

Guia básico para a tecnologia de partículas

Steven D. Kochevar, janeiro de 2006

Seção I.

Partículas

Esta seção descreve a natureza física, as origens e o comportamento das partículas.

Partículas

Tipos e origens

Geralmente, há três tipos de partículas: orgânicas inertes, orgânicas viáveis e inorgânicas inertes. As partículas orgânicas inertes se originam de substâncias orgânicas não-reativas, que são substâncias derivadas de organismos vivos e contêm componentes derivados do carbono. As partículas orgânicas viáveis são capazes de viver, se desenvolver ou germinar em condições favoráveis; bactérias e fungos são exemplos de compostos orgânicos viáveis. As partículas inorgânicas inertes são substâncias não-reativas, como areia, sal, ferro, sais de cálcio e outras substâncias minerais.

Em geral, partículas orgânicas se originam de matéria viva composta de carbono, como animais ou plantas, mas não estão necessariamente vivas. As partículas inorgânicas se originam de matéria que nunca teve vida, como minerais. Uma célula de pele morta é uma partícula orgânica inerte, um protozoário é uma partícula orgânica viável, e um grão de pó de cobre é uma partícula inorgânica inerte.

As partículas têm diversas origens. As partículas inertes geralmente se desenvolvem quando se esfrega um material em outro, por exemplo, o pó produzido quando se corta um pedaço de madeira. Os seres humanos espalham milhares de partículas inertes com a pele morta que desprendem continuamente e, além disso, grandes quantidades de partículas viáveis. Motores elétricos geram partículas inertes quando as escovas metálicas friccionam componentes em rotação. Plásticos, quando expostos à luz ultravioleta, lentamente soltam partículas inertes.

Dimensão

No contexto dos métodos de produção contemporâneos, as menores partículas são tão pequenas que não podem ser consideradas contaminação destrutiva. Essas partículas pequenas são menores muitas vezes do que um átomo e se chamam *partículas subatômicas*. A próxima família, em ordem crescente das dimensões, é a dos átomos, seguida das moléculas, que são grupos de átomos.

A contaminação molecular particularmente interessa aos ambientes de produção de semicondutores que seguem a *Lei de Moore*. Em 1965, Gordon E. Moore, co-fundador da Intel Corporation, disse que o número de transístores de um circuito integrado dobra a cada dois anos. Com o tamanho fixo do circuito integrado, a única forma de se dobrar o número de transístores é diminuir o seu tamanho. Esses transístores rapidamente estão diminuindo para tamanhos moleculares, e a contaminação molecular pode limitar a eficiência da produção.

Por causa da contaminação molecular, aplicações em diversos processos de produção se concentram em medidas de partículas em micra. Essas partículas têm tamanho que variam de menos de um micron (μm) a aproximadamente 100 μm . O comprimento de um micron equivale a 1/1000 do milímetro.

Comparativamente, 25.400 μm equivale a 2,54 cm, um grão de sal mede aproximadamente 60 μm e o cabelo humano tem espessura de 50 a 150 μm . O olho humano normal não pode ver partículas menores do que 40 μm . A maioria dos processos de produção modernos tem pouco interesse nas partículas maiores do que 100 μm e menores do que 0,01 μm . As partículas maiores de 100 μm são facilmente filtradas, e as partículas menores de 0,01 μm são pequenas demais para causar danos. Além disso, a International Organization for Standardization (ISO) não oferece classificações para partículas menores do que 0,1 μm (chamadas de *partículas ultrafinas*) nem

para partículas maiores do que 5,0 μm (chamadas de *macropartículas*). A Tabela 1 apresenta uma lista de algumas partículas comuns e seus tamanhos relativos.

Conteúdo das partículas	Tamanho da partícula (em micra)
Cabelo	50 - 150 μm
Visível	50 μm
Vírus da gripe	0,07 μm
Pólen	7 - 100 μm
Partículas do espirro	10 - 300 μm
Pó	0,1 - 100 μm
Bactéria	1,0 - 10 μm

Tabela 1: Tamanhos de partículas comuns

Há diversas maneiras diferentes de se medir uma partícula. A Figura 1 exibe os métodos padrão usados. A esfera, indicada a seguir por linhas tracejadas, representa a esfera de látex poliestireno (PSL) equivalente à partícula; uma partícula sintética usada para calibrar contadores de partículas e filtros de teste.

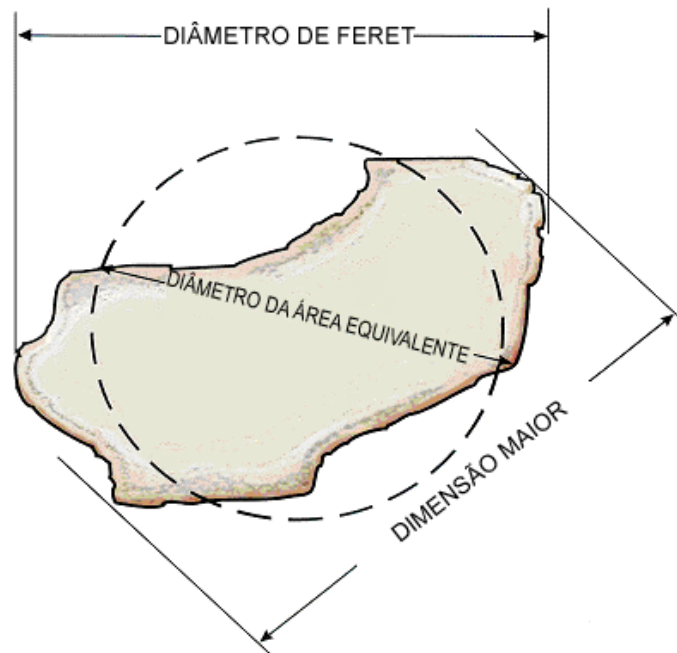


Figura 1: Dimensões da partícula

O termo científico de cada tipo de medida é útil em contextos diferentes, especialmente no microscópio. O diâmetro de Feret é a distância medida entre linhas paralelas teóricas que são traçadas tangentes ao perfil da partícula e perpendicular à escala ocular. As partículas que caem em uma superfície adotarão seu estado mais mecanicamente estável, isso quer dizer que apresentarão sua maior área ao observador e, conseqüentemente, sua maior dimensão.

Algumas partículas podem mudar de tamanho. Uma partícula orgânica viável, como um paramécio, é um microorganismo que, como a maioria dos animais, é composto principalmente de água. Se um paramécio for dessecado (ele seca), ele ficará bem menor do que era quando estava hidratado (cheio de água).

O tamanho da partícula é relevante no processo de produção. Dependendo do processo de limpeza, tamanhos de partículas específicos podem causar danos. Na indústria de semicondutores, partículas de submicron afetam o número de chips produzíveis. Na indústria de unidades de disco, as partículas podem danificar as cabeças de leitura e gravação. Na indústria farmacêutica, as partículas maiores podem afetar a interação de uma droga com o corpo. Como usamos filtros para remover a maioria da contaminação particulada, saber o tamanho relevante das partículas permite a compra de filtros com *tamanho de poro* correto para remover a contaminação e aumentar a produtividade.

Distribuição de curva de sino (Distribuição gaussiana)

Realisticamente, padrões de partículas raramente têm exatamente o mesmo tamanho de um canal de dimensão específica. Se usarmos partículas de $0,3\ \mu\text{m}$ como exemplo, a maioria das partículas é um pouco maior ou um pouco menor do que $0,3\ \mu\text{m}$. Chamamos $0,3\ \mu\text{m}$ de dimensão *nominal* da partícula porque é conveniente (em vez de chamá-las, por exemplo, “partículas de $0,2547\ \mu\text{m}$ a $0,3582\ \mu\text{m}$ ”). A diferença da dimensão da partícula e a dimensão nominal é a variância. A variância é igual ao valor do quadrado do desvio padrão.

Se mensurar precisamente um número de partículas com dimensão nominal $0,3\ \mu\text{m}$ e fizer um gráfico dos resultados, esse gráfico se parecerá com o Gráfico 3.

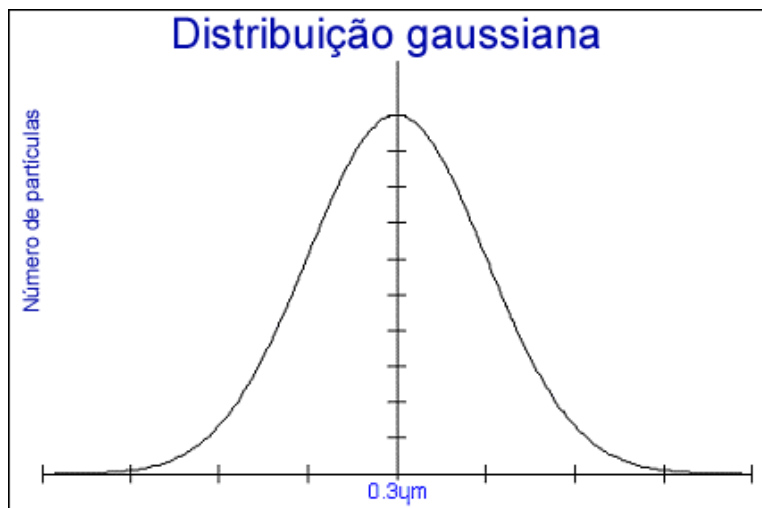


Gráfico 3: Distribuição gaussiana (Distribuição de curva de sino)

No gráfico, a maioria das partículas está centrada em $0,30\ \mu\text{m}$, com menos partículas maiores ou menores do que $0,30\ \mu\text{m}$.

Em um contador de partículas, as partículas que não são incluídas na distribuição normal (gaussiana) serão incluídas no próximo receptáculo de dimensão maior ou menor.

Concentrações

Geralmente, em um pé cúbico (28 l) de ar de interiores, podemos esperar 1.000.000 de partículas maiores do que $0,5\ \mu\text{m}$. Para comparar, no meio do oceano ou de uma montanha alta, um pé cúbico de ar contém apenas 34 partículas ou 169 partículas maiores do que $0,5\ \mu\text{m}$, respectivamente.

Em líquidos, um único mililitro de água ultrapura de uma sala limpa contém menos de 1 partícula maior do que $0,05\ \mu\text{m}$. Mas um mililitro de água potável pode conter 1.200.000 partículas maiores do que $0,05\ \mu\text{m}$.

Produzindo significantes concentrações de partículas, os seres humanos desprendem aproximadamente 30 cm³ de partículas de pele por dia. O simples processo de exalar ar pode produzir milhares de partículas, especialmente se originadas dos fumantes. Mas o simples ato de beber um copo de água significativamente reduz as partículas exaladas. A Figura 2 mostra como a atividade humana produz partículas.

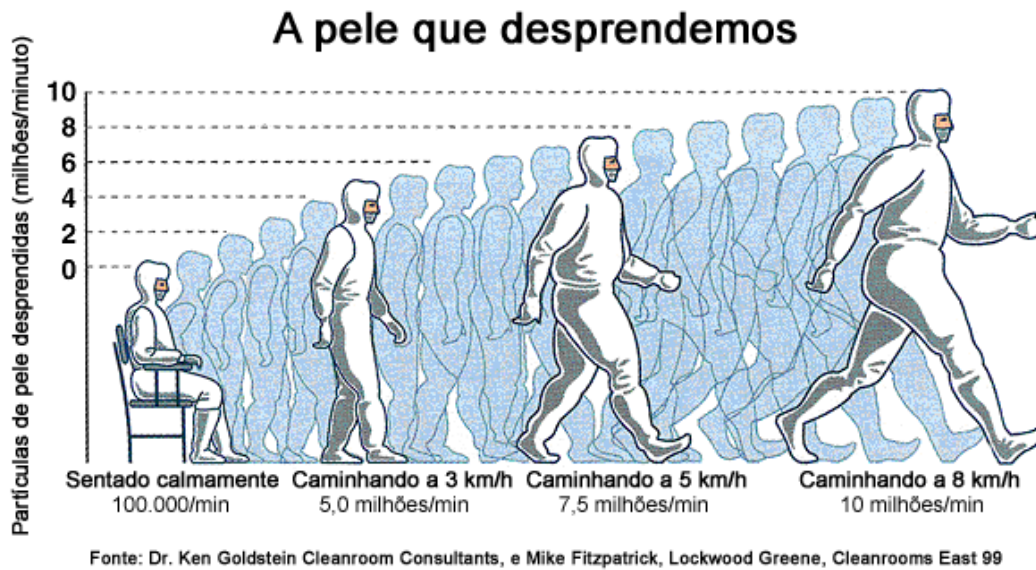


Figura 2: Produção de partículas

Distribuições

Partículas aerotransportadas e líquidas em condições ambientes seguem a distribuição comum de classificação de dimensões. As distribuições de partículas aerotransportadas seguem os Padrões de Sala Limpa ISO 14644 que usam Distribuição Exponencial. A Distribuição Exponencial relaciona dados de um canal de classificação de partículas com o canal seguinte. Se plotarmos os dados em um gráfico log-log, eles produzirão uma linha reta; semelhantemente, se plotarmos os dados em um gráfico padrão de eixos X e Y, eles produzirão uma linha exponencialmente decrescente.

Estudos subseqüentes sobre partículas demonstraram distribuições de partículas aerotransportadas proporcional a $1/(\text{diâmetro})^{2,1}$. Distribuições de partículas líquidas variam de $1/(\text{diâmetro})^2$ a $1/(\text{diâmetro})^{4,5}$, mas $1/(\text{diâmetro})^3$ é usado como padrão nas distribuições líquidas na maioria dos ambientes.

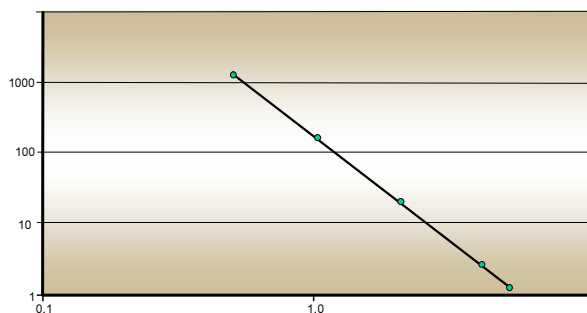


Gráfico 1: Partículas no ambiente (Plotagem log-log)

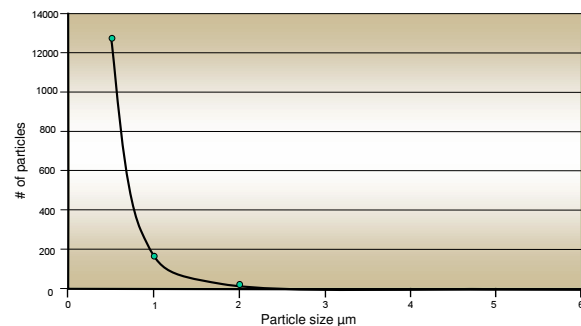


Gráfico 2: Partículas no ambiente (Plotagem no eixo X e Y)

Exemplo da fórmula de Distribuição Exponencial:

- Testes em água potável mostram 20 partículas/ml > 2,0 µm
- Use a fórmula de distribuição de partículas líquidas $1/(\text{diâmetro})^3$
- A fórmula calcula quantas partículas são > 0,5 µm:
 - (número de partículas > 2 µm)* $[1/(\text{razão entre os diâmetros das partículas})^3]$
 - (20)* $[1/(0,5 \text{ µm}/2,0 \text{ µm})^3]$
 - 1280 partículas > 0,5 µm
- A água potável contém 20 partículas/ml > 2,0 µm e 1280 partículas/ml > 0,5 µm.

Substâncias

Quase tudo pode produzir partículas nas circunstâncias certas. Em uma sala limpa, os produtores de partículas mais prolíferos são geralmente as pessoas. As pessoas produzem partículas quando soltam células da pele, borrifam perfume/colônias/spray de cabelo, perdem cabelo, respiram, espirram, etc.

Todas as partículas podem ser classificadas de acordo com os seus grupos:

- Partícula: uma única partícula inteiramente com material semelhante.
- Agregado: um grupo de partículas unidas por intensas forças atômicas ou moleculares. As forças de atração das partículas podem ser comparadas às que unem um pedaço de concreto.
- Aglomerado: um grupo de partículas unidas por forças mais tênues de adesão e coesão. As forças de atração das partículas podem ser comparadas às que unem uma massa de sujeira.
- Flocculado: um grupo de partículas unidas pelas forças mais tênues. As forças de atração das partículas podem ser comparadas a do pó que repousa em uma mesa.

Mecânica das partículas

As partículas exibem algumas tendências. Elas se movem pelo ar (e por outros meios) através de forças balísticas ou de difusão. As partículas podem se acumular nas superfícies por causa da gravidade e da adesão eletrostática. Nos líquidos, as partículas podem se aderir a bolhas de ar, se agarrar às paredes de um duto ou de um recipiente ou se aglomerar em uma massa maior.

Importância relativa da Gravidade X Outras forças

Como toda a matéria, as partículas são influenciadas pela gravidade e por outras forças, que podem incluir forças centrífugas ou elétricas. Na presença da gravidade e ausência de outras forças, as partículas maiores do que poucos micra rapidamente se acomodarão em superfícies ou em paredes de tubulações de prova. De modo contrário, as partículas de submicron podem permanecer suspensas no ar por muito tempo. Mas se as partículas sofrem a influência de forças centrífugas ou elétricas, elas podem resistir à gravidade, ser transportadas por maiores distâncias ou sofrer atração óptica. Um exemplo simples de atração óptica de partícula é pela tela da televisão. A poeira (partículas) é atraída pela tela por causa de grandes forças elétricas de energia. A tendência de partículas se sedimentarem em superfícies é conhecida como *coeficiência de sedimentação*, e quando usada com a Lei de Stokes, as eficiências de sedimentação podem ser apresentadas da seguinte maneira:

Tamanho das partículas (em μm)	Velocidade de sedimentação (em cm/s)
0,0037	---
0,01	$6,95 \times 10^{-6}$
0,1	$8,65 \times 10^{-5}$
1,0	$3,5 \times 10^{-3}$
10,0	$3,06 \times 10^{-1}$
100,0	$2,62 \times 10^{-1}$

Tabela 2: Velocidade de sedimentação

Movimento

Forças balísticas: Partículas ejetadas de uma ferramenta ou um processo podem acabar se movendo predominante contra o fluxo de ar em vez de serem distribuídas uniformemente pelo ambiente. Gradualmente, as partículas migrarão para as áreas de menor pressão, mas por causa da contribuição contínua de partículas causada pela ferramenta ou processo, a distribuição uniforme das partículas pelo ambiente raramente ocorre.

Difusão: Imagine colocar tinta vermelha em um balde de água limpa. Depois de um tempo, toda a água do balde se torna uniformemente vermelha. Esse fenômeno é a *difusão* e também acontece quando um gás ou líquido parece imóvel. As partículas suspensas em um fluido (líquido ou gás) são movidas por diversas forças: correntes, variações térmicas e movimentos Browniano.

Correntes: Correntes são movimentos laminares (suaves) e turbulentos (agitados) de ar ou fluidos. As correntes são o resultado de diferenças de pressão, com um movimento que se desloca de uma área de alta pressão para uma área de baixa pressão. As partículas suspensas em um fluxo laminar tendem a permanecer naquela parte do fluido. No ar, o movimento lateral (de um lado para outro) chama-se *advecção*, e o movimento vertical (para cima e para baixo) é *convecção*.

Variação térmica (termoforese): As diferenças de temperatura em um fluido influenciam as correntes, particularmente correntes convectivas (verticais). Simplesmente, a termoforese descreve o movimento das partículas em um gradiente de temperatura, à medida que elas se deslocam de uma região quente para uma região mais fresca.

Movimento browniano: Partículas pequenas suspensas em gás ou líquidos entram em contato com moléculas de gás. Essas moléculas se chocam com as partículas pequenas e alteram a sua trajetória.

O caminho da partícula, que foi alterado pelas moléculas, chama-se *movimento browniano*. Aquecer um fluido leva as moléculas a se tornarem mais energéticas, a colidirem com mais frequência e a se moverem para mais longe das outras moléculas e, por isso, torna o movimento browniano mais intenso.

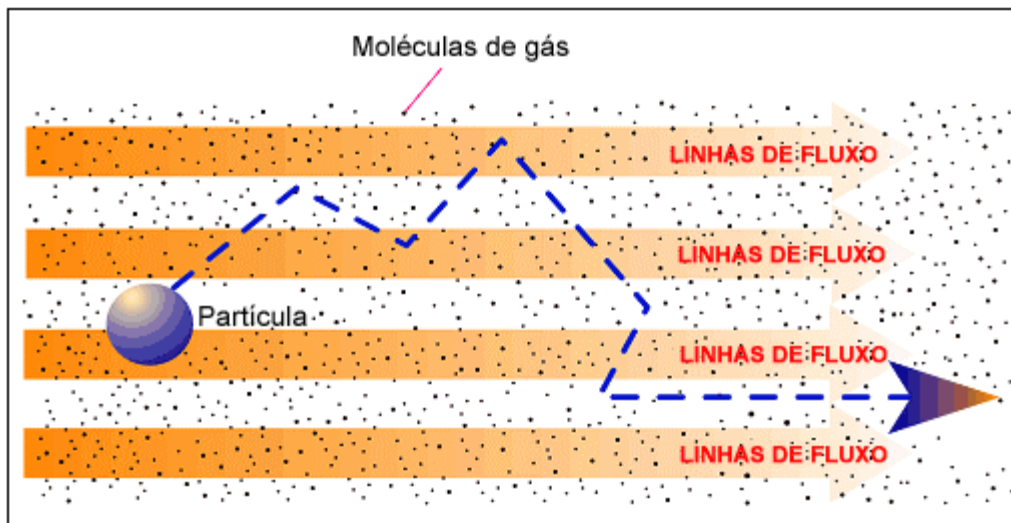


Figura 3: Movimento browniano

Adesão

Muitas forças agem em uma partícula e a retira do seu estado livre (difuso). As principais forças adesivas são descritas a seguir.

Adesão eletrostática: Esfregar um balão no cabelo cria uma camada de eletricidade estática no balão. Isso cria adesão eletrostática. Da mesma forma, as partículas podem carregar eletricidade estática que as atraem para superfícies com cargas opostas.

Aglomeração: A aglomeração ocorre quando as partículas se unem firmemente. Nos líquidos, as partículas tendem a se aglomerar em bolhas de gás.

Acreção: A acreção define o crescimento da matéria formada de partículas à medida que elas se unem. A adesão eletrostática ou outras forças “adesivas” estimulam a acreção de partículas e, em algumas condições, duas partículas que se unem são chamadas de *duplete*.

Atrito: As partículas podem se aglutinar em uma superfície áspera quando o movimento, ou o atrito, não é intenso o suficiente para desalojá-las.

Depois de explicados esses princípios de adesão, os principais mecanismos de um filtro para captar partículas são adesão eletrostática e atrito.

Ciclo de movimento e adesão

A difusão e a adesão coexistem em um ciclo contínuo: as partículas circulam, se aderem, se desprendem e voltam a circular. Esse ciclo cria constantemente valores variáveis para o número e dimensões de partículas. Por isso, os detectores de partículas analisam um volume de fluido e podem correlacionar os dados com concentrações de partículas por unidade de volume.

Transporte de partículas pela tubulação

Como mencionado anteriormente, o sistema de coletores múltiplos coleta partículas de áreas distintas e transporta as amostras para um contador de partículas que está localizado em outro lugar. Geralmente, um tubo ou duto proporciona a coleta remota de amostras, mas quando o meio da amostra em um tubo é transportado de um local remoto para o contador de partículas, duas coisas acontecem:

- Há perda de pressão

- Algumas partículas se aderem à tubulação.

Alguns fatores que colaboram com a mobilidade das partículas na tubulação precisam ser entendidos. A Tabela 4 descreve a perda de pressão em função da distância, usando o sistema padrão de fluxo de ar de 3 CFM (pé cúbico por minuto) por ponto de amostra. A seguir, descrições resumidas da terminologia.

Diâmetro (DI)	Coefficiente de Reynolds	Perda de pressão (psi/metro)	Velocidade do gás (m/segundo)
4 mm	9150	0,98	40,35
5 mm	7360	0,34	25,9
6 mm	6130	0,15	18,0
¼"	5780	0,11	16,0
7 mm	5250	0,07	13,2
8 mm (5/16")	4585	0,04	10,1
9 mm	4070	0,02	8,0
3/8"	3865	0,016	7,2
10 mm	3670	0,013	6,5

Tabela 4: Perda de pressão do ar com a distância

Diâmetro interno: O diâmetro interno de um tubo é nomeado *DI*.

Coefficiente de Reynolds: A razão entre forças inerciais ($v_s \rho$) e forças viscosas (μ/l) que é usada para determinar se o fluxo é laminar ou turbulento. O coeficiente de Reynolds leva em conta fluxos em um tubo influenciados pela forma, uniformidade interna, retidão, viscosidade do fluido, pressão do ar no ambiente e temperatura.

Perda de pressão: A pressão do ar diminui proporcionalmente ao comprimento do tubo. Assim, se 10 psi de pressão de ar entram em um tubo de 20 metros de comprimento e 7 mm de largura, a pressão na outra extremidade será 8,6 psi.

Velocidade do gás: A velocidade na qual o gás se desloca na linha.

Perda de partículas

Para minimizar a perda de partículas na tubulação, essa deve sempre estar na horizontal, se possível, e ter o menor número de curvas. Se forem necessárias curvas na tubulação, o raio da curva, medido pela parte interior da curvatura, não deverá ser menor do que 15 cm (6"). Além disso, o diâmetro e o material da tubulação devem favorecer o transporte das partículas. A tubulação de polímero condutivo Bev-A-Line® com DI 3/8" geralmente é instalada em coletores múltiplos de aerossol e proporciona excelente transporte de partículas com custo razoável. Alguns materiais para as tubulações nem sempre estão disponíveis, ou são viáveis economicamente, para reduzir as perdas de partículas, a seguinte lista está em ordem de preferência:

1. Aço inoxidável
2. Polímero condutivo
3. Poliéster

4. Vinil (se o plastificante não interferir)
5. Polietileno
6. Cobre
7. Vidro
8. Teflon
9. Alumínio.

Seção II.

Ambientes

Esta seção descreve o uso de ambientes especializados e de filtragem para controlar os efeitos das partículas na produção.

Ambientes

Muitos processos modernos de alta tecnologia exigem limpeza. Especificamente, eles exigem a ausência de contaminação particulada. Alguns exemplos podem explicar isso melhor.

Exemplo Um: Na indústria de produção de semicondutores, comumente nos referimos a semicondutores como “circuitos integrados” (CI), “microchips” ou “chips.” Um CI é uma peça plana de silício engravada com traços muito pequenos (fios planos) que compõem os transistores e outros componentes. Os transistores podem operar como interruptor ou como amplificador de sinais (voltagem, corrente ou energia).

Os traços de CI ficam tão próximos entre si (0,09 μm de distância e ainda estão diminuindo) que uma partícula posicionada em um traço poderia causar um curto circuito. Os fabricantes de semicondutores precisam filtrar partículas aerotransportadas de dimensões iguais ou maiores do que 0,09 μm ; partículas menores do que 0,09 μm não são grandes o suficiente para causar um curto circuito. Entretanto, com os traços ficando mais juntos, a demanda por monitores mais sensíveis aumentará.

Os CIs são dispositivos com várias camadas, com cada camada extremamente fina, por isso, para a produção, a área da superfície de um CI é igual a:

$$\text{Área}(\text{Superfície do CI}) = \text{comprimento} \times \text{largura} \times \text{número de camadas}$$

A densidade das áreas de superfície do CI aumenta a probabilidade de que partículas perdidas possam destruir todo o chip. Controlar ou eliminar a contaminação por partículas no ambiente de produção é uma preocupação importante do fabricante de semicondutores.

Exemplo Dois: A indústria farmacêutica comumente produz drogas *parenterais*. As drogas parenterais (injetáveis) não devem conter partículas que possam infectar o corpo humano ou animal.

As partículas que afetam negativamente o corpo tendem a ser maiores do que 2,0 ou 3,0 μm , e a companhia farmacêutica, como o produtor de semicondutores, deve controlar o ambiente de produção para eliminar a contaminação por partículas. Geralmente, as companhias farmacêuticas determinam a *limpeza do processo* monitorando partículas de 0,5 μm e determinam a *esterilidade do produto* monitorando partículas de 5 μm . Ao contrário, a produção de semicondutores tende a se concentrar em partículas que variam decrescentemente de 0,3 μm a 0,05 μm .

Controle da contaminação por partículas

Há três formas de se controlar partículas:

- Eliminar as partículas existentes no ambiente de produção
- Evitar ou restringir a importação de novas partículas para o ambiente de produção
- Evitar a criação de novas partículas no processo de produção.

Filtragem

A filtragem é essencial para controlar a contaminação por partículas. Há duas etapas na filtragem: direcionar as partículas para o filtro e captá-las no filtro. Direcionar as partículas para o filtro é mais difícil.

Direcionar as partículas para o filtro requer que pensemos nas partículas no ambiente de instalações típicas. As instalações têm várias armadilhas de partículas (áreas onde as partículas se acumulam), grandes áreas de superfície e muitas fontes de contaminação. O método de controle de partículas ideal preserva o fluxo laminar sempre que possível, de forma que o máximo possível de partículas seja conduzido para os filtros. Infelizmente, nem sempre é possível preservar o fluxo laminar.

A captação de partículas dentro do filtro usa quatro princípios: peneiramento, impactação, força eletrostática e movimento browniano. O material do filtro tem aberturas, ou poros, que permitem que o ar ou líquido passe (seja peneirado) enquanto as fibras no filtro captam as partículas maiores (impactação). As forças eletrostáticas têm carga oposta às cargas das partículas, isso ajuda a captar as partículas em uma placa ou fibra carregada. Mesmo assim, algumas partículas menores podem escapular por poros pequenos e resistir à impactação, mas seu movimento aleatório (movimento browniano) não permite que elas escapem do filtro. Todos esses princípios se combinam para tornar um filtro mais eficiente à medida que envelhece.

Os filtros se tornam mais eficientes à medida que as partículas gradualmente preenchem as aberturas do material do filtro, por isso, haverá menos áreas disponíveis para as partículas escapulirem. Mas a maior contaminação do filtro deixa menos área para o fluido passar e cria uma maior pressão no filtro e, conseqüentemente, limita intensamente o fluxo que passa por ele. Quando o filtro ficar saturado (completamente cheio de partículas), ele deverá ser substituído. Às vezes o material do filtro pode ser limpo e usado novamente. A Figura 3 mostra o material de um filtro e a escala relativa de 25 μm .

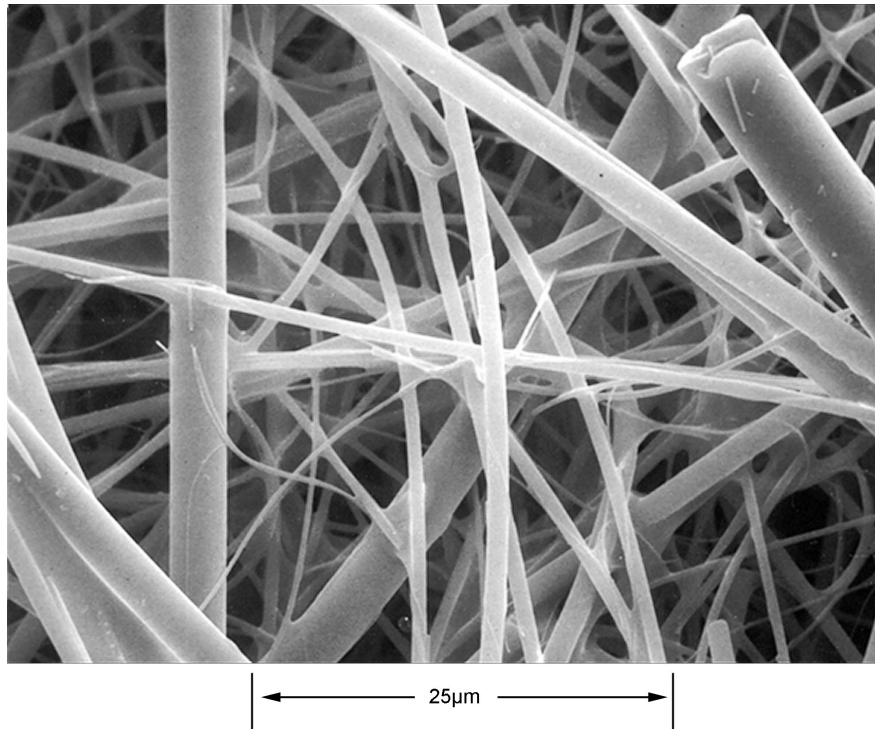


Figura 3: Material do filtro

Os materiais dos filtros se tornaram muito sofisticados e são feitos de fibras sintéticas, membranas (Gore-Tex[®]), plásticos porosos ou cerâmica. Os padrões de filtragem comuns são os seguintes:

- A filtragem HEPA (High Efficiency Particulate Air, ar particulado de alta eficiência) é o padrão da indústria nos ambientes de produção ultralimpas ou ultrapuros. Os filtros HEPA geralmente removem 99,99% das partículas iguais ou maiores do que a especificação do filtro, que normalmente é 0,3 μm . A filtragem HEPA é parte integral dos sistemas HVAC (aquecimento/ventilação/ar condicionado).
- A filtragem ULPA (Ultra Efficiency Particulate Air, ar de ultra baixa penetração) remove 99,9997% das partículas iguais ou maiores do que 0,12 μm . Ambientes de processos ultralimpas requerem filtros UPLA.

Antigamente, estudos de contaminação por partículas exigiam um microscópio para contar e dimensionar partículas no filtro. Essa técnica era demorada, exigia muito de um laboratório e não fornecia monitoramento em tempo real. Hoje, a sofisticada instrumentação de contagem de partículas executa a análise dos filtros.

Salas limpas

Ambientes de processo “limpo” devem permanecer infalivelmente limpos, então, apenas filtrar o ar da fábrica não é suficiente. Para minimizar a contaminação por partículas, é importante construir ambientes distintos, chamados *salas limpas*. Isso permite que os limites das partículas sejam mantidos em níveis mensuráveis e controlados. As salas limpas conseguem esses excelentes níveis de limpeza maximizando o fluxo de ar laminar e minimizando as armadilhas de partículas. O fluxo de ar laminar é o ar que se move em uma única direção, o que permite que as partículas sejam eliminadas da área. Armadilhas de partículas são áreas nas quais partículas se juntam e escapam do fluxo de ar laminar. Projetos cuidadosos de salas limpas podem minimizar essas áreas.

Em salas limpas eficientes, os filtros instalados no teto permitem que o ar filtrado seja direcionado para o piso. O piso do assoalho tem pequenos furos que permitem que o ar passe para baixo do piso, onde dutos de ar transportam o ar de volta aos filtros do teto. Esse processo de filtragem pode trocar todo o volume de ar da sala limpa mais de trinta vezes por hora, tornando o ambiente o mais limpo possível e minimizando o movimento advectivo de partículas.

Uma maior redução da contaminação em uma sala limpa exige que a equipe use roupas de proteção, coberturas no cabelo e barba, capuzes, proteção de sapatos e luvas. Carinhosamente, esse vestuário é chamado de *roupa de coelhinho*. Nos ambientes mais limpos, os funcionários usam roupas de coelhinho ajustadas com capacetes e máscaras com respiradores que filtram o ar exalado. O vestuário da sala limpa é extremamente importante no controle da microcontaminação para conter as partículas que são emitidas pelas pessoas.

Miniambientes e isoladores

As salas limpas mais avançadas tecnologicamente empregam miniambientes. Essas salas limpas em miniatura têm poucos metros de profundidade e isolam o produto de fontes de contaminação externas. Miniambientes têm seus próprios ventiladores de ar, filtros, controle de temperatura e umidade, braços robóticos internos ou luvas de borracha integradas. Por causa do seu tamanho, os miniambientes são significativamente mais baratos do que as salas limpas, e o seu uso está aumentando. Uma fábrica pode instalar miniambientes em uma sala limpa de classificação menor, em vez de gastar grandes somas de dinheiro na construção de instalações de última geração, e obter os mesmos resultados.

Classificação de salas limpas e miniambientes

O Padrão Federal Americano 209E, publicado em 1963, definiu a classificação e o monitoramento de salas limpas nos Estados Unidos. O Comitê Europeu de Padronização, em cooperação com a International Standards Organization (ISO), desenvolveu os padrões da Europa. Padrões diferentes causaram confusão, então, em 1992, o American National Standards Institute (ANSI) e o Institute of Environmental Sciences and Technology (IEST) dirigiu um requerimento à ISO para que essa desenvolvesse um padrão internacional. A ISO desenvolveu novos padrões para a classificação e monitoramento de salas limpas e os publicou na ISO 14644. Em novembro de 2001, os Estados Unidos adotaram os padrões da ISO 14644 e revogaram oficialmente o FS-209E. A Tabela 2 compara as classificações de salas limpas da FS-209E e da ISO 14644-1.

Classificações de salas limpas	
FS-209E	ISO 14644-1
(partículas por metro cúbico)	
—	1
—	2
1	3
10	4
100	5
1000	6
10000	7
100000	8
—	9

Tabela 2: FS209E e ISO

A ISO 14644-1 estabelece classes padrão de limpeza de ar para salas limpas e zonas limpas baseadas em concentrações especificadas de substâncias particuladas aerotransportadas. Uma sala limpa *ISO Classe 1* não tem mais de 10 partículas maiores do que 0,1 µm em qualquer metro cúbico de ar. Uma sala limpa *ISO Classe 2* seria dez vezes mais suja do que a sala limpa Classe 1, e uma sala limpa *ISO Classe 3* seria dez vezes mais suja do que a Classe 2, e assim por diante. Os limites específicos de partículas permitidos para cada Classe ISO são exibidos na Tabela 3.

CLASS	Number of Particles per Cubic Meter by Micrometer Size					
	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	1.0 µm	5.0 µm
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1,000	237	102	35	8	
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83	
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO 7				352,000	83,200	2,930
ISO 8				3,520,000	832,000	29,300
ISO 9				35,200,000	8,320,000	293,000

Tabela 3: Classificações ISO de salas limpas

Padrões para salas limpas

Em 1984, o Institute of Environmental Science and Technology esboçou o IES-RP-CC-006-84-T, que é um método de testes para salas limpas. As técnicas de mensuração nos parâmetros de teste incluem o seguinte:

- Velocidade e uniformidade do fluxo de ar
- Integridade do filtro
- Paralelismo do fluxo de ar
- Tempo de recuperação da sala limpa
- Contagem de partículas aerotransportadas
- Taxa de liberação de partículas
- Pressão e contaminante da sala limpa
- Taxa de indução
- Níveis de iluminação e de ruídos
- Temperatura e umidade relativa
- Vibração.

O National Environment Balancing Bureau (NEBB) ampliou esse padrão e oferece um outro programa de certificação. Embora o programa de certificação do NEBB forneça informações úteis, ele não é exigido para a certificação de salas limpas.

Avaliação e certificação de salas limpas

A certificação de salas limpas acontece depois da construção ou de alterações físicas significantes. A certificação garante que as instalações atenderam aos requisitos de concentração máxima estatisticamente válida de partículas aerotransportadas de tamanhos especificados. As certificações de salas limpas podem acontecer em três estágios diferentes:

Como construída: Uma sala limpa certificada “ISO Classe X, Instalações como construídas” define uma sala limpa completamente construída e operacional, com todos os serviços instalados e operacionais, mas sem equipamentos de produção ou equipe de operação nas instalações. Essa certificação é a mais comum, porque qualquer falha pode ser tratada e corrigida imediatamente pelos projetistas e construtores da sala limpa.

Em repouso: Uma sala limpa certificada “ISO Classe X, Instalações em repouso” define uma sala limpa completamente construída e operacional, com equipamentos de produção instalados e operacionais, ou operáveis, mas sem a equipe nas instalações. Essa certificação demonstra conformidade contínua a partir da certificação “Como construída”. Salas limpas que foram construídas, mas ficaram ociosas, ou salas limpas que foram modificadas, precisarão da certificação “Em repouso”.

Operacional: Uma sala limpa certificada “ISO Classe X, Instalações operacionais” define uma sala limpa com operação normal de produção, incluindo os equipamentos e a equipe. Essa certificação pode acontecer depois que um complemento parcial ou total do equipamento foi instalado na sala limpa. A intenção é demonstrar a conformidade contínua das salas limpas e a manutenção dos padrões de limpeza. A equipe de controle da sala limpa determinará se, e quando, a sala limpa deverá atender as certificações “Operacional”.

Partículas depositadas

As certificações de salas limpas não exigem a avaliação do depósito de partículas nas superfícies; as certificações de salas limpas avaliam apenas as partículas que se movem livremente no ar. Entretanto, as partículas depositadas podem ter grande impacto nos processos de produção de alta tecnologia.

Para avaliar o depósito de partículas, uma instalação pode coletar partículas depositadas em um *prato de prova*. Um prato de prova é um objeto plano sem partículas feito dos mesmos materiais do produto que é fabricado (por exemplo: se produzir produtos de plástico ABS, deverá usar um prato de prova de plástico ABS).

Vários pratos de prova são colocados pela sala limpa, e os pratos devem coletar as partículas depositadas. Depois de um período definido de tempo, a equipe de testes reúne os pratos de prova e conta as partículas depositadas. A contagem das partículas dos pratos de prova geralmente requer microscopia óptica ou contadores de partículas de análise de superfície.

Atualmente, os sensores de depósito molecular podem efetivamente monitorar as taxas de depósito de partículas. Esses sensores, como os pratos de prova, usam um material com conteúdo semelhante ao produto produzido. O material é revestido com SAW (Surface Acoustical Wave, ondas acústicas de superfície) com a mesma atração por partículas do produto. Os sensores de depósito molecular podem ajudar a reduzir, ou eliminar, testes de prato de prova, o que significa economia.

Seção III.

Detecção de partículas

Esta seção descreve a tecnologia dos contadores de partículas e os métodos mais comuns de detecção, contagem e dimensionamento de partículas.

Detecção de partículas

A certificação de salas limpas é um processo contínuo. Monitorar continuamente a qualidade do ar garante que o sistema de filtragem está operando adequadamente e que não existe nenhuma fonte geradora de partículas desconhecida.

Nos primórdios dos processos de produção limpa, filtros de testes capturavam partículas. Depois, equipes em laboratórios usavam microscópios para confirmar o número e dimensões das partículas capturadas. Às vezes, a pessoa que contava as partículas podia determinar a composição das partículas, por exemplo, pó de cobre. Ignorando o tempo gasto no processo, a microscopia ainda é a melhor forma de obter informações específicas sobre as partículas, mas não fornece dados instantâneos da contaminação. A microscopia revela eventos de partículas *históricos*, não *atuais*.

Nos meados dos anos 50, aplicações militares incentivaram o desenvolvimento dos primeiros instrumentos de contagem de partículas. Esses dispositivos tornaram possível monitorar níveis instantâneos de partículas e fornecer notificações rápidas quando os níveis de contaminação excediam os limites. Em vez de se esperar dias pela análise das partículas, o que poderia permitir que milhares de produtos com defeito passassem por um determinado processo, o contador de partículas fornecia dados em minutos.

Gradualmente, essa tecnologia se expandiu para outros setores de produção, e a confiança na nova tecnologia dos contadores de partículas cresceu. Engenheiros de processo que monitoravam em tempo real os níveis de contaminação por partículas começaram a desenvolver processos que fossem mais eficientes, com menos produtos defeituosos.

Atualmente, o contador de partículas continuamente melhora a produtividade ao fornecer detalhes dos níveis, tendências e fontes da contaminação por partículas. A equipe de produção usa os dados das partículas para estudar as causas da contaminação, programar precisamente os ciclos de manutenção das salas limpas, relacionar níveis de contaminação com processos de produção e ajustar cada etapa da produção.

Contadores ópticos de partículas

A maioria das pessoas já viu a poeira flutuando em um raio de sol. Quatro elementos são necessários para que a poeira seja vista: a luz do sol (ilumina a poeira), a poeira (reflete a luz do sol), o ar (transporta a poeira) e os olhos (vêm a poeira, ou mais precisamente, vêm a luz refletida pela poeira). Um contador óptico de partículas usa os mesmos elementos, mas maximiza a eficácia. Os contadores de partículas usam uma fonte de luz de alta intensidade (um *laser*), um fluxo de ar controlado (*volume de exame*) e detectores coletores de luz altamente sensíveis (um *fotodetector*).

Teoria da operação

Os contadores ópticos de partículas a laser empregam cinco sistemas principais:

1. *Lasers e óptica*: O laser é a fonte de luz preferida porque a sua luz tem um único comprimento de onda, o que significa apenas uma única “cor” de luz de alta intensidade. Lasers comuns são vermelhos, verdes ou quase infravermelhos. Os primeiros lasers eram varetas de rubi. Eles foram substituídos por tubos de vidro cheios de um gás ou de uma mistura de gases. Lasers de hélio-neon (HeNe) eram comumente usados em contadores de partículas, mas foram gradualmente substituídos por diodos de laser de estado sólido.

Atualmente, os diodos de laser são mais comuns porque oferecem saídas de energia constantes, são menores, mais leves, mais econômicos e têm maiores MTBFs (média dos tempos entre sucessivas falhas).

A óptica alinha e foca a luz de laser para que ela ilumine a região da amostra de partículas, chamada de *volume de exame*. Outras ópticas coletam a luz dispersa e a transmite para um *fotodetector*.

2. *Volume de exame*: O volume de exame é um pequeno compartimento iluminado pelo laser. O meio da amostra (ar, líquido ou gás) é levado ao volume de exame, o laser passa pelo meio, as partículas dispersam (refletem) a luz, e um fotodetector registra as fontes da luz dispersa (as partículas).
3. *Fotodetector*: O fotodetector é um dispositivo elétrico que é sensível à luz. Quando as partículas dispersam a luz, o fotodetector identifica o flash de luz, e o converte em sinal elétrico, ou *pulso*. Partículas pequenas dispersam pequenos pulsos de luz, e partículas grandes dispersam grandes pulsos de luz. Um amplificador converte os pulsos em uma voltagem de controle proporcional.
4. *Analisador de amplitude de pulsos*: Os pulsos do fotodetector são enviados a um analisador de amplitude de pulsos (PHA). O PHA examina a magnitude do pulso e coloca seu valor em um canal de dimensionamento apropriado, chamado *compartimento*. Os compartimentos contêm os dados de cada pulso, e esses dados se relacionam às dimensões das partículas.
5. *Caixa preta*: A caixa preta, ou circuitos de suporte, examina o número de pulsos em cada compartimento e converte as informações nos dados das partículas. Geralmente, os computadores exibirão e analisarão os dados.

Comentários sobre os contadores de partículas a laser

1. Contadores de partículas não contam partículas

Os contadores de partículas contam os pulsos da luz dispersa pelas partículas ou, em alguns casos, contam as sombras formadas por partículas iluminadas. A quantidade de luz que uma partícula dispersa, ou ofusca, pode variar com diversos fatores diferentes, inclusive os seguintes:

- A forma da partícula:
 - Raramente as partículas são planas e esféricas como as partículas de PSL usadas na calibragem dos contadores de partículas. Geralmente, as partículas são flocos de pele ou fibras recortadas. A quantidade de luz que as partículas dispersam quando flutuam lateralmente pelo volume de exame é diferente da quantidade de luz que dispersam quando são transportadas longitudinalmente.
- O albedo (refletividade) da partícula:
 - Algumas partículas são mais reflexivas do que outras, por exemplo, o alumínio, e resultarão mais luz dispersa no fotodetector. O fotodetector produz um pulso maior, e o contador de partículas entende que a partícula é maior do que seu tamanho real. Reciprocamente, algumas partículas são menos reflexivas, por exemplo, o carbono, e o contador de partículas entende que uma partícula menor do que a real passou pelo volume de exame.

2. Contadores de partículas não contam todas as partículas contidas em um volume

Por exemplo, em uma sala limpa de 460 m² com pé direito de 3,7 m, um contador de partículas de 1,0 CFM analisará apenas 1/60.000 (ou 0,0000167%) de todo o ar da sala em um minuto. Em uma hora, o contador de partículas contará sessenta vezes mais ar, o equivalente a apenas 0,001% do volume total da sala. Se levarmos em conta que apenas um pequeno volume serve de amostra, os contadores de partículas deverão ter amostras suficientes dos meios (ar, líquido ou gás) para representarem estatisticamente todo o volume. Isso é chamado de *significância estatística* e é a representação válida de todo o volume. A ISO fornece uma fórmula específica, baseada em volumes de amostras, para determinar quando uma amostra atende à significância estatística.

As técnicas de amostragem parecem simples, mas as partículas nunca se dispersam verdadeiramente (não se espalham uniformemente) no volume de uma amostra. As partículas tendem a permanecer no fluxo laminar, se acumular no fluxo turbulento, se aderir a superfícies e subir no ar quente. Embora as salas limpas minimizem essas armadilhas de partículas e esses problemas, sempre haverá áreas nas quais as partículas se unirão.

Tipos de contadores de partículas

Há diversas variedades de contadores de partículas. As principais diferenças dependem do meio no qual as partículas estão suspensas: ar, líquido, gás, vácuo ou meio atmosférico/meteorológico.

Partículas aerotransportadas: Os contadores de partículas aerotransportadas medem a contaminação de salas limpas com filtros HEPA, montagens de unidades de disco, produção de remédios, pequenos bancos de testes, instalações de lançamento de foguetes e centenas de diferentes aplicações de ar controlado.

Partículas líquidas: Os contadores de partículas líquidas medem a contaminação em tudo, inclusive em água potável, drogas injetáveis, fluidos de transmissão e ácidos fluorídricos. Alguns contadores de partículas líquidas precisam de um acessório chamado de *Coletores de amostras*. O coletor de amostras se comunica com o contador de partículas, extrai automaticamente um volume preciso de líquido e, programado com a taxa de distribuição específica do contador, passa o líquido para o contador de partículas. Alguns contadores de partículas líquidas se conectam diretamente a encanamentos ou usam gases pressurizados para eliminar bolhas em produtos químicos.

Partículas de gás: Os contadores de partículas de gás medem a contaminação suspensa em gases. Esses gases podem ser inertes ou voláteis, secos (anídros) ou com traços de vapores de água. Geralmente, o modelo do contador de partículas de gás fornece medidas de contaminação com pressões que variam de 40 a 150 psig.

Partículas do vácuo: Os contadores de partículas do vácuo preenchem um nicho de mercado, onde os processos ocorrem sob pressões negativas (vácuo), e oferecem desafios. As partículas não apresentam movimento previsível no vácuo, por isso, contadores de partículas especializados devem depender da cinética de uma partícula para detecção.

Contadores atmosféricos/meteorológicos: Uma das aplicações originais dos contadores de partículas, contadores de partículas atmosféricos ou meteorológicos examinam a contaminação atmosférica, como poluição, ou fornecem análises detalhadas do clima. Esses instrumentos medem gotículas de água, cristais de gelo, núcleos de condensação ou

contaminação de elementos oriundos de incêndios em óleo e erupções vulcânicas transportados pelo vento ou por correntes de ar eewa.

Variações das tecnologias dos contadores de partículas

Diversas variações tecnológicas podem ser usadas quando se projeta um contador de partículas. A aplicação indica a tecnologia variante empregada no contador de partículas. Além disso, os lasers escolhidos para tecnologias variantes são selecionados para sua proficiência de dimensionamento de partículas.

A intensidade do laser não é uniforme. Especificamente, um laser é mais intenso no centro do que nas laterais. A intensidade do laser ilustra a distribuição gaussiana ou distribuição em forma de sino. Alguns contadores de partículas usam máscaras ópticas especiais para exibirem apenas a porção central do laser. A Figura 4 ilustra um feixe de laser real mapeado em grade. Os níveis de intensidade do laser alcançam um pico (áreas branca e vermelha), que é o centro do feixe de laser.

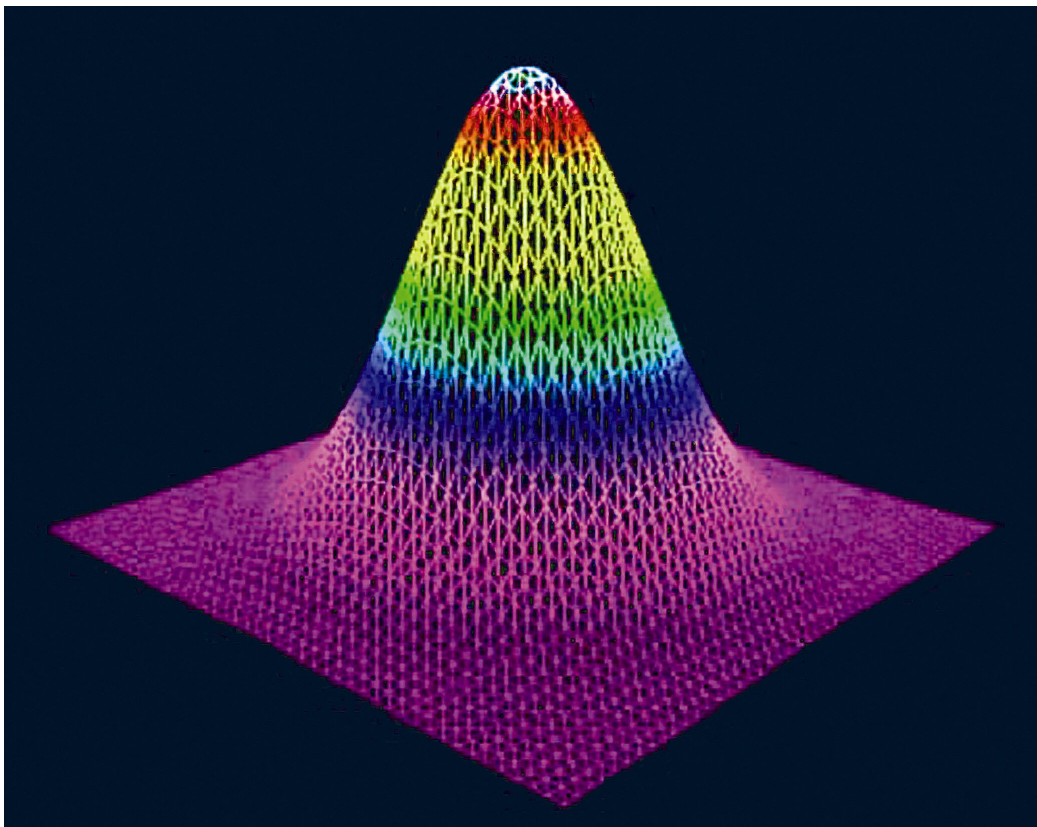


Figura 4: Perfil do laser (cortesia da CrystaLaser)

Dispersão X Extinção

Tanto as tecnologias de dispersão como de extinção usam um laser para iluminar uma área de exame. Os contadores de partículas de dispersão medem a luz refletida de uma partícula à medida que ela passa pela região de exame. Os contadores de partículas de extinção iluminam todo o volume de exame e medem a sombra de uma partícula (áreas nas quais a luz está extinta, apagada) à medida que ela passa pela região de exame. A tecnologia de extinção é apenas usada em contadores de partículas líquidas que dimensionam partículas maiores do que $2,0 \mu\text{m}$. Se a tecnologia de dispersão fosse usada em partículas grandes, o fotodetector ficaria cego por causa da luz intensa dispersa.

Contadores volumétricos X Não-volumétricos

Os contadores de partículas volumétricos examinam as partículas em todo o volume da amostra. Os contadores de partículas não-volumétricos observam apenas uma pequena porção representativa de todo o volume da amostra. Geralmente, os contadores de partículas não-volumétricos têm maiores taxas de fluxo e permitem que mais do volume total faça parte da amostra; por outro lado, eles renunciam algumas diferenciações nos canais de dimensionamento de partículas, o que é chamado de *resolução*. Os contadores de partículas volumétricos geralmente examinam líquidos mais lentamente, mas oferecem muitos canais de dimensionamento de partículas e melhor resolução.

Espectrômetro X Monitor

Como mencionado anteriormente, a intensidade do feixe de laser não é uniforme em todo o perfil do feixe. Os espectrômetros usam apenas o centro do feixe de laser, e os monitores usam toda a extensão do feixe de laser.

Os espectrômetros usam a parte central do feixe de laser porque ali a intensidade do laser é constante. Fontes de luz mais constantes proporcionam maior precisão na detecção de partículas, por isso um espectrômetro pode facilmente discernir pequenas diferenças nas dimensões das partículas e oferecer melhor resolução.

Monitores usam todo o feixe de laser, por isso, não podem perceber pequenas diferenças entre as dimensões das partículas. A Figura 5 ilustra que quando uma partícula passa pela extremidade do feixe de laser está sujeita à luz de menor intensidade do que a mesma partícula quando passa pelo centro do feixe de laser. As amplitudes de pulso relativas, exibidas a seguir no diagrama, ilustram o pulso e o ruído de fundo de uma partícula (ruído elétrico de fundo). Como mostrado, a mesma partícula criará amplitudes de pulsos diferentes dependendo de onde entrar no feixe de laser. Da mesma forma, uma partícula maior que passa pela extremidade do feixe pode proporcionar a mesma amplitude de pulso de uma partícula pequena que passa pelo centro do feixe. Conseqüentemente, monitores incluem apenas poucos canais de dimensionamento, com distâncias suficientes entre os canais, para compensar esse erro de dimensionamento.

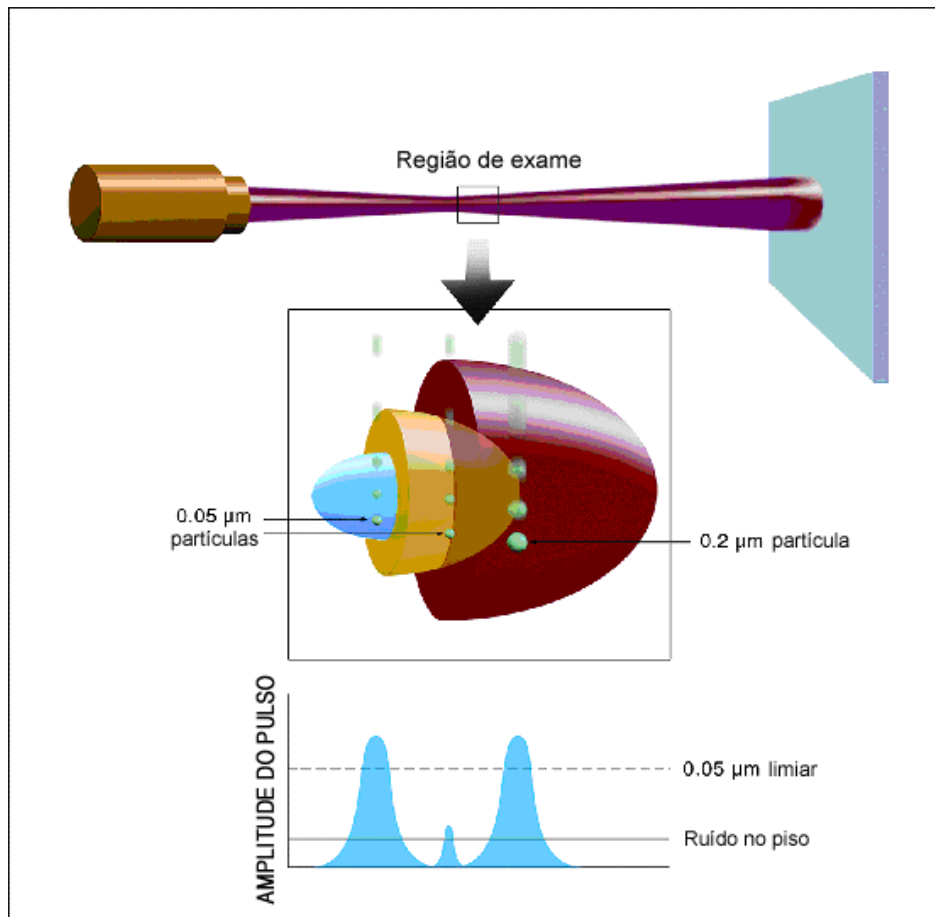


Figura 5: Intensidade de laser e erros de dimensionamento

A escolha entre espectrômetros e monitores:

Em uma intensidade de luz específica, partículas pequenas dispersam uma pequena quantidade de luz (opaco), e partículas grandes dispersam grandes quantidades de luz (brilhante).

Em um projeto perfeito, uma partícula que passa por um feixe de laser primeiramente emitirá um flash opaco de luz quando entrar no feixe, lentamente brilhará quando atingir o centro do feixe e ficará mais opaca quando sair do feixe. No mundo real, como a partícula não se inclina para o centro do feixe, provavelmente transitará na extremidade do feixe, resultando um flash opaco.

A menos que a porção “examinada” do laser (a parte visível para o fotodetector) esteja limitada ao centro do feixe, é impossível para o analisador de altura de pulsos determinar se um flash opaco foi causado por uma partícula pequena que transita no centro do feixe ou por uma partícula grande que transita na extremidade do feixe. Por isso, a capacidade do contador de partículas de medir precisamente as dimensões das partículas limita-se à tecnologia empregada.

Os espectrômetros usam técnicas de foco ou máscara para limitarem a região de exame à parte central do feixe de laser.

Além disso, eles precisam de volumes de amostras menores e taxas de fluxo mais baixas, porque será mais fácil determinar as dimensões de uma partícula se ela passar lentamente pelo feixe de laser.

Essa tecnologia fornece dados específicos do dimensionamento das partículas. A precisão de dimensionamento do espectrômetro o torna o instrumento preferido para a condução de exames de filtros, análise de problemas específicos de contaminação por partículas, elucidação de

detecção de partículas monodispersas e verificação de precisões de contadores de partículas menos precisos.

Há muitas aplicações nas quais o dimensionamento preciso de determinadas partículas não tem conseqüências. Essas aplicações apenas exigem informações gerais sobre as partículas, então, um monitor de partículas é adequado. Além disso, considerando a sensibilidade à dimensão de qualquer partícula, um monitor analisa volumes maiores com taxas de fluxo mais altas e proporciona mais dados de partículas. Por exemplo, o monitor é o instrumento preferido para o monitoramento de diversos pontos de um sistema de água desionizada (DI) ou de um sistema de tubulação integrado de uma fábrica.

Contadores de partículas de condensação

Todas as técnicas de contagem de partículas são limitadas pela dimensão da menor partícula que puder ser detectada. Ou seja, chegamos a um ponto em que a partícula é tão pequena que a luz dispersa não pode ser distinguida do ruído de fundo. O ruído de fundo é semelhante à estática elétrica e é um subproduto de operações elétricas. Quando a partícula é pequena demais para ser distinguida do ruído de fundo, contadores de partículas especiais fazem as dimensões das partículas ficarem maiores, permitindo a sua detecção. Esses contadores de partículas são chamados de Contadores de Partículas de Condensação (CPC).

O CPC contém um reservatório de líquido volátil, por exemplo, álcool butílico. A amostra de ar flui por uma câmara aquecida onde o vapor de álcool se mistura com o ar da amostra. Depois, a amostra do ar e o vapor de álcool fluem por uma câmara de condensação fria, onde o vapor de álcool se torna supersaturado e se condensa nas partículas. Usando essa técnica, gotículas de álcool microscópicas podem envolver partículas de dimensões tão pequenas quanto 0,01 μm e transformá-las em gotículas de partícula/álcool que medem entre 1 e 2 μm . Esse tamanho de partícula é facilmente detectado.

O modelo do CPC difunde todo o excesso de álcool nas paredes da câmara de condensação de forma que as gotículas não serão adicionadas aos contadores de partículas. Como os contadores ópticos de partículas, os CPCs com menores diâmetros de partículas detectáveis são mais complexos e exigem mais manutenção.

Há desvantagens quando se compara um CPC e um OPC: Os CPCs exigem o reabastecimento periódico dos reservatórios de álcool, o álcool butílico tem cheiro desagradável, os CPCs de álcool não-butílico usam um líquido caro de fluorocarbono e, se o CPC acidentalmente transbordar, não haverá dados resultantes até que as partes que transbordaram voltem ao normal. Em muitos ambientes (ISO Classe 6 ou mais sujos), um CPC detectaria tantas partículas que não poderia fazer uma contagem suficientemente rápida, então, os dados seriam incorretos. Além disso, diferentemente do OPC, o CPC não pode relatar informações sobre as dimensões das partículas. Como o CPC torna todas as partículas com o mesmo diâmetro, ele relatará apenas a presença de uma partícula e não sua dimensão!

O USO DE CONTADORES DE PARTÍCULAS

Para usar eficazmente um contador de partículas, ele deverá ser manuseado, instalado e operado corretamente. Seguir algumas diretrizes garante que o instrumento opera corretamente e colhe amostras estatisticamente válidas.

Os contadores de partículas não são como outros equipamentos de testes comuns. Eles incluem lasers, ópticas especializadas, placas de circuito impresso (PCB) e regiões de amostragem meticulosamente alinhadas. São extremamente sensíveis aos estresses do ambiente, como

vibrações, EMI (interferência eletromagnética), extremos de calor ou frio e sujeira. Os contadores de partículas são instrumentos eletrônicos sensíveis e de alto desempenho.

Diretrizes para o manuseio os contadores de partículas

Primeiro, sempre leia o manual do contador de partículas. O manual fornece as melhores sugestões para a operação do contador de partículas; deixar de conhecer os procedimentos de instalação adequados pode causar desperdício de tempo e dinheiro.

Desembalagem

Muitos contadores de partículas são fabricados e embalados em ambientes de salas limpas. Não remova a embalagem de plástico que cobre o contador de partículas até que o instrumento esteja dentro do ambiente em que será usado. Isso será especialmente necessário se o contador de partículas for operar em uma sala limpa. Seguir essas diretrizes minimizará a exposição do contador de partículas à sujeira e umidade que contaminam as suas superfícies ópticas.

Instalação

A área de instalação não deve estar sujeita a vibrações de outros equipamentos e deve estar na temperatura normal da sala (70°F/21°C). Coloque o contador de partículas em uma superfície nivelada e limpa próximo à tomada de corrente alternada condicionada. Evite colocar o instrumento em um ambiente com ruídos elétricos, com muitos picos de voltagem originados de motores elétricos, relés, transformadores, entre outros. Ruídos elétricos podem gerar contagens de partículas falsas.

Armazenamento

Se for o caso, retire todos os produtos químicos corrosivos (nos contadores de partículas líquidas) e os substitua por fluido limpador de pára-brisa à prova de congelamento. Embrulhe o contador de partículas em uma embalagem de plástico, antes de removê-lo do ambiente limpo, lacre e rotule o pacote. O rótulo deve informar o tipo de contador de partículas, a data, o motivo do armazenamento, o número de série e a data de expiração da calibragem. Quando for necessário novamente, o contador de partículas estará pronto para ser enviado de volta ao local de calibragem ou reparo.

Registros do instrumento

Considere criar e manter um registro que indique a data em que o instrumento foi colocado em serviço, quando a calibragem expira, o tempo que foi usado, a data de manutenções preventivas (limpeza óptica, etc.), percalços ou danos e qualquer desempenho fora do comum percebido pelos operadores.

Manutenção

Os contadores de partículas precisam de manutenção de rotina que geralmente inclui limpeza das superfícies ópticas. Com o tempo, as superfícies ópticas acumulam sujeira que pode dissipar a luz do laser; nos contadores de partículas líquidas, isso se chama *DC Light*. *DC Light* é a medida de corrente direta (DC) correlacionada à quantidade de luz dispersa que passa por líquidos ou superfícies de retenção. Um valor excessivo de *DC light* pode resultar uma contagem de partículas menos sensível ou falsa. Para evitar isso, siga as instruções que acompanham o contador de partículas, pois a limpeza deve ser executada pelo usuário, como a maioria dos instrumentos. Siga as instruções com cuidado e, se você não estiver seguro do que está fazendo, não continue. Entre em contato com o fabricante para obter mais instruções.

APLICAÇÕES DOS CONTADORES DE PARTÍCULAS

Esta seção descreve como o equipamento de contagem de partículas pode ser usado.

Controle de tendências

Raramente é útil saber quantas partículas estão em uma sala; é mais útil saber se a contaminação da sala aumenta ou diminui com o tempo. Isso se chama *controle de tendências*, e os contadores de partículas fornecem uma análise detalhada da tendência da contaminação por partículas. Isso é, monitoram as alterações graduais ou repentinas dos níveis de contaminação do ambiente. Essas informações podem dizer ao operador se há um problema de filtragem, se uma ferramenta ou processo está sujo ou se alguém deixou uma porta ou válvula aberta.

Há aplicações mais sofisticadas para os contadores de partículas. Isso será abordado posteriormente.

Amostragem estatisticamente válida

Vale a pena repetir esse conceito importante, discutido anteriormente. Uma amostra estatisticamente válida é uma amostra que é representativa, no conteúdo e nas características, do meio que é testado. As contagens de partículas podem ser maiores em correntes de convecção ou em superfícies, mas em geral, os princípios da difusão mostram que a amostra de uma área de uma sala fornecerá dados semelhantes da amostra de outra área da sala.

Normalização de dados

Um contador de partículas colhe amostras do meio em uma taxa de fluxo constante e conta as partículas desse meio. Os dados coletados pelo contador de partículas podem ser visualizados de duas formas:

- *Contagens brutas*: O número total de partículas em um canal de dimensionamento específico. As contagens brutas não são calculadas como função do volume da amostra, por isso, os dados não informam valores de contaminação volumétrica. Esses dados são úteis em algumas aplicações, além de na calibragem do instrumento.
- *Contagens normalizadas*: O número total de partículas dividido pelo volume amostrado. As contagens normalizadas relacionam contagens de partículas com volumes de amostras, por isso, os dados informam as concentrações de partículas por unidade de volume (ft^3 , m^3 , ml, etc.).

Seção IV.

Hardware e acessórios

A seguinte seção descreve os tipos de diferentes de contadores de partículas e hardware associados. Além disso, discutiremos aplicações específicas de cada tipo de contador de partículas.

CONTADORES DE PARTÍCULAS AEROTRANSPORTADAS

Os contadores de partículas aerotransportadas detectam e medem a contaminação por partículas no ar. Geralmente, monitoram a contaminação por partículas em ambientes limpos, como salas limpas ou miniambientes. Além de monitorarem o ar de uma sala, os contadores de partículas aerotransportadas podem monitorar as partículas no ar de um grande instrumento de processamento.

O monitoramento da eficiência de filtros é outra aplicação comum. O contador de partículas coleta o ar quando ele entra e sai do filtro. O número de contagens afluentes (que fluem para o interior) é comparado ao número de contagens efluentes (que fluem para o exterior). A razão entre esses dois valores determina a eficiência de um filtro. Se forem necessários testes automáticos, o contador de partículas pode incluir alarmes para limites de partículas aceitáveis e enviar uma notificação quando o filtro não passar nos testes de eficiência.

O monitoramento, verificação e teste de salas limpas são as aplicações mais comuns dos contadores de partículas aerotransportadas. Esses contadores de partículas são colocados próximos a um processo em teste e reúnem dados constantemente. Quando a contaminação atinge níveis acima dos limites do contador de partículas programáveis, um alarme audível e/ou visual alerta a equipe de produção.

Em qualquer aplicação, um contador de partículas deve coletar amostras suficientes do meio, para que existam dados estatisticamente válidos. Especificamente, se estiver sendo executada a amostragem de uma grande sala limpa, o contador de partículas deverá coletar amostras de diferentes locais da sala. Os documentos da ISO oferecem sugestões para o número de locais de amostragem:

$$\text{Número de locais de amostragens} = \sqrt{\text{Area}(m^2)}$$

Portanto, se uma sala limpa mede 10.000 ft², primeiramente, converta a medida para m², ache a raiz quadrada e arredonde.

$$\text{Area}(m^2) = ft^2 \times 0.092903$$

$$\Rightarrow 10,000 ft^2 \times 0.092903$$

$$\Rightarrow 929.03 m^2$$

$$\Rightarrow \sqrt{929.03 m^2}$$

$$\therefore 30.48 \cong 31 \text{ sample locations}$$

O monitoramento eficaz dessa sala limpa deveria incluir trinta locais de amostragens diferentes.

Outra opção é executar testes em salas limpas usando um dos seguintes métodos:

- Usando um coletor múltiplo de aerossol (descrito a seguir)
- Movendo o contador de partículas de um lugar para outro
-
- Demonstrando que uma amostra estatisticamente válida pode ser coletada em um único local.

Selecionar um contador de partículas aerotransportadas específico requer algumas decisões. As dimensões dos canais variam de 0,06 µm no menor a centenas de micra no maior e, dependendo do modelo, o número de canais e variação das dimensões é pré-definido ou programável. Outras

características incluem taxas de fluxo diferentes, processamento de estatísticas, modos de certificação automatizados e quase nenhum recurso para atender a maioria das aplicações de partículas aerotransportadas.

Contador de partículas aerotransportadas portátil

Contadores de partículas aerotransportadas portáteis são ligeiramente maiores do que a mão de uma pessoa e são comumente usados para detectar e isolar fontes de contaminação. Eles podem empregar uma sonda na extremidade de uma mangueira que emite diferentes tons (como um contador Geiger ou um detector de metais) que correspondem às concentrações de partículas.

Coletor múltiplo de aerossol

Os coletores múltiplos de aerossol usam um único contador de partículas para coletar amostras de ar de diferentes locais. O coletor múltiplo de aerossol é um dispositivo que geralmente é controlado por um contador de partículas com diversas mangueiras de entrada de ar dos locais de onde se colhem as amostras e uma mangueira de saída ligada ao contador de partículas.

O coletor usa uma grande bomba que fornece fluxo de ar de 100 CFM para direcionar partículas de todas as portas para o contador de partículas. Sequencialmente, o contador de partículas coleta amostras de um lugar, depois de um período de tempo (geralmente um minuto), o coletor múltiplo segue para a próxima mangueira de entrada da seqüência e repete o processo. Coletores bem projetados minimizam a perda de partículas na tubulação de transporte e limitam a contaminação cruzada. A contaminação cruzada acontece quando as partículas vazam de uma porta de amostra para outra.

A Figura 6 mostra as partes básicas de um sistema de coletores múltiplos de aerossol.



Figura 6: Coletor múltiplo de aerossol (à direita), bomba (à esquerda) e caixa de controle (em cima)

Sondas de amostragem

As sondas de amostragem se conectam à extremidade do tubo de amostra e fornecem dados mais precisos. O ar da sala limpa geralmente tem fluxo laminar com velocidades que variam de 14 m/min a 27 m/min. Algumas sondas são dimensionadas para fornecer equalização de velocidades entre o contador de partículas e o ar da sala; essas sondas de amostragem são conhecidas como *isocinéticas*. Assim, a sonda de amostragem captura partículas na mesma velocidade do ar da amostra e proporciona contagens de partículas normalizadas precisas. Consulte a Figura 7.



Figura 7: Sonda de amostragem (acima) e encaixe do adaptador da tubulação (abaixo)

Difusor de alta pressão

Os contadores de partículas aerotransportadas padrão coletam amostras de ar a 1,0 ft³/min e pressão de 1,0 atm (14,6959 psi). Os difusores de alta pressão reduzem pressões (de 40 a 100 psi) dos sistemas de gás pressurizados para que os gases possam ser analisados por um contador de partículas aerotransportadas.

Entretanto, os HPDs devem analisar apenas gases pressurizados inertes. Os difusores de alta pressão despejam gases pressurizados na sala, se esses gases não forem inertes, danos sérios poderão ocorrer.

Sensores ambientais

Os sensores ambientais podem medir temperatura, umidade relativa, pressão diferencial do ar, velocidade do ar, etc. O contador de partículas e o FMS (Facility Monitoring System, sistema de monitoramento das instalações) interpretam os dados da sonda ambiental e os exibem em um formato legível.

CONTADORES DE PARTÍCULAS LÍQUIDAS

Os contadores de partículas líquidas contam partículas em quase todos os tipos de líquidos: água, ácido fluorídrico, petroquímicos e drogas injetáveis são aplicações comuns.

Geralmente, eles monitoram a eficácia dos filtros ou fazem o controle de qualidade dos dispositivos em aplicações de amostragem em grupos.

Coletores de amostras de líquidos

Coletores de amostras de líquidos extraem um volume de líquido preciso e, com uma taxa de transferência fixa, enviam a amostra ao contador de partículas líquidas. Líquidos despressurizados são uma aplicação comum para os coletores de amostras de líquidos, incluindo testes em provetas e frascos.

Se for usado indevidamente, um coletor de amostras de líquidos pode produzir cavitações e criar bolhas no líquido. Bolhas se tornam um problema porque podem acumular partículas (aglomeração). Além disso, a maioria das bolhas presentes em substâncias químicas de processos tende a ter as dimensões de partículas grandes (geralmente, maior do que 1,0 µm).

Alguns coletores de amostra de líquidos reduzem ou eliminam a efervescência (borbulhamento) através da compressão. O coletor de amostras de líquidos tem uma câmara que comporta a amostra do líquido, enquanto pressões (>35 psi) comprimem as bolhas e as eliminam do líquido.

Módulos de exame

Os módulos de exame para líquidos são análogos aos dos contadores de partículas do vácuo: eles proporcionam um método de monitoramentos de partículas sem desviar o fluxo.

Corrosivos e encanamento

Contar partículas suspensas em líquidos, especialmente líquidos corrosivos, exige contadores de partículas com superfícies internas molhadas que não se dissolvam ou soltem gases tóxicos quando coletarem amostras de corrosivos.

A Particle Measuring Systems usa diversos materiais e plásticos ópticos diferentes para as superfícies molhadas dos contadores de partículas líquidas:

Óptica

- *Sílica fundida*: Material semelhante ao vidro, a sílica fundida é compatível com a maioria dos produtos químicos, exceto o ácido fluorídrico.
- *Safira*: Compatível com a maioria dos produtos químicos usados na indústria de semicondutores, inclusive com o ácido fluorídrico.
- *Fluoreto de magnésio*: Compatível com a maioria dos produtos químicos, exceto o fluoreto de amônio e peróxido de hidrogênio.

Encanamento

- *Polifluoreto de vinilideno (PVDF)*: Termoplástico usado em muitas células de amostragem, mas não-recomendado para uso prolongado com acetona.
- *Perfluoroalcóxico (PFA) Teflon®*: Fluoropolímero usado em algumas células de amostragem, o PFA Teflon fica poroso em contato com alguns produtos químicos. Outros materiais incluem Teflon®, KalRez® (um O-ring caro) e Kel-F.

Compatibilidade química

Antes de colocar qualquer produto químico em um contador de partículas líquidas, é importante:

- se certificar de que o produto é compatível com as superfícies molhadas do contador de partículas, do coletor múltiplo de líquidos e de toda a tubulação acessória, inclusive a tubulação do instrumento,
- se certificar de que o produto químico não reagirá com qualquer resíduo de produtos químicos de amostras anteriores.

Se tiver dúvidas quanto à compatibilidade dos produtos químicos, entre em contato com o fabricante do contador de partículas.

CONTADORES DE PARTÍCULAS DE GÁS

Contadores de partículas de gás determinam a pureza de vários gases, inertes ou reativos. Um contador de partículas de gás é um contador de partículas aerotransportadas especializado que conta partículas submetidas à pressão. Alguns contadores de partículas de gás podem coletar amostras sob pressões do cilindro (até 150 psi), e outros são adequados para pressões de linha (reduzidas).

Adquirir e analisar amostras de gases representativas pode ser difícil. Os desafios em fábricas de semicondutores incluem conectar o contador de partículas ao abastecimento de gás. Geralmente, o suprimento de gás se origina em uma instalação de processamento fora da fábrica de semicondutores, com tubos de aço inoxidável de grande diâmetro transportando o gás do abastecimento para a fábrica. Se a aplicação exigir a análise de partículas no gás antes de atingirem a fábrica de semicondutores, uma porta de amostragem deverá ser adicionada aos tubos de abastecimento de gás, de onde o contador de partículas extrairá amostras.

Mesmo assim, o gás semicondutor não contém muitas partículas, por isso, a gravidade e a difusão podem tornar difícil a captura de amostras estatisticamente válidas das poucas partículas

presentes. O método preferido de captura de partículas requer um encaixe no tubo, com o cano da amostra conectado ao encaixe e inserido no centro do diâmetro do tubo. Geralmente, outros contadores de partículas de gás são colocados próximos aos pontos de uso para a verificação final da qualidade do gás.

Algumas aplicações usam sistemas de análise de gases que consistem em um HPD caseiro conectado a um contador de partículas aerotransportadas. Os HPDs fabricados pela Particle Measuring Systems contêm muitos recursos patenteados que evoluíram depois de iniciativas prolongadas na análise de gás ultralimpo. Quase nenhum dos difusores caseiros funciona. A falha de contagem zero quando coleta gás filtrado e a aleatoriedade das contagens de partículas são problemas que os engenheiros da Particle Measuring Systems superaram antes de os difusores de alta pressão estarem prontos para o mercado.

Contador de partículas de gás X Contador de partículas aerotransportadas com HPD

Quando for decidir se deve usar um contador de partículas de alta pressão ou um contador de partículas aerotransportadas com difusor de alta pressão, leve o seguinte em consideração:

- O custo do gás (o HPD consome mais gás do que analisa)
- A taxa de fluxo de amostra desejada (a maioria dos HPDs apenas aceita pressões até 100 psig)
- A área do instrumento (devido à tubulação interna, os contadores de partículas de gás são maiores do que os contadores de partículas aerotransportadas)
- A sensibilidade do dimensionamento das partículas/instrumentos
- As opções de exibição dos dados.

O fabricante do contador de partículas pode fornecer sugestões relacionadas à escolha correta para a sua aplicação de gás pressurizado.

Seção V.

Integração de dados

Esta seção descreve como as tecnologias de detecção de partículas operam juntas para gerenciar a contaminação.

Sistemas de monitoramento de instalações

Um sistema de monitoramento de instalações (FMS) fornece comunicações de dados e um local de monitoramento central para todos os contadores de partículas, coletores de amostras, coletores múltiplos, sensores ambientais e equipamentos de avaliação de microcontaminação. O FMS coleta e analisa dados das partículas, correlaciona os dados aos eventos, como portas ou válvulas abertas, falhas de filtros ou problemas de fluxo.

O exemplo da instalação de produção farmacêutica com salas limpas (exibido na Figura 6) ilustra contadores de partículas comumente usados operando no FMS. A explicação detalhada dos componentes é apresentada a seguir.

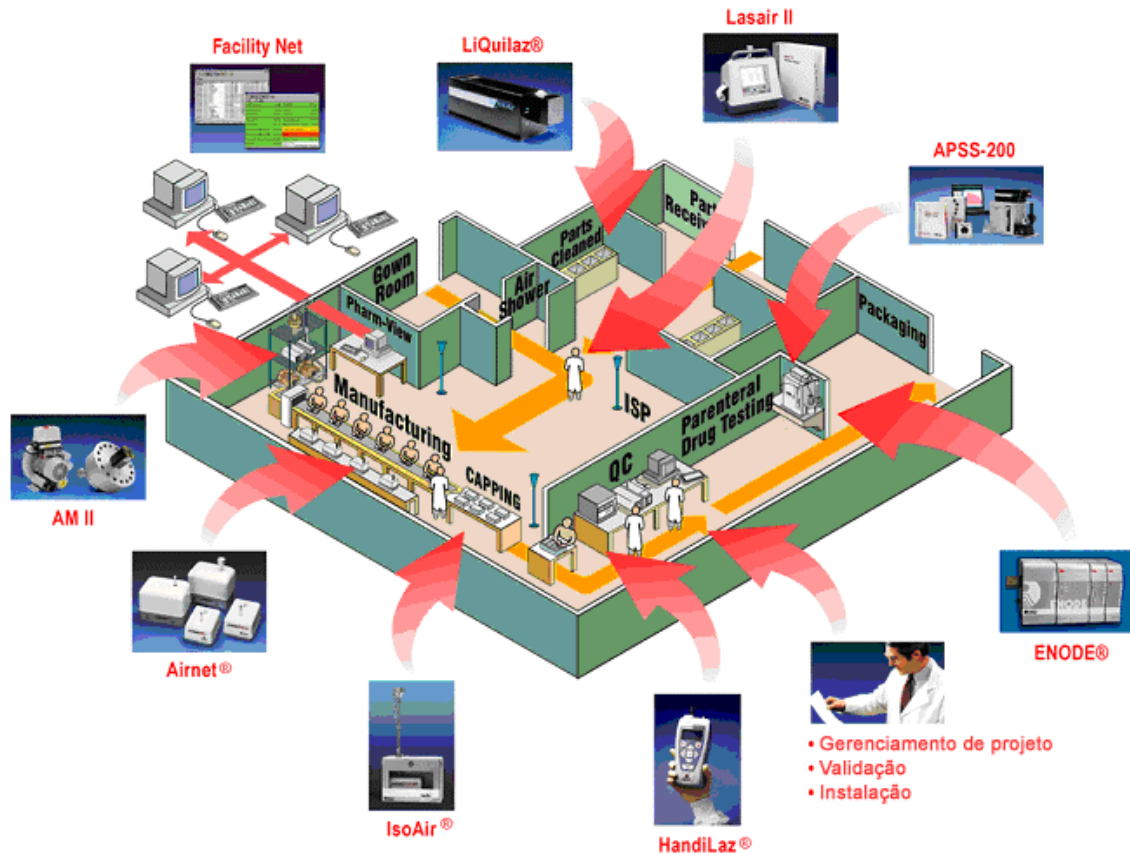


Figura 6: Instalações de uma produção farmacêutica

Software do sistema de gerenciamento de instalações (Facility Net)

O software do sistema de gerenciamento de instalações (FMS) permite que o operador receba o status de todos os dispositivos conectados. O software tem recursos que aciona alarmes, gera relatórios e gráficos, analisa dados, executa processos estatísticos e notifica aos usuários, por sistemas de e-mail ou pager, problemas nas instalações.

Cada dispositivo do contador de partículas se conecta ao computador do FMS. Na Figura 6, o software Facility Net da Particle Measuring Systems opera como uma estação de controle central de cada dispositivo, e gerencia todos os dados coletados. Outros computadores conectados à rede do FMS podem acessar os dados em tempo real. Além das ações mencionadas anteriormente, o software Facility Net poderá executar o seguinte:

- Analisar dados das partículas
- Controlar tendências das partículas
- Acionar alarmes locais ou remotos, se estes problemas ocorrerem:

- As contagens máximas de partículas excederem os limites
- As temperaturas excederem valores máximos ou mínimos
- A umidade relativa exceder valores máximos ou mínimos
- A calibragem expirar
- As médias das partículas excederem limites.

LiQuilaz® (Contador de partículas líquidas) para limpeza de peças e banhos de ácido

Nessa parte das instalações, os líquidos dos processos ou o banho de ácido requer testes. Monitorar a eficiência do filtro do líquido requer dois contadores de partículas líquidas, mas monitorar o ácido requer um coletor de amostras líquidas corrosivas. Calcular a eficiência de filtros é uma comparação entre a quantidade de contaminação por partículas no líquido antes da filtragem e a quantidade depois da filtragem. Esse teste determina quando os filtros precisam ser substituídos, se há um furo no material do filtro, ou se o líquido está sujo demais para ser usado.

Contador portátil LASAIR® II (Contador de partículas aerotransportadas)

Esse contador de partículas aerotransportadas pode determinar fontes de partículas localizadas, certificar a sala limpa, verificar filtros HEPA ou determinar a pureza geral das instalações. Inspeções periódicas das instalações exigem a verificação de todos os filtros, por isso um contador de partículas aerotransportadas é imprescindível.

APSS-200 (Contador de partículas líquidas)

O sistema de amostragem com seringa APSS-200 foi criado para dimensionar e contar matéria particulada suspensa em vários tipos de líquidos. Esse sistema coleta amostras de pequenos lotes, segue todos os requisitos atuais do teste USP <788> e pode se adaptar a futuras alterações normativas. Diferentemente das aplicações dos semicondutores, nas quais partículas de submicra afetam o produto, aplicativos parenterais exigem contadores de partículas que detectem partículas maiores do que 2 µm.

ENODE® (Controlador de entrada e saída)

ENODE é um dispositivo modular de Ethernet (rede) que se integra diretamente ao software Facility Net. O ENODE monitora entradas digitais e analógicas, contatos de saída de alarmes (digital ou de retransmissão) e envia os dados ao software para análise. As entradas podem incluir sensores de temperatura e umidade relativa ou chaves eletrônicas que notificam ao software quando a porta de um processo é aberta. O dispositivo ENODE é a solução para diversas aplicações de monitoramento e controle.

Gerenciamento, validação e instalação de projetos

Cada sistema de contaminação deve ter pessoas que entendam os dados das partículas e forneçam suporte às áreas que sofrem grande contaminação por partículas. A validação e a instalação ocorrem nas primeiras fases da integração do sistema: a validação é feita por uma agência externa, e a instalação por equipes internas ou externas. O gerenciamento ininterrupto do sistema de controle de contaminação requer perícia e compromisso da equipe responsável para melhorar os processos.

HandiLaz® Mini (Contador de partículas aerotransportadas portátil)

Os contadores de partículas portáteis, como o *HandiLaz® Mini*, são ergonomicamente projetados para se ajustarem à palma da mão. Os contadores de partículas portáteis são robustos, seguros e já se mostraram tremendamente valiosos para usuários atentos a custos que precisavam detectar e isolar fontes localizadas de contaminações por partículas.

IsoAir® (Contador de partículas aerotransportadas)

Áreas que processam diretamente produtos químicos ou drogas usam os sensores IsoAir para identificar colapsos na proteção de zonas críticas. Esses sensores compactos e de instalação simples proporcionam desempenho incomparável em uma caixa de aço inoxidável quimicamente resistente e fácil de desinfetar.

Produção e Controle de qualidade (QC)

Algumas operações de montagem, teste e embalagem são conduzidas em ambientes de sala limpa ISO Classe 5. Coletores múltiplos de aerossol, ISPs e contadores de partículas monitoram eficazmente os padrões de limpeza dessas áreas.

Airnet® (Contador de partículas aerotransportadas) e AM-II (Coletor múltiplo de aerossol)

Os contadores de partículas e o coletor múltiplo, juntamente com as sondas isocinéticas, monitoram as salas limpas ISO Classe 4 ou 5 (FS-209e Classe 10 ou 100) juntamente com a área de espaço para equipamentos ISO Classe 6 (FS-209e Classe 1000). Um coletor múltiplo de aerossol pode monitorar economicamente muitas áreas diferentes ou diversos pontos da mesma área, garantindo amostras estatisticamente válidas.

Por outro lado, coletores múltiplos de aerossol não são adequados para todas as aplicações porque eles apresentam certa quantidade de perda de partículas e atraso entre amostras. A perda de partículas acontece porque as linhas de amostra de coletores múltiplos podem ser longas (até 38 m). Partículas maiores do que um micrão não são transportadas para muito longe, por isso, a gravidade ou as curvas da tubulação farão que elas se prendam às paredes internas da tubulação. Atrasos entre amostras ocorrem quando o coletor múltiplo muda da porta de uma amostra para outra. As partículas podem escapar da detecção enquanto o coletor múltiplo troca de portas de amostra.

Seção VI.

Glossário

acreação	tendência das partículas de ficarem juntas
adesão eletrostática	tendência das partículas de se aderirem a coisas por causa da eletricidade estática
advecção	transporte horizontal de partículas pelo ar ou líquido
aerossol	suspensão de partículas e vapor de água no ar
aglomeração	agrupamento em uma massa, como partículas que se aderem a uma bolha de gás em um líquido
água DI	água desionizada; água da qual um íon foi removido, tornando-se um agente de limpeza agressivo
albedo	refletividade ou brilho de uma partícula
analisador de altura de pulso	dispositivo que coleta pulsos elétricos e os relaciona às dimensões das partículas; Abreviação: PHA
anidro	o que falta água, seco
cavitação	a formação de bolhas em um líquido, geralmente causada pelo enchimento rápido de uma seringa de amostra ou pelo movimento do impulsor de uma bomba
classe	a qualidade de uma sala limpa expressa no número máximo de 0,5 μm partículas por pé cúbico (ou metro, no sistema ISO)
colimação	feixe de luz focado de forma que as extremidades do feixe estejam paralelas
compartimento	lugar de armazenamento eletrônico do pulso elétrico gerado por um fotodetector; às vezes chamado de <i>canal</i>
contador de partículas	dispositivo que conta partículas
contagens brutas	contagens de partículas que não estão normalizadas com o volume da amostra
controle de tendências	o uso de um contador de partículas para acompanhar tendências de longo prazo na microcontaminação de um determinado volume
convecção	transporte vertical de partículas no ar ou líquido
correntes	movimentos de um fluido em determinado volume
difusão	ação pela qual partículas migram de uma área de maior concentração para uma área de menor concentração

dispersão	reflexão da luz por uma partícula que transita por um feixe de laser; um método de contagem óptica de partículas; Consulte extinção
dissecado	estado de ter sido desidratado
duplete	par de partículas que se juntam
espectrômetro	tipo de contador de partículas que usa apenas o centro do feixe de laser para contar partículas
estatisticamente válida	uma pequena amostra que contém partículas que representam todo o volume
extinção	técnica de contagem de partículas que se baseia na iluminação do volume de exame e na análise das sombras emitidas pelas partículas
Federal Standard 209	normatizações obsoletas do governo dos EUA que definem a classificação das salas limpas
filtro HEPA	acrônimo de filtros de High Efficiency Particulate Air (ar particulado de alta eficiência) que removem 99,99% das partículas maiores do que 0,3 micra
filtro ULPA	acrônimo de filtros Ultra Low Particulate Air (ar de ultra baixa penetração) que removem 99,9997% das partículas maiores do que 0,12 micra
fluido	qualquer líquido ou gás
fluxo laminar	em fluidos, um fluxo regular em camadas
fluxo turbulento	movimento irregular de ar ou fluido
FMS	acrônimo de Facility Monitoring System (sistema de monitoramento de instalações): sistema de hardware de computador, software e cabos que monitora e controla todos os equipamentos de contagem de partículas das instalações
fotodetector	dispositivo que detecta a luz e a converte em pulsos elétricos
hidratada	que contém água ou líquido
inerte	sem vida, morto
inorgânico	de origem não orgânica (animal ou vegetal)
in-situ	expressão do latim que significa <i>no lugar</i> , e descreve uma classe de contador de partículas que examina uma pequena porção do volume de amostras

ISO	acrônimo de International Standards Organization (Organização de Padrões Internacionais)
LASER	acrônimo de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificação da Luz por Emissão Simulada da Radiação), que é uma luz coerente de alta intensidade
líquido	fluido que não é gasoso nem sólido
luz coerente	feixe de luz cujos fótons têm as mesmas propriedades ópticas (comprimento de onda, fase e direção)
microcontaminação	partículas que são prejudiciais ao processo de produção
mícron	forma reduzida de micrômetro; unidade de medida igual a 10^{-6} metros (1/1000 de um milímetro). Símbolo: μm
miniambiente	uma sala limpa miniatura
módulo de exame	pequena câmara com janelas que é instalada em um tubo e permite a reflexão de um feixe de laser através dela
monitor	tipo de contador de partículas que usa todo o comprimento do feixe de laser para contar partículas
movimento browniano	o movimento browniano é o movimento aleatório de partículas pequenas que acontece devido às colisões com moléculas; geralmente, o movimento browniano influencia partículas com diâmetros iguais ou menores do que 0,1 mícron
MTBF	acrônimo de Mean Time Between Failures (média dos tempos entre sucessivas falhas) que é definido como o tempo em horas que um componente ou um equipamento eletrônico deve operar antes de falhar
normalização	formatação de dados para torná-los úteis dando a eles o contexto de volume
orgânico	originado de matéria viva, ou animal ou vegetal
partículas	fragmentos muito pequenos feitos de diversas substâncias
prato de prova	superfície de teste colocada em um ambiente limpo que coleta partículas para medições posteriores
sala limpa	ambiente de produção que se propõe a minimizar a contaminação por partículas com o uso de filtros, protocolos e projetos
vácuo	ausência de gás ou líquido em determinado volume
variação térmica	irregularidades nas temperaturas de um volume de fluido que influenciam o movimento do fluido

viável

vivo

volume de exame

volume de ar ou líquido que passa por um sistema de detecção de partículas

volumétrico

tipo de contador de partículas que examina toda a amostra