

Arquitetura Aprimorada para Data Centers de Alta Densidade com Alta Eficiência

White Paper 126

Revisão 1

por Neil Rasmussen

> Sumário Executivo

A infraestrutura de refrigeração e potência do data center mundial desperdiça mais de 60.000.000 megawatts/hora por ano de eletricidade que não é utilizada para alimentar equipamentos de TI. Isso representa um enorme fardo financeiro no setor, além de ser uma questão ambiental significativa de política de privacidade. Este documento descreve os princípios de uma nova arquitetura do data center comercialmente disponível que pode ser implementada hoje para melhorar drasticamente a eficiência elétrica dos data centers.

Conteúdo

clique em uma seção para ter acesso a ela

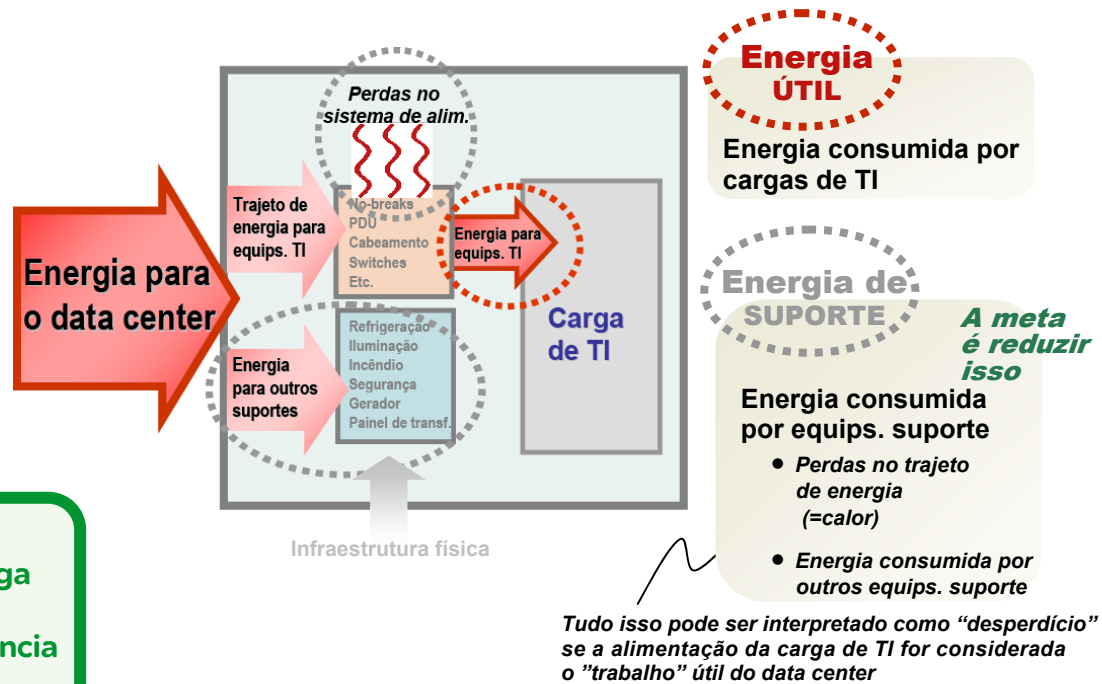
Introdução	2
Para onde vai toda a energia?	3
Uma arquitetura do data center otimizada	5
Comparação com as abordagens convencionais	8
Comparação com outras abordagens propostas	18
Limites de desempenho práticos	20
Conclusão	21
Recursos	22

Introdução

Em um data center típico, menos da metade da eletricidade usada chega a ser consumida de fato como carga dos computadores. Mais da metade da conta de energia elétrica se deve à energia consumida pelo sistema de energia elétrica, pelo sistema de refrigeração e pela iluminação. Desse modo, o consumo elétrico total tem dois contribuidores principais: (1) a energia consumida pelas cargas de TI e (2) a energia consumida pelo equipamento de suporte (**Figura 1**). O foco deste documento é a energia consumida pelo equipamento de suporte, que inclui as perdas do equipamento de trajeto da energia e toda a energia usada por equipamentos de suporte não relacionados ao trajeto da energia.

Figura 1

Consumo de energia no data center



> Como a alta densidade e a carga de TI variável diminuem a eficiência do data center?

- A alta densidade e as cargas dinâmicas, de fato, oferecem uma oportunidade para aumentar a eficiência, se suportadas por energia e refrigeração "inteligentes" baseadas em filas. No entanto, sem a devida reformulação dos sistemas de alimentação e refrigeração, o que é uma realidade comum, o resultado típico pode ser
- Desperdício de refrigeração devido ao aumento da refrigeração na sala para incluir os pontos de calor
- Diminuição das cargas operacionais e capacidade excedente de energia e refrigeração – um cenário que reduz a eficiência pelo fato de as cargas mais leves levarem a uma baixa eficiência dos sistemas de energia e de refrigeração

A perda da eficiência devida para energia e refrigeração em excesso ou direcionadas incorretamente será abordada posteriormente neste documento.

Os fornecedores de equipamentos de computação estão fornecendo novas soluções como a virtualização que têm o potencial de diminuir a quantidade total de equipamentos de TI necessários para realizar uma função específica, o que oferece um meio para diminuir o consumo de energia de cargas de TI. Infelizmente, ao mesmo tempo, a tendência dos sistemas de TI que funcionam em densidades maiores com consumo de energia com variação de tempo está **diminuindo** a eficiência elétrica da potência do data center e dos sistemas de refrigeração (veja a caixa).

Várias propostas para solucionar o desperdício de energia nos data centers melhorando o desempenho dos sistemas de alimentação e de refrigeração têm sido descritas na literatura. Algumas delas, como conexões diretas da tubulação de água com dispositivos de TI e distribuição de energia de CC, prometem aprimoramentos incrementais de eficiência do sistema, mas elas não são viáveis hoje em dia. Este documento apresenta uma arquitetura aprimorada do data center - disponível e viável atualmente - que diminui o consumo de energia dos sistemas de alimentação e de refrigeração em mais de 50% em uma instalação típica.

A nova arquitetura descrita neste documento não é simplesmente uma configuração física do equipamento ou a eficiência aprimorada de dispositivos individuais; é uma transformação do sistema inteiro que combina os melhores elementos do projeto do data center:

- Elaboração do projeto dos dispositivos individuais
- Distribuição de energia
- Comunicação e coordenação entre os componentes

- Estratégia de refrigeração
- Planejamento do sistema
- Ferramentas de gerenciamento

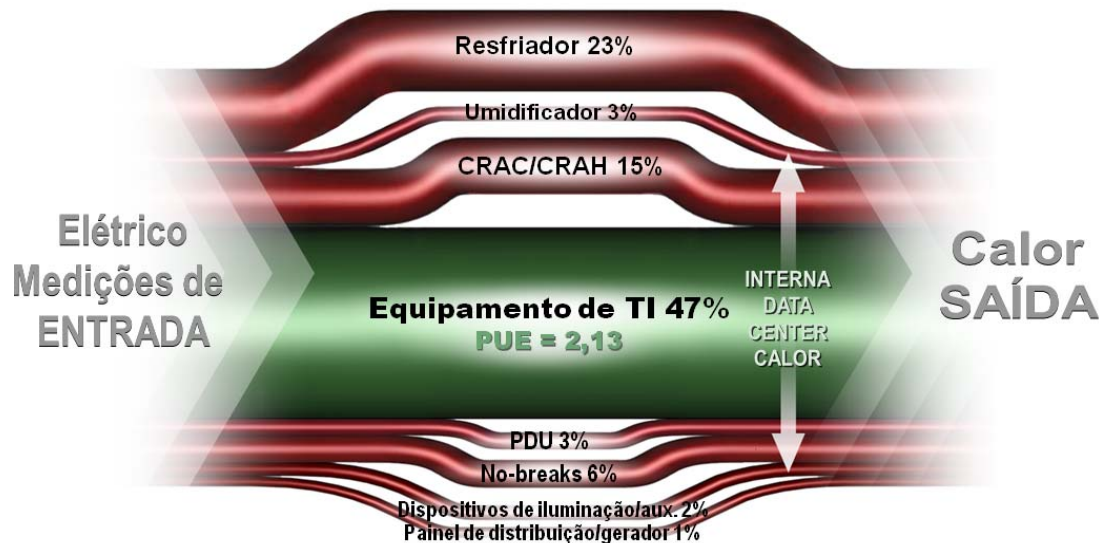
Quando todos esses elementos são combinados como um sistema integrado, o aprimoramento do desempenho pode ser significativo.

Para onde vai toda a energia?

O fluxo de energia de um data center típico 2N é mostrado na **Figura 2**. A energia entra no data center como energia elétrica, e praticamente toda a energia (mais de 99,99%) sai do data center como calor. O resto é convertido em computação pelo equipamento de TI.

Figura 2

Fluxo de energia em um data center típico 2N



Neste exemplo, 47% da energia elétrica que entra na instalação realmente alimenta a carga de TI (chamada de **energia ÚTIL** na **Figura 1**), e o restante é consumido - convertido em calor - por equipamentos de alimentação, refrigeração e iluminação. Uma quantidade insignificante de energia vai para os sistemas de proteção contra incêndio e segurança física, e não é mostrada nesta análise. Esse data center atualmente está mostrando uma Eficiência de Utilização de Energia (PUE) de 2,13. Desse modo, 53% da energia de entrada não está fazendo o “trabalho útil” do data center (alimentando as cargas de TI) e, assim, ocorre a ineficácia do data center (ou “desperdício”, na terminologia do modelo de eficiência). Para entender como podemos diminuir drasticamente essa ineficácia – lembre-se de que TODO o suporte não relacionado ao trajeto de energia é considerado ineficácia neste modelo – precisamos entender os cinco contribuidores principais, que são:

Cinco fatores que contribuem para a ineficiência elétrica

Todos eles contribuem para a energia de SUPORTE na Figura 1

1. Ineficiência do equipamento de energia
2. Ineficiência do equipamento de refrigeração
3. Consumo de energia dos aparelhos de iluminação
4. Sobredimensionamento dos sistemas de alimentação e de refrigeração
5. Ineficiência devido à configuração

Embora a maioria dos usuários entenda que as ineficiências dos equipamentos de alimentação, refrigeração e iluminação são resíduos, os outros itens da lista acima dominam as ineficiências e não são bem compreendidos. Cada um dos cinco contribuidores é analisado em detalhes



Link para o recurso

White Paper 113*Modelagem de Eficiência Elétrica de Data Centers*

no White Paper 113, *Modelagem de Eficiência Elétrica em Data Centers* e suas características do consumo de energia são resumidas aqui:

1. Ineficiência do equipamento de energia

Equipamentos como no-breaks, transformadores, switches de transferência e fios consomem um pouco de energia (manifestada como calor) durante seu funcionamento. Embora esses equipamentos possam ter classificações oficiais de eficiência que parecem impressionantes (90% ou mais), esses valores de eficiência não são confiáveis e não podem ser usados para calcular a energia desperdiçada em instalações reais. Quando o equipamento é duplicado por questões de redundância ou quando o equipamento é operado bem abaixo de sua potência nominal, a eficiência diminui significativamente. Além disso, **o calor gerado por essa energia “desperdiçada” no equipamento de energia deve ser resfriado pelo sistema de refrigeração**, o que leva o sistema de condicionamento de ar a usar ainda mais energia elétrica.

2. Ineficiência do equipamento de refrigeração

Equipamentos como unidades de condicionamento de ar, resfriadores, torres de refrigeração, condensadores, bombas e resfriadores a seco consomem um pouco de energia ao realizar sua função de refrigeração (isto é, um pouco da energia de entrada é dispersa como calor em vez de contribuir para o trabalho mecânico da refrigeração). Na realidade, a ineficiência (calor residual) do equipamento de refrigeração costuma ser muito maior do que a ineficiência (calor residual) do equipamento de energia. Quando o equipamento de refrigeração é duplicado por questões de redundância ou quando o equipamento é operado bem abaixo de sua potência nominal, a eficiência diminui significativamente. Desse modo, **o aumento da eficiência do equipamento de refrigeração beneficia diretamente a eficiência do sistema geral**.

3. Consumo de energia dos aparelhos de iluminação

Os aparelhos de iluminação consomem energia e geram calor. O calor gerado por eles deve ser resfriado pelo sistema de refrigeração, o que leva o sistema de condicionamento de ar a consumir mais energia elétrica, mesmo se a temperatura externa for baixa. Quando os aparelhos de iluminação permanecem acesos, quando não há nenhuma equipe no data center ou quando áreas não utilizadas do data center são iluminadas, há um consumo elétrico desnecessário. Desse modo, o aumento da eficiência dos aparelhos de iluminação ou limitar sua presença somente quando e onde necessário beneficia materialmente a eficiência do sistema geral.

4. Sobredimensionamento

O sobredimensionamento é um dos principais impulsionadores do desperdício elétrico, mas é o fator mais difícil para os usuários entenderem ou avaliarem. O sobredimensionamento dos equipamentos de energia e de refrigeração ocorre sempre que o valor do projeto dos sistemas de alimentação e de refrigeração ultrapassa a carga de TI. Essa condição pode ocorrer em decorrência de qualquer combinação dos seguintes fatores:

- A carga de TI foi superestimada e os sistemas de alimentação e de refrigeração foram dimensionados para uma carga muito grande
- A carga de TI está sendo implantada ao longo do tempo, mas os sistemas de alimentação e de refrigeração estão dimensionados para uma carga futura maior
- O projeto do sistema de refrigeração é insatisfatório, exigindo o sobredimensionamento do equipamento de refrigeração para resfriar a carga de TI com êxito

Embora seja claro que a instalação de muitos equipamentos de energia e de refrigeração é um desperdício do ponto de vista do investimento, não é óbvio o fato de que esse sobredimensionamento pode diminuir significativamente a eficiência elétrica do sistema geral e provocar um consumo elétrico contínuo em excesso.

O motivo básico pelo qual o sobredimensionamento dos equipamentos de energia e de refrigeração diminui a eficiência elétrica dos data centers é que a eficiência elétrica de muitos dispositivos de alimentação e refrigeração diminui muito com uma carga reduzida. Embora alguns equipamentos elétricos, como os fios, sejam mais eficientes com cargas menores, a maioria dos equipamentos principais como ventiladores, bombas, transformadores e conversores tem sua eficiência comprometida com cargas menores (devido às “perdas corrigidas” que persistem mesmo quando a carga de TI é zero). **Essa diminuição da eficiência não é prontamente determinada nas folhas de dados dos fabricantes, que costumam relatar a eficiência com uma carga ideal (geralmente alta).**

Para obter uma explicação técnica detalhada de como os efeitos do sobredimensionamento no consumo de energia elétrica são quantificados, consulte o White Paper 113, *Modelagem de Eficiência Elétrica em Data Centers*.



Link para o recurso
White Paper 113

*Modelagem de Eficiência
Elétrica de Data Centers*

5. Ineficiência devido à configuração

A configuração física do equipamento de TI pode ter um efeito expressivo no consumo de energia do sistema de refrigeração. Uma configuração fraca força o sistema de refrigeração a mover muito mais ar do que o equipamento de TI realmente precisa. Uma configuração fraca também obriga o sistema de refrigeração a gerar ar mais frio do que o equipamento de TI realmente precisa. Além disso, a configuração física pode provocar um conflito entre várias unidades de refrigeração onde uma desumidifica e a outra umidifica, uma condição normalmente não diagnosticada que diminui a eficiência de modo significativo. A tendência atual do aumento da densidade de potência nos data centers novos e existentes amplifica muito essas ineficiências. Esses problemas de configuração estão presentes em praticamente todos os data centers em funcionamento atualmente e causam um desperdício de energia desnecessário. Desse modo, uma arquitetura que otimiza sistematicamente a configuração física pode reduzir o consumo de energia de modo significativo.

Uma arquitetura do data center otimizada

A seção anterior descreve os cinco contribuidores principais para a ineficiência dos data centers. Com base na análise desses contribuidores, fica clara sua inter-relação. Desse modo, uma abordagem de otimização eficiente deve lidar com o sistema do data center como um todo - as tentativas de otimizar as ineficiências individuais serão muito menos eficazes. Uma análise cuidadosa dos contribuidores de perda elétrica (ineficiência) mostra que a eficiência do data center pode ser melhorada significativamente quando um sistema integrado é desenvolvido com base nos seguintes princípios:

- Equipamentos de energia e de refrigeração que não são necessários atualmente não devem ser energizados
- O sobredimensionamento deve ser reduzido sempre que possível para que o equipamento possa funcionar dentro da região ideal de sua curva de eficiência¹
- Os equipamentos de energia, refrigeração e iluminação devem aproveitar as mais modernas tecnologias para minimizar o consumo de energia
- Os subsistemas que devem ser usados abaixo de sua capacidade nominal (para suportar a redundância) precisam ser otimizados para a eficiência da carga fracionária, não para a eficiência da carga inteira

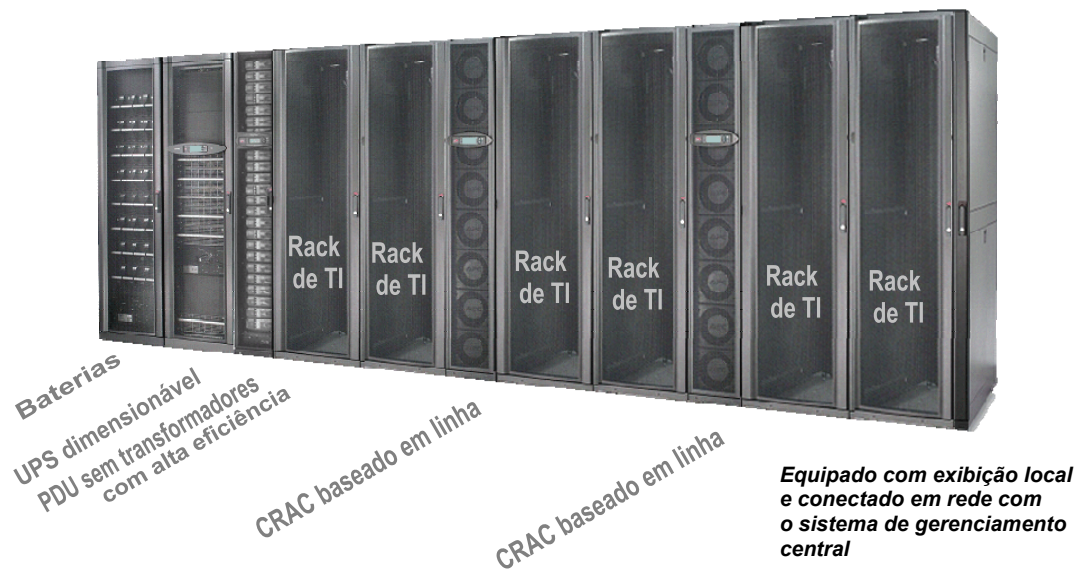
¹ Para saber mais sobre capacidade subutilizadas, consulte o White Paper 150, *Gerenciamento da Capacidade de Energia e Refrigeração para Data Centers* (link na seção Recursos)

- As ferramentas de gerenciamento de capacidade devem ser usadas para minimizar a “capacidade subutilizada” no data center, permitindo que a quantidade máxima de equipamentos de TI seja instalada no envelope bruto de energia e refrigeração, forçando o sistema até o ponto mais alto de sua curva de eficiência
- A configuração física otimizada e integrada deve ser inerente *dentro* do sistema, e não associada às características da sala em que ele reside; por exemplo, a refrigeração com base em linha deve ser integrada nos racks de TI, independente da refrigeração com base em sala
- O sistema deve ser equipado para identificar e alertar sobre condições que geram consumo elétrico não ideal para que elas possam ser corrigidas rapidamente
- O sistema deve incluir ferramentas e regras de instalação e operação que maximizam a eficiência operacional e minimizam ou eliminam a possibilidade de configuração ou instalação não ideal

Um sistema integrado do data center comercialmente disponível que usa os princípios acima é mostrado na **Figura 3**.

Figura 3

Sistema integrado do data center de alta eficiência

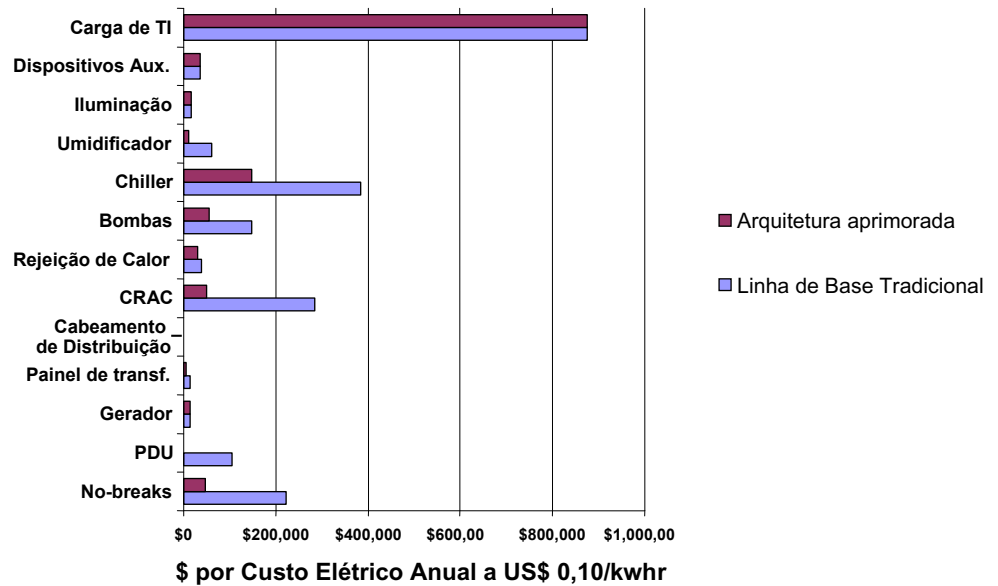


O sistema do data center da **Figura 3** exibe uma diminuição de 40% no consumo elétrico em comparação com um projeto tradicional, com reduções em perdas classificadas mais detalhadamente como mostra a **Figura 4**.

O ganho de eficiência do sistema aprimorado resulta em uma redução substancial dos custos de eletricidade.

Figura 4

Economia de custo da arquitetura aprimorada dividida por subsistema do data center



Para uma carga de TI de 1 MW e um custo de eletricidade típico de US\$ 0,10 por kWh, a economia nos custos de eletricidade seria de aproximadamente US\$ 9.000.000 em um período de dez anos.

Os aprimoramentos acima se baseiam em um data center com a seguinte configuração:

- Capacidade do projeto de 2 MW
- Carga real de TI de 1 MW
- Toda a infraestrutura de alimentação e de refrigeração para 2 MW instalada e on-line
- Energia de trajeto duplo da entrada de serviço às cargas
- Unidades de condicionamento de ar N+1
- Sistema de água fria com torre de refrigeração
- Densidade de potência média de 7 kW por rack
- Layout do rack de TI de corredor quente/corredor frio
- Curvas de eficiência de todos os dispositivos com base nos dados reais dos fabricantes

Os consumos de energia e as economias são afetados por essas suposições. Por exemplo, eliminar a redundância da energia de trajeto duplo ou as unidades de condicionamento de ar N+1 aumentaria as eficiências e diminuiria um pouco as economias. O restante deste documento examina essas economias e as suposições subjacentes em mais detalhes.

Expressando o ganho de eficiência em termos de Eficiência de Uso de Energia (PUE), o projeto do data center tradicional descrito acima, funcionando com 50% da carga de TI, teria um valor de eficiência de PUE de aproximadamente 2,5 e a arquitetura aprimorada teria um valor de PUE de aproximadamente 1,5 nas mesmas condições.

Comparação com as abordagens convencionais

Elementos de construção da nova arquitetura

Tecnologia para implementar os princípios do projeto

A redução das perdas elétricas (maior eficiência) descrita na seção anterior é significativa. No início deste documento, identificamos cinco contribuidores principais para a ineficiência dos projetos convencionais. Como a arquitetura aprimorada proposta atinge esses notáveis ganhos de eficiência? Quais são as novas tecnologias, projetos e técnicas que contribuem para esses ganhos? Quais dados servem de base para esses ganhos? Para responder a essas perguntas, analisaremos em mais detalhes os elementos principais que, em conjunto, aumentam os aprimoramentos da nova arquitetura. São eles:

- **Energia e refrigeração escaláveis** para evitar o sobredimensionamento
- **Refrigeração baseada em linha** para maior eficiência de refrigeração
- **UPS de alta eficiência** para melhor eficiência energética
- **Distribuição de energia de CA de 415/240 V** para uma melhor eficiência energética
- **Unidades de velocidade variável nas bombas e nos resfriadores** para uma melhor eficiência quando houver cargas parciais e em dias frescos
- **Ferramentas de gerenciamento de capacidade** para um melhor uso das capacidades de energia, de refrigeração e de racks
- **Ferramentas de disposição da sala** para otimizar a disposição da sala, o que melhorará a eficiência da refrigeração

Embora alguns elementos possam ser implementados de forma independente para aumentar a eficiência, é importante entender que a integração desses elementos em uma arquitetura geral é responsável por uma parte significativa do ganho. Por exemplo, embora a tecnologia de refrigeração com base em linha seja basicamente muito mais eficiente do que a refrigeração da sala convencional, ela também é um importante impulsionador da implementação econômica de ferramentas de disposição da sala, ferramentas de gerenciamento de capacidade e refrigeração escalável.

A arquitetura descrita neste documento é eficiente em qualquer data center em qualquer região geográfica. Uma estratégia adicional que melhora a eficiência do data center é aproveitar as temperaturas externas baixas disponíveis em alguns locais para aumentar a eficiência do sistema de refrigeração usando os “modos de refrigeração econômicos” ou a “refrigeração gratuita”. Essas abordagens normalmente aumentam o custo do data center e o tempo de retorno do investimento depende da temperatura externa e das condições de umidade. As tecnologias de “refrigeração gratuita” complementam as abordagens descritas neste documento, aproveitando o ar externo baixo para diminuir a quantidade de energia elétrica expandida na refrigeração, o que aumenta a eficiência do data center. Este documento não considera a refrigeração gratuita em nenhum cálculo de economia de energia ou eficiência.

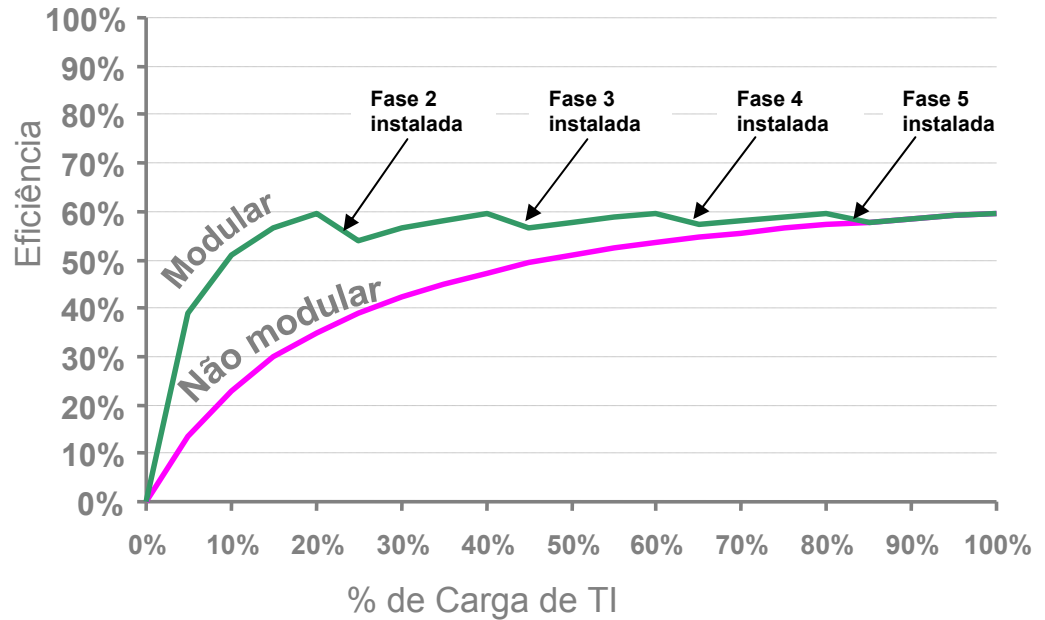
A contribuição de eficiência quantitativa de cada elemento acima é discutida nas próximas seções.

Energia e refrigeração escaláveis -> Evita o sobredimensionamento

Todos os data centers têm uma eficiência que varia com a carga de TI. Em cargas de TI mais baixas, a eficiência sempre diminui e é igual a zero quando não há nenhuma carga de TI. A forma dessa curva é notavelmente consistente nos data centers. Um exemplo é ilustrado na **Figura 5**.

Figura 5

Eficiência do data center como uma função da carga de TI comparada em projetos modulares e não modulares



Quando a porcentagem da carga de TI está bem abaixo do valor do projeto para o data center, a eficiência diminui e o data center deve ser sobredimensionado para essa carga de TI. Muitos data centers funcionam nessa condição, às vezes por anos, normalmente porque são construídos para uma carga de TI futura hipotética que ainda não foi instalada.

 Link para o recurso **White Paper 113**
Modelagem de Eficiência Elétrica de Data Centers

O motivo pelo qual a eficiência do data center diminui com cargas leves é explicado em detalhes no White Paper 113, *Modelagem de Eficiência Elétrica de Data Centers*. É semelhante à redução da economia de combustível que ocorre em um automóvel que tem um motor muito grande que é usado bem abaixo de sua potência nominal.

Para corrigir o problema de eficiência reduzida devido a uma condição de sobredimensionamento, os equipamentos de energia e de refrigeração podem ser escalados ao longo do tempo para satisfazer o requisito de carga de TI. A curva superior na **Figura 5** mostra o que acontece quando os equipamentos de energia e de refrigeração são implantados em cinco fases e não como um único sistema. Com carga máxima, o sistema de refrigeração e energia escalável não tem nenhuma vantagem de eficiência. No entanto, com cargas mais leves, a eficiência aumenta significativamente. Com 20% de carga, 1/5 do sistema de alimentação e refrigeração implantado funciona com eficiência máxima. Esse princípio, conforme ilustrado na **Figura 5**, só pode ser parcialmente atingido porque a implantação de uma parte da infraestrutura de refrigeração, como as bombas do fluido de arrefecimento, talvez não seja viável em fases.

Sabe-se que muitos data centers funcionam abaixo da classificação de carga de TI máxima, especialmente os data centers menores ou data centers no início do ciclo de vida. O uso de uma solução de refrigeração e energia escalável pode aumentar a eficiência nesses casos, bem como evitar os custos operacionais e de capital até quando for necessário. Além disso, algumas decisões, como a densidade de potência de destino para uma futura zona de um data center, podem ser tomadas mais tarde quando forem feitas futuras implantações de TI.

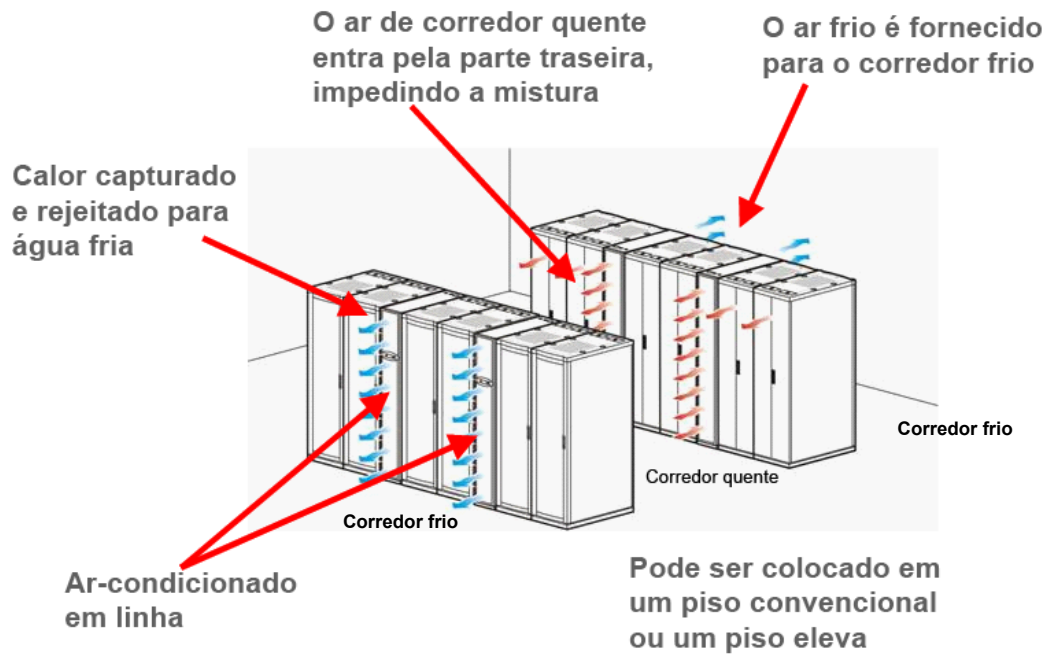
Refrigeração baseada em linha -> Melhora a eficiência de refrigeração

A refrigeração com base em linha coloca o condicionamento de ar nas linhas do equipamento de TI, em vez de no perímetro da sala. A diminuição do trajeto do fluxo de ar diminui a mistura

de correntes de ar quente e frio, o que melhora a previsão da distribuição de ar. A distribuição de ar previsível para o equipamento de TI permite ter um controle mais preciso das taxas variáveis de fluxo de ar que se ajustam automaticamente às necessidades das cargas de TI próximas. Em vez de desperdiçar energia com ventiladores de velocidade constante, os ventiladores de velocidade variável giram conforme necessário para as cargas de TI. Além disso, a refrigeração com base em linha capta o ar quente da carga de TI enquanto ele ainda está quente, antes de se misturar ao ar ambiente. Juntos, esses efeitos melhoram drasticamente a eficiência da unidade de condicionamento de ar da sala do computador. A disposição básica da refrigeração com base em linha é mostrada na **Figura 6**.

Figura 6

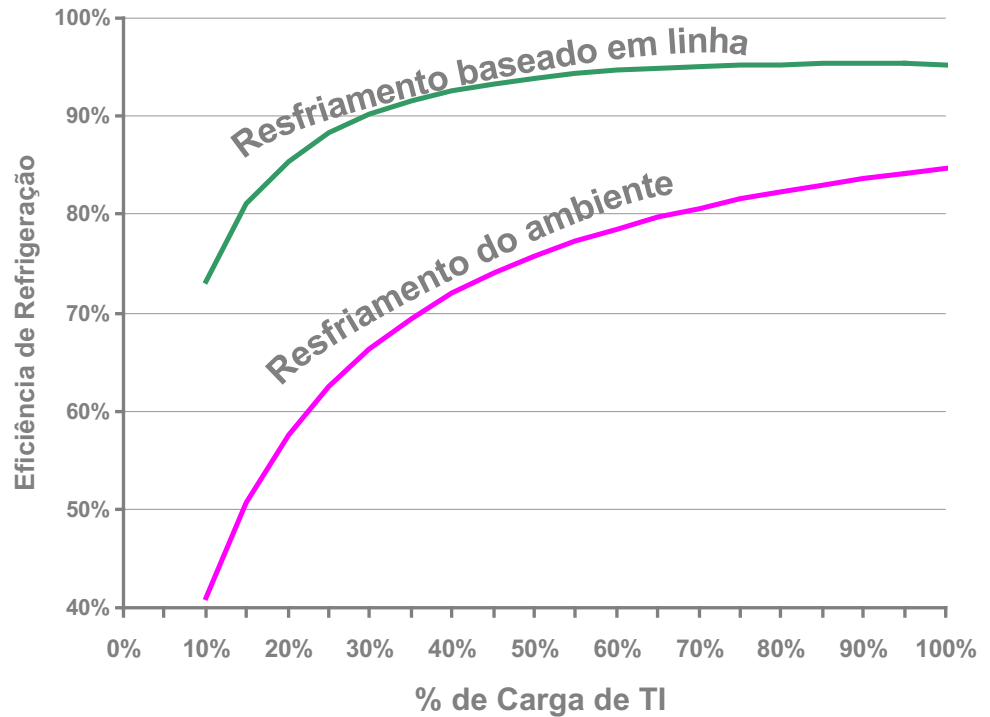
A refrigeração usou CRACs com base em linha com trajetos menores de fluxo de ar



O aumento na eficiência da arquitetura de refrigeração baseada em linha em comparação com os ares-condicionados da sala de computadores tradicionais é mostrado na **Figura 7**.

Figura 7

Curvas de eficiência do ar-condicionado da sala de computadores comparando a refrigeração com base em linha com a refrigeração de sala tradicional



As curvas representam a eficiência de refrigeração expressa como a saída do ar-condicionado (calor processado) dividida pela entrada (calor processado + consumo elétrico). Isto permite examinar o desempenho do ar-condicionado da sala de computadores usando a escala de eficiência típica de 0 a 100%². O ideal seria que o ar-condicionado tivesse uma eficiência de 100%; a curva acima mostra que um CRAC típico tem uma eficiência de 80% com uma carga de TI de 70%, ou seja, 20% da energia de entrada está indo para o ventilador e umidificação. Por outro lado, o CRAC com base em linha tem uma eficiência de 95% com uma carga de TI de 70%, ou seja, somente 5% da energia de entrada está indo para o ventilador e umidificação. Esse é um dos quatro fatores de redução das perdas.

O gráfico acima foi desenvolvido supondo um projeto de água fria, quatro camadas e piso elevado de três pés para a solução de refrigeração da sala, com uma potência média de 10 kW por rack. Esses dados servem somente para a unidade CRAH e não incluem o resfriador, as bombas e a torre de refrigeração. Esses dispositivos podem ser estudados separadamente ou combinados com o CRAH para obter a eficiência de refrigeração geral do data center. O resfriador e a torre de refrigeração consomem energia e, portanto, reduzem a eficiência do sistema de refrigeração geral para valores menores que os mostrados na figura.

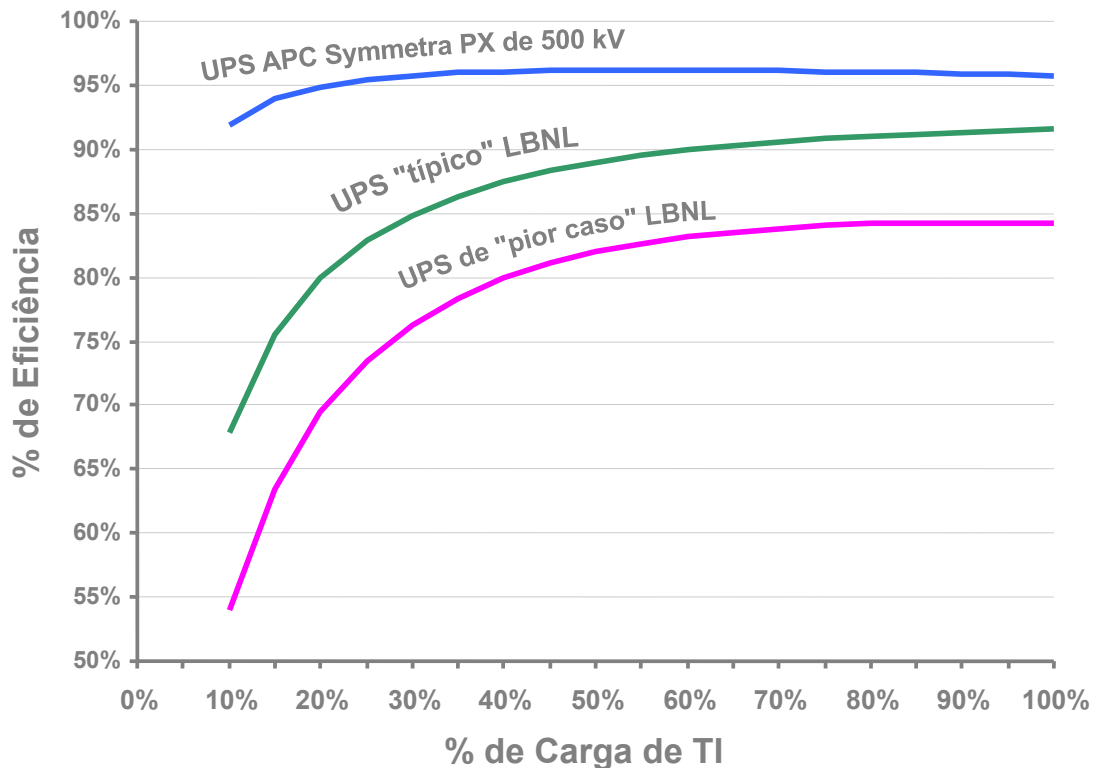
² As eficiências da unidade de condicionamento de ar da sala de computadores normalmente são expressas em outras unidades, como "coeficiente de desempenho" ou "watt de carga de TI resfriado por watt elétrico". No entanto, elas são muito difíceis de relacionar com a experiência diária e não são expressas na forma comum de 0% a 100% usada para expressar a eficiência para outros tipos de equipamento. Todos os métodos diferentes estão relacionados matematicamente e transmitem as mesmas informações.

UPS de alta eficiência → Melhora a eficiência energética

Já estão disponíveis tecnologias que aumentam significativamente a eficiência obtida por sistemas UPS. A **Figura 8** compara as eficiências de um UPS de alta eficiência introduzido recentemente com os dados de eficiência de UPS publicados pelo Lawrence Berkley National Labs.³

Figura 8

Eficiência de UPS como uma função da carga comparando o último UPS de geração com dados históricos publicados



A **Figura 8** mostra que a eficiência dos últimos sistemas UPS é significativamente maior para qualquer carga de TI, e o ganho de eficiência é maior com cargas mais leves. Por exemplo, com carga de 30%, os sistemas UPS mais novos obtêm mais de 10% de eficiência em comparação com a média dos sistemas UPS atualmente instalados. Nesse caso, as perdas reais de potência do UPS podem ser reduzidas em 65%. É importante observar que as perdas de UPS (calor) também devem ser resfriadas pelo ar-condicionado, aumentando o consumo de energia.

Alguns sistemas UPS mais novos oferecem um modo "econômico" de operação que permite ao fabricante do UPS solicitar maior eficiência. No entanto, esse modo não fornece isolamento completo contra problemas de qualidade da rede elétrica do setor público e não é recomendado para uso do data center. O UPS de alta eficiência e os dados de eficiência usados na arquitetura descrita neste documento e mostrada na **Figura 8** referem-se a um UPS on-line de conversão dupla com isolamento completo contra irregularidades da energia de entrada.

³ Relatório da LBNL sobre eficiência do UPS: http://hightech.lbl.gov/documents/UPS/Final_UPS_Report.pdf, Figura 17, página 23. Acessado em 19 de fevereiro de 2010.

Distribuição de energia de CA de 415/240 V -> Melhora a eficiência energética

A distribuição de energia de CA de alta eficiência, usando o padrão europeu de 415/240 V em vez do padrão norte-americano atual de 208/120 V, oferece uma oportunidade para melhoria significativa da eficiência na América do Norte. O envio de energia para cargas de TI com 415/240 V em vez de 208/120 V elimina os transformadores da unidade de distribuição de energia (PDU) e as perdas associadas. Além desse ganho de eficiência, a eliminação de PDUs tem benefícios adicionais de redução dos custos de cobre, redução da carga do piso e liberação de espaço adicional para equipamentos de TI. Os data centers que usam PDUs com base em transformador normalmente sofrem uma redução da eficiência de 2% para 15%, com as porcentagens maiores de perda ocorrendo nos data centers que funcionam com trajetos de energia redundantes e cargas de TI mais leves.

O uso da distribuição de energia de CA de 415/240 V gera benefícios da eficiência somente na América do Norte - a maior parte do resto do mundo já opera usando esse padrão ou o padrão de 400/230 V de CA praticamente equivalente. As eficiências básicas descritas neste documento baseiam-se em projetos norte-americanos e, portanto, os ganhos de eficiência incluem o efeito da remoção dos transformadores de PDU.

Para saber mais sobre o uso de distribuição de CA de 415/240 V de alta eficiência nos data centers da América do Norte, consulte o White Paper 128, *Aumento da Eficiência do Data Center Usando a Distribuição de Energia de Alta Densidade Aprimorada*.



Link para o recurso
White Paper 128

Aumento da Eficiência do Data Center Usando a Distribuição de Energia de Alta Densidade Aprimorada

Unidades de velocidade variável nas bombas e nos resfriadores -> Melhora a eficiência de refrigeração

As bombas e os resfriadores na instalação de refrigeração do data center normalmente funcionam com motores de velocidade fixa. Os motores nessas disposições devem ser configurados para a carga máxima esperada e as condições ambientais externas do pior caso (calor). No entanto, os data centers tipicamente funcionam somente com parte da capacidade do projeto, e gastam a maior parte de sua vida útil com condições externas mais baixas do que o pior caso. Desse modo, os resfriadores e as bombas com motores de velocidade fixa gastam grande parte de seu tempo operacional com os motores funcionando com mais potência que o necessário.

As bombas e os resfriadores com unidades de velocidade variável (VFDs) e os controles apropriados podem reduzir sua velocidade e o consumo de energia de acordo com a carga de TI e as condições externas atuais. O aprimoramento de energia varia dependendo das condições, mas pode ser tão alta quanto 10% ou mais, especialmente para data centers que não estão funcionando com carga de TI máxima ou para data centers com redundância de resfriador ou bomba. Unidades de velocidade variável nas bombas e nos resfriadores podem ser consideradas uma forma de “dimensionamento correto automático”.

Alguns ganhos de eficiência de unidades de velocidade variável podem ser obtidos por várias bombas e resfriadores com velocidade fixa ou controle de estágio. No entanto, esses sistemas talvez precisem de engenharia significativa e normalmente geram menos da metade dos ganhos das VFDs.

As unidades de velocidade variável nas bombas e nos resfriadores têm um custo adicional, em comparação com os dispositivos de velocidade fixa. Para alguns aplicativos sazonais ou intermitentes, a economia de energia desse investimento extra pode ter um retorno insatisfatório. No entanto, para os data centers que funcionam dia e noite em todas as épocas do ano, o tempo para retorno do investimento pode ser de alguns meses, dependendo do data center específico.

Ferramentas de gerenciamento de capacidade

→ Melhora o uso das capacidades de energia, de refrigeração e de racks

A maioria dos data centers não utiliza completamente a capacidade de energia, de refrigeração e do rack. O principal sintoma dessa condição é a baixa densidade de potência operacional média dos data centers; enquanto a densidade de potência dos modernos equipamentos de TI varia de 5 a 20 kW por gabinete, o data center típico funciona com um média de 3 kW por gabinete ou menos. Essa diferença indica que os data centers são fisicamente muito maiores do que o necessário, com padrões de fluxo de ar mais longos, mais mistura de ar, ciclos maiores de cabeamento de distribuição de energia e mais iluminação do que o que é realmente necessário.

Os data centers tipicamente funcionam com uma baixa densidade de potência principalmente porque não conseguem gerenciar a capacidade de energia, de refrigeração e do rack de uma maneira eficiente e previsível. O resultado da distribuição física das cargas de TI é a redução da eficiência dos sistemas de alimentação e de refrigeração. Um sistema eficiente de ferramentas e regras permite que os data centers funcionem com densidades de potência maiores com os seguintes benefícios da eficiência:


- Trajetos de fluxo de ar menores, resultando na necessidade de menos potência de ventilação
- Menos mistura de ar, resultando em temperaturas maiores de eliminação de calor
- Temperaturas maiores de eliminação de calor, melhorando a eficiência do resfriador
- Temperaturas maiores de eliminação de calor, aumentando a capacidade do ar-condicionado
- Cabos com comprimento menor, resultando em menos cabeamento e menos perdas de PDU
- Mais carga de TI pode ser alimentada pela mesma infraestrutura de alimentação e refrigeração

Além do problema de funcionar com baixa densidade de potência, a maioria dos data centers funciona com “margens de segurança” de alimentação e refrigeração que variam de 15% a 50%. A margem de segurança é a diferença percentual mínima permitida entre a carga de TI e as classificações dos dispositivos de alimentação e refrigeração. As margens de segurança são uma forma de sobredimensionamento intencional, onde o sobredimensionamento é usado para proteger o sistema contra sobrecargas ou superaquecimento devido a um entendimento impreciso do desempenho do sistema. Na realidade, as margens de segurança são uma maneira de compensar a ignorância sobre o sistema.

As margens de segurança impõem duas punições importantes sobre o desempenho de um sistema do data center. Primeiro, elas aumentam significativamente os custos de capital do data center porque obrigam a compra e a instalação do equipamento (capacidade) que você não tem permissão para usar. Segundo, elas diminuem a eficiência do data center obrigando-o a funcionar longe do ponto de eficiência máxima na curva de carga.

Um sistema de gerenciamento de capacidade eficiente consiste nas ferramentas e regras que permitam que o data center funcione com uma densidade maior e margens de segurança menores (sem comprometer a segurança). Os benefícios de um sistema prático estão na casa dos 5% em eficiência elétrica da infraestrutura geral, além da economia de capital devido à maior densidade de potência que pode variar de 5% a 10%. Um sistema que permite o funcionamento de mais equipamentos de TI em um determinado “envelope” da infraestrutura de alimentação e refrigeração aumenta a eficiência econômica e também a eficiência elétrica. É possível comprovar matematicamente que a eficiência elétrica **incremental**

associada à redução de outro watt da carga de TI em um determinado envelope de alimentação e refrigeração é maior do que a eficiência geral do data center, ou seja, costuma ser mais eficiente reduzir outro watt da carga de TI em um data center existente do que colocá-lo em um novo data center.

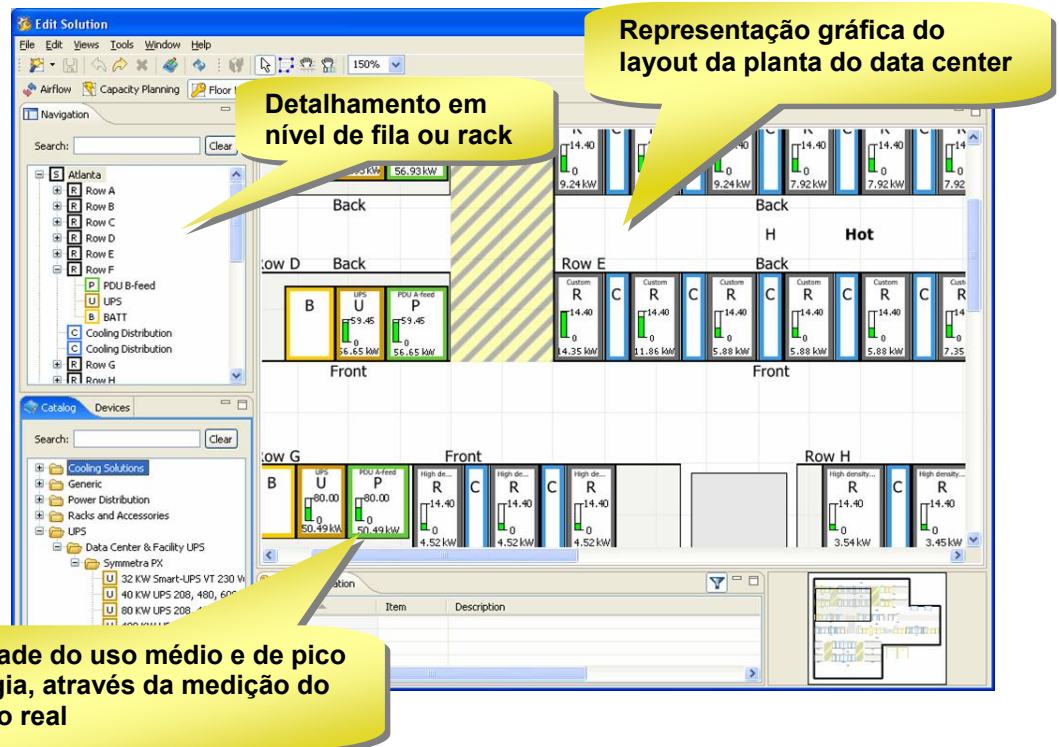
 Link para o recurso
White Paper 150

Gerenciamento da Capacidade de Energia e Refrigeração para Data Centers

Para ver uma discussão sobre os princípios e o funcionamento de um eficiente sistema de gerenciamento da capacidade de energia e refrigeração, consulte o White Paper 150, *Gerenciamento da Capacidade de Energia e Refrigeração para Data Centers*. Um exemplo de um sistema de gerenciamento de capacidade comercialmente disponível é mostrado na **Figura 9**:

Figura 9

Exemplo da tela operacional de um sistema de gerenciamento de capacidade de energia e refrigeração comercialmente disponível



Ferramentas de disposição da sala

→ **Otimiza a disposição da sala, o que melhorará a eficiência de refrigeração**

Muitas ineficiências elétricas nos data centers resultam do modo como o equipamento de alimentação e refrigeração é montado em um sistema completo. Mesmo se um equipamento de alimentação e refrigeração de eficiência muito alta for utilizado, a baixa eficiência geral normalmente será o resultado. Um dos maiores contribuidores para esse problema é a disposição física do equipamento de refrigeração e do equipamento de TI.

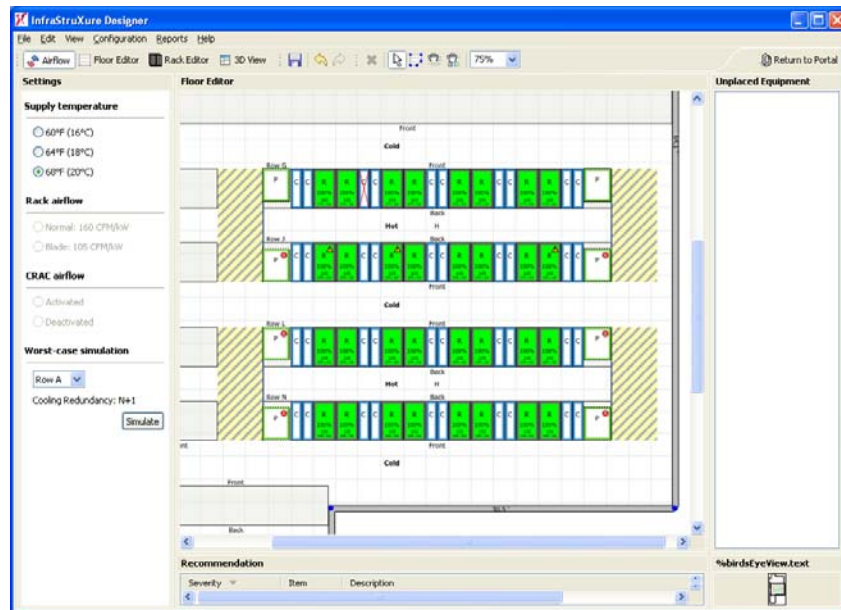
Uma disposição da sala otimizada para eficiência é aquela em que:

- O comprimento dos trajetos de fluxo de ar é minimizado para reduzir a potência de ventilação
- A resistência do fluxo de ar é minimizada para reduzir a potência de ventilação
- O ar de escape do equipamento de TI é retornado diretamente em alta temperatura para o ar-condicionado a fim de maximizar a transferência de calor
- Os ares-condicionados estão localizados de modo que a capacidade do fluxo de ar seja equilibrada com os requisitos de fluxo de ar da carga próxima

Alguns desses objetivos são incentivados ou impostos pelo projeto básico do equipamento de refrigeração, como a refrigeração com base em linha. No entanto, o layout do piso do equipamento de TI e os ares-condicionados têm um efeito significativo na otimização. O layout do piso ideal varia entre os data centers e depende da forma e do tamanho da sala, das densidades de potência de TI de destino na sala e de outros fatores específicos do local. Para criar um layout otimizado, é necessário seguir determinadas regras e realizar cálculos complexos. Felizmente, esses cálculos e regras podem ser automatizados por ferramentas de projeto auxiliadas por computador. Um exemplo de uma ferramenta de disposição do data center que otimiza o layout do ar-condicionado é mostrado na **Figura 10**.

Figura 10

Exemplo da tela operacional de um sistema de gerenciamento de capacidade de energia e refrigeração comercialmente disponível



Ganho de eficiência geral da nova arquitetura

Quando os elementos da arquitetura aprimorada são combinados, a redução total do consumo elétrico é de 40% em comparação com os projetos tradicionais, conforme descrito anteriormente neste documento. A análise da economia por subsistema do data center aparece anteriormente na **Figura 4**. A eficiência geral da infraestrutura do data center pode ser expressa como uma curva que varia em função da carga de TI, conforme mostrado nas **Figuras 11a e 11b**.

A **Figura 11a** mostra a eficiência da infraestrutura do data center como uma função da carga de um data center de alta disponibilidade com projeto de trajeto de energia duplo e unidades de condicionamento de ar N+1. A **Figura 11b** mostra os mesmos dados, mas para um data center típico sem redundância de alimentação ou refrigeração. Ao comparar esses gráficos, constatamos que:

- Para data centers tradicionais, a redundância de alimentação e refrigeração diminui a eficiência geral em aproximadamente 5%
- A redundância de alimentação e refrigeração tem um efeito insignificante na eficiência da arquitetura aprimorada
- A implantação em fase da potência e refrigeração modulares tem o benefício de eficiência mais significativo para data centers com redundâncias de alimentação e refrigeração, particularmente com carga leve

Os ganhos de eficiência descritos neste documento são afetados por muitos outros fatores que variam entre os data centers reais. Alguns desses fatores incluem:

- Teto suspenso para retorno do ar em um data center tradicional
- Ares-condicionados no perímetro da sala não coordenados em conflito entre si
- Falta do layout do rack de corredor quente/corredor frio
- Iluminação com eficiência energética
- Alimentação de unidades de condicionamento de ar a partir do UPS
- Dimensionamento não equilibrado dos sistemas de alimentação e de refrigeração
- Unidades de condicionamento de ar de trajeto duplo completo
- Resfriadores de trajeto duplo completo
- Resfriadores embalados ou sistemas de glicol DX
- Piso elevado de pouca altura (0,5 m ou menos)
- Grandes cargas auxiliares (espaço da equipe, centro de operações de rede)
- Clima quente e/ou úmido
- Tubos de fluido de arrefecimento muito longos

Nenhum desses fatores ou condições foram assumidos no desenvolvimento dos dados neste documento. No entanto, todos esses fatores podem ser quantificados, modelados e analisados. Os modelos, as técnicas e as análises usados neste documento podem ser aplicados a um data center específico existente ou planejado. Por exemplo, isso é feito como parte normal do Serviço de Avaliação da Eficiência do Data Center oferecido pela Schneider Electric.

Curva de eficiência do data center mostrando o efeito da arquitetura aprimorada

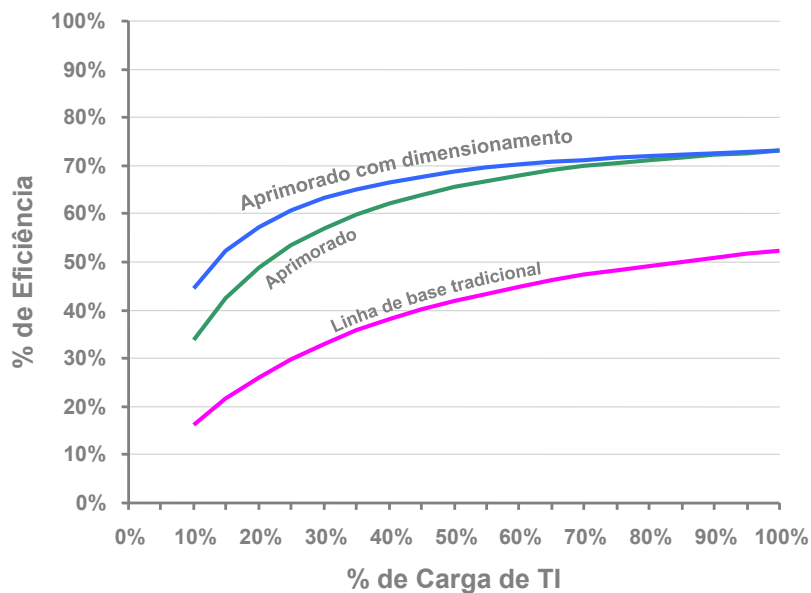
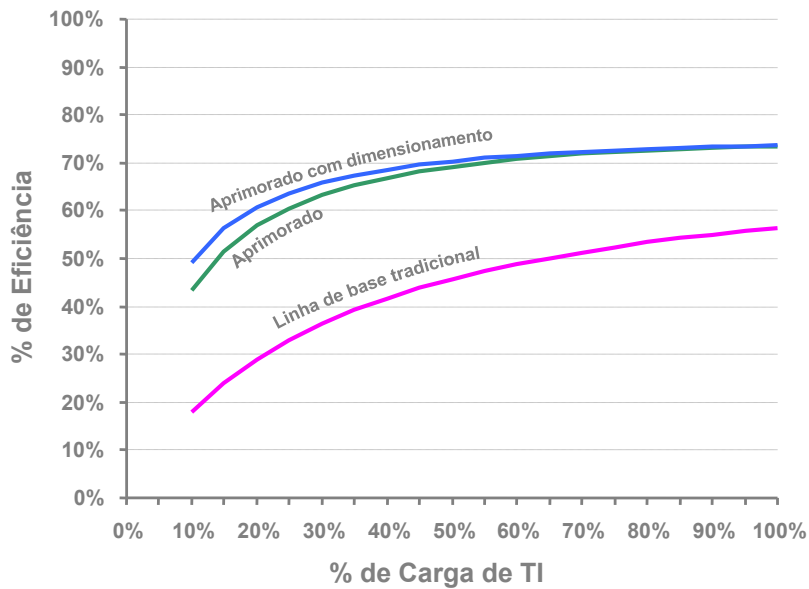


Figura 11a

Trajeto de energia duplo, unidades de condicionamento de ar N+1

Figura 11b

Trajeto de energia único, unidades de condicionamento de ar N



Comparação com outras abordagens propostas

Existem diversas abordagens hipotéticas para melhorar a eficiência da alimentação e refrigeração que não são incorporadas na arquitetura proposta descrita aqui. Especificamente, a **distribuição de energia de CC** e a **tubulação direta do fluido de arrefecimento aos servidores** têm sido indicadas como mudanças arquitetônicas que podem melhorar a eficiência dos data centers no futuro. É útil avaliar a quantidade do ganho adicional possível usando essas abordagens em comparação com a arquitetura de alta eficiência descrita neste documento.

Distribuição de energia de CC

Sugere-se que a substituição da distribuição de energia de CA convencional pela CC poderia diminuir as perdas elétricas do data center de modo significativo. Os benefícios variam desde a eliminação dos transformadores de PDU, substituindo um UPS por um conversor de CA para CC, até a criação de um novo equipamento de TI que aceita a entrada de CC de alta tensão além ou em vez de CA. Os benefícios da eficiência são quantificados na **Tabela 1**.

Tabela 1

Melhoria da eficiência do data center da distribuição de CC em comparação com o projeto convencional e com a arquitetura de alta eficiência deste documento

Elemento de distribuição de CC	Economia em comparação com o projeto convencional	Economia em comparação com a arquitetura de alta eficiência descrita neste documento
Eliminação dos transformadores	5-10%	Nenhuma
Substituição do UPS pelo conversor de CA para CC	5-15%	Nenhuma
Novo equipamento de TI que aceita a entrada de CC de alta tensão	4%	2%
MELHORIA TOTAL	13-28%	2%

A **Tabela 1** mostra que a distribuição de energia de CC oferece uma melhoria significativa em comparação com os projetos do data center de CA tradicionais, mas uma vantagem muito pequena com relação à arquitetura de alta eficiência descrita neste documento. Os principais motivos pelos quais a arquitetura deste documento atinge praticamente o mesmo desempenho da arquitetura hipotética de CC de alta tensão são:

- Os dois sistemas eliminam o desperdício elétrico dos transformadores de PDU
- Novos sistemas UPS de CA de alta eficiência atingem a mesma eficiência dos sistemas UPS de alta tensão de CA para CC
- Os dois sistemas operam as fontes de alimentação de TI com uma voltagem de entrada maior, o que melhora sua eficiência.



Link para o recurso
White Paper 63

*Distribuição de Energia de CA
x CC para Data Centers*



Link para o recurso
White Paper 127

*Uma Comparação Quantitativa
da Distribuição de Energia de
CA x CC de Alta Eficiência para
Data Centers*

A distribuição de CC de alta tensão oferece uma leve vantagem teórica com relação à arquitetura descrita neste documento, mas é experimental, ainda não comercializado, e não tem regulamentos padronizados. Por outro lado, a abordagem descrita neste documento tem aprovações regulamentares mundiais e está disponível hoje. Para obter uma discussão mais completa sobre os vários tipos de distribuição de energia de CC e uma análise quantitativa detalhada da eficiência da distribuição de CA x CC, consulte o White Paper 63, *Distribuição de Energia de CA x CC para Data Centers*, e o White Paper 127, *Uma Comparação Quantitativa da Distribuição de Energia de CA x CC de Alta Eficiência para Data Centers*.

Tubulação direta do fluido de arrefecimento aos servidores

Muitas ineficiências dos data centers atualmente ocorrem devido a problemas com o fluxo de ar no data center. A distribuição da energia elétrica é previsível porque ela é transmitida diretamente para o equipamento de TI da fonte por meio de cabos específicos. Isso é diferente da distribuição da refrigeração de ar, que segue um trajeto invisível e geralmente incompreensível dos ares-condicionados até as cargas de TI. Para deixar o sistema de refrigeração mais eficiente, é lógico assumir que conectar diretamente os fluidos de arrefecimento às cargas de TI, análogo ao fluxo de energia, deixaria o sistema muito mais previsível e possivelmente mais eficiente.

A modelagem da eficiência da tubulação de refrigerante direto para os servidores mostra um ganho potencial significativo em eficiência, em comparação com os projetos convencionais. No entanto, a **Tabela 2** mostra que, em comparação com a arquitetura de refrigeração baseada em linha de alta eficiência descrita neste documento, a tubulação de refrigerante direto mostra somente ganhos potenciais muito pequenos. Não é surpreendente o fato de que a refrigeração com base em linha forneça a maioria do ganho de eficiência da tubulação de refrigerante direto, pois a refrigeração com base em linha aproxima muito o fornecimento de refrigerante das cargas de TI com eficiência.

Tabela 2

Melhoria da eficiência do data center obtida pela utilização da tubulação direta do fluido de arrefecimento para os servidores em comparação com o projeto convencional e com a arquitetura de alta eficiência deste documento

Elemento de tubulação direta	Economia em comparação com o projeto convencional	Economia em comparação com a arquitetura de alta eficiência descrita neste documento
Retorno do fluido de arrefecimento com temperatura mais alta	5%	Nenhuma
Perdas de ventilação	10%	5%
Perdas de bombeamento	-5%	-2.5%
MELHORIA TOTAL	10%	2.5%

Infelizmente, o equipamento de TI desenvolvido para ser resfriado pelo fornecimento de refrigerante direto não está disponível e não deve ser disponibilizado no futuro próximo. Além disso, há problemas significativos de custo e confiabilidade que precisam ser solucionados. Felizmente, a arquitetura de alta eficiência descrita neste documento atinge a maior parte do benefício da tubulação direta do fluido de arrefecimento para os servidores, mas o atinge com o equipamento de TI com ar condicionado existente e com equipamentos que podem ser implantados hoje.

Limites de desempenho práticos

A análise anterior dos cinco contribuidores do “desperdício” elétricos nos data centers – ineficiência desnecessária e configuração dos dispositivos abaixo do ideal - sugere áreas de aprimoramento. Isso naturalmente levanta a pergunta: quais são os limites práticos da redução das ineficiências, como a existência de leis básicas de física ou princípios práticos de engenharia que limitam o potencial de economia de energia?

Surpreendentemente, não há nenhum limite teórico com relação à quantidade mínima de perdas não relacionadas a TI adequada para um data center. Por esse motivo, toda a energia consumida pelos equipamentos de alimentação, refrigeração e iluminação deve ser considerada um desperdício (isto é a energia de **SUPORTE** na **Figura 1**). Por exemplo, um data center que usa a convecção natural do ar externo, junto com sistemas elétricos supercondutores, teoricamente pode não ter nenhuma perda e fornecer 100% da energia de entrada para as cargas de TI.

No entanto, existem limites práticos para a eficiência de alimentação e refrigeração atualmente, devido à tecnologia disponível e a limites de orçamento razoáveis.

As barreiras práticas mais significativas para obter novos ganhos de eficiência dos sistemas de alimentação e refrigeração, além dos descritos para a arquitetura aprimorada neste documento, estão relacionadas aos sistemas de refrigeração. O bombeamento e o transporte de calor por meio de resfriadores e sistemas de condicionamento de ar é uma tecnologia estável e madura. Embora possamos esperar novas otimizações e a integração desses sistemas nos próximos anos, os ganhos de eficiência dos sistemas de condicionamento de ar tradicionais de apenas cerca de 5% devem ser além dos descritos neste documento.

Os sistemas de condicionamento de ar e refrigeração livre desenvolvidos para aproveitar essa tecnologia têm o potencial de ganhar mais 5% a 10% em eficiência, dependendo da localização geográfica. Quando combinado com os ganhos incrementais esperados no desempenho da tecnologia de condicionamento de ar, isso permitiria que o PUE atingisse a faixa de 1,1, em comparação com 1,4 para a arquitetura do sistema descrita neste documento.

Conclusão

Os data centers herdados convencionais funcionam bem abaixo da eficiência que é possível usando projetos comprovados que incorporam os equipamentos de energia e refrigeração prontamente disponíveis. Esse documento contém um exemplo de uma arquitetura aprimorada que incorpora equipamentos de energia e refrigeração de alta eficiência, combinada com estratégias de configuração e operação que otimizam a eficiência.

Uma descoberta importante desse documento é o fato de que a aquisição de dispositivos de alta eficiência não é suficiente para garantir um data center de alta eficiência. Uma arquitetura e uma estratégia que usam esses equipamentos de alta eficiência de modo eficiente e reduzem o sobredimensionamento são tão importantes quanto o hardware eficiente propriamente dito. Quando o equipamento de alta eficiência é combinado com uma arquitetura eficiente, é possível obter uma economia de 40% da energia elétrica total do data center em comparação com os projetos convencionais.



Sobre o autor

Neil Rasmussen é vice-presidente sênior de Inovação da Schneider Electric. Ele estabelece os rumos de tecnologia do maior orçamento de P&D do mundo dedicado à alimentação, à refrigeração e à infraestrutura de racks para redes essenciais.

Neil detém 19 patentes relacionadas à infraestrutura de alimentação e refrigeração de alta eficiência e alta densidade para data centers, e já publicou mais de 50 white papers relacionados a sistemas de alimentação e refrigeração, muitos deles publicados em mais de 10 idiomas, mais recentemente com foco na melhoria da eficiência energética. Ele é um palestrante internacionalmente reconhecido em matéria de data centers de alta eficiência. Atualmente, Neil está trabalhando para promover a ciência das soluções de infraestrutura do data center de alta eficiência, alta densidade e dimensionáveis, além de ser arquiteto principal do sistema APC InfraStruXure.

Antes de fundar a APC em 1981, Neil obteve seus diplomas de bacharel e mestre em engenharia elétrica pelo MIT, onde escreveu sua tese sobre a análise de uma fonte de alimentação de 200 MW para um reator de fusão Tokamak. De 1979 a 1981, ele trabalhou para a MIT Lincoln Laboratories em sistemas de armazenamento de energia flywheel e sistemas de energia elétrica solar.



Recursos

Clique no ícone para linkar a pesquisa



Modelagem de Eficiência Elétrica de Data Centers

White Paper 113



Gerenciamento da Capacidade de Energia e Refrigeração para Data Centers

White Paper 150



Aumento da Eficiência do Data Center Usando a Distribuição de Energia de Alta Densidade Aprimorada

White Paper 128



Distribuição de Energia de CA x CC para Data Centers

White Paper 63



Uma Comparação Quantitativa da Distribuição de Energia de CA x CC de Alta Eficiência para Data Centers

White Paper 127



Consulte todos os white papers

whitepapers.apc.com



Explorar todas as TradeOff Tools™

tools.apc.com



Entre em contato

Para incluir comentários sobre o conteúdo deste White Paper:

Data Center Science Center
DCSC@Schneider-Electric.com

Se você é cliente e tem perguntas relacionadas especificamente com o data center que está projetando:

Entre em contato com seu representante de **Schneider Electric**
www.apc.com/support/contact/index.cfm