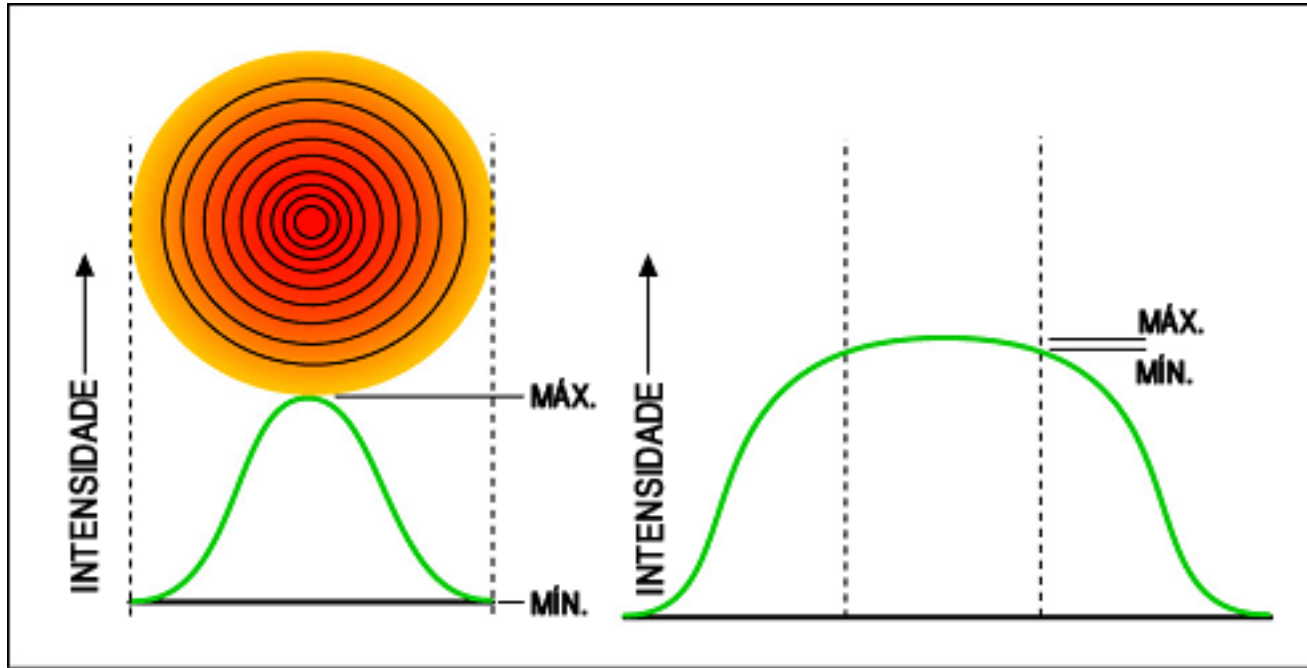
Material Particulado	Índice refrativo
<i>Dióxido de silício (Sílica)</i>	1,45
<i>Silicone</i>	3,9
<i>látex de poliestireno (PSL)</i>	1,59
<i>Aço</i>	2,5
<i>Cobre</i>	0,45
<i>Alumínio</i>	1,9
Meios de amostras	
<i>Água</i>	1,33
<i>Ácido fluorídrico (50%)</i>	1,29
<i>Hidróxido de amônio (29%)</i>	1,33
<i>Ácido clorídrico (37%)</i>	1,41
<i>Ácido sulfúrico (96%)</i>	1,46



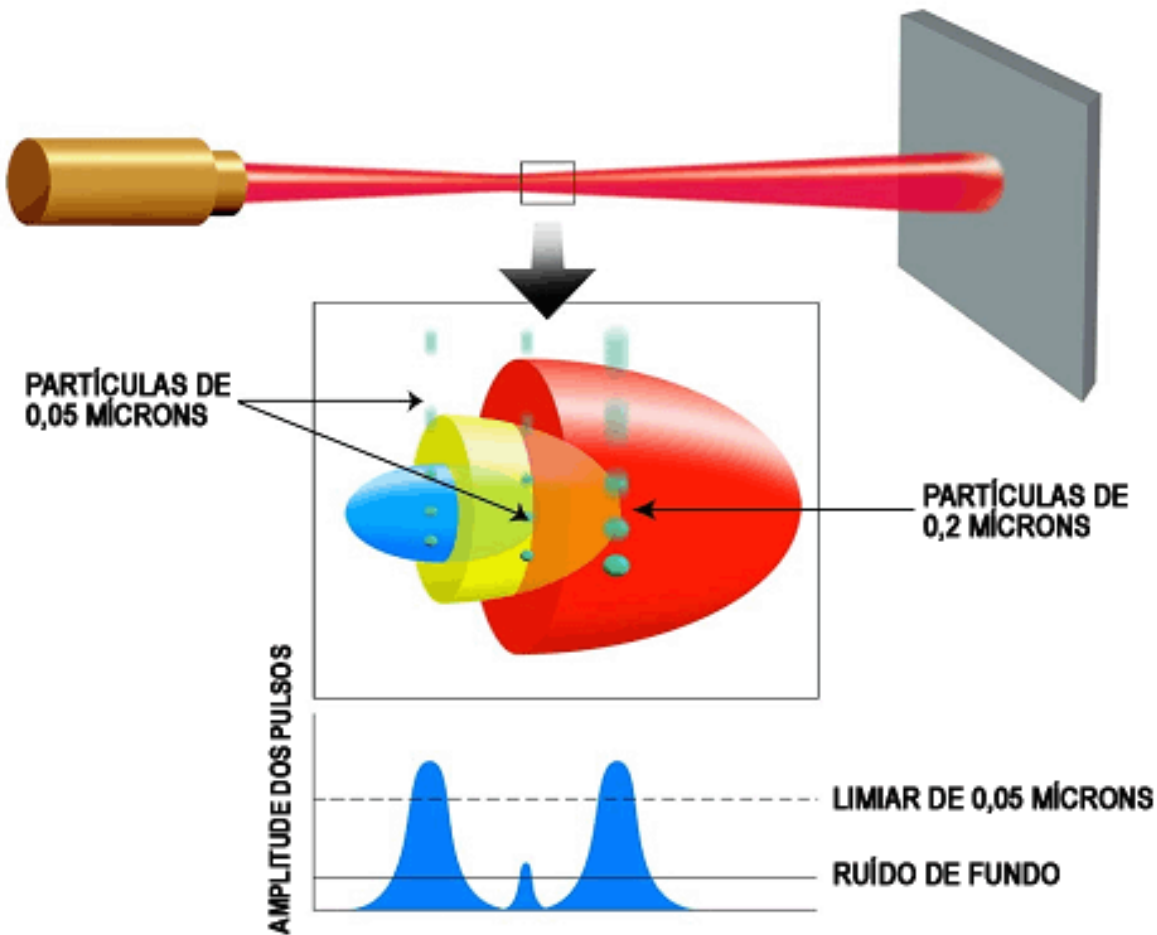
Considerações sobre os instrumentos



Perfil de intensidad de laser



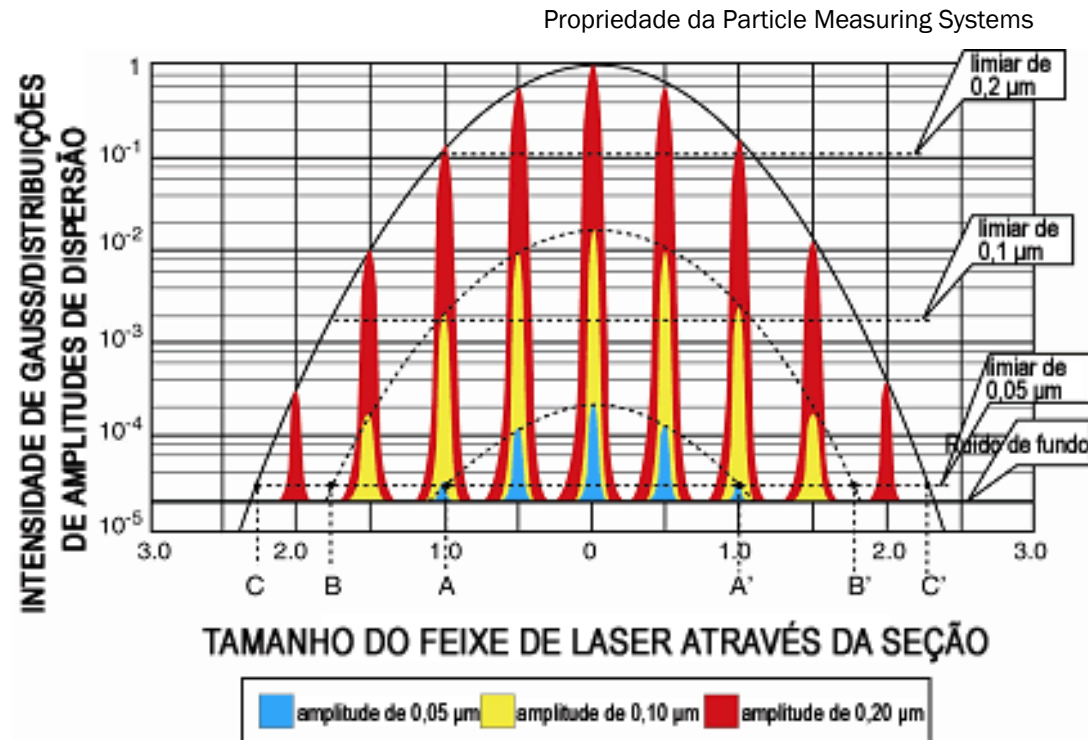
Dimensionamento x Perfil do feixe de laser



Propriedade da Particle Measuring Systems



Limiar de dimensões x Perfil do feixe de laser

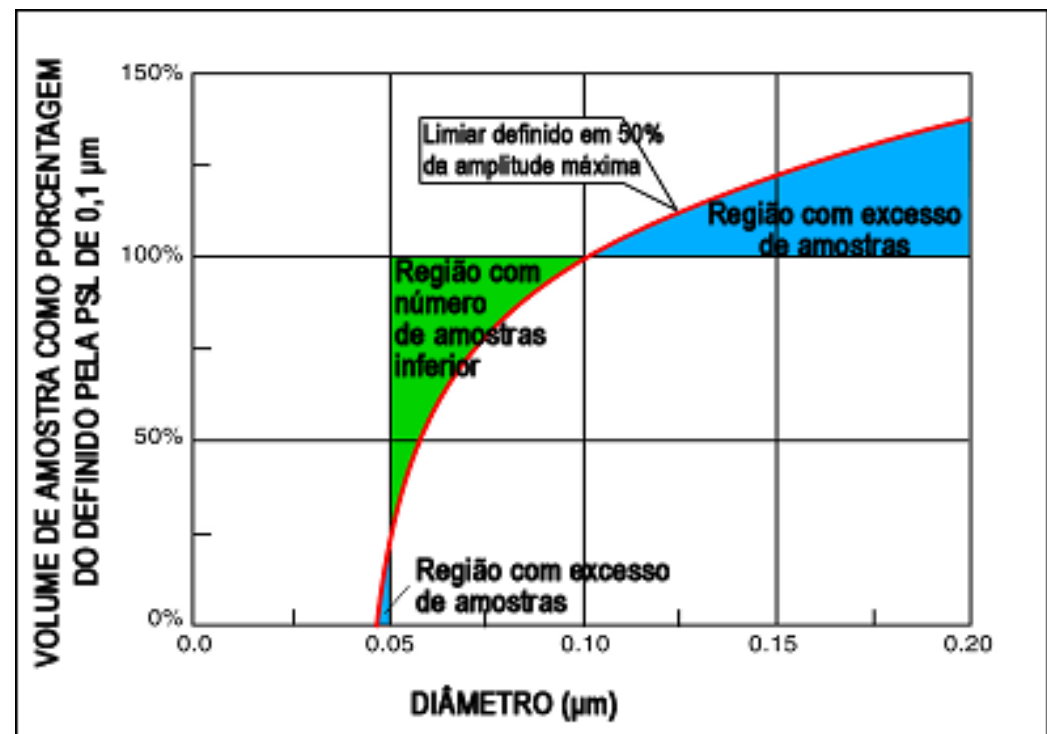


- Partículas dimensionadas mais precisamente apenas entre A e A'
- Partículas grandes podem ser armazenadas no primeiro canal
- 4 x de diferença no tamanho da partícula = 3.000 X de diferença no sinal



Volume de amostra para monitores não-volumétricos

- Semelhante ao volumétrico, exceto que há uma outra região de contagens excessivas
- As partículas grandes são dimensionadas incorretamente no primeiro canal
- Excesso de contagens pode ser significativo em projetos fracos de OPC



Efeito do volume da amostra

- Sem medição não há controle
 - Sem dados...
 - Presume-se 100 partículas/l > 0,05 μm

Contador de partículas	Volume da amostra	Tempo para medir 1 litro de fluido
Ultra DI® 50	3,75 ml/min	4,4 h
HSLIS M50e	0,25 ml/min	2,8 dias
Concorrente	0,1 ml/min	6,9 dias

Contador de partículas	Volume da amostra	Tempo para medir 1 partícula (min)	Tempo para medir 20 partículas (horas)
Ultra DI® 50	3,75 ml/min	2,7	0,9
HSIIS M50e	0,25 ml/min	40	13,3
Concorrente	0,1 ml/min	100	33,3



Estatística da contagem

- A estatística de Poisson é usada quando se analisa eventos distintos considerados distribuídos aleatoriamente
- Partículas são eventos distintos distribuídos aleatoriamente no tempo e no espaço, então, a “contagem de partículas” é descrita por uma distribuição de Poisson
- Estatística de Poisson
 - Meio = λ
 - Variância = λ
 - Desvio padrão = $\sqrt{\lambda}$

Implicações: A variabilidade nas medidas da contagem de partículas dependem grandemente do número de partículas contadas or unidade de tempo.



Exemplo

- Presuma que tenha 100 partículas por litro a $> 0,05 \mu\text{m}$
- Medido com Ultra DI[®] 50
- Limite de controle de 3 S.D. acima da média

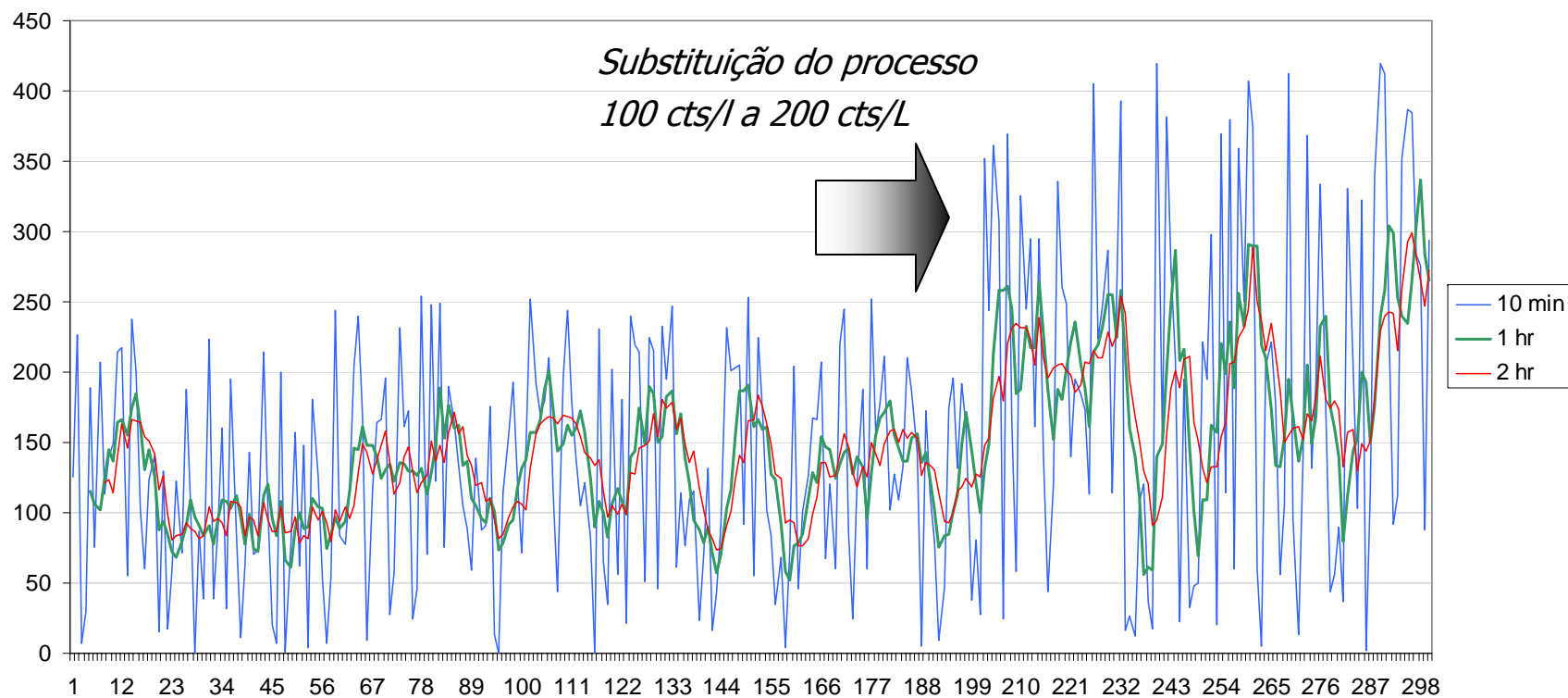


Intervalo da amostra	10 min	20 min	1 h	2 h	4 h
Limite de controle	250	210	160	140	130



Representação gráfica

Efeito do intervalo de amostras na contagem (cts/l X tempo)



Resumo da estatística

- O número total de partículas medidas pode ser muito baixo
 - Alta variabilidade nos resultados ocorre quando apenas um pequeno volume é medido e poucas partículas contadas
 - Dados de baixa qualidade proporcionam uma medição insatisfatória do desempenho do sistema
- A estatística da contagem geralmente é o limitador do desempenho
- Quanto mais partículas contadas por unidade de tempo:
 - Mais freqüente é a medição
 - Mais rígidos são os limites de controle
 - Melhor é o entendimento das variações do processo
 - Maior a prevenção de desvios



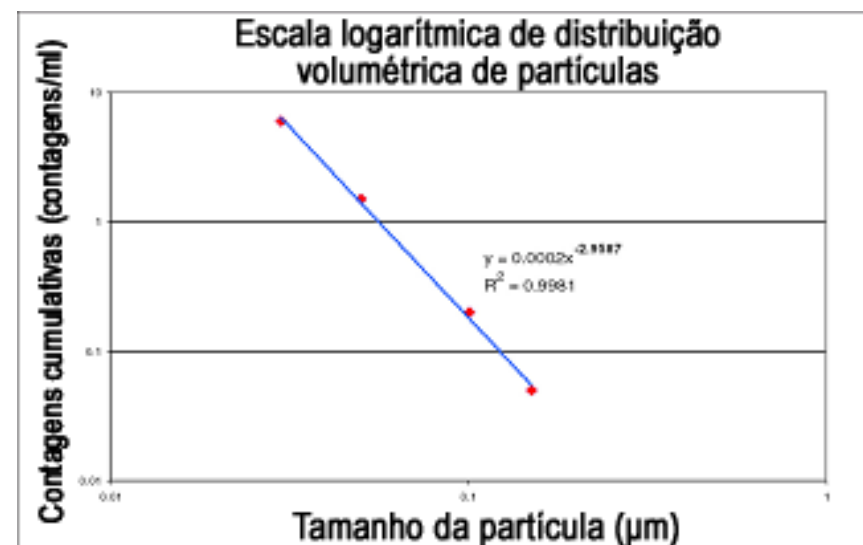
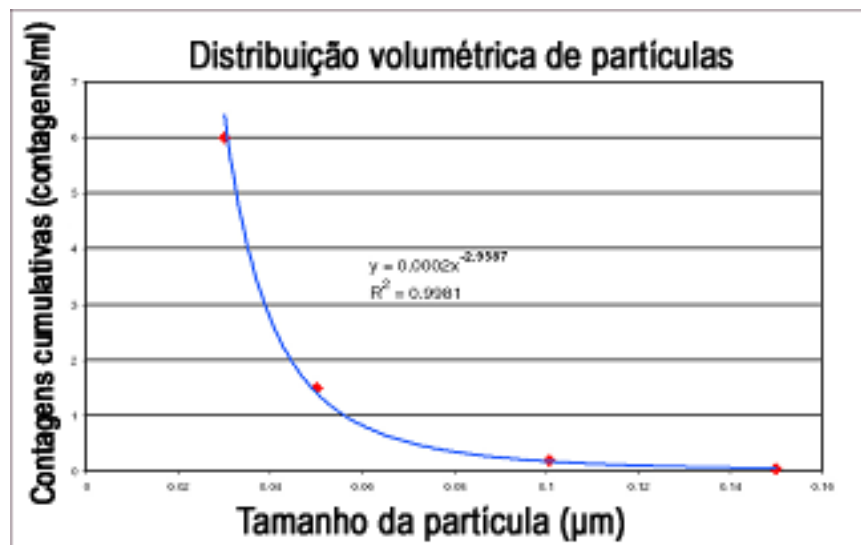
Níveis de contagens zero

- Contagem na ausência de partículas
- Especificações do Ultra DI[®] 50 para contagem zero é < 50 contagens/litro
- Presume-se zero partículas
 - Contagem zero a 50/litro
 - Média de 1 contagem a cada 5,33 min
 - 83 partículas por litro, 3 S.D. de limite de controle com 120 min de intervalos entre as amostras
- Contagem zero afetada por raios cósmicos, ruído eletrônico, etc.



PSD em água ultrapura

- Distribuições volumétricas típicas de partículas em água ultrapura
 - $1/(\text{diâmetro da partícula})^3$ é típico na água ultrapura
- Mais partículas pequenas do que grandes



Impacto da precisão das dimensões

- Sistema de água ultrapura
 - Distribuição de $1/(\text{diâmetro})^3$
 - 1 partícula/ml $> 0,05 \mu\text{m}$
- Quantas partículas $> 0,025 \mu\text{m}$?
 - = (número de partículas $> 0,05 \mu\text{m}$) * $1/(\text{razão dos diâmetros})^3$
 - $1 * 1/(0,5)^3 = \underline{8 \text{ partículas/ml} > 0,025 \mu\text{m}}$
- Regra empírica
 - Se o diâmetro da partícula diminuir duas vezes
 - O número de partículas/ml (taxa) aumentará oito vezes



Resumo

- O monitoramento de partículas é uma parte importante do roteiro do ITRS
- Os contadores ópticos de partículas se baseiam em medições de “equivalentes ópticos” das dispersões da esfera de látex poliestireno
- A precisão é apenas uma medida de desempenho do instrumento
- Uma métrica crítica de desempenho é o total de partículas contadas
- Um volume de amostra maior proporciona mais dados e estatística de contagens aprimoradas
- Sistemas de água ultrapura com operação apropriada resultam distribuição volumétrica de partículas de $1/\text{diâmetro}^3$





**PARTICLE
MEASURING
SYSTEMS**

www.pmeasuring.com

Ross Bryant
Diretor de Marketing
rbryant@pmeasuring.com
303.419.2128

