

XV CONBRAVA 2017 - 15º CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR
CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
XIV CIAR – CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE AR CONDICIONADO
E REFRIGERAÇÃO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE UM DATACENTER
POR UM NOVO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA: ENERGY USAGE EFFECTIVENESS - EUE.**

Me. Alexandre Fernandes Santos – paidakantsy@hotmail.com

Faculdade Profissional – FAPRO, www.fapro.com.br.

Dr. Pedro D. Gaspar - dinis@ubi.pt Universidade da Beira Interior - UBI

Esp. Heraldo José Lopes de Souza – heraldosouza1@gmail.com

Faculdade Profissional – FAPRO, www.fapro.com.br.

22 – Soluções de eficiência energética para edificações

Resumo: *Os datacenters têm um crescimento real, sendo previsto um aumento de até 53% em 2020, e a eficiência energética em recintos de alto consumo de energia são fundamentais. Já existem metodologias para mensurar essa eficiência como o PUE (Power Usage Effectiveness), este índice apesar de importante não reflete de forma integral a eficiência, foi demonstrado 03 Datacenters com PUE próximos e comparado a eficiência do Índice com um novo a ser criado o EUE (Energy Usage Effectiveness) que na métrica ao invés de considerar a potência como elemento de comparação, começou a usar a energia como elemento de comparação, usando o estudo aproveitamento de entalpia com uma nova metodologia para obter os resultados, foi obtida uma diferença entre os índices de*

19,51% para Curitiba, Foz de 13,30% e de 10,81% para Londrina em relação ao PUE. E para melhorar o mapeamento foi utilizado a geotermia, calculado um COP geotérmico para estas cidades, resultando um valor de COP bem maior, com isso, sendo mais útil na hora de escolher os locais para instalações de novos DC's.

Palavras-chave: *Datacenters, PUE, Refrigeração de datacenters.*

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Converge Comunicações, principal grupo de comunicação dedicado ao mercado de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) do Brasil, o tráfego de nuvem deve crescer quase quatro vezes em menos de uma década, de 3,9 zetabytes (ZB) em 2015 para 14,1 ZB, ao ano, até 2020. O dado consta da sexta edição anual do Global Cloud Index (2015-2020) da Cisco Systems, que atribui essa expansão ao aumento da migração dos sistemas de TIC das empresas para arquiteturas de nuvem por conta da capacidade de se expandir rápida e eficientemente e suportar mais cargas de trabalho do que os data centers (DC) tradicionais.

Com a maior taxa de virtualização dos DCs, os operadores de nuvem poderão oferecer maior variedade de serviços para empresas e consumidores com um desempenho ideal. Segundo a análise, a nuvem dominará e vai superar o crescimento dos DC tradicionais até 2020, quando 92% da carga de trabalho será processada por DC de nuvem e 8% por DCs tradicionais.

Além disso, até 2020, 68% (298 milhões de dólares) da carga de trabalho de nuvem estará em data centers de nuvem pública, na comparação com os 49% (66,3 milhões de dólares) em 2015 — 35% de taxa composta de crescimento anual entre 2015-2020. Recursos como Internet das Coisas (IoT) e big data vão impulsionar o mercado. IoT será um grande gerador de dados, atingindo 600 ZB por ano até 2020, 275 vezes maior que o tráfego projetado entre os DCs e dispositivos/usuários finais (2,2 ZB); 39 vezes maior que o tráfego total de DCs (15,3 ZB).

Já a big data vai impulsionar o crescimento geral de dados armazenados. Globalmente, os dados armazenados em data centers vão quintuplicar até 2020, atingindo 915 exabytes (EB) até 2020, um incremento de 5,3 vezes (uma taxa de crescimento composta anual de 40%) a partir do patamar de 171 EB em 2015.

Pela primeira vez, a Cisco também quantificou e analisou o impacto dos DCs *hyperscale*, que devem crescer de 259, em 2015, para 485 até 2020. O tráfego de DC *hyperscale* deve quintuplicar nos próximos cinco anos. Essas infraestruturas serão responsáveis por 47% dos servidores instalados.

Com o crescimento da instalação de DCs, um dos grandes desafios são relativos à melhoria do desempenho e eficiência dos DCs, que em grande parte decorre do calor dissipado pelos servidores, já que o enorme número de equipamentos instalados para aumentar a capacidade de armazenamento, aumentou em muito a potência elétrica e consequentemente a dissipação de calor. Para melhorar a dissipação de calor, alguns DC chegaram mesmo a mudar de localização, para locais onde as temperaturas médias do ar são mais baixas, como no Círculo Polar Ártico ou na Suécia, para obterem melhor eficiência energética, pela diminuição da necessidade de arrefecimento.

As métricas de eficiência são definidas e padronizadas para comparar a eficiência dos sistemas de um DC, como sejam os custos de operação. Foi também criado um consórcio global de fabricantes de equipamentos de IT, empresas de tecnologias, governo, instituições de ensino e I&D, associações de classes e outros setores da sociedade, onde se discutem, desenvolvem e recomendam as melhores práticas de eficiência energética e de sustentabilidade, como a emissão de CO₂. Uma dessas métricas é o PUE (*Power Usage Effectiveness*), definida pelo The Green Grid (2012) como instrumento para medir a eficiência energética de um DC. O parâmetro é a razão entre a energia total consumida por um DC e a energia fornecida aos equipamentos de IT. O valor ideal de PUE seria 1,0. Já foram relatos casos de DC com PUE = 1,02 (3M, 2015).

OS DC são subdivididos nas seguintes categorias:

Datacenter Privado: Denominado como PDC (Private Datacenter), são operados por instituições, corporações ou agências governamentais, onde se armazenam informações de processamentos internos e utilizados para manter sistemas governamentais.

Internet Datacenter: Os IDC (Internet Data Center) destinam-se a prover os serviços de telecomunicações, tendo como objetivo prestar serviços de armazenamento, hospedagem de sites e equipamentos de empresas.

Em qualquer tipo de DC (privado ou de Internet) a métrica de PUE tem por pressuposto já ter o projeto pronto. Apenas após a finalização do projeto é que o PUE é mensurado. Embora esta métrica seja fundamental para analisar a eficiência energética do DC, a sua aplicação é muito trabalhosa e com elevada complexidade de execução pelo fato de necessitar a geração de uma carga térmica com simulação energética para cada localização.

Existem outros fatores que não tangem este trabalho de investigação, como sejam a disponibilidade energética ou o risco sísmico, tendo enfoque exclusivo na área de maior impacto para além dos próprios equipamentos de IT que é a área térmica. Um DC típico com PUE = 2,1 tem uma seguinte distribuição do consumo de energia elétrica (Rasmussen, 2012):

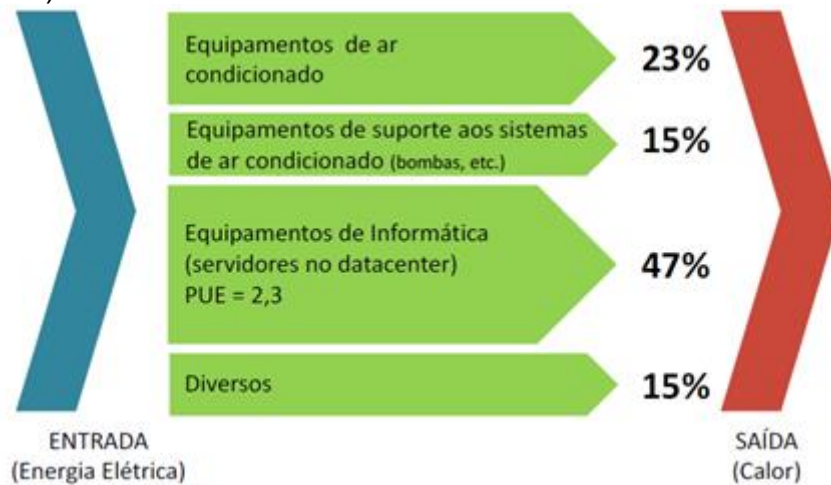


Figura 1 - Distribuição do consumo de energia elétrica num DC típico (Ramussen, 2012).

A questão é que em um DC típico, excetuando o consumo elétrico dos equipamentos de informática (47%), dos 53% restantes, o sistema de climatização é responsável por 38% do consumo elétrico total, ou seja, informática e ar condicionado corresponde a cerca de 72% de todo o consumo elétrico da infraestrutura. Como a ênfase deste trabalho não se encontra direcionada à eficiência dos equipamentos de informática, a ideia reside na utilização de um índice que possa auxiliar o investidor no apoio à tomada de decisão de qual o local mais adequado para a instalação de um DC, usando um ábaco com elementos simples e básicos.

Segundo EY (2015), os executivos necessitam de "Aumentar a velocidade da tomada de decisão e a eficiência da execução de projetos para aproveitar janelas de oportunidades".

Uma questão importante é que o PUE trabalha com ênfase em Potência e não em energia, uma métrica verdadeiramente precisa seria um EUE (*Energy Usage Effecttiness*), este artigo irá comparar num mesmo tipo de sistema de climatização um EUE em duas cidades diferentes que a priori teriam um PUE muito próximo.

Além do PUE (*Power Usage Effectiveness*), definido pelo The Green Grid (2012), a *Thermal Guidelines for Data Processing Environments*, já possui algumas simulações para o uso de "Freecooling" para algumas cidades dos Estados Unidos da América, como por exemplo Chicago. Porém, neste trabalho são incluídos os sistemas adiabático evaporativo e o geotérmico nas simulações para criar um novo índice denominado EUE (*Energy Usage Effectiveness*) para avaliar os DCs ao invés do PUE. Este trabalho incluí a análise de dados de:

- ASHRAE *Thermal Guidelines for Processing* (2015) (já possuem as 03 cidades desejadas);
- Temperatura geotérmica: das cidades Curitiba, Londrina e Foz do Iguaçu (Santos, 2014).

Destinados ao cálculo do EUE e por posterior comparação com os valores de PUE. A análise e discussão de resultados visa obter um nível maior de informações para a tomada de decisão do local a ser instalado um DC.

2.0 Cidades escolhidas e características

Observando pela métrica de comparação o artigo irá de basear num datacenter de alta densidade, as cidades escolhidas de características semelhantes, são:

- Foz do Iguaçu-Paraná;
- Curitiba – Paraná;
- Londrina – Paraná.

As cidades são próximas a grandes bacias, e baseado apenas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) (NBR 16401), possuem características semelhantes, conforme segue abaixo:

PR	Curitiba				Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
					25,52S	49,17W	908m	90,88	82/01		27,4	32,9	1,0	-1,4	2,0	
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade				Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação			
Jan	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	99,6%	TBS	TPO	w	TBSc		
		30,9	20,2	23,2	26,8	22,2	18,9	24,3		99%	2,4	-1,2	3,8	6,7		
ΔTmd	1%	29,8	20,2	22,6	26,2	21,7	18,3	23,9		99%	4,8	1,7	4,8	9,3		
9,5	2%	28,7	20,2	22,0	25,6	21,1	17,6	23,2								
PR	Foz de Iguaçu				Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
					25,52S	54,58W	243m	98,44	85/01		29,4	37,2	0,9	0,1	1,9	
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade				Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação			
Jan	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	99,6%	TBS	TPO	w	TBSc		
		35,1	23,6	26,1	31,6	24,6	20,1	28,7		99%	3,4	1,1	4,2	6,3		
ΔTmd	1%	34,1	23,7	25,6	31,1	24,0	19,5	28,2		99%	5,8	3,1	4,9	8,0		
11,1	2%	33,1	23,5	25,1	30,6	23,5	18,9	27,7								
PR	Londrina				Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
					23,33S	51,13W	570m	94,66	84/01		30,2	35,7	1,5	3,9	2,0	
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade				Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação			
Dez	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	99,6%	TBS	TPO	w	TBSc		
		33,9	21,7	25,3	28,9	24,4	20,7	26,6		99%	7,2	1,2	4,4	13,4		
ΔTmd	1%	32,8	21,8	24,7	28,5	23,9	20,2	26,2		99%	9,3	3,8	5,3	15,2		
10,0	2%	31,9	21,9	24,2	28,0	23,2	19,3	25,6								

Tabela 1 – dados das cidades de Curitiba, Foz de Iguaçu e Londrina.

Fonte: NBR 16401, 2008.

A diferença entre os bulbos seco das cidades Curitiba e Foz do Iguaçu é de 11,97% e de Curitiba e Londrina é de 8,85%, e de Bulbo úmido é de 11,11% entre Curitiba e Foz, e de 8,30%, para efeitos psicrométricos a altitude entre as cidades são de Curitiba 908m, Foz 243m e Londrina 570m.

Para efeito de comparação vamos usar um DC de alta densidade de 414 m², medindo 28,8 X 14,4 m, e com uma dissipação de calor de equipamentos (347,3 kW de calor sensível, ou seja, 0,84 kW/m²) somados a carga térmica interna de 48 kW (condução, iluminação (8 kW ao todo), pessoas e outros (40 kW de perdas em Nobreak e outros), para isso foram selecionados **08 Equipamentos (04 efetivos e 04 reserva)** de precisão de 30 TR “*dual Fluid*”, com 85% de Fator de Calor Sensível, conforme desenho e catálogo abaixo:

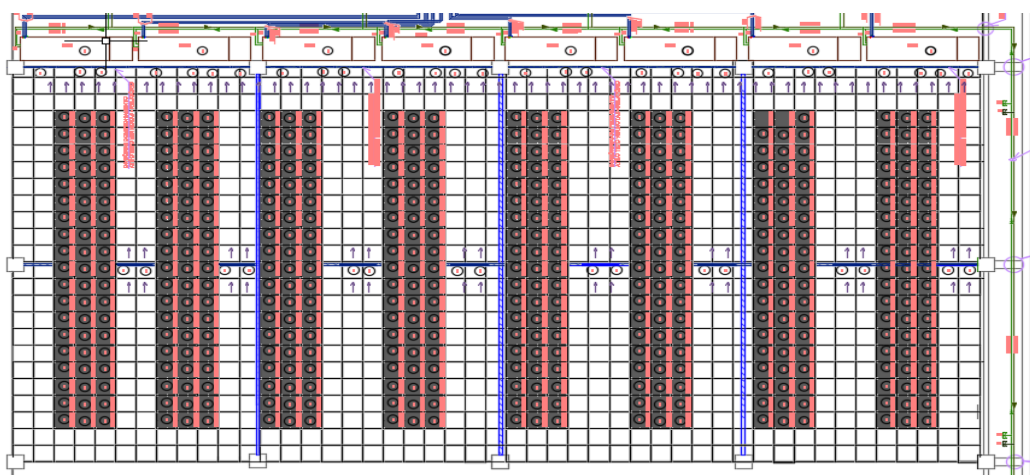


Figura 2 - Datacenter.

O equipamento *dual fluid* possui as seguintes características:

Model		M34	M35	M41	M42	M47	M50	M58	M66	L83 ^M	L99 ^M
Total cooling capacity ⁽¹⁾	kW	36,2	37,0	45,8	42,8	53,7	54,9	60,1	70,3	86,3	104,6
Sensible cooling capacity ⁽²⁾	kW	34,1	35,1	43,4	41,5	49,0	49,3	52,7	58,5	79,5	89,3
SHR ⁽³⁾		0,94	0,95	0,95	0,97	0,91	0,90	0,88	0,83	0,92	0,85
EER ⁽¹⁾⁽⁴⁾		3,62	3,58	3,52	3,63	3,45	3,59	3,40	3,49	3,31	3,40
Number of compressors	n°	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2
Number of fans	n°	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Air delivery	m ³ /h	9490	9540	11230	11370	12250	12240	12910	13470	20020	21100
Max. ESP ⁽⁵⁾ downward/upward delivery	Pa	350/350	340/340	380/380	380/390	300/300	300/300	240/250	170/180	170	90
Sound pressure level ⁽⁶⁾	dB(A)	60,5	60,4	58,4	58,1	60,4	59,3	61,1	63,4	66,2	66,9
Width	mm	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	2550	2550
Depth	mm	850	850	850	850	850	850	850	850	890	890
Net weight	kg	590	580	600	600	620	635	650	670	950	1000

Tabela 2 – Característica do equipamento Dual fluid.

Fonte: EMERSONNETWORKPOWER, 2016.

Ou seja, para a capacidade aproximada de 30 TR (Tonelada de Refrigeração ou 104,6 kW, para cada um dos oito equipamentos, sendo 1 efetivo e outro reserva), possui em EER (*Energy Efficiency rate*) de 3,4 kW/kW (na condição de expansão direta), ou seja, o ponto de força do ar condicionado para atender a carga Térmica será de 123,5 kW, portanto, o PUE, será de:

PUE= Energia Total (equipamentos de dados + ar condicionado + Iluminação + perdas de nobreak e inversores e outros) / Energia Equipamentos de dados

$$(347,3+123,05+8+40) / (347,3) = 1,50\text{-kW/kW}$$

Este valor de 1,50 kW/kW é um valor excelente visto que um DC típico já citado anteriormente é de 2,1 kW/kW.

Esses rendimentos dos equipamentos de ar condicionado se basearam numa temperatura de entrada do ar no condensador de 33 a 35°C, condição próxima das duas cidades já citadas, ou seja, o PUE das duas cidades seria o mesmo.

3. APRESENTAÇÃO ESTUDO DE COMPARAÇÃO PUE X EUE

Diferente do PUE já citado que trabalha apenas com índices de potência, o índice criado neste artigo EUE trabalha com as 8760 horas (sendo que a métrica de usar a

energia ao invés de potência já ser uma sugestão da ISO 50006, onde usam para edifícios comerciais a métrica de kWh/m²).

Usando índices de temperatura de bulbo seco anual associado com a temperatura de ponto de orvalho coincidente (dados oriundos do *Ashrae Weather Data Viewer*), obtém índices do EUE, classificados como:

- Free Cooling – Sistema que permite usar as características entálpicas do ar externo para climatizar um recinto;
- Evaporativo – Resfriamento adiabático, que consiste em resfriar o ambiente usando a temperatura de bulbo úmido;
- COP – Coeficiente de performance, que é utilizado para avaliar a relação entre a capacidade da refrigeração obtida e o trabalho gasto para realiza-lo.

Considerando por base uma temperatura de insuflamento de 20 °C em média, trabalhou-se com a metodologia EUE, com os seguintes fatores:

- A) Quando a temperatura estiver abaixo de 20°C e a entalpia estiver inferior a 18,4 BTU/LB, será apenas usado o *Free Cooling*;
- B) Quando a temperatura estiver entre 15 a 24 °C e a entalpia de 18,4 a 24 BTU/LB, será usado o sistema Evaporativo;
- C) Quando a temperatura estiver qualquer ponto acima de 20 °C e acima de 24 BTU/LB, será usado o sistema normal nas seguintes condições:
- 1) Temperatura de admissão de ar entre 24 a 27°C=COP 1
 - 2) Temperatura de admissão de ar entre 27 a 30°C=COP 2
 - 3) Temperatura de admissão de ar entre 30 a 33°C=COP 3
 - 4) Temperatura de admissão de ar acima de 33°C qualquer condição = COP 4

Para simular as condições do COP 1, 2, 3 e 4 foi usado o software Cool pack (onde foi iniciado pela condição 4 para simular um coeficiente isoentrópico padrão para conseguir identificar o COP com a variação nas temperaturas de condensação, para efeito de temperatura de condensação foi usado por padrão a média de temperatura de admissão de ar para cada situação somadas a 11 °C (sugestão do fabricante EMERSONNETWORKPOWER - Liebert), com as seguintes condições:

Casos	Potência do equipamento base [kW]	Temperatura de condensação [°C]	Temperatura de evaporação [°C]	Fluido Refrigerante	COP [kW/kW]
COP1	104,5	36,5	5	R410 A	4,381
COP2	104,5	39,0	5	R 410 A	4,101
COP3	104,5	42,5	5	R 410 A	3,745
COP4	104,5	44,0	5	R 410 A	3,633

Tabela 3 - Distribuição do consumo de energia elétrica num DC típico

O cálculo do COP 4, para todos os casos de estudo devem-se considerar os ventiladores com a potência de 7,36 kW, ou seja, no caso de estudo COP4, o valor do COP sem os ventiladores atinge de 4,829 e para conseguir o COP com os ventiladores corresponde a seguinte: $(104,5 / (21,64 \text{ kW dos compressores} + 7,36 \text{ kW dos ventiladores})) = 3,633 \text{ kW / kW}$.

O COP 3, considerado os ventiladores com potência de 7,36 kw, ou seja, o COP de 5,087 com os ventiladores vai para $(104,5 / (20,54 \text{ kw dos compressor} + 7,36 \text{ dos ventiladores})) = 3,745 \text{ kw/kw}$.

O COP 2, considerando os ventiladores com potência de 7,36 kw, ou seja, o COP de 5,768 sem os ventiladores vai ter um COP com ventiladores de: $(104,5 \text{ kw}/(18,12 \text{ do compressor}+7,36 \text{ dos ventiladores}))= 4,101 \text{ kw/kw}$.

E por último o COP 1, considerando os ventiladores com potência de 7,36 kw, ou seja, o COP de 6,338 sem os ventiladores vai para com ventiladores: $(104,5 \text{ kw}/(16,49+7,36))=4,381 \text{ kW/kW}$.

A partir dos COPs, obtidos pelo software CoolPack e dos dados base da metodologia do sistema de entalpia para DCs, foi elaborado um sistema de ampla abrangência psicrométrica para todos os pontos possíveis de temperatura externa, seja para “Free Cooling”, Evaporativo ou Refrigeração.

Situação do regime	Carga térmica total	COP kW/kW	Potência kW
Free cooling	395,3	19,18	20,610
Evaporativo	395,3	16,78	23,558
COP 1	395,3	4,381	90,231
COP 2	395,3	4,101	96,391
COP 3	395,3	3,745	105,554
COP 4	395,3	3,633	108,808

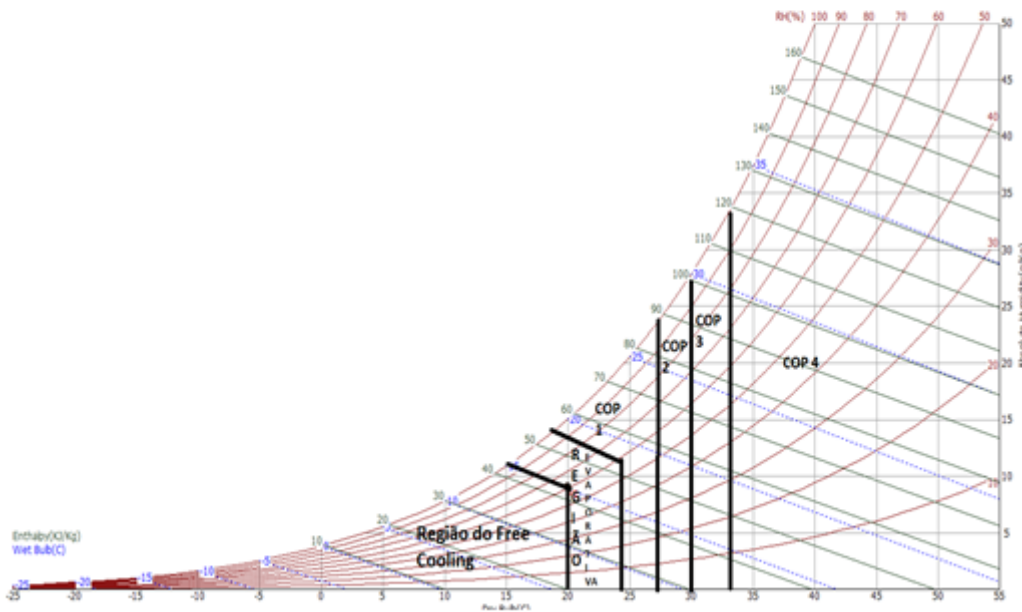


Gráfico 1 – Carta psicrométrica (COOLPACK, 2016).

Utilizando o Software da ASHRAE weather data viewer (2013) foi definido como método a associação das frequências de temperatura de bulbo seco com as temperaturas de ponto de orvalho coincidentes, e em cada ponto encontrou-se a entalpia associada a essa relação, chegou-se nas seguintes frequências acumuladas para cada sistema e cidade (tabela 4):

Situação de regime	Horas Regime Curitiba	Horas Regime Londrina	Horas Regime Foz Iguacu
Free Cooling	4410,000	1631,256	2069,853
Evaporativo Cooling	3453,887	2054,839	2851,659
COP 1	579,743	2813,931	2327,090
COP 2	269,874	898,517	842,435
COP 3	45,987	328,572	529,063
COP 4	0,509	42,773	139,902

Tabela 4 – Frequência em horas de utilização.

Com o mesmo software da ASHRAE, selecionando conforme proposto o índice EUE, classificou as frequências em horas trabalhadas das três cidades. Nota-se que entre as cidades há diferenças, em Curitiba o sistema evaporativo quando a temperatura está entre 15 a 24 °C e a entalpia de 18,4 a 24 BTU/LB, teve maior frequência, que é de 3453,887 hs, Foz 2851,63 hs e a Londrina ficou a 22054,839 hs de frequências. Com um Free cooling, que é temperatura abaixo de 20°C e a entalpia estiver inferior a 18,4 BTU/LB, Curitiba tem 4410 hs de frequência Foz tem 2069,853 hs e Londrina 1631,256 hs.

Regime de Funcionamento	Carga Térmica Total [kW]	COP [kW/kW]	Potência [kW]	Foz de Iguacu [Horas]	Curitiba [Horas]	Londrina [Horas]
Free Cooling	395,3	19,18	20,610	2069,852	4410,000	1631,256
Evaporativo	395,3	16,78	23,558	2851,658	3453,887	2054,839
COP1	395,3	4,381	90,231	2327,089	579,743	2813,931
COP2	395,3	4,101	96,391	842,434	269,874	898,517
COP3	395,3	3,745	105,554	529,062	45,987	328,572
COP4	395,3	3,633	108,808	139,901	0,509	42,773
Regime de Funcionamento	Energia Foz ar [kWh/ano]	Energia Curitiba ar [kWh/ano]	Energia Londrina ar [kWh/ano]	Equipamentos [kWh/ano]	Iluminação [kWh/ano]	Outros [kWh/ano]
Free Cooling	42659,684	90890,143	33620,212	3042348	70080	420480
vaporativo	67178,828	81366,013	48407,506			
COP1	222197,714	52310,503	253902,521			
COP2	86050,239	26013,493	86609,158			
COP3	59414,320	4854,091	34682,198			
COP4	16265,627	55,362	4654,099			
Total gasto ar	493776,940	255489,606	461875,695			

Tabela 5 - Cálculos utilizando as regras do índice EUE.

Conforme a tabela 5, constata-se que com as regras propostas no EUE, onde se classifica em 6 níveis: *Free cooling*; Evaporativo; COP 1; COP 2; COP 3; COP 4. As cidades de Curitiba, Londrina e Foz de Iguacu no Paraná, tem consumos de energia de ar condicionado diferentes conforme sua temperatura e entalpia, num período de 8760 hs, sendo que Foz 93,2 % a mais que Curitiba e Londrina 80,7% a mais que Curitiba. Outra visualização nesta tabela é em relação que maior o COP menor é o consumo de energia.

Infra Curitiba kWh ano	3788397,606
Infra Foz kWh ano	4026684,940
Infra Londrina kWh ano	3994783,695
EUE Curitiba	1,245
EUE Foz	1,316
EUE Londrina	1,313
DIFERENÇA EUE/PUE Curitiba ano	19,51%
DIFERENÇA EUE/PUE FOZ de Iguaçu ano	13,30 %
DIFERENÇA EUE/PUE Londrina ano	10,81%

Tabela 6 - Resultados finais dos cálculos utilizando as regras do índice EUE.

Os consumos de energia com infraestrutura que é a somatório do consumo de energia com equipamentos de ar condicionado, equipamentos, iluminação e outros, entre as cidades dá uma diferença a mais de 6,2% de Foz em relação a Curitiba, de 5,4% de Londrina a Curitiba. Os índices obtidos com aplicação do índice EUE, foram respectivamente, de 1,245 para Curitiba, 1,316 kW/kW para Foz do Iguaçu e 1,313 kW/kW para Londrina, dando uma diferença de 19,51% para Curitiba, Foz de 13,30% e de 10,81% para Londrina em relação ao PUE, conforme tabela seguinte.

CIDADES	PUE	EUE
Curitiba	1,488	1,245
Foz do Iguaçu	1,491	1,316
Londrina	1,455	1,313

Tabela 7 – Comparativo PUE com EUE.

4 – COP GEOTÉRMICO

Uma metodologia optativa para usar os recursos naturais para simulação em DCs é o uso da geotermia (no sentido de banho térmico para troca de calor) para reduzir as relações de compressão com intuito de aumentar o COP, sendo utilizado nas mesmas três cidades anteriores.

Para usar o método de COP geotérmico será usada a média ponderada da temperatura geotérmica (SANTOS, 2014), com approach de 4 °C para a entrada de água no condensador, e com um approach em condensação à água de 6°C de temperatura de condensação, conforme dados fornecidos pela Liebert.

Dados para a cidade de Curitiba:

Temperatura Média Curitiba geotérmica= 20,06°C;

Temperatura de Entrada de água no condensador= 24,06°C;

Temperatura de condensação= 30,06°C;

COP Geotérmico apenas compressor= 8,326 W/W.

Usando o Coolpack pode-se verificar que existe um grande acréscimo de COP ao usar o sistema condensação à água geotérmico como opção para resfriamento, o valor total do consumo dos ventiladores era de 7,36 kW, sendo que o ventilador do condensador era de 2,208 kW, considerando que a vazão para um equipamento de 30 TR segundo o Fabricante Liebert é de 20 m³/h e a altura manométrica desse sistema é perto

de 15 MCA, pode-se dizer que o consumo da bomba se equivale ao consumo de um ventilador do condensador.

Situação de regime	CARGA TÉR TOTAL	COP (kW/kW)	Potencia (kW)	Horas Regime	Energia HVAC Annual kwh
Free Cooling	395,3	19,18	20,610	4410,000	90890,143
Evaporativo Cooling	395,3	16,78	23,558	3453,887	81366,013
COP 1	395,3	8,32	47,512	896,113	42576,124
					214832,281
				COP EUE	16,119
EUE	1,232			Geotérmico	CURITIBA

Tabela 8 – Cálculo do EUE geotérmico e do COP geotérmico de Curitiba.

A maneira do cálculo do EUE geotérmico foi identificar o regime de operação para geotérmico (Free cooling, evaporativo e COP1), calcular no COOLPACK o novo COP para o COP1, e fazer os cálculos para o EUE geotérmico:

EUE Geotérmico = (3042348 (consumo dos Equipamentos [kWh/ano] +70080 (Iluminação [kWh/ano]+420480 (outros)+ a somatória das Energia HVAC Anual kwh) / consumo dos equipamentos [kWh/ano].

$$EUE_{generico} = \frac{(consumo equipamentos) + (consumo iluminacao) + outros (somatoria energias HVAC)}{Consumo equipamentos} \quad (01)$$

O cálculo do COP EUE geotérmico foi carga térmica total multiplicado pela horas totais do ano (8760) dividido pela Energia HVAC Anual kwh. Efetuado o mesmo desenvolvimento para as cidades de Foz de Iguaçu e Londrina, na tabela abaixo estão os valores calculados.

CIDADES	PUE	EUE	EUE GEO	COP EUE	COP EUE GEO
Curitiba	1,488	1,245	1,232	13,553	16,119
Foz do Iguaçu	1,491	1,316	1,258	7,335	11,806
Londrina	1,455	1,313	1,263	7,497	11,191

Tabela 9 – Comparativos entre PUE, EUE, EUE GEO, COP EUE e COP EUE GEO.

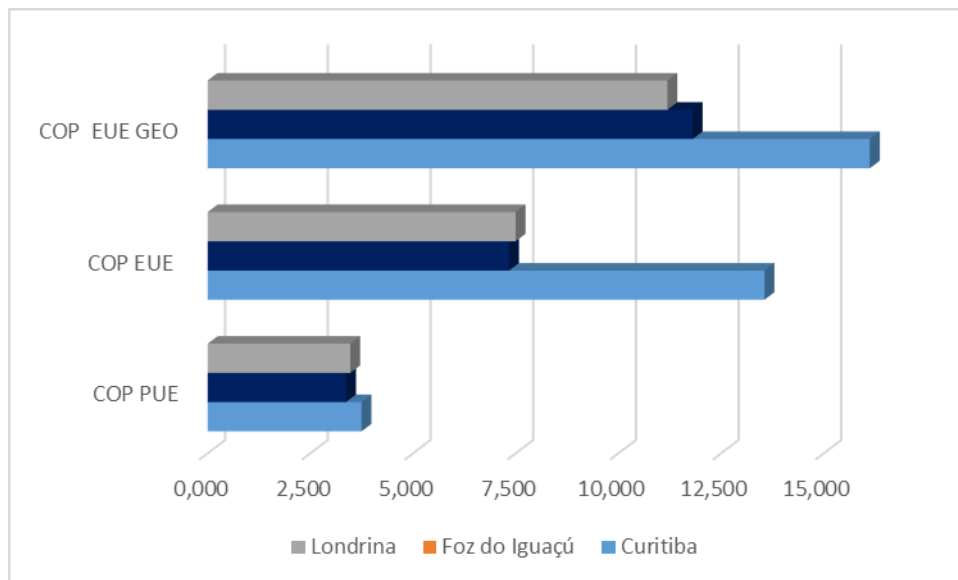


Figura 2 – Gráfico comparativo do COP PUE, COP EUE e COP EUE geotérmico.

Na figura 2, as informações dos comparativos do COP PUE, COP EUE e COP EUE geotérmico, demonstra que o COP EUE geotérmico o valor de COP bem maior que as outras cidades comparadas, com isso é o melhor modo de se ter resultados satisfatório nas instalações de novos DCs, ou seja, mapear as possibilidades geotérmicas pode ser muito útil na tomada de decisão de que cidade se instalar um DC.

7. CONCLUSÃO

O índice proposto EUE é um índice mais confiável comparado ao PUE para analisar a eficiência energética em novos DCs pelo fato que usa como métrica a energia ao invés de potência para comparação entre sistemas.

A entalpia é uma ferramenta essencial para escolher qual o melhor local para se instalar um DC, pela visão holística que compreende.

Os resultados apresentaram diferença significativa do EUE para o PUE, na infraestrutura de um DC a diferença foi de 6,2% maior consumo em Foz do Iguaçu comparado a Curitiba, 5,4% maior entre Londrina e Curitiba, E seus índices de EUE de 1,245 kW/kW para Curitiba, onde tinha-se um PUE Curitiba de 1,488 kW/kW, um índice de EUE Foz do Iguaçu de 1,316 kW/kW, onde seu PUE Foz era de 1,491 kW/kW e para Londrina EUE igual a 1,313 kW/kW, sendo um PUE de 1,455 kW/kW.

Com o COP geotérmico os resultados demonstram um valor de COP bem maior, com isso, amplia a possibilidade de dados para escolha de um local a se instalar um DC, em todas as opções Curitiba possui os melhores resultados.

4. REFERÊNCIAS

- ASHRAE. **Thermal Guidelines for Data Processing Environments**. 3rd Edition. ASHRAE Datacom series. 2011. ASHRAE. **Technical Committee (TC) 9.9 - Mission Critical Facilities, Technology Spaces, and Electronic Equipment**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc. (ASHRAE), 2011.
- ASHRAE. **Thermal Guidelines for Data Processing Environments**. 4rd Edition. ASHRAE Datacom series. 2014.
- ASHRAE. **Technical Committee (TC) 9.9 - Mission Critical Facilities, Technology Spaces, and Electronic Equipment**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc. (ASHRAE), 2014.
- ASHRAE. **Guide Pocket ASHRAE for Air conditioning, Heating, Ventilation, and Refrigeration**. ASHRAE. EUA. 7 edição. 2009
- ASHRAE. **Ashrae Weather Data Viewer Software**. Disponível em www.ashrae.org, acessado em 02/05/2016.
- ABNT, 16401: **Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários, qualidade do ar interior**. Rio de Janeiro, 2008.
- Cisco. **Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology**. 2014–2019. White Paper FLGD 12624, Cisco, 2015.
- Cisco. **Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology**. 2014–2019. White Paper FLGD 12352, Cisco, 2015.
- EMERSONNETWORKPOWER. **Característica do equipamento Dual fluid (LIEBERT)**. Disponível em <http://www.emersonnetworkpower.com/en-US/Brands/Liebert/Pages/default.aspx>, Acessado em 02/03/2016.
- EPA. **Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency, Public Law 109-431, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), ENERGY STAR Program**, August 2, 2007.
- EXAME. **Datacenters**. Revista Exame. São Paulo. 2007.
- EY. **Lessons from change: building a better working world**. Ernst & Young. 2015.
- FILHO, Domingos Parra; SANTOS, João Almeida. **Metodologia científica**. Editora Futura. São Paulo, 2001.
- Harriman III & Lstiburek, **The ASHRAE Guide for Buildings in Hot & Humid Climates**. Second Edition, new content. ASHRAE.2009.
- IDC. **Worldwide Datacenter Census and Construction 2014–2018 Forecast: Aging Enterprise Datacenters and the Accelerating Service Provider Buildout**. Doc # 251830 - Market Analysis, International Data Corporation (IDC), October 2014.
- ISO 50006. **Energy management systems -- Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy**. 2014.
- Kavanaugh & Raffery, **Geothermal Heating and Cooling**. First Edition, Design of Ground Source. ASHRAE.2014.
- Koomey, J. **Growth in Data center electricity use 2005 to 2010**. Oakland, CA: Analytics Press, 2011.
- NRDC. **America's Data Centers Are Wasting Huge Amounts of Energy**. Issue Brief, iB: 14-08-a, Natural Resources Defense Council (NRDC), August 2014.
- Rasmussen, N. **Implementing Energy Efficient Data Centers**. White Paper 114. Schneider Electric's Data Center Science Center. Schneider-Electric, 2012.
- SANTOS, Alexandre Fernandes. R. Simões. **ANÁLISE DE TEMPERATURAS GEOTÉRMICAS PARA APLICAÇÃO DE BOMBAS DE CALOR NO PARANÁ (Brasil)**. Curitiba, 2014.

STEINBRECHER, R.A., SCHMIDT, R. **Performance indicators (EnPI) -- General principles and guidance**. 2014.

STEINBRECHER, R. A.; SCHMIDT, R. **Data Center Environments: ASHRAE's Evolving Thermal Guidelines**. ASHRAE Journal. December 2011, pp. 42.

The Green Grid. PUE™: **A comprehensive examination of the metric**. White paper #49 (Eds: V. Avelar, D. Azevedo, A. French), The Green Grid, 2012.

Thibodeau, P. **Data centers are the new polluters**. ComputerWorld, August. 2014.

3M. **Two-Phase Immersion Cooling: A revolution in data center efficiency**. 3M, 2015.

Abstract: *The data center has a real growth being expected to increase by up to 53% in 2020, and energy efficiency in high power consumption are key venues. There are methodologies to measure this efficiency as PUE (Power Usage Effectiveness), this index although important does not reflect in full efficiency, demonstrated 03 data centers with close PUE and compared to the index efficiency with a new being created the EUE (energy Usage Effectiveness) that the metric instead of considering power as a point of comparison, began to use energy as a point of comparison, using the study of enthalpy utilization with a new methodology to obtain the results, a difference was obtained between the indexes of 19.51% for Curitiba, Foz for 13.30% and 10.81% for Londrina in relation to the PUE. In order to improve the mapping, geothermal energy was calculated, calculating a geothermal COP for these cities, resulting in a much higher COP value, thus being more useful when choosing locations for new DC facilities.*

Keywords: Datacenters, PUE, Datacenter cooling.