

Eficiência energética em Data Centers

Fábio Eduardo Kaspar

Ricardo de Oliveira

Ricardo Oliveira Teles

MONOGRAFIA DO CURSO MAC5742/0219
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Professor: Alfredo Goldman

Monitor: Pedro Briel

São Paulo, julho de 2017

Eficiência energética em Data Centers

Esta é a versão original da monografia do curso
MAC5742/0219 elaborada pelos alunos Fábio Eduardo Kaspar,
Ricardo de Oliveira e Ricardo Oliveira Teles.

Resumo

Com a constante evolução tecnológica na área da computação surgem demandas de energias cada vez maiores. Os data centers consumiram em 2012 cerca de 30 bilhões de watts de eletricidade, cuja maior parte era desperdiçada nos equipamentos, os quais tinham que estar ligados à espera de requisições de processamento de dados. Além disso, os data centers foram responsáveis por 2% do consumo de toda a energia global em 2015.

Percebe-se a importância desses data centers em adotar medidas de eficiência energética em sua operação e a sua preocupação com a sustentabilidade e o meio ambiente (dai surge o termo “data center verde”).

É necessário um estudo para entender no que gasta e de que modo se gasta a energia elétrica nos data centers, a fim de conseguir eficiência energética e otimizar o funcionamento desses sistemas. Uma métrica usada para medir essa eficiência é o PUE (Power usage effectiveness), contudo ele analisado isoladamente é insuficiente.

Grandes empresas buscam novas soluções — virtualização, melhor gestão no armazenamento dos dados e o gerenciamento mais adequado do sistema de refrigeração — para melhorar o sistema de arrefecimento e reduzir o consumo de energia.

Palavras-chave: energia, eficiência, refrigeração, eletricidade, consumo, data centers.

Abstract

Technological evolution in the computing area is becoming more computationally complex and demanding ever-increasing energies. Data centers consumed about 30 billion watts of electricity in 2012, most of which was wasted on equipment, which had to be plugged in waiting for data processing requests. In addition, data centers accounted for 2% of all global energy consumption in 2015.

It is noticed the importance of these data centers in adopting energy efficiency measures in their operation and their concern for sustainability and the environment (hence the term "green data center").

A study is needed to understand what and how electricity is spent in data centers in order to achieve energy efficiency and optimize the operation of these systems. One metric used to measure this efficiency is PUE (Power usage effectiveness), however its isolated analysis is insufficient.

Large companies are looking for new solutions – virtualization, better data storage and management of the cooling system – to improve the cooling system and reduce energy consumption.

Keywords: energy, efficiency, cooling, electricity, consumption, data centers.

Sumário

1	Introdução	1
2	Eficiência Energética em Data Centers	3
3	Maneiras de economizar energia nos Data Centers	5
3.1	Eficiência energética nos equipamentos de TI	5
3.2	Eficiência energética nos equipamentos de suporte	6
4	Tendências	8
5	Conclusões	9

Capítulo 1

Introdução

A cada dia nossa sociedade é mais e mais dependente de informação produzida e processada pela computação. Atualmente, empresas baseiam seus negócios de mercado na área de TI; áreas de pesquisas, controles de sistemas atmosféricos, governos, todos esses são grandes consumidores de TI. E, para sustentar tudo isso, são necessários muitos data centers espalhados ao redor do mundo e quem sabe também, num futuro não muito distante, fora do planeta Terra.

Segundo Fractalossi (2015), a evolução tecnológica na área da computação está tornando-se mais complexa computacionalmente e rápida na resolução de cálculos, no entanto, exige demandas de energias cada vez maiores. Essa evolução começou em 1642, com Blaise Pascal que criou a primeira máquina de calcular automática. Passou pela construção do computador de Alan Turing, na Segunda Guerra Mundial, modernizando-se com a construção dos computadores de uso geral como o ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer). Foi na década de 60, devido às demandas comerciais e científicas, que começaram a surgir os CPDs (Centro de Processamento de Dados) para centralizar o processamento de dados. Atualmente os CPDs, chamados de data centers, são maiores, com mais equipamentos, porém com um número menor de profissionais para operá-los.

“Os Data Centers que existem no mundo consumiriam 20% mais energia em 2012 do que em 2011”, era uma previsão da HP (2013). Toledo e Aquim (2014) mostram que apesar do aumento de 19% da energia elétrica consumida pelos data centers no mundo, de 2011 para 2012, mas houve uma redução no ritmo de crescimento, sendo de apenas 7% em 2013. Esse resultado deve-se principalmente pelos mercados dos EUA e Europa terem adotados medidas de eficiência energética e projetos de consolidação. Entretanto, ainda podemos ver o quanto está crescendo os data centers e, associado a eles, o aumento do consumo de energia.

Segundo o artigo publicado pelo New York Times (2012), os data centers consumiram em 2012 cerca de 30 bilhões de watts de eletricidade, equivalente à produção energética de 30 usinas nucleares. Ainda segundo o mesmo artigo, a maior parte dessa energia era desperdiçada nos equipamentos que não funcionavam com carga total 24h por dia, mas que tinham que estar ligados à espera por requisição de processamento o tempo todo. Os data centers foram responsáveis por 2% do consumo de toda a energia global em 2015 segundo o site Gestão de Data Center (2015). Um consumo de energia de 30 gigawatts, como citado acima é o total de energia consumida por toda a região Norte brasileira, segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil.

Figueiredo (2016) aponta que o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) avalia “que um data center de 1 megawatt (MW) consome 177 milhões de quilowatts hora (KWh) de eletricidade ao final de um ciclo de 10 anos.” Segundo ele, se esse data center estiver mal dimensionado, poderá desperdiçar o equivalente à emissão de carbono produzido por mil automóveis.

“Com todos os data centers ao redor do mundo, a Google consome anualmente 260 milhões de watts. Salt Lake City, capital do Utah nos Estados Unidos, tem 186 mil habitantes. Portanto, o gasto da Google é maior que o da região famosa pelos jogos de inverno de 2002.” (VELOSO, 2011).

Com esses dados, percebe-se o quão necessário é adotar medidas de eficiência energética na operação dos data centers, pois todos os setores econômicos, sociais e políticos estão ultimamente concentrados na questão da sustentabilidade, pelas mais diversas razões: preocupação com o futuro

do planeta, marketing comercial ou até mesmo para diminuir os gastos e aumentar os lucros. É nesse cenário que surge o termo “data center verde”, que segundo o artigo da Vert (2016), é uma expressão que “vem sendo cada vez mais utilizada no setor de tecnologia e TI, demonstrando a preocupação crescente dessas áreas com o meio ambiente e a sustentabilidade. [...] o conceito de data center verde engloba muito mais aspectos, como o uso e a reutilização de recursos naturais, o impacto da tecnologia na cadeia produtiva, a reciclagem de equipamentos e a utilização de arquiteturas que permitam uma vida útil maior de todas as infraestruturas de tecnologia fazem parte de um data center verde”.

De acordo com a IBM (2017) “A transição para um datacenter verde e a otimização da eficiência operacional podem ser uma tarefa complexa. São muitos os componentes a considerar na equação e os melhores resultados podem, muitas vezes, ser alcançados pela integração de melhorias em diversas frentes.” E “ser verde está se tornando mais do que uma aspiração politicamente correta para salvar o planeta. Está ficando cada vez mais claro que tornar-se verde é uma necessidade que as empresas vão precisar incorporar o quanto antes se quiserem sobreviver economicamente.”

Capítulo 2

Eficiência Energética em Data Centers

“Desde que a infraestrutura e os custos de energia em data center se tornaram um fator central na instalação e gestão de TI, foi desenvolvida uma gama de tecnologias para aumentar a eficiência energética. As opções de novo hardware e de gestão de energia suportam estratégias para economizar o consumo de energia.” (FRACALOSS, 2015)

“Algumas soluções como virtualização, gerenciamento do sistema de refrigeração e outras medidas por parte da área de TI podem reduzir tipicamente 65% das demandas das utilidades, incluindo espaço físico necessário.” (FRACALOSS, 2015 apud MARTINI, 2010)

Para conseguir eficiência energética nos data centers é necessário primeiramente estudar todo o seu funcionamento e entender no que gasta e de que modo se gasta a energia elétrica, a fim de otimizar o funcionamento desse sistema. Estudos irão produzir dados e estratégias que irão orientar esse trabalho.

Segundo Silva (2016), a The Green Grid Association (TGG), uma organização sem fins lucrativos que trabalha para melhorar a eficiência dos recursos de tecnologia da informação e centro de dados em todo mundo, desenvolveu uma métrica para melhorar a economia de energia, que se tornou a preferida do mercado de infraestrutura de TI para medir eficiência de data centers. “O PUE ~ Power usage effectiveness ou simplesmente potência usada efetivamente é uma excelente métrica para entender o quão bem um data center entrega energia para o seu equipamento de TI.” (SILVA, 2016).

Segundo esse artigo, a The Green Grid Association (TGG) apresenta algumas abordagens métricas para o cálculo do PUE, levando em conta o ambiente em que o Data Center encontra-se envolvido. Temos então:

- PUE for a dedicated building - PUE para edifícios dedicados, como por exemplo o data center da Microsoft, Google;
- PUE for a data center in a mixed-use facility - PUE para data centers em instalações de uso misto, como por exemplo um CPD dentro de uma empresa que contém diversos outros ambientes;
- Partial PUE (pPUETM) - PUE parcial, para poder analisar partes específicas do data center, como por exemplo quando se tem data center de instalações modulares;
- PUE Scalability and statistical analysis metrics - Métrica para data centers escaláveis, que usa análises estatísticas adicionais para relacionar o consumo total de energia elétrica às variações ocorridas nas cargas de TI e ajuda a avaliar melhor o quão bem um data center lida com as mudanças na carga de TI.

O valor da PUE é obtido dividindo o valor da potência total do data center pela potência específica destinada aos equipamentos de TI. Um data center com PUE de valor 2 (valor típico entre os médios e pequenos data centers) significa que 50% da energia consumida num data center não se destina ao processamento de dados (computação), mas sim aos sistemas de suporte do data

center. Segundo Verdil et al. (2010), “o PUE médio dos data centers convencionais é vergonhosamente elevado[...] 85% dos data centers atuais possuem um PUE estimado superior a 3.0, isto é, os sistemas mecânicos e elétricos do data center consomem o dobro de energia quando comparados ao equipamento de TI.”

De acordo com Higginbotham (2012), empresas grandes conseguem PUE muito próximos de 1. A Microsoft tem PUE de 1,25. Já o Facebook diz atingir PUE de 1,07 e a Google, nos seus servidores refrigerados a ar, atinge PUE de 1,06. Segundo Leal (2011), no “Brasil, uma das melhores marcas é da Locaweb, que tem PUE de 1,5”.

No entanto, como aponta Silva (2016), o cálculo da PUE não é uma tarefa simples, “pois diversos fatores interferem na obtenção dos dados, pelo fato de data center não ser um sistema ideal isolado e muitas vezes recursos externos, como iluminação, sistemas de incêndio, ou mesmo refrigeração de outros ambientes (não próprios aos equipamentos de TI) estão integrados à mesma rede elétrica dos equipamentos de TI”. Esse artigo ainda revela que a métrica é insuficiente se analisada isoladamente, pois um data center com equipamentos antigos terá um índice menor por gastar mais energia diretamente nos equipamentos de TI, enquanto data center mais moderno, apesar de gastar bem menos nos equipamentos de TI devido sua melhor performance, gastará mais com equipamentos auxiliares como por exemplo refrigeração, o que fará com que o seu índice seja maior, o que não indica ser um data center menos sustentável.

Capítulo 3

Maneiras de economizar energia nos Data Centers

As opções de melhoria de eficiência energética num data center se divide em duas áreas: uma focada diretamente nos equipamentos de TI e a outra que cuida dos equipamentos de suporte ao data center.

3.1 Eficiência energética nos equipamentos de TI

Nesta proposta, encontram-se técnicas e tecnologias que visam obter o maior processamento usando a menor quantidade de energia elétrica possível. Então, temos hardwares mais eficientes e também softwares que fazem melhor uso do equipamento.

Dentre essas técnicas e tecnologias, a proposta mais recomendada é o uso de virtualização dos servidores, devido aos vários benefícios que essa prática oferece. Segundo a IBM (2007) “Servidores usam energia e emitem calor, quer sejam utilizados em 100% do tempo ou em 15%, e a diferença real em termos de consumo de eletricidade e de calor gerado entre esses dois pontos é insignificante.” Portanto as máquinas por não trabalharem com carga máxima estão desperdiçando energia e a adoção de virtualização visa primeiramente, aumentar a carga de trabalho dessas máquinas, colocando mais de um servidor virtual dentro de um mesmo servidor físico. Segundo esse mesmo artigo, a virtualização possibilita “que servidores virtualizados operem próximos de sua capacidade máxima”, aumentando a eficiência do data center.

Segundo a IBM (2007) , ambientes virtualizados apresentam maior resiliência, permitindo o controle automatizado contra falhas, reduzem o número de servidores e os aproveitam ao máximo. A “virtualização do armazenamento reduz o número de spindles exigidos, o que aumenta o espaço de disco disponível e otimiza as taxas de utilização [...] pode ainda aumentar a disponibilidade das aplicações, isolando as aplicações host de mudanças na infra-estrutura física de armazenamento”. A CISCO (2014) mostra que a adoção de virtualização permite mover aplicativos de um local para outro com mais facilidade, fazer manutenção de servidor sem interrupção dos serviços e equilibrar melhor a carga de operação entre os servidores.

“A tecnologia de virtualização de sistemas operacionais iniciou-se com os mainframes há décadas atrás, mas ganhou força e reconhecimento público a partir de 1996, quando a VMware lançou sua primeira versão de hypervisor para a plataforma x86 (processadores Intel e AMD compatíveis).” (SANTOS, 2014)

Segundo Morimoto (2010) um formato popular e econômico para servidores são os “blade servers (a palavra blade vem de “lâmina”, indicando as dimensões reduzidas do formato), uma idéia engenhosa para aumentar ainda mais a densidade dos servidores e permitir o compartilhamento de componentes em comum, como fontes de alimentação e discos ópticos”.

De acordo com o artigo da Sercompe (2013) os “servidores Blade podem gerar eficiências de custos significativos em relação a servidores de rack, já que ocupam um espaço menor, consomem menos energia e oferecem grandes vantagens em termos de gerenciamento, escalabilidade e flex-

ibilidade”. Segundo este artigo os servidores blade alcançaram recorde de vendas em 2012 pelos seguintes motivos: reduzem o custo de propriedade aumentando o ROI (retorno sobre o investimento); resultam em “40% menos consumo de energia, 37% menos consumo de espaço, e 45% a menos tempo de instalação de configuração do que com o tradicional servidores rack”.

Há também propostas referente ao armazenamento de dados. Segundo Reis (2009), os discos de armazenamento demandam maior refrigeração que os demais equipamentos. Portanto, a sugestão seria um armazenamento externo, que poderia estar localizado dentro de um cofre com refrigeração adequada. E ainda uma outra proposta seria o uso dos SSDs que toleram até 70°C “além de consumirem 90% menos de energia que os discos”, segundo o mesmo autor.

Ainda uma última solução a ser proposta para melhoria da eficiência energética nos data centers é um melhor monitoramento, possivelmente um monitoramento automatizado dos servidores para impedir que servidores que não estão realizando nenhum processamento continue ligado e consumindo energia. Segundo Koomey e Taylor (2015), uma pesquisa realizada constatou que 30% dos servidores dos data centers estão em “comatose”, isto é, sem realizar nenhum processamento útil nos últimos 6 meses. São cerca de 10 milhões de servidores em comatose ao redor do mundo, segundo o artigo. Remover servidores ociosos resulta em “reduções da ordem de gigawatts na carga global de TI e o uso dessa energia deslocada poderia suportar novas cargas de TI que realmente agregam valor aos negócios. Isto é um resultado que todos deveriam celebrar”, segundo o artigo.

3.2 Eficiência energética nos equipamentos de suporte

Já na área de suporte aos equipamentos de TI, a principal fonte de grande consumo de energia não poderia ser outro equipamento a não ser os equipamentos de refrigeração. Processar dados gera calor, conforme a lei da entropia da Física. Porém, esse calor tem que ser eliminado a fim de preservar a integridade dos equipamentos eletrônicos. Segundo Soares (2016), “a climatização representa entre 40 – 50% do custo de energia elétrica de um data center, perdendo apenas para o consumo de energia demandado pelos servidores”. O artigo ainda relata que o ar condicionado dentro de um data center tem três funções: manter a temperatura estável, por volta dos 25°C, pois os equipamentos podem facilmente ultrapassar os 50°C sem um equipamento adequado de refrigeração; outra função é o controle de qualidade do ar, impedindo que haja partículas sólidas ou contaminantes no ar que possam causar problemas e interrupção do funcionamento dos equipamentos; e por último, temos o controle de umidade do ar, mantendo-o em torno de 50% pois uma umidade muito baixa causa eletricidade estática e uma umidade alta causa condensação de água nos servidores. Além disso, ambos os extremos de umidade causam proliferação de bactérias que também podem danificar os equipamentos.

Segundo Reis (2009), já que “a maioria dos equipamentos de TI retira ar frio a partir da sua frente e expõem ar quente na sua traseira, é comum que, nos CPDs, os servidores sejam dispostos em fileiras paralelas, para que os fluxos de entrada e saída de ar sigam a mesma direção”. Isso gera uma ineficiência energética, uma vez que o ar quente se mistura com o ar frio vindo do ar condicionado e, portanto, “mais energia será gasta para compensar essa variação de temperatura, surgindo um ciclo vicioso e uma ineficiência energética”.

Fracalossi (2015) chama atenção para detalhes arquitetônicos que fazem a diferença quando se pensa em melhorar a eficiência energética, pois “o mesmo deve ser pensado em seus mínimos detalhes de componente e acessórios (piso elevado, paredes, portas, escovas de contenção de ar entre outros), já que pequenos detalhes fazem uma grande diferença quando o assunto em pauta é o projeto do data center.”

Um das soluções mais indicadas e de melhor eficiência energética é a simples reorganização dos racks no data center, dispondo-os de forma a criar corredores quentes e corredores frios. “Independentemente do tipo configuração usada para a climatização do data center, a técnica de criar corredores quentes e frios tem sido adotada com frequência, já que separar o ar quente do frio melhora a eficiência energética, facilita o entendimento do fluxo de ar e do desempenho das máquinas de ar condicionado” (FRIGO 2015). O autor ainda acrescenta que “é comum utilizar um confinamento

nos corredores, para garantir que o ar quente não se misture ao frio. Esse confinamento pode ser tanto em corredores quentes quanto frios, e pode ser aplicado a qualquer uma das configurações”.

Ainda temos outra tecnologia para redução dos custos com refrigeração que é a adoção de “ventiladores variáveis, que conseguem regular quanto de ar frio vai para cada sala, graças ao monitoramento em vários pontos.” (LEAL, 2011). Temos também o free cooling que “baseia-se na utilização total ou parcial do ar exterior para proceder à climatização de um espaço, quando se verificam as condições ótimas para o processo, e quando o sistema apresenta um controlador que permita gerir a abertura dos registos face à temperatura exterior e interior medida.” (CRUZ 2013).

Capítulo 4

Tendências

Figueiredo (2016) relata que gigantes como a Google tem feito “uso de tecnologias de arrefecimento que vão desde água do mar na Finlândia, operando com PUE (Power Usage Effectiveness) entre 1,1 e 1,2, até água e gelo no Centro de Processamento de Dados em Taiwan”, ou até mesmo, conforme relata Leal (2011), o “reúso de água de um canal industrial na unidade de Saint-Ghislain, na Bélgica”, conseguindo “diminuir em 50% os custos com energia para alimentação e resfriamento de todos os data centers da empresa”.

“O EcoPOD utiliza 95% menos energia em suas instalações e, com ele, a HP espera reduzir a dependência da rede por mais de 75% enquanto diminui significativamente os custos operacionais [...] reduz o consumo de energia em até 95% em relação aos tradicionais Data Centers; [...] economiza energia suficiente para poder abastecer mais de 1,8 milhão de lares nos EUA por um ano; é o primeiro Data Center modular da HP refrigerado a ar que se ajusta automaticamente ao método de resfriamento mais eficiente.” (Hewlett-Packard Development Company, 2013).

“O data center do Facebook ocupa 14 mil metros quadrados e deve dobrar de tamanho até a metade de 2012. Ele não usa ar condicionado tradicional, um dos vilões da conta de energia. O sistema de refrigeração aproveita o ar natural, que passa por um processo de purificação e, se necessário, recebe umidificação para chegar aos servidores em condições ideais de temperatura.” (LEAL, 2011)

“Um dos reusos mais diretos para o calor produzido é o aquecimento de outras áreas do edifício. A Intel está fazendo exatamente isso com um sistema de reutilização de calor desenvolvido para seu primeiro prédio ecologicamente correto, um centro de desenvolvimento em Israel.” (COMPUTERWORLD, 2008). Ainda segundo o mesmo artigo, a Intel terá um retorno de US\$ 235 mil de economia por ano e retorno para os investimentos em apenas 19 meses.

Savage (2011) ainda aponta mais 5 tendências para data centers verdes: um rack na Universidade de Notre Dame aquece um jardim botânico na South Bend Conservatory em South Bend, Indiana; uma colheita de energia piroelétrica, que transforma o calor de um processador em energia elétrica, foi desenvolvida no Oak Ridge National Laboratory; Green Data Center da Syracuse University utiliza o calor produzido como fonte de energia para alimentar os dispositivos de refrigeração; o centro de dados do Laboratório de Pesquisas de Zurique, na Suíça, utiliza o calor gerado para aquecer o prédio e o projeto seria levar esse aquecimento à residências vizinhas; e numa fazenda de servidores no novo centro de dados da Condorcet da Telecom em Paris utiliza o calor dos computadores para modelar condições climáticas na França em 2050.

Capítulo 5

Conclusões

Data centers verdes, além de serem uma tendência, são uma real necessidade devido ao grande crescimento dos data centers ao redor do mundo e à sua elevada requisição de energia elétrica para operar. Ser sustentável é tanto uma questão de cunho ecológico como também de cunho financeiro devido aos altos investimentos e gastos de operação para atender à toda demanda de processamento para os mais diversos fins, desde entretenimento até pesquisas de pontas. Cerca de 2% da energia mundial já é destinada aos data centers. A adoção de técnicas e tecnologias para melhorar a eficiência energética vem sendo adotadas principalmente pelas gigantes como Google, Facebook, IBM e Microsoft.

As propostas para melhoria da eficiência energética em data centers vão desde simples ações, como desligar servidores que não estão realizando trabalho útil e melhorar o fluxo do ar dentro do data center até as mais modernas tecnologias desenvolvidas, tanto em termos de hardware, como o uso de SSDs para armazenamento, quanto em termos de software, como o uso da virtualização para reduzir o número de servidores físicos e aumentar sua carga de trabalho.

Uma das principais métricas para auxiliar os gestores de data centers é o PUE, com índice recomendável abaixo de 2, isto é, que no mínimo 50% da energia destinada ao data center seja realmente utilizado para processamento de dados. Grandes empresas apresentam PUE menores que 1,25, porém a maioria dos data centers ainda se encontram com índice entre 2 e 3, evidenciando o quão ineficientes ainda o são.

Porém o maior vilão dos data centers continua sendo a geração indesejada de calor, o que significa energia dissipada. Estudos indicam que cerca de 50% dos gastos com energia nos data centers são voltados para refrigeração. Portanto, a grande questão é como reduzir esse aquecimento, produzindo equipamentos mais eficientes ou como reaproveitar essa energia dissipada na forma de calor, como tem sido feito por centros de estudos que estão destinando esse calor para aquecimento de ambientes, ou até mesmo para geração de energia elétrica mais sustentável.

Referências Bibliográficas

- [Ane] Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 20?? http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf. Accessed: 2017-06-30.
- [CIS] CISCO. Cinco segredos dos data centers de alta eficiência. 2014. https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/pdfs/FY14-DC-02_five-secrets-dc_cte_article_etmg_pt-br_35119.pdf. Accessed: 2017-07-02.
- [COM] COMPUTERWORLD. Empresas transformam calor dos data centers em energia reutilizável. 2008. <http://computerworld.com.br/company-zone/apc/empresas-transformam-calor-dos-data-centers-em-energia-reutilizavel>. Accessed: 2017-06-26.
- [CRU] CRUZ, Miguel Ângelo Batista da. Otimização de um Sistema de “Free-Cooling” de uma Instalação de Climatização. Incluindo a definição de um algoritmo de controlo de funcionamento. Trabalho Final de Mestrado (Mestre em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica do INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, Lisboa, 2013. <http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/2185/1/Disserta3o.pdf>. Accessed: 2017-07-04.
- [FIG] FIGUEIREDO, Ênio. 3 dicas infalíveis para aumentar a eficiência de um data center. 2016. <http://www.redesecia.com.br/data-center/3-dicas-infaliveis-para-aumentar-a-eficiencia-de-um-data-center/>. Accessed: 2017-06-26.
- [FRA] FRACALOSSI, Juarez S. J. Eficiência energética em Data Center: estudo de caso UNIVATES. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia da Computação.) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2015. <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/984/1/2015JuarezSantanaFracalossiJunior.pdf>. Accessed: 2017-06-24.
- [FRI] FRIGO, A. INFRAESTRUTURA DE DATA CENTER E SUAS TENDÊNCIAS COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. 2015. 50 f. Trabalho de graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015. <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139220/000864819.pdf?sequence=1>. Accessed: 2017-06-24.
- [GES] Gestão de data center. (2015). <http://www.gestaodedatacenter.com.br/2015/04/22/data-centers-e-eficiencia-energetica/>. Accessed: 2017-06-30.
- [GLA] GLANZ, James. The New York Times. 2012. Power, Pollution and the Internet. <http://www.nytimes.com/2012/09/23/technology/data-centers-waste-vast-amounts-of-energy-belying-industry-image.html?mcubz=0>. Accessed: 2017-06-30.
- [Hew] Hewlett-Packard Development Company, L.P. Resultados de sustentabilidade ambiental - HP Brasil 2011, 2013. http://www.hp.com/hpinfo/globalcitizenship/environment/gcr_Brazil_2011.pdf. Accessed: 2017-06-24.

- [HIG] HIGGINBOTHAM, Stacey. Whose data centers are more efficient? Facebook's or Google's? 2012. <https://gigaom.com/2012/03/26/whose-data-centers-are-more-efficient-facebooks-or-googles/>. Accessed: 2017-02-07.
- [IBM] IBM, Global Services. O Datacenter verde. 2007. https://www.ibm.com/br/services/gts/pdf/Datacenter_verde.pdf. Accessed: 2017-07-02.
- [KOO] KOOMEY, Jonathan; TAYLOR, Jon. New data supports finding that 30 percent of servers are 'Comatose', indicating that nearly a third of capital in enterprise data centers is wasted. 2015. http://anthesisgroup.com/wp-content/uploads/2015/06/Case-Study_DataSupports30PercentComatoseEstimate-FINAL_06032015.pdf. Accessed: 2017-06-25.
- [LEA] LEAL, Renata. O que há dentro dos novos data centers verdes. 2011. <http://exame.abril.com.br/tecnologia/o-que-ha-dentro-dos-novos-data-centers-verdes/>. Accessed: 2017-07-02.
- [MOR] MORIMOTO, Carlos E. Servidores: racks, blades e torres. 2010. <http://www.hardware.com.br/dicas/racks-blades-torres.html>. Accessed: 2017-07-03.
- [REI] REIS, Ivan Warlet. Investigação de aspectos verdes na implantação de um data center na área industrial de Suape-PE. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado profissional em Ciências da Computação.) – Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. http://repositorio.ufpe.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2277/arquivo2741_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Accessed: 2017-06-24.
- [SAN] SANTOS, Fernando Ulisses dos. O que é virtualização? 2014. <https://www.profissionaisiti.com.br/2014/07/o-que-e-virtualizacao/>. Accessed: 2017-06-26.
- [SAV] SAVAGE, Neil. Business Report. Greenhouse Effect: 5 Ideas for Reusing Data Centers' Waste Heat. 2011. <https://www.technologyreview.com/s/425858/greenhouse-effect-5-ideas-for-reusing-data-centers-waste-heat/>. Accessed: 2017-07-04.
- [SER] SERCOMPE, Blog Editor. Por que escolher Blade para virtualização? 2013. <http://blog.sercompe.com.br/2013/06/07/por-que-escolher-blade-para-virtualizacao/>. Accessed: 2017-07-01.
- [SIL] SILVA, Fabricio C., Datacenter: entenda o que é PUE e veja um exemplo de estrutura super econômica. 2016. <http://www.redesecia.com.br/data-center/power-usage-effectiveness-o-que-e/>. Accessed: 2017-06-26.
- [SOA] SOARES, Luiz Cristiano. O data center e a importância da climatização. 2016. <http://www.datacenterdynamics.com.br/focus/archive/2016/06/o-data-center-e-import%C3%A2ncia-da-climatiza%C3%A7%C3%A3o>. Accessed: 2017-07-01.
- [TOL] TOLEDO, V.; AQUIM, T. Estudo: data centers diminuem consumo de energia em nível global. 2014. <http://www.datacenterdynamics.com.br/focus/archive/2014/01/estudo-data-centers-diminuem-consumo-de-energia-em-n%C3%ADvel-global>. Accessed: 2017-06-25.
- [VEL] VELOSO, Thássius. Google consome mais energia que cidade com 200 mil habitantes. 2011. <https://tecnoblog.net/76530/google-consumo-energia/>. Accessed: 2017-06-26.
- [VERa] VERDIL, Fábio Luciano et al. (2010). Novas Arquiteturas de Data Center para Cloud Computing. <http://www.dca.fee.unicamp.br/~chesteve/pubs/MC-DATA-CENTER-NETWORKS-SBRC2010.pdf>. Accessed: 2017-07-01.
- [VERb] VERT, Blog. Saiba tudo sobre o data center verde. <http://www.vert.com.br/blog-vert/saiba-tudo-sobre-o-data-center-verde/>. Accessed: 2017-07-01.