

A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM DATA CENTER

João Paulo Machado

Bacharel e Licenciado em Computação. Esp. em Data Center e Engenharia de Redes de Telecon.

<http://lattes.cnpq.br/4353452877876825>

<https://orcid.org/0009-0009-4714-8276>

E-mail: jpmachado_rs@hotmail.com

DOI-Geral: <http://dx.doi.org/10.47538/BJE-2025.V3N3>

DOI-Individual: <http://dx.doi.org/10.47538/BJE-2025.V3N3-04>

RESUMO: Este artigo apresenta uma análise comparativa entre diferentes sistemas de climatização aplicados a data centers localizados em capitais brasileiras representativas de cada região do país. Foram avaliados os sistemas de Chiller Aberto, Chiller Fechado, Expansão Direta (DX) e Free Cooling, considerando o desempenho energético médio mensal (COP), de acordo com as condições climáticas específicas, incluindo temperatura e umidade relativa. O estudo destaca que o Chiller Aberto é favorecido em regiões de clima quente e seco, como Brasília e Fortaleza, enquanto o Chiller Fechado apresenta melhor desempenho em áreas úmidas e amenas, como São Paulo. O sistema DX demonstrou ser uma solução estável para cargas menores, devido à sua menor complexidade e independência das variações climáticas. O Free Cooling, especialmente em sua modalidade indireta, destacou-se como a solução mais eficiente energeticamente, sendo ideal para climas frios e secos. Curitiba foi identificada como a capital brasileira mais propícia à adoção do Free Cooling, alcançando COPs superiores a 9 em diversos meses do ano. Conclui-se que a escolha do sistema de climatização ideal depende diretamente das condições climáticas locais e da escala operacional do data center, sendo necessária análise técnica específica para maximizar eficiência energética e segurança operacional.

PALAVRAS-CHAVE: Climatização. Data Centers. Eficiência Energética.

COMPARATIVE ANALYSIS OF AIR CONDITIONING SYSTEMS FOR DATA CENTERS

ABSTRACT: This article presents a comparative analysis of different cooling systems applied to data centers located in representative Brazilian capital cities from each region of the country. The evaluated systems include Open Chiller, Closed Chiller, Direct Expansion (DX), and Free Cooling, considering the monthly average energy performance (COP) according to specific climatic conditions, including temperature and relative humidity. The study highlights that the Open Chiller is favored in hot and dry regions, such as Brasília and Fortaleza, while the Closed Chiller shows better performance in humid and mild areas, such as São Paulo. The DX system proved to be a stable solution for smaller loads due to its lower complexity and reduced sensitivity to climate variations. Free Cooling, especially in its

indirect modality, stood out as the most energy-efficient solution, being ideal for cold and dry climates. Curitiba was identified as the Brazilian capital most suitable for adopting Free Cooling, achieving COPs above 9 in several months of the year. It is concluded that the choice of the ideal cooling system depends directly on local climatic conditions and the operational scale of the data center, requiring specific technical analysis to maximize energy efficiency and operational safety.

KEYWORDS: Cooling Systems. Data Centers. Energy Efficiency.

INTRODUÇÃO

Este documento apresenta uma análise técnica e comparativa entre diferentes sistemas de climatização para data centers em capitais brasileiras representativas de cada região. A análise considera não apenas a temperatura, mas também a umidade relativa mensal, que afeta diretamente o desempenho de sistemas como o chiller aberto e o freecooling. São avaliados os sistemas de Chiller Aberto, Chiller Fechado, Expansão Direta (DX) e Free Cooling, com base no Coeficiente de Performance (COP) médio mensal.

EXPLICAÇÃO DOS SISTEMAS

Chiller, são sistemas que utilizam água gelada para refrigerar a sala de computadores, a diferença entre os sistemas aberto e fechado é a forma como o fluido refrigerante no interior do chiller é resfriado.

CHILLER COM SISTEMA ABERTO

É um sistema de climatização que torre de resfriamento, na qual a água entra em contato direto com o ar ambiente, promovendo a dissipação de calor por evaporação. Esse sistema é caracterizado pela presença de dois circuitos hidráulicos distintos:

Circuito de condensação: transporta a água que será utilizada para resfriar o fluido refrigerante do chiller. Essa água, após absorver calor do fluido refrigerante no condensador,

é encaminhada para a torre de resfriamento, onde sofre resfriamento evaporativo em contato direto com o ar ambiente.

Circuito de evaporação (ou circuito do ambiente interno): é responsável por transportar a água gelada entre o evaporador do chiller e os equipamentos de climatização localizados na sala de computadores (como fancoils, CRAHs ou unidades In-Row). Essa água não entra em contato com a torre de resfriamento e circula em circuito fechado, realizando a troca térmica com o ar interno do data center.

Portanto, apenas a água do circuito de condensação é direcionada à torre de resfriamento, enquanto a água gelada do circuito de evaporação permanece confinada, garantindo eficiência e segurança na climatização da carga crítica. Favorecido em climas quentes e secos.

CHILLER COM SISTEMA FECHADO

No sistema de chiller fechado, a água gelada utilizada para climatizar a sala de computadores circula em um circuito hidráulico fechado. Após absorver o calor do ambiente interno, essa água retorna ao chiller, onde é novamente resfriada por um fluido refrigerante, em um processo muito semelhante ao dos sistemas de expansão direta.

Nesse tipo de sistema, existe apenas um circuito hidráulico, responsável pela climatização do ambiente, circuito de evaporação.

É o circuito responsável por transportar a água gelada entre o evaporador do chiller e os equipamentos de climatização instalados na sala de computadores, como fancoils, CRAHs (Computer Room Air Handlers) ou unidades In-Row. Essa água realiza a troca térmica com o ar do data center e não entra em contato com nenhuma torre de resfriamento, circulando permanentemente em circuito fechado.

A remoção de calor deste circuito é feita por meio da condensadora, que dissipa o calor absorvido pelo fluido refrigerante para o ambiente externo, geralmente através de ventiladores e trocadores de calor a ar, tal como ocorre em sistemas de expansão direta.

Esse arranjo torna o sistema de chiller fechado indicado para ambientes urbanos ou locais onde o uso de água em torres de resfriamento não é viável, além de reduzir o consumo de água e os custos associados ao seu tratamento.

EXPANSÃO DIRETA (DX)

No sistema de climatização por expansão direta, o fluido refrigerante circula diretamente entre a unidade evaporadora, instalada no ambiente interno do data center, e a condensadora, geralmente posicionada no ambiente externo. Diferentemente dos sistemas que utilizam água gelada (como os sistemas a chiller), o ar do ambiente interno é resfriado diretamente pelo evaporador que contém o fluido refrigerante em estado líquido. Ao absorver o calor, o fluido passa ao estado gasoso e retorna à condensadora, onde libera o calor para o ambiente externo. Este sistema é amplamente utilizado em data centers de pequeno e médio porte (tipicamente até 200 kW), por apresentar menor complexidade de instalação, menor custo inicial e não exigir infraestrutura hidráulica. No entanto, apresenta limitações de escalabilidade e menor flexibilidade operacional. Sua eficiência (COP) pode variar significativamente conforme as condições externas, especialmente em regiões de clima quente, onde a condensação do fluido refrigerante se torna menos eficiente. Como os demais sistemas de climatização, exige planejamento adequado para garantir a redundância térmica necessária ao nível de criticidade da carga de TI.

FREE COOLING

O Free Cooling é uma estratégia de climatização que visa reduzir ou até eliminar o uso de sistemas mecânicos de refrigeração, aproveitando as condições ambientais favoráveis — como temperaturas externas mais baixas — para resfriar o ar ou a água utilizada no ambiente interno. Essa tecnologia se divide em duas modalidades principais: Free Cooling Direto e Free Cooling Indireto.

No Free Cooling Direto, o próprio ar externo é admitido na sala de computadores, passando por filtros e sistemas de controle de umidade antes de entrar no ambiente. Trata-se

de uma solução de alta eficiência energética, com COPs teóricos superiores a 20, porém exige cuidados rigorosos com a qualidade do ar, pressurização, filtragem particulada, além da conformidade com limites de temperatura e umidade estabelecidos pela ASHRAE para salas críticas. Essa abordagem é mais adequada em regiões de clima frio e seco, como parte do Sul do Brasil.

Já no Free Cooling Indireto, a troca térmica ocorre por meio de intercambiadores de calor, sem que o ar externo entre em contato direto com o ar da sala de computadores. O ar ambiente resfria um fluido intermediário (como a água ou um fluido glicolado), que, por sua vez, resfria o ar interno em unidades de tratamento. Essa solução mantém o ambiente totalmente isolado, preservando a qualidade do ar interno, com menor risco de contaminação, sendo mais aplicável em regiões urbanas ou industriais com alta carga de poluentes.

O Free Cooling, seja direto ou indireto, é extremamente vantajoso do ponto de vista energético, podendo operar com consumo de energia muito inferior aos sistemas convencionais, desde que haja congruência climática com a localidade. Sua viabilidade técnica e econômica depende, portanto, da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e frequência anual de horas úteis de clima favorável, sendo ideal em cidades como Curitiba e Porto Alegre.

FATORES CLIMÁTICOS

O desempenho de cada sistema depende diretamente das condições climáticas da localidade:

- Clima quente e seco favorece a evaporação em torres de resfriamento, elevando a eficiência do chiller aberto.
- Clima ameno e frio favorece o uso do free cooling, que utiliza diretamente o ar externo para resfriar os ambientes internos.
- Em climas quentes e úmidos, o free cooling é altamente ineficiente devido à umidade elevada do ar.

FÓRMULA DO COP

O COP (do inglês Coefficient of Performance) é um indicador de eficiência energética de sistemas de climatização e refrigeração. Ele representa a razão entre a quantidade de calor removido (ou energia térmica fornecida) e a energia elétrica consumida para realizar esse processo.

Fórmula básica:

$$\text{COP} = Q/W$$

Onde:

Q = quantidade de calor removido (em kW)

W = energia elétrica consumida pelo sistema (em kW)

Exemplo prático:

Se um sistema de ar-condicionado remove 10 kW de calor consumindo 2 kW de eletricidade, seu COP é:

$$\text{COP} = 10/2 = 5$$

Ou seja, para cada 1 kW de energia consumida, o sistema remove 5 kW de calor.

Quanto maior o COP, mais eficiente é o sistema.

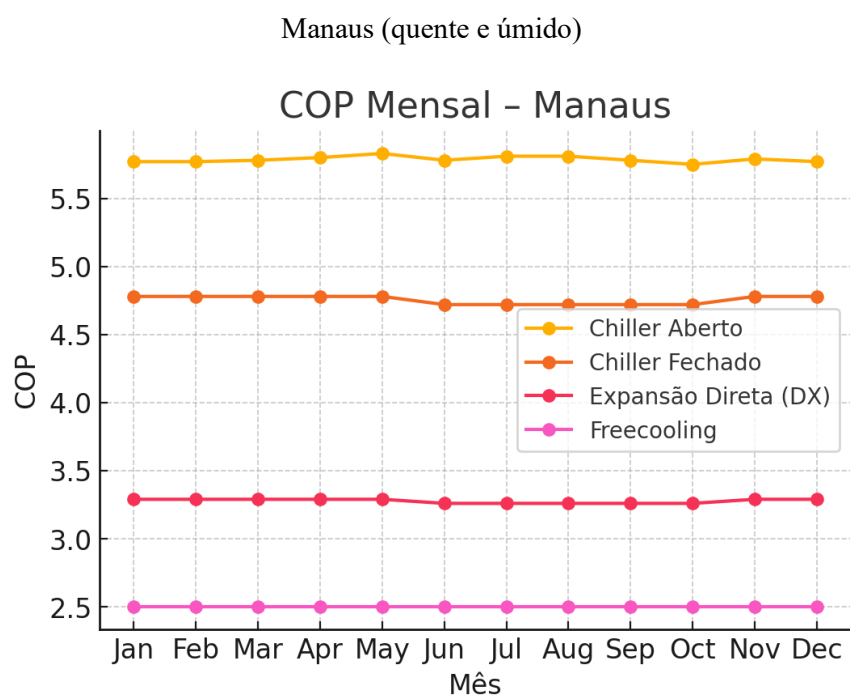
$$\text{COP} = \text{Potência Térmica Retirada (kW)} / \text{Potência Elétrica Consumida (kW)}$$

Exemplo: COP Mensal por Sistema – Curitiba:

Mês	Chiller Aberto	Chiller Fechado	Expansão Direta (DX)	Freecooling
1	6.17	5.02	3.41	7.0
2	6.17	5.02	3.41	7.0
3	6.3	5.14	3.47	8.6
4	6.5	5.32	3.56	9.4
5	6.5	5.5	3.65	9.0

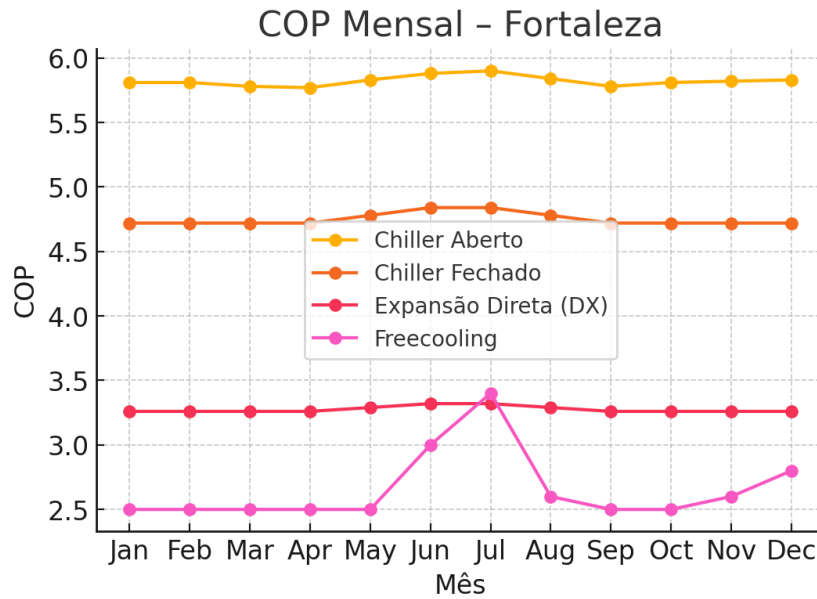
6	6.5	5.62	3.71	8.8
7	6.5	5.68	3.74	8.6
8	6.5	5.62	3.71	8.6
9	6.5	5.5	3.65	9.0
10	6.5	5.38	3.59	9.4
11	6.46	5.26	3.53	9.8
12	6.32	5.14	3.47	9.0

GRÁFICOS COMPARATIVOS E ANÁLISE POR CAPITAL



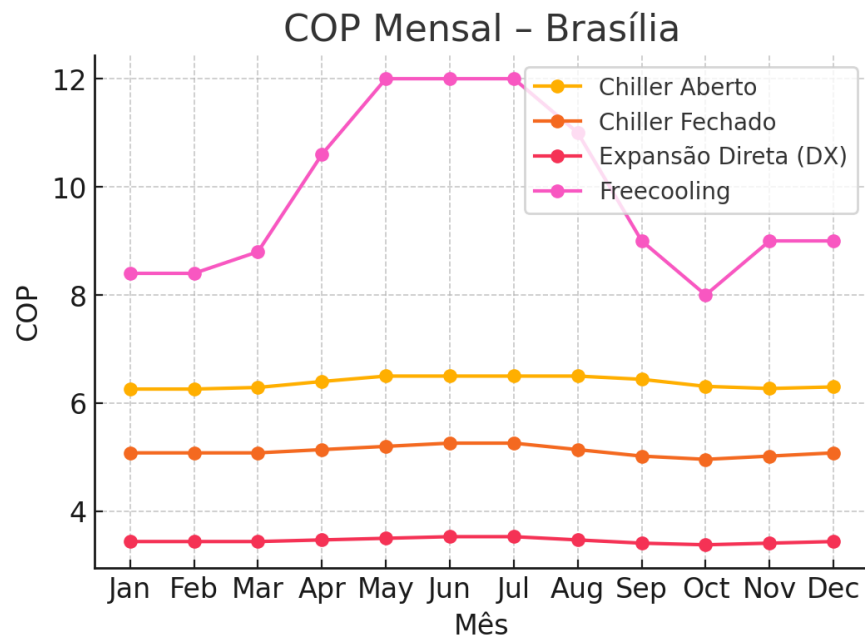
Clima Quente e úmido, que favorece chiller aberto e fechado e penaliza freecooling.

Fortaleza (Quente e seco)



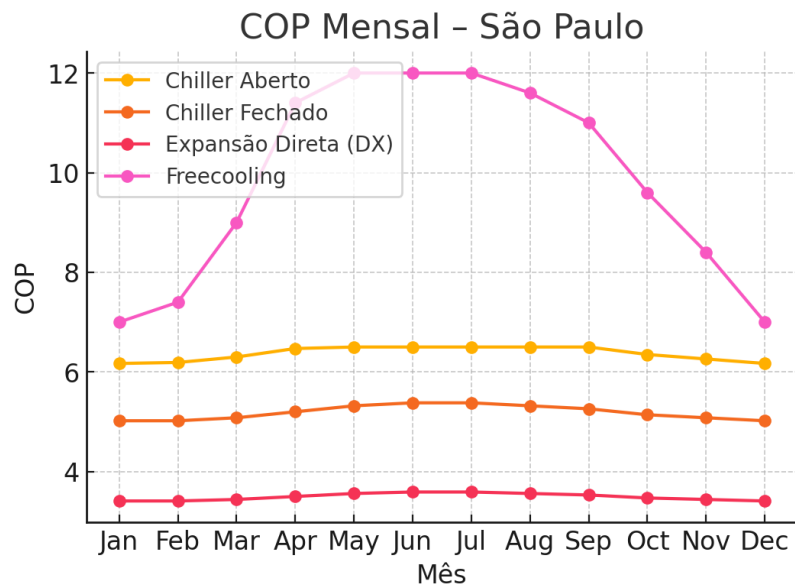
Clima Quente e seco, que favorece chiller aberto, penaliza freecooling.

Brasília (Quente e seco sazonal)



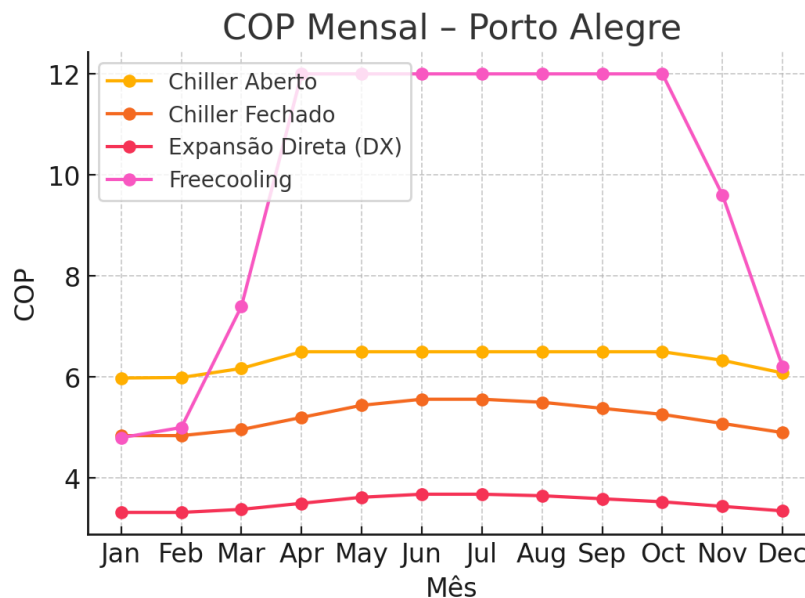
Clima Quente e seco sazonal, que favorece chiller aberto na seca, penaliza freecooling

São Paulo (Morno a frio e úmido)



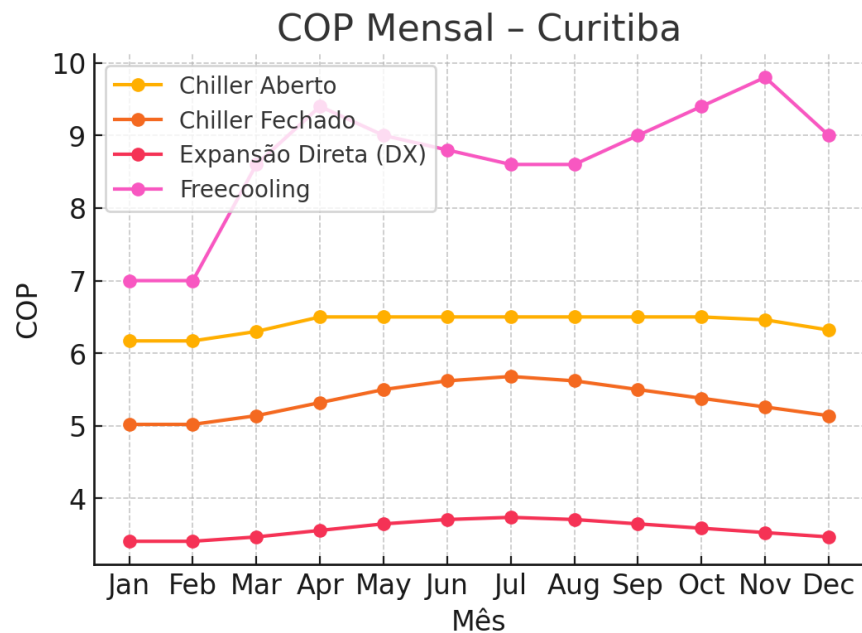
Clima Morno a frio e úmido, que favorece chiller fechado e uso parcial de freecooling.

Porto Alegre (Frio e úmido)



Clima Frio e úmido, que favorece freecooling e chiller fechado.

Curitiba (Frio e úmido)



Clima Frio e úmido, que excelente para freecooling, bom para chiller fechado.

MELHOR CIDADE PARA FREE COOLING

Curitiba confirma-se como a capital brasileira com maior potencial para operação com sistema de Free Cooling. Com temperaturas médias baixas e umidade controlada, o sistema atinge COPs superiores a 9 em diversos meses, superando inclusive Porto Alegre. Sua estabilidade climática e infraestrutura urbana consolidada favorecem a adoção dessa tecnologia.

CONCLUSÕES

- Sistemas de Chiller Aberto são favorecidos em clima seco e quente, como Fortaleza e Brasília.
- Chiller Fechado mostra estabilidade em climas amenos e úmidos, como São Paulo.
- Freecooling é altamente eficiente em climas frios como Curitiba e Porto Alegre.

- O sistema DX tem desempenho estável e menor sensibilidade ao clima, ideal para cargas menores.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Thermal guidelines for data processing environments. 5. ed. Atlanta: ASHRAE, 2021.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). HVAC applications handbook. Atlanta: ASHRAE, 2023.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Potencial de uso do Free Cooling em data centers no Brasil. Porto Alegre: UFRGS, 2020. (Estudo interno, não publicado).

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Séries históricas e dados climatológicos mensais. Disponível em: <https://www.gov.br/inmet>. Acesso em: 08 jul. 2025.

SCHNEIDER ELECTRIC. Cooling economizer use in data centers. White Paper 136, 2010. Disponível em: <https://www.se.com>. Acesso em: 08 jul. 2025.

EMERSON NETWORK POWER. Thermal management for high-density data centers. Columbus: Emerson, 2012.

TRANE. Manual de engenharia de sistemas HVAC. São Paulo: Trane Brasil, 2019.

VERTIV. Catálogo técnico de soluções de arrefecimento para data centers. São Paulo: Vertiv Brasil, 2022.

STULZ. Soluções de climatização de precisão para data centers. São Paulo: Stulz Brasil, 2021.

DAIKIN. Guia técnico de eficiência sazonal (SEER/COP) para sistemas VRF e chillers. São Paulo: Daikin Brasil, 2020.

Submissão: março de 2025. Aceite: abril de 2025. Publicação: agosto de 2025.