

Automação climática em sala de servidores utilizando hardware livre

Daniel Scheidemantel Camargo, Charles Christian Miers

¹Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
Departamento de Ciência da Computação (DCC)

{daniel,charles}@colmeia.udesc.br

Resumo. Neste trabalho é proposto um sistema para otimizar o consumo de energia com base em uma aplicação de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) com Arduino para automatizar o controle do sistema de refrigeração em uma sala de servidores. Esta otimização é realizada através do emprego de padrões abertos, com base na monitoração de parâmetros e ação de atuadores. Deste modo, busca-se prover sustentabilidade e eficiência energética ao mesmo tempo em que se tem um sistema de fácil aplicação e replicação.

Abstract. In this paper we propose a system to optimize the energy consumption based on Arduino Wireless Sensor Network (WSN) application employed to automate the control of cooling system in a server room. This optimization is accomplished through the use of open standards, based on the monitoring parameters and action of actuators. Thus, we aim to provide sustainability and energy efficiency while we keep the system to be easy to implement and replicate.

1. Introdução

Recentemente, o impacto mundial do consumo energético em *Data Center* (DC) tem sido fonte de diversas pesquisas, sendo responsável por aproximadamente 1,3% do consumo energético mundial. Especificamente em DC, o sistema de refrigeração da sala de servidores comumente totaliza de 25% a 40% do consumo total [Rodriguez et al. 2011, David and Schmidt 2014, Rubenstein and Faist 2014]. A Figura 1 apresenta a proporção de consumo dos componentes de um DC típico, com 5000 ft^2 (464 m^2).

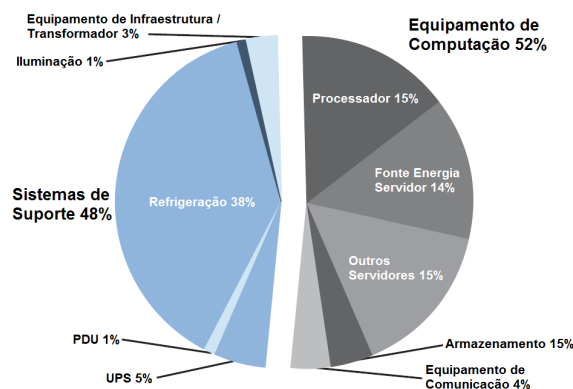


Figura 1. Análise da demanda e oferta de energia em DC. Adaptado de [Emerson 2012].

Dentre os custos operacionais de um DC, os gastos relacionados a energia elétrica possuem impacto considerável. Um dos desafios encontrados por gestores de Tecnologia da Informação (TI) é reduzir os custos e aumentar a eficiência dos seus serviços com o mínimo investimento, devendo identificar problemas de desempenho e implementar as soluções necessárias [Paim 2009]. Uma das formas de definir indicadores de desempenho é através do emprego métricas verdes para DC [Wang and Khan 2011, Volk et al. 2013, Dai et al. 2014], permitindo delimitar os componentes que fazem parte do processo de um determinado serviço. Destaca-se também, a crescente adoção de plataformas de código aberto (*hardware* e *software*) como opção às ferramentas proprietárias de monitoramento, tanto do consumo energético quanto das condições ambientais [Liaperdos et al. 2010, Rodriguez et al. 2011]. Estas tecnologias *open source* possibilitam criar RSSF para sensorar as salas de servidores, permitindo automatizar o sistema de refrigeração, além de obter informações úteis ao cálculo das métricas verdes.

O presente artigo está organizado da seguinte forma. A seção 2 introduz a classificação e principais normas para regulação de DC, sendo esta regulação usada como base para identificar os aspectos a serem monitorados que estão listados na seção 3. A seção 4 descreve as principais métricas verdes que podem ser empregadas para auxiliar na monitoração. Com base na fundamentação das seções iniciais, a seção 5 descreve uma proposta de sistema para auxiliar a reduzir o consumo energético da sala de servidores utilizando Hardware Livre (HL), tendo como parâmetro a aplicação de métricas verdes. Por fim, a seção 6 lista as principais considerações sobre a proposta e trabalhos futuros.

2. Data center

Um DC é, em geral, uma instalação utilizada para abrigar sistemas computacionais e componentes associados, incluindo recursos redundantes de *backup*, energia, comunicação e controles ambientais, além de dispositivos de segurança [Sharma 2009]. Pode-se também descrever um DC como um espaço composto dos seguintes sub-espços: Sala de servidor, telecomunicação, energia e mecânica além de outras instalações de logística e administrativas [TIA-942 2005]. É possível encontrar instituições que possuem somente a sala de servidores como ambiente de infraestrutura de TI [Mogami and Rodrigues 2014]. Existem diferentes classificações de acordo com o porte do DC, sendo que uma delas, elaborada por [Symanski and Watkins 2010], Tabela 1, é feita considerando a quantidade de servidores e relaciona com a redundância de energia (se possui *Uninterruptible Power Supply* (UPS) ou não) e nível de refrigeração (se especial ou comum).

Categoria	Nº Servidores	Média de Servidores	Energia e Refrigeração
DC Empresarial	Centenas / Milhares	515	17°C, Redundância N+1
DC Médio	Centenas	192	17°C, Alguma redundância
DC Local	Dezenas / Centenas	32	17°C, Alguma redundância
Sala de Servidores	Unidades / Dezenas	3	Refrigeração especial, com UPS
Armário Servidores	1 / 2	2	Refrigeração comum, sem UPS

Tabela 1. Classificação de DC por porte. Adaptado de [Symanski and Watkins 2010].

Para projetar e implantar um DC, recomenda-se seguir normas e protocolos estabelecidos por associações técnicas industriais [Dai et al. 2014], como por exemplo ANSI/BICSI-002, ANSI/TIA-569C e a ANSI/TIA-942, podendo destacar esta última como uma das mais utilizadas [Ye et al. 2014]. A norma TIA-942, possui o objetivo de fornecer diretrizes para padronizar as fases de desenvolvimento e implementação de um DC [TIA-942 2005]. De uma forma generalizada, quatro critérios são tratados nesta norma: espaço e *layout*, cabeamento estruturado, camadas de confiabilidade e considerações ambientais sendo que o foco deste trabalho está nas considerações ambientais.

3. Sistemas de monitoração e gerenciamento de DC

A sala dos servidores é um ambiente que deve ser rigidamente controlado, e levando em conta que um DC trabalha 24/7, seu sistema de refrigeração também é mantido em operação contínua. Considerando a disponibilidade de um DC e de seus sub-sistemas, é importante que o monitoramento seja ininterrupto, e que ações preditivas (de baixo impacto) possam ser tomadas sem a ação humana. Pessoas responsáveis pelo ambiente não estarão presente sempre que ocorrer um evento crítico, portanto, os alarmes locais seriam insuficientes para solicitar a ação humana, sendo importante que seja previsto a notificação remota aos responsáveis.

Os requisitos ambientais, especificados por normas técnicas, são guias para que o hardware dos equipamentos tenham maior durabilidade, evitando sobrecarga de temperatura e redução de eletricidade estática. A Tabela 2 relaciona os requisitos da norma [TIA-942 2005] quanto às considerações ambientais, indicando que o ambiente deve ser mantido dentro das faixas de valores de temperatura e umidade estabelecidas.

Requisitos	Valores		Normal	Unidades
	Mínimo	Máximo		
Temperatura bulbo seco (TBS)	20	25	22	°C
Faixa de variação máxima da TBS	0	5	-	°C / hora
Ponto de orvalho máximo	0	21	-	°C
Umidade relativa	40	55	45	%

Tabela 2. Requisitos do sistema de refrigeração. Fonte: [TIA-942 2005].

Atualmente, existe uma grande variedade sistemas de monitoramento para uso específico em DC, porém sua grande maioria é comercial e proprietária [Neto 2013], e podem não satisfazer todos os requisitos necessários. Quando um requisito necessário é a automatização da infraestrutura, *e.g.*, gerenciar o clima e a iluminação e não apenas sensorar, é feito o uso de métricas verdes para comparar a efetividade em gerenciar a infraestrutura do DC.

4. Métricas verdes para data centers

As métricas são essenciais para a gestão holística, eficaz e eficiente do ecossistema do DC [Murugesan and Gangadharan 2012]. Uma das formas de medir a eficiência energética é através das métricas verdes, possibilitando comparar a evolução da efetividade de um DC.

O principal alvo das métricas verdes em um DC é o consumo de energia aliado à carga de trabalho de um ou mais dispositivos que pertençam à mesma infra-

estrutura. Deve-se evitar a comparação entre DCs diferentes, pois a heterogeneidade dos sub-sistemas e equipamentos que os compõe torna complexo o processo de comparação [Avelar 2011]. A Tabela 3 resume as principais métricas encontradas na literatura, utilizadas para medir a eficiência energética em sistemas de redes de computadores e telecomunicações.

Nome	Métrica	Cálculo	Unidades	Observação
Power Usage Effectiveness	PUE	$= \frac{\text{Potência Total de Acesso}}{\text{Potência Equipe TI}}$	Proporção	Varia de 1 ao ∞
Data Center Infrastructure Efficiency	DCiE	$= \frac{1}{\text{PUE}} = \frac{\text{Potência Total de Acesso}}{\text{Potência Equipe TI}} * 100\%$	Porcentagem	Varia de 0 à 100%
Data Center Productivity	DCP	$= \frac{\text{Trabalho Útil}}{\text{Potência Total de Acesso}}$	Proporção	Varia de 1 ao ∞
Energy Consumption Rating	ECR	$= \frac{\text{Consumo Energético}}{\text{Capacidade Efetiva do Sistema}}$	Watt/Gbps	Energia normalizada para capacidade
ECR-Weighted	ECRW	$= \frac{0,35 * E_f + 0,4 * E_h + 0,25 * E_i}{T_f}$	Watt/Gbps	E_f , E_h e E_i : energia consumida na carga total, meia carga e em espera respectivamente. T_f : vazão efetiva.

Tabela 3. Principais métricas verdes aplicáveis à DC. Adaptado de [Wang et al. 2012].

Dentre as métricas verdes normalmente utilizadas em DC, destacam-se as elaboradas pela The Green Grid Association (em conjunto com ASHRAE¹): PUE, DCiE e DCP como as normalmente utilizadas para medir a eficiência energética em um DC. Estas métricas são empregadas por considerarem variáveis comuns à grande maioria dos equipamentos e por terem maior simplicidade na extração dos dados, *e.g.*, o consumo energético pode ser extraído por sensores de corrente elétrica.

5. Proposta de sistema de monitoramento climático para sala de servidores

O sistema proposto tem por objetivo reduzir o consumo de energia da refrigeração da sala de servidores, gerenciando o nível da refrigeração de acordo com a necessidade, identificada através do sensoramento baseado em plataforma de *hardware* e *software* livre. A comunicação com os nodos (conjuntos sensores e atuadores) será feita por meio de RSSF, distribuídos estrategicamente de forma que o ambiente seja monitorado e controlado. A monitoração é realizada através de módulos de sensores de temperatura acoplados a um Arduino, que transmitem os dados através de rede sem fios (ZigBee) para um outro sensor que funciona como coletor. O controle é realizado através de atuadores de infravermelho, configurados com os comandos do equipamento de ar-condicionado na sala, que também

¹American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, é uma sociedade de membros focados em construir sistemas tecnológicos com eficiência energética de forma sustentável. <https://www.ashrae.org/>

estão acoplados a um Arduino e que recebe os dados através de rede sem fios (ZigBee) que são oriundos de outro sensor que opera como coordenador. Uma topologia para a distribuição dos nodos pode ser visualizada na Figura 2.

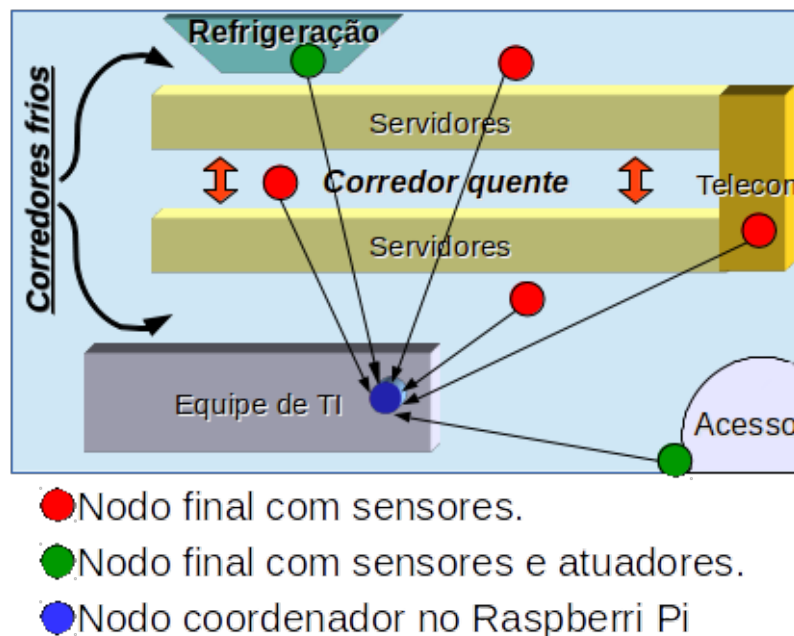


Figura 2. Distribuição dos nodos.

O protocolo de comunicação é o IEEE 802.15.4 (ZigBee), que possui como diferencial o baixo custo de implantação, baixo consumo de energia e provê mecanismos básicos de comunicação segura [Rodriguez et al. 2011]. Existem três tipos de nodos possíveis de serem configurados por este protocolo: um coordenador (que recebe todos os dados dos outros nodos), nodos roteadores (que repetem as informações de nodos mais distantes) e dispositivos finais que enviam as informações sensoreadas.

O uso da plataforma de prototipagem Arduino², permite que os cálculos de conversão Analógico / Digital sejam realizados pelo microcontrolador no próprio nodo e os sinais digitais sejam executados. Os dados obtidos destes cálculos são organizados em pacotes de informação, a serem enviados para um nodo coordenador, responsável por receber toda a informação da rede.

O fluxo dos dados (Figura 3) possui nos nodos finais Arduinos com um *shield Xbee* para comunicação usando protocolo ZigBee e sensores de temperatura (DS18B20, DHT11 e BMP085), umidade (DHT11), poluentes (MQ2) e corrente elétrica (SCT013), bem como atuadores por infravermelho e relés mecânicos para agir sobre o controle do ar-condicionado. Por fim, um nodo coordenador ligado ao Raspberry PI³ recebe as informações da rede, e um *script* em Python trata as informações que são inseridas no software de monitoramento Zabbix⁴. O Zabbix mantém os dados em uma base de dados, e quando consultado faz a abstração das informações coletados através de gráficos e resumos.

²<http://www.arduino.cc/>

³<http://www.raspberrypi.org/>

⁴<http://www.zabbix.com/>

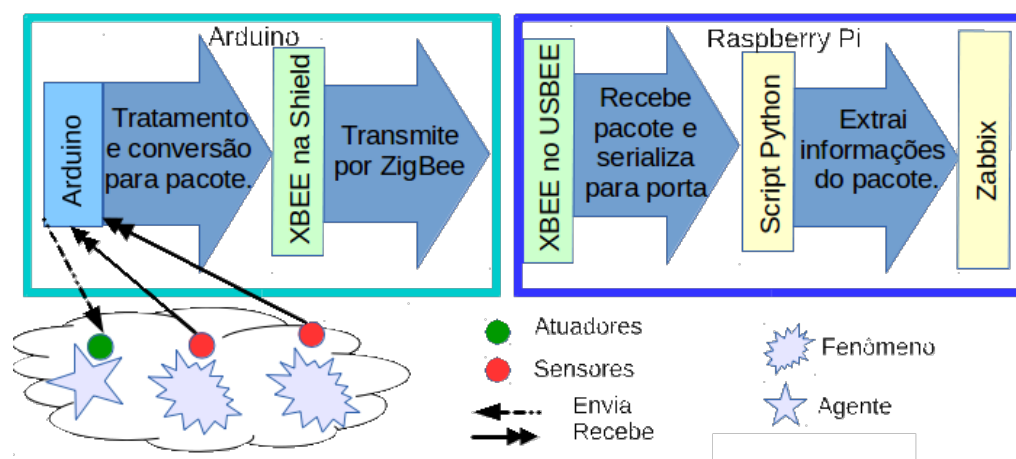


Figura 3. Fluxo dos dados.

Quando se desenvolve um sistema de monitoramento, um dos desafios encontrados é a escolha dos sensores que serão utilizados, pois devem satisfazer os requisitos levantados e atender as normas. Podem ser considerados alguns pontos para a tomada de decisão [Genova et al. 2009], como: acuidade, precisão, resolução, consumo de energia, facilidade de integração ao sistema, etc. como fatores que influenciam na relação custo/benefício de um sensor.

A Tabela 4 lista os principais sensores utilizados, escolhidos pela disponibilidade de mercado, e por suprir as características mínimas exigidas por um sistema de monitoramento. Na coluna de consumo, o valor é considerando durante a espera e durante o funcionamento, a acuidade é a margem de erro e a coluna das faixas determina os valores máximo e mínimo que cada sensor consegue realizar a leitura.

Parâmetros	Sensores	Consumo	Acuidade (±)	Faixas
Temperatura	DHT11	2,5mA	2°C	0~50°C
	DHT22	1,5mA	0,5°C	-40~80°C
	BMP085	12µA	1°C	0~65°C
	DS18B20	1mA	0,5°C	-55~125°C
Umidade	DHT11	2,5mA	5%	20 ~95%
	DHT22	4,3mA	2%	0~100%
	HH10D	180µA	3%	1~99%
Poluentes (CO ₂)	MQ-2	150mA	Regulável	300~10k ppm
	MG-811	200mA	Regulável	0~10k ppm
	MH-Z14	100mA	5%	0~10k ppm
Consumo Energético	SCT-013-000	5mA	3%	0~100A
	Midi100A	x	0,3%	0~100A
	XH-SCT-0016/T16	x	1%	0~120A
	CSNF661	10mA	0,5%	0~100A

Tabela 4. Sensores de baixo custo aplicados no sistema proposto.

Dos sensores listados na Tabela 4 são utilizados os sensores DHT11, MQ-2 e SCT-013-000, por serem facilmente encontrados no mercado brasileiro e por suprir as características mínimas exigidas por um sistema de monitoramento. O atuador de infravermelho não necessita o mesmo procedimento, visto que basta ele poder conseguir enviar com sucesso os comandos para o equipamento de ar-condicionado.

6. Considerações & Trabalhos futuros

Para manter os equipamentos operando de modo adequado é necessários mantê-los dentro dos limites de temperatura determinados pelos fabricantes. Neste sentido, empresas que só possuem sala de servidores empregam sistemas de refrigeração (usualmente ar-condicionado tipo *split*) funcionando na temperatura mínima, elevando o consumo de energia. O sistema de automação deve ajustar os parâmetros ambientais de forma que fiquem dentro do especificado pelas normas, podendo-se fazer o uso das métricas verdes para verificar o andamento dos resultados requeridos e avaliar a sustentabilidade dos serviços gerados.

Os dados coletados até o momento indicam a necessidade de normalizar a temperatura nos pontos de calor identificados. Com o direcionamento correto do fluxo de ar condicionado, e com o controle da potência do aparelho de refrigeração, pode-se inferir que, ao gerenciar o sistema de refrigeração os resultados poderão apresentar uma otimização.

Testes padronizados usando o Método Monte Carlo estão em vias de realização, sendo que os resultados serão empregados para produzir novas publicações. Estão previstas neste projeto a inclusão de um sistema de segurança para controle de acesso por cartões RFID (ou sensor de biometria), sensoreamento de fumaça/gases e a monitoração de desastres utilizando alarmes para aviso local e notificação remota aos responsáveis.

Referências

- [Avelar 2011] Avelar, V. (2011). Guidance for calculation of efficiency (pue) in data centers. *Schneider Electric, Rueil Malmaison, France, White Paper*, 158.
- [Dai et al. 2014] Dai, J., Ohadi, M. M., Das, D., and Pecht, M. G. (2014). Data center energy flow and efficiency. In *Optimum Cooling of DCs*, pages 9–30. Springer NY.
- [David and Schmidt 2014] David, M. and Schmidt, R. (2014). Impact of ASHRAE environmental classes on data centers. In *2014 IEEE ITherm*, pages 1092–1099.
- [Emerson 2012] Emerson, E. (2012). Energy logic 2.0 new strategies for cutting data center energy costs and boosting capacity.
- [Genova et al. 2009] Genova, F., Bellifemine, F., Gaspardone, M., Beoni, M., Cuda, A., and Fici, G. P. (2009). Management system based on low cost wireless sensor network technology, to monitor, control and optimize energy consumption in telecom switch plants and data centres. In *2009 4th ESCON*, pages 1–8.
- [Liaperdos et al. 2010] Liaperdos, I., Paraskevas, I., Potirakis, S., and Rangoussi, M. (2010). Building a low-cost network for power-quality monitoring with open-source-hardware nodes. In *7th MedPower 2010*, pages 1–5.
- [Mogami and Rodrigues 2014] Mogami, S. and Rodrigues, S. (2014). Data centers para pequenas empresas. Number 167 in XV, page 20. Revista RTI.
- [Murugesan and Gangadharan 2012] Murugesan, S. and Gangadharan, G. R. (2012). *Harnessing Green IT: Principles and Practices*. Wiley, Chichester, West Sussex, UK, 1 edition edition.
- [Neto 2013] Neto, M. F. (2013). Os principais sistemas de automação de data centers do mercado - DCIM. White paper, Fazion LTDA.

- [Paim 2009] Paim, R. (2009). *Gestão de Processos: Pensar, Agir e Aprender*. Rafael Paim.
- [Rodriguez et al. 2011] Rodriguez, M., Ortiz Uriarte, L., Jia, Y., Yoshii, K., Ross, R., and Beckman, P. (2011). Wireless sensor network for data-center environmental monitoring. In *2011 5th ICST*, pages 533–537.
- [Rubenstein and Faist 2014] Rubenstein, B. and Faist, M. (2014). Data center cold aisle set point optimization through total operating cost modeling. In *2014 IEEE-ITherm*, pages 1111–1120.
- [Sharma 2009] Sharma, B. (2009). Applications of data mining in the management of performance and power in data centers. Technical report, DCSE, PSU.
- [Symanski and Watkins 2010] Symanski, D. and Watkins, C. (2010). 380vdc data center at duke energy. *Emerging Technology Summit*, 9.
- [TIA-942 2005] TIA-942, . (2005). ANSI/TIA-942 - telecommunications infrastructure standard for data centers. White Paper 942, Telecom. Industry Association (TIA).
- [Volk et al. 2013] Volk, E., Tenschert, A., Gienger, M., Oleksiak, A., Siso, L., and Salom, J. (2013). Improving energy efficiency in data centers and federated cloud environments: Approaches and metrics. In *2013 3rd CGC*, pages 443–450.
- [Wang and Khan 2011] Wang, L. and Khan, S. U. (2011). Review of performance metrics for green DC: a taxonomy study. *The Journal of Supercomputing*, pages 639–656.
- [Wang et al. 2012] Wang, X., Vasilakos, A. V., Chen, M., Liu, Y., and Kwon, T. T. (2012). A survey of green mobile networks: Opportunities and challenges. *Mobile Networks and Applications*, 17(1):4–20.
- [Ye et al. 2014] Ye, H., Song, Z., and Sun, Q. (2014). Design of green data center deployment model based on cloud computing and TIA942 heat dissipation standard. In *2014 IEEE Workshop on Electronics, Computer and Applications*, pages 433–437.