



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**LUCAS DE MEDEIROS NUNES FERNANDES**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:  
ATUAÇÃO SOBRE CONDICIONADOR DE AR EM SALA DE  
SERVIDORES NO CAMPUS UFCG**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**2022**

**LUCAS DE MEDEIROS NUNES FERNANDES**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:  
ATUAÇÃO SOBRE CONDICIONADOR DE AR EM SALA DE  
SERVIDORES NO CAMPUS UFCG**

**Trabalho de Conclusão Curso  
apresentado ao Curso Bacharelado em  
Ciência da Computação do Centro de  
Engenharia Elétrica e Informática da  
Universidade Federal de Campina  
Grande, como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Ciência da Computação.**

**Orientadora: Professora Dra. Livia Maria Rodrigues Sampaio Campos**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**2022**

**LUCAS DE MEDEIROS NUNES FERNANDES**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:  
ATUAÇÃO SOBRE CONDICIONADOR DE AR EM SALA DE  
SERVIDORES NO CAMPUS UFCG**

**Trabalho de Conclusão Curso  
apresentado ao Curso Bacharelado em  
Ciência da Computação do Centro de  
Engenharia Elétrica e Informática da  
Universidade Federal de Campina  
Grande, como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Ciência da Computação.**

**BANCA EXAMINADORA:**

**Professora Dra. Livia Maria Rodrigues Sampaio Campos  
Orientador – UASC/CEEI/UFCG**

**Professor Dr. Marcus Salerno de Aquino  
Examinador – UASC/CEEI/UFCG**

**Professor Tiago Lima Massoni  
Professor da Disciplina TCC – UASC/CEEI/UFCG**

**Trabalho aprovado em: 06 de Abril de 2022**

**CAMPINA GRANDE - PB**

## **ABSTRACT**

In data processing environments, such as data centers or dedicated server rooms, constant cooling is required because of equipment sensitive to high temperatures. However, devices such as air conditioners increase expenses with electricity, due to the high demand of energy load necessary for their operation. The use of monitoring and automation strategies can provide significant gains in energy efficiency. In the context of UFCG, an intelligent infrastructure, which is capable of generating useful data for studies in this direction has been provided by the Smart Campus project. However, the actions taken to date are more focused on visualizing consumption data than on identifying opportunities to reduce energy costs, as well as possible automation in management, especially in data processing environments. In this work, we will develop a study using data from this infrastructure, with the objective of evaluating the relevance of acting on the temperature of the air conditioner responsible for the refrigeration of the Laboratory of Communication Technologies (LATEC) in order to provide energy savings. The results will guide studies and actions on similar environments, in addition to serving as a basis for future automations.

# Eficiência energética: atuação sobre condicionador de ar em sala de servidores no campus UFCG

Lucas de Medeiros Nunes Fernandes  
Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande, Paraíba, Brasil  
lucas.medeiros.fernandes@ccc.ufcg.edu.br

Orientadora: Lívia Maria Rodrigues  
Sampaio Campos  
Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande, Paraíba, Brasil  
livia@computacao.ufcg.edu.br

## RESUMO

Em ambientes de processamento de dados, como data centers ou salas de servidores dedicados, é necessário que haja uma refrigeração constante, por causa de equipamentos sensíveis a temperaturas elevadas. Porém, dispositivos como condicionadores de ar elevam os gastos com energia elétrica, devido à grande demanda de carga energética para seu funcionamento. A aplicação de estratégias de monitoramento e automação é capaz de proporcionar ganhos significativos em relação à eficiência energética. No contexto da UFCG, uma infraestrutura inteligente capaz de gerar dados úteis para estudos nessa direção tem sido provida pelo projeto Smart Campus. Porém, as ações tomadas até hoje são mais direcionadas para visualização de dados de consumo do que atuação que identifique oportunidades de redução de gastos com energia elétrica, assim como possíveis automações no gerenciamento, especialmente em salas de servidores. Neste trabalho, será realizado um estudo usando dados provenientes dessa infraestrutura, com o objetivo de avaliar a relevância de atuar sobre a temperatura do condicionador de ar responsável pela refrigeração do Laboratório de Tecnologias de Comunicação (LATEC) a fim de proporcionar economia de energia. Os resultados vão orientar estudos e ações sobre ambientes similares, além de servir como base para futuras automações.

## PALAVRAS-CHAVE

Eficiência energética, Internet das Coisas, Smart Campus, Análise de dados.

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2019, a UFCG destinou cerca de 9 milhões de reais, aproximadamente 14,4% de seu orçamento de custeio, a despesas de energia elétrica [1]. Dispositivos como condicionadores de ar são influenciadores preponderantes para essa estatística, devido à grande demanda de carga energética para seu funcionamento [2]. Além disso, a crise energética enfrentada pelo Brasil recentemente, causada por fatores como estiagem, má gestão de recursos e maquinário ultrapassado, provocou um aumento nas tarifas das contas de energia elétrica [3], o que agravou a problemática financeira enfrentada pela universidade.

Em ambientes de processamento de dados, como *data centers* ou salas que possuem servidores dedicados, é necessário a refrigeração em tempo integral do local, devido à sensibilidade a temperaturas elevadas dos equipamentos presentes no ambiente. A UFCG possui salas com essas

características, o que também pode elevar os gastos da universidade com energia elétrica. Portanto, é fundamental que exista uma preocupação com monitoramento e gerenciamento inteligente desses equipamentos de refrigeração.

O projeto Smart Campus UFCG, criado em junho de 2019, visa, entre outros objetivos, proporcionar redução do consumo de energia elétrica no campus através da implantação de soluções tecnológicas baseadas em *Internet das Coisas* para tornar equipamentos capazes de serem monitorados e controlados remotamente [4].

Internet das coisas (IoT, do inglês Internet of Things) consiste na definição e construção de uma rede capaz de conectar objetos físicos, como condicionadores de ar, a partir de sistemas embarcados (microprocessadores encapsulados dedicados ao sistema ou aparelho que controlam), com a finalidade de produzir, receber e transmitir dados entre eles. Essa conexão é capaz de gerar ferramentas poderosas, especialmente no campo da automação e gerenciamento de recursos de infraestrutura.

Tendo em vista esse conceito, o projeto Smart Campus UFCG foi responsável por realizar o implante de sensores que fornecem informações de temperatura e consumo de energia de algumas salas e laboratórios da universidade. As ações de gerência inteligente do consumo de energia têm sido realizadas com ênfase em análise e visualização de dados em algumas salas e ambientes do Campus I/Campina Grande, por meio de um *dashboard*<sup>1</sup>. Existem indicações na literatura de que é possível gerar economia de energia a partir de atuações sobre condicionadores de ar em salas do campus, como aumentar a temperatura na qual operam os aparelhos de refrigeração. Uma oportunidade de expandir as ações no contexto do Smart Campus é a partir dessas atuações em salas do campus, especialmente em salas de servidores dedicados, que precisam de refrigeração constante.

Diante desse cenário, neste trabalho foi realizado um estudo experimental para analisar a relevância de atuar sobre a temperatura do condicionador de ar para fins de economia de energia em ambientes de processamento de dados, sem que haja prejuízo no funcionamento das máquinas da sala. Nesse caso, o contexto do estudo foi no Laboratório de Tecnologias de Comunicação (LATEC), uma sala da universidade que possui computadores que funcionam como servidores dedicados. Os resultados do estudo mostram que há uma forte correlação entre temperatura externa a esses ambientes e o consumo de energia do condicionador de ar, e que elevar a

<sup>1</sup> <https://dashboard.smartcampus.ufcg.edu.br/>

temperatura interna proporcionou ganhos em consumo de energia de até 24% em relação à configuração inicial durante períodos mais frios do dia, como madrugada e manhã, sem prejudicar o funcionamento dos equipamentos da sala. Todavia, esse aumento não teve o mesmo impacto em períodos mais quentes, como tarde e noite.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A literatura existente mostra que soluções modernas para gerenciamento inteligente de recursos do ambiente estão sendo cada vez mais estudadas e adotadas nos últimos anos. Estas são baseadas em Internet das Coisas, através do monitoramento e desenvolvimento de sistemas de controle remoto de equipamentos, que se comunicam com sensores e atuadores por meio de redes sem fio. Com a evolução das capacidades computacionais nas últimas décadas, essas tecnologias estão sendo cada vez mais exploradas e começaram a ser implantadas em contexto universitário. Assim, foi consolidado o conceito de campus inteligente (Smart Campus), elaborado a partir da definição já existente de cidade inteligente (Smart City) [5].

No trabalho de Rocha et al [6], é apresentado um sistema de gerenciamento de ambiente, desenvolvido a partir da infraestrutura de sensores e câmeras do Smart Campus da UFRN. Esse sistema foi capaz de coletar dados de temperatura, umidade e presença de pessoas em espaços que possuem condicionadores de ar, com o objetivo de atuar para evitar que os aparelhos de refrigeração estejam ligados quando a sala monitorada não estiver sendo utilizada, de maneira automatizada.

De acordo com Wang et. al. apud Ni e Bai [7], é estimado que para cada aumento de 1 °C na temperatura na qual um condicionador de ar está operando, haja uma economia entre 4,3 e 9,8% em seu consumo de energia, porém o tempo de vida útil dos equipamentos presentes na sala pode ser drasticamente reduzido, caso estes estejam expostos a temperaturas ambiente muito elevadas. Isso acontece, pois suas CPUs podem facilmente chegar ao ponto de operar a temperaturas bem mais elevadas que o seu limiar recomendado.

Por fim, os resultados obtidos pelo estudo de Kindaichi et al [8] indicam que o consumo de energia do aparelho condicionador de ar em uma sala pode aumentar quando exposto a estações climáticas mais quentes.

## 3. METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida neste trabalho segue uma abordagem quantitativa com método experimental, com o objetivo de explicar a relevância de atuar sobre a temperatura de condicionadores de ar como mecanismo para gerar economia de energia em um ambiente de processamento de dados. Para isso usaremos como contexto o Smart Campus UFCG, mais especificamente, uma sala da universidade que possui equipamentos sensíveis à temperatura e deve ter refrigeração constante, como detalhado na subseção 3.1 deste documento. A infraestrutura de IoT fornecida pelo Smart Campus UFCG disponibiliza sensores que coletam dados de temperatura da sala e consumo de energia elétrica. Em particular, foram utilizados dados de dois tipos de sensores, ambos fabricados pela empresa chinesa *Sonoff*<sup>2</sup>, especializada na produção de

equipamentos de automação industrial e residencial: *Sonoff Pow R2*, um atuador e medidor de energia, e *Sonoff TH16*, atuador e medidor de temperatura e umidade.

O trabalho foi dividido em duas etapas, o primeiro estudo foi uma análise descritiva a partir dos dados do histórico de consumo de energia do condicionador de ar da sala. Em seguida, foi feito um segundo estudo a partir de experimentos, no qual foram criados alguns cenários com variação manual da temperatura na qual opera o condicionador de ar, com o objetivo de identificar oportunidades de redução de consumo, de maneira que não seja prejudicado o funcionamento das máquinas existentes na sala. Ambos os estudos estão detalhados nas subseções 3.2 e 3.3.

Os artefatos gerados para as análises feitas nesse trabalho podem ser acessados a partir de um repositório no *GitHub*<sup>3</sup>.

### 3.1. O ambiente

O ambiente escolhido para a realização das análises foi o Laboratório de Tecnologias de Comunicação (LATEC), uma sala que possui similaridades com um ambiente de processamento de dados, por possuir máquinas que rodam serviços dedicados e, por causa disso, requer refrigeração a partir de condicionadores de ar em tempo integral. Apesar dessas características, a sala representa um ambiente de processamento de dados de pequeno porte, mas é o cenário mais propício para se realizar o estudo na UFCG. A sala possui dois computadores para o processamento de seus serviços, com as seguintes especificações:

- Máquina 1: Intel Core i5 16GB de RAM e 1TB de Disco
- Máquina 2: Dell R310 Intel Xeon CPU X5550 @ 2.67GHz 48GB de RAM e 1TB de Disco

Essas máquinas consistem em servidores Linux de autenticação centralizada e de backup externo, respectivamente. O serviço que realiza o backup de dados na segunda máquina opera durante a madrugada entre às 2h e 7h. É importante ressaltar que ambos os computadores têm um limite recomendado para a temperatura que suas CPUs devem operar de até 80 °C. Este limiar foi obtido a partir de informações presentes nas pastas do diretório `/sys/class/hwmon` dos computadores, que contém informações a respeito da temperatura da CPU.

Além disso, existem outros desktops utilizados como estações de trabalho em projetos internos, porém durante o período das análises, todos estavam desligados, portanto, sem influência para análises de consumo do condicionador de ar.

Para a realização deste trabalho, foi necessário colher dados provenientes de sensores que capturam dados de temperatura interna e consumo do condicionador de ar do LATEC implantados no projeto Smart Campus UFCG. Esse projeto é uma aplicação do conceito de IoT dentro da universidade, para que sejam adotadas práticas que promovam uma gestão mais inteligente e eficiente da infraestrutura do campus.

### 3.2. Estudo 1: análise exploratória

Nesta primeira etapa, realizamos um estudo exploratório de dados de consumo de energia do condicionador de ar e temperatura interna do LATEC, com o objetivo de descrever o gasto energético da refrigeração do ambiente, assim como identificar possíveis fatores que influenciam esse consumo.

<sup>2</sup> <https://sonoff.tech/>

<sup>3</sup> <https://github.com/lucasmedeiros/tcc>

### 3.2.1. Questões de pesquisa

Buscando atingir esses objetivos, foram especificadas as seguintes questões de pesquisa:

- *QP1*: A temperatura interna se mantém estável durante todo o tempo?
- *QP2*: Qual o consumo médio de energia do condicionador de ar do LATEC?
- *QP3*: Existe alteração de consumo ao longo do dia? Se sim, existe correlação entre essa variação e a temperatura externa à sala?

### 3.2.2. Dados do estudo

Os dados de consumo do condicionador de ar são correspondentes ao período de junho a dezembro de 2021, e foram obtidos a partir de sensores do tipo *Sonoff Pow R2*, chamado de *PowLatec* ao decorrer dessa análise e foram baixados a partir do dashboard do Smart Campus, agrupados em formato CSV (do inglês *Comma Separated Values*, formato de arquivo padrão para trabalhar com dados). As informações provenientes desses dados são medições de energia (Potência Ativa, Tensão RMS e Corrente RMS) com granularidade de 1 hora. As colunas mais importantes do arquivo estão detalhadas na Tabela 1.

**Tabela 1: Colunas do arquivo CSV com dados de consumo obtidos pelo PowLatec.**

Coluna	Descrição
Data	Data e hora da medição, no formato DD/MM/AAAA, HH:MM:SS
potencia_total	Valor em watts (W) que o sensor indicou.

O consumo em kWh é obtido a partir da equação:  $consumo = (potencia * hora) / 1000$ .

Já os dados de temperatura interna do LATEC foram coletados pelo sensor de tipo *Sonoff TH16*, com dados do período de agosto de 2021 a dezembro de 2021, a partir de um script que se comunica com os sensores citados e produz um arquivo CSV com os dados, com granularidade de 1 minuto. As colunas mais importantes do arquivo estão detalhadas na Tabela 2.

**Tabela 2: Colunas do arquivo CSV com dados de temperatura interna.**

Coluna	Descrição
timestamp	Representação em Unix Timestamp <sup>4</sup> do momento exato em que foi registrada a medição.
temperature	Valor em °C que o sensor indicou no momento da medição.

A fim de padronizar os dados e manter todos em uma granularidade de 1 hora, foi feito um agrupamento nos dados de temperatura interna, de modo que a nova granularidade foi obtida a partir da média dos valores que registravam anteriormente.

Os dados climáticos da cidade de Campina Grande, como

<sup>4</sup> <https://www.unixtimestamp.com/>

precipitação, radiação, temperatura (°C), foram obtidos a partir de dados acessíveis publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)<sup>5</sup>, e coletados no período de junho de 2021 a novembro de 2021, também em CSV, com granularidade de 1 hora. As colunas mais importantes do arquivo estão detalhadas na Tabela 3.

**Tabela 3: Colunas do arquivo CSV com dados de temperatura da cidade de Campina Grande.**

Coluna	Descrição
data	Dia da medição, em formato DD/MM/AAAA
hora_utc	Horário do dia da medição, em formato HHMM UTC
temperatura_max_hora_ant	Valor máximo em °C da temperatura da cidade
temperatura_min_hora_ant	Valor mínimo em °C da temperatura da cidade

Como para cada horário registrado, tem dados de temperatura máxima e mínima, para determinar a temperatura externa no decorrer desta análise, foi feita uma média entre ambos os valores, gerando uma nova coluna chamada **temperatura**.

### 3.2.3. Análise

Antes de criar as visualizações e análises, foi necessário uma limpeza nos dados de consumo, pois foram observados alguns ruídos e valores extremos (*outliers*) que se destacaram dentre os demais dados. Essas observações foram ocasionadas por fatores como queda de energia em determinados momentos durante o período da análise, além de eventuais falhas de comunicação entre os sensores e o sistema responsável pela computação e gravação dos dados. Portanto, para análise de consumo, não consideramos casos em que os sensores registraram valores de potência exatamente iguais a zero, e nas sumarizações de consumo por médias, foi utilizada a média aparada em 25% para remoção de outliers restantes que pudessem influenciar no resultado.

A análise descritiva foi realizada com o objetivo de encontrar as principais métricas e estatísticas a partir dos dados coletados. Para isso, foram utilizados métodos conhecidos da estatística, como médias e desvios padrões, disponíveis nas bibliotecas base da ferramenta *RStudio*<sup>6</sup>, software utilizado para programação das visualizações e cálculos estatísticos presentes nas próximas seções. Também foram utilizadas outras bibliotecas da ferramenta, como a *Tidyverse*<sup>7</sup> para geração de visualizações e *Chemometrics*<sup>8</sup> para funções métricas como o desvio padrão aparado, que não estão disponíveis na biblioteca base da linguagem R.

Levando em consideração essas métricas, foram feitas sumarizações dos dados de consumo, temperatura interna do ambiente e temperatura externa: consumo total por mês, consumo total e médio diário, consumo e temperatura média

<sup>5</sup> <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos/>

<sup>6</sup> <https://www.rstudio.com/>

<sup>7</sup> <https://www.tidyverse.org/>

<sup>8</sup>

<https://cran.r-project.org/web/packages/chemometrics/index.html>

por horário do dia e seus intervalos de confiança. Com a disponibilidade dos sumários, foram gerados novos dados e gráficos em que foi possível identificar características do consumo de energia do condicionador de ar do LATEC. Por fim, foi feita uma análise de correlação entre as variáveis de consumo e temperatura externa da sala, devido à similaridade entre seus comportamentos.

### 3.3. Estudo 2: Experimentos

Após o estudo exploratório, foram realizados experimentos de atuação sobre a temperatura do condicionador de ar do LATEC. O principal objetivo foi analisar se a atuação foi relevante para diminuição do consumo sem interferir no bom funcionamento das máquinas nesse ambiente.

Antes da realização dos experimentos, a Máquina 1 precisou ser substituída devido a uma falha de hardware ocasionada por uma falta de energia no campus. A nova máquina teve as mesmas proporções e mesma tensão necessária para operar do computador defeituoso, a fim de manter o ambiente o mais similar possível ao da primeira análise. Nos experimentos, seguiremos chamando de Máquina 1.

#### 3.3.1. Questões de pesquisa

Para motivar a realização dos experimentos, foram especificadas as seguintes questões de pesquisa:

- *QP4*: O aumento da temperatura do condicionador de ar provoca diminuição no consumo de energia? Se sim, essa diminuição é relevante?
- *QP5*: É viável o aumento da temperatura do condicionador de ar sem que haja impacto negativo na temperatura da CPU das máquinas presentes no LATEC?

#### 3.3.2. Dados do estudo

Continuamos utilizando as mesmas infraestruturas de consumo, temperatura interna e temperatura externa que foram usadas no primeiro estudo, mas dessa vez coletamos os dados dos meses de fevereiro e março de 2022, período em que foram realizados os experimentos.

Além disso, usamos também dados de monitoramento das máquinas presentes no ambiente, como porcentagem de utilização de CPU e sua temperatura. Esses dados foram coletados por um script instalado em ambas as máquinas e correspondem ao período a partir de 7 de fevereiro de 2022 até 11 de março de 2022, também em formato CSV. A granularidade desses dados é de 5 minutos, e as principais colunas do arquivo estão detalhadas na Tabela 4.

**Tabela 4: Colunas do arquivo CSV com dados de porcentagem de utilização e temperatura da CPU das máquinas do LATEC.**

Coluna	Descrição
timestamp	Representação em Unix Timestamp do momento exato em que foi registrada a medição
temperature	Temperatura da CPU em °C
usage	Porcentagem de utilização da CPU (%)

A fim de padronizar os dados e manter todos em granularidade de 1 hora, foi feito um agrupamento nos dados

de temperatura e utilização de CPU das máquinas, de modo que a nova granularidade foi obtida a partir da média dos valores que registravam anteriormente.

#### 3.3.3. Cenários dos experimentos

Para essa segunda parte da pesquisa, foram elaborados cenários experimentais a partir da variação de características como temperatura interna (aumento na temperatura do condicionador de ar) e carga de utilização de CPU, a fim de simular situações de uso reais. Essa necessidade de aumento da carga de utilização da CPU foi reforçada por causa da substituição de uma das máquinas.

Os aumentos de temperatura do condicionador de ar foram feitos de maneira manual, de modo em que a sala fosse submetida a uma nova temperatura ambiente por pelo menos duas semanas. Nos cenários em que houve variações de carga de utilização de CPU, estas foram realizadas utilizando a ferramenta *stress-ng*<sup>9</sup> e seguiram o padrão de: pelo menos 8h por dia de estresse de maneira contínua ou em dois intervalos contínuos de 4h, a 30% ou 50% de utilização, a depender do monitoramento de temperatura da CPU, para que não ultrapasse o limiar de 80 °C.

A partir disso, foram coletados dados de consumo, temperatura interna, temperatura externa, temperatura e utilização de CPU das máquinas durante cinco cenários realizados um por semana, que serão detalhados nas subseções seguintes.

*3.3.3.1. Primeira semana.* A temperatura do condicionador de ar se manteve inalterada em relação à temperatura do estudo inicial (20 °C), a fim de se obter uma comparação com seus resultados e verificar se a substituição da máquina defeituosa não gerou impactos na análise.

*3.3.3.2. Segunda semana.* Aumento da temperatura do condicionador de ar para 23 °C e observação de efeitos em relação ao consumo.

*3.3.3.3. Terceira semana.* Manutenção da temperatura do condicionador de ar a 23 °C, com estresse de CPU, a fim de identificar alteração no consumo e na temperatura da CPU.

*3.3.3.4. Quarta semana.* Estresse de CPU, e aumento da temperatura do condicionador de ar para 25 °C.

*3.3.3.5. Quinta semana.* Manutenção da temperatura do condicionador de ar em 25 °C, sem estresse de CPU das máquinas.

#### 3.3.4. Análise

De maneira análoga ao primeiro estudo, antes de fazer visualizações e gráficos foi necessário fazer uma limpeza nos dados de consumo que mostraram valores de potência exatamente iguais a zero, e nas sumarizações que utilizaram médias, foi feita a média aparada em 25% para remoção de outliers restantes que pudessem causar influência no resultado.

A partir disso, foram feitas análises descritivas considerando a variação da temperatura ambiente provocada pelo aumento da temperatura do condicionador de ar durante as semanas. À medida em que a temperatura ambiente estava sendo elevada, foi importante monitorar os efeitos desse aumento na temperatura da CPU das máquinas, a fim de evitar danos. Nesse contexto, as variações de carga a partir do estresse

<sup>9</sup> <https://github.com/ColinIanKing/stress-ng>

foram úteis para simular casos em que a temperatura da CPU é elevada por tarefas que o próprio computador executa, independente da temperatura ambiente. Os métodos estatísticos e ferramentas utilizados na análise foram os mesmos do primeiro estudo.

#### 4. RESULTADOS

Nas subseções a seguir, serão apresentados os resultados obtidos nos estudos e análises realizados com base nas questões de pesquisa propostas.

##### 4.1. Estudo 1: análise exploratória

Com o objetivo de verificar a *QP1*, foi observado que no mês de julho a temperatura do condicionador de ar foi alterada de 16 °C para 20 °C, e assim se manteve estável durante os meses seguintes. Portanto, a média de temperatura ambiente da sala se manteve sempre entre 20 °C e 21 °C durante todo o período da análise. Portanto, não houve possibilidade de analisar a relação entre a temperatura interna e o consumo do condicionador de ar neste período.

Já em resposta à *QP2*, foi identificado um aumento progressivo de consumo do condicionador de ar entre os meses de julho a dezembro (ver Tabela 5). Todavia, o esperado era que o consumo tivesse se mantido constante durante o período, já que é necessário um resfriamento em tempo integral da sala, ela está sempre fechada, com temperatura ambiente constantemente entre 20 °C e 21 °C e não há trânsito de pessoas.

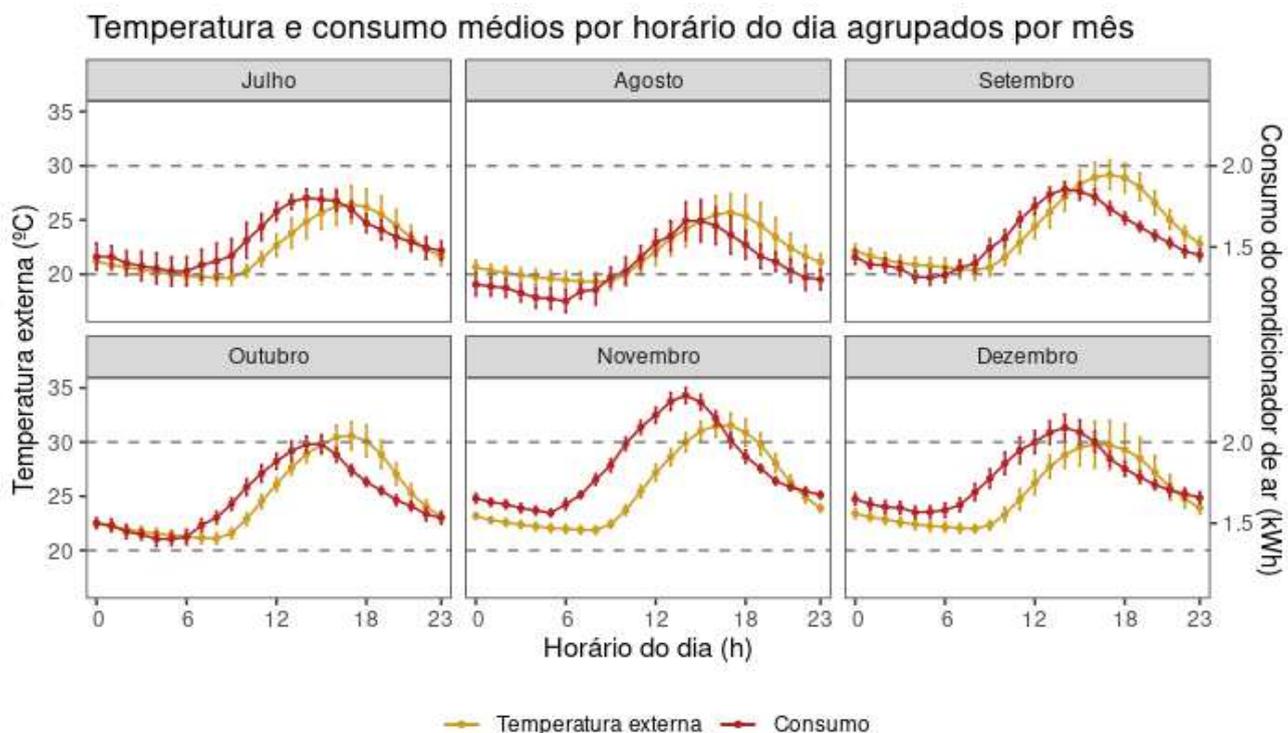
Vamos considerar a temperatura externa ao ambiente como a temperatura média da cidade de Campina Grande. A partir

disso, também foi identificado que os meses com menores médias de temperatura foram julho e agosto, com um aumento progressivo da média nos meses seguintes, de setembro a novembro, com uma leve queda em dezembro. A Tabela 5 mostra o aumento da temperatura ao passar dos meses, assim como a variação da temperatura externa.

**Tabela 5: Variação do consumo e da temperatura externa durante o período de julho a dezembro de 2021.**

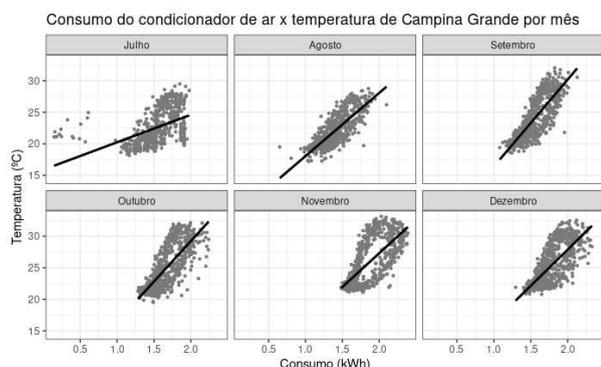
Mês (2021)	Consumo de energia (kWh)	Média do consumo diário de energia (kWh)	Média da temperatura externa (°C)
Julho	863,77	34,67 ± 3,33	22,38 ± 2,61
Agosto	972,40	32,39 ± 1,60	21,79 ± 2,53
Setembro	1045,65	36,97 ± 0,71	23,89 ± 3,27
Outubro	1143,71	39,24 ± 1,11	24,82 ± 3,47
Novembro	1268,72	44,04 ± 0,72	25,68 ± 3,58
Dezembro	1306,51	42,36 ± 1,08	25,19 ± 3,06

É possível observar uma variação de consumo e de temperatura externa ao longo dos meses. Para entender melhor essa variação e chegar à resposta da *QP3*, ilustramos na Figura 1 os dados agrupados por mês, com a média de consumo e de temperatura externa para cada horário do dia, em kWh e °C respectivamente.



**Figura 1: Gráfico com as médias de consumo do condicionador de ar e temperatura externa em cada horário do dia, agrupadas por mês.**

Ao observar as distribuições médias de consumo e temperatura externa por horário do dia, foi possível perceber que em horários em que a temperatura externa é mais amena, o consumo médio também foi menor, e este também varia de acordo com o quanto um mês é mais quente ou mais frio. Esse comportamento alertou para a possibilidade de existência de correlação entre essas duas variáveis. Partindo dessa premissa, foram gerados gráficos de dispersão com seus dados brutos para tentar visualizar a existência de uma relação, conforme a Figura 2.



**Figura 2: Gráfico de dispersão do consumo do condicionador de ar e de temperatura externa durante os seis meses de análise.**

A partir da dispersão, foi possível notar que as variáveis consumo e temperatura externa tendem a subir juntamente seus valores. A exceção foi no mês de julho, devido a existência dos outliers que influenciaram o gráfico, mas ainda é possível identificar uma tendência de correlação. Devido a isso, foi aplicada a fórmula de Pearson a fim de sabermos a força dessa relação identificada. Os coeficientes de correlação linear para cada mês podem ser visualizados na Tabela 6, e indicam uma correlação fraca em julho e forte nos meses seguintes.

**Tabela 6: coeficientes de correlação linear de Pearson para valores de consumo e temperatura externa para cada mês.**

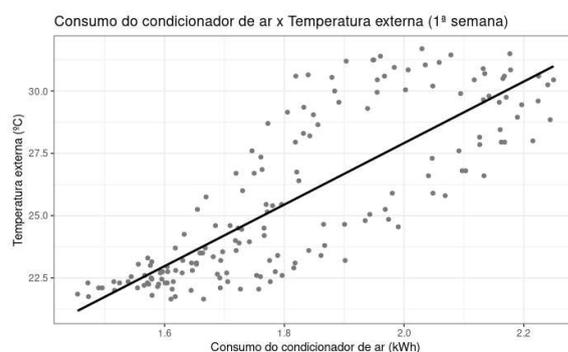
Mês (2021)	Coefficiente de Pearson para correlação entre consumo e temperatura externa	Classificação da correlação
Julho	0,47	Fraca
Agosto	0,8	Forte
Setembro	0,81	Forte
Outubro	0,78	Forte
Novembro	0,72	Forte
Dezembro	0,73	Forte

Dada a existência dessa correlação entre o consumo e a temperatura externa, quisemos quantificar a variação do

consumo durante determinados horários do dia em que se está mais quente ou mais frio. Para isso, classificamos como **madrugada** o período das 0h às 5h 59min, **manhã** o período das 6h às 11h 59min, **tarde** o período das 12h às 17h 59min e **noite** o período das 18h às 23h 59min. A partir disso, foi possível observar que o consumo do condicionador de ar durante a tarde (período do dia em que está mais quente) é, em média, 31% maior do que no período da madrugada (período em que é mais frio).

## 4.2. Estudo 2: Experimentos

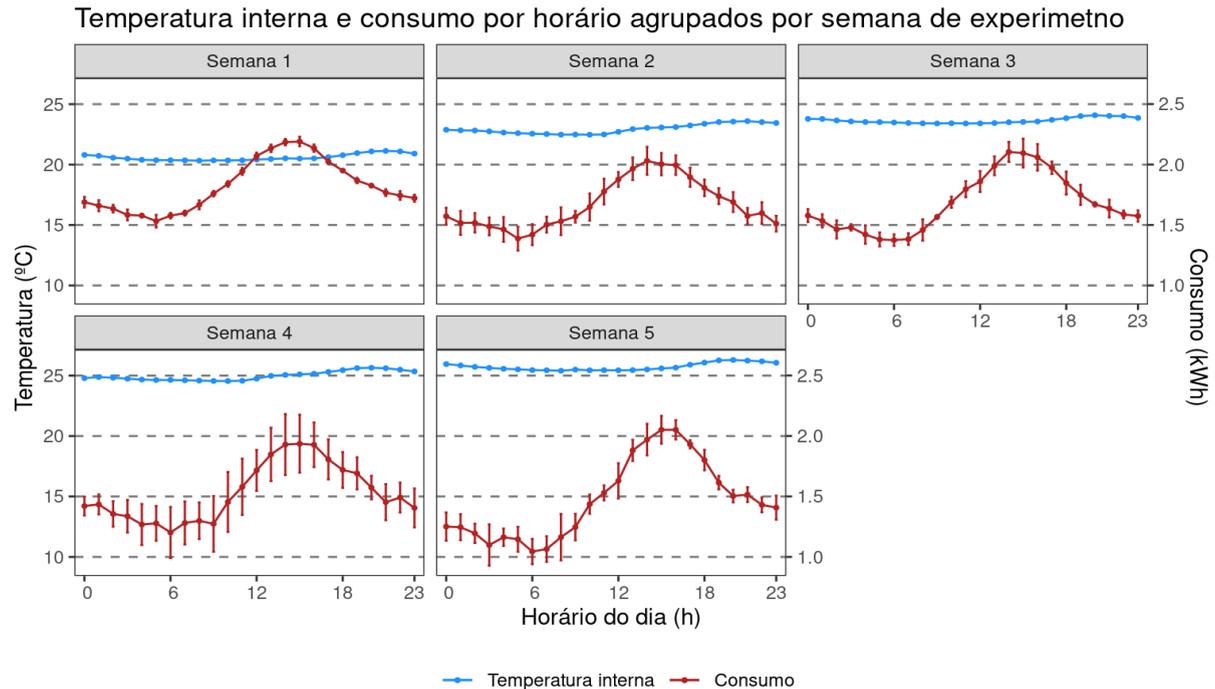
Durante a primeira semana de experimentos, a configuração de temperatura interna se manteve inalterada, com condicionador de ar operando a 20 °C e temperatura ambiente estável entre 20°C e 21 °C. Nesse cenário, os resultados obtidos foram similares aos que foram obtidos pelas análises descritivas iniciais (seção 4.1). O gráfico de dispersão entre os dados brutos das variáveis temperatura externa e consumo do condicionador de ar pode ser visualizado na Figura 3.



**Figura 3: Gráfico de dispersão do consumo do condicionador de ar e de temperatura externa durante a primeira semana de experimentos.**

O coeficiente de Pearson para a correlação linear continuou indicando uma forte relação, com valor igual a 0,74. Devido a isso, tivemos indícios de que o cenário inicial dos experimentos foi similar ao cenário da análise descritiva do primeiro estudo. A partir disso, pudemos realizar os experimentos a partir de variações da temperatura interna do ambiente e estresses de CPU das máquinas.

Seguindo as especificações dos cenários especificadas na seção 3.3.3, a Figura 4 ilustra o comportamento do consumo do condicionador de ar quando foi variada a temperatura de operação do aparelho de refrigeração.



**Figura 4: Gráficos com as médias de consumo do condicionador de ar e temperatura interna do LATEC em cada horário por dia, agrupado por semana de experimento.**

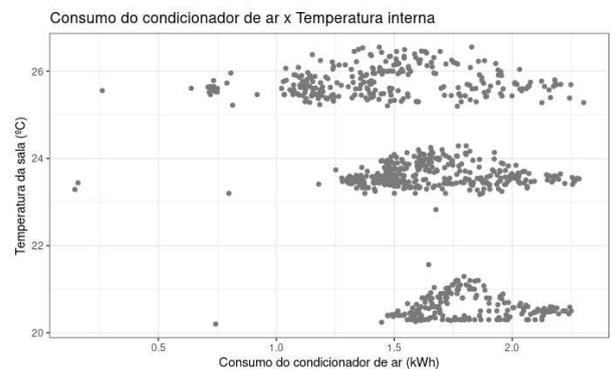
Vamos utilizar a mesma classificação de períodos do dia (madrugada, manhã, tarde e noite) definida na seção anterior. Ao observar as distribuições médias de consumo e temperatura interna por horário do dia, foi possível notar que o aumento da temperatura do condicionador de ar teve menor impacto no período da tarde, porém o impacto se torna mais significativo em períodos do dia em que a temperatura externa é mais amena. A Tabela 7 mostra o ganho percentual médio de consumo que esse aumento teve em cada um dos momentos do dia, em relação à configuração inicial de condicionador de ar operando a 20 °C.

**Tabela 7: Ganhos em relação ao consumo de energia do condicionador de ar em diferentes períodos do dia quando foi aumentada a sua temperatura de funcionamento.**

Período do dia	Ganho com condicionador de ar operando a 23 °C	Ganho com condicionador de ar operando a 25 °C
Madrugada	8,33% menos consumo	21% menos consumo
Manhã	10% menos consumo	24% menos consumo
Tarde	7% menos consumo	10% menos consumo
Noite	8,29% menos consumo	15% menos consumo

Como esse ganho em determinados períodos do dia foi percebido, fizemos a dispersão dos dados brutos de temperatura interna e consumo (Figura 5), com a finalidade de

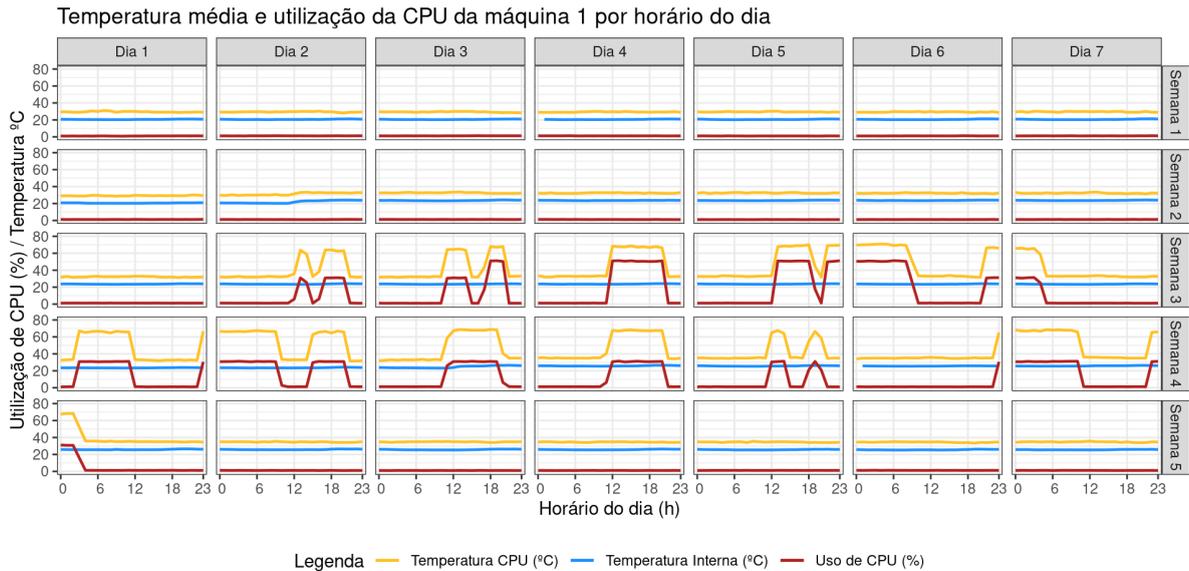
tentar identificar visualmente uma correlação entre ambas as variáveis.



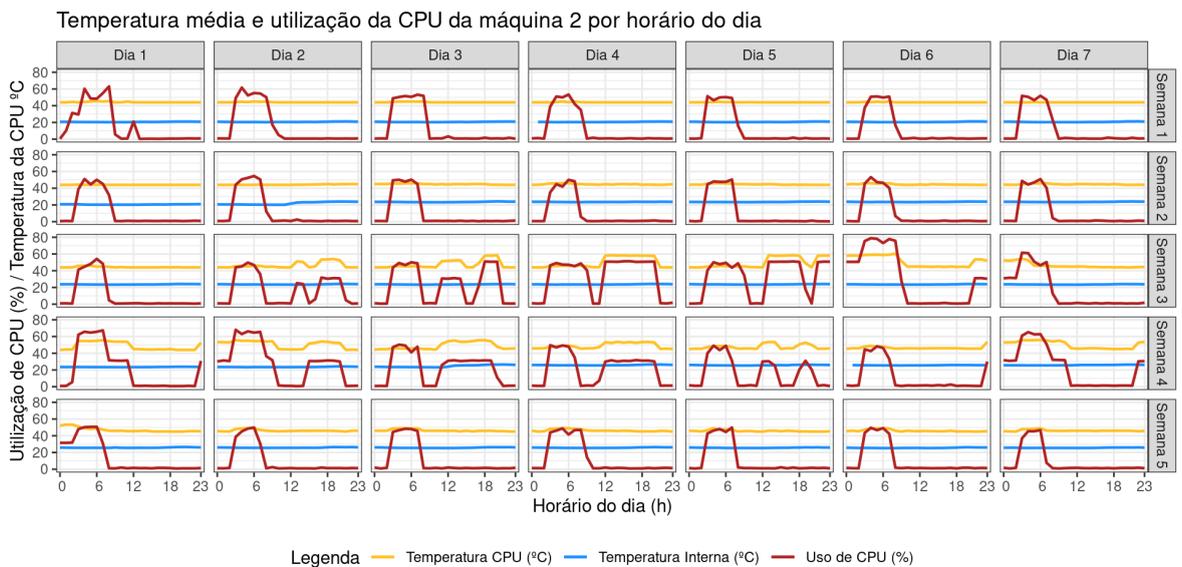
**Figura 5: Gráfico de dispersão do consumo do condicionador de ar e temperatura interna do ambiente do LATEC.**

A dispersão dos dados não mostrou uma tendência clara de correlação entre o consumo do condicionador de ar e a temperatura interna do LATEC. O cálculo do coeficiente de Pearson tem como resultado o valor -0,40, que indica uma correlação fraca negativa. Portanto, em resposta à QP4, mesmo com uma dependência pequena entre as duas variáveis analisadas, aumentar a temperatura do condicionador de ar proporcionou bons ganhos em relação ao consumo de energia, principalmente durante os períodos da madrugada e manhã.

Para analisar se o aumento da temperatura ambiente causou algum prejuízo no funcionamento das máquinas presentes no LATEC, monitoramos o comportamento de porcentagem de uso e temperatura da CPU. Esses comportamentos estão ilustrados nas figuras 6 e 7.



**Figura 6:** Gráfico que ilustra a variação da temperatura e porcentagem de uso da CPU da Máquina 1, juntamente com a variação da temperatura interna.



**Figura 7:** Gráfico que ilustra a variação da temperatura e porcentagem de uso da CPU da Máquina 2, juntamente com a variação da temperatura interna.

A variação da temperatura da CPU em ambas as máquinas, quando alteramos a temperatura do condicionador de ar sem ocasionar estresse de CPU, foi bem pequena e um pouco mais perceptível na Máquina 1 do que na Máquina 2. O principal fator responsável por elevar a temperatura da CPU dos computadores foi o estresse contínuo ocorrido durante as semanas 3 e 4, com uma visualização mais nítida desse comportamento no gráfico da Máquina 1.

É notável que durante o período em que o serviço de backup roda na Máquina 2, pela madrugada, há uma elevação na média de utilização da CPU, mas sem influência direta na temperatura da CPU, diferentemente dos momentos em que há estresse contínuo com mesma média de utilização. Esse comportamento diferente nos dois momentos pode ter acontecido porque o estresse é feito de maneira contínua, ou seja, a CPU fica em constante utilização por um período de

tempo relevante. Durante o período de backup, apesar da média do uso ser parecida, é feito de maneira que a CPU consegue gerenciar melhor as prioridades dos processos que estão rodando no momento.

Ou seja, elevação da temperatura ambiente do LATEC não teve um impacto significativo na temperatura da CPU de ambos os computadores presentes na sala, e o fator que mais elevou a temperatura da CPU das máquinas 1 e 2 foi o estresse contínuo, mas em momento algum a temperatura de CPU de ambas as máquinas ultrapassou o limite recomendado de 80 °C, mesmo em uma configuração de temperatura ambiente entre 25 °C e 26 °C. Portanto, em resposta à QP5, o mecanismo de elevar a temperatura do condicionador de ar para gerar economia de energia no LATEC é viável e não prejudicou o funcionamento dos equipamentos lá presentes durante o período dos experimentos.

## 5. LIMITAÇÕES E AMEAÇAS À VALIDADE

Para consolidar os resultados da análise descritiva e dos experimentos, é importante que haja repetição do estudo durante um período de tempo maior e em um ambiente de processamento de dados de maior porte, por exemplo, um datacenter com máquinas que operam serviços mais críticos. E a depender da característica e do tipo de informação processada pelo datacenter, também pode ser interessante observar se o aumento da temperatura do condicionador de ar tem impacto em outros componentes eletrônicos dos computadores presentes no ambiente, por exemplo, placa de vídeo ou memória RAM.

Além disso, a pane ocorrida em uma das máquinas provocou alteração do ambiente do Estudo 2, o que pode ter influenciado na análise em relação aos experimentos do Estudo 1, nos mesmos cenários. O tempo de observação de uma semana no início dos experimentos pode não ter sido suficiente para garantir que ambas as configurações estavam de fato similares.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das limitações citadas na seção anterior, é possível considerar os resultados dessa análise como bons indicadores de que é possível utilizar o aumento de temperatura de condicionadores de ar em determinados momentos do dia como um mecanismo relevante para proporcionar economia de energia em ambientes de processamento de dados.

Neste trabalho, todas as alterações de temperatura foram feitas de maneira manual, portanto é possível utilizar os resultados desse estudo para a criação de sistemas para automação, similares ao de Rocha et al [6], que serão responsáveis pelo aumento de temperatura do condicionador de ar do LATEC durante a madrugada e redução durante a tarde, de maneira automática. A longo prazo, isso pode proporcionar uma considerável economia de energia, especialmente em meses em que a temperatura externa for mais amena.

Por fim, este estudo pode guiar trabalhos similares em diferentes universidades brasileiras que possuem salas parecidas com o LATEC, ajudando a reduzir gastos em consumo de energia e melhor gerenciamento de recursos.

## REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Ministério da Economia. “Painel de Custeio”. 2021. Disponível em: <<https://paineldecusteio.planejamento.gov.br/custeio.htm>>. Acesso em: 24 de março de 2022.
- [2] LARA, Rodrigo. Ar-condicionado aumenta muito a conta de luz; veja se vale a pena para você. Uol, São Paulo, 01 de outubro de 2020. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2020/10/01/ar-condicionado-aumenta-muito-a-conta-de-luz-veja-se-vale-a-pena-para-voce.htm>>. Acesso em: 24 de março de 2022.
- [3] MALAR, João Pedro. Crise energética deve aliviar em 2022, mas espaço para queda em contas é pequeno. CNN, São Paulo, 31 de dezembro de 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/crise-energetica-deve-aliviar-em-2022-mas-espaco-para-queda-em-contas-e-pequeno/>>. Acesso em: 24 de março de 2022.
- [4] ASCOM UFCG. “UFCG cria o Smart Campus”. 2019. Disponível em: <<https://portal.ufcg.edu.br/ultimas-noticias/878-ufcg-cria-o-smart-campus.html>>. Acesso em: 24 de março de 2022.
- [5] FORTES, Sergio, et al. “The Campus as a Smart City: university of máлага environmental, learning, and research approaches”. Sensors, [S.L.], v. 19, n. 6, p. 1349, 18 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s19061349>.
- [6] ROCHA, Felipe, et al. “Energy Efficiency in Smart Buildings: An IoT-Based Air Conditioning Control System”. Internet of Things. A Confluence of Many Disciplines, organizado por Augusto Casaca et al., vol. 574, Springer International Publishing, 2020, p. 21–35. DOI.org (Crossref), [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43605-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43605-6_2).
- [7] NI, Jiacheng; BAI, Xuelian. “A review of air conditioning energy performance in data centers”. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 67, p. 625-640, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.050>.
- [8] KINDAICHI, Sayaka, et al. “Analysis of energy consumption of room air conditioners: an approach using individual operation data from field measurements”. Applied Thermal Engineering, [S.L.], v. 112, p. 7-14, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.017>.