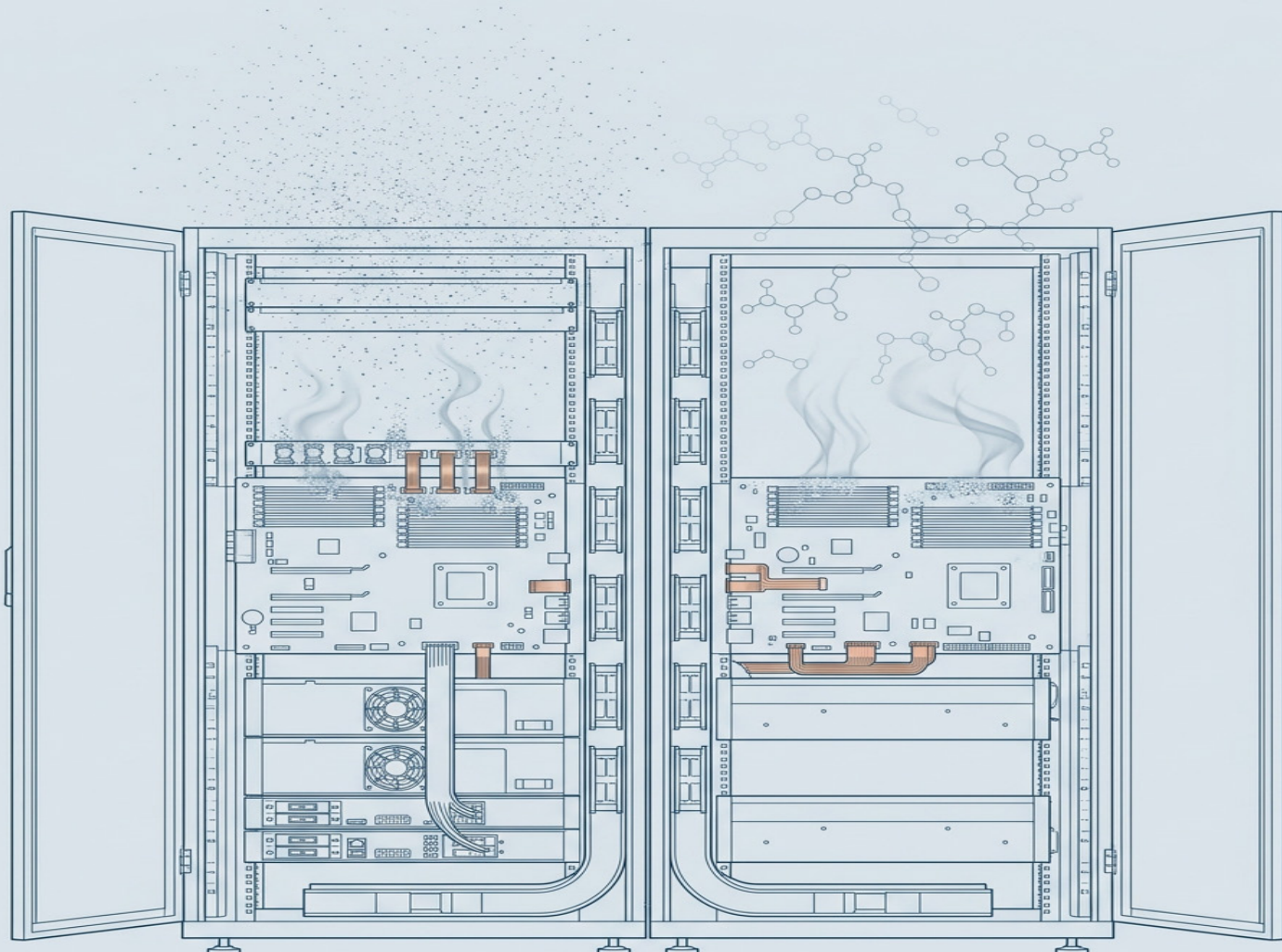


# O INIMIGO INVISÍVEL DO DATA CENTER

Humidade, Pó e Gases Corrosivos: As Ameaças Silenciosas que os Responsáveis de Infraestrutura Não Podem Ignorar



# Introdução

No mundo dos data centers, a energia e o arrefecimento são os protagonistas habituais das conversas sobre fiabilidade. São sistemas visíveis, mensuráveis e, na sua maioria, bem compreendidos pelas equipas de operações.

No entanto, existe uma categoria de ameaças que opera em silêncio, de forma cumulativa e muitas vezes sem gerar alarmes até que o dano já está feito: o condicionamento ambiental. A humidade relativa, as partículas de pó e os gases corrosivos são responsáveis por uma percentagem significativa das falhas de hardware em instalações em todo o mundo.

Este e-book destina-se a profissionais com experiência em infraestrutura crítica. Não é uma introdução ao tema: é uma análise aprofundada dos mecanismos de degradação ambiental, das suas consequências operacionais e das melhores práticas para os controlar. Se gere ou concebe data centers, esta leitura pode poupar-lhe o próximo incidente inexplicável.

## O Que Vai Encontrar Neste E-Book

Os três vetores de ameaça ambiental · Por que a HR elevada é mais perigosa do que as altas temperaturas · O fenómeno Whiskers e como mitigá-lo · Gases corrosivos: níveis, fontes e soluções · Protocolo de ação para ambientes contaminados · Tabela de referência de limites normativos

# O Condicionamento Ambiental como Sistema Crítico

A sala de computadores de um data center tem como função primária alojar equipamentos de TI num ambiente que garanta o seu funcionamento contínuo e a sua integridade a longo prazo. Para tal, as normas TIA-942 e ISO-14644 estabelecem que os centros de dados devem ser tratados como salas limpas de Classe ISO 8.

O condicionamento ambiental não é um complemento estético nem um requisito burocrático: é uma condição operacional sem a qual os equipamentos eletrónicos se degradam de forma acelerada. Três são os agentes que devem ser controlados

|                          |   |                                                                                                                   |
|--------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Humidade Relativa</b> | → | Corrosão acelerada, falhas de disco, curtos-circuitos por condensação e ativação de pó higroscópico.              |
| <b>Pó e Partículas</b>   | → | Obstrução térmica, condução elétrica (pó húmido), depósito de agentes corrosivos e geração de Whiskers metálicos. |
| <b>Gases Corrosivos</b>  | → | Corrosão de cobre e prata em circuitos e conectores, degradação progressiva sem sintomas visíveis até à falha.    |

Os três agentes podem atuar de forma independente, mas o seu efeito combinado é sinérgico e exponencialmente mais prejudicial. Um ambiente com HR elevada, pó fino e vestígios de  $H_2S$  é uma combinação que pode destruir hardware de forma sistemática em questão de meses.

# Humidade Relativa, O Risco Mais Subestimado

A maioria dos equipamentos de TI admite níveis de HR de até 80% segundo as especificações do fabricante. Isto leva muitos operadores a descontrair o controlo da humidade, assumindo que estão dentro das margens seguras. Trata-se de um erro conceptual.

O limite do fabricante contempla o comportamento elétrico do equipamento isolado. O que não contempla é a interação entre a humidade e os contaminantes presentes no ambiente da sala. Esse é o fator crítico que muda toda a análise.

## O Intervalo Ideal e os Seus Limiares Críticos

As melhores práticas do setor, suportadas pela ASHRAE TC 9.9, estabelecem um intervalo ideal de operação entre 45% e 50% de HR. Os limiares que marcam as zonas de risco são:

| Nível de HR | Zona               | Risco Associado                                         |
|-------------|--------------------|---------------------------------------------------------|
| < 30%       | Zona de risco ESD  | Descarga eletrostática em hardware sensível             |
| 30% – 44%   | Zona de Precaução  | Maior probabilidade de acumulação de carga estática.    |
| 45% – 50%   | Intervalo Ideal    | Controlo ótimo: risco mínimo de ESD e corrosão          |
| 51% – 59%   | Zona de Precaução  | Início de risco corrosivo na presença de contaminantes. |
| >= 60%      | Zona de Alto Risco | Corrosão acelerada e ativação de pó higroscópico.       |

## A Evidência Científica: HR Elevada vs. Temperatura

Um estudo publicado na Usenix FAST '16, realizado conjuntamente pelo Microsoft Research e pela Universidade de Rutgers, analisou milhares de falhas de disco em ambientes de produção. A conclusão foi inequívoca: a correlação entre HR elevada e falhas de hardware é significativamente maior do que a correlação com temperaturas elevadas.

### Princípio Operativo Fundamental

Uma humidade relativa elevada é MUITO mais perigosa para o data center do que uma humidade relativa baixa. O foco do controlo ambiental deve estar no limite superior, não no inferior

O mecanismo de dano não é a humidade em si, mas a sua interação com o pó presente na sala. Quando a HR ultrapassa os 60%, as partículas de pó fino com baixa humidade relativa deliquescente absorvem água, humedecem-se e tornam-se condutoras elétricas. O pó húmido atua como ponte condutora entre pistas de circuito, gerando curtos-circuitos e acelerando a migração iónica.

# Pó e Partículas, A Ameaça Antecipada

O controlo de partículas num data center opera em duas dimensões independentes que devem ser geridas separadamente: a quantidade de partículas e a sua corrosividade. Um ambiente pode ter baixa concentração de partículas altamente corrosivas, ou alta concentração de pó benigno. Ambos os cenários requerem intervenção, mas de natureza diferente.

## Classificação e Origem das Partículas

| Tipo            | Dimensão     | Origem                                                  | Permanência no Ar |
|-----------------|--------------|---------------------------------------------------------|-------------------|
| Pó grosseiro    | 2,5 – 15 µm  | Abrasão eólica, origem mineral e biológica.             | Dias              |
| Pó fino (PM2.5) | 0,1 – 2,5 µm | Combustão de combustíveis fósseis, atividade vulcânica. | Anos              |

O pó fino (PM2.5) é o mais perigoso por duas razões: a sua permanência no ar é praticamente indefinida em ambientes sem filtragem adequada, e o seu tamanho permite-lhe penetrar nos circuitos mais densos e nos mecanismos de leitura/escrita dos discos.

## Humidade Relativa Deliquescente

A humidade relativa deliquescente é o valor de HR a partir do qual uma partícula de pó absorve água do ambiente. Este valor varia consoante a composição química do pó. As partículas com baixa humidade deliquescente são as mais perigosas: ativam-se mais cedo e permanecem húmidas durante mais tempo.

Quando o pó se humedece, ocorrem dois processos simultâneos:

- O pó torna-se condutor elétrico, criando caminhos de fuga entre pistas de circuito
- Acelera-se a migração iónica, que deposita iões metálicos nos pontos de maior tensão elétrica.

### Nível de Limpeza Requerido

De acordo com a norma ISO-14644, os data centers devem manter o nível de limpeza ISO Classe 8. Isto implica uma monitorização contínua de partículas por metro cúbico e sistemas de filtração MERV 8 para o ar ambiente e MERV 11 a MERV 13 para a entrada de ar exterior.

## Medição e Controlo

A corrosividade do pó mede-se em angstroms por mês (Å/mês) sobre cupões de cobre e prata expostos na sala. Os limites normativos são:

- Cobre: máximo 300 Å/mês.
- Prata: máximo 200 Å/mês.



A concentração de partículas mede-se em partículas/m³ com contadores de partículas em tempo real. O controlo operacional realiza-se através de:

- Filtragem MERV 8 no retorno do ar interior.
- Filtragem MERV 11–13 na entrada de ar exterior.
- Manutenção do nível de HR abaixo de 60%..
- Programa de limpeza técnica documentado e certificado.

# Whiskers Metálicos, A Ameaça que Ninguém Vê Chegar

De todos os fenómenos de degradação ambiental nos data centers, os Whiskers metálicos são provavelmente os menos conhecidos e os mais difíceis de gerir uma vez estabelecidos numa instalação. O seu mecanismo é contraintuitivo e as suas consequências podem ser catastróficas.

## O Que São e Como se Formam

Os Whiskers são estruturas cristalinas microscópicas, semelhantes a filamentos ou pelos, que crescem espontaneamente sobre superfícies metálicas galvanizadas. Os metais que os geram com maior frequência em ambientes de data center são o zinco (Zn), o estanho (Sn) e o cádmio (Cd). Todos eles estão presentes nos pisos elevados galvanizados, condutas, calhas de cablagem e armários padrão.

O processo de crescimento tem três fases:

| Fase               | Duração       | Descrição                                                                           |
|--------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Incubação          | Dias a anos   | Sem crescimento visível. O material está a acumular tensões internas                |
| Crescimento Activo | Meses a anos  | Os filamentos crescem a partir da superfície. Comprimento típico < 1 mm, até 10 mm. |
| Estabilização      | Indeterminada | O crescimento pode parar, mas o material já presente não desaparece.                |

Os Whiskers têm um diâmetro de poucos micrómetros, o que os torna invisíveis a olho nu. No entanto, são suficientemente longos para criar pontes condutoras entre pistas de circuito nos equipamentos eletrónicos atuais, onde a separação entre pistas também se mede em micrómetros.

## Por Que São Tão Perigosos

As falhas causadas por Whiskers têm uma característica que as torna especialmente perniciosas do ponto de vista operacional: são intermitentes. O filamento pode criar um curto-circuito transitório, gerar um reinício do sistema ou uma variação de tensão, e depois desaparecer ao fundir-se com a corrente. O evento fica registado como uma falha sem causa aparente.

**Padrão de Alerta**

Se o seu data center apresenta reinícios inexplicáveis, variações de tensão não correlacionadas com eventos elétricos ou falhas de hardware sem causa identificável, os Whiskers metálicos devem ser incluídos no protocolo de diagnóstico

**Protocolo de Atuação quando se Detetam Whiskers**

A única eliminação completa e aceite dos Whiskers é a retirada e substituição do material fonte. Não existe nenhum tratamento que elimine os filamentos já formados sem substituir o substrato. O protocolo de atuação quando se detetam Whiskers na sala é:

- Etiquetar e identificar cada fonte de contaminação (painéis de piso, condutas, armários, calhas)..
- Formar todo o pessoal sobre identificação visual e procedimentos de segurança..
- Estabelecer um plano prioritário de substituição do material fonte.
- Implementar um programa de monitorização de falhas de hardware correlacionado com a localização na sala.
- Instalar locais de teste com amostragem periódica (cupões metálicos) para acompanhamento da evolução.
- Reforçar o programa de limpeza técnica para minimizar a dispersão de filamentos.

**Gases Corrosivos, O Veneno Silencioso**

Os gases corrosivos são a ameaça ambiental mais difícil de detetar sem instrumentação específica. Não geram alarmes visíveis, não produzem sintomas imediatos e a sua ação sobre os circuitos eletrónicos é progressiva e cumulativa. Quando o dano se torna visível, geralmente já afetou múltiplos equipamentos.

**Os Principais Agentes Corrosivos**

Os gases que contêm enxofre são os causadores mais comuns de corrosão em equipamentos eletrónicos. O dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e o sulfureto de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) reagem com as superfícies de cobre e prata presentes nos circuitos, formando compostos não condutores que degradam as ligações elétricas. O seu efeito é significativamente amplificado na presença de outros gases.

**Sinergia de Gases Corrosivos**

A combinação de  $\text{SO}_2$  ou  $\text{H}_2\text{S}$  com dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ) ou ozono ( $\text{O}_3$ ) produz uma mistura significativamente mais corrosiva do que qualquer um dos gases individualmente. Em ambientes urbanos com tráfego intenso ou instalações industriais próximas, a monitorização desta combinação é obrigatória.

Limites de Concentração Máxima

| Gás                           | Fórmula                          | Concentração Máx. | Fonte Típica                                     |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------|
| Sulfureto de hidrogénio       | H <sub>2</sub> S                 | < 3 ppb           | Águas residuais, indústria química               |
| Dióxido / trióxido de enxofre | SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub> | < 10 ppb          | Combustão, indústria, vulcões                    |
| Cloro                         | Cl <sub>2</sub>                  | < 1 ppb           | Tratamento de água, produtos de limpeza          |
| Óxidos de azoto               | NO <sub>x</sub>                  | < 50 ppb          | Tráfego, combustão                               |
| Fluoreto de hidrogénio        | HF                               | < 1 ppb           | Indústria do alumínio, eletrónica                |
| Amoníaco                      | NH <sub>3</sub>                  | < 500 ppb         | Refrigeração, limpeza                            |
| Ozono                         | O <sub>3</sub>                   | < 2 ppb           | Equipamentos elétricos, fotocopiadoras, exterior |

Estes valores baseiam-se nas diretrizes da ASHRAE TC 9.9 para contaminação gasosa e particulada em centros de dados (revisão de 2011). Os limites são muito baixos, na ordem das partes por bilião, o que torna indispensável a utilização de monitores de gás de precisão para o seu controlo.

Controlo e Filtração

O controlo da contaminação gasosa realiza-se através de filtração em fase gasosa, que emprega materiais adsorventes como carvão ativado impregnado ou zeólitos que capturam os gases corrosivos antes de chegarem à sala. Os pontos críticos de filtração são:

- Entrada de ar exterior: primeira barreira de filtração gasosa.
- Retorno de ar nas unidades CRAC/CRAH: segunda barreira para gases gerados internamente.
- Salas adjacentes com fontes potenciais (baterias de chumbo-ácido, que emitem H<sub>2</sub>S durante a carga).

Atenção Especial às Baterias

As salas de baterias de chumbo-ácido são fontes internas de H<sub>2</sub>S durante os ciclos de carga. A separação física e a ventilação dedicada das salas de baterias não são opcionais: são requisitos básicos de conceção que protegem a sala de servidores de contaminação gasosa interna.

# O Programa de Controlo Ambiental

O controlo ambiental eficaz não é um evento pontual: é um programa contínuo que combina monitorização em tempo real, manutenção preventiva e protocolos de resposta a desvios. O quadro de atuação recomendado é descrito a seguir.

## Monitorização em Tempo Real

O primeiro requisito é ter visibilidade em tempo real dos três agentes ambientais. Os sistemas de monitorização devem cobrir:

- Sensores de HR e temperatura distribuídos em múltiplos pontos da sala (entrada e saída de ar de cada corredor).
- Contadores de partículas em tempo real com alarmes configurados para ISO Classe 8.
- Monitores de gás para H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> no mínimo, com registo histórico.
- Cupões de corrosividade (cobre e prata) com leitura mensal ou trimestral.

## Limpeza Técnica

A limpeza técnica de um data center é uma atividade especializada que requer pessoal formado, equipamento específico e procedimentos documentados. Os elementos-chave são:

- Frequência: limpeza geral da sala semestral no mínimo; revisão do piso elevado anual.
- Equipamento: aspiradores com filtros HEPA, panos antiestáticos, aspiradores de vácuo seco.

- Âmbito: piso elevado e plenum, interior de racks (com equipamentos em produção), calhas de cablagem, unidades CRAC/CRAH, filtros de ar.
- Documentação: registo de cada limpeza com medições de partículas antes e depois.
- Revisão completa do sistema de piso a cada cinco anos, segundo especificações do fabricante.

## Tabela de Referência de Frequências de Controlo

| Ação de Controlo                           | Frequência         | Ferramenta / Método       |
|--------------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Leitura e registo de HR e temperatura      | Tempo real         | BMS / DCIM                |
| Revisão de alarmes de HR fora do intervalo | Diária             | BMS / DCIM                |
| Contagem de partículas na sala             | Semanal            | Contador de partículas    |
| Revisão de filtros CRAC/CRAH               | Mensal             | Inspeção visual           |
| Leitura de cupões de corrosividade         | Trimestral         | Laboratório acreditado    |
| Monitorização de gases corrosivos          | Contínua ou mensal | Monitor de gás / amostras |
| Limpeza técnica da sala                    | Semestral          | Empresa especializada     |
| Revisão do plenum sob o piso               | Anual              | Inspeção + limpeza        |
| Revisão completa do piso elevado           | Quinquenal         | Empresa especializada     |



# Conclusão: O Que Não Se Mede Não Se Pode Gerir

O condicionamento ambiental é a disciplina dos data centers que mais beneficia do princípio de Peter Drucker: o que não se mede não se pode gerir. A humidade relativa, o pó e os gases corrosivos não avisam antes de causar danos. Operam de forma silenciosa, cumulativa e invisível até que o hardware falha.

Os profissionais que compreendem estes mecanismos têm uma vantagem operacional real: podem antecipar falhas, explicar incidentes que de outro modo ficariam sem causa identificada, e conceber programas de manutenção que protejam o investimento em infraestrutura a longo prazo.

## Os Três Princípios do Controlo Ambiental Eficaz

1. Manter a HR entre 45% e 50%. O limite crítico é o superior, não o inferior. 2. Tratar o pó como um risco químico, não apenas mecânico. A sua interação com a HR converte-o em condutor elétrico. 3. Monitorizar os gases corrosivos de forma contínua. O dano é invisível, mas mensurável antes de se tornar irreversível.

A boa notícia é que todos estes riscos são geríveis com as ferramentas e os procedimentos adequados. O primeiro passo é reconhecê-los pelo que são: ameaças críticas que merecem a mesma atenção que a energia ou o arrefecimento.