

PUE, WUE E CUE EM DATA CENTERS: COMO CALCULAR E INTERPRETAR

Entenda como calcular e interpretar PUE, WUE e CUE, definir fronteiras de medição e avaliar energia, água e carbono sem comprometer a resiliência do Data Center.

SUMÁRIO

1. O QUE É PUE EM DATA CENTERS?	3
2. COMO INTERPRETAR UM VALOR DE PUE?	4
3. EXISTE UM PUE IDEAL?	4
4. COMO CALCULAR O PUE CORRETAMENTE?	5
4.1. EXEMPLO DE CÁLCULO	5
5. ONDE MEDIR A ENERGIA TOTAL DO DATA CENTER?	6
6. ONDE MEDIR A ENERGIA DOS EQUIPAMENTOS DE TIC?	6
7. O QUE ENTRA COMO ENERGIA DE INFRAESTRUTURA?	7
8. PUE INSTANTÂNEO, MENSAL E ANUAL	7
9. PUE DE PROJETO E PUE OPERACIONAL	8
10. POR QUE O PUE PODE PIORAR QUANDO A CARGA DE TI DIMINUI?	8
11. PUE NÃO MEDE A EFICIÊNCIA DOS SERVIDORES	8
12. COMO A CLIMATIZAÇÃO INFLUENCIA O PUE?	9
13. COMO A ARQUITETURA ELÉTRICA INFLUENCIA O PUE?	9
14. COMO REDUZIR O PUE SEM COMPROMETER A DISPONIBILIDADE?	10
15. PUE E REDUNDÂNCIA: EFICIÊNCIA NÃO PODE ELIMINAR RESILIÊNCIA	10
16. COMO USAR DCIM, BMS E EPMS PARA ACOMPANHAR PUE?	11
17. COMO VERIFICAR O PUE DURANTE O COMISSIONAMENTO?	11
18. PUE EM DATA CENTERS EXISTENTES E PROJETOS DE MODERNIZAÇÃO	12
19. POR QUE PUE SOZINHO NÃO MEDE SUSTENTABILIDADE?	12
20. O QUE É WUE E COMO CALCULAR?	13
21. O QUE É CUE E COMO CALCULAR?	13
22. COMO INTERPRETAR PUE, WUE E CUE EM CONJUNTO?	14
23. COMO ESTRUTURAR A MEDIÇÃO DAS TRÊS MÉTRICAS?	15
24. ERE E OUTRAS MÉTRICAS COMPLEMENTARES	15
25. ERROS COMUNS AO CALCULAR E DIVULGAR PUE, WUE E CUE	15
26. ENTREGÁVEIS DE UM ESTUDO DE PUE, WUE E CUE	16
27. CONCLUSÃO	17

PUE, WUE e CUE em Data Centers são indicadores complementares para avaliar três dimensões distintas da operação: energia, água e emissões de carbono. O PUE mostra quanta energia adicional é necessária para sustentar a carga de tecnologia da informação; o WUE expressa a intensidade do consumo de água; e o CUE relaciona as emissões operacionais de gases de efeito estufa com a energia entregue aos equipamentos de TIC.

O PUE continua sendo o indicador mais difundido, mas não representa sozinho sustentabilidade ou desempenho global. Uma estratégia de climatização evaporativa pode reduzir o consumo elétrico e melhorar o PUE enquanto aumenta o uso de água. Da mesma forma, uma contratação de eletricidade com menor intensidade de carbono pode reduzir o CUE sem alterar a eficiência elétrica da instalação. Por isso, decisões de engenharia precisam observar os três indicadores e também preservar disponibilidade, capacidade e resiliência.

A referência vigente para PUE é a **ISO/IEC 30134-2:2026**. Para CUE e WUE, permanecem publicadas a **ISO/IEC 30134-8:2022** e a **ISO/IEC 30134-9:2022**; esta última já possui uma segunda edição em desenvolvimento. As normas definem os indicadores, suas categorias de medição, formas de cálculo, requisitos de reporte e limites de interpretação.

Este artigo explica como calcular e interpretar PUE, WUE e CUE, como definir fronteiras e períodos comparáveis, quais dados devem ser medidos e por que a busca por eficiência não pode comprometer a continuidade operacional do Data Center.

1. O QUE É PUE EM DATA CENTERS?

PUE significa *Power Usage Effectiveness*. O indicador relaciona a energia total consumida pelo Data Center com a energia entregue aos equipamentos de TIC durante o mesmo período e dentro da mesma fronteira de medição.

PUE = energia total do Data Center ÷ energia dos equipamentos de TIC

A energia total inclui a parcela destinada aos servidores, armazenamento e equipamentos de rede, além das perdas e consumos da infraestrutura que permite sua operação. A parcela de TIC representa a energia que efetivamente chega aos equipamentos computacionais definidos na fronteira do Data Center.

O valor mínimo matemático do PUE é 1,0. Nessa condição teórica, toda a energia da instalação chegaria aos equipamentos de TIC e não existiriam perdas ou consumos auxiliares. Na prática, climatização, ventiladores, bombas, UPS, transformadores, distribuição, iluminação, controles e outros sistemas sempre consomem energia.

PUE não é uma porcentagem. Um PUE de 1,50 significa que, para cada 1,00 kWh entregue aos equipamentos de TIC, a instalação consumiu 0,50 kWh adicional em infraestrutura de suporte.

2. COMO INTERPRETAR UM VALOR DE PUE?

Quanto mais próximo de 1,0, menor é a energia adicional requerida pela infraestrutura em relação à carga de TIC. Porém, um número isolado não permite concluir que um Data Center seja eficiente, inadequado ou comparável a outro.

A interpretação depende do clima, do porte, da densidade, da idade da instalação, da arquitetura de redundância, do nível de ocupação, da tecnologia de climatização, da condição de carga e dos pontos utilizados para medir a energia. Instalações com caminhos elétricos duplicados, equipamentos redundantes e grande margem de expansão podem apresentar perdas fixas maiores em baixa ocupação, mesmo quando a arquitetura foi corretamente definida para o risco operacional.

O artigo sobre [arquitetura elétrica de Data Center: N, N+1, 2N e distribuição A/B](#) explica por que disponibilidade e eficiência precisam ser avaliadas em conjunto. Reduzir consumo desligando uma redundância necessária pode melhorar temporariamente o PUE e, ao mesmo tempo, degradar a resiliência da instalação.

3. EXISTE UM PUE IDEAL?

Não existe um valor universal que possa ser aplicado a todos os Data Centers. A meta deve ser definida para a instalação, considerando suas condições de projeto, operação e risco.

Referências de mercado podem ajudar a identificar tendências, mas não substituem a análise local. O guia de eficiência do Departamento de Energia dos Estados Unidos apresenta valores orientativos de 1,6 como referência padrão, 1,4 como bom desempenho e 1,1 como desempenho superior. Esses valores não constituem limites normativos nem garantem que instalações diferentes sejam diretamente comparáveis.

A pesquisa global do Uptime Institute de 2026 informa que o PUE médio continua melhorando, mas de forma gradual, porque instalações antigas e restrições de climatização limitam os ganhos. Esse cenário reforça que melhorias relevantes frequentemente dependem de modernização de sistemas, instrumentação e gestão operacional, não apenas de novos setpoints.

Para uma instalação existente, a meta mais útil costuma ser reduzir o PUE normalizado ao longo do tempo, preservando carga de TIC, disponibilidade, clima e fronteira de medição comparáveis. Para uma instalação nova, o valor previsto deve ser associado às condições de carga e ambientais utilizadas na simulação.

4. COMO CALCULAR O PUE CORRETAMENTE?

O cálculo deve utilizar energia acumulada, normalmente em kWh ou MWh, para o mesmo intervalo. Dividir potências instantâneas pode ser útil para diagnóstico operacional, mas não representa adequadamente o desempenho anual porque carga de TIC, clima, economização, redundância e eficiência dos equipamentos variam ao longo do tempo.

O procedimento começa pela definição da fronteira física e elétrica. Deve-se identificar onde a energia total entra no Data Center, quais cargas pertencem à instalação e em quais pontos a energia de TIC será medida. Em edifícios de uso misto, cargas compartilhadas precisam ser separadas por medição ou por metodologia tecnicamente justificada. A ISO/IEC 30134-2:2026 passou a tratar com maior clareza essas condições e a aplicação de PUE modificado para ambientes mistos.

Em seguida, os medidores devem utilizar o mesmo período, relógios sincronizados e grandezas compatíveis. Leituras de concessionária, geração local, UPS, PDU, barramentos, painéis e equipamentos precisam ser reconciliadas para evitar lacunas, dupla contagem ou exclusão indevida de perdas.

PUE confiável começa pela fronteira de medição

Sem pontos de medição definidos, relógios sincronizados e um dicionário de medidores, o indicador pode parecer correto e ainda omitir cargas ou duplicar energia.

[Conheça a solução de Data Center Infrastructure Management – DCIM](#)

4.1. EXEMPLO DE CÁLCULO

Considere um Data Center que consumiu 1.500 MWh em doze meses. No mesmo período, os medidores da distribuição de TIC registraram 1.000 MWh entregues aos servidores, armazenamento e equipamentos de rede.

$$\text{PUE} = 1.500 \text{ MWh} \div 1.000 \text{ MWh} = 1,50$$

A infraestrutura de suporte consumiu 500 MWh. Esse valor equivale a 50% da energia de TIC, mas representa 33,3% da energia total da instalação. Essa distinção é importante porque o PUE compara a infraestrutura com a carga de TIC, e não expressa diretamente a

participação percentual de cada sistema no consumo total.

Se a carga de TIC cair para 700 MWh e parte dos consumos auxiliares permanecer fixa, o PUE pode aumentar mesmo que a energia total da instalação diminua. Portanto, uma variação do indicador deve ser analisada junto com energia absoluta, carga de TIC, clima e estado operacional.

5. ONDE MEDIR A ENERGIA TOTAL DO DATA CENTER?

A energia total deve incluir toda a energia necessária para operar o Data Center dentro da fronteira declarada. Em uma instalação dedicada, o ponto pode estar na entrada elétrica principal. Em campus, edifício corporativo ou ambiente compartilhado, pode ser necessário instalar submedição para separar escritórios, áreas comuns, laboratórios e outras cargas não pertencentes ao Data Center.

Quando existe geração local, a metodologia precisa declarar como eletricidade produzida por geradores, cogeração, sistemas fotovoltaicos, baterias e outras fontes é contabilizada. A edição 2026 da ISO/IEC 30134-2 traz maior clareza para geração no local. O objetivo não é melhorar artificialmente o indicador pela exclusão de uma fonte, mas representar a energia efetivamente utilizada pela instalação com fronteira consistente.

Perdas de transformadores, UPS, cabos, painéis e conversões localizadas dentro da fronteira fazem parte da energia total. Exportação de energia, reaproveitamento térmico e sistemas compartilhados exigem tratamento documentado e não devem ser compensados informalmente no cálculo.

6. ONDE MEDIR A ENERGIA DOS EQUIPAMENTOS DE TIC?

Quanto mais próximo o ponto de medição estiver da entrada dos equipamentos de TIC, mais representativa será a parcela utilizada no denominador. Medir apenas a saída do UPS pode incluir perdas posteriores em PDU, transformadores, cabos e fontes intermediárias. Medir na saída das PDUs melhora a resolução. Medições em rack, barramento ou equipamentos fornecem maior granularidade, desde que cobertura, precisão e sincronismo sejam adequados.

O ponto adotado deve ser registrado e mantido ao longo da série histórica. Alterar a medição de saída do UPS para entrada dos racks pode modificar o PUE sem qualquer mudança física na instalação. A comparação antes e depois só é válida quando a fronteira e a categoria de medição permanecem equivalentes ou quando a transição é tecnicamente reconciliada.

A solução de [Data Center Infrastructure Management – DCIM](#) pode integrar medidores, ativos, capacidade e séries históricas, mas a qualidade do resultado continua dependendo da arquitetura de instrumentação e da governança dos dados.

7. O QUE ENTRA COMO ENERGIA DE INFRAESTRUTURA?

A diferença entre energia total e energia de TIC corresponde aos consumos e perdas da infraestrutura. Normalmente estão incluídos climatização, chillers, CRACs, CRAHs, bombas, torres ou dry coolers, ventiladores, umidificação, UPS, transformadores, PDUs, perdas de distribuição, iluminação, controles, segurança e demais auxiliares da instalação.

Nem toda carga instalada opera continuamente, e nem toda perda é proporcional à carga de TIC. Transformadores, UPS, bombas e ventiladores apresentam curvas de eficiência. Equipamentos sobredimensionados podem operar por longos períodos fora de sua faixa mais eficiente. Sistemas redundantes podem manter unidades em espera ou em paralelo, conforme a estratégia de disponibilidade.

O artigo [UPS para Data Center: topologias, redundância e critérios de seleção](#) detalha como carga parcial, dupla conversão, modos de operação e paralelismo influenciam perdas elétricas. Na climatização, capacidade nominal, modulação, temperatura externa, vazão e distribuição do ar determinam a energia requerida para remover o calor.

8. PUE INSTANTÂNEO, MENSAL E ANUAL

O PUE instantâneo é útil para identificar eventos, alterações de carga e comportamento de controles. Ele pode mostrar o efeito da entrada de um chiller, da abertura de uma válvula, da mudança de velocidade de ventiladores ou da transferência de um UPS. Porém, não deve ser comparado diretamente com um PUE anual de mercado.

O PUE mensal permite avaliar sazonalidade e identificar meses em que clima, umidade ou operação degradam o desempenho. O PUE anualizado é mais adequado para benchmarking porque incorpora variações climáticas, carga de TIC e horas de economização. A referência do Departamento de Energia também destaca a importância do uso de energia anual para capturar essas variações.

Uma boa prática é manter as três visões: instantânea para operação, mensal para gestão e anual para comparação e planejamento. Todas devem preservar o mesmo dicionário de medidores e a mesma fronteira.

9. PUE DE PROJETO E PUE OPERACIONAL

O PUE de projeto é uma estimativa calculada a partir de cargas, curvas de eficiência, clima, setpoints, horas de operação e estratégias de controle. Ele deve informar as condições utilizadas: carga de TIC, redundância ativa, temperatura externa, disponibilidade de economização e fase de ocupação.

O PUE operacional é obtido a partir de medições reais. Diferenças entre os dois podem revelar carga abaixo da prevista, equipamentos superdimensionados, controles inadequados, falhas de sensores, bypass de ar, perdas elétricas maiores ou premissas de projeto pouco representativas.

A [Basis of Design, OPR e URS em projetos de Data Center](#) deve registrar metas, condições de cálculo, pontos de medição e critérios de aceite. Sem essa linha de base, o valor de PUE previsto pode se tornar uma promessa sem condição verificável.

10. POR QUE O PUE PODE PIORAR QUANDO A CARGA DE TI DIMINUI?

Vários consumos auxiliares não caem na mesma proporção que a carga de TIC. Um chiller pode continuar ligado, bombas podem manter vazão mínima, ventiladores podem operar acima do necessário, transformadores permanecem energizados e controles mantêm equipamentos redundantes em paralelo.

Quando o denominador diminui mais rapidamente que a energia de suporte, o PUE aumenta. Isso não significa necessariamente que a instalação passou a consumir mais energia total. O diagnóstico precisa observar simultaneamente MWh totais, MWh de TIC, energia por sistema e condição de carga.

Essa característica é especialmente importante em Data Centers novos, expansões por fases e instalações corporativas subutilizadas. Implantar toda a capacidade final desde a primeira etapa pode produzir baixa eficiência em carga parcial. Modularidade, escalonamento e capacidade de redução devem ser consideradas desde o [projeto de Data Center](#).

11. PUE NÃO MEDE A EFICIÊNCIA DOS SERVIDORES

PUE avalia a relação entre infraestrutura e energia de TIC. Se servidores ociosos consumirem energia sem produzir trabalho útil, essa energia continuará no denominador e poderá até melhorar o PUE, porque aumenta a carga de TIC em relação aos consumos fixos da infraestrutura.

Por isso, reduzir PUE sem atuar sobre utilização, consolidação, virtualização, gerenciamento de energia, seleção de hardware e eficiência das aplicações pode gerar uma visão incompleta. A gestão deve combinar PUE com métricas de capacidade, utilização e desempenho dos serviços digitais.

Também não é correto aumentar artificialmente a carga de TIC para melhorar a razão. O objetivo é reduzir energia total para um nível de serviço e capacidade computacional requeridos, não otimizar apenas um indicador.

12. COMO A CLIMATIZAÇÃO INFLUENCIA O PUE?

A climatização costuma representar a maior parcela de infraestrutura em muitos Data Centers. Mistura entre ar frio e quente, excesso de vazão, setpoints conservadores, baixa temperatura de água, bombas sem modulação, filtros obstruídos, unidades em conflito e baixa diferença de temperatura aumentam o consumo.

O artigo [Climatização de Data Center: CRAC, CRAH, redundância e critérios de projeto](#) aborda a seleção e a arquitetura térmica. O conteúdo sobre [corredor quente e corredor frio](#) mostra como contenção, vedação e balanceamento reduzem recirculação e bypass.

Melhorar airflow pode permitir temperaturas de insuflação mais elevadas, aumentar o retorno, reduzir velocidade de ventiladores e ampliar horas de economização. A alteração deve ser baseada em temperaturas nas entradas dos equipamentos e em estados de falha, não apenas na temperatura média da sala.

13. COMO A ARQUITETURA ELÉTRICA INFLUENCIA O PUE?

Cada conversão e cada trecho de distribuição introduzem perdas. Transformadores, retificadores, inversores, UPS, PDUs e cabos precisam ser avaliados nas cargas reais, e não apenas na eficiência nominal de catálogo.

UPS operando com baixa carga, transformadores superdimensionados, caminhos paralelos desbalanceados e tensões inadequadas podem aumentar perdas permanentes. Por outro lado, eliminar estágios ou alterar modos de operação sem análise de seletividade, qualidade de energia e disponibilidade pode introduzir riscos maiores que o ganho energético.

A solução de [Energia para Infraestrutura Crítica](#) integra UPS, geração, distribuição, redundância, proteção e monitoramento para que eficiência seja tratada dentro do requisito de continuidade.

14. COMO REDUZIR O PUE SEM COMPROMETER A DISPONIBILIDADE?

A redução deve começar pela medição. Sem submedição por sistema, o gestor conhece a razão total, mas não sabe onde está o consumo evitável. A decomposição entre TIC, climatização, perdas elétricas, iluminação e auxiliares permite priorizar intervenções.

Em seguida, devem ser avaliadas medidas de baixo risco: correção de sensores, harmonização de setpoints, vedação de passagens, instalação de painéis cegos, balanceamento de vazão, revisão de horários e eliminação de controles concorrentes. Essas ações frequentemente recuperam capacidade e reduzem consumo sem alterar a arquitetura principal.

Medidas estruturais incluem modernização de UPS e transformadores, substituição de ventiladores e bombas por equipamentos modulantes, otimização de chillers, economização, contenção, resfriamento próximo à carga, revisão de distribuição elétrica e implantação modular. A viabilidade depende de CAPEX, risco de intervenção, economia anual e janela operacional.

Ações sobre TI também são necessárias: consolidação de servidores, remoção de equipamentos sem função, gerenciamento de energia, atualização de hardware e distribuição de cargas. Embora nem todas reduzam diretamente o PUE, reduzem energia total e capacidade térmica requerida.

Eficiência precisa ser integrada à arquitetura crítica

Elétrica, climatização, automação, TI e redundância devem ser avaliadas em conjunto para reduzir perdas sem criar pontos únicos de falha ou comprometer manutenção.

[Conheça a solução de Engenharia Integrada para Data Centers](#)

15. PUE E REDUNDÂNCIA: EFICIÊNCIA NÃO PODE ELIMINAR RESILIÊNCIA

Arquiteturas N+1, 2N e caminhos A/B podem aumentar perdas em carga parcial, mas existem para atender critérios de manutenção e falha. A decisão correta não é remover redundância para alcançar um número menor, e sim selecionar tecnologias eficientes, modularizar capacidade e controlar os equipamentos de forma compatível com os estados operacionais.

O PUE deve ser medido em operação normal e também acompanhado durante estados degradados. Uma instalação pode apresentar ótimo desempenho com todos os sistemas disponíveis e consumo excessivo quando uma unidade entra em manutenção. Esses estados precisam fazer parte da estratégia de capacidade e do comissionamento.

A [Engenharia Integrada para Data Centers](#) permite avaliar conjuntamente elétrica, climatização, automação, TI, segurança, expansão e operação, evitando que uma disciplina otimize seu próprio sistema e transfira perdas ou riscos para outra.

16. COMO USAR DCIM, BMS E EPMS PARA ACOMPANHAR PUE?

O BMS acompanha variáveis e comandos prediais, especialmente climatização e auxiliares. O EPMS concentra grandezas elétricas, qualidade de energia, demanda, estados e alarmes. O DCIM relaciona energia, ativos, espaço, capacidade e operação de TI.

Esses sistemas podem fornecer o numerador e o denominador, mas precisam de uma taxonomia comum. Cada medidor deve possuir localização, sistema, nível elétrico, relação de transformação, unidade, precisão, periodicidade e tratamento de falhas. Alterações de configuração devem manter histórico e rastreabilidade.

Dados faltantes não devem ser silenciosamente substituídos por zero. Medidores duplicados, relógios dessincronizados e relações de TC ou TP incorretas podem produzir PUE aparentemente plausível, porém tecnicamente inválido. A qualidade do indicador deve ser acompanhada por cobertura de medição e disponibilidade dos dados.

17. COMO VERIFICAR O PUE DURANTE O COMISSIONAMENTO?

O comissionamento deve verificar os medidores, relações de transformação, sincronismo, comunicação, somatórios e fronteiras antes de avaliar o valor do PUE. Testes devem confirmar que cada carga aparece no ponto correto e que a perda entre níveis elétricos é coerente.

Com carga representativa, o processo pode comparar consumo de UPS, distribuição, climatização e auxiliares em diferentes estados. Falha de unidade, manutenção, transferência para geração, variação de carga e mudança de setpoint ajudam a verificar se o sistema mantém desempenho e disponibilidade.

O [comissionamento e aceite de Data Centers](#) deve entregar não apenas um número, mas a metodologia de cálculo, o mapa de medidores, as evidências, as condições testadas e a linha de base para a operação.

18. PUE EM DATA CENTERS EXISTENTES E PROJETOS DE MODERNIZAÇÃO

Em instalações existentes, a primeira etapa é construir uma linha de base confiável. Quando não há medição completa, podem ser utilizados instrumentos temporários, analisadores, registros de UPS, dados de chillers e estimativas documentadas. As incertezas precisam ser declaradas.

O levantamento deve separar problemas de capacidade, distribuição, controle e eficiência. Um PUE elevado pode ser causado por climatização ineficiente, baixa ocupação, excesso de redundância ativa, equipamentos antigos, falhas de medição ou combinação desses fatores.

O serviço de [Diagnóstico e Modernização de Data Centers e CPDs](#) transforma medições, riscos e limitações de intervenção em um plano de ações priorizado, com avaliação de impacto, investimento, economia e continuidade operacional.

Transforme o PUE em um plano verificável de melhoria

A linha de base deve separar problemas de medição, carga, climatização, distribuição elétrica e controle, priorizando intervenções pelo impacto, risco e continuidade operacional.

[Conheça o serviço de Diagnóstico e Modernização de Data Centers e CPDs](#)

19. POR QUE PUE SOZINHO NÃO MEDE SUSTENTABILIDADE?

PUE mede eficiência relativa da infraestrutura elétrica e térmica, mas não informa diretamente quanto de água foi consumido, qual foi a origem da eletricidade ou quantas emissões de gases de efeito estufa foram associadas à operação. Um Data Center pode melhorar o PUE e, ao mesmo tempo, aumentar sua dependência de água ou operar em um sistema elétrico mais intensivo em carbono.

Também é possível reduzir emissões pela contratação de energia de menor intensidade de carbono sem modificar a arquitetura elétrica, a climatização ou as perdas internas. Nesse caso, o CUE melhora, mas o PUE pode permanecer igual. Por isso, PUE, WUE e CUE devem ser interpretados como indicadores complementares, e não como substitutos.

20. O QUE É WUE E COMO CALCULAR?

WUE significa *Water Usage Effectiveness*. A métrica quantifica a intensidade do consumo de água durante a fase de uso do Data Center, relacionando o volume consumido dentro da fronteira declarada com a energia entregue aos equipamentos de TIC no mesmo período.

WUE = volume de água consumido pelo Data Center ÷ energia dos equipamentos de TIC

O resultado é normalmente apresentado em litros por quilowatt-hora de TIC — L/kWh. A medição pode incluir água utilizada por torres de resfriamento, sistemas evaporativos, umidificação e outras cargas operacionais pertencentes à fronteira. Consumos compartilhados com escritórios, áreas comuns ou outros processos precisam ser separados por medição ou por método documentado.

Considere uma instalação que consumiu 12.000 m³ de água em doze meses e entregou 20.000 MWh aos equipamentos de TIC. Convertendo as grandezas, o volume corresponde a 12.000.000 litros e a energia de TIC a 20.000.000 kWh.

WUE = 12.000.000 L ÷ 20.000.000 kWh = 0,60 L/kWh

Um WUE menor indica menor consumo de água por unidade de energia de TIC dentro da fronteira informada. A comparação, porém, deve considerar clima, tecnologia de rejeição de calor, qualidade e origem da água, carga de TIC, período e categoria de medição. Reduzir água substituindo resfriamento evaporativo por sistemas exclusivamente secos pode elevar o consumo elétrico, especialmente em determinadas condições climáticas.

21. O QUE É CUE E COMO CALCULAR?

CUE significa *Carbon Usage Effectiveness*. O indicador quantifica a intensidade das emissões operacionais associadas ao Data Center, relacionando as emissões de dióxido de carbono equivalente atribuídas à energia consumida com a energia entregue aos equipamentos de TIC.

CUE = emissões operacionais de CO₂ equivalente ÷ energia dos equipamentos de TIC

O resultado pode ser expresso em quilogramas de CO₂ equivalente por quilowatt-hora de TIC — kgCO₂e/kWh. O inventário deve declarar o período, a fronteira, os fatores de emissão utilizados, a eletricidade adquirida, a geração local e os combustíveis consumidos. Alterar o fator de emissão ou a metodologia de contabilização pode modificar o CUE sem qualquer mudança física na instalação.

Considere um Data Center com 1.500 toneladas de CO₂ equivalente atribuídas à operação anual e 10.000 MWh de energia entregue aos equipamentos de TIC. Convertendo as grandezas, são 1.500.000 kgCO₂e e 10.000.000 kWh.

$$\text{CUE} = 1.500.000 \text{ kgCO}_2\text{e} \div 10.000.000 \text{ kWh} = 0,15 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh}$$

Um CUE menor representa menor intensidade de carbono por unidade de energia de TIC dentro da metodologia informada. O resultado pode melhorar por eficiência energética, mudança da matriz elétrica, geração local de menor carbono ou combinação dessas medidas. Por isso, o valor deve ser analisado junto com PUE, consumo absoluto de energia e critérios transparentes de contabilização.

22. COMO INTERPRETAR PUE, WUE E CUE EM CONJUNTO?

As três métricas utilizam a energia de TIC como referência, mas observam impactos diferentes. Para que a análise seja coerente, devem utilizar períodos alinhados, fronteiras documentadas, dados rastreáveis e condições operacionais comparáveis.

Situação observada	Interpretação técnica
PUE diminui e WUE aumenta	A eficiência elétrica pode ter melhorado por maior uso de resfriamento evaporativo, com transferência parcial do impacto para água.
PUE permanece estável e CUE diminui	A instalação pode estar utilizando eletricidade de menor intensidade de carbono sem reduzir perdas internas.
PUE diminui e CUE não melhora	A redução de energia pode ter sido compensada por aumento do fator de emissão ou por mudança na metodologia de contabilização.
WUE diminui e PUE aumenta	A redução do consumo de água pode ter exigido maior uso de compressores, ventiladores ou rejeição seca de calor.

O objetivo não é minimizar cada indicador isoladamente. A decisão deve considerar consumo absoluto, disponibilidade, capacidade, condições climáticas, custo, risco hídrico, origem da energia e vida útil dos ativos. Em instalações críticas, ganhos de eficiência precisam ser verificados em operação normal, estados degradados e condições de manutenção.

Eficiência real exige uma visão integrada

Uma medida só deve ser considerada melhoria quando reduz impactos mensuráveis sem degradar disponibilidade, capacidade, segurança ou manutenção concorrente.

[Conheça a solução de Engenharia Integrada para Data Centers](#)

23. COMO ESTRUTURAR A MEDIÇÃO DAS TRÊS MÉTRICAS?

PUE exige medidores elétricos capazes de reconciliar energia total e energia de TIC. WUE exige hidrômetros e separação dos consumos associados à instalação. CUE exige dados energéticos consistentes e fatores de emissão documentados. Os três indicadores dependem de sincronismo, cobertura, qualidade de dados e controle de mudanças.

O dicionário de medição deve registrar ativo, localização, sistema, unidade, precisão, periodicidade, relação de transformação, fonte do dado, regra de tratamento de falhas e responsável. Alterações de medidores, fronteiras ou fatores precisam gerar uma nova versão metodológica, preservando a comparabilidade da série histórica.

O artigo sobre [DCIM, BMS e EPMS em Data Centers](#) explica como essas plataformas podem integrar energia, climatização, ativos, capacidade e operação. A automação do cálculo não elimina a necessidade de validar sensores, somatórios, períodos, fatores de emissão e fronteiras.

24. ERE E OUTRAS MÉTRICAS COMPLEMENTARES

A **ERE — Energy Reuse Effectiveness** considera o aproveitamento de energia que deixa de ser tratada como rejeito, por exemplo quando calor recuperado é utilizado em outro processo. Ela complementa PUE, WUE e CUE, mas não deve ser usada para ocultar ineficiências internas ou compensar fronteiras mal definidas.

Indicadores de utilização de servidores, capacidade por rack, produtividade computacional, disponibilidade e qualidade dos serviços digitais também são necessários. PUE baixo não garante que a plataforma de TI esteja produzindo trabalho útil; WUE e CUE baixos não substituem requisitos de desempenho, segurança e continuidade.

25. ERROS COMUNS AO CALCULAR E DIVULGAR PUE, WUE E CUE

Um erro frequente no PUE é usar potência instantânea e apresentar o resultado como indicador anual. Outro é medir energia de TIC na saída do UPS sem declarar que perdas posteriores estão incluídas no denominador.

Também ocorre a exclusão de cargas auxiliares compartilhadas, como bombas, torres, iluminação, controles ou salas elétricas. Em sentido oposto, cargas de escritórios e áreas comuns podem ser incluídas indevidamente no numerador de um Data Center instalado em edifício misto.

No WUE, erros comuns incluem misturar consumo do Data Center com usos prediais, não registrar perdas, vazamentos ou purgas, desconsiderar mudanças de fonte de abastecimento e comparar períodos climáticos diferentes sem contextualização. A origem e a qualidade da água também precisam ser declaradas para evitar que volumes tecnicamente distintos sejam tratados como equivalentes.

No CUE, a principal fragilidade é utilizar fatores de emissão diferentes ao longo da série sem registrar a mudança metodológica. Eletricidade adquirida, geração local e combustíveis devem seguir uma fronteira coerente. Reduções baseadas apenas em certificados, compensações ou fatores contratuais precisam ser apresentadas separadamente de reduções físicas de consumo.

Comparar instalações com fronteiras, períodos, cargas e categorias diferentes produz conclusões frágeis. Divulgar apenas o melhor valor observado, em vez de um período representativo, transforma os indicadores em peças promocionais e não em ferramentas de engenharia.

Por fim, metas sem condições de carga e disponibilidade incentivam decisões inadequadas. Cada requisito deve indicar fronteira, intervalo, precisão, carga de TIC, estado de redundância, condição ambiental e método de verificação.

26. ENTREGÁVEIS DE UM ESTUDO DE PUE, WUE E CUE

Um estudo tecnicamente consistente deve registrar as fronteiras de energia, água e emissões, o inventário de medidores, hidrômetros e fontes de dados, a energia de TIC utilizada como denominador, os períodos de análise e as categorias de medição adotadas.

Também deve apresentar balanços de energia e água, fatores de emissão, séries históricas, curvas por carga e clima, decomposição por sistema, cobertura de medição, dados ausentes e incertezas. Para CUE, a metodologia precisa identificar a origem dos fatores e separar mudanças físicas de consumo de alterações contábeis ou contratuais.

As oportunidades de melhoria devem ser comparadas por impacto em PUE, WUE, CUE, consumo absoluto, capacidade, investimento, risco, interferência operacional e continuidade. Medidas rápidas precisam ser separadas de modernizações estruturais, mudanças de matriz energética e ações sobre a plataforma de TI.

A linha de base deve permitir verificar resultados após a intervenção. Sem normalização e critérios de medição e verificação, uma melhora aparente pode decorrer apenas de menor carga de TIC, clima diferente, alteração de fronteira, mudança do fator de emissão ou período de baixa demanda.

27. CONCLUSÃO

PUE, WUE e CUE transformam energia, água e emissões operacionais em indicadores comparáveis com a energia entregue aos equipamentos de TIC. As fórmulas são simples, mas os resultados dependem de fronteiras, períodos, categorias de medição, fatores de emissão e qualidade dos dados claramente documentados.

O objetivo não deve ser alcançar isoladamente o menor PUE, WUE ou CUE. Uma decisão pode melhorar uma métrica e piorar outra, ou reduzir consumo enquanto compromete redundância, capacidade ou manutenção. A avaliação correta combina os três indicadores com energia e água absolutas, disponibilidade, desempenho computacional, custo e risco operacional.

Em novos Data Centers, as metas precisam nascer como requisitos verificáveis na Basis of Design, com pontos de medição e condições de aceite. Em instalações existentes, devem formar uma linha de base para diagnóstico, modernização e acompanhamento contínuo. Engenharia integrada, instrumentação, DCIM, BMS, EPMS e comissionamento são essenciais para que os indicadores representem o comportamento real da operação.

[1] ISO; IEC. [ISO/IEC 30134-2:2026 – Information technology – Data centres key performance indicators – Part 2: Power usage effectiveness \(PUE\)](#). Genebra: ISO, 2026.

[2] UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. [Best Practices Guide for Energy-Efficient Data Center Design](#). Washington, DC: FEMP; NREL, 2024.

[3] ISO; IEC. [ISO/IEC 30134-8:2022 – Information technology – Data centres key performance indicators – Part 8: Carbon usage effectiveness \(CUE\)](#). Genebra: ISO, 2022.

[4] ISO; IEC. [ISO/IEC 30134-9:2022 – Information technology – Data centres key performance indicators – Part 9: Water usage effectiveness \(WUE\)](#). Genebra: ISO, 2022.

[5] UPTIME INSTITUTE. [Uptime Institute Global Data Center Survey 2026](#). Nova York: Uptime Institute, 2026.

O que significa PUE em Data Centers? PUE significa Power Usage Effectiveness. É a razão entre a energia total consumida pelo Data Center e a energia entregue aos equipamentos de TIC no mesmo período e dentro da mesma fronteira. **Como calcular o PUE?** Divida a energia total consumida pelo Data Center pela energia entregue aos servidores, armazenamento e equipamentos de rede. As duas medições devem usar o mesmo período e uma fronteira documentada. **Como calcular o WUE de um Data Center?** Divida o volume de água consumido pelo Data Center pela energia entregue aos equipamentos de

TIC no mesmo período. O resultado é normalmente expresso em litros por quilowatt-hora de TIC. **Como calcular o CUE de um Data Center?** Divida as emissões operacionais de dióxido de carbono equivalente atribuídas ao Data Center pela energia entregue aos equipamentos de TIC. O resultado pode ser expresso em quilogramas de CO2 equivalente por quilowatt-hora de TIC. **Qual é a diferença entre PUE, WUE e CUE?** PUE mede a intensidade energética da infraestrutura, WUE mede a intensidade do consumo de água e CUE mede a intensidade das emissões operacionais de carbono. As três métricas devem ser interpretadas em conjunto. **Qual é o PUE ideal de um Data Center?** Não existe um valor universal. Quanto mais próximo de 1,0, menor o consumo relativo da infraestrutura, mas a meta precisa considerar clima, carga, idade, redundância, tecnologia e fronteira de medição. **Por que o PUE aumenta quando a carga de TI diminui?** Porque parte dos consumos de climatização, distribuição e auxiliares permanece fixa ou não diminui na mesma proporção. O denominador cai mais rapidamente que a energia de suporte, elevando a razão. **PUE mede a eficiência dos servidores?** Não. PUE mede a eficiência relativa da infraestrutura de suporte. Servidores ociosos podem consumir energia de TIC e até melhorar a razão sem produzir mais trabalho útil. **Reduzir PUE pode aumentar o WUE?** Sim. Estratégias de resfriamento evaporativo podem reduzir o consumo elétrico e melhorar o PUE enquanto aumentam o uso de água. A decisão precisa considerar clima, risco hídrico, energia e disponibilidade. **É possível reduzir PUE sem comprometer a redundância?** Sim. O caminho é melhorar medição, controles, fluxo de ar, modulação, eficiência de UPS e climatização, além de modular capacidade. Redundâncias necessárias não devem ser removidas apenas para melhorar o indicador.

Sobre a A3A Engenharia de Sistemas

Com 30 anos de história, a A3A Engenharia de Sistemas se consolidou como referência em serviços de Engenharia, oferecendo soluções integradas de Telecomunicações, Segurança Eletrônica, Segurança Digital e Instalações Elétricas.

A empresa atua em todas as etapas do ciclo de Engenharia, desde a elaboração de projetos e consultoria técnica até a implantação, manutenção e retrofit de sistemas, sempre em conformidade com as normas técnicas e melhores práticas do setor.