

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO EM PRÉDIOS PÚBLICOS UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUÍNO – FOCO NA ANÁLISE ECONÔMICA COMO INSTRUMENTO PARA A ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

Caio Soares Chaves
Evaldo da Conceição Silva
Daniel Moraes Santos
Rafael Alvarenga Almeida

RESUMO

Um ambiente termicamente confortável é essencial para que qualquer atividade se torne produtiva, o que é válido para todos os serviços prestados no meio da administração pública. No setor público diversas são as atividades realizadas ao longo do dia, e o bem estar dos seus servidores é de fundamental importância para a qualidade final do afazeres desenvolvidos. O conforto térmico desses ambientes é primordial, pois a transpiração excessiva, a falta de ar, o cansaço constante e o mal estar, são algumas das consequências notadas em um profissional que se encontra em um ambiente de trabalho cuja temperatura está fora dos níveis desejados. A utilização dos aparelhos de ar-condicionado é uma boa medida para solucionar ou amenizar tal situação, no entanto, a eficiência desses equipamentos e as trocas de calor no ambiente devido as fontes de energia (interna e externa), fazem com que nem sempre a temperatura programada a unidade de refrigeração seja a mesma presenciada no meio. Ganho econômico e produtivo são algumas das vantagens que um ambiente confortável termicamente gera ao setor da administração pública, e a verificação da temperatura presente nesse meio pode ser feita através da plataforma Arduino, que constitui uma ferramenta simples e de fácil utilização.

PALAVRAS-CHAVES: Temperatura. Arduino. Conforto térmico. Administração pública.

1. INTRODUÇÃO

A administração pública segundo Bresser Pereira (1995) constitui o aparelho estatal, ou seja, se trata do conjunto formado pelo governo e seus agentes administrativos, e esse é regulado por um ordenamento jurídico que consiste em um conjunto de normas e leis, que existem para regulamentar e organizar a administração do Estado em todas as suas esferas, tendo como objetivo principal o interesse público e o bem estar comum, partindo de princípios da legalidade, moralidade, impessoalidade e eficiência (BRASIL, 2015, art. 37).

Uma pessoa que trabalha na administração pública é chamada de gestor público, e possui grande responsabilidade para com a sociedade e nação, devendo exercer a gestão e administração de matérias públicas com transparência e ética, em concordância com todas as normas legais estipuladas pelo Estado (MADEIRA, 2014).

A administração pública pode se dar de duas formas, a administração direta e a indireta. A administração pública direta é aquela exercida pelos poderes da União, Estados, Distrito

Federal e Municípios, órgãos dotados de personalidade jurídica própria. Já a administração pública indireta consiste na transferência da administração por parte do Estado a pessoas jurídicas, podendo essas pessoas serem fundações, organismos privados e ainda outras empresas públicas. Nesse tipo de administração ocorre o que é chamado de descentralização administrativa (POLITIZE, 2019).

Como dito anteriormente, a administração pública constitui um importante instrumento para todos em uma sociedade, e esse é rígido e tem as suas atividades desenvolvidas por pessoas, cada uma em seu cargo e função, devendo buscar desempenhar o seu papel da melhor maneira possível para o bem comum. Boa parte das atividades realizadas no setor da administração pública se dão em ambientes fechados, como por exemplo em escritórios, salas de atendimento e consultórios, o que é algo que vem se tornando comum a todas pessoas, onde as mesmas de uma forma geral estão cada vez mais passando a maior parte do seu tempo em locais fechados, seja no trabalho, na escola, na faculdade ou em casa. Esse cenário faz com que a climatização dos referidos ambientes seja de fundamental importância, uma vez que promove o conforto térmico e a saúde do ar local, acarretando no bem estar físico e mental, bem como no aumento da disposição e rendimento nas atividades realizadas (ENGEPOLI, 2019).

A climatização de um determinado ambiente não se trata apenas do controle da sua temperatura, mas sim de fazer com que essa permaneça em uma faixa confortável aos organismos ali a serem preservados, fornecendo dessa forma umidade e oxigenação. Isso pode ocorrer para diferentes finalidades e em múltiplos locais, como por exemplo em residências unifamiliares, indústrias, escritórios, escolas, prédios públicos, hospitais, granjas e estufas agrícolas (TECNOGERA, 2014). Já para Machado (2009) climatizar um espaço significa tratar a temperatura, umidade, pureza e movimentação do ar no mesmo, por meio do emprego de unidades de refrigeração, filtragem, circulação e controle do ar.

O uso dos aparelhos de ar-condicionado em ambientes da administração pública principalmente em cidades com elevadas taxas de temperatura, vem se tornando cada vez mais frequente, visto ser esses de grande influência e relevância no desempenho dos seus servidores. Um ambiente com os níveis de temperatura, umidade e oxigenação adequados, torna-se muito mais prazeroso para aqueles que dele irão fazer uso, e as consequências se mostram positivas quando analisados os resultados obtidos na presença dessa situação. No entanto, quando a situação retrocida não se faz presente em um ambiente de trabalho como o mencionado, situações de extrema delicadeza podem vir a ocorrer, como a de pessoas passando mal e sendo

levadas para hospitais, podendo ser afastadas temporariamente das suas atividades, bem como uma visão não muito positiva do local de trabalho (UGREEN, 2019).

Dessa forma, os aparelhos de ar-condicionado constituem uma importante ferramenta no que diz respeito a busca pela qualidade do ambiente de trabalho nas mais diversas esferas, principalmente na administração pública. Mas, se os referidos equipamentos estão realmente refrigerando o ambiente na temperatura a qual foram programados é sempre uma dúvida e é nesse ponto que a utilização da plataforma Arduíno para o presente trabalho se justifica, uma vez que se permite relacionar a temperatura de programação do aparelho com a temperatura de fato presente no ambiente refrigerado.

A eficiência energética de um equipamento como por exemplo o ar-condicionado está relacionada a capacidade desse em desenvolver a sua função consumindo o mínimo de energia possível, porém, apresentando resultados satisfatórios. Cada equipamento no momento da compra, deve ter a sua eficiência verificada em função da atividade a que o mesmo será submetido, dessa forma as pessoas estarão contribuindo para um uso mais eficiente da energia. No Brasil foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que é coordenado pelo Inmetro e tem como objetivo fornecer a eficiência energética dos equipamentos comercializados (EPE), 2019).

Diversos são os fatores que podem de alguma forma influenciar na eficiência do aparelho, como por exemplo a presença de fontes de calor no local considerado. Existem dois tipos de fontes energias que devem ser levadas em consideração em um ambiente quando se analisa a temperatura no mesmo em virtude do uso de um equipamento de refrigeração, são elas as fontes de energia interna e externa. As fontes internas de energia são aquelas geradas no interior da edificação, provenientes de equipamentos, iluminação e pessoas presentes no ambiente. Já as externas, geradas no exterior da edificação, na maioria das vezes são provenientes da insolação solar através das paredes e janelas. Outro ponto também a ser considerado é área a ser refrigerada, bem como o número de equipamentos utilizados para a climatização (BRASIL, 2011; LIMA, 2017).

No entanto, avaliar o ar-condicionado em termos de sua composição mecânica e/ou eletrônica não é o objetivo do trabalho, e sim apenas verificar se a temperatura a que o mesmo foi programado para operar é de fato a temperatura na qual o ambiente se encontra. Para isso se fará o uso do Arduíno, que segundo Cavalcante, Tavolaro e Molisani (2011) trata-se de uma

plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, que possibilita a criação de ferramentas de fácil utilização, grande utilidade e praticidade, flexibilidade e baixo custo.

2. METODOLOGIA

Por meio da linguagem de programação C foi desenvolvido um código de programação com o intuito de se fazer a medição da temperatura em ambientes na presença dos aparelhos de ar-condicionado, através de um protótipo elaborado com a plataforma Arduino, apontando após a medição o erro existente entre o valor da temperatura a qual os aparelhos estavam programados com a temperatura presente no local de análise.

Foram necessários os seguintes itens para a preparação do protótipo:

- Notebook para o desenvolvimento da programação;
- Plataforma Arduino para armazenar a programação e estabelecer a comunicação entre o sensor e o código;
- Resistor;
- Jumpers de ligação para a condução da energia;
- Protoboard para a ligação entre o sensor e a placa, e demais componentes presentes;
- Sensor de temperatura para a realização da medição.

Após a montagem do protótipo e a verificação de todos os possíveis ajustes, a medição foi realizada em 5 diferentes dias e em diferentes pontos do ambiente escolhido para a análise. Para cada dia de análise um valor de temperatura foi escolhido, sendo realizado 15 medições para esse. Após isso foi calculada a média de cada uma das 5 temperaturas, apontando o erro para cada uma das mesmas em função do valor de temperatura programado no equipamento. Em todos os dias, antes do início das medições uma simples calibração no sensor de temperatura foi realizada.

O sensor de temperatura utilizado foi o DS18B20, que se trata de um sensor impermeável que permite a medição de temperatura e umidade. O mesmo é de grande precisão ($\pm 0,5^\circ\text{C}$ de exatidão) proporcionando a medição de temperaturas através de uma conexão de dados de apenas um fio com o seu microcontrolador Arduino.

Por fim, após a calibração do sensor e obtenção de todos os valores de temperatura, foi plotado o gráfico representativo dos dados obtidos, bem como o valor de desvio encontrado de

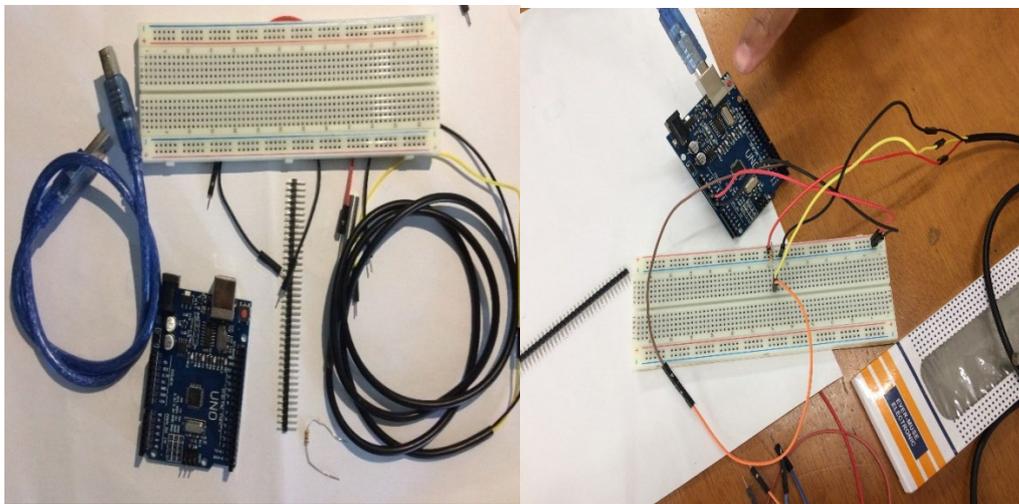
acordo com o que foi proposto pelo trabalho e também o gráfico da eficiência energética do aparelho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A coleta de dados como já dito foi realizada em 5 diferentes dias, sendo em cada dia verificado uma temperatura. O local escolhido foi a sala 207 do pavilhão de aulas da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), por questões de facilidade de execução e acesso a ambientes com a unidade de refrigeração.

O procedimento para a realização do teste foi o seguinte: o local escolhido teve todas as suas janelas e portas fechadas e o aparelho de ar-condicionado ligado a temperatura escolhida, sendo deixado nessa por cerca de 5 horas antes do início das medições para que a mesma se estabilizasse, ou seja, para que o ambiente passasse do regime transiente para o regime permanente de temperatura. As temperaturas foram após a montagem do protótipo medidas a cada 10 segundos, buscando dessa forma analisar um comportamento mais preciso da mesma durante o período de medição. Em seguida é mostrado toda a estrutura necessária e a montagem do protótipo, conforme a Figura 1.

Figura 1: Componentes utilizados e montagem do protótipo.



Fonte: Autoria própria (2019).

Antes do início de qualquer medição, uma calibração simples foi feita no sensor de temperatura, para verificar se o mesmo estava apto para ser utilizado. Dessa forma se fez uso de um copo com água e gelo, sendo medida a temperatura do mesmo, devendo o sensor indicar valores na casa dos 0°C. A Figura 2 ilustra o teste de calibração.

Figura 2: Calibração do sensor de temperatura.



Fonte: Autoria própria (2019).

O resultado de tal calibração está exposto na Figura 3 imediatamente abaixo, onde se pode perceber que o sensor utilizado possuía boa exatidão nos valores apresentados, uma vez que a variação para o 0°C foi pequena e muito próxima do desvio fornecido pela própria especificação do equipamento, como falado no item anterior. Dessa forma, o mesmo foi considerado apto para a sequência de testes.

Figura 3: Dados da calibração do sensor de temperatura.

```
COM3
Localizando sensores DS18B20...
Foram encontrados 1 sensores.
Endereco sensor: 28AA7D8E1313026B

Temp C: 0.63 Min : 0.63 Max : 0.63
Temp C: 0.63 Min : 0.63 Max : 0.63
Temp C: 0.63 Min : 0.63 Max : 0.63
Temp C: 0.63 Min : 0.63 Max : 0.63
Temp C: 0.69 Min : 0.63 Max : 0.69
Temp C: 0.63 Min : 0.63 Max : 0.69
Temp C: 0.69 Min : 0.63 Max : 0.69
```

Fonte: Autoria própria (2019).

Após as etapas mencionadas foi dado início as medições das temperaturas, e em todos os dias de coleta de dados os procedimentos realizados foram os mesmos, variando apenas a temperatura escolhida para o ar-condicionado.

Após as medições, com base nas temperaturas obtidas foi possível realizar algumas averiguações e estabelecer princípios que relacionassem a temperatura registrada no controle do equipamento com a real temperatura no interior da sala de aula.

A partir das temperaturas encontradas foi calculada a temperatura média, dada pela Equação 1 na sequência.

$$T_{m\u00e9dia} = \frac{\sum T}{n} \quad (1)$$

A partir do c\u00e1lculo das temperaturas m\u00e9dias foi poss\u00edvel comparar as mesmas com as temperaturas de refer\u00eancia (solicitadas ao aparelho) e calcular o erro relativo percentual que \u00e9 obtido pelo uso da Equa\u00e7\u00e3o 2 logo abaixo.

$$Erro(\%) = \frac{|T_{interna}| - |T_{controle}|}{|T_{controle}|} \quad (2)$$

Onde a temperatura interna \u00e9 a temperatura presente de fato no ambiente e a temperatura de controle, \u00e9 a que o aparelho foi programado.

Para cada valor de temperatura escolhido nos 5 diferentes dias, foram realizadas 15 medi\u00e7\u00f5es, sendo os resultados obtidos ap\u00f3s todas as medi\u00e7\u00f5es e c\u00e1lculos disponibilizados na Tabela 1 imediatamente a seguir. A presente tabela relaciona os valores das 15 medi\u00e7\u00f5es feitas para cada valor escolhido de temperatura com a m\u00e9dia para cada uma dessas e o seu respectivo erro.

Tabela 1: Resultados da m\u00e9dia das temperaturas e erro.

	Temperaturas Padr\u00e3o				
	17 \u00b0C	19 \u00b0C	21 \u00b0C	23 \u00b0C	25 \u00b0C
T1	19,84	20,00	21,75	23,62	25,50
T2	19,84	19,94	21,75	23,44	25,45
T3	20,00	20,00	21,66	23,31	25,31
T4	20,00	20,00	21,56	23,25	25,26
T5	19,84	19,94	21,56	23,12	25,26
T6	20,00	20,00	21,50	23,06	25,20
T7	20,06	20,06	21,50	23,06	25,20
T8	20,00	20,06	21,50	23,06	25,18
T9	20,00	20,06	21,50	23,12	25,15
T10	20,06	20,12	21,48	23,12	25,15
T11	20,12	20,06	21,48	23,12	25,08
T12	20,06	20,06	21,48	23,12	25,08
T13	20,06	20,12	21,40	23,06	25,06
T14	20,12	20,12	20,31	23,06	25,06
T15	20,12	20,12	20,31	23,12	25,00
Som\u00e1torio	300,12	300,66	320,74	347,64	377,94
M\u00e9dia	20,01	20,04	21,38	23,18	25,20
Erro	18%	5%	2%	1%	1%

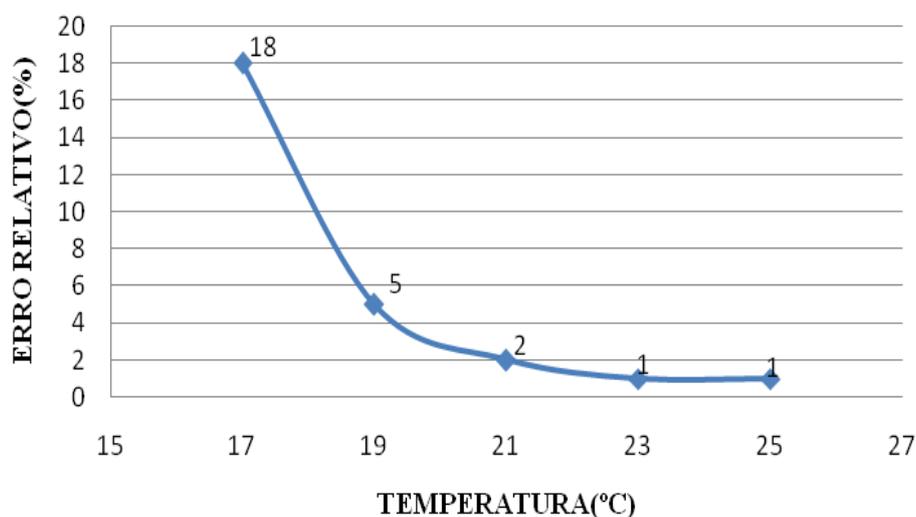
Fonte: Autoria pr\u00f3pria (2019).

Como se pode perceber na tabela acima, a variação dos erros se deu conforme a variação temperatura, sendo encontrado o maior erro para quando o aparelho de ar-condicionado foi programado para operar na temperatura de 17°C, ou seja, para menores temperaturas de programação os erros resultantes são maiores.

Quando as temperaturas de operação do mesmo foram alteradas para 19°C, 21°C, 23°C e 25°C, os erros encontrados para as respectivas temperaturas foram diminuindo de forma expressiva. A Figura 4 abaixo evidencia de forma clara que o erro relativo tende a zero na medida em que a temperatura de programação do aparelho é elevada se aproximando da temperatura ambiente.

No entanto, embora possa ser muito pequeno, o erro nunca chegará a ser zero, pois essa seria uma situação de uma máquina perfeita e ideal, algo que na realidade não existe. Todo e qualquer sistema, de qualquer que seja a área, sempre irá possuir uma eficiência inferior a 100%, nenhuma máquina possui eficiência máxima, em virtude de inúmeras questões, que vão desde o seu processo de fabricação, funcionamento e operação.

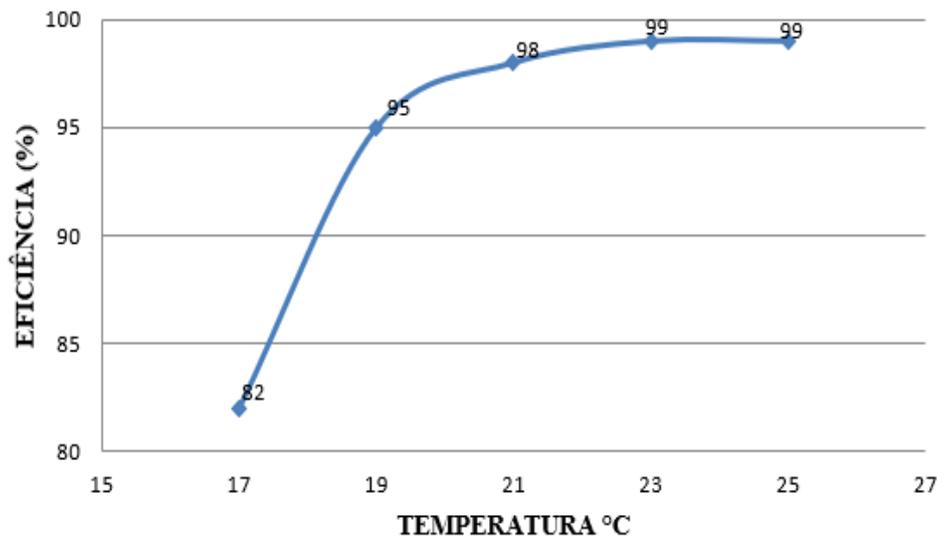
Figura 4: Temperaturas de operação e erro relativo.



Fonte: Autoria própria (2019).

Já a Figura 5 traz a relação resultante entre as temperaturas de operação da unidade refrigeradora e a eficiência encontrada para o aparelho em cada uma dessas temperaturas.

Figura 5: Relação eficiência e temperatura de controle.



Fonte: Autoria própria (2019).

Os dados da curva da Figura 5 foram obtidos por meio da Equação 3.

$$EFICIÊNCIA (\%) = 100 - ERRO \quad (3)$$

A análise do gráfico da Figura 5 pode ser feita de maneira simples, é observado que na medida em que a temperatura de programação do ar-condicionado se eleva, a eficiência do mesmo em operação para aquela temperatura aumenta, o que se deve as trocas de calor presente entre os meios interno e externo, o que será melhor explicado no próximo item.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final de todos os procedimentos, análises e comparação dos resultados obtidos, pode se concluir que o erro encontrado para cada valor de temperatura se deu em virtude de duas possíveis situações. A primeira está ligada a própria eficiência da unidade de refrigeração, uma vez que nenhuma máquina possui eficiência de 100%, enquanto que a segunda está relacionada as fontes de energias internas e externas existentes. A fonte interna de energia nos dias de coleta foi desconsiderada uma vez que dentro da sala de teste não havia nenhum outro equipamento além do ar-condicionado ou pessoa. Já a fonte externa muito provavelmente influenciou de forma significativa, pois os dias em que se realizou as medições foram de forte insolação e dessa forma, devido as diferenças de temperatura entre o ambiente refrigerado (interno) e o externo as trocas de calor foram constantes, fazendo com o que o ambiente em análise não permanecesse na temperatura de programação da unidade refrigeradora.

Foi observado também que os maiores erros foram encontrados para as menores temperaturas de programação, sendo esses reduzidos na medida em que a mesma era elevada e se aproximava da temperatura ambiente. A justificativa para tal ocorrência também se deve as trocas de energia entre os meios, já que quanto mais próxima da temperatura ambiente fosse a temperatura imposta ao aparelho, menor seria a diferença entre ambas, reduzindo dessa forma as trocas de calor entre os dois ambientes, visto que para haver trocas de energia é preciso antes haver diferenças de temperaturas, e quanto maior forem essas últimas, mais significativas serão as trocas mencionadas.

A importância desse estudo para situações que envolvam o ambiente de trabalho na administração pública é grande, pois além de possíveis gastos com a saúde dos servidores devido aos problemas já citados, há também um gasto com eletricidade considerável devido a utilização dessas unidades de refrigeração. Com os dados obtidos foi possível perceber que a utilização de temperaturas muito baixas impostas ao aparelho não refletiam a temperatura presente no ambiente devido ao significativo erro encontrado, logo, em situações como estas se tem altos gastos de eletricidade, não proporcionando o conforto térmico esperado. Em outras palavras, para temperaturas muito inferiores a temperatura ambiente, a eficiência energética do equipamento de refrigeração é baixa, não atingindo os valores esperados e sendo necessário considerável gasto de energia para os valores apresentados, como exemplificado na Figura 5. Dessa forma, a eficiência energética se faz útil, necessária e comprovada na aplicação do presente trabalho.

Com a aplicação em discussão é possível prever até que ponto a redução da temperatura do ar-condicionado é viável do ponto de vista da qualidade do ambiente e também do ponto de vista econômico, fazendo-se uma relação com o desvio encontrado. A eficiência energética quanto maior for, trará economias significativas, pois produzirá os resultados esperados a menores custos. Dessa forma, a presente aplicação da plataforma Arduino para a verificação da temperatura, se bem implementada e utilizada, trará vantagens do ponto de vista financeiro e do bem estar dos servidores presentes no ambiente de trabalho, o que consequentemente aumentará o seu rendimento beneficiando a todos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Eletrobrás Procel (Org.). **Sistemas de Ar Condicionado**. Rio de Janeiro, 2011. 1148 p. Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20Pratico%20PROCELMa%20Ar-Cond-Procet-Eletr-11.pdf>>. Acesso em: Jun. 2019.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. 48. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2015.

BRESSER PEREIRA, L. C. **Estado, aparelho do Estado e sociedade civil**. Brasília: ENAP, 1995.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Bras. Ensino Fís.**, [S.I.], vol.33, n.4, p.4503-4503, 2011. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v33n4/18.pdf>>. Acesso em: Jun. 2019.

ENGEPOLI. **Sistemas Sustentáveis. Canal sustentável**. 2019. Disponível em: <<https://www.engepoli.com/o-que-e-conforto-termico/>>. Acesso em: Jul. 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Eficiência energética**. 2019. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: Jul. 2019.

LIMA, L. F. **Estudos de Eficiência Energética em Aparelhos Condicionadores de Ar e Técnicas para Redução da Carga Térmica nas Edificações**. 2017. 132 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

MACHADO, H. A. **Refrigeração e ar condicionado**. Rio de Janeiro, 2009.

MADEIRA, J. M. P. **Administração Pública**: Tomo I. 12. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2014.

TECNOGERA. **Importância de um sistema de refrigeração e climatização**. 2014. Disponível em: <<https://www.tecnogera.com.br/blog/qual-a-importancia-de-um-sistema-de-refrigeracao-e-climatizacao>> Acesso em: Jun. 2019.

UGREEN. **Estratégias fundamentais para o conforto térmico**. 2019. Disponível em: <<https://www.ugreen.com.br/conforto-termico/>>. Acesso em: Jul. 2019.