

MVP

ANÁLISE DE PERFORMANCE E EFICIÊNCIA DE CHILLER

ENGENHARIA DE DADOS

**PONTÍFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE
JANEIRO – PUC RIO**

ALUNOS:

FELIPE CASTRO FERNANDES

PAULO HENRIQUE DE SOUZA RIBEIRO

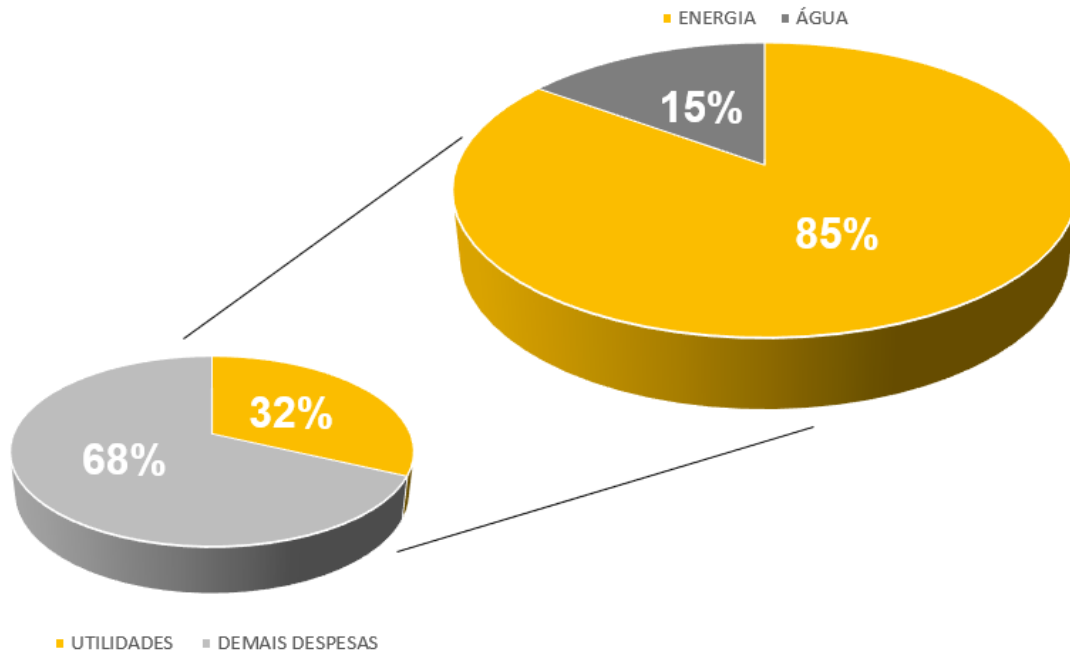
1. INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os países com a energia elétrica mais cara do mundo, ocupando a sexta posição no ranking global. Segundo um levantamento da Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN), realizado em 2018, o custo da energia no país é 46% superior à média internacional. Esse cenário representa um grande desafio para a competitividade da indústria nacional e impõe impactos significativos também ao setor de real estate, especialmente em empreendimentos comerciais de grande porte.

Em edifícios comerciais, os sistemas de climatização são responsáveis por uma parcela expressiva do consumo energético. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), o ar-condicionado pode representar até 60% da demanda total de eletricidade nesses empreendimentos. Isso torna os sistemas de refrigeração não apenas um item essencial para o conforto térmico dos usuários, mas também um dos principais vilões do ponto de vista financeiro e ambiental.

O consumo energético associado aos chillers — equipamentos responsáveis pela refrigeração de grandes volumes de água para sistemas de ar-condicionado — representa um dos maiores custos operacionais em centros comerciais, como shopping centers. Dessa forma, a análise da performance e eficiência desses equipamentos é fundamental para garantir uma operação mais sustentável e economicamente viável. Identificar desvios em relação às especificações técnicas do fabricante e entender seus impactos no consumo são passos essenciais para propor melhorias que otimizem o desempenho energético e reduzam despesas recorrentes.

Neste estudo, focamos a análise de operação de chillers instalados em um shopping center localizado no bairro de Botafogo, no Rio de Janeiro, durante um período de 90 dias. Dentro do contexto deste empreendimento, o consumo de utilidades corresponde a 35% dos gastos condominiais, sendo que 85% desse montante se refere exclusivamente ao consumo de energia elétrica, enquanto os 15% restantes estão ligados ao consumo de água. Esses dados evidenciam a relevância estratégica da gestão energética eficiente para a sustentabilidade financeira da operação — conforme ilustrado no gráfico a seguir.



2. OBJETIVO

Este projeto tem como foco a análise da operação de chillers instalados em um shopping center no Rio de Janeiro ao longo de um período de 90 dias. O objetivo principal é avaliar o desempenho desses equipamentos e compará-los com os parâmetros estabelecidos na folha de seleção do fabricante. A partir dessa comparação, será possível identificar eventuais desvios na operação, compreender seus impactos no consumo energético e propor medidas corretivas para aumentar a eficiência e reduzir custos operacionais.

Para alcançar esse objetivo, este estudo busca responder às seguintes perguntas:

- Os chillers estão operando dentro dos limites de performance projetados pelo fabricante?
- Quais são os principais fatores que impactam a eficiência energética desses equipamentos?
- Há desvios significativos no consumo energético em comparação com os valores de referência?
- Quais estratégias podem ser implementadas para otimizar a performance dos chillers e reduzir desperdícios?

3. METODOLOGIA

Com as perguntas-chave definidas, o próximo passo foi a obtenção dos dados necessários para a análise. Para isso, foram consultados catálogos e manuais técnicos dos fabricantes, além da realização de pesquisas bibliográficas sobre eficiência energética e consumo de equipamentos de refrigeração em empreendimentos comerciais.

A coleta de dados foi realizada em tempo real por meio de um sistema de automação, garantindo maior precisão na análise. A abordagem adotada é predominantemente quantitativa, uma vez que os principais parâmetros analisados — como consumo energético, potência e eficiência operacional — são expressos em valores numéricos. O processo envolveu a coleta, modelagem e tratamento desses dados para compará-los com as especificações do fabricante. Além disso, foram consideradas variáveis externas que influenciam o desempenho dos chillers, como condições ambientais, e padrões de operação.

Para o desenvolvimento das etapas do estudo, utilizaremos a plataforma **Databricks Community Edition**, uma versão gratuita do Databricks que permitirá a manipulação, análise e visualização dos dados coletados.

O estudo foi realizado ao longo de 90 dias no shopping center localizado no Rio de Janeiro, permitindo uma análise contínua da operação dos chillers e a avaliação de seu desempenho em diferentes condições operacionais.

Ao final do estudo, será feita uma discussão sobre o atingimento dos objetivos inicialmente traçados, destacando quais perguntas puderam ser respondidas com os dados obtidos e quais pontos exigem aprofundamento em estudos futuros.

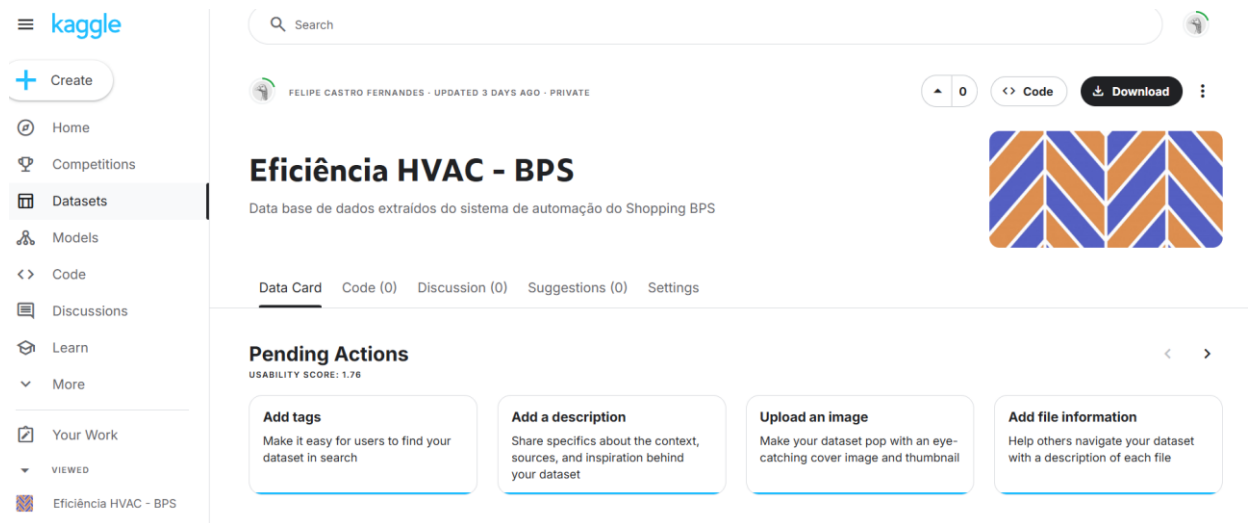
4. DETALHAMENTO

a) Busca pelos Dados

Os dados utilizados neste estudo foram coletados diretamente do sistema de automação predial de um shopping center localizado na cidade do Rio de Janeiro, ao longo de um período contínuo de 90 dias. A base contempla registros diários de consumo de energia elétrica (em kW) e carga térmica (em TR) de três chillers operando em um sistema real de HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning). Para viabilizar o desenvolvimento do projeto e facilitar o acesso às informações, os dados foram organizados e publicados na plataforma Kaggle, permitindo sua posterior utilização em análises exploratórias, modelagens e validação dos objetivos propostos.

Origem: Dataset criado e publicado no Kaggle

Link do dataset: <https://www.kaggle.com/datasets/felipecfernandes/eficincia-hvac-bps>



b) Coleta e Armazenamento em nuvem

Os dados são baixados diretamente do Kaggle para o ambiente Databricks utilizando o pacote **kaggle**.

```
# Instalação da biblioteca kaggle
%pip install kaggle

# Criação do arquivo de autenticação da API do Kaggle
import os
os.makedirs("/root/.kaggle", exist_ok=True)
with open("/root/.kaggle/kaggle.json", "w") as f:
    f.write('''{
  "username": "felipecfernandes",
  "key": "323320e7924b6c86ac48466b8657fba1"
}''')
os.chmod("/root/.kaggle/kaggle.json", 600)

# Download do dataset
!kaggle datasets download -d felipecfernandes/eficincia-hvac-bps -p /databricks/driver/

# Extração do arquivo .zip
!unzip -o /databricks/driver/eficincia-hvac-bps.zip -d /databricks/driver/

# Copiar para DBFS (Databricks File System)
dbutils.fs.cp("file:/databricks/driver/Eficiencia_HVAC.csv", "dbfs:/FileStore/Eficiencia_hvac.csv")
```

c) Modelagem de Dados

Foi adotado o modelo flat (Data Lake) com uma única tabela de catálogo de dados

contendo os registros diários de operação dos chillers. Na tabela abaixo:

Coluna	Tipo	Descrição	Valores Esperados
DATA	Date	Data da medição	01/01/2024 a 31/03/2024
kW_CHILLER1	Float	Consumo de energia do Chiller 1	0 a 270
TR_CHILLER1	Float	Carga térmica do Chiller 1	0 a 240
kW_CHILLER2	Float	Consumo de energia do Chiller 2	0 a 270
TR_CHILLER2	Float	Carga térmica do Chiller 2	0 a 240
kW_CHILLER3	Float	Consumo de energia do Chiller 3	0 a 270
TR_CHILLER3	Float	Carga térmica do Chiller 3	0 a 240
TEMP_EXTERNA	Float	Temperatura ambiente externa	10 a 38

NOTA: Nota: Os valores apresentados na tabela correspondem as indicações da folha de seleção do fabricante do equipamento. O arquivo pode ser consultado no notebook do GITHUB.

d) Carga de Dados

Todo o processo foi desenvolvido e executado no ambiente de notebooks da Databricks, que oferece uma interface interativa e integrada ao cluster Spark. A principal linguagem utilizada ao longo dessa etapa foi o Python, com apoio da biblioteca PySpark, que permite o processamento distribuído dos dados e a manipulação eficiente de grandes datasets em ambientes escaláveis.

A carga inicial consistiu na importação dos arquivos no formato CSV, contendo registros diários dos chillers. Esses arquivos foram lidos e convertidos em DataFrames PySpark, tratados e posteriormente salvos como tabelas gerenciadas Delta no metastore do Databricks.

É importante destacar que não houve necessidade de junção ou conciliação de diferentes

fontes de dados. Todo o conteúdo relevante já se encontrava consolidado em um único conjunto de dados, o que simplificou significativamente o processo de transformação.

As transformações realizadas foram voltadas principalmente para o enriquecimento das variáveis originais, como o cálculo da eficiência energética individual de cada chiller (relação entre carga térmica e consumo de energia), padronização dos tipos de dados, formatação de colunas temporais e validação de consistência entre os registros.

Essa abordagem direta e bem estruturada favoreceu a fluidez do pipeline de dados, permitindo que os dados estivessem prontos para análise de forma ágil e com integridade assegurada.

O link para acesso ao notebook do data briks pode ser consultado abaixo:

[NOTEBOOK DATABRIKS](#)

Leitura e Transformação

```
from pyspark.sql import functions as F

# Caminho DBFS do CSV copiado
csv_path = "dbfs:/FileStore/eficiencia_hvac.csv"

# Leitura correta com separador ";"
df = spark.read.csv(csv_path, header=True, inferSchema=True, sep=";")

# Conversão da coluna DATA para o tipo date
df = df.withColumn("DATA", F.to_date("DATA", "yyyy-MM-dd"))

# Adicionar coluna "month" para análises mensais
df = df.withColumn("month", F.date_format("DATA", "yyyy-MM"))

# Calcular eficiência energética (kW/TR) para cada chiller
df = df.withColumn("EF_CHILLER1", F.round(df["kW_CHILLER1"] / df["TR_CHILLER1"], 2))
df = df.withColumn("EF_CHILLER2", F.round(df["kW_CHILLER2"] / df["TR_CHILLER2"], 2))
df = df.withColumn("EF_CHILLER3", F.round(df["kW_CHILLER3"] / df["TR_CHILLER3"], 2))

df.display()
```

Carga de Dados

```
# Criação do schema (banco de dados)
spark.sql("CREATE DATABASE IF NOT EXISTS Banco_de_dados_eficiencia")

# Salvar a tabela transformada
df.write.mode("overwrite").format("delta").saveAsTable("Banco_de_dados_eficiencia.eficiencia_HVAC_Transformada")

# Criar tabela resumo com eficiência média mensal (kW/TR)
media_kw_tr = df.groupBy("month").agg(
    F.round(F.avg("EF_CHILLER1"), 2).alias("KW_TR_Medio_Chiller1"),
    F.round(F.avg("EF_CHILLER2"), 2).alias("KW_TR_Medio_Chiller2"),
    F.round(F.avg("EF_CHILLER3"), 2).alias("KW_TR_Medio_Chiller3")
)

# Grava a tabela resumo
media_kw_tr.write.mode("overwrite").format("delta").saveAsTable("Banco_de_dados_eficiencia.KW_TR_Media_Por_Mes")
```

Baixando as tabelas do banco de dados e exportando em CSV para análise no Power BI

```
from pyspark.sql import SparkSession

# Inicializa sessão Spark
spark = SparkSession.builder.getOrCreate()

# Nome da tabela que você quer exportar
tabela = "Banco_de_dados_eficiencia.eficiencia_hvac_transformada"

# Carrega a tabela para um DataFrame
df = spark.table(tabela)

# Caminho onde os arquivos serão salvos
path_tmp = "/tmp/eficiencia_hvac_transformada_csv"
path_final = "/FileStore/eficiencia_hvac_transformada"

# Remove diretórios anteriores (se existirem)
dbutils.fs.rm(f"dbfs:{path_tmp}", True)
dbutils.fs.rm(f"dbfs:{path_final}", True)

# Salva o CSV temporário
df.coalesce(1).write.mode("overwrite").option("header", True).csv(f"dbfs:{path_tmp}")

# Move o CSV para FileStore
files = dbutils.fs.ls(f"dbfs:{path_tmp}")
csv_file = [f.path for f in files if f.name.endswith(".csv")][0] # localiza o CSV

# Move para o FileStore com nome fixo
dbutils.fs.cp(csv_file, f"dbfs:{path_final}.csv")

print("✅ CSV exportado com sucesso!")

# Link de download
displayHTML(f'''
<a href="https://community.cloud.databricks.com/files/eficiencia_hvac_transformada.csv" target="_blank">
  📄 Clique aqui para baixar o CSV
</a>
''')
```



```

from pyspark.sql import SparkSession

# Inicializa sessão Spark
spark = SparkSession.builder.getOrCreate()

# Nome da tabela que você quer exportar
tabela = "banco_de_dados_eficiencia.kw_tr_media_por_mes"

# Carrega a tabela em um DataFrame
df = spark.table(tabela)

# Caminhos temporário e final
path_tmp = "/tmp/kw_tr_media_por_mes_csv"
path_final = "/FileStore/kw_tr_media_por_mes"

# Remove diretórios anteriores, se existirem
dbutils.fs.rm(f"dbfs:{path_tmp}", True)
dbutils.fs.rm(f"dbfs:{path_final}.csv", True)

# Salva CSV no diretório temporário
df.coalesce(1).write.mode("overwrite").option("header", True).csv(f"dbfs:{path_tmp}")

# Identifica o arquivo .csv gerado
files = dbutils.fs.ls(f"dbfs:{path_tmp}")
csv_file = [f.path for f in files if f.name.endswith(".csv")][0]

# Move o arquivo .csv para o FileStore
dbutils.fs.cp(csv_file, f"dbfs:{path_final}.csv")

print("✅ CSV exportado com sucesso!")

# Link de download
displayHTML(f'''
<a href="https://community.cloud.databricks.com/files/kw_tr_media_por_mes.csv" target="_blank">
  🔗 Clique aqui para baixar o CSV kw_tr_media_por_mes
</a>
''')

```

a) Análise de Dados

a. Qualidade de dados

Os dados utilizados nesta análise foram extraídos da plataforma Databricks, em formato CSV, após passarem por etapas prévias de tratamento descritas nos códigos acima. O objetivo dessa preparação foi viabilizar a posterior integração com o Power BI, facilitando a criação de dashboards interativos e análises visuais.

Durante o processo de limpeza e padronização, foram identificados alguns problemas recorrentes na base de dados. Entre eles, destacam-se registros em branco, os quais foram interpretados como falhas de leitura ou momentos em que os equipamentos estavam desligados. Esses valores foram

devidamente tratados ou desconsiderados, a fim de evitar distorções nas análises.

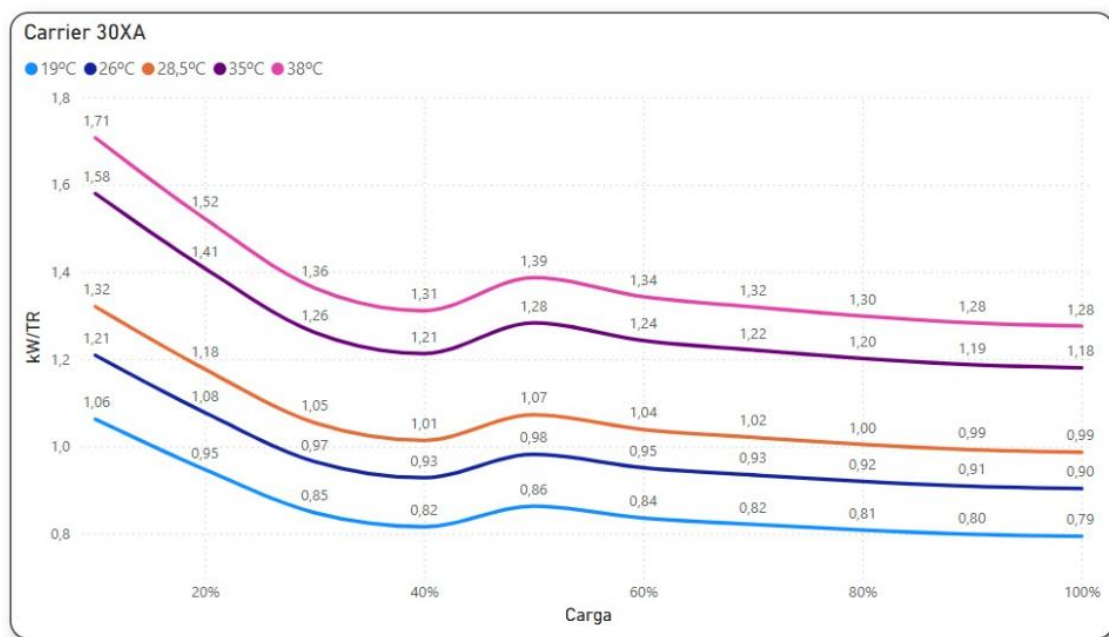
Outro ponto relevante foi a presença de leituras atípicas, geralmente associadas a eventos de acionamento rápido dos chillers. Em situações onde os equipamentos ligam e desligam em intervalos muito curtos, a medição da potência elétrica (kW) tende a registrar picos elevados, enquanto a geração de frio, representada pela carga térmica em TR (Tonelada de Refrigeração), permanece baixa. Essa combinação gera índices de desempenho incoerentes, que impactam negativamente a média geral da eficiência operacional. Essas anomalias foram identificadas e tratadas com critério, visando preservar a consistência e a qualidade da base para as análises exploratórias e comparativas realizadas posteriormente no Power BI.

b. Solução de Problemas

a. Os chillers estão operando dentro dos limites de performance projetados pelo fabricante?

Para a análise da performance dos equipamentos avaliados neste estudo, foi utilizada como referência a curva de performance fornecida pelo fabricante dos chillers. Esse material de apoio está disponível no repositório do projeto, no pipeline publicado no GitHub.

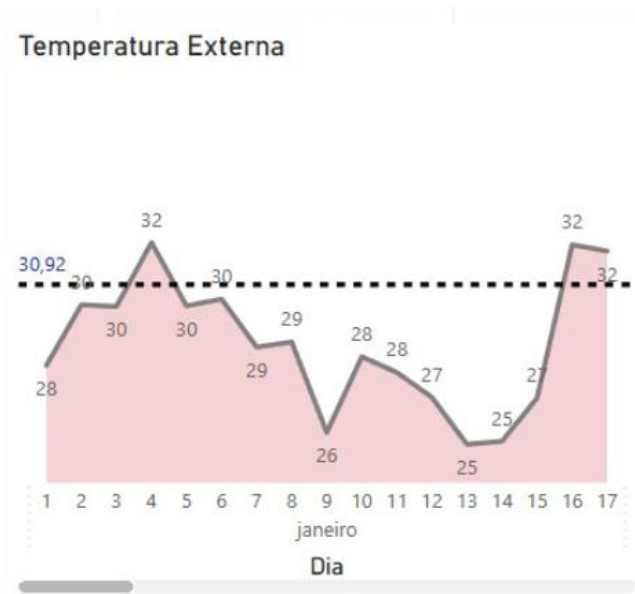
A seguir, é apresentado um gráfico que representa a curva de desempenho dos equipamentos com base na relação entre eficiência energética (medida em kW/TR), percentual de carga e temperatura externa. Essa combinação de variáveis permite visualizar os pontos de operação em que os chillers atingem seu melhor coeficiente de performance (COP), conforme especificado pelo fabricante.



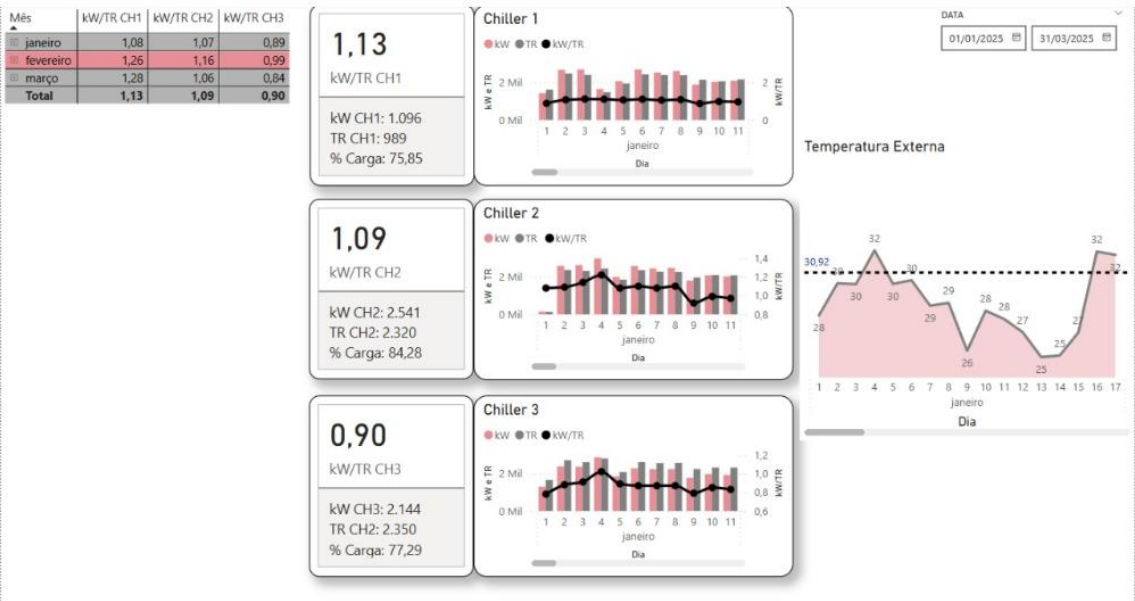
Essa curva serve como parâmetro de comparação para os dados reais coletados, possibilitando a identificação de desvios e oportunidades de otimização na operação dos equipamentos.

Todos os equipamentos foram analisados ao longo de um período contínuo de 90 dias, equivalentes a três meses de operação. Para a avaliação da eficiência energética dos chillers, foram considerados exclusivamente os intervalos em que os equipamentos estavam efetivamente em funcionamento, desconsiderando momentos de desligamento ou registros inconsistentes que pudessem comprometer a integridade da análise.

Além dos indicadores de eficiência, foi calculada a temperatura externa média registrada durante o mesmo período, a fim de contextualizar as condições operacionais dos chillers. Esses valores podem ser consultados no gráfico apresentado abaixo.



As médias de desempenho foram calculadas com base em dados reais coletados e posteriormente visualizados por meio de painéis desenvolvidos na plataforma Power BI.

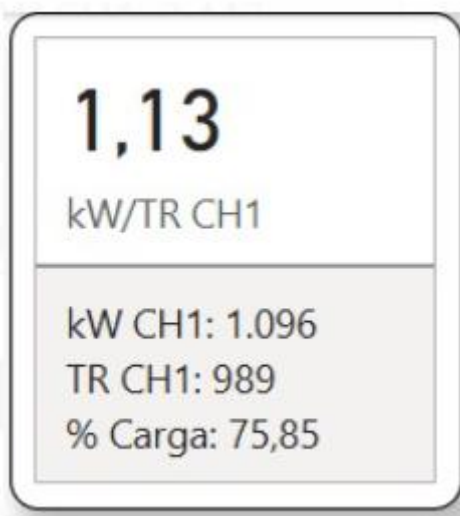


Cálculo da eficiência relativa

Para avaliar o ganho de eficiência, utilizamos a fórmula:

$$\text{Ganho de eficiência (\%)} = \left(\frac{\text{Esperado} - \text{Observado}}{\text{Esperado}} \right) \times 100$$

Desempenho do Chiller 1

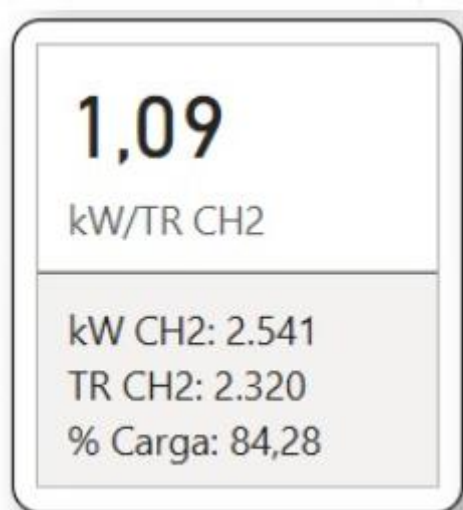


- Eficiência energética média observada: 1,13 kW/TR
- Eficiência energética esperada (fabricante): 1,10 kW/TR
- Percentual médio de carga: 75,85%
- Temperatura externa média: 30,92 °C

$$\left(\frac{1,10 - 1,13}{1,10} \right) \times 100 = (-0,027) \times 100 = -2,73\%$$

O Chiller 1 operou, em média, 2,73% menos eficiente do que o valor esperado pelo fabricante. Apesar de estar próximo do ideal, o equipamento apresentou um leve consumo superior ao projetado, mesmo operando com uma carga média de 75,85% e sob temperatura externa de 30,92 °C.

Desempenho do Chiller 2

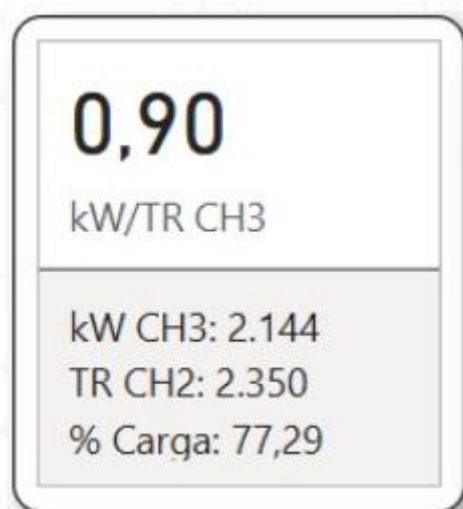


- Eficiência energética média observada: 1,09 kW/TR
- Eficiência energética esperada (fabricante): 1,15 kW/TR
- Percentual médio de carga: 84,28%
- Temperatura externa média: 30,92 °C

$$\left(\frac{1,15 - 1,09}{1,15} \right) \times 100 = 5,22\%$$

O Chiller 2 apresentou um desempenho 5,22% mais eficiente do que o especificado em sua curva de performance. Esse resultado indica uma operação muito satisfatória, mesmo com uma alta carga média de 84,28% e sob as mesmas condições ambientais dos demais equipamentos.

Desempenho do Chiller 3



- Eficiência energética média observada: 0,9 kW/TR
- Eficiência energética esperada (fabricante): 1,08 kW/TR
- Percentual médio de carga: 77,29%
- Temperatura externa média: 30,92 °C

$$\left(\frac{1,08 - 0,90}{1,08} \right) \times 100 = 16,67\%$$

O Chiller 3 foi o equipamento com melhor desempenho relativo, operando 16,67% mais eficiente do que o valor estimado pelo fabricante. Mesmo com uma carga média de 77,29%, ele demonstrou excelente performance, destacando-se como o chiller mais eficiente do sistema durante o período analisado.

Chiller	Eficiência Observada	Eficiência Esperada	Diferença (%)	Desempenho Relativo
Chiller 1	1,13 kW/TR	1,10 kW/TR	-2,73%	Abaixo do esperado
Chiller 2	1,09 kW/TR	1,15 kW/TR	+5,22%	Acima do esperado
Chiller 3	0,90 kW/TR	1,08 kW/TR	+16,67%	Excelente desempenho

Com base na comparação entre a eficiência energética observada e os valores de referência fornecidos pelo fabricante, podemos afirmar que dois dos três chillers estão operando dentro — e até acima — dos limites de performance projetados, enquanto apenas um deles apresentou desempenho abaixo do esperado.

b. Quais são os principais fatores que impactam a eficiência energética desses equipamentos?

Chillers operam de forma mais eficiente quando estão próximos de sua carga ideal de projeto. Cargas parciais muito baixas ou variações bruscas na demanda podem reduzir a eficiência, especialmente se o sistema não estiver bem calibrado para modular sua operação. No estudo, observou-se que o Chiller 1, com a menor carga média (75,85%), foi o único com desempenho inferior ao esperado, sugerindo que a carga parcial pode ter impactado negativamente sua performance.

A temperatura do ambiente externo influencia diretamente o funcionamento dos condensadores e o diferencial térmico do ciclo de refrigeração. Em temperaturas elevadas, como as registradas no estudo (média de **30,92 °C**), os equipamentos precisam trabalhar mais para dissipar calor, o que pode aumentar o consumo de energia. Ainda assim, os Chillers 2 e 3 mantiveram excelente desempenho mesmo sob essas condições, indicando bom dimensionamento e controle operacional.

Arranques frequentes e curtos períodos de operação (com ciclos rápidos de liga/desliga) prejudicam a eficiência, pois o chiller consome energia em picos sem entregar proporcionalmente

a carga térmica esperada. Esse fenômeno foi observado em registros atípicos durante o tratamento dos dados e pode explicar parte da variação de desempenho entre os equipamentos.

c. Há desvios significativos no consumo energético em comparação com os valores de referência?

Foram considerados os seguintes valores como base de cálculo:

Carga base: 240 TR

Tempo de operação: 90 dias \times 24 horas = 2.160 horas

Tarifa de energia elétrica: R\$ 0,90 por kWh

Fórmula utilizada:

$$\text{Energia desviada (kWh)} = (\text{Eficiência Observada} - \text{Eficiência Esperada}) \times \text{Carga Média (TR)} \times \text{Horas Totais}$$

$$\text{Impacto Financeiro (R\$)} = \text{Energia desviada (kWh)} \times 0,90$$

Chiller 1 – Desempenho abaixo do esperado

- Eficiência observada: 1,13 kW/TR
- Eficiência esperada: 1,10 kW/TR
- Diferença de eficiência: +0,03 kW/TR
- Carga média: $240 \times 75,85\% = 182,04$ TR

Energia desviada:

$$0,03 \times 182,04 \times 2.160 = 11.796,19 \text{ kWh}$$

Custo adicional:

$$11.796,19 \times 0,90 = \text{R\$ } 10.616,57$$

Chiller 2 – Desempenho acima do esperado

- Eficiência observada: 1,09 kW/TR
- Eficiência esperada: 1,15 kW/TR
- Diferença de eficiência: -0,06 kW/TR
- Carga média: $240 \times 84,28\% = 202,27$ TR

Energia economizada:

$$0,06 \times 202,27 \times 2.160 = 26.214,45 \text{ kWh}$$

Economia Financeira:

$$26.214,45 \times 0,90 = \text{R\$ } 23.593,01$$

Chiller 3 – Melhor desempenho do sistema

- Eficiência observada: 0,90 kW/TR
- Eficiência esperada: 1,08 kW/TR
- Diferença de eficiência: -0,18 kW/TR
- Carga média: $240 \times 77,29\% = 185,50$ TR

Energia economizada:

$$0,18 \times 185,50 \times 2.160 = 72.120,84 \text{ kWh}$$

Economia Financeira:

$$72.120,84 \times 0,90 = \text{R\$ } 64.908,76$$

Resumo Geral:

Chiller	Situação	Carga Média (TR)	Energia Desviada (kWh)	Impacto Financeiro (R\$)
Chiller 1	Desperdício	182,04	+11.796,19	- R\$ 10.616,57
Chiller 2	Economia	202,27	-26.214,45	+ R\$ 23.593,01
Chiller 3	Alta Economia	185,50	-72.120,84	+ R\$ 64.908,76

Sim, há desvios significativos no consumo energético quando comparamos os valores observados com os parâmetros de referência fornecidos pelo fabricante. Os dados analisados indicam que dois dos três chillers operaram com desempenho superior ao esperado, evidenciando ganhos de eficiência energética consideráveis. Por outro lado, um dos chillers apresentou consumo acima do previsto, o que aponta para um desvio negativo que pode estar associado a condições específicas de operação ou necessidade de ajustes técnicos.

Esses desvios, tanto positivos quanto negativos, são relevantes e impactam diretamente os custos operacionais do sistema, reforçando a importância do monitoramento contínuo e da comparação periódica com as curvas de performance estabelecidas pelo fabricante.

d. Quais estratégias podem ser implementadas para otimizar a performance dos chillers e reduzir desperdícios?

Sabendo que fatores externos, como a temperatura ambiente, influenciam diretamente no consumo dos chillers, é fundamental adotar estratégias que minimizem os impactos dessas variáveis e garantam o melhor desempenho possível dos equipamentos.

Uma das principais recomendações é manter a manutenção preventiva em dia, especialmente no que diz respeito à limpeza dos condensadores. Condensadores sujos dificultam a troca térmica, fazendo com que o chiller trabalhe mais para atingir a mesma capacidade de resfriamento, o que resulta em maior consumo energético.

5. AUTOAVALIAÇÃO

Ao final deste trabalho, considero que os principais objetivos definidos inicialmente foram atingidos com êxito. Foi possível realizar a coleta, tratamento, modelagem e análise de dados operacionais de chillers, comparando-os com os parâmetros de desempenho fornecidos pelo fabricante. A análise dos desvios de eficiência energética trouxe insights relevantes sobre o comportamento dos equipamentos e oportunidades reais de economia no sistema.

Durante a execução do projeto, enfrentei algumas dificuldades técnicas relacionadas à manipulação e estruturação dos dados, principalmente no início do trabalho com a plataforma Databricks e na organização dos arquivos em formato adequado. Também foi desafiador tratar registros inconsistentes e definir os critérios ideais para desconsiderar leituras inválidas, especialmente em situações de ciclos curtos de operação.

Como próximos passos, pretendo expandir este estudo com a implementação de análises preditivas para identificar padrões de ineficiência em tempo real, além de integrar novas fontes de dados, como consumo de água e temperatura da água gelada, para enriquecer ainda mais o diagnóstico. Também vejo oportunidade em aplicar técnicas de machine learning para prever falhas ou sugerir a melhor combinação de operação entre os chillers.

Este projeto representou um passo importante no meu portfólio, integrando conhecimentos de engenharia, análise de dados e eficiência energética com aplicação prática em um contexto real.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA. Eficiência energética ganha cada vez mais importância no setor de refrigeração – FEBRAVA. Disponível em < <https://abrava.com.br/eficiencia-energetica-ganha-cada-vez-mais-importancia-no-setor-de-refrigeracao-febrava/> > .