



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA INFRAESTRUTURA DO DATA CENTER DA UFMS

Rodrigo Santiago do Nascimento Lima

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA INFRAESTRUTURA DO DATA CENTER DA UFMS

RODRIGO SANTIAGO DO NASCIMENTO LIMA

Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração em Eficiência Energética.

Orientadora: Profa. Dra. Andréa Teresa Riccio Barbosa

CAMPO GRANDE
DEZEMBRO / 2025



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

**FOLHA DE APROVAÇÃO****RODRIGO SANTIAGO DO NASCIMENTO LIMA****ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA INFRAESTRUTURA DO DATA CENTER DA UFMS.**

Redação final do Trabalho de Conclusão de Curso, aprovada pela Banca Examinadora em **15 de dezembro de 2025** na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

Banca examinadora:

Dra. Andrea Teresa Riccio Barbosa (Interno)
Dra. Rocheli Carnaval Cavalcanti (Externo)
Me. Douglas Fellipe dos Santos (Externo)
Dr. Frederico Silva Moreira (Interno)
Dr. Jair de Jesus Fiorentino (Interno) (Suplente)
Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva (Interno) (Suplente)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Andrea Teresa Riccio Barbosa, Professora do Magistério Superior**, em 25/02/2026, às 17:04, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Frederico Silva Moreira, Professor do Magisterio Superior**, em 25/02/2026, às 17:16, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

26/02/2026, 19:09

SEI/UFMS - 6168657 - Formulário

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Douglas Fellipe dos Santos, Usuário Externo**, em 26/02/2026, às 13:56, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **ROCHELI CARNAVAL CAVALCANTI, Usuário Externo**, em 26/02/2026, às 15:56, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6168657** e o código CRC **CB14B565**.

FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.032267/2025-60

SEI nº 6168657

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, expresso minha profunda gratidão à minha família e aos meus amigos, que me apoiaram de forma incondicional em todos os momentos desta jornada, oferecendo incentivo, compreensão e força nos períodos mais desafiadores.

À Professora Andrea Riccio, minha orientadora, agradeço pelas valiosas orientações, pela confiança depositada em meu trabalho, pela paciência, dedicação e pelo acompanhamento atento em cada etapa do desenvolvimento desta pesquisa. Sua contribuição foi fundamental para a concretização deste estudo.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Agência de Tecnologia da Informação e Comunicação (AGETIC/UFMS), agradeço pelo suporte institucional e pelas condições oferecidas para a realização desta pesquisa.

Ao Técnico Danilo Mattos, amigo e colega de trabalho, manifesto meu sincero reconhecimento pelo auxílio prestado durante a etapa de investigação do consumo no ambiente de estudo, cuja colaboração foi de grande relevância para os resultados alcançados.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. A cada gesto de apoio e incentivo, deixo aqui meus mais sinceros agradecimentos por tornarem possível a concretização deste objetivo.

RESUMO

A quantidade massiva de dados processados diariamente no *Data Center* (DC) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) demanda um significativo armazenamento e processamento computacional para atender às diversas necessidades da instituição. Observa-se ainda que o aumento da demanda por serviços baseados na computação em nuvem e aplicações em grande escala tem ampliado ainda mais essa carga de trabalho. Diante desse cenário, um estudo de caso foi conduzido no *Data Center* local, com foco na melhoria da eficiência energética, garantindo a continuidade dos serviços e prevenindo possíveis danos aos equipamentos. Além dos desafios relacionados à qualidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica, que impactam diretamente nas operações do DC, cada expansão tecnológica da universidade demanda investimentos em novos equipamentos e gera uma maior demanda de energia. Nesse contexto, o presente trabalho propõe uma análise da infraestrutura do DC da UFMS, com objetivo de otimizar a eficiência energética do local, reduzindo o consumo de energia elétrica e identificando alternativas que promovam a melhoria das condições térmicas do ambiente. Para tanto, uma abordagem multidisciplinar foi adotada, utilizando métodos quantitativos para analisar as condições operacionais do DC. Isso inclui a caracterização de modelos ideais de ambiente de DC, definição de informações essenciais para manter as operações dos equipamentos de forma contínua e análise integrada das condições operacionais, térmicas e estruturais do ambiente. A pesquisa foi desenvolvida em etapas, incluindo o levantamento da potência demandada pelos equipamentos, visitas *in loco* e aplicação de *checklists*, medições e monitoramento da temperatura, análise da demanda elétrica e térmica, além da simulação utilizando a ferramenta CFD *CoolSim*. Como resultado, o trabalho não apenas quantificou o consumo energético do ambiente, mas também verificou que, em sua maior parte, o DC apresenta condições térmicas compatíveis com as recomendações da ASHRAE. Além disso, foram propostas melhorias baseadas na infraestrutura existente, com o objetivo de atender plenamente às exigências das normas técnicas do setor e de fortalecer práticas alinhadas à eficiência energética e à sustentabilidade em DC.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Infraestrutura em *Data Center*, Monitoramento, Simulação, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The massive amount of data processed daily in the Data Center (DC) of the Federal University of Mato Grosso do Sul (UFMS) requires significant storage and computational capacity to meet the institution's diverse needs. Additionally, the growing demand for cloud-based services and large-scale applications has further increased this workload. In this context, a case study was conducted in the local Data Center, focusing on improving energy efficiency, ensuring service continuity, and preventing potential equipment failures. Beyond the challenges related to the quality and continuity of electrical power supply, which directly affect DC operations, each technological expansion at the university requires investments in new equipment and leads to higher energy demand. Within this scenario, the present study proposes an analysis of the UFMS DC infrastructure aimed at optimizing energy efficiency, reducing electrical consumption, and identifying alternatives to improve the thermal conditions of the environment. To achieve this, a multidisciplinary approach was adopted, employing quantitative methods to examine the DC's operational conditions. This includes the characterization of ideal DC environmental models, the definition of essential information needed to ensure continuous equipment operation, and an integrated analysis of the operational, thermal, and structural conditions of the environment. The research was conducted in stages, including the survey of equipment power demand, on-site visits and checklist application, temperature measurements and monitoring, analysis of electrical and thermal demand, and simulation using the CFD CoolSim software. As a result, the study not only quantified the energy consumption of the environment but also verified that, for the most part, the DC presents thermal conditions consistent with ASHRAE recommendations. Additionally, improvement proposals were presented based on the existing infrastructure, with the aim of fully meeting the technical standards of the sector and strengthening practices aligned with energy efficiency and sustainability in DC.

Keywords: Energy efficiency, *Data Center* Infrastructure, Monitoring, Simulation, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fotografia capturada no <i>Data Center</i> da UFMS.	16
Figura 2. Configuração de corredores de circulação de ar quente e frio	19
Figura 3. Envelope das classes de diretrizes térmicas da ASHRAE.	28
Figura 4. Quantitativo de artigos após seleção, estudos sobre refrigeração de <i>Data Centers</i> nos últimos cinco anos.	43
Figura 5. Artigos sobre eficiência energética na refrigeração de <i>Data Centers</i> produzidos nos últimos cinco anos.....	43
Figura 6. Quantitativo de distribuição percentual das bases de dados utilizadas para pesquisa sobre eficiência energética na refrigeração de <i>Data Centers</i>	44
Figura 7. Planta esquemática do projeto do DC da UFMS	60
Figura 8. Fluxograma das etapas do processo de análise a serem desenvolvidas no DC.	60
Figura 9. Descrição das etapas do fluxograma do processo de análise do DC.	62
Figura 10. Alçapão instalados nos corredores quentes do DC.	87
Figura 11. Aberturas no forro de pvc, próximo ao climatizador, no corredor frio do DC.	88
Figura 12. Registro de início de desprendimento de forro e obstrução na grelha de saída do ar quente do DC.	88
Figura 13. Aberturas no forro aparentes no corredor frio do DC.....	89
Figura 14. Termostato eletrônico <i>Carrier EcoSplit</i> instalado próximo à unidade evaporadora, no corredor frio do DC.....	91
Figura 15. Unidades condensadoras e dutos da Carrier, com ventiladores e serpentinas, responsáveis pelo fornecimento de ar condicionado ao ambiente interno.	92
Figura 16. <i>Layout</i> interno dos <i>racks</i> e portas de acesso aos corredores quentes no DC da UFMS.	94
Figura 17. Disposição interna das grades de retorno do ar aquecido nos corredores quentes do DC.	96
Figura 18. Planta croqui dos corredores quente/frio e os pontos onde ficaram instalados os sensores.....	101

Figura 19. Instalação dos sensores HOBO nos <i>racks</i> de telecomunicações no DC.	102
Figura 20. Instalação dos sensores HOBO nos <i>racks</i> de servidores do DC.	103
Figura 21. Instalação dos sensores no corredor quente dos <i>racks</i> à direita no DC.	104
Figura 22. Câmera termográfica modelo TG165-X empregada para captura das imagens térmicas dos equipamentos instalados nos <i>racks</i> do DC.	116
Figura 23. Registro térmico do corredor frio.	117
Figura 24. Registro térmico dos resultados coletados no corredor quente à direita.	118
Figura 25. Registro térmico dos resultados coletados no corredor quente à esquerda.	118
Figura 26. Registro fotográfico da temperatura registrada nos <i>racks</i> do DC.	119
Figura 27. Captura da temperatura dos <i>racks</i> 1 e 2 dos servidores do DC.	121
Figura 28. Captura da temperatura dos <i>racks</i> 3 e 4 observados no corredor frio do DC.	122
Figura 29. Captura da temperatura do <i>rack</i> telecom no corredor frio do DC.	122
Figura 30. Captura da temperatura dos <i>racks</i> 6,7 e 8 do DC.	123
Figura 31. Captura da temperatura da saída do ar do climatizador do DC.	124
Figura 32. Captura da temperatura da entrada dos corredores quentes	125
Figura 33. Perfil de variação térmica do ambiente do DC, obtido pela câmera termográfica.	126
Figura 34. Confortímetro SENSU.	128
Figura 35. Confortímetro SENSU instalado no corredor frio do DC.	129
Figura 36. Variação da velocidade do ar registrada no confortímetro SENSU instalado no corredor frio do DC.	130
Figura 37. Luxímetro Digital Lux Meter MLM-1011 (Minipa) utilizado nas medições de iluminância (precisão $\pm 4\%$ na leitura).	131
Figura 38. Medições realizadas com o Luxímetro Digital Lux Meter MLM-1011 (Minipa) em nove pontos distribuídos pelo DC.	132
Figura 39. Simulação luminotécnica do ambiente do DC realizada por meio do software DIALux evo.	133

Figura 40. Simulação do ambiente do DC realizada por meio do software DIALux evo, em conformidade com os requisitos estabelecidos pela norma TIA-942.	134
Figura 41. Analisador de energia da FLUKE 434 série II - <i>Energy Analyzer</i> .	136
Figura 42. Instalação do analisador de energia da FLUKE 434 série II - <i>Energy Analyzer</i> no quadro geral (QG) de elétrica do DC.	137
Figura 43. Registro obtido por meio do analisador de energia (FLUKE 434 série II - <i>Energy Analyzer</i>) o comportamento das tensões no DC.	139
Figura 44. Comportamento das tensões de fase registradas pelo analisador de energia FLUKE 434 série II - <i>Energy Analyzer</i> em 8 de setembro de 2025.	140
Figura 45. Comportamento da corrente medida pelo analisador de energia da marca FLUKE 434 série II - <i>Energy Analyzer</i> no DC durante uma semana.	141
Figura 46. Comportamento da corrente medida pelo analisador de energia (marca FLUKE 434 série II - <i>Energy Analyzer</i>) no DC nos dias 9 e 10 de setembro de 2025.	141
Figura 47. Comportamento das Tensões de fase durante a medição realizada na data do dia 8/09/2025 pelo analisador de energia FLUKE 434 série II - <i>Energy Analyzer</i>	142
Figura 48. Medição da potência ativa (kW) demandada no DC, realizada com o analisador de energia FLUKE 434 Série II – <i>Energy Analyzer</i>	143
Figura 49. Registro fotográfico do painel de comando elétrico do <i>rack</i> no DC.	144
Figura 50. Resultado da medição da potência ativa (kW) realizada pelo FLUKE 434 Série II – <i>Energy Analyzer</i> do DC.	144
Figura 51. Resultado da coleta de dados da temperatura, umidade e ponto de orvalho do <i>rack</i> de telecomunicações pelo sensor APC NETBOTZ no período de 12 meses.	150
Figura 52. Variação da temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho registradas pelo sensor NETBOTZ no <i>rack</i> 2 (servidor), monitorada via Zabbix (out. 2024 - out. 2025).	152
Figura 53. Variação da temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho registradas pelo sensor NETBOTZ no <i>rack</i> 4 (servidor), monitorada via Zabbix (out. 2024 - out. 2025).	154

Figura 54. Variação da temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho registradas pelo sensor NETBOTZ no <i>rack</i> 1 (servidor), monitorada via Zabbix (out. 2024 - out. 2025).	156
Figura 55. Variação da temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho registradas pelo sensor NETBOTZ no <i>rack</i> 3 (servidor), monitorada via Zabbix (out. 2024 - out. 2025).	158
Figura 56. Variação da temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho registradas pelo sensor NETBOTZ do Sistema de refrigeração do DC, monitorado via Zabbix (out. 2024 - out. 2025).	160
Figura 57. Visualização em vista superior (<i>Top View</i>) do ambiente do DC da UFMS, apresentando o <i>layout</i> dos racks, a configuração dos corredores quente e frio e o sistema de dutos do ar de refrigeração.	163
Figura 58. Visualização em perspectiva 3D, na vista lateral, do ambiente do DC da UFMS, obtida por meio da ferramenta <i>CoolSim</i>	164
Figura 59. Visualização em perspectiva 3D, nas vistas frontal e superior, do ambiente do DC da UFMS, obtida por meio da ferramenta <i>CoolSim</i>	165
Figura 60. Representação da dinâmica das linhas de suprimento de ar no DC quando instalado uma demanda em torno de 11kW.	166
Figura 61. Simulação do comportamento das linhas de ar no duto do DC realizado pela ferramenta <i>CoolSim</i>	167

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Seleção de Critério: Inclusão e Exclusão.....	40
Quadro 2. Questionário da avaliação dos trabalhos.	44
Quadro 3. <i>Checklist</i> da infraestrutura verificada no <i>DC</i> da UFMS.....	78
Quadro 4. <i>Checklist</i> do isolamento térmico da infraestrutura do DC UFMS. ..	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação de DC em quatro níveis.	21
Tabela 2. Classificação das classes de diretrizes térmicas da ASHRAE.....	29
Tabela 3. População, Intervenção, Comparação, <i>Outcome</i> e Contexto (PICOC).	40
Tabela 4. Distribuição de artigos analisados por base de dados.	42
Tabela 5. Avaliação dos trabalhos aceitos, com estudos analisados sobre eficiência energética na refrigeração dos DC.....	45
Tabela 6. Síntese dos efeitos da aplicação da tecnologia CDEC em data centers, demonstrando a redução do consumo energético por meio do uso de fontes naturais de resfriamento.....	50
Tabela 7. Influência da temperatura operacional na eficiência energética do DC: o estudo mostra que operar a sala a temperaturas mais altas, dentro das recomendações da ASHRAE, reduz o consumo energético sem comprometer a refrigeração.	51
Tabela 8. O sistema modular de contenção de ar (MAC) otimiza a refrigeração em <i>data centers</i> , reduzindo o recirculamento e o desvio do ar frio e aumentando a eficiência energética.....	52
Tabela 9. Monitoramento inteligente em tempo real de parâmetros operacionais (temperatura e umidade), resultando em maior eficiência energética e sustentabilidade na operação de <i>data centers</i>	52
Tabela 10. Medidas de eficiência energética em data centers: modelo de refrigeração inteligente, aproveitamento do calor residual, geração parcial de energia fotovoltaica e consideração do impacto da infraestrutura na demanda de resfriamento.	53
Tabela 11. Síntese das ações de modernização em <i>data centers</i> : aplicação de contenção de ar, simulações CFD e reorganização de servidores para otimizar a eficiência energética e a uniformidade do resfriamento.	54
Tabela 12. Orientações para aumento da eficiência energética em <i>data centers</i> : ênfase na refrigeração a ar, automação na coleta de dados e aplicação de inteligência artificial para otimização do consumo energético.	55

Tabela 13. Síntese do estudo sobre contenção de ar e carga de resfriamento em DCs: avaliação de falhas de isolamento e proposta de modelo matemático integrando calor dos equipamentos e ambiente externo.....	56
Tabela 14. Parâmetros da temperatura dos corredores dentro do DC.	65
Tabela 15. Parâmetros da umidade e ponto de orvalho no DC.	66
Tabela 16. Critérios avaliados da situação térmica do DC da UFMS, considerando os resultados obtidos nos testes das etapas anteriores e na simulação realizada com a ferramenta CoolSim.	69
Tabela 17. Levantamento da potência elétrica dos equipamentos contido no rack 1 do DC da UFMS.	73
Tabela 18. Levantamento da potência elétrica dos equipamentos contido no rack 2 do DC da UFMS.	74
Tabela 19. Levantamento da potência elétrica dos equipamentos contido no rack 3 do DC da UFMS.	75
Tabela 20. Levantamento da potência elétrica dos equipamentos contido no rack 4 do DC da UFMS.	76
Tabela 21. Consumo do rack 5, considerando a potência nominal de cada um dos equipamentos.	76
Tabela 22. Temperaturas registradas pelo sensor HOBO H08-001-02 no DC, com medições realizadas em intervalos de 30 minutos.	104
Tabela 23. Temperaturas registradas pelo sensor HOBO H08-003-02 no DC, com medições realizadas em intervalos de 30 minutos.	106
Tabela 24. Resultados das medições da umidade relativa registradas pelo sensor HOBO H08-003-02 no Data Center, com intervalo de coleta de 30 minutos.	107
Tabela 25. Resultados das medições do ponto de orvalho registradas pelo sensor HOBO H08-003-02 no Data Center, com intervalo de coleta de 30 minutos.	108
Tabela 26. Temperaturas registradas pelo sensor HOBO H08-001-02 no DC, com medições realizadas em intervalos de 1 hora.....	109
Tabela 27. Temperaturas registradas pelo sensor HOBO H08-003-02 no DC, com medições realizadas em intervalos de 1 hora.....	110
Tabela 28. Resultados das medições da umidade relativa registradas pelo sensor HOBO H08-003-02 no Data Center, com intervalo de coleta de 1 hora.	111

Tabela 29. Resultados das medições do ponto de orvalho registradas pelo sensor HOB0 H08-003-02 no Data Center, com intervalo de coleta de 1 hora.	112
Tabela 30. Posicionamento do confortímetro no corredor frio do DC.	128
Tabela 31. Resumo geral do consumo do DC, com base nos dados coletados pelo analisador de energia FLUKE 434 Série II – <i>Energy Analyzer</i> , adotando como referência o Horário Verde de alta tensão do grupo tarifário A4 (ANEEL).	146
Tabela 32. Classificação da eficiência energética de Data Centers fundamentada nos indicadores PUE e DCiE.	147

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGETIC	Agência de Tecnologia da Informação e Comunicação
ANSI	Instituto Nacional de Padrões Americanos (<i>American National Standards Institute</i>)
AS	Ar Fornecido (<i>Supply Air</i>)
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers</i>
BTU	Unidade Térmica Britânica (<i>British Thermal Unit</i>)
CAC	Contenção de Corredor Frio (<i>Cold-Aisle Containment</i>)
CFD	Dinâmica dos Fluidos Computacional (<i>Computational Fluid Dynamic</i>)
CFM	Pés cúbico por minuto (<i>Cubic Feet per Minute</i>)
COP	Coeficiente de Desempenho (<i>Coefficient of Performance</i>)
CRAC	Unidade de Ar condicionado para sala de computadores (<i>Computer Room Air Conditioner</i>)
CRAH	Tratamento de Ar da Sala de Computadores (<i>Computer Room Air Handling</i>)
DC	<i>Data Center</i>
DCiE	Eficiência da infraestrutura do Data Center(<i>Data Center infrastructure Efficiency</i>)
EnMS	Sistema de Gestão de Energia (<i>Energy Management System</i>)
HAC	Contenção de Corredor Quente (<i>Hot-Aisle Containment</i>)
HVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (<i>Heating Ventilating Air Conditioned</i>)
IBM	<i>International Business Machines Corporation</i>
ISO	Organização Internacional para Padronização (<i>International Organization for Standardization</i>)
MAC	Contenção de Ar Modular (<i>Modular Air Containment</i>)
NBR	Norma Brasileira
NZEDC	<i>Data Center</i> de consumo de energia líquido ou quase zero (<i>Nearly Zero Energy Consumption DCs</i>)
ODS	Objetivo do Desenvolvimento Sustentável

ONU	Organização das Nações Unidas (<i>United Nations</i>)
PDU	Unidade de Distribuição de Energia (<i>Power Distribution Units</i>)
PUE	Eficiência no Uso de Energia (<i>Power Usage Effectiveness</i>)
RCI	Índice de Resfriamento de <i>Rack</i> (<i>Rack Cooling Index</i>)
RNP	Rede Nacional de Ensino e Pesquisa
RTI	Índice de Temperatura de Retorno (<i>Return Temperature Index</i>)
SGE	Sistema de Gestão de Energia
TGG	Rede Verde (<i>The Green Grid</i>)
TI	Tecnologia da Informação
TIA	Associação da Indústria de Telecomunicações (<i>Telecommunications Industry Association</i>)
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UPS	Fonte de Alimentação Ininterrupta (<i>Uninterruptible Power Supply</i>)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	<i>Objetivo Geral</i>	9
1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	9
1.3	<i>Justificativa</i>	10
1.4	<i>Estrutura do Trabalho</i>	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	<i>Fundamentação Teórica</i>	14
2.2	<i>Data Center</i>	15
2.3	<i>Eficiência em Data Center</i>	16
2.4	<i>Modelos de abordagem na Refrigeração de Data Center</i>	18
2.5	<i>Normas</i>	20
2.6	<i>Refrigeração e corredores</i>	30
2.7	<i>Simulação CFD (Computational fluid Dynamics)</i>	34
2.8	<i>Software CoolSim</i>	37
3	TRABALHOS RELACIONADOS	39
4	METODOLOGIA	57
4.1	<i>Local de implementação</i>	59
4.2	<i>Desenvolvimento do Estudo de caso</i>	60
4.2.1	<i>Etapa 1 – Levantamento inicial da infraestrutura</i>	62
4.2.2	<i>Etapa 2 – Medições e monitoramento no local</i>	64
4.2.3	<i>Etapa 3 – Análise dos dados</i>	67
4.2.4	<i>Etapa 4 – Simulação da ferramenta CoolSim</i>	67
4.2.5	<i>Etapa 5 – ANÁLISE GERAIS E DISCUSSÕES</i>	70
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
5.1	<i>Etapa 1</i>	72
5.1.1	<i>Levantamento da potência dos equipamentos instalados nos racks</i>	72
5.1.2	<i>Checklist do ambiente do DC</i>	78
5.1.3	<i>Checklist do isolamento térmico do DC</i>	86
5.1.4	<i>Registro fotográfico da infraestrutura</i>	90
5.2	<i>Etapa 2</i>	98

5.2.1	Data Logger HOBO Onset	99
5.2.2	Câmera Termográfica	116
5.2.3	Confortímetro SENSU	128
5.2.4	Medições de iluminância com Luxímetro.....	130
5.3	<i>Etapa 3</i>	136
5.3.1	Análise de demanda energética	136
5.3.2	Análise térmica dos sensores APC.....	149
5.4	<i>Etapa 4</i>	162
5.4.1	CFD CoolSim	162
5.5	<i>ANÁLISE GERAL E DISCUSSÃO</i>	168
6	CONCLUSÃO	179
	REFERÊNCIAS	182
	APÊNDICE	188
	<i>APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DO DC.</i>	<i>188</i>
	Quadro A1- <i>Checklist</i> da infraestrutura verificada no DC da UFMS.....	188
	Quadro A2- <i>Checklist</i> do isolamento térmico do DC UFMS.	192

1 INTRODUÇÃO

Devido à crescente quantidade de dados a serem processados diariamente pelos mais diversos segmentos na sociedade, há necessidade de uma eficiente Tecnologia da Informação (TI).

Desta forma, muitas vezes, faz-se necessário a construção de *Data Centers* (DC) adequados para atender essa demanda e para se obter um ambiente eficiente energeticamente.

No caso de falha do DC, ocorre uma inviabilidade no fornecimento do serviço de TI que deve ser estável e contínuo, para atender diversos setores que dependem deste ambiente, tais como o sistema de comunicação de bancos financeiros, de telecomunicações, de transmissões de dados, entre outros (Cho; Park; Jeong, 2019).

Os sistemas de TI e DC vêm assumindo, portanto, um papel cada vez mais importante nos negócios das empresas. Desta forma, os serviços de TI continuarão em um crescimento sem precedentes e estarão cada vez mais alinhados à evolução empresarial (Pinto; Campo; Azevedo, 2021).

No fim do ano de 2020 o consumo de energia no DC cresceu em torno de 53%, e a indústria de equipamentos de TI aumentou sua capacidade de armazenamento de dados. Simultaneamente, em sua busca por eficiência computacional, houve redução do consumo de toda a infraestrutura não computacional, tais como sistemas de energia e refrigeração (Santos *et al.*, 2020).

Os DCs precisam manter sua infraestrutura ativa para a operacionalização adequada dos seus componentes tecnológicos, que por sua vez geram calor e conseqüentemente necessitam de refrigeração, ocasionando a elevação de consumo de energia (Pinto; Campo; Azevedo, 2021).

Um estudo nessa área de infraestrutura torna-se significativo e justifica-se porque busca mostrar que o consumo de energia com refrigeração é uma preocupação constante no DC, pois o equipamento de TI deve ser mantido dentro de uma faixa de temperatura adequada, 24 horas por dia. Além disso, o presente estudo ressalta a importância de melhorar a eficiência energética no ambiente e possibilitar que os serviços processados pelos servidores continuem atendendo a UFMS.

A presente pesquisa tem como objetivo analisar o consumo de energia dos equipamentos do DC da UFMS, além de incentivar a busca pela eficiência energética

do ambiente. Para isso, é fundamental considerar estratégias de condicionamento térmico, seja por meio de monitoramento remoto via ZABBIX ou por medições realizadas *in loco*, a fim de identificar com precisão a temperatura do ambiente em estudo.

Diversos estudos conduzidos em diferentes países têm explorado estratégias voltadas à eficiência energética e à melhoria das condições operacionais de DC, oferecendo importantes subsídios para a análise e a tomada de decisão no DC da UFMS.

Essas pesquisas evidenciam a relevância de ações que contribuem para a redução do consumo energético, melhoria do desempenho térmico e maior estabilidade ambiental nesses ambientes considerados críticos energeticamente. Entre as principais abordagens identificadas na literatura, destacam-se o aproveitamento de condições climáticas naturais para reduzir a demanda de resfriamento mecânico, bem como a operação dos equipamentos em temperaturas ligeiramente mais elevadas, porém ainda dentro dos limites recomendados pelas normas da ASHRAE, com estratégia para diminuir o consumo energético sem comprometer a confiabilidade.

Outro ponto amplamente discutido é a adoção de técnicas de contenção de ar para impedir a mistura entre os fluxos quente e frio, reduzindo recirculação e *by-pass*, fatores que impactam diretamente o desempenho do sistema de refrigeração. Nesse contexto, o estudo de Wang *et al.* (2023) evidencia a importância do isolamento adequado entre os corredores quente e frio, apresentando um modelo matemático que considera tanto a dissipação térmica dos equipamentos quanto as trocas de calor com o ambiente.

De forma complementar, Zhou *et al.* (2024) reforçam a necessidade do monitoramento contínuo de parâmetros ambientais como temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho, permitindo a detecção precoce de desvios operacionais e promovendo maior eficiência do sistema de refrigeração, com reflexos positivos no consumo energético e no impacto ambiental.

Além disso, pesquisas como as de Gügöl *et al.* (2022) apresentam estratégias de baixo custo voltadas para a transformação de um DC tradicional em um ambiente mais sustentável, destacando que características construtivas e arquitetônicas

também influenciam diretamente a demanda de resfriamento. De forma semelhante, Singh *et al.* (2024) enfatizam ações de modernização (*retrofitting*) e aprimoramento da infraestrutura como meios eficazes para elevar a eficiência térmica e energética de pequenos DCs.

Dessa forma, a literatura aponta um conjunto consistente de práticas e soluções que reforçam a importância de estudos como o presente trabalho, oferecendo suporte conceitual e comparativo para a avaliação do ambiente do DC da UFMS e para a identificação de oportunidades de melhoria alinhadas às boas práticas internacionais.

1.1 Objetivo Geral

Analisar as condições operacionais e térmicas do ambiente do *Data Center* da UFMS e apresentar propostas que possibilitem uma efficientização energética.

1.2 Objetivos Específicos

- Obter a potência energética e descrição dos equipamentos instalados no DC da UFMS;
- Analisar as situações térmicas do ambiente, seja com abordagens colhidas remotamente pelos sensores ou por medições *in loco* no ambiente;
- Obter informações do comportamento do ar ambiente do DC da UFMS através de simulações com auxílio de uma ferramenta CFD e sensores;
- Avaliar o isolamento térmico com estratégias de contenção de ar que possam trazer a melhoria da eficiência energética no ambiente;
- Verificar as condições elétricas de alimentação do DC;
- Apresentar soluções de efficientização energética no DC da UFMS;

1.3 Justificativa

Com o crescimento exponencial da demanda por serviços de TI, os centros de dados precisam operar de maneira mais eficiente para suportar a carga crescente de equipamentos e serviços, garantindo a confiabilidade e a continuidade das operações.

Visando o melhor atendimento com relação às necessidades da UFMS é de suma importância a obtenção de condições favoráveis à melhoria do ambiente de DC, a renovação do sistema de refrigeração e a efficientização do desempenho energético.

Estudos internacionais têm demonstrado que a eficiência energética em DC depende de um conjunto de fatores, incluindo estratégias de condicionamento térmico, boas práticas de distribuição de fluxo de ar, uso adequado de contenção entre corredores quente e frio, além do monitoramento contínuo de parâmetros ambientais.

A literatura aponta que ações como operar os equipamentos em temperaturas ligeiramente mais elevadas (dentro dos limites das normas ASHRAE), aproveitar condições climáticas externas favoráveis e evitar a recirculação de ar quente (*by-pass*) possuem impacto direto na redução do consumo energético. Assim, compreende-se que a adoção dessas práticas, mesmo em pequenos e médios DC, pode resultar em ganhos expressivos de desempenho e sustentabilidade.

Nesse contexto, o DC da UFMS apresenta características construtivas, operacionais e térmicas que precisam ser analisadas de forma integrada, considerando sua infraestrutura física, o sistema de refrigeração, o sistema elétrico e a distribuição dos equipamentos nos *racks*.

A inexistência de estudos consolidados sobre sua condição térmica atual evidencia uma lacuna institucional, tornando este trabalho relevante para subsidiar ações de gestão, planejamento e modernização da infraestrutura.

Esta pesquisa visa promover uma análise da infraestrutura do DC da UFMS, buscando uma otimização da eficiência energética do local, realizando diversas etapas no ambiente de forma a permitir a compreensão das condições térmicas do DC.

Assim, a partir do levantamento da potência energética, *checklist* de forma integrada das condições da infraestrutura física, condições térmicas e operacionais

do DC, com estratégias em verificar sua conformidade com as normas aplicáveis ao ambiente de DC.

Além disso, o levantamento *in loco* da potência dos equipamentos, associado ao *checklist* técnico de infraestrutura e às medições de iluminância e demanda elétrica, proporciona uma compreensão abrangente da situação atual do ambiente. Essas informações são essenciais para verificar conformidade com padrões normativos, avaliar oportunidades de melhoria e embasar tomadas de decisão que visem ao uso mais racional da energia.

Serão realizadas análises utilizando sensores térmicos e registros obtidos por meio de câmeras termográficas, com o objetivo de avaliar parâmetros ambientais como temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho. A integração desses dados permitirá identificar situações que provocam instabilidade térmica ou contribuem para o aumento da temperatura no ambiente, afetando diretamente a eficiência energética do DC. Assim, as informações obtidas sobre o comportamento térmico dos corredores quente e frio fornecerão subsídios fundamentais para aprimorar o planejamento do *layout* e do posicionamento dos equipamentos, favorecendo a otimização do consumo de energia elétrica no DC da UFMS.

Também a aplicação de simulações computacionais (CFD) se justifica pela sua capacidade de representar o fluxo de ar e suas interações com o ambiente físico, permitindo testar cenários, prever comportamentos térmicos e propor soluções de otimização sem a necessidade de intervenções imediatas no local. Essa abordagem complementa as medições experimentais e contribui para uma análise mais precisa da eficiência térmica e energética do DC.

Essa pesquisa também proporcionará melhorias significativas na área econômica e ambiental para a universidade, e assim refletirá não somente no crescimento contínuo da universidade, mas também na evolução das tecnologias de informação e comunicação no contexto educacional.

Através dessas melhorias, as soluções de computação em nuvem desenvolvidas na UFMS poderão ser aprimoradas em seus serviços, possibilitando maior disponibilidade, escalabilidade e eficiência operacional.

Cabe destacar que a adoção de tecnologias de computação em nuvem não apenas atende às demandas atuais da UFMS, mas também prepara a instituição para

os desafios futuros, contribuindo para sua missão de desenvolver e socializar o conhecimento, e assim, permitirá reduzir custos operacionais e de infraestrutura, liberando recursos para investimentos em outras áreas prioritárias da universidade.

Diante deste contexto, é possível vislumbrar várias contribuições com esta pesquisa, tais como: a redução de consumo de energia elétrica e das perdas desnecessárias nos corredores frio e quentes dentro do DC; a melhoria do aproveitamento dos servidores instalados; a redução indireta dos impactos ambientais; o aproveitamento melhor do *layout* do DC; a melhor definição de temperaturas no sistema de refrigeração que proporcione variações adequadas; e o atendimento das normas técnicas. Espera-se que haja contribuição acadêmica com a possibilidade do desenvolvimento de trabalhos futuros, entre outros benefícios.

O trabalho apresenta contribuições ligadas aos diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas (ONU), visando garantir eficiência energética, redução de consumo e diminuição de impacto ambiental. Nesse contexto, a ODS 7, “energia limpa e acessível”, assegura que a implantação de tecnologias de refrigeração eficientes reduzirá o consumo energético, contribuindo para a sustentabilidade econômica e ambiental. O ODS 9, “indústria, inovação e infraestrutura”, apoia no avanço da infraestrutura digital sustentável para o desenvolvimento da economia e inovação da área. E a ODS 11, “cidades e comunidades sustentáveis”, ajuda na redução de recursos nas áreas urbanas, promovendo uma infraestrutura do ambiente do DC, mais sustentável à medida que a tecnologia aumenta (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

Diante desse cenário, torna-se imperativo realizar uma análise energética detalhada dos DC das universidades brasileiras, com o propósito de identificar oportunidades de melhoria e implementar soluções que minimizem o consumo de energia elétrica sem comprometer a operacionalidade dos equipamentos e a continuidade dos serviços institucionais. Essa abordagem, além de reduzir os custos operacionais, reforça o compromisso da universidade com a sustentabilidade ambiental e com o uso responsável dos recursos energéticos, alinhando-se às boas práticas recomendadas para ambientes de missão crítica.

1.4 Estrutura do Trabalho

O desenvolvimento deste trabalho está dividido em capítulos. No capítulo 1 é apresentada a introdução, o objetivo geral e específico, justificativa e também a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, destacando os principais conceitos que sustentam a pesquisa. São discutidos os componentes da infraestrutura de um DC, as abordagens para avaliação da eficiência em DC, os modelos de refrigeração adotados nesses ambientes, bem como as normas técnicas e as estratégias de refrigeração nos corredores do DC.

No capítulo 3 consiste no estudo de trabalhos relacionados, que se destina a apresentar estudos anteriores que abordam questões semelhantes ou relacionadas ao problema de pesquisa em questão.

O capítulo 4 aborda a metodologia, descrevendo o local de estudo, levantamento dos equipamentos do ambiente, abordagens relacionadas às situações térmicas do local de estudo, avaliação do isolamento térmico do DC e simulação do software CFD.

O quinto capítulo contempla os resultados e discussões do estudo, organizando em quatro etapas que compõem o cronograma das atividades, desde a elaboração do projeto, com base nas análises realizadas no ambiente do DC da UFMS. Por conseguinte, o capítulo 6 apresentará a conclusão em cima do estudo proposto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos que auxiliaram na determinação da importância do estudo, a fundamentação teórica relacionada à intensa demanda existente e crescente nos ambientes de DCs, o seu consumo energético tanto na refrigeração, como no processamento, e os métodos de avaliação de eficiência energética para os DCs. Além das abordagens sobre a refrigeração, para que se possa garantir benefícios de eficiência energética e, as normas e diretrizes que orientam o projeto e a instalação de um ambiente de DC para a sua otimização. Além disso, será apresentada uma pesquisa quanti e qualitativa para análise dos trabalhos relacionados ao tema de estudo.

2.1 Fundamentação Teórica

Segundo Tunner (2005), uma infraestrutura tecnológica considerável é necessária em um DC, pois deve garantir o mínimo de requisitos, mesmo para um nível básico de sistema de disponibilidade, aproximadamente 96,671% tempo de atividade por ano. Já em DCs mais especializados, para fins comerciais, são obrigatórios ter alta disponibilidade, e garantir nível 3-4 (95,995–99,982%) de tempo de atividade.

Há de se observar também, que atualmente há um intenso interesse em minimizar os problemas ambientais, aumentando cada vez mais a demanda por ambientes de baixo consumo de energia e alta eficiência. Considerando esses fatores, a busca apenas por confiabilidade deve ser evitada, e a garantia de desempenho estável e eficiente energeticamente deve ser um aspecto importante no projeto de implementação do DC.

Com aumento da demanda de serviços baseados na computação em nuvem e aplicações em grande escala, se alcançou grandes quantidades de armazenamento e processamento de dados para atender os diversos serviços essenciais, assim também em uma universidade.

Ao mesmo tempo, o rápido crescimento em tamanho e quantidade trouxe muitos problemas para o DC, como alto consumo de energia, alto custo e,

indiretamente, geração de poluição. Melhorar a eficiência energética de todos os servidores no DC também é a principal prioridade para manter a alta eficiência energética do ambiente (Liu *et al.*, 2023).

Segundo Marin (2011), em termos gerais, o consumo elétrico de um DC geralmente está representado em aproximadamente 50% para refrigeração, 36% para as cargas críticas de TI, 11% para as UPS (*Uninterruptible Power Supply*) e os 3% restantes são utilizados pela iluminação.

2.2 Data Center

Segundo a IBM (2025), o DC é uma sala física, um prédio ou uma instalação que abriga a infraestrutura de TI para construir, executar e entregar aplicações e serviços, além de armazenar e gerenciar os dados associados a essas aplicações e serviços.

Como componentes de infraestrutura de DC destacam-se os servidores, que são computadores poderosos que fornecem aplicações, serviços e dados. A maioria dos servidores possuem recursos de armazenamento local, permitindo que os dados utilizados com muita frequência permaneçam mais próximos à CPU (*International Business Machines Corporation*, 2005).

De acordo com IBM (2025) estes servidores precisam de uma alimentação permanente, pois os DC necessitam estar ativos 24h, e para isso conta com fontes de alimentação ininterruptas (UPS - *Uninterruptible Power Supply*) alimentadas por baterias que protegem contra picos ou breves quedas de energia.

Os DCs contêm grandes quantidades de equipamentos de TI, como computadores, *storages*, *racks*, elementos de rede, além de dispositivos suplementares, como monitores e estações de trabalho (Chen *et al.*, 2022).

Um DC é o local onde as informações são processadas, armazenadas, transmitidas, trocadas e gerenciadas. É uma combinação de *sites*, ferramentas e processos que centralizam, integram, analisam diversos tipos de sistemas e recursos de dados e é o centro da infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) (Shao *et al.*, 2022).

Estes ambientes contêm mais do que apenas servidores e *switches*, contêm instalações complexas com sua própria infraestrutura de cabeamento para operações

de rede, iluminação, segurança, proteção de vida e outras funções da instalação (TIA, 2023).

A confiabilidade é essencial, e por isso sensores inteligentes de IoT (*Internet of Things*) são implantados para monitorar condições como temperatura, umidade, fluxo de ar, fumaça, vazamentos de água e perigos potenciais (TIA, 2023).

A Figura 1 apresenta uma fotografia retirada do DC da UFMS, onde é possível observar a característica de uma *rack* e sua organização, além dos equipamentos ali inseridos.

Figura 1. Fotografia capturada no *Data Center* da UFMS.



Fonte: Foto do *Data Center* da UFMS, autor (2024).

2.3 Eficiência em *Data Center*

Na literatura, existem abordagens que podem avaliar subáreas de um DC. No passado, diferentes KPIs (*Key Performance Indicators*) para diversas áreas foram desenvolvidas pela organização sem fins lucrativos *The Green Grid*, e proposto à ISO (*International Organization for Standardization*) a criação de padrões, trazendo esses indicadores de desempenho com informações necessárias para mensurar a eficiência do objeto traçado (Hintemann; Ackermann, 2016).

O estudo da eficiência de um DC é essencial, pois o equipamento de TI gera calor durante sua operação, o que não só aumentará o consumo de energia do equipamento, mas também encurtará a sua vida útil. O consumo desnecessário de

energia causado pela operação do sistema de refrigeração é responsável por 30–50% do consumo total de energia do DC e pode ser mais severo em alguns casos (Shao *et al.*, 2022, p.7).

De acordo com Shao *et al.* (2022), a métrica PUE (*Power Usage Effectiveness*) foi proposta pela *The Green Grid* (TGG) em 2007 para avaliar a eficiência energética de DCs. Em teoria, a eficiência total desse ambiente é expressa pela quantidade de trabalho útil produzido por unidade de energia consumida. No entanto, como os DC desempenham diferentes funções conforme o setor de atuação, a definição de trabalho útil varia, tornando sua quantificação padronizada um desafio.

Desta forma, o PUE (*Power Usage Effectiveness*) se tornou um indicador importante para avaliar a eficiência energética no DC, pois representa a relação entre o consumo total de energia, com o consumo do equipamento instalado. Incluindo o consumo total de energia do DC, o valor consumido pelos equipamentos de TI (servidores, *switches*, *storages*, entre outros), equipamentos de refrigeração, iluminação, entre outros objetos presentes no ambiente (Liu *et al.*, 2023). A eficácia do uso de energia, o PUE, é medida através de valores numéricos adimensionais, sendo que o valor 1,0 seria o ideal, informando que 100% do consumo de energia é usado.

Além do PUE, outros dois parâmetros são relevantes para análise da dinâmica dos fluidos no interior de um DC: *Return Temperature Index* (RTI) e o *Rack Cooling Index* (RCI).

O RTI se refere à relação entre a vazão de ar que retorna dos equipamentos de TI e a vazão de ar insuflado (o ar que é enviado para os equipamentos), sendo um indicador de quão eficientemente os equipamentos de TI são atendidos pela refrigeração. Por sua vez, o RCI é uma métrica de eficiência e risco de refrigeração em DCs que avalia a quantidade de *racks* com temperatura acima ou abaixo das faixas recomendadas, como as normas da ASHRAE (Moreira, 2022).

Para um melhor entendimento e a quantificação da eficiência de distribuição do ar na sala em análise utiliza-se as ferramentas de cálculo numérico e CFD (*Computational Fluid Dynamics*) que é uma ferramenta que simula o fluxo de fluidos, a transferência de calor e outros fenômenos, e que fornecem como os parâmetros RTI e RCI (Moreira, 2022).

2.4 Modelos de abordagem na Refrigeração de *Data Center*

Os sistemas de contenção de ar, como contenção de corredor quente e de corredor frio, são considerados como as técnicas mais eficazes para melhoria da eficiência térmica e energética. O desempenho térmico de ambas as técnicas mostra que o uso da contenção de corredor quente pode efetivamente melhorar a temperatura ambiente. As estratégias de contenção de ar que podem melhorar a eficiência energética e permitir uma temperatura de entrada de ar uniforme para equipamentos de TI são o *Hot-Aisle Containment* (HAC) e *Cold-Aisle Containment* (CAC) (Cho, 2021).

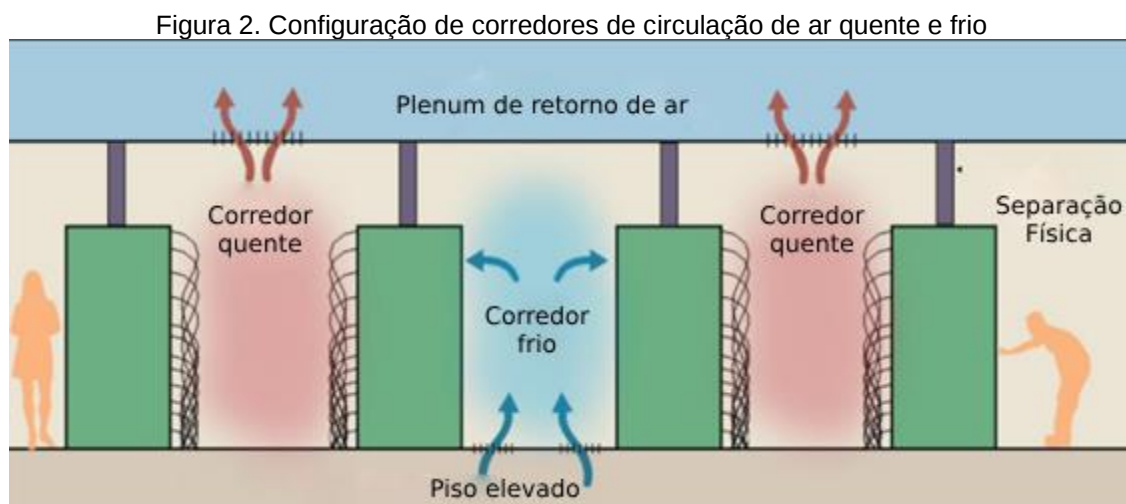
O objetivo do HAC e as estratégias de distribuição de ar de contenção de corredor frio (CAC) tornaram-se proeminentes para o resfriamento do DC na remoção do calor do equipamento de TI com eficiência. Tanto o HAC quanto o CAC podem melhorar a capacidade de previsão e a eficiência de um sistema de resfriamento de DC. Eles oferecem economia significativa de energia em comparação com as configurações não tradicionais e podem economizar até 23% de energia de resfriamento, o que pode se traduzir em uma redução de 10% no PUE (Cho, 2021).

De acordo com Camargo *et al.* (2017), a temperatura e a umidade do ambiente onde está o DC deve estar em níveis adequados para o perfeito funcionamento dos equipamentos dos *racks*. O sistema de refrigeração da sala de servidores deve ser monitorado e contar com alarmes para informar eventuais alterações, considerando que oscilações de temperatura podem danificar os equipamentos; por isso, ressalta-se a importância de se seguir determinadas especificações (ISO, 2023).

Uma configuração básica de corredor quente/corredor frio é criada quando os *racks* de equipamentos e de suprimento são projetados em um DC. Desta forma, a premissa a ser atendida é que o retorno de ar de exaustão quente do *rack* não deve ser misturado com o do ar de suprimento frio, puxado para dentro dos *racks* (Geet; Sickinger, 2024).

O equipamento do DC é disposto em fileiras de *racks* com corredores alternados entre eles, frios (lado de entrada de ar do *rack*) e quentes (lado de exaustão de calor do ar do *rack*). As configurações adequadas de corredor quente/corredor frio podem aumentar significativamente a capacidade do sistema de resfriamento de um DC (ASHRAE, 2021).

Segundo Geet e Sickinger (2024), equipamentos com direções de exaustão não padronizadas devem ser conduzidos de alguma forma (coberturas, dutos, etc.) para se obter um fluxo de ar da frente para trás. As fileiras de *racks* são colocadas costas com costas, e os furos através do *rack* (*slots* de equipamento vagos) são bloqueados no lado da entrada para criar barreiras que reduzem a recirculação, conforme mostrado na 22.



Fonte: Modificado de Geet e Sickinger (2024).

Segundo Cho, Park e Jeong (2019), foi abordado um estudo do sistema de refrigeração proposto em um projeto de *DC* composto de uma *central chiller* de *CRAH* (*Computer Room Air Handling*), onde se utiliza água gelada para garantir a temperatura e umidade constantes do ambiente. Os *racks* são instalados em uma estrutura de contenção de corredor frio para permitir um suprimento de ar, *Supply Air* (AS), relativamente alto em relação às unidades *CRAH*. Dessa forma, acontece troca de calor e a água resfriada sofre troca térmica, e em cada processo acontece a recirculação, mantendo o ambiente operacional do *DC* (Cho; Park; Jeong, 2019).

Dessa forma, o melhor tipo de contenção de ar dependerá em grande parte das restrições da instalação. Assim, Cho (2021) apresentou benefícios de eficiência para *HAC* e *CAC*:

- Ajustar a temperatura do sistema de resfriamento: em alguns *DCs*, é ajustada para regular o fornecimento de ar (*Supply Air*) em uma temperatura baixa, aproximadamente 13 °C, com o propósito de se evitar pontos quentes. No entanto, essa temperatura é menor do que a necessária, ou seja, poderia ser maior sem causar problemas, porque o

ar de Suprimento/fornecimento (SA) mais frio, consome mais energia para resfriar o ambiente.

- Economizar energia: como a temperatura SA pode se ajustada para uma temperatura mais elevada do que 13°C, por exemplo, os sistemas podem operar em um número maior de horas, sem resfriamento mecânico;
- Reduzir os controles de umidade: os sistemas de refrigeração podem umidificar a temperatura. Não há necessidade de remover a umidade;
- Dimensionar corretamente o sistema de resfriamento com maior eficiência: isso inclui dutos, pois os de ar frio e ar quente são separados.

2.5 Normas

A norma ANSI/TIA-942 apresenta requisitos para a construção de um DC, e exige um planejamento detalhado desde o início, para proporcionar que o projeto de infraestrutura esteja preparado para suportar as mudanças tecnológicas dos sistemas de TI.

O objetivo desta norma é fornecer requisitos e diretrizes para o projeto e instalação de um *Data Center* ou sala de computadores, direcionada a *designers* que necessitam de uma compreensão abrangente do planejamento, cabeamento e rede. A norma visa integrar o projeto de DC desde o início, contribuindo para as considerações arquitetônicas, fornecendo informações que atravessam os esforços de projeto multidisciplinar, cooperação entre as fases de projeto e construção. O planejamento adequado da infraestrutura contribui na redução de custos, além de amparar o crescimento e as mudanças nos sistemas que os DC são preparados para suportar (ANSI/TIA, 2005, p.14).

A norma ANSI/TIA 942, apresenta uma classificação de DC em quatro níveis (*Tiers*) conforme definidos originalmente pelo *The Uptime Institute*, que é uma organização com base em padrões para infraestrutura, redundância e disponibilidade nos DCs. Assim, esses níveis irão determinar a confiabilidade e o tempo máximo “fora do ar” (*Downtime*), aos quais os DCs estão sujeitos e, dessa forma, avaliar a robustez da infraestrutura do DC. Na Tabela 1 é apresentada a classificação de DC de acordo com os níveis, tipos, disponibilidade, tempo de *downtime* e redundância. Nota-se que *downtime* num *Data Center* é um período em que os sistemas, servidores, aplicações ou serviços ficam indisponíveis ou não funcionam corretamente

Tabela 1. Classificação de DC em quatro níveis.

Tiers	Característica	Disponibilidade	Downtime	Redundância
Tier 1	Básico	99,671%	28,8 horas/ano	Nenhuma
Tier 2	Componentes Redundantes	99,741%	22 horas/ano	Parcial
Tier 3	Manutenção simultânea	99,982%	1,6 horas/ano	(N+1)
Tier 4	Tolerante a falhas	99,995%	26,3 minutos	(2N)

Fonte: Elaboração própria (2025).

A TIA-942 descreve o projeto de DC em quatro diferentes áreas, as quais devem ser integradas a fim de que seja obtido um projeto bom e eficiente para: telecomunicações, arquitetura e estrutura, elétrica e mecânica (Veras, 2009).

Na esfera mecânica as principais diretrizes estão vinculadas à refrigeração do ambiente de confinamento dos *racks* (componentes de armazenamento e processamento de dados). A TIA-942 destaca o sistema de refrigeração como um dos requisitos essenciais no desenvolvimento de um projeto de DC. No entanto, a norma recomenda a consulta à ASHRAE para obter diretrizes mais detalhadas e específicas sobre a refrigeração, especialmente quando se trata de otimizar as condições ambientais para o bom funcionamento e segurança dos equipamentos.

A norma ANSI/TIA 942 estabelece requisitos essenciais para garantir que a infraestrutura de um DC seja adequada aos equipamentos nele instalados, bem como possa trazer segurança operacional e lógica. Abaixo, esses requisitos serão descritos de forma a trazer um entendimento claro de como projetar um DC, recomendado conforme a norma (TIA STANDARD, 2005).

a) Requisitos gerais e localização:

O DC é um espaço ambientalmente controlado que serve ao único propósito de abrigar equipamentos e cabeamento diretamente relacionados aos sistemas de computadores e outros sistemas de telecomunicações. Sua localização deve evitar locais que sejam restritos por componentes de construção que limitem a expansão, como elevadores, núcleo, paredes externas ou outras paredes fixas do edifício. O DC

deve fornecer também acessibilidade para a entrega de grandes equipamentos, e isso inclui uma localização para facilitar a entrada destes equipamentos.

O DC deve ficar localizado longe de fontes de interferência eletromagnética, tais como, transformadores de alimentação elétrica, motores e geradores, equipamentos de Raios-X, transmissores de rádio ou radar. Também não deve ter janelas externas, pois elas reduzem a segurança e aumentam a carga de calor, ou seja, permitem a entrada de luz solar e calor externo, causando mais esforço físico dos sistemas de refrigeração.

b) Diretrizes para outros equipamentos:

Para os equipamentos de controle elétrico, será permitido dentro do DC, UPS (*Uninterruptible Power Supply*) de até 100 kVA, para UPS maiores que 100 kVA ou contendo baterias de células inundadas, deverão ser colocadas numa sala separada. Para equipamentos não relacionados ao suporte da sala de computadores, tais como, tubulações, dutos e tubos pneumáticos não devem ser instalados, passar por ou entrar na sala do DC.

A norma ANSI/TIA-942-B (2017) classifica as unidades condensadoras como equipamentos de rejeição de calor do sistema de ar-condicionado, apresentando recomendações específicas quanto à sua instalação e manutenção. O documento orienta que o acesso no nível do solo deva ser adequado e desobstruído, garantindo espaço suficiente para a instalação, inspeção e eventual remoção dos equipamentos, sem comprometer a segurança ou a operação contínua do sistema.

Em relação aos drenos, a norma recomenda que sejam posicionados a uma distância segura e nunca diretamente acima das unidades condensadoras, a fim de evitar refluxo e prevenir danos aos componentes. De forma complementar, a ASHRAE TC 9.9 (2021) enfatiza a importância do isolamento térmico adequado dos dutos e da drenagem eficiente do condensado, como medidas essenciais para manter a eficiência do sistema HVAC, reduzir perdas energéticas e minimizar riscos de condensação indesejada nas instalações.

c) Altura do teto, gabinetes e do rack:

A altura mínima do teto do DC deve ser de 2,6 m do piso acabado até qualquer obstrução, como *sprinklers*, luminárias ou câmeras. Para requisitos de resfriamento

ou *racks*/gabinetes mais altos que 2,13 m podem exigir alturas de teto mais altas, e deve ser mantida uma distância mínima de 460 mm dos *sprinklers* de água.

A altura máxima do *rack* e gabinetes deve ser de 2,4 m, porém é recomendado que tenham preferencialmente no máximo 2,1 m, e isso facilitará o acesso aos equipamentos durante a conexão do *hardware*.

d) Paredes, pisos e tetos:

Os pisos, as paredes e os tetos devem ser selados, pintados ou construídos com um material que minimize a poeira. Os acabamentos devem ser de cor clara para melhorar a iluminação do ambiente e os pisos devem ter propriedades antiestáticas.

Além disso, a norma também aborda aspectos relacionados ao material do forro (teto ou cobertura), enfatizando critérios de resistência ao fogo, estabilidade estrutural e segurança do ambiente. Quando há a presença de piso elevado (*access floor*), recomenda-se que os caminhos de cabos de telecomunicações (*cable trays*) sejam instalados sob o piso elevado, preferencialmente nos corredores quentes, conforme estabelecido pela TIA (2017).

e) Iluminação:

A iluminação deve ser de no mínimo 500 lux no plano horizontal e 200 lux no plano vertical, medidos 1 m acima do piso acabado, no meio de todos os corredores entre os armários/*racks*. Também luminárias não devem ser alimentadas pelo mesmo painel de distribuição elétrica que o equipamento de telecomunicações e servidores do DC, e interruptores *dimmer* não devem ser usados.

f) Portas:

As portas devem ter no mínimo 1 m de largura e 2,13 m de altura, sem soleiras, articuladas para abrir para fora (se permitir) ou deslizar de um lado para o outro, ou ser removíveis. As portas devem ser equipadas com travas e não ter postes centrais ou postes centrais removíveis para facilitar o acesso de equipamentos grandes.

g) Refrigeração:

O sistema de refrigeração deve ser fornecido 24 horas por dia, 365 dias por ano, caso não puder garantir operação contínua para aplicações de equipamentos grandes, uma unidade autônoma deve ser fornecida para atender o DC.

A temperatura e umidade devem ser controladas a fim de serem capazes de garantir a operacionalidade do sistema de maneira ininterrupta. Assim, a temperatura

de bulbo seco deve estar entre 20°C a 25°C, a umidade relativa entre 40 a 55%, o ponto máximo de orvalho entre 21°C, a máxima variação de temperatura por hora em 5°C e a umidificação e desumidificação equipamentos devem ser necessários dependendo das condições climáticas de cada local. No entanto, a norma orienta a consultar a ASHRAE T.C para obter diretrizes mais detalhadas para medir e avaliar as temperaturas recomendadas dentro do DC.

h) Sistema elétrico:

O sistema de alimentação elétrica destinado à sala de computadores deve ser independente, com circuitos dedicados e terminações em painéis elétricos exclusivos. As tomadas de conveniência não devem estar conectadas às mesmas Unidades de Distribuição de Energia (PDUs) ou painéis elétricos que alimentam os equipamentos de telecomunicações e computação, de modo a evitar interferências e garantir maior confiabilidade operacional.

No que se refere aos sistemas de refrigeração (HVAC), a alimentação elétrica dos equipamentos e controles de ar-condicionado das salas de computadores e de entrada deve possuir redundância, assegurando a continuidade dos serviços críticos. Entretanto, essa alimentação não necessita ser proveniente das mesmas PDUs ou painéis que servem aos equipamentos de TI.

Quanto à energia de reserva, os painéis elétricos que atendem à sala devem ser suportados por um sistema de *nobreak* (UPS), o qual, por sua vez, deve ser alimentado por um gerador. Caso exista um gerador, este deve ser adequadamente dimensionado para suportar toda a carga do ambiente, incluindo possíveis cargas harmônicas geradas pelo UPS e por outros dispositivos conectados (TIA, 2017).

Com relação à alimentação proveniente da concessionária, recomenda-se a existência de entrada dupla, preferencialmente com alimentadores independentes, conforme o nível de redundância estabelecido para cada Tier. Após a energia ser recebida no painel de entrada, ela é conduzida ao Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), que constitui a principal distribuição elétrica interna do DC. Esse quadro deve possuir seccionamento independente entre os sistemas críticos e não críticos, de modo a assegurar a continuidade do fornecimento de energia para os sistemas de UPS (*nobreak*), refrigeração e sistemas auxiliares (TIA, 2017).

O sistema de UPS (*nobreak*) é obrigatório em todos os níveis de classificação Tier e deve garantir autonomia mínima entre 5 e 15 minutos, tempo suficiente para manter a operação durante o período de transferência para o gerador. Além disso, o UPS deve permitir expansão e substituição do banco de baterias sem interrupção da carga, assegurando a continuidade do fornecimento de energia aos equipamentos críticos. A partir do Tier II, é também obrigatória a presença de gerador, devidamente dimensionado para manter a operação contínua em caso de falha no suprimento da rede elétrica principal (TIA, 2017).

i) Corredores quentes e frios:

Os *racks* devem ser dispostos em um padrão alternado, com as frentes dos *racks* voltadas uma para a outra em uma fileira para criar corredores quentes e frios. Os corredores frios ficam na frente de *racks* e armários, havendo um piso de acesso, os cabos de distribuição de energia devem ser instalados aqui, sob o piso de acesso na laje.

A norma ANSI/TIA-942-B, que rege a infraestrutura de telecomunicações para *Data Centers*, não estabelece uma largura mínima fixa obrigatória para os corredores "quentes" ou "frios" operacionais. No entanto, a norma fornece requisitos de dimensionamento e recomendações cruciais, tanto para a eficiência do resfriamento quanto para a segurança e acesso. Para o caso de corredores de saída, recomenda uma largura mínima de espaço livre de 1,2 metros.

Os corredores quentes ficam posicionados atrás de *racks* e gabinetes. Caso exista um piso elevado, as bandejas de cabos para cabeamento de telecomunicações devem ser instaladas sob o piso de acesso nos corredores quentes para melhor organização.

Se os corredores (quentes e frios) tiverem dimensões desiguais, os corredores frios devem ser os maiores, a fim de possivelmente fornecer mais ar frio e mais espaço onde o equipamento é tipicamente instalado (TIA, 2017).

O projeto do DC deve considerar criteriosamente o retorno do ar como fator essencial para maximizar a eficiência do sistema de resfriamento, uma vez que esse aspecto influencia diretamente a altura de instalação da contenção e o ponto de extração do ar aquecido.

As normas recomendam que as unidades de refrigeração (CRAC) sejam instaladas voltadas para o corredor quente, de modo que o ar quente exaurido pelos *racks* seja capturado diretamente e com o menor percurso possível, reduzindo perdas térmicas e garantindo maior eficiência no retorno do ar ao sistema de refrigeração.

Além disso, orienta-se a utilização da contenção física do corredor quente, cuja função é isolar o ar aquecido e direcioná-lo ao sistema de refrigeração de forma controlada. Nesse tipo de configuração, o retorno de ar ocorre pela parte superior da contenção, acima dos *racks*, o que contribui para um fluxo térmico mais eficiente e para a redução do consumo energético do sistema de refrigeração.

A norma TIA-942-B (2017) apresenta recomendações específicas voltadas à eficiência energética e ao gerenciamento do fluxo de ar nos DCs, com ênfase na separação dos fluxos de ar quente e frio. Essas diretrizes consideram o uso de gabinetes com contenção dos corredores quente ou frio, de modo a otimizar a circulação do ar e melhorar o desempenho do sistema de refrigeração.

Para assegurar a vedação adequada e a otimização do fluxo de ar, a norma recomenda a utilização de painéis cegos (*blanking panels*) em posições de unidades de *rack* não ocupadas, bem como o uso de tampas ou vedantes em portas abertas ou em espaços de módulos em painéis de *patch*. Além disso, orienta a aplicação de painéis e vedantes para impedir o desvio de ar entre os trilhos internos e as laterais dos gabinetes, assim como o uso de vedantes entre o piso elevado e a base dos gabinetes (nas partes frontal, lateral e traseira). Essas medidas contribuem para a redução de pontos de vazamento de ar, melhoria da eficiência térmica e diminuição do consumo energético do sistema de refrigeração (TIA, 2017).

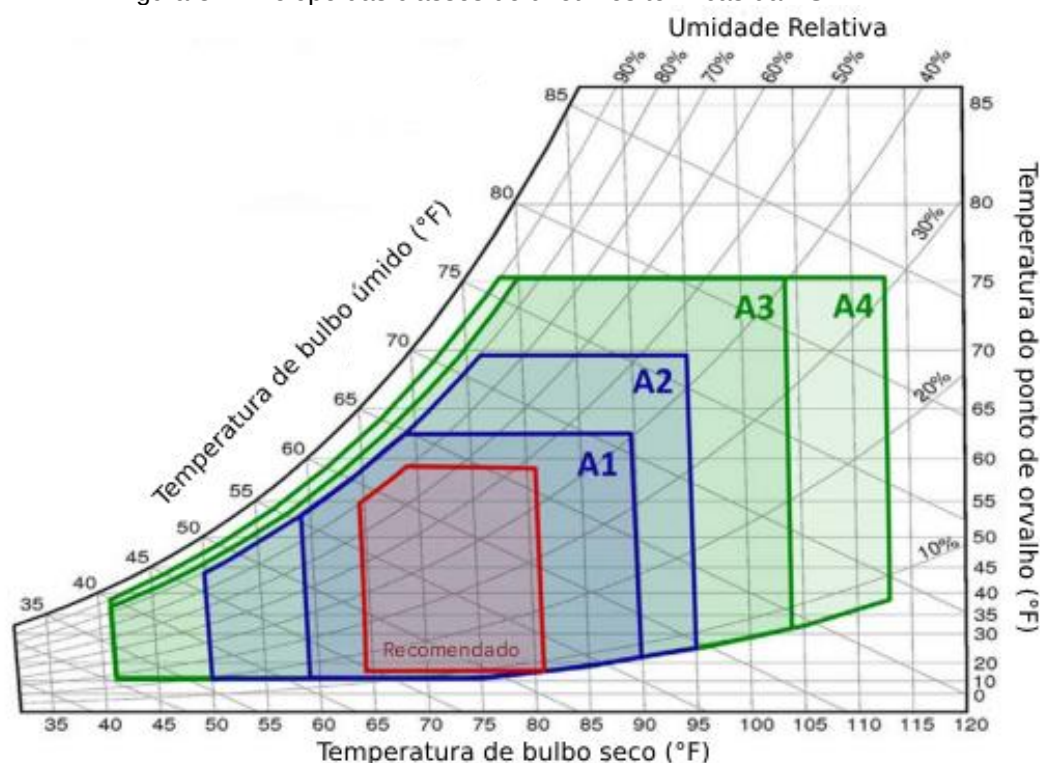
O equipamento deve ser colocado em armários e *racks* de forma que a sua entrada de ar frio ocorra na parte frontal, e a exaustão de ar quente direcionada na parte traseira. Inverter o equipamento no *rack* interromperá o funcionamento adequado dos corredores quentes e frios, prejudicando o funcionamento adequado dos corredores.

Assim como a TIA-942, a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) classifica os ambientes de *Data Center* em 4 diferentes categorias (Classe A1, Classe A2, Classe A3 e Classe A4). Os parâmetros adotados pela última são diferentes dos da primeira. A abrangência de ambientes é

maior para a ASHRAE, considerando ambientes como pequenos servidores, até mesmo de uso pessoal. A definição das classes é feita pela união de ambientes em operação total e os diferentes níveis de controle sobre cada um deles. Para cada classe a ASHRAE apresenta a carta psicrométrica descrevendo a área que cada classe deve habitar dentro do gráfico (ASHRAE TC 9.9, 2015).

A ASHRAE emitiu classes de diretrizes térmicas para espaços de equipamentos de TI em DCs, fazendo uso de envelopes expandidos que ajudam na otimização da eficiência energética e na redução do risco de falhas dos equipamentos. Assim, eles são recomendados para definir os limites de temperatura e umidade ideais para operar os equipamentos, considerando como temperatura recomendada uma variação de 18°C a 27°C, umidade relativa entre 40% a 60% e orvalho máximo de 15°C. Na Figura 3 tem-se a classificação de diretrizes térmicas recomendadas e algumas classes conforme característica de diversos ambientes de DC, e esses envelopes se referem às faixas de condições ambientais para o ar que entra no equipamento de TI (condição ao nível do mar).

Figura 3. Envelope das classes de diretrizes térmicas da ASHRAE.



Fonte: ASHRAE TC 9.9 (2015), modificado pelo autor (2025).

Na classe A1 de acordo com ASHRAE TC 9.9 (2021) é recomendada para ambientes críticos, onde necessitam de servidores de alto desempenho, tais como, bancos, provedores de serviços de internet e outros.

Na classe A2, é utilizada em pequenos DCs comerciais, locais não tão rigorosos com controle ambiental, porém os equipamentos instalados nela são mais tolerantes a variações do ambiente.

Na classe A3 recomendado em DC com menor controle ambiental e indicado para ambientes comerciais mais robustos, e o classe A4 tem seu uso em DC com equipamentos com suporte para tolerar variações de temperatura e umidade, além de possuir alta eficiência energética e custo de refrigeração reduzido. A Tabela 2 apresenta os tipos de classes recomendadas para cada situação de operação térmica em DCs.

Tabela 2. Classificação das classes de diretrizes térmicas da ASHRAE.

Classe	Temperatura	Ponto de orvalho	Umidade Relativa
A1	15°C a 32°C	17°C	8% a 80%
A2	10°C a 35°C	21°C	8% a 80%
A3	5°C a 40°C	21°C	8% a 80%
A4	5°C a 45°C	24°C	8% a 80%

Fonte: Elaboração própria (2025). Adaptada das diretrizes térmicas ASHRAE 2021.

Por fim, para todo o ambiente de TI e para atendimento aos valores adequados dos índices abordados, é importante que as condições recomendadas de temperatura e umidade relativa do ar sejam atendidas na face de admissão de ar dos *racks*, segundo recomenda o comitê técnico 9.9 da ASHRAE.

Também pode-se destacar a ISO 50001, uma norma internacional para Sistemas de Gestão de Energia (SGE) e aplicável a qualquer organização, sendo muito relevante para o estudo em DC, por se tratar de envolver grandes demandas de consumo de energia, tanto relacionado aos servidores e o sistema de refrigeração desse ambiente. A utilização dessa norma em DC contempla a otimização do uso de energia, redução de custos operacionais e proporciona a sustentabilidade ambiental.

A ISO 50001 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 2011), padrão para SGE, foi desenvolvida para ajudar a melhorar a eficiência energética das organizações, e define o como “conjunto de elementos inter-relacionados ou interativos para estabelecer política energética e objetivos energéticos, e processos e procedimentos para atingir esses objetivos”.

A ISO 50001 orienta a organização a desenvolver e implementar políticas para identificar áreas significativas de consumo de energia e a se comprometer em reduzir o consumo de energia. Essa norma não exige nenhum critério de desempenho específico, é baseada no sistema de gestão de melhoria contínua, e dessa forma facilita para que as organizações integrem a gestão de energia em seus esforços de melhorar a qualidade e gestão ambiental (Kanneganti *et al.*, 2017, p. 4).

Segundo Backlund, Chroner e Sundqvist (2014), o potencial para melhorias de eficiência energética por adoção de práticas de gerenciamento de energia depende do tamanho da empresa. Assim a adoção de padrões ISO 50001 contribui para aumento da eficiência energética acima de 20% em diferentes indústrias (Piñero, 2009).

A citada norma representa um avanço significativo ao exigir que uma organização demonstre melhorias no desempenho energético. Nela, não há metas quantitativas específicas; cabe à organização definir suas próprias metas e criar um plano de ação para alcançá-las (Mendonça *et al.*, 2024). Com essa abordagem estruturada, é mais provável que a organização obtenha benefícios financeiros tangíveis (Kals, 2015).

Seus modelos de maturidade são utilizados em diferentes contextos e setores, e na literatura são abordadas algumas aplicações, tais como, ferramenta no desenvolvimento de *software* na área de TI, na eficiência clínica na saúde, na mineração, na manufatura, na engenharia e construção para estimar a eficiência de projetos, no *ecodesign*, na gerência de serviços públicos e trabalho, entre outros. Esses modelos de maturidade são ferramentas importantes para melhorias de eficiência energética (Jovanovic; Filipovic, 2016; p. 2).

A implementação e execução de um sistema de gerenciamento de energia em conformidade com a ISO 50001 seguem o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), que oferece uma estrutura para melhorias contínuas de processos e sistemas. Esse ciclo, dinâmico e repetitivo, possibilita uma reavaliação constante do consumo de energia, promovendo a eficiência energética de maneira sustentável e ajustável ao longo do tempo (Fiedler; Mircea, 2012, p. 2).

2.6 Refrigeração e corredores

A refrigeração é um dos maiores consumidores de energia em um DC, e algumas técnicas de refrigeração podem ser empregadas com o propósito de reduzir seus custos financeiros e evitar paradas.

De acordo com a American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), a faixa de temperatura de entrada recomendada para várias classes de equipamentos de TI é entre 18 °C e 27 °C (ASHRAE, 2021).

Portanto, a maioria dos operadores de DC convencionais tentam manter a temperatura do ar de entrada de todos os servidores dentro do envelope recomendado pela ASHRAE. Num ambiente com grandes temperaturas não uniformes, operam de modo ineficiente, em temperaturas mais baixas e resfriam em demasia a maioria dos servidores para evitar temperaturas fora das recomendações do envelope ASHRAE (ASHRAE, 2021).

Ainda, se a preocupação maior for em relação a eficiência de todo o *site*, equipamentos com as mais modernas tecnologias construtivas e de automação podem ser utilizados de forma a diminuir os custos com a refrigeração: a utilização de *free cooling*, resfriamento evaporativo, termoacumulação e sistemas com absorção também podem e devem ser considerados.

De acordo com Rasmussen (2011), decisões simples e de baixo custo tomadas no projeto de um DC, podem resultar em economia de 20 a 50% de energia elétrica, e, com um esforço sistemático, até 90% da conta de energia pode ser evitada. Algumas estratégias como adotar plataformas com maior eficiência energética, operar sistemas disponíveis de maneira eficiente, aposentar sistemas, consolidar servidores e virtualização possibilitam a redução de custos e uma eficiência elevada.

A temperatura afeta a confiabilidade da memória a longo prazo, ou seja, as temperaturas mais altas aumentam as taxas de desgaste da memória, que precisam ser substituídas. A alta variabilidade na temperatura parece ter um efeito mais forte na confiabilidade do nó do que na temperatura média. Além de potencialmente afetar a confiabilidade do servidor, existem outras preocupações com o aumento da temperatura do DC. Temperaturas mais altas podem afetar o desempenho do servidor, aumentar um consumo de energia e levar a margens de segurança menores, em caso de falhas do AC ou ventilador (El-Sayed *et al.*, 2012).

Segundo El-Sayed *et al.* (2012) o aumento da temperatura de entrada de ar dos equipamentos de TI pode afetar a dissipação de energia do equipamento. Muitos fabricantes de TI começam a aumentar a velocidade dos ventiladores de resfriamento internos quando a temperatura do ar de entrada atinge um determinado limite para compensar o aumento da temperatura do ar ambiente. Além disso, a potência de vazamento de um processador aumenta com temperaturas mais altas, e pode representar uma fração significativa do consumo total de energia de um processador.

Segundo Marin (2011), o projeto de refrigeração do DC ou o seu sistema HVAC é tão importante quanto o projeto de distribuição elétrica. Outra informação que deve ser levada em consideração é que o sistema de ar-condicionado gasta aproximadamente 40% de sua alimentação elétrica para resfriar a *computer room* e que a cada 10 kW de carga para retirar calor da *computer room*, 4 kW são utilizados pelo sistema de ar.

As partes mais importantes em um DC são as unidades *Computer Room Air Conditioner* (CRAC) e os *racks* de servidores que abrigam os servidores. Os servidores geram calor e devem ser resfriados para manter uma temperatura satisfatória. Se o resfriamento for insuficiente, há risco de superaquecimento, o que pode fazer com que os servidores desliguem (Wibron; Ljung; Lundström, 2018).

Conforme Patankar (2010) é muito importante que os servidores sejam resfriados o suficiente, enquanto os superdimensionados sistemas de resfriamento em DC são caros para os negócios e um desperdício de energia. As unidades CRAC fornecem ar frio e, idealmente, o ar frio fornecido entra pela parte frontal dos *racks* de servidores e o ar quente que sai pela parte traseira dos *racks* de servidores, retorna para as unidades CRAC. Infelizmente, o ar quente exaurido pode entrar pela parte frontal de outro *rack* de servidores. Isso é chamado de recirculação de ar quente e deve ser evitado.

Os corredores são elementos importantes em DC, tanto para a organização e eficiência do ambiente. Essas áreas são destinadas à circulação de ar e por manter uma temperatura dentro das normalidades, e seu *layout* realizado de forma adequada gera a otimização do fluxo do ar e reduz o consumo de energia. Ahmadi e Erden (2020), e já mencionado por outros autores, para formar corredores quentes e frios, os *racks* de servidores são geralmente colocados de costas com costas e frente em frente em DCs refrigerados a ar de corredor aberto (*Open Aisle*).

Entre as principais delas está a redução da mistura do ar frio com o quente (confinamento de corredores); a diminuição de desumidificação desnecessárias (correlação entre baixas temperaturas de insuflamento e baixa umidade relativa do ar); a promoção do resfriamento próximo à carga; a minimização da recirculação do ar, também conhecida como *by-pass* ou curto-circuito de ar; o aumento da temperatura de operação do DC; e a otimização do *layout* dos espaços (Veras, 2009).

Do ponto de vista de Moraes Neto (2016), elementos arquitetônicos podem, e devem em muitos casos, ser instalados no ambiente de forma a permitir uma melhor difusão do ar por toda a sala e evitar curtos-circuitos de ar. Desta forma, os *racks* podem estar dispostos no ambiente de tal forma que exista uma segregação física entre corredores quentes e corredores frios, e, além disso, o confinamento destes corredores é uma das técnicas mais utilizadas para aperfeiçoamento da refrigeração nos projetos mais atuais de ambientes de TI.

Schmidt, Cruz e Iyengar (2005) estudaram vários fatores, incluindo altura do teto e do piso elevado e direção do fluxo de ar que afetam a eficiência de resfriamento de DCs refrigerados a ar. A não uniformidade de temperatura nas entradas do *rack* decorre da recirculação de ar entre o corredor frio e quente, que é a principal razão para ineficiências em DCs.

O fluxo de ar pode ser afetado por muitos parâmetros incomensuráveis, como pressão, velocidade e vazão de recirculação local. Nesse contexto, investigações por meio de métodos de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) são capazes de fornecer algumas características de projeto para estimar o desempenho de resfriamento de DC (Depoorter; Oro; Salom, 2015).

Para isso, se torna eficiente estudar como é o comportamento de ar da sala como um todo e tomar as devidas medidas para que o ar gelado chegue na face de admissão de ar dos *racks*. Assim, aliado ao estudo do comportamento do ar da sala por ferramenta de *CFD*, consideram-se ótimas práticas o confinamento de corredores, a aplicação de equipamentos confiáveis para a operação do ambiente e a utilização de redundâncias em um ou mais níveis (Moreira, 2022).

Também segundo Veras (2009), uma alternativa para melhorar a refrigeração do DC é utilizar fileiras de *racks* de frente para outra, formando os corredores quentes e frios. E o enclausuramento destes corredores pode economizar 20% dos custos operacionais de refrigerador (*chiller*). Já o *free cooling* é uma técnica de refrigeração que tem a proposta de reduzir o consumo de energia do DC, fazendo uso da coleta do ar externo para refrigerá-lo.

2.7 Simulação CFD (Computational fluid Dynamics)

A Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) deixou de ser uma ferramenta exclusiva da engenharia aeroespacial para se tornar uma estratégia amplamente adotada na engenharia moderna. Sua aplicação em simulações computacionais possibilita a otimização de projetos e equipamentos, promovendo maior eficiência e redução de custos operacionais. Atualmente, a CFD desempenha um papel crucial no desenvolvimento de tecnologias voltadas para energia limpa e renovável, além de contribuir significativamente para o cumprimento de rigorosas regulamentações ambientais, auxiliando no controle de emissões e na redução de poluentes (Tu; Yeoh; Liu, 2018, p. 1).

A mecânica dos fluidos estuda o comportamento dos fluidos, tanto em movimento (dinâmico) quanto em repouso (estagnado), sendo a CFD focada nos fluidos em movimento. Essa área analisa como o fluxo influencia processos como transferência de calor e reações químicas em combustão. A CFD combina conceitos de dinâmica de fluídos, matemática e computação para simular e analisar esses fenômenos, sendo uma ferramenta essencial na engenharia e em aplicações industriais (Tu; Yeoh; Liu, 2018, p. 1-2).

De acordo com Hu (2012), CFD é uma ciência que com ajuda de computadores pode prever quantitativamente o comportamento de fluxos de fluidos com base nas leis de conservação. Suas previsões incluem variáveis como velocidade, pressão e temperatura, além de aspectos gerais do fluxo, como taxa de escoamento e forças hidrodinâmicas. Apesar dos avanços em precisão e importância, suas previsões nunca são completamente exatas, exigindo cautela na interpretação dos resultados devido a diversas fontes potenciais de erro. As fontes mais comuns de erro são (Hu, 2012, p. 421-422):

- Erro de discretização, ocorre ao aproximar um sistema contínuo por um discreto, utilizando um número finito de pontos no espaço e no tempo. Sua magnitude varia conforme o método numérico e a distribuição da grade, sendo essencial uma escolha adequada para minimizá-lo;
- Erro de dados de entrada, ocorre devido à imprecisão na definição da geometria do fluxo e das propriedades do fluido, que podem ser

conhecidas apenas de forma aproximada ou com um nível limitado de precisão;

- Erro de condição inicial e de contorno, ocorre quando as condições usadas para definir o campo de fluxo não representam com precisão a situação real. As propriedades do fluxo podem não ser conhecidas de forma exata e, por isso, são aproximadas para permitir a realização do cálculo numérico;
- Erro de modelagem, ocorre quando fluxos mais complicados envolvem fenômenos físicos que não são totalmente descritos pelas teorias científicas atuais. Os modelos utilizados para resolver esses problemas inevitavelmente contêm imprecisões.

Segundo Hu (2012), a dinâmica de fluidos computacional se destaca como uma ferramenta poderosa de pesquisa e *design*, complementando tanto a dinâmica de fluidos experimental, quanto a teórica. Ele oferece uma série de vantagens que o tornam uma escolha valiosa em diversas áreas da engenharia. Entre as principais vantagens, pode-se destacar (Hu, 2012, p. 422-423):

- Pode ser produzido de forma rápida e econômica, sem uma quantidade extraordinária de treinamento, embora interpretar resultados frequentemente exija experiência, pois envolve análise detalhada e compreensão dos dados simulados;
- CFD de campo completo gera informações com detalhes e abrangentes sobre todas as variáveis relevantes, em todo o domínio de interesse. Essas informações são facilmente acessíveis, proporcionando uma visão completa e precisa do comportamento do fluxo em todas as regiões analisadas;
- Facilita a alteração dos parâmetros de entrada em uma ampla gama, o que permite otimizar o projeto de forma eficiente. Essas variações, muitas vezes, seriam impossíveis ou extremamente caras em estudos experimentais, tornando o CFD uma ferramenta valiosa para ajustes rápidos e econômicos;
- O CFD tem a capacidade de simular condições realistas, diretamente relacionadas às situações práticas. Diferente dos experimentos, que

podem exigir modelos em escala reduzida ou ampliada, ou das teorias analíticas, que podem ser válidas apenas para casos extremos. Ele permite representar de maneira precisa e direta as condições do mundo real;

- Permite a investigação de situações não naturais ou indesejadas, possibilitando o estudo de eventos potencialmente perigosos. Dessa forma, é possível realizar simulações para prever e evitar, por exemplo, incêndios, explosões ou falhas em usinas nucleares, garantindo a segurança e a prevenção de acidentes;
- Oferece a capacidade de simular condições ideais com uma flexibilidade que não é viável em experimentos físicos. Ele permite desativar ou desconsiderar termos específicos nas equações governantes, possibilitando o foco em parâmetros essenciais e a eliminação de fatores irrelevantes.

O DC, por se tratar de um ambiente com grandes quantidades de equipamentos que geram calor, principalmente os servidores, o uso da ferramenta CFD permitirá encontrar uma visão completa de foco de calor, mostrando retorno de ar quente oriundos de alguns *racks*, bem como o comportamento do fluxo de ar e alguns parâmetros de temperatura em todo o seu interior. Assim, a utilização do CFD oferecerá um panorama de como está o DC, conforme os parâmetros repassados na simulação, e a partir disso, propor soluções de melhoria do ambiente.

Essa simulação é muito importante, pois garantirá que os equipamentos disponibilizados no interior do DC tenham um correto funcionamento, prevenindo superaquecimento e/ou falhas nos sistemas. Também evita a ocorrência de situações que possam ocasionar um calor, que poderia não ser identificado, causando incêndios e danos na infraestrutura do local.

Conforme aponta Vaughan-Nichols (2019), operar um DC de forma ineficiente, como muitas empresas fazem, pode propiciar um gasto com o resfriamento do ambiente que pode ser o dobro do custo de compra e execução do *hardware*. Isso é muito dinheiro desperdiçado em HVAC (*Heat, Ventilation and Air Conditioning*), e é nesse contexto que a procura pelos estudos *CFD* tem se difundido, com o intuito de

melhorar a difusão de ar no local e diminuir a chance de ocorrência de *downtime* e desperdício de energia.

Por fim, a simulação contribui para otimizar o fluxo de ar no ambiente do DC, permitindo uma distribuição mais eficiente do ar frio fornecido pelo sistema de refrigeração. Dessa forma, os ajustes propostos com base nos resultados da simulação tendem a aprimorar o desempenho térmico do ambiente, reduzindo o consumo de energia elétrica e promovendo maior sustentabilidade operacional e ambiental.

2.8 Software CoolSim

É uma ferramenta de modelagem de Dinâmica de Flúidos Computacional (CFD) projetada para que se possa otimizar o resfriamento e o consumo de energia do DC, possibilitando uma solução específica para esse ambiente. Uma vantagem dessa ferramenta é que ela opera na “nuvem”, ou seja, suas simulações são remotas, não necessita de um *hardware* específico, além de se utilizar o CFD para o cálculo do fluxo de ar e distribuição de temperatura do ambiente (COOLSIM, 2025).

O *CoolSim* possui uma interface de usuário intuitiva para configurar um modelo de DC, permitindo definir se o piso é elevado ou não, se há *plenum* no teto, quais são os objetos para *racks* de servidores, quais e onde estão os condicionadores de ar de sala de computadores, e muitos outros mais. O aplicativo apresenta uma interface gráfica que possibilita que os objetos definidos possam ser arrastados e soltos, fazendo que o processo de *layout* seja rápido e de fácil montagem. Oferece uma licença gratuita, que permite a utilização de funcionalidades básicas da ferramenta, porém com limitações quanto aos recursos disponíveis, como simulações reduzidas e ausência de suporte técnico (COOLSIM, 2025).

Essa ferramenta permite a realização de testes e validação de diversos projetos envolvidos com DC, auxiliando no entendimento do fluxo de ar desenvolvido no ambiente de estudo. Ele utiliza o CFD para modelagem e previsão do comportamento térmico, de maneira a possibilitar que engenheiros simulem e prevejam o comportamento de flúidos com precisão e melhorem a refrigeração, trazendo eficiência energética do ambiente em estudo. Possui vários recursos importantes para auxiliar o usuário durante o manejo da ferramenta, dentre eles alguns com

destaques para o estudo com DC, que inclui a modelagem 3D, com possibilidade de fazer configurações de *layout* do local, dos *racks*, dos corredores quentes e frios, dos sistemas de contenção e de refrigeração.

Outro recurso do *CoolSim* é a análise de como o ar quente e frio circula no DC, pela simulação do fluxo de ar, possibilitando encontrar áreas que estão com superaquecimento. Desta forma, é possível avaliar a eficiência térmica, a eficiência energética e propor melhorias no DC. Os relatórios de saídas gerados são amplos, incluindo os campos de fluxo e temperatura para todos os equipamentos na sala, além de gráficos e animações, entre outros. O aplicativo também possibilita a modelagem de projetos de paredes de ventiladores, plenos de retorno de teto, configurações de *rack* de TI, além de suportar vários métodos de resfriamento (COOLSIM, 2025).

Diante do exposto foi escolhido este *software* para o desenvolvimento deste trabalho, além do uso da norma ASHRAE (2021) como referência térmica numa variação entre 18 °C e 27 °C. Também se destaca a norma TIA-942 como suporte para análise da estrutura física do DC, no que confere a um ambiente adequado para sua refrigeração.

Por fim, a simulação com CFD é fundamental para compreensão e rastreamento dos diferentes padrões de movimento do ar no interior do DC, assim como sua influência no consumo energético. Além disso, essa etapa permite aprofundar o conhecimento sobre a ferramenta, uma vez que a simulação possibilita a análise de diversos cenários de movimentação do ar em planos geométricos específicos dentro do DC.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, são apresentados alguns artigos que contribuem para o embasamento deste estudo. Os trabalhos analisados abordam a eficiência energética em ambientes de *DC*, destacando a importância dos sistemas de refrigeração e o desempenho térmico das instalações. Além disso, são discutidas boas práticas de infraestrutura que promovem o funcionamento eficiente e sustentável dos *DCs*.

Essas referências servirão como base para avaliar soluções e práticas recomendadas, visando a otimização do consumo energético e o aprimoramento das condições térmicas no local de estudo.

Nesse processo de análise de publicações foi utilizada a plataforma *Parsifal*, que é uma ferramenta *online* que dá suporte aos pesquisadores na revisão sistemática de literaturas. Na construção da pesquisa com o auxílio dessa ferramenta foram realizadas várias etapas, tais como, definição das perguntas que os trabalhos poderiam elucidar sobre a pesquisa, as palavras chaves e sinônimos, e os critérios de inclusão e exclusão de trabalhos.

Ainda para auxiliar no processo, também foi preenchida uma lista denominada avaliação de qualidade, com questões e as suas respectivas respostas e, a pontuação de avaliação de qualidade, possibilitando se obter um *ranking* das literaturas analisadas. Destacou-se, dessa forma, como uma eficiente ferramenta para gerenciamento de muitos artigos, garantindo que o processo fosse sistemático e bem documentado (PARSIFAL, 2024).

Na construção de uma revisão sistemática da literatura exige-se a consulta a uma quantidade significativa de trabalhos de pesquisa, que necessitam de ajustes de sequências de busca, filtragem de resultados para que se possa selecionar artigos que atendam aos critérios de inclusão ou a retirada dos que atendem ao critério de exclusão. Depois disso, o pesquisador pode dar início a análise de cada um dos resultados (Kitchenham, 2004).

Para elaboração, primeiramente, foram extraídos o campo de População, Intervenção, Comparação, Resultado e Contexto (PICOC). Na Tabela 3 destaca-se os termos utilizados na condução da revisão sistemática da literatura.

Tabela 3. População, Intervenção, Comparação, Outcome e Contexto (PICOC).	
Características	Valores
População	Artigos científicos de <i>Data Centers</i> considerados eficientes, publicados em revista e eventos acadêmicos.
Intervenção	Estratégias e tecnologias de refrigeração (<i>free cooling</i> , contenção de ar quente/frio, sistemas de resfriamento), ferramenta <i>CFD</i> e sistemas automatizados de controle de refrigeração.
Comparação	Sem intervenções ou diferentes métodos de refrigeração.
Outcome (resultado)	Redução do consumo de energia, aumento da eficiência energética, melhorias no PUE (<i>Power Usage Effectiveness</i>) e diminuição dos custos operacionais.
Contexto	Eficiência energética em ambientes <i>Data Centers</i> .

Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base Parsifal (2024).

A literatura foi consultada nos portais *Google Scholar*, *ACM Digital Library*, *IEEE Digital Library*, *MDPI*, *Scopus* e *ScienceDirect*, com período correspondente aos anos de 2020 - 2024. Para guiar a condução da revisão sistemática, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão para seleção dos artigos, conforme sumarizados no Quadro 1.

Quadro 1. Seleção de Critério: Inclusão e Exclusão.	
Critérios de inclusão	1 – Estratégias de gerenciamento térmico em DCs; 2 – Estudo com uso de algoritmos e ferramentas para otimização da eficiência em DC; 3 – Estudo de caso - Avaliação de refrigeração de um DC; 4 – Estudo de energias alternativas para demandas em DCs; 5 – Estudo de modelos de resfriamento de DCs com ênfase na eficiência; 6 – Estudo de métricas de avaliação da eficiência energética do DC; 7 – Estudo de revisão da eficiência energética em DC; 8 – Estudos comparativos que analisam o impacto de diferentes métodos de resfriamento; 9 – Estudos que analisam DC ideal energeticamente; 10 – Estudos que envolvam eficiência energética de refrigeração em DCs; 11 – Estudos que exploram o impacto de novas tecnologias de refrigeração. 12 – Estudos que investigam estratégias ou tecnologias de refrigeração voltadas para melhorar a eficiência energética em DCs;

	13 – Estudos sobre contenção de ar em DC.
Critérios de exclusão	1 – Artigos que abordam somente tecnologias de refrigeração antigas ou obsoletas; 2 – Estudos anteriores à 2020; 3 - Estudos duplicados; 4 – Estudos que não envolvam refrigeração de DC; 5 – Estudos que não incluem análise quantitativa ou qualitativa de eficiência energética; 6 - Estudos que não tenham aplicação direta em DCs; 7 - Estudos sobre refrigeração que não estão diretamente relacionados a DC.

Fonte: Próprio autor (2024).

Em seguida foram criadas *strings* de pesquisa utilizada nas plataformas de base de dados acadêmicas multidisciplinares, sendo essas: ((“*Data Center cooling*” AND “energy efficiency”) OR “HVAC systems”) AND ((“air conditioning” AND “*Data Center energy savings*”) OR (“cooling systems” AND (“power usage effectiveness” OR “green *Data Centers*”))).

As *strings* de pesquisa foram aplicadas nas bases de dados, em seguida, os dados foram importados para o *Parsifal*, procedimento realizado por meio do *download* dos trabalhos no formato de arquivos “*bibtex*” e posterior à importação para a plataforma. Assim, foi iniciado o processo de seleção dos trabalhos.

Inicialmente os arquivos são designados com o *status* de *Unclassified*. Depois é iniciada a avaliação de cada um deles, na qual é preciso ler o título e o resumo, e conforme os critérios de inclusão e exclusão, o *status* dos trabalhos podem ser modificados para *accepted*, *rejected* ou *duplicated*.

O processo de extração detalhada de dados é uma etapa essencial, pois ao reunir as informações específicas de artigos com *status accepted*, é possível realizar uma análise mais profunda do contexto em que os trabalhos foram desenvolvidos. Dados como autores, resumo, país de origem, ano de publicação e outros aspectos pertinentes fornecem uma visão abrangente da pesquisa.

O estudo resultou na pré-seleção de 156 trabalhos. Aplicando os critérios de inclusão e exclusão, 99 foram descartados, e 29 identificados como duplicados. Dessa

forma, restaram 28 trabalhos que apresentaram informações relevantes para extração de dados. A Tabela 4 apresenta os resultados da pesquisa, com detalhes de cada base de dados e o total de artigos em cada *status* de análise.

Tabela 4. Distribuição de artigos analisados por base de dados.

Base de dados	Artigos analisados	Artigos duplicados	Artigos recusados	Artigos aceitos
<i>ACM Digital Library</i>	10	-	9	1
<i>Google Scholar</i>	16	7	7	2
<i>IEEE Digital Library</i>	12	1	7	4
<i>MDPI</i>	15	5	7	3
<i>SciELO</i>	0	-	-	-
<i>Science@Direct</i>	83	5	65	13
<i>Scopus</i>	15	8	4	3
<i>Web of Science</i>	5	3	-	2
Total	156	29	99	28

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

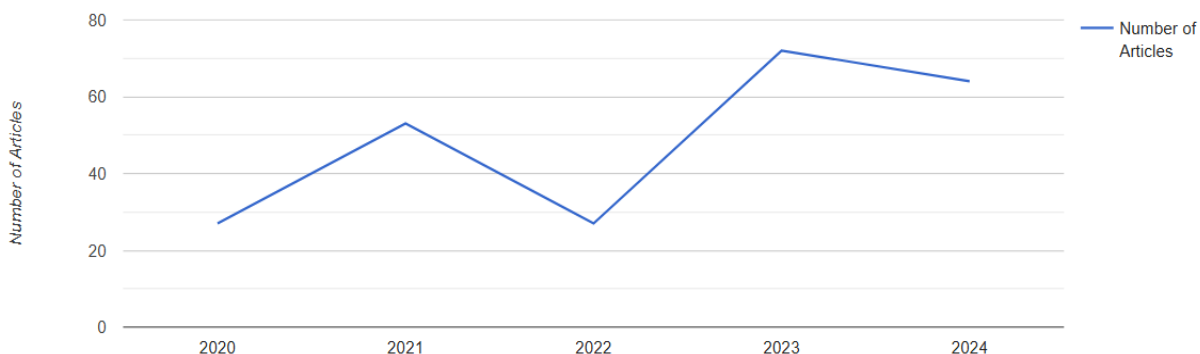
Nota:

(-): Artigos não disponíveis.

Dessa forma, as metodologias e abordagens dos trabalhos estudados são elementos essenciais que podem contribuir significativamente para o início de um desenvolvimento, uma vez que todo o projeto de pesquisa será fundamentado nesses aspectos. Os trabalhos aceitos fornecem dados valiosos, auxiliando no estudo da refrigeração no DC e destacando quais tecnologias são mais adequadas para aplicação. Vale ressaltar que todos os trabalhos aceitos apresentaram bons resultados em seus testes e aplicações, o que adiciona maior credibilidade e confiança ao projeto a ser desenvolvido.

Com base nas informações da Figura 4, observa-se um aumento no número de estudos sobre refrigeração em DCs a partir de 2021, e entre 2022-2023 um aumento significativo, e com tendência de manter o crescimento também em 2024. Assim, indicando que essa metodologia tem sido cada vez mais explorada e aprimorada ao longo dos anos, visando à melhoria da eficiência energética desse ambiente.

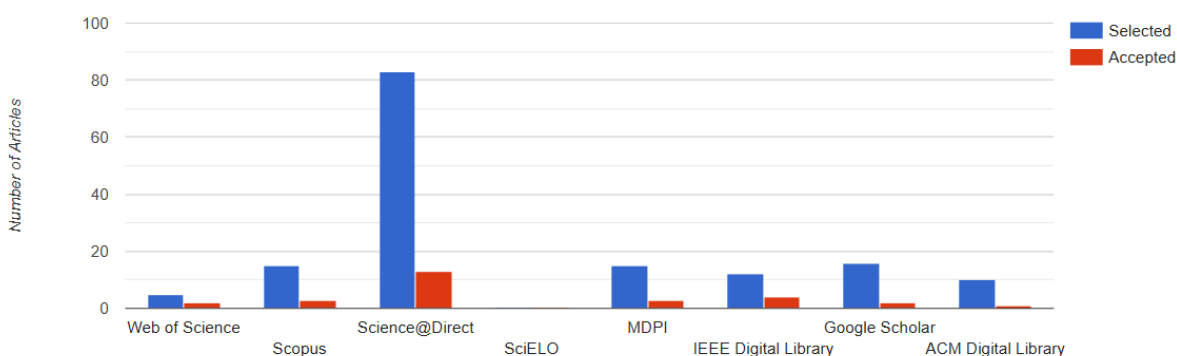
Figura 4. Quantitativo de artigos após seleção, estudos sobre refrigeração de *Data Centers* nos últimos cinco anos.



Fonte: Com base em Parsifal (2024), adaptado pelo autor (2025).

A Figura 5 apresenta um gráfico com os dados referentes aos artigos aceitos neste estudo. É interessante destacar que o número de artigos aceitos na sua maioria passou de 40% das bases de dados acadêmicas selecionadas, e tendo uma grande expressão de artigos aceitos quando utilizada uma das maiores e populares base de dados *ScienceDirect*, mantida pela editora Elsevier, chegando aos 75% de trabalhos aceitos.

Figura 5. Artigos sobre eficiência energética na refrigeração de *Data Centers* produzidos nos últimos cinco anos.



Fonte: Com base em Parsifal (2024), adaptado pelo autor (2025).

A Figura 6 mostra uma visão detalhada da utilização de diferentes bases de dados, evidenciando quais são as mais frequentes em termos de consulta e acesso por pesquisadores. O *Science@Direct* é a base mais utilizada, representando mais de 50% do total, indicando assim que mais da metade dos estudos analisados foram obtidos a partir desta plataforma. Esta predominância pode ser atribuída à sua vasta coleção de periódicos científicos, abrangendo diversas áreas do conhecimento.

Em seguida, observa-se uma distribuição relativamente equilibrada entre as outras plataformas de pesquisa, e o alcance “limitado a áreas específicas de pesquisa” se refere ao fato delas atenderem nichos ou campos específicos do conhecimento, o que reduz sua popularidade entre pesquisadores de outras áreas.

Figura 6. Quantitativo de distribuição percentual das bases de dados utilizadas para pesquisa sobre eficiência energética na refrigeração de *Data Centers*.



Fonte: Parsifal (2024).

No Quadro 2 apresenta uma lista de avaliação qualitativa dos trabalhos encontrados. A avaliação deste questionário consiste em uma descrição de respostas com peso variando em 0, 0.5 e 1 ponto, correspondendo às respostas “não”, “parcial” e “sim”, respectivamente. Assim, o conceito do questionário varia de 0 a 9, onde quanto maior a avaliação mais próxima da pesquisa realizada.

Quadro 2. Questionário da avaliação dos trabalhos.

- 1 – O estudo define claramente os objetivos relacionados à eficiência energética na refrigeração de DCs?
- 2 – O estudo identifica as melhores práticas e tecnologias emergentes para a otimização da eficiência energética dos sistemas de refrigeração em DCs?
- 3 – O estudo apresenta soluções para redução de consumo de energia no ambiente de DC?
- 4 – O estudo utilizou de energias alternativas para atender eficiência energética no DC?
- 5 – O estudo fez uso de ferramentas de simulação de fluxo de ar, exemplo CFD?

- 6 – O estudo fez uso de ferramentas e algoritmos para otimização da eficiência energética no DC?
- 7 – No estudo foram apresentadas alternativas sobre contenção de ar no DC?
- 8 – Apresentou modelos de resfriamento no ambiente DC?
- 9 – O estudo apresentou métricas de eficiência energética para DC?

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

E na Tabela 5 são apresentados os trabalhos aceitos com as melhores avaliações que atendem ao objetivo proposto na pesquisa sobre a eficiência energética na refrigeração dos DC.

Tabela 5. Avaliação dos trabalhos aceitos, com estudos analisados sobre eficiência energética na refrigeração dos DC.

Título do artigo	Autores	Ano	Nota
<i>Experimental study on direct evaporative cooling for free cooling of Data Centers</i>	Li, C; Mao, R; Wang, Y; Zhang, J; Lan, J. e Zhang, Z.	2024	6,5
<i>Study on the Design and Operation of an Outdoor Air-Cooling System for a Computer Room</i>	Hwang, J. e Lee, T.	2021	6,5
<i>Optimization Control Strategies and Evaluation Metrics of Cooling Systems in Data Centers: A Review</i>	Chang, Q; Huang, Y; Liu, K; Xu, X.; Zhao, Y; Pan, S.	2024	6,0
<i>Study on the influence of operating parameters of Data Center air conditioning system based on the concept of on-demand cooling</i>	Han, Z; Wei, H; Sun, X; Bai, C; Xue, D e Li, X.	2020	6,0
<i>Retrofitting HVAC systems for enhanced energy performance and resilience in the university Data Center room</i>	Singh, N; Permana, I; Agharid, A. P. e Wang, F. J.	2024	6,0
<i>Sustainability analysis of zero energy consumption Data Centers with free cooling, waste heat reuse and renewable energy systems: A feasibility study</i>	Gügöl, G. N; Gökçöl, F. e Eicker, U.	2022	6,0

<i>Thermal performance analyses and optimization of Data Center centralized-cooling system</i>	Wang, S; Tu, R; Chen, X; Yang, X. e Jia, K.	2022	5,0
<i>Development of modular air containment system: Thermal performance optimization of row-based cooling for high-density Data Centers</i>	Cho, J. e Kim, Y.	2021	5,5
<i>Advancements in Data Center cooling systems: From refrigeration to high performance cooling</i>	Zhou, F.; Gu, W. e Ma, G.	2024	5,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com Li *et al.* (2024), realizaram um estudo sobre a Tecnologia de Resfriamento Evaporativo Direto (CDEC) no resfriamento do DC, especialmente em locais de climas de alta temperatura e umidade. A pesquisa foi motivada pela redução do consumo de energia em DCs, concentrando-se na Nova Área de Gui'an, na província de Guizhou, China, onde as temperaturas excedem 32°C. No estudo os principais objetivos incluíram avaliação da eficácia do CDEC, análise das condições climáticas e da otimização de parâmetros e, propor soluções práticas para implementação do CDEC em projetos de DC. Os resultados mostraram que o ar poderia ser resfriado a temperaturas entre 25,6°C e 29,5°C e quando a umidade relativa do ar superava os 40%, tinha-se necessidade de manter o ar circulado no DC para garantir que a umidade e temperatura nos limites aceitáveis para o local.

Segundo Hwang e Lee (2021), o aumento da demanda por energia nos DCs deve-se ao rápido avanço da TI, o que ressalta a urgência de medidas para otimizar o consumo energético. Nesse contexto, o estudo investiga como a implementação de sistemas de resfriamento com ar externo pode contribuir para a redução do consumo de energia elétrica nos DCs. Para isso, foram desenvolvidos modelos de simulação com o objetivo de maximizar a eficiência energética, determinando o volume de ar necessário para o resfriamento dos equipamentos e estabelecendo diretrizes para reduzir o consumo de energia e melhorar a sustentabilidade do ambiente. Os resultados do estudo indicam que a aplicação de um volume de ar adequado pode

gerar uma economia anual superior a 56% nos custos com energia. Além disso, foi constatado que, ao longo do ano, a utilização do sistema de resfriamento com ar externo por mais de 8 horas diárias resulta em uma economia adicional: para cada aumento de 1°C na temperatura interna configurada, há uma redução de 441 kWh no consumo anual de energia.

No estudo conduzido por Chang *et al.* (2024) trouxeram estratégias com abrangência na importância dos sistemas de resfriamento com foco na eficiência energética e sustentabilidade no ambiente dos DCs. Nesse estudo abordaram como objetivo a identificação e análise dos diversos tipos de sistemas de resfriamento utilizados em DCs, investigando as estratégias de controle de otimização que contribuíram na eficiência dos equipamentos de refrigeração. Isto foi possível obtendo-se métricas de avaliação de eficiência energética e maneiras de melhoria do consumo e alinhamento com as metas de sustentabilidade.

O estudo de Han *et al.* (2020) propõe um sistema de refrigeração baseado na demanda, integrando um ciclo de resfriamento por tubo de calor e compressão de vapor. Nas simulações realizadas foi adotado um modelo matemático, cujos resultados indicaram que o Coeficiente de Desempenho (COP) aumentou à medida que a temperatura de entrada subiu, variando de 29°C a 41°C sob condições nominais. No modo de tubo de calor, observou-se um aumento de 30,11%, 13,52% e 6,3%, respectivamente. Já no modo de compressão de vapor, o COP apresentou aumentos substanciais de 74,65%, 82,12% e 90,97%, respectivamente. Esses resultados demonstram a eficiência crescente do sistema em resposta ao aumento da temperatura de entrada, evidenciando o impacto positivo de ambos os modos de operação.

Singh *et al.* (2024) realizaram um estudo no DC situado no edifício acadêmico da *National Chin-Yi University of Technology*, em *Taichung, Taiwan*. A pesquisa teve como objetivo melhorar a eficiência energética e o desempenho do sistema de resfriamento, que enfrentam problemas de alta demanda de energia e resfriamento inadequado. No estudo focou no *retrofit* do sistema HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado) do DC local, para isso utilizou as medições de campo e as simulações de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD). Na metodologia do estudo iniciou com avaliação das condições térmicas antes da modernização, para tal, foram

realizadas medições de temperatura, umidade, velocidade do ar e consumo de energia, posteriormente as simulações CFD foram implementadas, com base nos dados colhidos e realizadas suas análises. Como resultados dessa modernização dos sistemas HVAC se obteve redução do PUE e melhoria próxima de 50%, com diminuição da temperatura média dentro do DC, redução significativa do consumo de energia elétrica, melhoria na distribuição do fluxo de ar e, também trouxe benefícios ambientais e econômicos para a universidade.

Conforme os autores Eicker, Gügöl e Gökçöl (2022), o estudo de caso foi realizado em um DC de um banco em Kocaeli, na Turquia, tendo seu consumo de energia monitorado de forma contínua por dez meses. Nesse estudo, investigaram a viabilidade de chegar a um modelo de DC de Energia Zero (NZEDC) através da integração de sistemas de resfriamento natural, da reutilização de calor residual e do uso de um sistema de energia renovável para melhoria da eficiência em DCs. Assim, na realização do estudo, o objetivo foi comparar os sistemas de resfriamento convencional e o de resfriamento natural em termos de eficiência, e propor construções otimizadas de DC que minimizem a demanda de energia para realizar o resfriamento. Também tinham como objetivo realizar uma análise da viabilidade técnica e econômica em relação à reutilização do calor residual gerado pelos equipamentos do DC, e com a proposta de modelo de Energia Zero, com menor custo inicial e menor tempo de retorno do valor investido. Com essa proposta verificou-se a possibilidade de retorno do valor investido em até 6 anos, e concluiu também que a reutilização do calor residual foi eficaz, por se tratar de clima mais frio, contribuindo para a sustentabilidade do DC, com melhoria do PUE de 1,8 para 1,1.

O estudo conduzido por Wang *et al.* (2022), foi realizado em regiões com distintas características climáticas, focando nas cidades de Harbin e Pequim, na China. Na pesquisa, investigaram os fatores que contribuem para o consumo de energia em sistemas de resfriamento centralizados, e analisaram como as condições ambientais e a dissipação de calor dos equipamentos no DC afetam o desempenho térmico e o consumo de energia dos sistemas de refrigeração em DC. Como principais achados na pesquisa, destacaram-se pela viabilidade do uso de resfriamento natural com climas favoráveis em ambas as regiões; pela eficiência real do resfriamento gratuito devido a mistura de ar quente e frio, comprometendo a eficácia do sistema de

refrigeração e sugerindo melhor controle do fluxo de ar no DC e como a otimização do fluxo de água, proporcionando melhorias significativas de PUE com aumentos de até 30,6%.

No artigo publicado por Cho e Kim (2021), foi analisado um total de 2.592 possíveis arranjos de *layout* e desenvolvido um sistema de Contenção de Ar Modular (MAC), com foco na otimização do desempenho térmico em *DC* de alta densidade. O estudo concentrou-se na análise e otimização das configurações de resfriamento, utilizando simulações de CFD, e buscou soluções para manter as temperaturas dentro das faixas recomendadas pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).

O sistema MAC empregou configurações de contenção de corredor frio e corredor quente (CAC e HAC), separando os fluxos de ar frio e quente. Isso permitiu que o ar resfriado percorresse caminhos mais curtos até os servidores, reduzindo a dissipação de calor e aumentando a eficácia da distribuição de ar nos equipamentos. Como resultado, obteve-se uma melhor distribuição de temperatura entre os servidores e uma significativa redução no consumo de energia, pois o fluxo de ar foi otimizado. O estudo também indicou a configuração ideal para o sistema, alcançando um desempenho térmico eficiente com menor consumo energético.

Zhou, Gu e Ma (2024) discutiram os avanços nos sistemas de refrigeração de DCs, explorando estratégias para melhorar a eficiência energética e otimizar o desempenho desses sistemas. O estudo apresentou diversas abordagens, incluindo um controle adaptativo, robusto e baseado em Redes Neurais Artificiais (RNAs), que auxiliam no ajuste e na otimização de parâmetros críticos como temperatura e umidade. Além disso, o uso de técnicas de mineração de dados e aprendizado de máquina contribui para a prevenção de condições térmicas adversas no DC, permitindo a detecção precoce de pontos quentes no ambiente. Nesse contexto, a implementação de controles inteligentes foi fundamental para otimizar a eficiência energética, melhorar a confiabilidade do sistema e reduzir as falhas dos equipamentos. O monitoramento em tempo real permitiu que os sistemas respondessem rapidamente às mudanças ambientais e resolvessem problemas de forma eficiente, garantindo um ambiente mais estável e econômico nos DCs.

Diante disso, elaborou-se um resumo dos artigos, cujas contribuições foram organizadas em tabelas, com foco no estudo do ambiente do DC da UFMS. Esse levantamento permitiu evidenciar algumas ações estratégicas adotadas em diferentes contextos ao redor do mundo para atender à crescente demanda energética desses ambientes.

Na Tabela 6, é apresentado um estudo realizado na China, em 2024, no qual foram utilizados recursos locais da temperatura ambiente para o resfriamento do DC analisado, resultando em uma significativa redução no consumo de energia destinado à refrigeração.

Tabela 6. Síntese dos efeitos da aplicação da tecnologia CDEC em data centers, demonstrando a redução do consumo energético por meio do uso de fontes naturais de resfriamento.

Título do Artigo: <i>Experimental study on direct evaporative cooling for free cooling of Data Centers.</i>	
Autores(as)	Chao Li; Ruiyong Mao; Yong Wang; Jun Zhang; Jiang Lan; Zujing Zhang
País/local de estudo	Província de Guizhou, China
Ano de publicação	2024
Contribuição	O artigo demonstra que a tecnologia CDEC (resfriamento evaporativo direto por névoa fria) possibilita ao DC utilizar fontes naturais de resfriamento, resultando em uma redução significativa no consumo de energia destinado à refrigeração.

Fonte: Elaboração própria (2025).

O estudo realizado na Coreia do Sul, em 2021, apresentado na Tabela 7, evidenciou que a alteração da temperatura interna do ambiente pode ser uma estratégia eficaz para reduzir o consumo de energia em data centers.

Tabela 7. Influência da temperatura operacional na eficiência energética do DC: o estudo mostra que operar a sala a temperaturas mais altas, dentro das recomendações da ASHRAE, reduz o consumo energético sem comprometer a refrigeração.

Título do Artigo: <i>Study on the Design and Operation of an Outdoor Air-Cooling System for a Computer Room</i>	
Autores(as)	Jihyun Hwang e Taewon Lee
País/local de estudo	Coreia do Sul
Ano de publicação	2021
Contribuição	O estudo apresenta diretrizes para projetar e operar sistemas de resfriamento de forma mais eficiente, destacando que cada aumento de 1 °C na temperatura interna configurada pode gerar uma economia anual de aproximadamente 0,4% no consumo de energia. Na análise, os pesquisadores trataram a temperatura interna como parâmetro operacional, mantendo constantes a carga dos equipamentos e o volume de ar do climatizador, de modo que apenas a variável da temperatura foi alterada. Assim, operar o DC em temperaturas mais elevadas, mas ainda dentro das faixas recomendadas pela ASHRAE, configura-se como uma estratégia simples e eficaz de otimização. Isso ocorre porque, em períodos de verão, manter a sala a 24 °C exige maior gasto energético do que operá-la a 26 °C.

Fonte: Elaboração própria (2025).

O estudo apresentado na Tabela 8, realizado em Seul, Coreia do Sul, investigou a recirculação do ar no interior do DC como estratégia para reduzir o consumo de energia. Essa técnica de contenção também se mostrou eficaz para evitar que o ar quente se misture ao corredor de ar frio, contribuindo para maior eficiência do sistema de resfriamento.

Tabela 8. O sistema modular de contenção de ar (MAC) otimiza a refrigeração em *data centers*, reduzindo o recirculamento e o desvio do ar frio e aumentando a eficiência energética.

Título do Artigo: <i>Development of modular air containment system: Thermal performance optimization of row-based cooling for high-density Data Centers.</i>	
Autores(as)	Jinkyun Cho e Youngmo Kim
País/local de estudo	Na região da Coreia do Sul, em Seul
Ano de publicação	2021
Contribuição	O estudo propõe um sistema modular de contenção de ar (MAC) para otimizar o resfriamento em <i>data centers</i> . A principal contribuição está na implementação de estratégias que reduzem o recirculamento e o desvio (<i>by-pass</i>) do ar frio, garantindo uma distribuição mais eficiente entre os racks. Essa abordagem possibilitou a redução do consumo de energia na refrigeração, associada ao aumento controlado da temperatura de fornecimento do ar.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Tabela 9, o estudo contribuiu com a aplicação de estratégias inteligentes para o gerenciamento em tempo real da temperatura e da umidade no DC, permitindo detectar possíveis problemas de aquecimento e propor melhorias na eficiência operacional do ambiente.

Tabela 9. Monitoramento inteligente em tempo real de parâmetros operacionais (temperatura e umidade), resultando em maior eficiência energética e sustentabilidade na operação de *data centers*.

Título do Artigo: <i>Advancements in Data Center cooling systems: From refrigeration to high performance cooling</i>	
Autores(as)	Feng Zhou, Wenlong Gu e Guoyuan Ma
País/local de estudo	Universidade de Tecnologia de Beijing, na China
Ano de publicação	2024

Contribuição	O estudo destacou estratégias de gerenciamento inteligente voltadas à otimização de parâmetros como temperatura e umidade, possibilitando o monitoramento em tempo real para rápida detecção e solução de problemas. Os resultados indicam melhorias na eficiência do sistema de refrigeração, além de maior sustentabilidade, com a minimização de perdas e a redução do impacto ambiental.
--------------	--

Fonte: Elaboração própria (2025).

O estudo realizado na Turquia, apresentado na Tabela 10, introduziu o conceito de DC verde, destacando que a construção e a infraestrutura do data center influenciam diretamente a demanda de resfriamento. Além disso, propôs o uso de energia fotovoltaica como alternativa para suprir parte da demanda energética do ambiente.

Tabela 10. Medidas de eficiência energética em data centers: modelo de refrigeração inteligente, aproveitamento do calor residual, geração parcial de energia fotovoltaica e consideração do impacto da infraestrutura na demanda de resfriamento.

Título do Artigo: <i>Sustainability analysis of zero energy consumption Data Centers with free cooling, waste heat reuse and renewable energy systems: A feasibility study.</i>	
Autores(as)	Gül Nihal Güğül, Furkan Gökçül e Ursula Eicker
País/local de estudo	Kocaelli, Turquia
Ano de publicação	Análise dos dados no ano de 2020 e publicação do artigo em 2022
Contribuição	O estudo destacou estratégias rápidas e de baixo custo para transformar um DC de alto consumo em um DC verde. Entre elas, propôs um modelo de refrigeração inteligente que utiliza ar externo frio para resfriar o <i>data center</i> e ressaltou que a construção e a infraestrutura do edifício influenciam a demanda de resfriamento. Além disso, sugeriu o aproveitamento do calor residual dos servidores para outros ambientes do prédio e avaliou o uso de um sistema fotovoltaico para suprir parte da demanda elétrica do DC.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Neste estudo realizado em Taiwan, conforme Tabela 11, enfatizou estratégias na edificação e infraestrutura do *DC* para melhoria de sua eficiência. Dentre estas ações na infraestrutura, também tratou do aprimoramento na contenção de ar frio e quente, além de simulações com *CFD*.

Tabela 11. Síntese das ações de modernização em *data centers*: aplicação de contenção de ar, simulações *CFD* e reorganização de servidores para otimizar a eficiência energética e a uniformidade do resfriamento.

Título do Artigo: <i>Retrofitting HVAC systems for enhanced energy performance and resilience in the university Data Center room.</i>	
Autores(as)	Nitesh Singh; Indra Permana; Alya Penta Agharid e Fu-Jen Wang
País/local de estudo	Taichung, Taiwan
Ano de publicação	2024
Contribuição	O estudo enfatizou estratégias de modernização (<i>retrofitting</i>) voltadas à transformação de um data center pequeno e ineficiente em uma instalação com maior eficiência energética. Entre as ações propostas, destacou-se a reforma física para aprimorar a contenção de ar, bem como o uso de simulações com Dinâmica dos Fluidos Computacional (<i>CFD</i>) para diagnosticar falhas e sugerir melhorias. Por fim, recomendou a realocação dos servidores de maior demanda próximos ao sistema de refrigeração, enquanto os de menor demanda deveria ser posicionados em áreas centrais ou mais afastadas, de modo a promover um resfriamento mais uniforme em todo o ambiente.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Tabela 12 o estudo focou na análise de revisões dos últimos 20 anos como orientação na melhoria da eficiência do *DC*, e discutiu sobre a importância de ampliar padrões para atendimento à métrica de eficiência da indústria, *PUE*.

Tabela 12. Orientações para aumento da eficiência energética em *data centers*: ênfase na refrigeração a ar, automação na coleta de dados e aplicação de inteligência artificial para otimização do consumo energético.

Título do Artigo: <i>Optimization Control Strategies and Evaluation Metrics of Cooling Systems in Data Centers: A Review.</i>	
Autores(as)	Qiankun Chang; Yuanfeng Huang; Kaiyan Liu; Xin Xu; Yaohua Zhao e Song Pan
País/local de estudo	China
Ano de publicação	Revisão Bibliométrica de pesquisas realizadas entre 2004 à 2024
Contribuição	O estudo apresentou orientações para aumentar a eficiência dos <i>data centers</i>, com ênfase na refrigeração a ar e na análise do uso de piso elevado (<i>underfloor</i>), que pode favorecer a formação de pontos quentes. Também examinou a principal métrica de eficiência energética utilizada na indústria, o PUE. Por fim, ressaltou a importância de estabelecer uma padronização global das métricas, de implementar automação na coleta de dados e de aplicar técnicas de inteligência artificial para a análise do consumo energético nos <i>data centers</i>.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Finalmente, no estudo apresentado na Tabela 13, realizado na China, destacou a importância de estratégias de contenção de ar e suas problemáticas na eficiência do ambiente do *DC* quando não tratadas.

Tabela 13. Síntese do estudo sobre contenção de ar e carga de resfriamento em DCs: avaliação de falhas de isolamento e proposta de modelo matemático integrando calor dos equipamentos e ambiente externo.

Título do Artigo: <i>Thermal performance analyses and optimization of Data Center centralized-cooling system.</i>	
Autores(as)	Siqi Wang; Rang Tu; Xianzhong Chen; Xu Yang e Kun Jia
País/local de estudo	China
Ano de publicação	2022
Contribuição	O estudo destaca a relevância da adoção de estratégias de contenção de ar e evidencia os impactos negativos decorrentes de falhas no isolamento entre os corredores quente e frio. Além disso, propõe um modelo matemático para estimar a carga de resfriamento de um <i>data center</i>, considerando tanto a dissipação de calor dos equipamentos instalados nos <i>racks</i> quanto às trocas térmicas com o ambiente externo.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Diante disso, a revisão sistemática dos trabalhos relacionados à eficiência energética em data centers de diferentes países permitiu compreender as diversas estratégias apresentadas nos artigos analisados, selecionados e melhor avaliados conforme os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos.

As estratégias identificadas servirão de subsídio para o estudo do *data center* da UFMS, além de contribuírem para o entendimento das ações implementadas em outros contextos internacionais que resultaram em ganhos de eficiência energética.

4 METODOLOGIA

Na busca pela eficiência energética no DC da Agência de Tecnologia da Informação e Comunicação (AGETIC) da UFMS, foram investigadas as atividades realizadas no setor, com intuito de verificar como seria possível otimizar seu funcionamento.

A pesquisa em desenvolvimento é um estudo de caso, pois investiga um fenômeno dentro de um contexto real, e direciona para resolução de um problema prático envolvendo a observação de consumo energético dos equipamentos no DC da AGETIC na UFMS.

O objetivo da pesquisa é descritivo, pois, realizou-se uma observação nos equipamentos no ambiente do DC, com uma abordagem multidisciplinar, pois envolveu a integração de conhecimentos, análises e perspectivas, através de uma ótica de mais de um campo de conhecimento científico para resolver esse problema no DC da UFMS e na exploração do tema.

A pesquisa é conduzida no campo da engenharia, especificamente na área de Eficiência Energética e Sustentabilidade, adotando uma abordagem multidisciplinar e utilizando métodos quantitativos. Assim, fez-se um levantamento das condições de consumo dos equipamentos no DC, com intuito de compreender seu comportamento de funcionamento.

Os dados utilizados são de origem primária e secundária, incluindo tanto informações bibliográficas, quanto dados obtidos em campo. Nesse contexto, foram analisadas algumas características de infraestrutura do ambiente que podem ser aprimoradas para melhorar a forma de uso da energia, incluindo principalmente o sistema de refrigeração, que geralmente apresenta maiores problemas, visando minimizar, portanto, o consumo de energia, ou seja, a eficiência energética do local.

Conforme exposto, o trabalho tem como proposta fazer um estudo de caso nas instalações do DC da AGETIC, localizado na UFMS, a fim de analisar condições operacionais e térmicas do ambiente do DC da UFMS e apresentar propostas que visem melhoria da sua eficiência energética. Para tal, realizou-se visitas *in loco* com

o intuito de analisar o ambiente e levantar a demanda energética do local para análises.

O DC da UFMS, conforme o estudo desenvolvido, pode ser classificado como um DC *Tier II*. Observa-se que essa classificação se deve à sua estrutura de pequeno a médio porte, ao nível de criticidade do sistema e à presença de redundância parcial.

A manutenção do local pode exigir interrupções programadas, durante as quais alguns sistemas precisam ser temporariamente desligados para reparos ou atualizações, resultando em períodos curtos de inatividade. Quanto à disponibilidade, o DC opera ininterruptamente, 24 horas por dia, 7 dias por semana. Seu tempo médio de inatividade anual (*downtime*) é de aproximadamente 22 horas, o que corresponde a uma disponibilidade de 99,741%.

Idealmente, o DC deveria contar com múltiplos provedores de telecomunicações para garantir maior redundância e confiabilidade na conectividade. No entanto, atualmente, o serviço é atendido exclusivamente pelo Ponto de Presença do Mato Grosso do Sul (POP-MS) da RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa). Essa limitação pode impactar a disponibilidade da rede, uma vez que não há garantia de continuidade caso o provedor sofra uma queda.

No caso analisado, a redundância do DC está concentrada nos componentes críticos, como energia e refrigeração. O sistema de energia conta com múltiplas fontes alternativas, incluindo *No-Breaks* (UPS) para suporte temporário em casos de falha, geradores para emergências, em caso de falha no fornecimento pela concessionária.

A concessionária de energia, portanto, é a principal fonte de alimentação do DC e para garantir a estabilidade do fornecimento, o sistema conta com UPS (Sistema de Alimentação Ininterrupta), que protege contra quedas de energia e variações elétricas. No entanto, sua autonomia é limitada, sendo suficiente apenas para manter a operação até o acionamento dos geradores.

Os geradores de energia são ativados automaticamente em caso de falha na rede primária, assegurando a continuidade do funcionamento do DC. Contudo, sua capacidade é restrita, dependendo tanto do tamanho do tanque de combustível quanto do reabastecimento realizado pela equipe local.

Para atender aos requisitos de refrigeração, o DC opera com redundância entre unidades de ar-condicionado do tipo “splitão”, garantindo a manutenção das condições ambientais adequadas para a continuidade operacional do ambiente.

4.1 Local de implementação

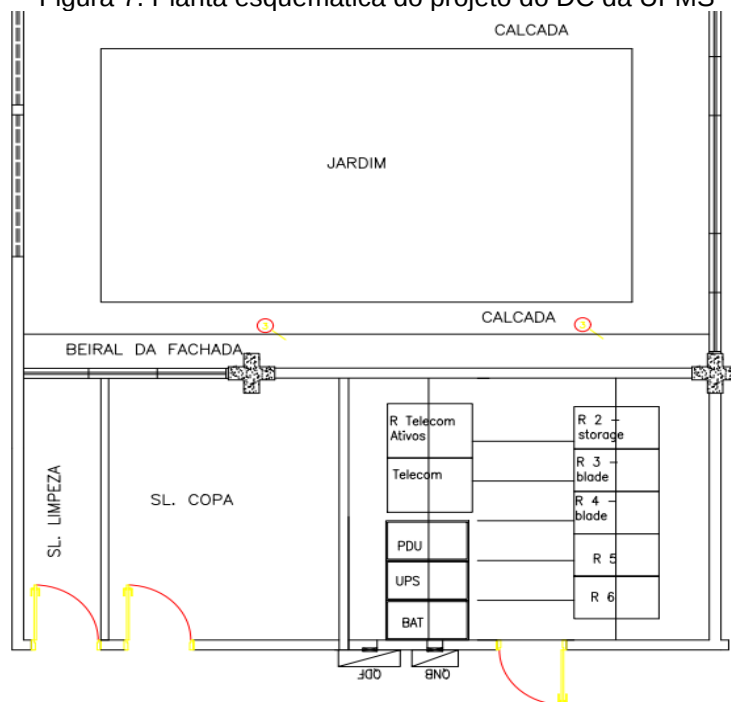
O DC da AGETIC na UFMS, está localizado em uma sala de informática com uma metragem de 20 m². Nesse ambiente existem 8 *racks* distribuídos em duas fileiras com 4 *racks* cada, um de frente para o outro, onde o ar que sai do “splitão” Carrier 10 TR (120.000 BTUs) é direcionado para o corredor de frente dos *racks*, para refrigerá-los.

Os *racks* dentro do DC estão dispostos em fileiras, e com esse *layout* formam elas corredores quentes e frios. Assim, no ambiente de estudo existem corredores *hots* (quentes), que ficam atrás dos *racks*, e corredor *cold* (frio) por onde os servidores “puxam” esse ar frio para refrigerá-los.

O sistema elétrico do DC é alimentado com tensão em 220 V, responsável pelo fornecimento elétrico tanto dos *racks*, quanto do sistema de refrigeração do ambiente. O sistema de refrigeração funciona 24 horas por dia, com redundância de operação entre um e outro “splitão”, de modo a garantir a operacionalidade do ambiente.

A Figura 7 apresenta a planta-croqui do ambiente, destacando o QDF (Quadro de Distribuição de Força), responsável pela distribuição de energia elétrica aos *racks* e ao sistema de refrigeração, bem como o QNB (Quadro Normal e *Bypass*), que garante a continuidade do fornecimento de energia e possibilita a alternância entre a rede elétrica e o sistema de UPS (*nobreak*).

Figura 7. Planta esquemática do projeto do DC da UFMS

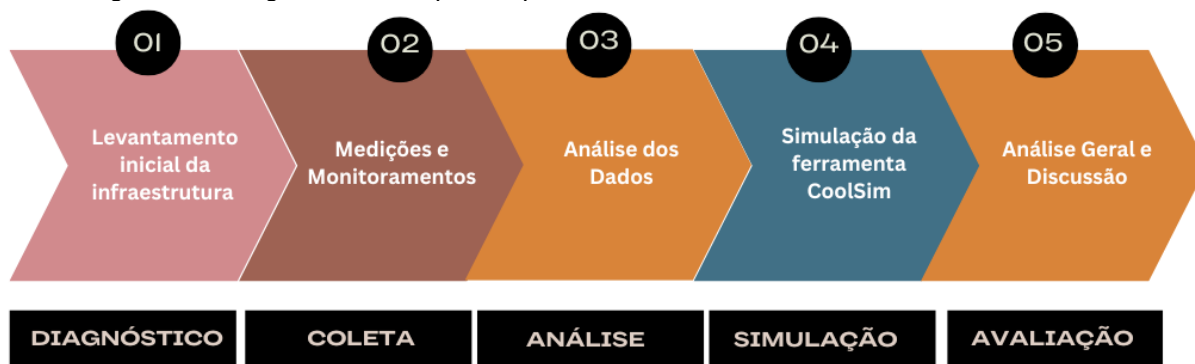


Fonte: AGETIC (2021), adaptado pelo autor (2025).

4.2 Desenvolvimento do Estudo de caso

Para desenvolver o trabalho, dividiu-se em 5 Etapas, conforme o fluxograma apresentado na Figura 8. Entretanto, observa-se que como foram muitos dados coletados, em cada etapa algumas análises foram realizadas. Ao final, uma análise mais abrangente é apresentada.

Figura 8. Fluxograma das etapas do processo de análise a serem desenvolvidas no DC.



Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Na Primeira Etapa, foram levantadas as principais características do ambiente por meio da identificação da potência de cada equipamento instalado no DC. Também foi aplicado um *checklist* para verificar as condições da infraestrutura física e do isolamento térmico do ambiente. Além disso, realizou-se o registro fotográfico dos componentes críticos da instalação, com o objetivo de documentar a situação atual das estruturas internas e externas relacionadas ao sistema de refrigeração e à contenção dos corredores do DC.

Na Segunda Etapa, o foco concentrou-se na coleta de parâmetros ambientais, como temperatura e umidade relativa, utilizando *data loggers* instalados no DC, com o objetivo de avaliar o comportamento térmico do ambiente e verificar sua conformidade com as normas técnicas aplicáveis. Também foi utilizada uma câmera termográfica para identificar variações térmicas em diferentes áreas do DC. Além disso, empregou-se um confortímetro para avaliar o comportamento do fluxo de ar no interior do ambiente e realizou-se a medição da iluminância por meio de um luxímetro, a fim de verificar se os níveis de iluminação atendem às exigências normativas relevantes.

Na Terceira Etapa, foi realizada uma análise da demanda energética do ambiente, contemplando o comportamento da tensão, corrente e potência durante a operação do DC. Além disso, foram avaliados os registros de análise térmica provenientes dos sensores APC já instalados nos *racks* pela AGETIC, utilizados para o monitoramento contínuo das condições térmicas do local.

Na quarta etapa, o sistema foi modelado por meio da ferramenta de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), com o objetivo de analisar o comportamento do fluxo de ar no ambiente em estudo. Nessa fase, avaliou-se a distribuição do ar em torno dos *racks*, e com o uso do confortímetro foi possível identificar a velocidade do ar e verificar os efeitos decorrentes das intervenções realizadas na etapa anterior.

Por fim, na última etapa, realizou-se a análise dos resultados obtidos em cada uma das fases desenvolvidas, apresentando as informações relevantes identificadas ao longo do processo de pesquisa, bem como as propostas de melhoria destinadas a atender às normas técnicas relacionadas à eficiência energética do ambiente. A Figura 9 ilustra essas etapas, as quais serão detalhadas nas subseções seguintes.

Figura 9. Descrição das etapas do fluxograma do processo de análise do DC.

ETAPA 1

Levantamento da potência dos equipamentos instalados nos racks;
Checklist do ambiente do DC;
Checklist do isolamento térmico do DC;
Registro fotográfico da infraestrutura.

ETAPA 2

Data Logger HOBO Onset;
Câmera Termográfica;
Confortímetro SENSU;
Medições de Iluminância com Luxímetro.

ETAPA 3

Análise de demanda energética;
Análise térmica dos sensores APC.

ETAPA 4

Simulação com CFD CoolSim.

ETAPA 5

Análise Geral e Discussão.

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

4.2.1 Etapa 1 – Levantamento inicial da infraestrutura

Nesta etapa o objetivo foi buscar informações sobre a infraestrutura do ambiente em estudo, e trazer informações detalhadas sobre as demandas energéticas do local. Todos os dados coletados foram *in loco*, possibilitando que fossem definidas estratégias de melhorias em eficiência energética no local.

Nessa análise sobre as características do DC foi verificada a infraestrutura física do local, e foi feita uma análise do espaço e do *layout* dos equipamentos inseridos no ambiente. As medições da área foram realizadas onde estão os equipamentos e os corredores de isolamento de ar (*hot aisle/cold aisle*), avaliando também a situação dos forros e os possíveis espaços que permitam fuga de ar. Além disso, avaliou-se a condição do sistema de piso elevado e o posicionamento dos

racks, assim como, foi analisado se o espaço disponibilizado atende às necessidades de futuras expansões.

Nessa etapa, durante o *checklist* da infraestrutura do DC foram realizados registros fotográficos da infraestrutura do ambiente, pois seriam registros necessários na identificação de possíveis pontos com problemas térmicos que poderiam comprometer o sistema de refrigeração do DC. Esses registros ajudaram no entendimento da situação física atual do ambiente do DC, trazendo esclarecimentos de como está o *layout* do DC, situação do sistema de refrigeração interno e externo, isolamento dos corredores de contenção, corredores quentes e situação internas dos *racks*.

Também se obteve informações sobre todos os equipamentos presentes no DC, através de um levantamento completo dos dispositivos dentro e fora dos *racks*, bem como seus respectivos consumos. Esse levantamento foi essencial para quantificar a demanda energética dos *racks* e do sistema de refrigeração, que estão entre os principais consumidores de energia no DC.

Toda a análise nessa primeira etapa tem como objetivo apresentar a dimensão do estudo e as particularidades da infraestrutura, avaliando sua capacidade de atender às demandas do DC. Além disso, buscou-se reforçar a importância do desenvolvimento do estudo proposto. Todos os dados coletados foram organizados em tabelas, facilitando a compreensão e clareza da investigação e permitindo uma análise mais criteriosa.

Para essa etapa um *checklist* foi implementado para auxiliar na análise e no levantamento dos equipamentos disponibilizados no ambiente no DC. O *checklist* completo encontra-se apresentado no Apêndice A (Quadro A1), com apresentação do modelo inicial para coleta de dados, que posteriormente poderia ser alterado de acordo com as particularidades e informações necessárias, verificadas durante as medições e levantamentos realizados.

Para finalizar a análise de isolamento, foi verificado o material das paredes internas, se estas mantêm a temperatura interna e se têm condições de evitar o contato com o ar dos corredores quente e frio. Nessa avaliação foi observado quais os principais tipos de *racks* instalados no ambiente, se possuem portas com vedação térmica (*blanking panels*), se não ocupam toda a altura do corredor frio, e se possuem

tampas superior (*top covers*). Assim, nessa etapa foi verificado o sistema de contenção do corredor frio e do quente, e se evitava a recirculação de ar (*bypass de ar*).

Para avaliação dessa etapa, desenvolveu-se um *checklist* que é apresentado no Apêndice A (Quadro A2), com uma lista de verificação da situação de isolamento do local de estudo, e que pudesse auxiliar na finalização do trabalho, possibilitando que propostas de melhorias identificadas fossem identificadas na análise.

4.2.2 Etapa 2 – Medições e monitoramento no local

Nessa etapa, foram obtidos os parâmetros necessários para o estudo da circulação de ar pela refrigeração do DC, considerando aspectos como umidade, temperatura dos *racks*, ponto de orvalho, além das temperaturas dos corredores quente e frio. A maior parte dos dados foram coletados *in loco*, utilizando sensores estrategicamente posicionados para garantir uma medição precisa e representativa do ambiente de estudo. A escolha dos locais de instalação dos sensores foi definida conforme a configuração física do DC, e foram ajustados para monitorar as condições do ambiente de maneira contínua e em tempo real, proporcionando assim dados precisos para a análise.

Para coleta dos dados alguns instrumentos adequados foram essenciais. Na medição da temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, umidade relativa do ar e temperatura de orvalho foram coletadas com auxílio de *data loggers* da marca Onset, modelos HOBO H08-001-02 e HOBO H08-003-02. Os dados coletados por esse aparelho foram importantes para monitorar se os níveis de umidade estavam baixos, podendo causar eletricidade estática, ou altas, podendo causar condensação de água e/ou curtos-circuitos em servidores e outros equipamentos.

Também foram registradas a velocidade e a temperatura do ar, com o objetivo de subsidiar a utilização da ferramenta de CFD, fornecendo parâmetros essenciais para a simulação das linhas de fluxo de ar no ambiente do DC. O equipamento empregado para essa finalidade foi o confortímetro SENSU, modelo K3, instrumento amplamente utilizado para o monitoramento de variáveis ambientais.

Para a análise das temperaturas nas proximidades dos *racks*, foi utilizada uma câmera termográfica FLIR modelo TG165-X, a qual possui tecnologia de detecção

antirradiação. Essa análise é relevante, considerando a influência da radiação térmica emitida pelos próprios equipamentos do DC, que pode interferir nas medições realizadas por sensores convencionais. Dessa forma, as medições obtidas com esse equipamento garantem maior precisão, uma vez que não sofrem interferência direta da radiação térmica proveniente dos equipamentos instalados nos *racks*.

Durante o monitoramento das condições do DC foi verificado as condições do nível de iluminação do ambiente. Para essa medição utilizou-se um luxímetro digital da marca Minipa, a intenção dessa leitura foi descobrir a iluminância do local, uma vez que esse parâmetro é importante para execução segura e eficiente das atividades realizadas nos *racks* do DC, além de verificar a conformidade com os requisitos estabelecidos pela norma TIA-942.

Adicionalmente, foram consultados dados disponíveis no banco de dados do DC, contemplando outros parâmetros relevantes que forneceram informações complementares para uma análise mais detalhada. Esses registros possibilitaram o acompanhamento das condições ambientais ao longo do tempo, permitindo comparações entre diferentes períodos e a identificação de possíveis variações sazonais capazes de influenciar a eficiência do sistema de refrigeração.

A coleta dos parâmetros foi fundamental e teve como objetivo fornecer um diagnóstico do sistema de refrigeração do ambiente, identificando áreas com risco de aquecimento nos *racks* ou possíveis falhas no resfriamento. Além disso, permitiu identificar falhas de infraestrutura decorrentes de variações térmicas ou de umidade, contribuindo para ajustar o sistema de refrigeração, tornando sua operação mais eficiente. Esse processo também proporcionou uma visão mais robusta da importância do estudo.

Na Tabela 14, foram registrados parâmetros de temperatura nos corredores de circulação de ar (*hot aisle/ cold aisle*), com objetivo de avaliar a eficiência da refrigeração. Esses dados coletados foram fundamentais para entender as variações térmicas e identificar pontos de falha ou ineficiência na distribuição do ar.

Tabela 14. Parâmetros da temperatura dos corredores dentro do DC.

Descrição	Parâmetro	Localização da coleta
Medição da temperatura no corredor quente (saída do ar)	Temperatura do corredor quente	Corredor lado direito

Medição da temperatura no corredor quente (saída de ar)	Temperatura do corredor quente	Corredor lado esquerdo
Medição da temperatura no corredor quente	Temperatura do corredor quente	Corredor lado direito
Medição da temperatura no corredor quente	Temperatura do corredor quente	Corredor lado esquerdo
Medição da temperatura no corredor frio (entrada de ar)	Temperatura do corredor frio	Corredor lado esquerdo
Medição da temperatura no corredor frio (entrada de ar)	Temperatura do corredor frio	Corredor lado direito

Fonte: Elaboração própria (2025).

Para finalizar essa etapa, a Tabela 15 apresenta informações do monitoramento dos níveis de umidade e o ponto de orvalho no ambiente, com objetivo de avaliar o impacto dessas condições térmicas na operação do DC e sua influência sobre a eficiência energética da refrigeração. O controle adequado da umidade e prevenção da condensação são essenciais para evitar danos aos equipamentos dentro do *rack*.

Tabela 15. Parâmetros da umidade e ponto de orvalho no DC.

Descrição	Parâmetro	Localização do sensor
Medição da umidade para prevenir formação de gotas/secagem excessiva	Umidade relativa do ar	No <i>rack</i> próximo do sistema de refrigeração/ saída de ar (esq e dir)
Monitoramento para detectar risco de condensação/formação gotas	Ponto de orvalho	No <i>rack</i> próximo do sistema de refrigeração/ saída de ar (esq e dir)
Medição da umidade para prevenir formação de gotas/secagem excessiva	Umidade relativa do ar	No <i>rack</i> esq/dir mais afastado do sistema de refrigeração (próxima da porta entrada DC)
Monitoramento para detectar risco de condensação/formação gotas	Ponto de orvalho	No <i>rack</i> esq/dir mais afastado do sistema de refrigeração (próxima da porta entrada DC)

Fonte: Elaboração própria (2025).

4.2.3 Etapa 3 – Análise dos dados

Nesta etapa, realizou-se a instalação do analisador de energia elétrica FLUKE 434 Série II no quadro de comando que alimenta os equipamentos do DC. O equipamento permaneceu instalado por sete dias registrando tensão, corrente e potência. Esse período foi necessário para observar o ciclo completo de operação do DC, considerando dias úteis, finais de semana e possíveis oscilações da rede.

Os registros de tensão permitiram verificar se o sistema opera em regime permanente dentro de uma faixa aceitável, identificar eventuais picos ou variações bruscas e analisar o comportamento da rede durante as transições entre concessionária e gerador. Da mesma forma, o monitoramento das correntes de fase possibilitou identificar os valores mínimos e máximos ocorridos no período, assegurando que o disjuntor do quadro esteja dimensionado adequadamente para suportar a corrente de retorno do gerador e o restabelecimento da energia da concessionária.

Com base nos dados coletados, obteve-se uma faixa média de potência demandada pelos equipamentos do DC, possibilitando avaliar o consumo energético real e a carga necessária para operação e manutenção da infraestrutura instalada.

Paralelamente, analisaram-se os registros dos sensores APC instalados nos *racks* de servidores e telecomunicações, que fornecem informações contínuas de temperatura, umidade e ponto de orvalho. Esses dados, monitorados e armazenados pelo ZABBIX com intervalo de coleta de cinco minutos por até 12 meses, foram fundamentais para compreender o comportamento térmico do ambiente ao longo do tempo. As informações permitiram uma avaliação mais detalhada das condições internas do DC e subsidiaram análises mais criteriosas sobre seu desempenho térmico.

4.2.4 Etapa 4 – Simulação da ferramenta CoolSim

Nesta etapa, o estudo com a realização de simulações com a ferramenta *CoolSim* foi em sua maioria de maneira remota, pois a ferramenta possui um *hardware* específico baseada na nuvem, o que dá suporte para que as práticas sejam realizadas à distância. Para que a simulação fosse a mais próximo da realidade, os dados

inseridos sobre o ambiente foram os obtidos *in loco*, para que o *software* pudesse apresentar informações mais próximas da realidade do DC da UFMS e relevantes para as análises.

Nesse momento, foi realizada a simulação do fluxo de ar no DC para se obter informações que mostrem necessidade de melhoria e, verificar se o isolamento não estava comprometendo a otimização da eficiência térmica do local. Para esse teste a simulação com a ferramenta de modelagem de Dinâmica de Flúidos Computacional (CFD) *CoolSim*, se mostrou adequada porque é específica para apresentar resultados sobre análise térmica e otimização de DC.

A utilização dessa ferramenta fornece informações importantes sobre a identificação de pontos quentes no ambiente do DC, e com essas informações é possível verificar se há possibilidade de se reduzir os custos com o sistema de refrigeração, auxiliar na otimização de *layout* para uma melhor configuração, verificar falhas térmicas e trazer um aumento na eficiência energética do DC.

Durante a execução da ferramenta de CFD, sua simulação compreendeu a elaboração de uma modelagem tridimensional do DC com representação dos *racks* e seus respectivos valores de demanda energética. Os *racks* montados durante essa etapa trouxeram cores vermelhas (equipamentos em operação), preta (*racks* com tampas cegas) e verde (*racks* sem equipamentos instalados e abertos). Essas informações das características dos *racks* permitiram trazer uma visualização comportamental de cada um dos *racks* e sua participação térmica no DC.

Também durante a construção do sistema de refrigeração da ferramenta percebeu-se que o espaço do DC ficaria muito estreito e até inviável tanto sua representação num único espaço do corredor frio disponibilizado, quanto todo o sistema de refrigeração. Diante disso, optou-se em reservar um espaço para acomodação das condensadoras e dutos, e para isso esse espaço foi dividido por paredes.

Diante dos resultados apresentados durante a análise do *CoolSim*, foram simulados os registros da dinâmica do ar quando sai pelos dutos e circulam no corredor frio e por fim nos equipamentos. No entanto, algumas inconsistências térmicas foram apresentadas quando testada uma demanda energética de 11 kW,

suas temperaturas de retorno ficaram muito acima dos resultados esperados iniciando mínimo em torno de 52 °C e máxima de até 88 °C.

Na Tabela 16 são apresentados alguns critérios de alguns possíveis resultados da análise, com suas descrições e sugestões de métrica conforme a recomendação de um DC ideal, segundo as normas técnicas e as características próprias do ambiente de estudo. Assim, foram verificados alguns eventos, para que fosse possível apresentar as análises e sugestões de solução de problemas.

Tabela 16. Critérios avaliados da situação térmica do DC da UFMS, considerando os resultados obtidos nos testes das etapas anteriores e na simulação realizada com a ferramenta CoolSim.

Critérios da análise	Descrição	Sugestão de métrica conforme a norma técnica.
Fluxo do ar frio nos <i>racks</i>	O fluxo de ar disponibilizado pela condicionadora atendeu os <i>racks</i> mais afastados?	Fluxo do ar com faixa típica por <i>rack</i> : 300 a 600 CFM (<i>cubic feet per minute</i>); Velocidade de ar nos corredores frios: 1,5 a 2,5 m/s.
Área dos <i>Hotspots</i>	Áreas onde houve alterações de temperatura conforme recomendado pela norma ASHRAE TC 9.9 (2021)	Temperatura acima de 27°C no corredor frio;
Temperatura interna no DC	Identificar se a temperatura de entrada se manteve no DC	Temperatura entre 18°C a 27°C
Umidade no corredor frio próximo do climatizador	Equilíbrio da prevenção da condensação.	Umidade relativa: Entre 40% e 60%
Capacidade do climatizador para demandas futuras	O sistema de resfriamento suporta futuras demandas de <i>racks</i>	Em torno de 20% na margem para demanda térmica
Existência de <i>Bypass</i> de ar frio no DC	Desperdício de ar frio	Abaixo de 10% do fluxo total
Umidade no corredor frio mais afastado do climatizador	Umidade se manteve	Entre 40% a 60%
Recirculação de ar quente	Retorno adequado do ar quente sem retornar para corredor frio	Menos de 10% do fluxo total

Distribuição de fluxo nos <i>racks</i>	Ar frio chega eficazmente em todos <i>racks</i>	Pouca variação de perdas pode variar até 20% da capacidade de ventilação
Eficiência do climatizador	Quanto de potência é gasta no resfriamento do DC	Menos de 30% do total
Sistema UPS foram eficientes	Sistema de energia se comportou eficazmente	Acima de 90% de eficiência
<i>Layout</i> comportou satisfatoriamente para os <i>racks</i>	<i>Layout</i> precisa de atualizações ou permite futuras expansões	Acima de 30% de espaço livre
Demanda/densidade de potência por <i>Rack</i> foi suficiente	Cada <i>rack</i> suporta a carga térmica especificada	Até 10 kW por <i>rack</i>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Finalmente, após realizada todas as análises referentes aos resultados apresentados pela ferramenta computacional CFD, foram indicadas suas respectivas soluções e nos casos que não possam ser resolvidas, indicações para mitigar os efeitos negativos. Assim, todas as soluções estão alicerçadas pelas normas técnicas e modelos existentes de DC ideais.

4.2.5 Etapa 5 – ANÁLISE GERAIS E DISCUSSÕES

Para atendimento e melhoria dos casos investigados foram propostas soluções observadas nos resultados obtidos com verificação *in loco* e com o uso da ferramenta CFD, observando as normas técnicas para atendimento de casos específicos e situações adversas. Soluções estas que possam ser desenvolvidas de modo mais célere e financeiramente viável, evitando problemas futuros devido a burocracia existente em órgãos públicos.

Nesta etapa, foram observadas normas que abordam melhorias tanto na refrigeração de um DC, quanto na garantia de um funcionamento adequado do ambiente, visando a preservação das informações armazenadas. O estudo se concentrou em aspectos fundamentais como temperatura, umidade, circulação de ar e eficiência energética. Foi implementado um *checklist* para que fosse possível identificar os itens necessários para aprimorar as condições do local em estudo.

Entre as normas de referência, destacam-se a ASHRAE TC 9.9, a ANSI/TIA-942 e a ISO 50.001, que dão suporte ao desenvolvimento do estudo e que irão assegurar a confiabilidade, segurança e eficiência energética do ambiente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos após a implementação das etapas descritas na metodologia. Observa-se que as etapas foram realizadas entre os meses de maio/2025 a outubro/2025, período de obtenção de dados do ambiente, das análises, das simulações computacionais com a ferramenta *CoolSim* e das indicações de melhorias, conforme as normas técnicas.

Os resultados obtidos têm como objetivo produzir um ambiente que proporcione a eficiência energética no DC e o transforme em um local que atenda os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e que reduza, conseqüentemente, o impacto ambiental. Assim, são apresentados os resultados obtidos em cada etapa, conforme descrito na metodologia. Salienta-se ainda que como foram obtidos muitos dados, para melhor apresentação e entendimento do texto, algumas análises serão realizadas logo após a apresentação desses dados coletados.

5.1 Etapa 1

Esta etapa refere-se à análise do ambiente do DC, realizada por meio do levantamento da potência dos equipamentos instalados, do preenchimento de um *checklist* voltado à compreensão da infraestrutura física, do sistema de refrigeração e de sua respectiva alimentação elétrica. Por fim, foi conduzida a análise da demanda energética do local, utilizando-se um analisador de energia.

5.1.1 Levantamento da potência dos equipamentos instalados nos *racks*

Nesta etapa foi realizado o levantamento da potência elétrica de cada unidade de *rack* do ambiente, com a descrição de cada equipamento. Esses dados eram necessários para que fossem inseridos posteriormente no simulador CFD, ferramenta *CoolSim*, na 4ª Etapa.

Com base no levantamento físico *in loco* verificou-se a utilização de 4 *racks* destinados na sua maioria para processamento de servidores, e dentre eles, alguns equipamentos para gravação e gerenciamento de imagens e vídeos de câmeras instaladas na universidade, *Network Vídeo Recorder* (NVR).

Identificou-se que o *rack* 1 é exclusivo para telecomunicações, e se encontra no corredor à esquerda de quem entra pela porta de entrada, acompanhado de outros três armários para: comando elétrico, UPS e baterias. Na coleta de dados, inicialmente considerou a potência elétrica de cada equipamento, e será na sequência apresentado de modo individual por *racks*.

A Tabela 17 identifica os servidores instalados nos *racks*, equipamentos estes que demandam alto consumo de energia elétrica dentro do DC, e consequentemente precisam de uma adequada refrigeração para que não haja superaquecimento. Nesse *Rack Unit (RU)* é possível instalar até 42 unidades de equipamentos de 1U, com aproximadamente 4,445 cm de altura por unidade, e a altura total do *rack*, incluindo toda a estrutura, é de aproximadamente 2,1 m.

Para este *rack* foi observado em torno de 17 unidades (17U unidades) de aberturas sem isolamento, que pudessem proporcionar uma melhor eficiência, e 25 U ocupadas com equipamentos.

Tabela 17. Levantamento da potência elétrica dos equipamentos contido no *rack* 1 do DC da UFMS.

Equipamento	Potência (W)
Servidor HP DL 360	300
Servidor HP DL 380	400
Servidor Dell <i>PowerEdge</i> R550	325
Servidor Dell <i>PowerEdge</i> R720/R730	320
Storage EMC	125
Servidor Dell <i>PowerEdge</i> R620	300
Servidor HP DL 380	230
Potência Total Rack 1	2000

Fonte: Elaboração própria (2025).

No *rack 2* foram encontradas diversas categorias de equipamentos, onde destacam os *storages* e servidores, com potência elétrica total de 2.265 W . Esse *rack* é responsável pelo processamento e armazenamento das informações, contendo 27U ocupadas com equipamentos, 3U tampas cegas e 12U aberturas. Na Tabela 18 foi destacado o consumo aproximado do *rack 2* considerando a potência de cada um dos equipamentos instalados e a total.

Tabela 18. Levantamento da potência elétrica dos equipamentos contido no *rack 2* do DC da UFMS.

Equipamento	Potência (W)
Servidor <i>Backup Core 2 Duo</i>	250
NVR Intelbras	75
Servidor Dell <i>PowerEdge R640</i>	375
NVR Intelbras	80
<i>Storage Iomega</i>	110
<i>Storage</i>	100
Servidor	285
Servidor	300
<i>Storage</i>	95
Servidor	265
Servidor Dell <i>PowerEdge R660</i>	330

Potência Total Rack 2	2265
------------------------------	------

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Tabela 19 é apresentado o maior consumo de energia elétrica dentro do DC, o *rack* 3, onde a demanda mais significativa está concentrada na *bladeSystem*. Neste *rack* encontram-se 31U ocupadas, 10U fechadas com tampas cegas e 1U aberta.

Tabela 19. Levantamento da potência elétrica dos equipamentos contido no *rack* 3 do DC da UFMS.

Equipamento	Potência (W)
Telefonia khomp	45
Servidor <i>Dell PowerEdge R550</i>	325
Servidor	320
Storage HPE 3PAR	150
Storage	200
Servidor <i>Dell PowerEdge R630</i>	525
<i>BladeSystem</i>	1165
Potência Total Rack 3	2730

Fonte: Elaboração própria (2025).

No *rack* 4 está instalado o servidor Nutanix, apresentado na Tabela 20, responsável pelo processamento de demandas críticas da UFMS. Nesse *rack*, apenas 8 unidades estão ocupadas pelo servidor, permanecendo as demais unidades abertas e sem o uso de tampas cegas, que evitaria o retorno do ar quente proveniente da exaustão do equipamento e reduziria a recirculação do ar do corredor quente.

Tabela 20. Levantamento da potência elétrica dos equipamentos contido no *rack* 4 do DC da UFMS.

Equipamento	Potência (W)
Servidor <i>Rack</i> Nutanix	3350
Potência Total <i>Rack</i> 4	3350

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Na Tabela 21 é apresentado o consumo do *rack* de telecomunicações, *rack* 5. Os equipamentos instalados neste *rack* são responsáveis pelas telecomunicações e redes, propiciando a organização e facilitando na manutenção e inspeções técnicas realizadas nele. Neste *rack* tem-se 23U ocupadas, 14U fechadas com tampas cegas e 5U abertas.

Tabela 21. Consumo do *rack* 5, considerando a potência nominal de cada um dos equipamentos.

Equipamento	Potência (W)
<i>NetBotz APC</i>	25
<i>Switch HP</i>	35
<i>Switch Aruba</i>	50
<i>Firewall Fortinet 600D</i>	85
<i>Firewall Fortinet 900D</i>	150
<i>Switch Aruba</i>	90
<i>Switch Aruba</i>	50
<i>Switch HPE</i>	75

Controladora <i>Ruckus</i>	175
Switch <i>DataCom</i>	45
Potência Rack 5	780

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

No *rack* 6 está alocado o quadro de comando elétrico da *Schneider Electric IT* Brasil, ou seja, é um gabinete voltado especificamente para controle, para proteção e para distribuição elétrica dos *racks* instalados no DC da UFMS. Ele abriga dispositivos que auxiliam na distribuição segura da energia elétrica para os demais *racks* de servidores e seus equipamentos, garantindo a proteção contra curtos-circuitos e sobrecarga, que possam trazer danos físicos aos equipamentos instalados no DC.

No *rack* 7 está instalado um módulo de potência, que transformam e regulam a energia AC-DC-AC (corrente alternada; contínua; alternada), esse *rack* elétrico de potência UPS de 100/160 kW, atua intermediariamente entre o sistema UPS e os equipamentos de TI, responsável por receber a saída principal de alta potência trifásica, e conectado por um disjuntor principal de 250 A. Assim, os *racks* são alimentados e protegidos contra surtos de tensão.

Finalmente no *rack* 8 se encontram as baterias (*No-break*), consistindo em uma estrutura modular que na falta de energia elétrica permite alimentação contínua dos equipamentos instalados no DC. Este *rack* possui gavetas de baterias que permitem a expansão modular, a facilidade na manutenção e substituição, nas trocas com a carga ativa (*hot-swap*) sem a necessidade de interromper o fornecimento de energia e um monitoramento individual em casos de falhas por gavetas.

Análise

A partir do levantamento realizado nos cinco *racks* apresentados nas Tabelas 12 a 16, verificou-se que a potência elétrica total dos equipamentos é da ordem de 11.125 W. Durante essa análise, observou-se que alguns *racks* necessitam da instalação de tampas cegas (*blanking panels*), conforme recomendado pela norma TIA-942 e ISO 50.001.

A utilização desses componentes é fundamental para evitar que o ar proveniente do corredor frio passe diretamente para o corredor quente, sem realizar o resfriamento adequado dos equipamentos. Além disso, conforme a norma ASHRAE TC 9.9 isso contribui para reduzir a recirculação do ar quente gerado pelas *fan/coolers* dos servidores em direção ao corredor frio, o que poderia comprometer o comportamento térmico e a eficiência do sistema de refrigeração do DC.

5.1.2 Checklist do ambiente do DC

Durante a verificação do ambiente, as características da infraestrutura do local foram obtidas, a fim de analisar se atendem às recomendações da norma e quais seriam as propostas de melhorias a serem implementadas no ambiente do DC. O *checklist* apresentado no Quadro 3 na metodologia foi preenchido na coleta dos dados.

Quadro 3. *Checklist* da infraestrutura verificada no DC da UFMS.

Espaço Físico e Estrutura do Data Center			
Descrição Itens	Sim	Não	Observações
Área total do DC.			20 m ²
Qual é o comprimento, largura e altura do ambiente do DC?			4,68 m x 4,16 m x 2,92m
Qual altura do pé-direito do DC?			2,92 m
Na sua divisão interna ele possui corredor frio?	X		
Quantos corredores frios estão implementados no DC?			1 Corredor (central)
Qual a dimensão do corredor frio (largura, comprimento)?			1,53 m x 4,16
Existe contenção física do corredor frio?	X		
Tem material que isola os corredores frio/quente?	X		
Qual o tipo de material?			Vidro temperado
A contenção física do corredor frio é realizada por portas?	X		
Qual material dessa porta?			Madeira

A contenção física do corredor frio é realizada por cortinas de ar?		X	
Na sua divisão interna ele possui corredor quente?	X		
Quantos corredores quentes possuem no DC?			2 Unidades
Qual o material que isola os corredores quente?			Vidro temperado
Qual a dimensão do corredor quente à direita (largura, comprimento)?			0,61 m x 4,16 m
Qual a dimensão do corredor quente à esquerda (largura, comprimento)?			0,48 m x 4,16 m
O piso é elevado?			Sim
Qual altura do piso elevado utilizado no DC?			0,22 m
Qual a função principal do piso elevado?			Distribuição de cabos e dutos elétrica
Existe forro instalado no ambiente do DC?	X		
Qual o material do forro?			PVC (Policloreto de Vinila)
Refrigeração do ambiente			
Descrição Itens	Sim	Não	Observações
Existe um sistema de refrigeração dedicado para o DC?	X		
Qual é a marca e modelo do ar condicionado?			Split Carrier 38EV-40VX10 (linha Inverter)
Quanto tempo foi feita a instalação do Splitão?			3 anos (30/11/2022)
O projeto foi executado por Engenheiro?	X		Eng. Mecânico Otássio Gomes Barca
O equipamento utiliza qual tipo de fluído refrigerante?			R-410 A
A condensadora está instalada em local ventilado e sem restrição ao fluxo do ar?	X		Local externo
A saída de ar da unidade condensadora está livre de obstruções (paredes, vegetação e outros)?	X		

O isolamento dos motores e componentes elétricos está íntegro e sem sinais de superaquecimento?	X		
Existe isolamento térmico adequado nas linhas de sucção e líquido?	X		
O isolamento térmico das tubulações de cobre (linha de sucção e líquido) está em boas condições e sem danos visíveis?	X		
A tubulação exposta ao sol possui proteção UV adequada?	X		
A drenagem da condensadora está funcionando corretamente?	X		
Qual é o COP (<i>coefficient of performance</i>) ou EER declarado pelo fabricante?			COP (Full Load) = 3,41 (High) e 3,16 (Low) EER (Full Load) = 11,6 (High) e 10,8 (Low)
O equipamento mantém a temperatura interna dentro da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9 (2021)?	X		
O sistema opera com controle por termostato?	X		Termostato eletrônico Carrier EcoSplit, modelo ECOCKFR6A
Quando foi feita a última manutenção preventiva?			Feita todo início do mês
Já houve reposição de gás refrigerante ou vazamentos detectados?		X	
Há registros de falhas ou alarmes no histórico do sistema?		X	
Qual tipo de sistema de refrigeração utilizada?			Split de grande porte – “Splitão”
Quantas unidades de refrigeração existem no ambiente do DC?			2 unidades
A refrigeração é redundante?	X		
Qual tipo de redundância?			N+1 (Possui 1 unidade extra além do <i>backup</i>)
Qual a capacidade de refrigeração de cada unidade instalada no DC?			10 TR ou 120.000,00

Os sistemas de refrigeração instalados estão funcionando?	X		
Existe automação para controle da temperatura e umidade?	X		Sensores já instalados
O monitoramento é contínuo?	X		
Possui sistema de alertas em caso de falhas?	X		Zabbix monitoramento - 24 horas
Existem sensores monitorando a temperatura?	X		
Existem sensores monitorando a umidade?	X		
Qual a temperatura configurada para o ambiente do DC?			Temperatura: 18 °C
Qual a temperatura mínima configurada para o ambiente do DC?			Temperatura: 16 °C
Qual a temperatura máxima configurada para o ambiente do DC?			Temperatura: 26 °C
Sistema de alimentação do DC			
Descrição Itens	Sim	Não	Observações
Qual a capacidade nominal (kW) do módulo de potência para os racks do DC?			33 kW
Qual a corrente máxima (A) no disjuntor do módulo de potência?			250 A
Qual o consumo médio registrado no rack elétrico de potência UPS?			11 kW
Qual é a autonomia do <i>Nobreak</i> (UPS)?			10 minutos
Existe redundância no fornecimento do sistema elétrico?	X		
Qual tipo de redundância do sistema elétrico?			Motor-gerador
O sistema elétrico do DC é trifásico?	X		
Existe aterramento e sistema de proteção contra surtos elétricos dedicados para DC?	X		
Existe gerador para suprimento em caso de falha na rede?	X		

Qual o combustível para motor-gerador?			Diesel
Qual a autonomia em horas do motor-gerador em falha da rede da concessionária?			4 horas
Existe integração entre o sistema UPS e o motor-gerador de energia?	X		Em caso de falha na rede da concessionária, o gerador entra automaticamente.
Existe segregação do circuito de TI e os da refrigeração?	X		
Existe geração de energia renovável?		X	
Possui Sistema de Transferência Automática (ATS)?	X		
São realizados testes de carga simulada no DC para detectar pontos de falhas?	X		Teste sem carga - Toda segunda-feira (15 minutos) Teste com carga - Toda quarta-feira (4 horas)
Qual a frequência dos testes de carga?			1 vez por semana (Toda a quarta-feira por 4h)
São realizados testes <i>failover</i> (sistema de transferência automática - ATS)	X		
Qual a frequência dos testes <i>failover</i> ?			Um a cada semana

Fonte: Elaboração própria (2025).

No Quadro 4 foi apresentado o *checklist* do isolamento térmico do ambiente do DC, contendo informações essenciais para a compreensão das condições do local de estudo e visando o esclarecimento da organização térmica do ambiente.

Quadro 4. *Checklist* do isolamento térmico da infraestrutura do DC UFMS.

Isolamento físico da estrutura do <i>Data Center</i>			
Descrição Itens	Sim	Não	Observações
Paredes externas expostas ao sol?	X		
Qual o horário com maior incidência da radiação solar?			Durante a manhã, às 11h.
Qual a frequência dessa incidência solar durante o dia?			Durante a manhã, a partir das 9h e praticamente todos os dias.

Vedação superior do corredor frio (paredes ou/e forros) está devidamente instalada e sem frestas?	X		
Fluxo de ar dentro do corredor frio é homogêneo, sem recirculação perceptível de ar quente?		X	
A temperatura de entrada dos racks, localizada no corredor frio, encontra-se dentro dos limites recomendados pela ASHRAE TC 9.9 (2021)?	X		
Possui um sistema de contenção de corredores?	X		
Existe isolamento das paredes internas que isolam os corredores quente/frio?	X		
Qual tipo de material das paredes internas do corredor frio?			Vidro temperado
Juntas entre racks apresentam aberturas que permitem vazamento de ar frio.	X		
Aberturas não utilizadas em racks (U livres) estão seladas com <i>blanking panels</i> ?		X	Possui alguns vão com espaço vazios sem equipamentos instalados.
As aberturas entre os racks podem causar recirculação do ar?	X		
Corredor quente com problemas?	X		Há algumas aberturas no forro do corredor frio, e as grelhas de saída de ar nos corredores quentes estão posicionadas rente ao piso.
Possui grelha de saída para o ar quente?	X		
A grelha disponível nos corredores quente possui exaustor?	X		
Possui possível recirculação de ar nos corredores quente?	X		
O teto possui forro?	X		
Qual tipo de material desse forro?			PVC
Forro com problemas?			Aplicar isolamento

Existem aberturas no forro?	X		Forro com abertura parcial pequenos descolamentos em sua estrutura.
Precisa de trocas dos forros?	X		Precisa de reparos e trocas de algumas peças danificadas.
Precisa de reparos dos forros?	X		
Piso elevado possui aberturas (placas soltas ou mal encaixadas)?		X	
Piso necessita de reparos ou trocas?		X	
A porta de acesso ao corredor frio do DC está em boas condições, com fechamento adequado?	X		
A porta de entrada ao DC possui vedação comprometida?		X	
A porta de acesso ao DC tem frestas/aberturas?	X		

Fonte: Elaboração própria (2025).

Análise

A aplicação dos *checklists* durante o estudo do ambiente foi fundamental para aprofundar o entendimento da infraestrutura do sistema elétrico e da refrigeração do DC, pois permitiu a investigação detalhada e a identificação de falhas e vulnerabilidades presentes no ambiente. Dessa forma, essas análises evidenciaram a importância das normas TIA-942 e ASHRAE, que orientam a construção e operação de DC confiáveis, garantindo uma gestão segura e eficiente da energia elétrica.

Durante a análise do espaço físico do DC observou-se pelas normas ANSI/TIA-942-B e ASHRAE TC 9.9 que as dimensões do local de estudo atendem as exigências tanto para a eficiência do resfriamento, quanto para a segurança e acesso. No entanto, apesar da norma não estabelecer uma largura mínima para corredores quentes, existe uma recomendação mínima para a largura dos corredores de saída, que, neste estudo, corresponde ao corredor frio, cuja medida sugerida seria de 1,2 m. No caso do DC analisado, o corredor frio possui uma largura de 1,53 m, estando, portanto, dentro do recomendado.

Por outro lado, para garantir circulação adequada, facilidade de manutenção e eficiência no fluxo de ar no corredor quente, a norma ANSI/TIA-942-B recomenda uma

largura mínima de 1,0 m. Contudo, as medições realizadas indicaram que as larguras dos corredores esquerdo e direito são de 0,48 m e 0,61 m, respectivamente, valores inferiores ao recomendado, o que pode impactar negativamente a distribuição do ar e a manutenção dos equipamentos.

Com relação ao piso, parede e tetos do ambiente estudado, todos possuem cor clara e que melhoram a iluminação do ambiente, e os pisos instalados possuem propriedades antiestáticas para evitar o acúmulo e descarga de eletricidade estática, que poderiam danificar os equipamentos eletrônicos sensíveis instalados no local. Todos esses itens avaliados estão de acordo com exigências estabelecidas pela norma ANSI/TIA-942-B, além do piso elevado que segue possuindo caminhos de cabos de telecomunicações localizados abaixo do piso nos corredores quentes.

Com relação a contenção física para separar o ar frio e o ar quente como forma de aumentar a eficiência energética e estabilidade térmica do ambiente, o ambiente de estudo tratou com a disposição dos *racks* e paredes de vidro temperado, formando dois corredores quentes, garantindo o isolamento térmico e atendendo as exigências das normas ANSI/TIA-942-B e ASHRAE TC 9.9.

A norma ANSI/TIA-942-B faz uma abordagem com relação ao tipo de forro, tratando sobre a sua resistência ao fogo, construção estrutural e segurança. Diante do exposto, o tipo de forro utilizado no DC não atenderia, pois é de PVC, não resistente ao fogo, e possui frestas entre suas placas que podem gerar vazamentos de ar frio, comprometendo também a eficiência da refrigeração e não atendendo a recomendação da norma ASHRAE TC 9.9.

Para atendimento a norma no que diz respeito ao material que foi forrado no teto do DC, ela não cita diretamente a marca e/ou modelo, mas traz características que muito bem seriam atendidas pelo gesso acartonado (*drywall* RF resistente ao fogo). Esse tipo de material possui substâncias não combustíveis e tem bom desempenho térmico e atua na contenção de corredor ar quente e frio.

Na análise realizada com a refrigeração do DC, seguiu-se as recomendações exigidas pela norma ANSI/TIA-942-B e ASHRAE TC 9.9, possuindo um sistema de refrigeração dedicado somente para o ambiente do DC, com sistema de refrigeração redundante, com monitoramento contínuo por sensores NETBOTZ e com a

refrigeração funcionando internamente dentro da faixa recomendada pela norma ASHRAE.

A alimentação do sistema do DC possui um quadro geral trifásico, com aterramento e independente para atender somente este ambiente, com módulo de potência para controle durante as trocas de fornecimento de energia ou nas suas oscilações, e sistema de UPS para assegurar a continuidade do fornecimento de energia conforme estabelecido pela norma ANSI/TIA-942-B.

No sistema de alimentação do DC, também segue orientações da norma ANSI/TIA-942-B com relação à autonomia mínima do banco de baterias, também possui um gerador como fornecimento redundante de energia em caso de falha da rede da concessionária.

5.1.3 **Checklist** do isolamento térmico do DC

Durante a análise do isolamento térmico do DC, observou-se que o forro apresenta alguns problemas em sua estrutura, com aberturas e possibilidade de descolamento da parede, podendo comprometer a eficiência térmica do local. O material utilizado desse forro não é adequado conforme a norma TIA-942-B, pois orienta o uso de material que traga resistência ao fogo, de forma a garantir segurança, integridade estrutural e proteção aos equipamentos.

Dessa forma, recomenda-se a troca desse forro por um forro de *drywall* RF, que proporcionará, em relação ao atual, um melhor desempenho térmico, associada a uma melhor contenção de ar dentro do corredor frio, atendendo as premissas da norma ASHRAE TC 9.9. No entanto, essas aberturas não trouxeram um fator expressivo no retorno de fluxo de ar. Recomenda-se ainda que sejam realizados alguns reparos na porta de entrada

Durante a visita *in loco*, algumas fotos foram registradas, com visualização de possíveis problemas estruturais que poderiam comprometer o isolamento térmico, trazendo prejuízos durante a refrigeração aos equipamentos instalados nos *racks*.

Observou-se abertura no forro de PVC, localizado nos corredores quentes, conforme Figura 10 (a) e (b). Ressalta-se que essa abertura tem que estar corretamente encaixada e ser de fácil manuseio quando houver necessidade de sua

remoção para manutenções no ambiente, dessa forma, evita-se que essa abertura seja ponto de fuga de ar quente para o corredor frio.

Figura 10. Alçapão instalados nos corredores quentes do DC.



(a) Forro de PVC do alçapão destinado ao corredor quente à esquerda.



(b) Forro de PVC do alçapão utilizado no corredor quente à direita.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na Figura 11 (a) e (b) foi registrada uma abertura no forro de PVC, com vão de 15 cm x 8 cm (comprimento e largura respectivamente) que poderia influenciar no comportamento térmico no corredor frio. Também foi constatado o leve desprendimento parcial do forro em (b), com risco de quedas no futuro.

Figura 11. Aberturas no forro de pvc, próximo ao climatizador, no corredor frio do DC.



(c) Abertura do forro no corredor frio próximo do climatizador.



(d) Possível desprendimento do forro PVC no DC no corredor frio.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na Figura 12 (e) podem ser observados, próximo à porta de acesso ao DC do corredor frio, sinais de que o forro está cedendo. Na Figura 12 (f) é possível notar a obstrução da passagem do ar quente no corredor quente, pela eletrocalha que passam os cabos que atendem aos racks.

Figura 12. Registro de início de desprendimento de forro e obstrução na grelha de saída do ar quente do DC.



(e) Ocorrência de início de desprendimento do forro de PVC no DC próximo porta entrada.



(f) Obstrução da passagem do ar quente pela eletrocalha 100x50 na grelha instalada.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As aberturas observadas no forro no corredor frio encontram-se localizadas uma próxima da porta de entrada para o DC e outra próxima do climatizador, respectivamente registradas na Figura 13 (g) e (h). Na primeira foto a abertura possui um diâmetro em torno de 6 cm, e o segundo registro trouxe uma perspectiva diferente de registro das Figura 11 (c) e (d) já apresentados.

Figura 13. Aberturas no forro aparentes no corredor frio do DC.



(g) Presença de abertura no forro de PVC do corredor frio do DC próximo porta corredor quente à esquerda.



(h) Vista mais próxima da abertura do forro PVC no corredor frio situado no lado direito.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Análise

As normas TIA-942-B e ASHRAE TC 9.9 recomendam que os forros utilizados em DC sejam projetados com materiais que ofereçam resistência ao fogo, robustez estrutural e segurança adequada ao ambiente. No entanto, durante a visita *in loco*, foi constatado que o forro instalado não atende plenamente a essas recomendações, apresentando aberturas que podem comprometer a eficiência da contenção de ar, em desacordo com as diretrizes da norma aplicáveis a esse tipo de ambiente.

Apesar dessa constatação, a análise dos resultados térmicos obtidos durante a pesquisa indica que a influência das aberturas e do tipo de forro instalado sobre as condições térmicas do ambiente foi mínima, uma vez que os valores medidos permaneceram dentro da faixa recomendada pelas normas de referência. Ainda assim, recomenda-se a adequação do forro conforme as orientações normativas, de

modo a garantir maior segurança, eficiência na contenção do ar e conformidade técnica do DC da UFMS.

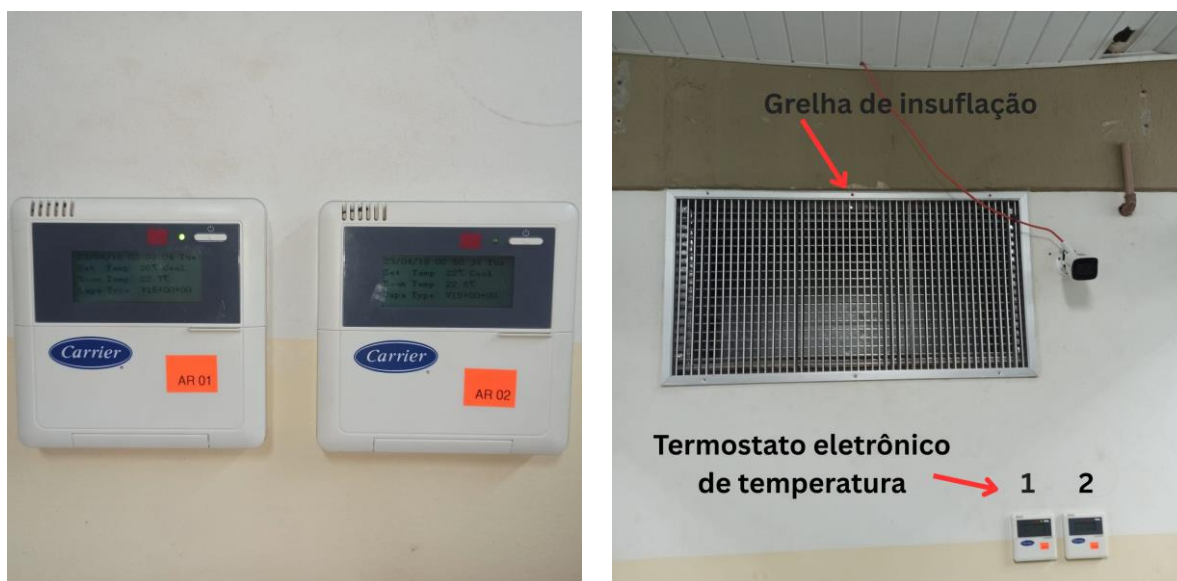
5.1.4 Registro fotográfico da infraestrutura

Os registros fotográficos constituem uma etapa essencial para a caracterização e compreensão da infraestrutura do ambiente em estudo, uma vez que permitem a análise visual das condições físicas e operacionais do DC. Essa documentação auxilia na identificação de aspectos relevantes relacionados à distribuição do ar, à disposição dos equipamentos e à verificação de possíveis pontos de ineficiência térmica que possam comprometer o desempenho do sistema de refrigeração.

Dessa forma, foram realizados registros fotográficos contemplando a infraestrutura do sistema de refrigeração, o arranjo dos corredores frio e quente, bem como o posicionamento dos *racks* no ambiente do DC. As imagens obtidas possibilitaram uma representação fiel das condições atuais do espaço físico, servindo como subsídio para a análise da eficiência térmica e energética do sistema instalado.

A Figura 14 (b) apresenta a disposição das saídas do ar-condicionado da evaporadora do “Splitão” observadas no corredor frio, destaca-se que as dimensões são 1,05 m x 0,55 m. Também na Figura (a) pode-se verificar o termostato eletrônico *Carrier EcoSplit*, modelo ECOCKFR6A, responsável pelo controle automático da temperatura do sistema de refrigeração e programado para cada uma das unidades de refrigeração instalada.

Figura 14. Termostato eletrônico *Carrier EcoSplit* instalado próximo à unidade evaporadora, no corredor frio do DC



(a) Termostato eletrônico programável Carrier EcoSplit de cada unidade de refrigeração.

(b) Grade de saída do ar da evaporadora do splitão Carrier.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os sistemas de refrigeração instalados, incluindo a unidade condensadora, dutos e tubulações de cobre, conforme representado na Figura 15 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) e (h) foram posicionados na parte externa do prédio, porém protegidos por uma cobertura para resguardar o equipamento contra agentes ambientais. Observa-se que a área destinada à instalação do sistema de ar-condicionado possui abrigo e está elevada em relação ao solo, oferecendo proteção contra possíveis alagamentos causados por chuvas, além de minimizar impactos de diferentes condições climáticas.

A Figura 15 apresenta o splitão inverter projetado para operação com fluxo de ar vertical (descarga superior). Na Figura 15(a), observam-se as duas unidades condensadoras interligadas por tubulações de cobre. Na parte superior da unidade, protegida por uma grade metálica circular, onde localiza-se o ventilador axial, responsável por puxar o ar através da serpentina lateral e expeli-lo verticalmente pela grade metálica superior.

Na Figura 15(b), é possível visualizar a tampa de acesso ao compressor, pressostatos e componentes elétricos. Essa tampa, fixada por parafusos, permite o acesso para manutenções e inspeções futuras dos componentes internos da unidade.

A Figura 15(e) destaca a estrutura de sustentação das unidades, elevada a 0,65 m do solo, garantindo proteção adequada contra chuvas e possíveis

alagamentos. No item (f), observam-se os drenos do sistema, instalados abaixo da estrutura metálica, enquanto o item (g) evidencia a cobertura de proteção dos dutos, que além de proteger os equipamentos, impede a infiltração de água da chuva para o interior do ambiente climatizado.

Na Figura 15(h), observa-se que a parede onde as unidades condensadoras estão instaladas é livre, sem a presença de barreiras superiores que possam restringir a descarga vertical do ar promovida pelo ventilador axial. Essa configuração favorece a adequada dissipação do ar quente no ambiente, evitando o confinamento e, conseqüentemente, o aumento da temperatura do ar de entrada na serpentina.

Figura 15. Unidades condensadoras e dutos da Carrier, com ventiladores e serpentinas, responsáveis pelo fornecimento de ar condicionado ao ambiente interno.



(a) Vista da unidade condensadora de um sistema de ar-condicionado split Carrier, instalada externamente para dissipar o calor do sistema.



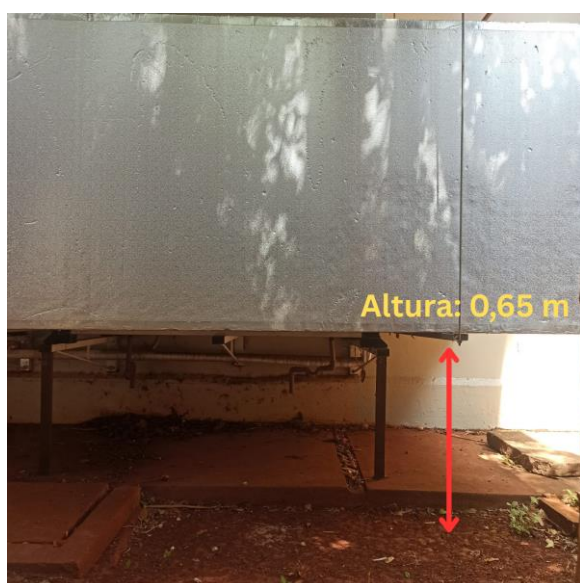
(b) Unidade condensadora com o isolamento térmico das tubulações de cobre (linha de sucção e líquido) e a tampa serviço para acesso ao compressor e pressostatos.



(c) Dutos de distribuição de ar e das unidades externas que compõem um sistema central de ar-condicionado.



(d) Vista dos dutos de distribuição de ar e unidades condensadoras que compõem o sistema central de ar-condicionado.



(e) Elevação em relação ao solo das unidades que compõem o sistema central de ar condicionado externo.



(f) Pontos de drenagem do sistema de distribuição de ar condicionado.



(g) Cobertura realizada para proteção e preservação do sistema central do ar do DC.

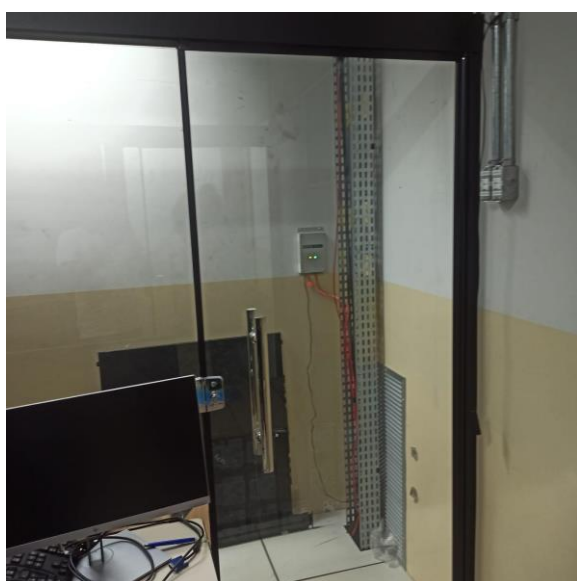


(h) Vista frontal da instalação externa do sistema de refrigeração central do DC.

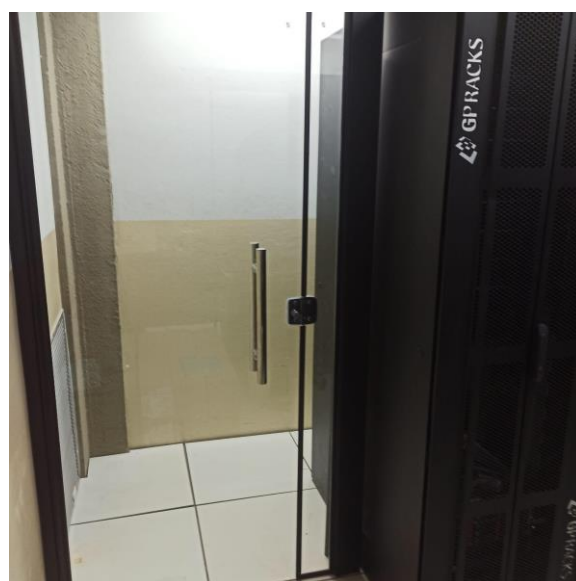
Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Figura 16 (a), (b), (c), (d) é apresentada a distribuição dos *racks* no ambiente do DC, no qual é possível observar a organização das estruturas com espaçamentos mínimos entre si, otimizando a utilização da área disponível. Nota-se também a distância existente entre o topo dos *racks* e o forro, bem como a contenção do corredor frio, implementada por meio de painéis de vidro instalados acima dos *racks*, com o objetivo de conter e direcionar o ar frio para a entrada dos equipamentos de TI.

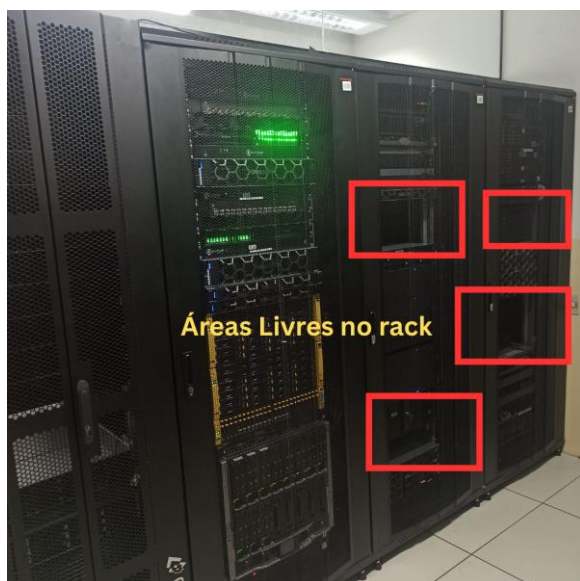
Figura 16. *Layout* interno dos *racks* e portas de acesso aos corredores quentes no DC da UFMS.



(a) Porta de vidro de acesso ao corredor quente, posicionada no lado esquerdo do ambiente.



(b) Porta de vidro de acesso ao corredor quente, posicionada no lado direito do ambiente.



(c) Distribuição dos racks de servidores e regiões vazias sem ocupação de equipamentos, observadas no interior dos racks.



(d) Vista do corredor quente, mostrando as partes traseiras dos racks e o espaço destinado à manutenção e às conexões elétricas dos equipamentos.

Fonte: Elaboração própria (2025).

No corredor quente, podem ser observadas as janelas de saída de ar, cada uma equipada internamente com exaustor e com dimensões de 0,86 x 0,54 m, conforme apresentado na Figura 13 (a) e (b). Também foi identificada a presença de uma eletrocalha perfurada, tipo U, com dimensões de 100 x 50 mm, posicionada em frente à grade de retorno do ar quente à esquerda. Essa obstrução pode prejudicar a manutenção do sistema de refrigeração do DC, dificultando o acesso às grades e ao fluxo de ar.

Figura 17. Disposição interna das grades de retorno do ar aquecido nos corredores quentes do DC.



(a) Vista da grade de retorno posicionada no corredor quente, à esquerda, por onde o ar aquecido é conduzido ao sistema de refrigeração.



(b) Vista da grade de retorno posicionada no corredor quente, à direita, por onde o ar aquecido é conduzido ao sistema de refrigeração.

Análise

O registro fotográfico realizado no ambiente do DC fornece informações relevantes sobre a infraestrutura de refrigeração, destacando a presença de um termostato com painel digital para o monitoramento da temperatura interna do espaço, bem como o uso de um sistema de refrigeração totalmente dedicado e redundante, responsável pela refrigeração exclusiva do ambiente.

Em conformidade com as recomendações das normas ANSI/TIA-942-B (2017) e ASHRAE TC 9.9 (2021), observou-se que a unidade condensadora, os dutos, o isolamento dos motores e os componentes elétricos estão instalados em área coberta, livres de obstruções e elevados do solo, o que contribui para a segurança operacional e a eficiência do sistema de ar-condicionado.

Identificou-se também um sistema de contenção de ar implementado por meio de porta de vidro e de uma parede instalada acima dos *racks*, completando a altura até o teto. Essa configuração está em concordância com as diretrizes da ANSI/TIA-942-B e da ASHRAE TC 9.9, que recomendam o uso de sistemas de contenção de ar quente ou frio para otimizar o gerenciamento térmico e melhorar a eficiência energética em DCs. Enfatiza também foi identificado áreas abertas (sem equipamentos) dentro dos *racks* de servidores, essas regiões devem ser preenchidas

por tampas cegas (*blanking panels*) para garantir um isolamento ideal conforme recomendações da norma ANSI/TIA-942-B.

As condensadoras do sistema de refrigeração instaladas na área externa do prédio da AGETIC/UFMS, ao lado do DC, foram posicionadas muito próximas entre si, com afastamento de aproximadamente 0,15 m. Essa proximidade pode ocasionar a reaspiração do ar quente expelido pela primeira unidade pela segunda, o que tende a elevar a temperatura de condensação, aumentar o consumo de energia e, em casos extremos, provocar falhas por sobrepressão no compressor.

Dessa forma, a distância mínima lateral recomendada entre as condensadoras deve situar-se entre 0,30 m e 0,60 m, a fim de garantir adequada circulação do ar e evitar interferência térmica entre as unidades.

Contudo, no presente sistema, as duas condensadoras não operam simultaneamente, funcionando em modo intercalado (redundante), ou seja, enquanto uma unidade permanece ativa, a outra permanece em *stand-by*. Nessa condição, o risco de recirculação de ar quente entre elas praticamente desaparece, pois a unidade inativa não gera fluxo de ar e, portanto, não interfere na descarga de ar quente da unidade em operação. Assim, na configuração atual, a proximidade física entre as condensadoras não compromete o desempenho térmico nem a segurança operacional do sistema de refrigeração do DC.

Outro aspecto relevante é o afastamento traseiro, distância entre a face do trocador de calor (serpentina) e a parede. O valor mínimo recomendado é de 0,30 m, sendo 0,50 m o ideal. Observou-se que uma das condensadoras está em conformidade com esse requisito, mantendo o distanciamento ideal. Entretanto, a outra unidade apresenta sua serpentina traseira muito próxima da lateral da condensadora adjacente (cerca de 0,15 m), valor inferior ao mínimo recomendado, o que restringe a aspiração de ar ambiente pelo ventilador axial e pode reduzir a eficiência da troca térmica.

Por outro lado, constatou-se que as condensadoras estão instaladas próximas a uma parede livre de barreiras superiores, não havendo obstáculos que possam restringir a descarga vertical do ar promovida pelo ventilador axial superior. Também não há vegetação ou estruturas acima que possam obstruir a grelha circular com o

passar do tempo. Essa configuração atende ao requisito mínimo de 2 metros livres acima da descarga, permitindo adequada dissipação do ar quente.

A manutenção desse espaço livre é fundamental, pois evita a recirculação do ar expelido pelas unidades, impedindo o aumento da temperatura de condensação. Com isso, garante-se maior eficiência (COP), menor esforço do compressor, redução do consumo elétrico e aumento da vida útil dos equipamentos.

Com relação ao posicionamento das grades de retorno instaladas nos corredores quentes, observa-se que estas poderiam estar localizadas acima do nível do piso elevado, a fim de aprimorar a eficiência do retorno do ar aquecido ao sistema de refrigeração. Embora a norma ANSI/TIA-942-B (2017) não estabeleça uma altura mínima específica para o retorno de ar, ela recomenda que sua posição seja estrategicamente definida, de modo a garantir o fluxo térmico adequado e a otimização do desempenho do sistema HVAC.

De acordo com a ASHRAE TC 9.9 (2021), no contexto das estratégias de contenção do corredor quente, o retorno de ar deve ser preferencialmente instalado na parte superior da contenção ou imediatamente acima dos *racks*, evitando-se o posicionamento rente ao piso elevado. Tal configuração previne perdas de eficiência no retorno do ar aquecido e possíveis curtos-circuitos térmicos, assegurando um melhor aproveitamento do fluxo de ar e contribuindo para a eficiência energética geral do sistema.

Por fim, verificou-se uma obstrução no fluxo de ar de retorno do corredor quente, ocasionada pela presença de uma eletrocalha posicionada em frente à grade de retorno. Essa situação compromete o retorno eficiente do ar aquecido ao sistema de refrigeração, caracterizando um ponto crítico em relação às recomendações da ANSI/TIA-942-B e da ASHRAE TC 9.9. Para mitigar esse problema, recomenda-se o reposicionamento da eletrocalha, de forma a liberar o fluxo de ar e restabelecer a eficiência do sistema de refrigeração.

5.2 Etapa 2

Nesta etapa, foram coletados dados por meio dos sensores HOB0, *data loggers* da marca Onset, referentes à temperatura e a umidade do ambiente investigado. Além disso, utilizou-se a câmera termográfica TG165-X, da marca FLIR,

para realizar capturas térmicas em pontos estratégicos do DC. Por fim, foi instalado o confortímetro SENSU, modelo K3, para complementar a investigação de parâmetros como o fluxo de ar interno, informações essenciais durante a verificação das simulações realizadas com a ferramenta de *CFD CoolSim*.

5.2.1 Data Logger HOBO Onset

Durante a investigação das condições térmicas do DC foram realizadas as instalações dos sensores *HOBOS*, utilizando 10 unidades, sendo 6 unidades do HOBO H08-001-02 e 4 unidades do HOBO H08-003-02. A distribuição destes registradores de dados (*data logger*) com sensores de temperatura e umidade forneceram informações do ambiente de estudo durante 11 dias de leitura com registros a cada 30 minutos, e posteriormente, foram instalados por 16 dias para nova leitura com intervalo de registro a cada 1 hora.

O *data logger* HOBO, da marca Onset, utilizado nesta etapa de investigação térmica do DC, não possui certificação de calibração, documento que asseguraria sua precisão e faixa operacional recomendada, conforme os procedimentos técnicos de calibração anual. Em razão das exigências contratuais em processos públicos, não foi possível obter o registro formal das datas de calibração destes sensores.

Entretanto, adotou-se a estratégia de verificação comparativa, utilizando instrumentos de referência confiáveis, como termômetros de precisão, para confrontar os registros coletados pelos HOBOS. Após a análise individual dos dados obtidos, verificou-se que as divergências entre as leituras foram inferiores a 1°C, com a maioria apresentando valores muito próximos, indicando bom nível de consistência e confiabilidade dos sensores empregados.

No aparelho HOBO H08-003-02(RH/Temp) foram habilitados cinco parâmetros (temperatura, umidade relativa não condensada, umidade relativa, ponto de orvalho e umidade absoluta) que foram obtidos com o uso de sensores, possibilitando dessa forma, uma análise mais completa no DC. Com o equipamento o HOBO H08-001-02 verificou-se a temperatura (Temp) e as variáveis monitoradas são descritas com mais detalhes:

- a. Temperatura (°C): temperatura do ar medida diretamente pelo sensor interno, para avaliação das condições operacionais dos equipamentos dentro do DC;

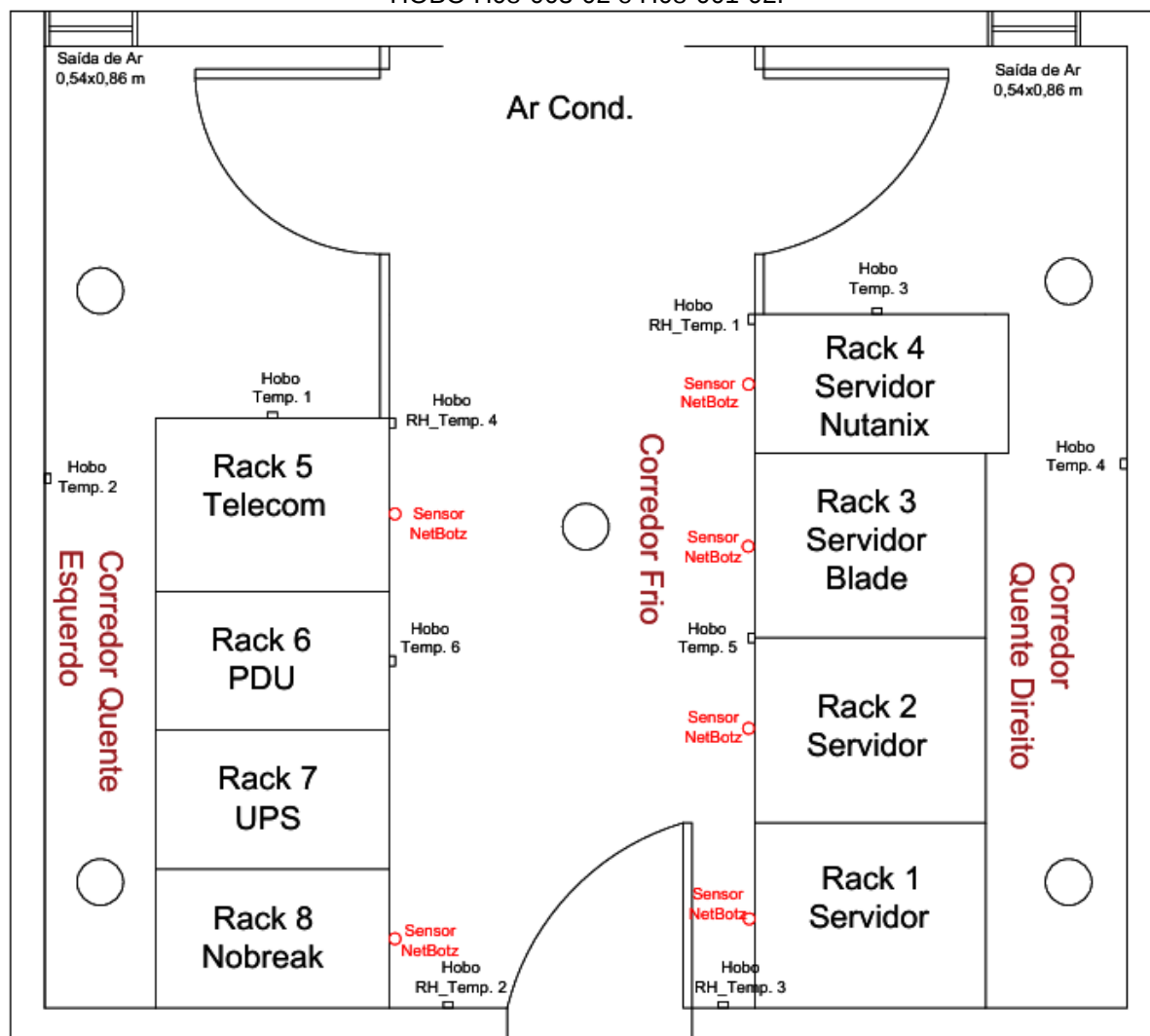
- b. Uncomp RH (%): *Uncompensated Relative Humidity* (Umidade Relativa não compensada), representa a medida direta da umidade relativa do ar, sem correção pelo efeito da temperatura no sensor, podendo conter pequenas imprecisões em ambientes com muitas variações térmicas;
- c. RH (%): *Relative Humidity* (Umidade Relativa);
- d. Ponto de Orvalho (*Dew Point*) em °C: representa a temperatura em que o ar começaria a condensar, ou seja, formar orvalho/gotículas. Seu resultado depende de valores da temperatura e umidade relativa, quando o ponto orvalho é baixo indica ar seco, para ponto alto indica ar úmido, e sua importância é essencial dentro do DC, pois indica risco de condensação;
- e. Abs Humidity (g/m^3): *Absolute Humidity* (Umidade Absoluta) representa quantidade de vapor d'água em gramas por metro cúbico de ar, seu cálculo é medido através de cálculo de temperatura e umidade relativa.

Em virtude de falhas operacionais e da perda de carga das baterias dos sensores Hobo instalados no DC, foram necessárias duas campanhas distintas de monitoramento: a primeira com duração de 11 dias e a segunda com 16 dias.

O posicionamento dos sensores nos corredores foi definido a partir de critérios técnicos, priorizando o ponto médio da entrada de ar dos *racks*, a fim de minimizar interferências de fluxos térmicos externos e assegurar a representatividade das medições. Para garantir a padronização do procedimento, os sensores foram fixados a uma altura de 1,5 m em relação ao piso, em conformidade com as recomendações da ASHRAE TC 9.9 (2016) para monitoramento ambiental em DC.

Na primeira etapa de instalação, com duração de 11 dias, os sensores HOBO foram posicionados no corredor frio a uma altura de 1,50 m, fixados nos *racks* 2 (servidores) e 6 (comando elétrico), utilizando-se os modelos HOBO Temp5 e HOBO Temp6. Ainda no corredor frio, instalaram-se os sensores HOBO RH/Temp3 e RH/Temp2 na parede próxima à porta de entrada do DC, também a 1,50 m de altura. Por fim, os sensores HOBO RH/Temp1 e RH/Temp4 foram instalados próximos ao sistema de ar-condicionado, junto à entrada para o corredor quente, igualmente a 1,50 m do piso. Na Figura 18, é apresentado como ficaram distribuídos esses sensores dentro do ambiente de estudo.

Figura 18. Planta croqui dos corredores quente/frio e os pontos onde ficaram instalados os sensores HOB0 H08-003-02 e H08-001-02.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os *racks* 1, 2, 3 e 4, que ficam do lado direito, quando entrando no DC, possuem em sua maioria equipamentos de alta demanda energética e que devem ser observados a possibilidade de *curto-circuito* devido ao contato do corredor quente-frio. Foi realizada a fixação do HOB0 Temp5 na porta do *rack* 2 para obtenção dos dados de temperatura, em uma posição centralizada entre os demais *racks*, pois nesses *racks* estão concentrados os servidores e demais equipamentos de TI, que criam campos de calor que provocam superaquecimento, podendo impactar negativamente na eficiência energética do ambiente.

E nos *racks* que ficam do lado direito, também foi realizada a instalação dos sensores HOBOS na busca por resultados térmicos em relação à sua influência dentro

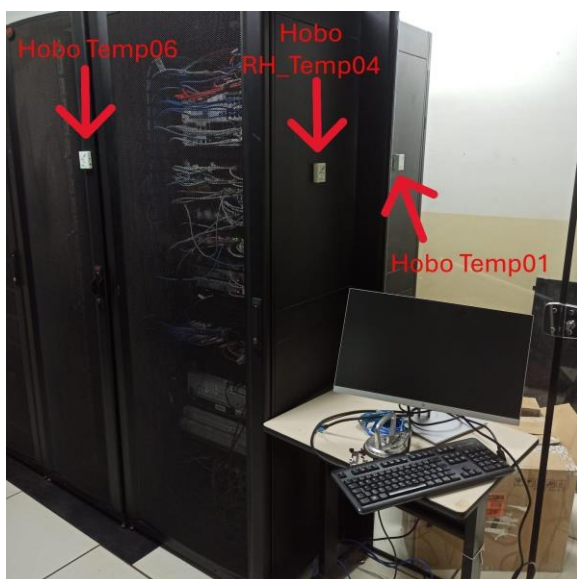
do DC e em comparação aos *racks* de servidores. Durante a instalação destes sensores, buscou-se realizar uma distribuição simétrica em ambos os lados.

A escolha da altura de 1,5 m para a fixação dos sensores nos corredores frio e quente considerou a altura média de entrada de ar nos servidores, alinhando-se às boas práticas recomendadas pela ASHRAE TC 9.9 (2016). Adicionalmente, os sensores HOBOTemp2 e Temp4 foram instalados a 2,20 m de altura como estratégia para mitigar possíveis interferências decorrentes da curta largura do corredor quente, que poderia comprometer as medições caso fossem realizadas em alturas mais baixas.

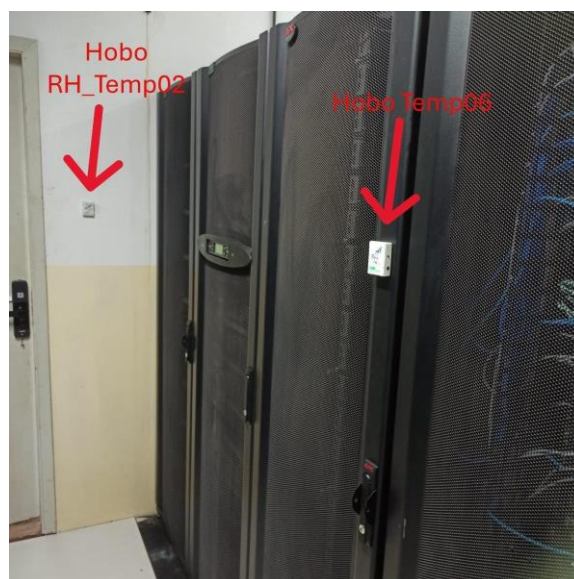
A Figura 19(a) e (b) apresentam a fixação dos sensores nos *racks* do corredor frio, no lado esquerdo. Com relação a HOBOTemp06 este foi posicionado o mais próximo do *rack* de telecomunicações, pois dentre os *racks* do local, este é o que representava a maior potência instalada no DC.

O sensor RH_Temp2 foi instalado no início do corredor frio (próximo da porta entrada do DC) com o objetivo de monitorar a temperatura e a umidade relativa do ar. Essa estratégia permitiu avaliar o comportamento térmico nesse ponto específico do DC e verificar sua conformidade com as recomendações estabelecidas pela ASHRAE TC 9.9 (2016). A Figura 19(b) apresenta a localização do sensor no ambiente do DC.

Figura 19. Instalação dos sensores HOBOTemp nos *racks* de telecomunicações no DC.



(a) Fixação dos HOBOS Temp01 e RH_Temp04 no *rack* telecom no corredor frio.



(b) HOBOS instalados no corredor frio (*rack* à esquerda).

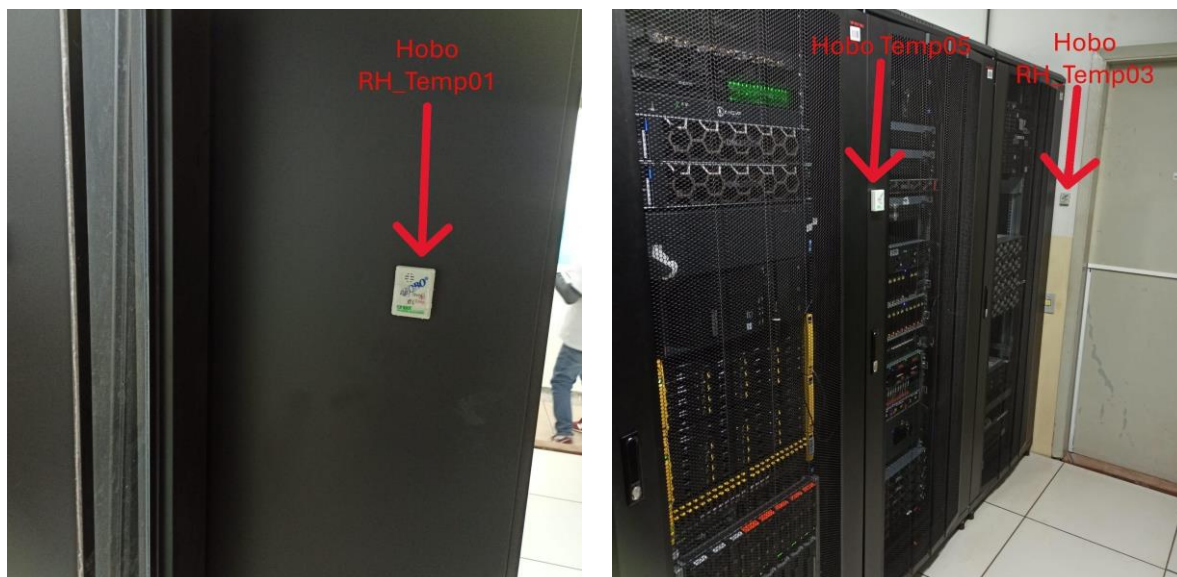
Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

Os *racks* do corredor frio à direita tiveram o sensor HOB0 Temp5 fixados conforme a Figura 20(b), e na instalação do HOB0 Rh_Temp1, Figura 20(a), houve a preocupação em fixá-lo em um local com temperatura mais próxima do climatizador, e com menor influência da abertura da porta do corredor quente.

O sensor HOB0 RH_Temp1, instalado na estrutura do *Rack* 4, no corredor frio, teve como estratégia a identificação da temperatura e da umidade relativa do ar em uma posição próxima ao climatizador. A coleta dessas informações possibilita compreender o comportamento térmico nesse ponto do *DC*, além de fornecer parâmetros para avaliar se a umidade medida nas proximidades do *rack* atende às recomendações normativas da ASHRAE TC 9.9 (2016) para esse tipo de ambiente. A Figura 20(a) apresenta o posicionamento do sensor HOB0 RH_Temp1, fixado a uma altura de 1,5 m em relação ao piso.

Na Figura 20(b) apresenta a fixação dos sensores Temp5 e RH_Temp3, também suas importâncias nesse ponto do corredor frio do *DC* tem como preocupação o entendimento das temperaturas e umidade neste local do ambiente.

Figura 20. Instalação dos sensores HOB0 nos *racks* de servidores do *DC*.



(a) Sensor HOB0 fixado na lateral do rack 4 (à direita) do corredor frio.

(b) Sensores instalados no corredor frio (racks à direita) no *DC*.

Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia *DC* UFMS).

A Figura 21(a) apresenta o sensor HOB0 Temp4 instalado no interior do corredor quente à direita. A configuração de posicionamento adotada foi idêntica no corredor quente à esquerda, onde os sensores HOB0 Temp2 e Temp4 foram

instalados a 2,20 m de altura. Por sua vez, os sensores Temp01 e Temp3 foram posicionados próximos à porta de acesso ao corredor frio, respectivamente nos corredores esquerdo e direito. A Figura 21(b) ilustra o sensor HOB0 Temp03 instalado a 1,50 m de altura.

Figura 21. Instalação dos sensores no corredor quente dos racks à direita no DC.



(a) Corredor quente, sensor HOB0_Temp04



(b) Corredor quente, sensor instalado próximo da porta de acesso.

Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

Na data do dia 28/05/25 foram instalados os equipamentos HOBOS para realizar as medições nas instalações do DC, e os dados registrados no *data logger* referem-se aos 11 dias que o equipamento ficou instalado, com total de 566 registros, com intervalos de medição a cada 30 minutos.

Os resultados dos dados obtidos da temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima em graus Celsius e o desvio padrão da temperatura média também são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22. Temperaturas registradas pelo sensor HOB0 H08-001-02 no DC, com medições realizadas em intervalos de 30 minutos.

HOB0 H08-001-02	Local Instalado (1,5 m de distância do piso)	Temperatura Máx. (°C)	Temperatur a Média (°C)	Temperatur a Min. (°C)	Desvio Padrão da Temp. média
--------------------	---	--------------------------	----------------------------	---------------------------	---------------------------------------

Temp1	Porta corredor quente esquerdo	23,63	21,05	19,04	0,702
Temp2 (Sensor a 2,20m de altura)	Corredor quente esquerdo	22,09	20,80	19,81	0,252
Temp3	Porta corredor quente direito	29,10	26,80	24,79	0,593
Temp4 (Sensor a 2,20m de altura)	Corredor quente direito	25,56	23,93	22,86	0,479
Temp5	Corredor frio direito	24,01	19,84	18,28	0,525
Temp6	Corredor frio esquerdo	21,71	19,85	18,28	0,445

Fonte: Elaboração própria (2025)

A Tabela 23 apresenta os valores finais (médias de todo o período) de temperatura máximas, médias e mínimas para o intervalo de 30 minutos do sensor HOBO H08-003-02. Os desvios padrões calculados demonstraram baixa variabilidade, ficando os valores, portanto, bem próximos da média.

Tabela 23. Temperaturas registradas pelo sensor HOBO H08-003-02 no DC, com medições realizadas em intervalos de 30 minutos.

HOBO H08-003-02	Local Instalado (1,5 m de distância do piso)	Temperatura Máx. (°C)	Temperatur a Média (°C)	Temperatur a Min. (°C)	Desvio Padrão da Temp. média
RH_Temp1	Porta corredor quente esquerdo	23,63	18,28	19,98	0,485
RH_Temp2	Corredor frio esquerdo	22,48	19,30	17,90	0,404
RH_Temp3	Porta corredor quente direito	22,09	19,26	17,90	0,461
RH_Temp4	Corredor frio direito	23,24	19,92	18,28	0,573

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados apresentados pelos sensores na Tabela 24 da umidade relativa no DC, indicaram elevada variabilidade do comportamento do ambiente de estudo. A diferença expressiva entre o valor mínimo e máximo (amplitude de quase 39 pontos percentuais) mostra que o DC passou por períodos de ar excessivamente seco (próximo de 30%), potencialmente prejudiciais para a eletricidade estática, e momentos de umidade mais elevada, porém ainda dentro do intervalo permitido pela ASHRAE TC 9.9 para Classe A1.

O desvio padrão elevado em aproximadamente 12% reforça a existência de flutuações significativas na umidade, sugerindo que o sistema de refrigeração não manteve controle higrométrico estável durante o período monitorado. Essas oscilações podem estar relacionadas a ciclos de operação dos equipamentos de refrigeração, possível mistura de ar entre corredores frio e quente, variação de carga térmica e/ou insuficiência na renovação ou tratamento do ar.

Os resultados evidenciam instabilidade do controle de umidade no ambiente, o que pode impactar negativamente a confiabilidade dos equipamentos e a eficiência térmica do DC.

Tabela 24. Resultados das medições da umidade relativa registradas pelo sensor HOBO H08-003-02 no Data Center, com intervalo de coleta de 30 minutos.

HOBO H08-003-02	Local Instalado	Umidade Máx. (%)	Umidade Média (%)	Umidade Min. (%)	Desvio Padrão da umidade média
RH_Temp1	Corredor frio à direita - porta corredor quente	66,10	55,69	29,20	11,049
RH_Temp2	Corredor frio à esquerda - porta entrada	69,10	58,94	31,10	11,561
RH_Temp3	Corredor frio à direita - porta entrada	67,90	57,00	29,10	11,891
RH_Temp4	Corredor frio à esquerda - porta corredor quente	23,50	23,40	23,40	0,013

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Tabela 25 os resultados das medições do ponto de orvalho coletados a cada 30 minutos trouxeram uma média 2 °C acima da registrada pelos sensores quando programados a cada 1 hora. Mesmo assim, seus resultados apresentaram uma instabilidade psicrométrica no ambiente, a data da coleta no mês de maio pode ter influenciado os resultados, mas o impacto costuma ser moderado em DCs com bom isolamento e refrigeração estável.

Com relação a desvio padrão médio acima de 3, é provável que parte dessa instabilidade também esteja relacionada a fatores internos, como controle de refrigeração, mistura de ar ou configuração do fluxo de ar.

Tabela 25. Resultados das medições do ponto de orvalho registradas pelo sensor HOBO H08-003-02 no Data Center, com intervalo de coleta de 30 minutos.

HOBO H08-003-02	Local Instalado	Ponto de orvalho Máx. (°C)	Ponto de orvalho Média (°C)	Ponto de orvalho Min. (°C)	Desvio Padrão do ponto de orvalho médio
RH_Temp1	Corredor frio à direita - porta corredor quente	14,74	10,54	2,05	3,189
RH_Temp2	Corredor frio à esquerda - porta entrada	15,42	10,78	2,32	3,176
RH_Temp3	Corredor frio à direita - porta entrada	15,19	10,19	1,61	3,291
RH_Temp4	Corredor frio à esquerda - porta corredor quente	1,29	-1,59	-2,96	0,492

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na data no dia 23 de julho houve uma nova instalação dos sensores no DC, pois na primeira etapa registrou somente 11 dias por problemas na bateria dos HOBOS, e foi finalizado no dia 8 de agosto. Nas Tabelas 29, 30, 31 e 32 refere-se aos resultados obtidos pela segunda etapa de medições térmicas dos HOBOS no DC, atingindo 391 medições nesses 16 dias.

Durante esta segunda etapa de coleta de dados de temperatura no DC, os registros foram realizados em intervalos de 1 hora, mantendo-se a instalação dos sensores a 1,50 m de altura nos corredores frio e quente.

Na Tabela 26, observa-se a alteração da altura dos sensores Temp2 e Temp4 nos corredores quentes (direito e esquerdo), que anteriormente estavam instalados a 2,20 m. Essa mudança foi adotada para padronizar a instalação e avaliar o comportamento das medições quando posicionadas a 1,50 m.

Ao comparar os valores da Tabela 26 (medições horárias) com os da Tabela 22 (medições em intervalos de 30 minutos), verificou-se uma diferença aproximada de 3 °C no sensor HOBO Temp4, instalado no corredor quente direito após a alteração

de altura. No corredor quente esquerdo, entretanto, as temperaturas permaneceram muito próximas, mesmo após o reposicionamento.

Esses resultados indicam que, no corredor quente direito, o calor radiante proveniente dos servidores provavelmente influenciou as medições, elevando a temperatura registrada pelo sensor Temp4 em cerca de 3 °C. Por outro lado, os valores obtidos pelo sensor Temp2, instalado no corredor quente esquerdo (onde não há presença significativa de servidores), não mostraram a mesma interferência térmica observada no lado direito.

Considerando a Tabela 26, o desvio padrão da Temp5 foi o maior registrado entre os sensores. Sua temperatura média, de 19,59 °C, situada no corredor frio, encontra-se no limite inferior da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9. A temperatura mínima observada, 17,52 °C, indica momentos de super resfriamento, enquanto a máxima, 24,79 °C, embora dentro dos limites permitidos, aponta para picos de aquecimento. Esse desvio padrão de 1,280 °C evidencia uma variabilidade térmica moderada, sugerindo instabilidade no fluxo de ar e possível mistura com o ar proveniente do corredor quente.

Tabela 26. Temperaturas registradas pelo sensor HOB0 H08-001-02 no DC, com medições realizadas em intervalos de 1 hora.

HOB0 H08-001-02	Local Instalado (1,5 m de distância do pis0)	Temperatura Máx. (°C)	Temperatur a Média (°C)	Temperatur a Min. (°C)	Desvio Padrão da Temp. média
Temp1	Porta corredor quente esquerdo	24,40	21,62	19,42	0,935
Temp2	Corredor quente esquerdo	24,40	20,89	19,81	0,546
Temp3	Porta corredor quente direito	27,52	24,32	21,71	1,121
Temp4	Corredor quente direito	28,70	26,91	24,01	0,671

Temp5	Corredor frio direito	24,79	19,59	17,52	1,280
Temp6	Corredor frio esquerdo	24,79	18,08	16,38	0,810

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Tabela 27 apresenta as temperaturas média, máxima e mínima para o intervalo de 1 hora do sensor HOB0 H08-003-02, os resultados da temperatura média se mantiveram muito próximos da temperatura configurada para operar do ambiente configurada no termostato eletrônico da unidade de refrigeração.

Considerando a medição RH_Temp4, observa-se que a temperatura média de 18,95 °C está dentro da faixa ideal para a entrada de ar nos equipamentos, conforme recomenda a ASHRAE TC 9.9. Entretanto, a temperatura mínima de 16,38 °C indica períodos de super resfriamento, enquanto a máxima de 24,79 °C, embora ainda dentro dos limites permitidos, representa momentos de aquecimento elevado.

Assim, na Tabela 27, o desvio padrão de 1,056 associado à amplitude térmica de 8,41 °C, revela uma variabilidade térmica moderada, sugerindo instabilidades pontuais no fornecimento de ar frio ou possível infiltração de ar quente no ambiente.

Tabela 27. Temperaturas registradas pelo sensor HOB0 H08-003-02 no DC, com medições realizadas em intervalos de 1 hora.

HOB0 H08-003-02	Local Instalado (1,5 m de distância do piso)	Temperatura Máx. (°C)	Temperatura a Média (°C)	Temperatura a Min. (°C)	Desvio Padrão da Temp. média
RH_Temp1	Corredor frio à direita - porta corredor quente	24,79	18,51	16,76	0,907
RH_Temp2	Corredor frio à esquerda - porta entrada	24,40	18,35	17,14	0,674
RH_Temp3	Corredor frio à direita - porta entrada	24,01	18,53	17,14	0,708

RH_Temp4	Corredor frio à esquerda - porta corredor quente	24,79	18,95	16,38	1,056
----------	--	-------	-------	-------	-------

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Figura 28, observa-se que o desvio padrão da umidade relativa para os sensores RH_Temp1, RH_Temp2 e RH_Temp3 apresentou valores elevados, indicando significativa instabilidade no controle ambiental da sala e alta variabilidade entre as medições realizadas. A amplitude registrada nesses sensores evidencia flutuações expressivas nas condições de umidade do ambiente, possivelmente decorrentes de variações na carga térmica, ciclos de operação do sistema de refrigeração ou mistura de ar entre os corredores.

Tabela 28. Resultados das medições da umidade relativa registradas pelo sensor HOBO H08-003-02 no Data Center, com intervalo de coleta de 1 hora.

HOBO H08-003-02	Local Instalado (1,5 m de distância do piso)	Umidade Máx. (%)	Umidade Média (%)	Umidade Min. (%)	Desvio Padrão da umidade média
Rh_Temp1	Corredor frio à direita - porta corredor quente	69,80	51,39	30,50	8,618
Rh_Temp2	Corredor frio à esquerda - porta entrada	67,60	53,50	31,00	8,800
Rh_Temp3	Corredor frio à direita - porta entrada	64,70	49,75	28,90	8,405
Rh_Temp4	Corredor frio à esquerda - porta corredor quente	23,70	23,40	23,40	0,018

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os valores de ponto de orvalho apresentados na Tabela 29 mostraram médias variando entre 7,64 °C e 8,56 °C para os sensores RH_Temp1, RH_Temp2 e

RH_Temp3, com valores máximos que não ultrapassaram 13,22 °C e desvios padrão chegando a 2,814 °C. Esses resultados indicam uma elevada variabilidade psicrométrica no ambiente, sugerindo instabilidade nas condições térmicas ao longo do período analisado.

O valor mínimo extremamente baixo aponta para períodos em que o ar esteve excessivamente seco, enquanto o valor máximo permanece dentro dos limites recomendados pela ASHRAE TC 9.9, ainda que represente momentos de maior saturação de umidade. O elevado desvio padrão reforça a existência de flutuações significativas, possivelmente relacionadas aos ciclos de operação do sistema de refrigeração ou à mistura de ar entre os corredores frio e quente.

Tabela 29. Resultados das medições do ponto de orvalho registradas pelo sensor HOB0 H08-003-02 no Data Center, com intervalo de coleta de 1 hora.

HOB0 H08-003-02	Local Instalado (1,5 m de distância do piso)	Ponto de orvalho Máx. (°C)	Ponto de orvalho Média (°C)	Ponto de orvalho Min. (°C)	Desvio Padrão do ponto de orvalho médio
RH_Temp1	Corredor frio à direita - porta corredor quente	12,71	8,10	0,34	2,784
RH_Temp2	Corredor frio à esquerda - porta entrada	13,22	8,56	1,02	2,729
RH_Temp3	Corredor frio à direita - porta entrada	11,99	7,64	-0,24	2,814
RH_Temp4	Corredor frio à esquerda - porta corredor quente	2,68	-2,40	-4,52	0,884

Fonte: Elaboração própria (2025).

Análise

Percebe-se na Tabela 22 que o corredor quente, à direita, foi o que apresentou maior temperatura, pois o sensor HOB0 Temp3, próximo da porta, registrou uma

máxima de 29°C, até mesmo maior se comparado com o sensor HOBOTemp4 instalado no corredor, atrás dos *racks*. Uma explicação para tal fato é que esse *rack* fica próximo a uma saída de ar (janela), que por instantes acaba acumulando ar quente antes de sua passagem.

Os desvios padrões das temperaturas, apresentados nas Tabela 22 e Tabela 23, indicam que não houve variabilidade significativa nos dados coletados no ambiente do DC. Os valores mantiveram-se muito próximos da temperatura média registrada, conforme as medições realizadas pelos sensores HOBOTemp.

Na Tabela 23, os resultados obtidos no corredor frio indicaram temperaturas compatíveis com os limites estabelecidos pelas normas da ASHRAE TC 9.9, não ultrapassando 25 °C. Dessa forma, os parâmetros permaneceram dentro da faixa considerada ideal para corredores frios, conforme as recomendações da norma.

Os resultados do desvio padrão obtidos pelos sensores de temperatura instalados no DC, conforme a Tabela 23, apresentaram baixa variação geral, porém foi identificada uma diferença mínima entre os pontos monitorados, especialmente próximos à porta do corredor frio e do corredor quente do lado direito. Observou-se que a variação no corredor frio direito foi quase o dobro daquela registrada no corredor frio esquerdo, possivelmente em função da maior demanda de processamento dos *racks* dessa fileira e, conseqüentemente, da maior dissipação de calor no ambiente.

Comparando os resultados referentes à temperatura do corredor quente esquerdo na Tabela 22, percebe-se uma alteração do HOBOTemp2 em torno de 2°C abaixo, em relação aos registros da temperatura máxima na Tabela 23.

Com relação à Tabela 24, os sensores de umidade/temperatura instalados no corredor frio apresentaram valores de temperatura muito próximos aos registrados pelos sensores exclusivamente de temperatura, apresentados na Tabela 22. Esse resultado evidencia a consistência dos dados e demonstra que os sensores utilizados mantiveram um bom nível de exatidão em suas medições.

Os resultados apresentados na Tabela 23, referentes ao desvio padrão, indicaram valores relativamente baixos de variação. No entanto, observou-se uma discrepância mínima no corredor frio à esquerda em comparação com os demais pontos monitorados pelo sensor RH_Temp, evidenciando uma variação ligeiramente

maior em relação à média. Isso significa que os valores medidos nesse ponto apresentaram maior dispersão.

Os resultados das medições realizadas com o sensor HOBO H08-003-02, apresentados na Tabela 24, indicam que a umidade relativa do ar no corredor frio do DC apresentou valores mínimos abaixo da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9, que estabelece um intervalo entre 40% e 60%. No entanto, ao se considerar a classificação das classes de diretrizes térmicas apresentadas na Tabela 3, o ambiente pode ser enquadrado na classe A1, o que o mantém dentro dos limites aceitáveis previstos pela ASHRAE TC 9.9 para essa categoria de operação.

A umidade relativa apresentada na Tabela 28 trouxe um desvio padrão médio da umidade acima de 8, indicando alta variabilidade ao longo do período analisado. De acordo com a ASHRAE TC 9.9 para equipamentos das classes A1, a faixa recomendada situa-se entre 40% e 60%, enquanto a permitida varia de 20% a 80%. Embora a média permaneça dentro da faixa ideal, o valor mínimo acima de 29% ficou abaixo do recomendado, sugerindo risco potencial de eletricidade estática, enquanto o valor da umidade máxima variou até 69,80%, excedendo o limite superior ideal, podendo aumentar a chance de condensação em pontos frios.

Esses desvios, aliados ao elevado desvio padrão, podem demonstrar uma instabilidade nas condições de umidade do ambiente, possivelmente associada a oscilações do sistema de refrigeração, infiltração de ar externo ou variações na carga térmica do DC.

Os valores de ponto de orvalho apresentados pelos sensores com medições realizadas em intervalos de 1 hora, Tabela 29, variaram entre 2,68 °C e 13,22 °C (ponto de orvalho máximo) e o mínimo entre -4,52 °C e 1,02 °C, trouxeram um desvio padrão de até 2,814 °C, o que indica flutuação moderada ao longo do período analisado. Considerando as recomendações da ASHRAE TC 9.9, que estabelece para equipamentos das classes A1 uma faixa recomendada entre 5,5 °C e 15 °C, observa-se que a média permaneceu dentro do intervalo ideal.

No entanto, o valor mínimo ficou abaixo da faixa recomendada, indicando períodos de ar excessivamente seco, o que intensifica o risco de eletricidade estática. Já o máximo chegando em 13,22 °C encontra-se dentro dos limites recomendados, sem indicar risco de condensação, que se torna mais crítico quando o ponto de orvalho

se aproxima da temperatura de superfície dos equipamentos. A variabilidade expressa pelo desvio padrão sugere possíveis oscilações no controle da umidade e na mistura de massas de ar, reforçando a necessidade de verificação do desempenho do sistema de refrigeração e da vedação dos corredores.

As análises dos resultados obtidos por meio da instalação dos sensores HOBO H08-001-02 mostraram que a temperatura média registrada no corredor frio se manteve dentro da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9, variando entre 18°C e 27°C. Além disso, a temperatura dos corredores quentes também foi monitorada e não ultrapassou 30°C, o que permite concluir que os equipamentos estão operando em um ambiente seguro, reduzindo o risco de superaquecimento e falhas por calor.

A baixa variação de temperatura entre os corredores indica que o fluxo de ar está bem gerenciado, que a contenção de ar está funcionando adequadamente e que o sistema de refrigeração está corretamente dimensionado. Assim, mesmo que as normas ASHRAE TC 9.9 e TIA-942-B priorizem a temperatura na entrada do *rack* (corredor frio), a manutenção de baixas temperaturas nos corredores quentes contribui para reduzir o estresse térmico sobre os servidores e demais equipamentos instalados nos *racks*, promovendo maior confiabilidade operacional e eficiência energética do DC.

Com relação aos resultados obtidos pelos sensores HOBO H08-003-02, referentes à umidade relativa do ar no ambiente do DC, verificou-se que os valores registrados permaneceram dentro dos limites recomendados pela norma ASHRAE TC 9.9. De acordo com as diretrizes térmicas para a classe A1, a umidade relativa deve situar-se entre 8% e 80%. Nos resultados apresentados pelo HOBO, a umidade média observada foi de aproximadamente 52%, mantendo-se, portanto, dentro da faixa operacional adequada estabelecida pela norma.

É importante destacar que a utilização dos sensores trouxe o entendimento do comportamento térmico do DC, pois suas temperaturas permaneceram muito próximas da recomendada na faixa estabelecida pela ASHRAE TC 9.9, com seus registros não ultrapassando os 25 °C no corredor frio.

Diante disso, estratégias semelhantes às adotadas por Hwang *et al.* (2021) poderiam ser aplicadas no DC local, uma vez que o seu estudo demonstrou que a operação do ambiente em temperaturas mais elevadas, porém dentro da faixa

recomendada pela ASHRAE TC 9.9, resultou em melhor desempenho energético e maior economia, especialmente quando o sistema foi operado a uma temperatura de 26 °C.

5.2.2 Câmera Termográfica

Capturas com a câmera termográfica da marca FLIR, modelo TG165-X, foram realizadas, pois essa é uma ferramenta que possibilita a visualização de pontos quentes e frios, com intuito na investigar as falhas ou os vazamentos de ar quente no ambiente do DC. Essa ferramenta auxilia na medição da temperatura através de um laser de alta precisão que auxilia na mira do componente ou lugar adequado para inspeção, e assim, permite investigar com eficiência o alvo a ser medido (FLIR, 2025). Na Figura 22 foi apresentado o modelo da câmera termográfica utilizada na captura das imagens térmicas dentro do DC.

Figura 22. Câmera termográfica modelo TG165-X empregada para captura das imagens térmicas dos equipamentos instalados nos *racks* do DC.



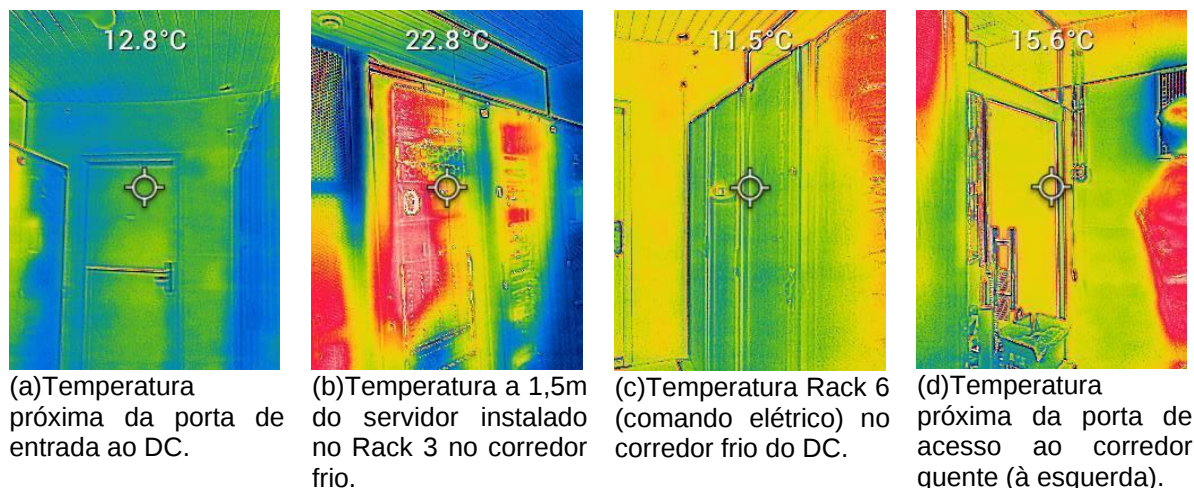
Fonte: FLIR Systems (2025).

Para a captura de imagens térmicas da câmera é necessário acionar o gatilho, cuja ação é apresentada instantaneamente na tela da câmera termográfica, que apresenta a visão térmica de medições que chegam até 300 °C, e precisão de $\pm 2,5$ °C para temperatura de 0°C a 50°C/ 100 °C a 300 °C (FLIR, 2025).

Os registros fotográficos realizados com a câmera termográfica dentro do DC foram dos corredores quentes e frios, para entendimento do comportamento da temperatura de cada um deles e dos *racks*.

Na Figura 23(a), (b), (c) e (d) são apresentados os resultados das coletas realizadas em alguns pontos dentro do corredor frio. A Figura 23(a) e (c) representam um dos pontos mais afastados do climatizador, e percebeu-se que pela incidência direta do ar frio esse ponto se manteve abaixo do recomendado pela norma ASHRAE. No entanto, na Figura 23(b) obteve-se uma diferença térmica em comparação com os demais, isso pela demanda energética exigida no processamento dos servidores deste *rack*.

Figura 23. Registro térmico do corredor frio.



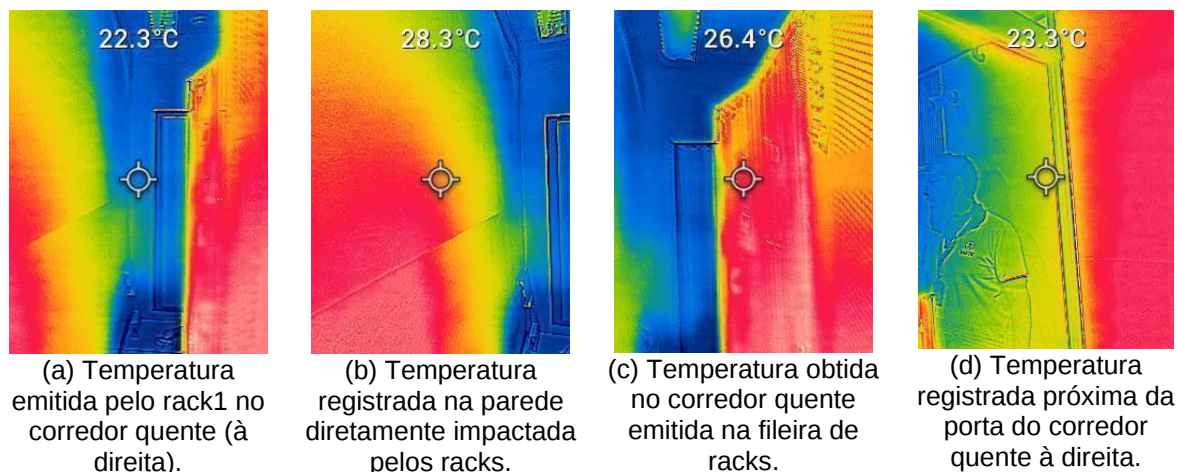
Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

Também foram realizadas medições no corredor quente do DC, especificamente na fileira de *racks* onde estão situados os servidores. Conforme apresentado na Figura 24 (a), (b), (c) e (d), as temperaturas variaram entre 22,3 °C e 28,3 °C. Observa-se que alguns desses valores se mostraram muito próximos das temperaturas registradas nos equipamentos quando monitorados no corredor frio.

A Figura 24(b) apresenta os resultados coletados no corredor quente onde encontra-se os *racks* de processamento, percebe-se algumas regiões com temperaturas maiores, devido, provavelmente, pelo calor expelido pelas máquinas e, dessa forma, o valor foi maior do que 28°C. Também parte dessas medições apresentaram valores muito próximos aos registrados pelos sensores HOBO,

confirmando as características particulares desse corredor em função da dissipação térmica dos servidores.

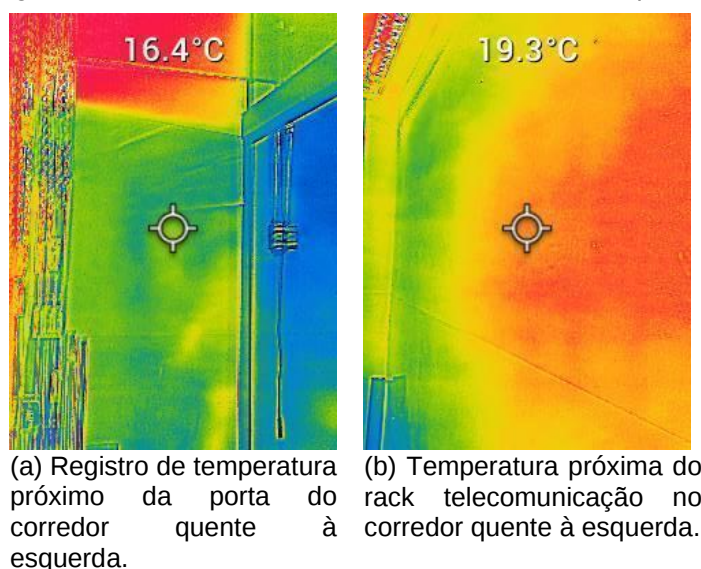
Figura 24. Registro térmico dos resultados coletados no corredor quente à direita.



Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

A Figura 25(a) apresenta o registro das temperaturas próximas à porta do corredor quente, enquanto a Figura 25(b) mostra a medição da temperatura exaurida pelo *rack* de telecomunicações. Essas duas medições tiveram como objetivo analisar a região em que se encontra o *rack* com maior demanda térmica desta fileira, possibilitando compreender melhor o comportamento do fluxo de calor nesse ponto específico do DC.

Figura 25. Registro térmico dos resultados coletados no corredor quente à esquerda.

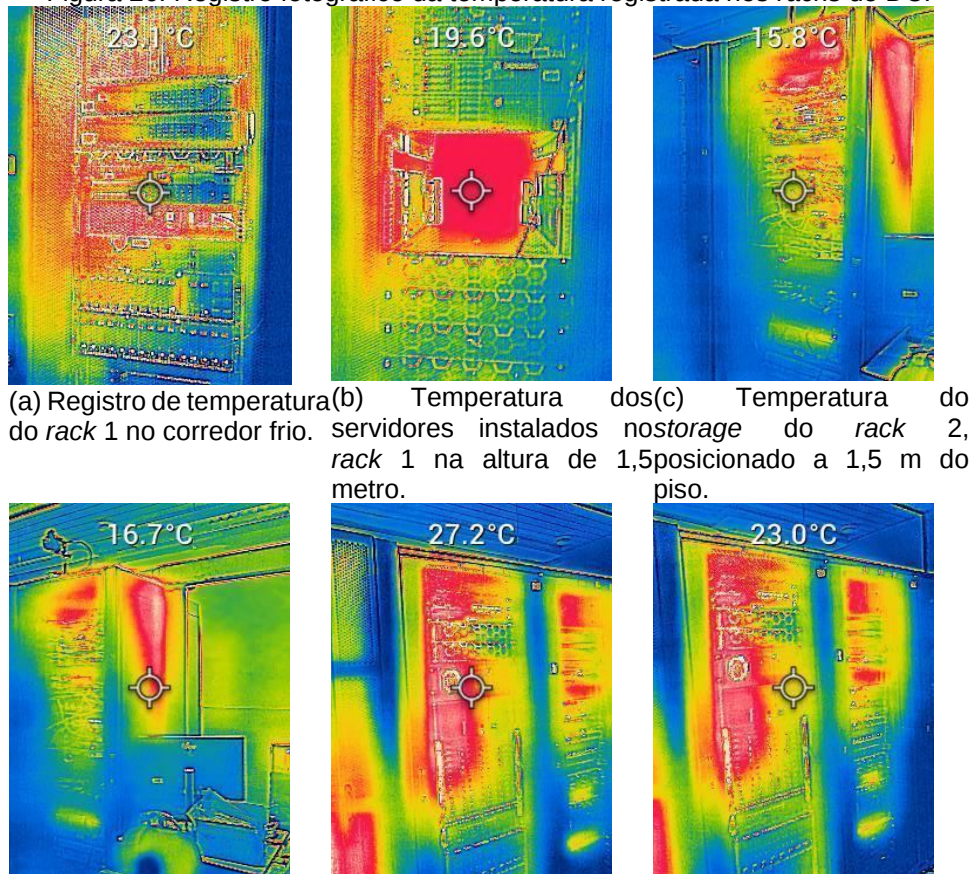


Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

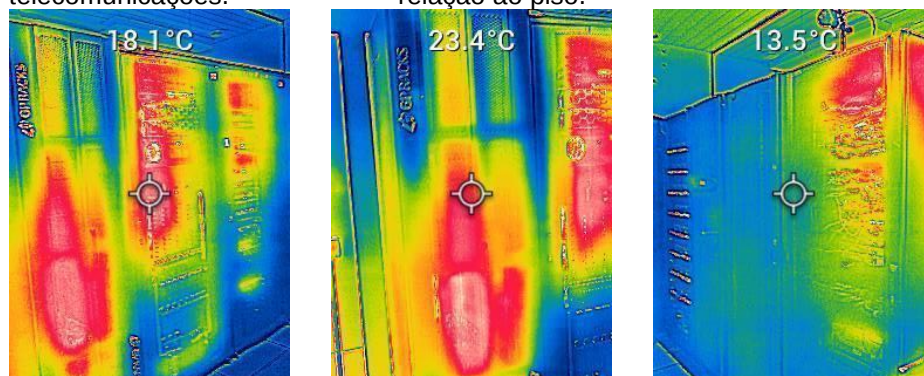
Na Figura 26 é apresentado o registro fotográfico das temperaturas dos *racks* no corredor frio, e através da captura da câmera termográfica foi possível encontrar as temperaturas associadas a cada estação de trabalho instalada nos *racks*. A Figura 26(e) apresenta a medição de uma temperatura acima de 27°C , gerada pelo *rack* 02, e esse resultado foi importante, pois quando verificado a temperatura durante a leitura pelo sensor HOB0 obteve-se a média da temperatura próximo à área do sensor (ambiente), e de certa forma, não se obtém a temperatura pontual desse *rack*.

As temperaturas observadas nos *racks* do corredor frio, em sua maioria, permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela ASHRAE (18°C a 27°C). Conforme apresentado na Figura 26 (a), (b), (c), (d), (f), (g), (h) e (i). Nota-se que as condições térmicas estão sob controle, mesmo com a presença de espaços vazios (*Gaps*) no interior de alguns *racks*. Os registros da câmera termográfica evidenciam ainda um fator de equilíbrio térmico, especialmente nos *racks* de maior demanda, confirmando a eficácia da refrigeração do ambiente.

Figura 26. Registro fotográfico da temperatura registrada nos *racks* do DC.



(d) Comportamento térmico do calor emitido lateral do rack 5 telecomunicações. (e) Temperatura da *BladeSystem* do rack 2 a 1,5 metro de altura em relação ao piso. (f) Temperatura do *storage* no rack 2, posicionada a 1,2 m de altura.



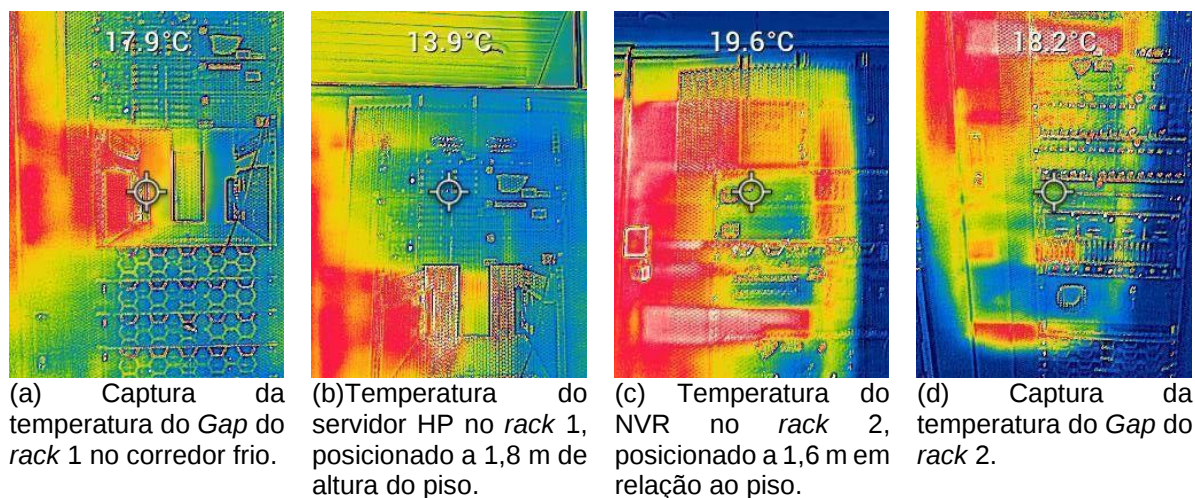
(g) Monitoramento da temperatura a 1,2 m de altura do servidor do rack 2. (h) Monitoramento da temperatura do servidor HP posicionado a 1,2 m de altura. (i) Temperatura do *switch* Dell a 1,2 m de altura em relação ao piso.

Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

Ao comparar os registros obtidos pela câmera termográfica com aqueles coletados pelos sensores HOBO, instalados por mais de uma semana no DC, verificou-se que os resultados foram consistentes e semelhantes. Entretanto, a utilização da câmera proporcionou um recurso adicional, permitindo identificar de forma mais precisa quais equipamentos exerciam maior influência sobre o conjunto térmico dos demais. Esse achado evidencia a relevância e a precisão das medições, além de fornecer valores redundantes que reforçam a confiabilidade do estudo e a correção na coleta dos dados.

A Figura 27 (a) e (b) apresenta o *rack* 1, enquanto a Figura 27 (c) e (d) corresponde ao *rack* 2, ambos posicionados em uma região mais afastada do sistema de refrigeração, registrando temperaturas médias em torno de 18 °C. Também foram realizadas medições nos *Gap* (espaços vazios ou aberturas nos respectivos *racks*), cujos resultados indicaram temperaturas relativamente compatíveis com os limites estabelecidos pela ASHRAE TC 9.9 (2021). Verificou-se ainda que os espaços abertos observados nas Figuras 27 (a) e (d) não representaram impacto negativo significativo sobre as condições de refrigeração do DC.

Figura 27. Captura da temperatura dos racks 1 e 2 dos servidores do DC.

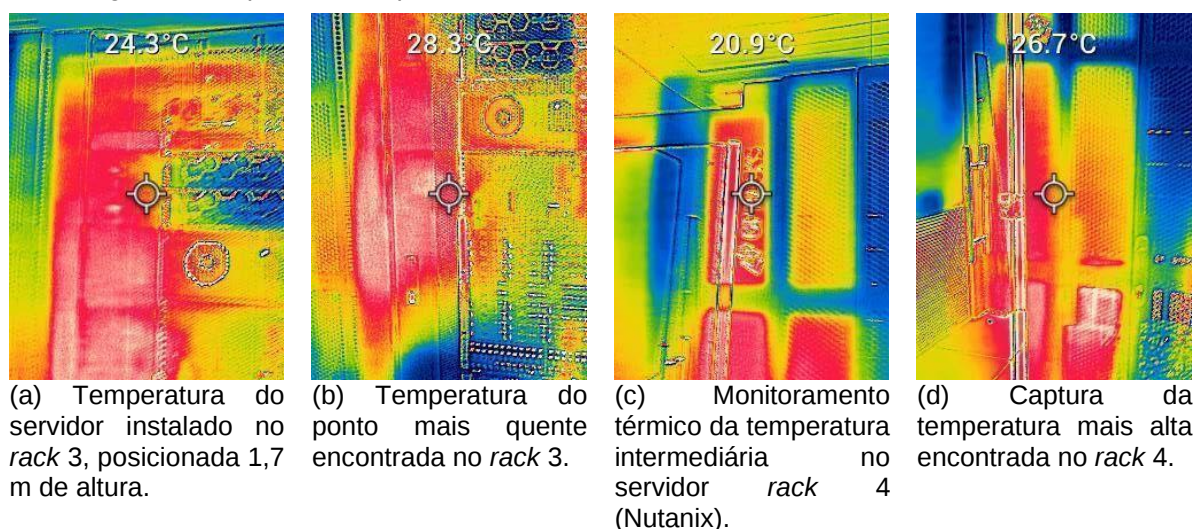


Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

A Figura 28 (a) e (b) representa o rack 3 e a (c) e (d) o rack 4, sendo esses mais próximos da refrigeração. Com auxílio da pistola termográfica é possível obter uma visão mais ampla comparada com os HOBOS, pois se comparada às respectivas temperaturas, percebe-se que os HOBOS capturaram a leitura do ambiente, diferentemente da câmera termográfica que consegue apresentar a temperatura interna dos equipamentos do rack.

Durante a medição das temperaturas nos racks 3 e 4, observou-se que a potência demandada por esses equipamentos contribuiu para o aumento térmico, especialmente em associação com alguns Gaps, conforme ilustrado na Figura 28 (b) e (d). Ressalta-se que a temperatura acima de 28 °C registrada no rack 3 foi fortemente influenciada pela presença de um servidor de potência maior que os demais equipamentos, complementado por uma *blade server* instalada imediatamente abaixo, evidenciando o efeito combinado desses equipamentos sobre o perfil térmico do rack.

Figura 28. Captura da temperatura dos racks 3 e 4 observados no corredor frio do DC.

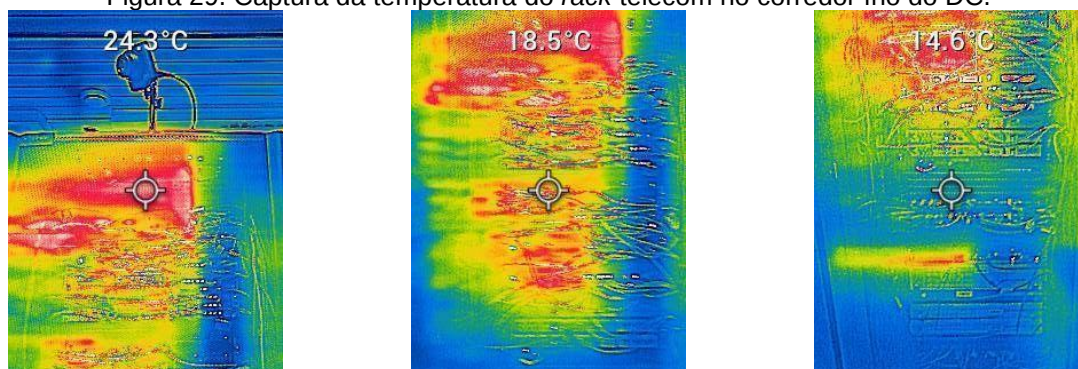


Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

O resultado da captura da temperatura do rack telecomunicações, na Figura 29(a), pela câmera termográfica trouxe o entendimento de um ponto com temperatura acima de 24°C, não percebido durante a análise dos resultados dos sensores, mostrando uma condição importante para ser investigada.

Durante a captura termográfica realizada no rack 5, verificou-se que o *blanking panel* (painel que preenche os espaços vazios do rack) contribuiu para o controle térmico, evitando que a temperatura fosse influenciada pelo corredor quente, como observado na Figura 29 (c). Além disso, conforme evidenciado na Figura 29 (b), a temperatura permaneceu constante, próxima ao valor definido pelo sistema de refrigeração do DC, demonstrando a eficácia do painel no gerenciamento do fluxo de ar e na manutenção das condições térmicas ideais.

Figura 29. Captura da temperatura do rack telecom no corredor frio do DC.

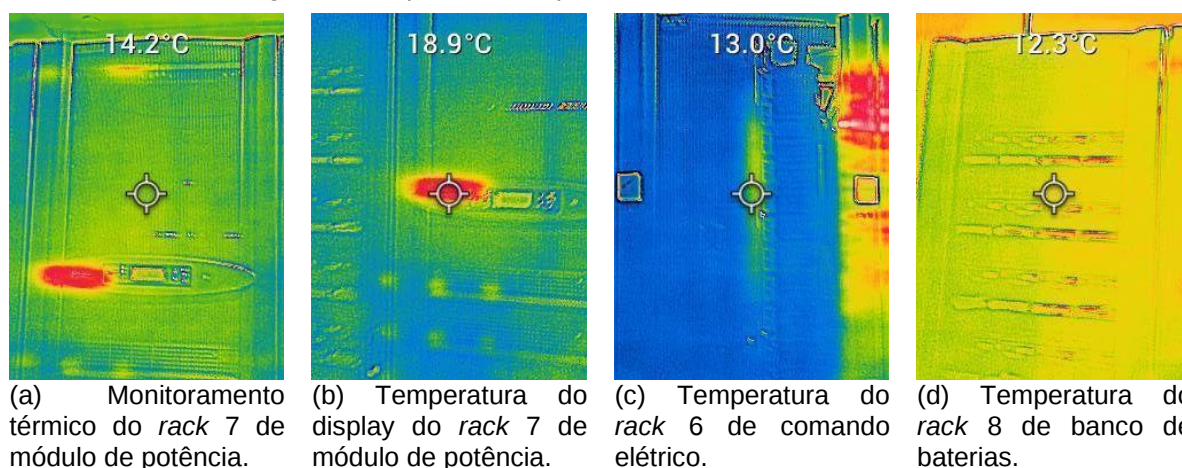


- (a) Temperatura mais alta identificada no rack 5, com um 1,8 m de altura.
- (b) Temperatura do rack 5 a 1,5 m de altura em relação ao piso.
- (c) Temperatura no *blanking panel* identificado no rack 5.

Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

As Figuras 30 (a), (b), (c) e (d) apresentam as medições de temperatura dos armários de módulo de potência, do quadro de comando elétrico e do rack de banco de baterias. Observa-se que as temperaturas mais elevadas nesses equipamentos não ultrapassam 19 °C, refletindo a baixa demanda de potência em comparação com os demais racks do DC. Dessa forma, a influência desses elementos sobre a refrigeração do ambiente é praticamente nula, não ocasionando impactos térmicos significativos.

Figura 30. Captura da temperatura dos racks 6,7 e 8 do DC.



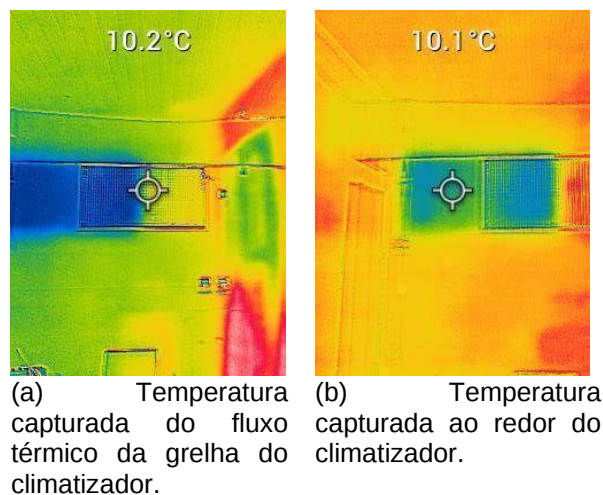
Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

Conforme evidenciado na Figura 31 (a) e (b), as temperaturas próximas à grelha do climatizador registraram valores em torno de 10 °C, indicando que o ar frio recém-saído ainda não sofreu mistura com o ar do corredor frio do DC. Embora a temperatura de operação do climatizador esteja programada para 18 °C, o ar liberado inicialmente apresenta uma temperatura significativamente inferior devido à alta velocidade de saída e ao perfil de fluxo direcionado.

Desta forma, à medida que o ar frio se mistura com o ar ambiente, observa-se um gradiente térmico, com aumento gradual da temperatura até atingir o valor programado, refletindo a dinâmica de distribuição de temperatura e o equilíbrio térmico do corredor frio. Essa diferença encontra-se dentro da normalidade, indicando que o

sistema de refrigeração está operando corretamente, fornecendo ar mais frio do que a temperatura final do corredor, de forma a compensar a carga térmica do ambiente.

Figura 31. Captura da temperatura da saída do ar do climatizador do DC.



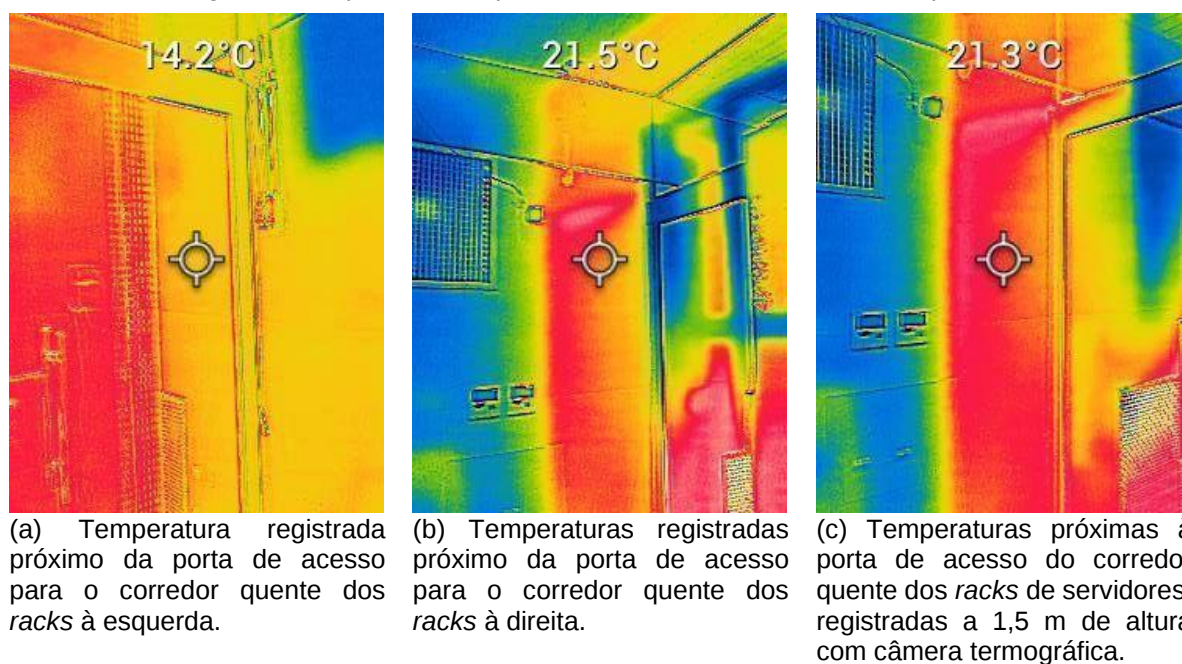
Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

Na Figura 32 (a) corresponde ao acesso à porta do corredor à esquerda, que contém os *racks* 5, 6, 7 e 8. A temperatura de 14,2°C no acesso ao corredor quente demonstra que a demanda térmica gerada é mais baixa comparada com a demanda do corredor quente à direita. A única representatividade em vermelho representa o calor transferido pelo *rack* da telecomunicação.

As observações realizadas através de capturas feitas na área próxima das portas de entrada para os corredores quentes chegaram a registrar temperaturas acima de 21°C, como pode ser notado na Figura 32 (a) e (c).

A temperatura apresentada na Figura 32 (b) e (c) têm um aumento de temperatura em torno de 7°C comparado com corredor quente à esquerda. Importante ressaltar que esse efeito de transferência de calor no corredor quente à direita teve grande influência dos *racks* de servidores instalados em torno desse corredor.

Figura 32. Captura da temperatura da entrada dos corredores quentes



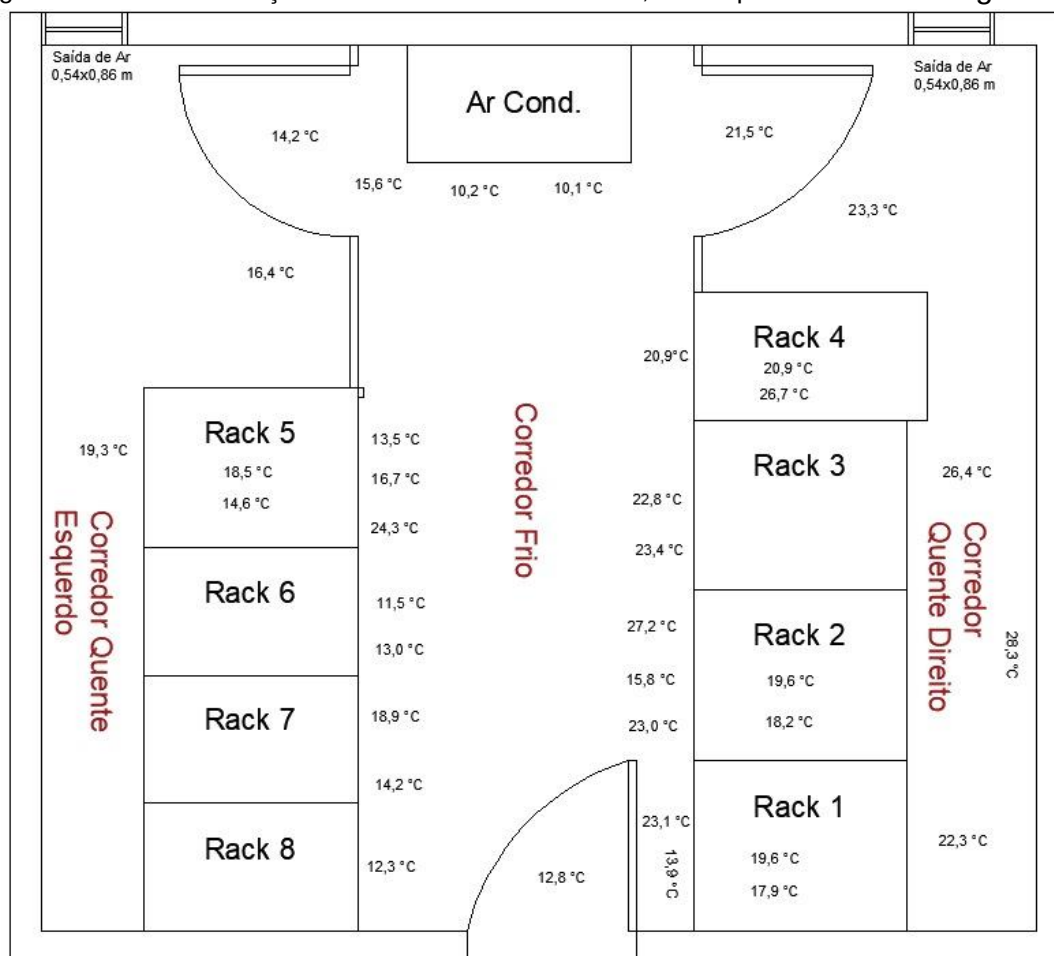
Fonte: Elaborado pelo autor (Fotografia DC UFMS).

A apresentação do mapa de variação térmica do DC, ilustrado na

Figura 33, obtido a partir das medições realizadas com câmera termográfica, possibilitou compreender a dinâmica da distribuição de temperatura em diferentes pontos do ambiente.

Observou-se que determinados *racks*, especialmente aqueles destinados a servidores, contribuíram com incrementos térmicos localizados devido à dissipação de calor associada ao processamento das máquinas instaladas. Contudo, tais elevações ocorreram de forma pontual e em pequena magnitude, não sendo suficientes para comprometer a temperatura global do ambiente nem a eficiência do sistema de refrigeração do DC.

Figura 33. Perfil de variação térmica do ambiente do DC, obtido pela câmera termográfica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Análise

Através das capturas realizadas pela câmara termográfica da marca FLIR, modelo TG165-X, seus resultados mostraram temperaturas dentro da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9 nos *racks* no corredor frio. Embora tenha sido observada uma temperatura pontual de 28,3 °C no *rack* 3 (Figura 28), as demais medições permaneceram dentro dos limites recomendados pela ASHRAE TC 9.9.

Isso indica que o sistema de refrigeração está, em geral, mantendo condições térmicas adequadas no ambiente, e que a elevação registrada pode estar associada a um ponto localizado de maior carga térmica ou menor eficiência de ventilação.

Os resultados obtidos com o uso da câmara termográfica modelo TG165-X, da marca FLIR, forneceram informações complementares às registradas pelos sensores

HOBO, possibilitando a medição instantânea das temperaturas e de suas variações em diferentes áreas do ambiente do DC. Como pôde ser observado o equipamento mede a Radiação Infravermelha (RI) emitida pelas superfícies e a converte em um mapa térmico colorido, no qual foram observadas temperaturas de até aproximadamente 29 °C em determinadas capturas.

As variações térmicas observadas na Figura 33 evidenciaram resultados relevantes para a análise do ambiente, demonstrando que a distribuição de temperatura no interior do DC não ocorre de forma uniforme. Verificou-se a existência de diferentes contribuições térmicas associadas a cada *rack* instalado, sendo que os *racks* de servidores apresentaram temperaturas distintas em função da carga de processamento das máquinas neles alocadas.

Entretanto, apesar das diferenças identificadas no mapa térmico apresentado na Figura 33, os valores registrados permaneceram dentro dos limites recomendados pela ASHRAE para ambientes de DC.

Também foi evidenciado que a dinâmica dos diferentes registros de temperatura no interior do DC não deve ser tratada como problema, mas sim como reflexo do perfil térmico específico de cada *rack* no ambiente.

Essas variações foram igualmente observadas durante a análise realizada por meio dos sensores HOBO *data logger*, que demonstraram que as áreas com maior intensidade de processamento computacional apresentaram, de fato, maiores valores de temperatura. Entretanto, mesmo com essas elevações pontuais, os registros térmicos permaneceram dentro dos limites recomendados pela norma ASHRAE TC 9.9, não configurando condição de risco operacional.

Diante disso, o estudo identificou pontos com temperaturas acima da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9. Esses padrões visuais identificados pela câmera termográfica, embora não representem o comportamento térmico ao longo do tempo, indicam potenciais áreas críticas que, se não forem adequadamente tratadas, podem contribuir para o aumento da temperatura ambiente e para o desequilíbrio do sistema de resfriamento do DC.

5.2.3 Confortímetro SENSU

Instalou-se no ambiente do DC o confortímetro SENSU, modelo K3, com o objetivo de fornecer subsídios para o estudo de simulação computacional realizado no *CFD CoolSim*. Por meio desse equipamento, foi possível obter parâmetros relevantes do ambiente, como temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, que servirão para validar e complementar os resultados do estudo com dados reais.

A Figura 34 apresenta o equipamento utilizado durante as medições referentes à análise do fluxo de ar no corredor frio do DC.

Figura 34. Confortímetro SENSU.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na Tabela 30 está a indicação do posicionamento do confortímetro para realização da coleta dos dados, e a medida adotada levou em conta o tamanho do local e a instalação em cima da mesa foi devido à ausência do suporte necessário para fixar o equipamento.

Tabela 30. Posicionamento do confortímetro no corredor frio do DC.

Equipamento	Local Instalado	Distância do climatizador	Altura instalada	Dist. rack esquerdo	Dist. rack direito
Confortímetro SESU	Corredor frio do DC	2,2 metros	0,72 metro	0,47 metro	0,47 metro

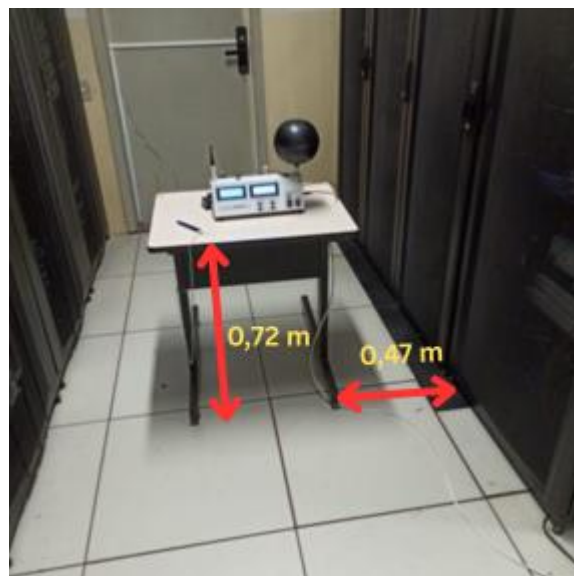
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Esse equipamento foi instalado no corredor frio do DC no dia 23 de julho de 2025 às 10h, posicionado em cima de uma mesa, conforme a Figura 35, e retirado no dia 24 de julho às 9h40. Programou-se para registrar os dados a cada 10 minutos, e por entender ser um ambiente controlado optou-se, durante todo o procedimento, manter esse tempo de leitura de registros.

Figura 35. Confortímetro SENSU instalado no corredor frio do DC.



(a) Vista do confortímetro SENSU diante do climatizador do DC.



(b) Visão do posicionamento do equipamento SENSU no corredor frio do DC.

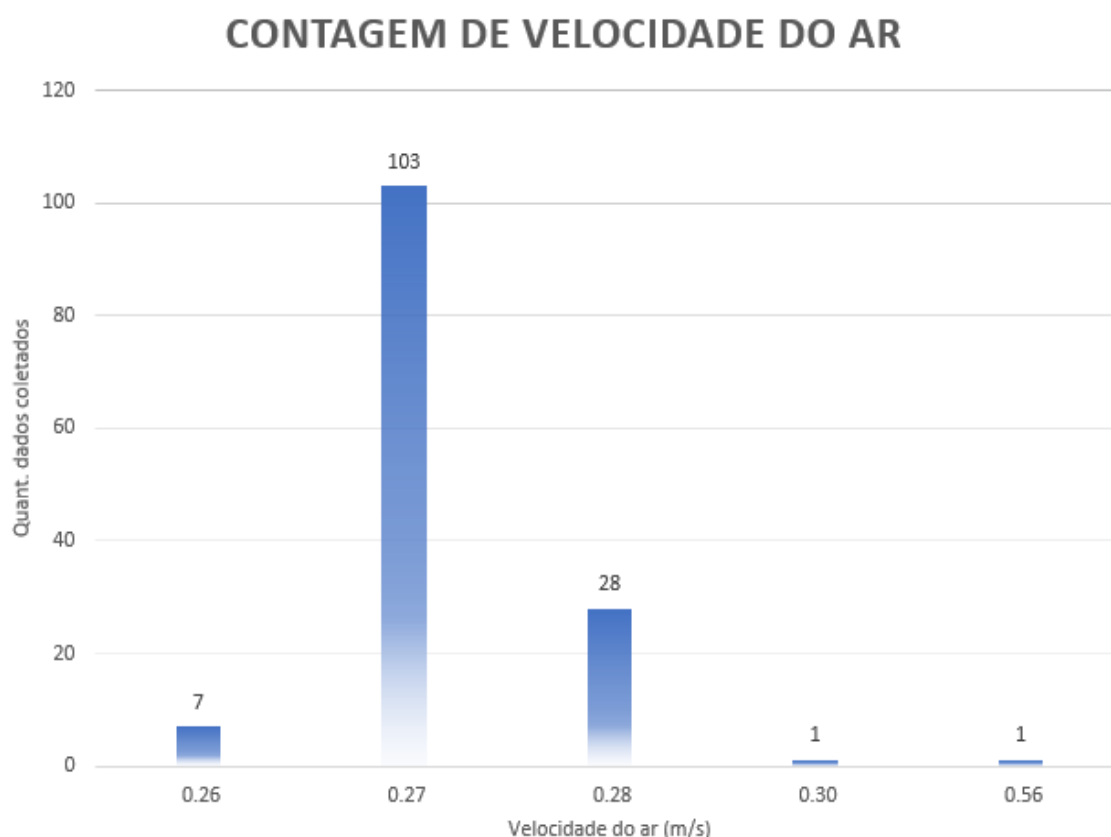
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Análise

Na coleta realizada pelo confortímetro houve 40 registros com dados de parâmetros tais como: temperatura do ar da refrigeração, Umidade Relativa (UR), velocidade do ar e, por fim, informações sobre o dióxido de carbono (CO_2). Apesar de todos esses registros, salienta-se que o conforto ambiental humano não é relevante no DC, mas a adequada manutenção das condições ambientais para os equipamentos de TI instalados.

Dentro do DC os dados relevantes obtidos pelo confortímetro devem ser temperatura, umidade relativa do ar e fluxo de ar, não sendo necessária a análise do CO_2 registrado. No entanto, desses parâmetros coletados, o dado principal a ser obtido pelo equipamento é a velocidade do ar, pois esse dado é utilizado na ferramenta de CFD. A Figura 36 apresenta um gráfico com dados da variação da velocidade do ar registrada pelo confortímetro instalado no corredor frio do DC.

Figura 36. Variação da velocidade do ar registrada no confortímetro SENSU instalado no corredor frio do DC.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A realização dessa medição mostrou-se fundamental na análise térmica do ambiente, pois permitiu compreender o comportamento do ar e as condições internas do DC. Além disso, o método forneceu parâmetros adicionais, como a avaliação da velocidade e do fluxo do ar no corredor frio, que influenciam diretamente nas condições térmicas do ambiente e na eficiência do sistema de resfriamento dos equipamentos do DC.

5.2.4 Medições de iluminância com Luxímetro

No estudo da iluminância do DC, tornou-se necessária a verificação do nível de iluminação do ambiente, uma vez que a adequada distribuição de luz é essencial para a execução de atividades operacionais e manutenções realizadas no local. Para essa finalidade, utilizou-se um luxímetro digital (Digital Lux Meter), modelo MLM-1011, da

marca Minipa, o qual possui precisão de $\pm 4\%$ da leitura, garantindo confiabilidade nas medições realizadas.

A Figura 37 apresenta o luxímetro empregado nas nove medições efetuadas nos corredores quente e frio do DC. As leituras foram realizadas conforme recomendações da norma TIA-942, posicionando o sensor de forma horizontal, voltado para cima, a 1 metro de altura em relação ao piso, assegurando a padronização e a representatividade dos valores de iluminância obtidos no ambiente.

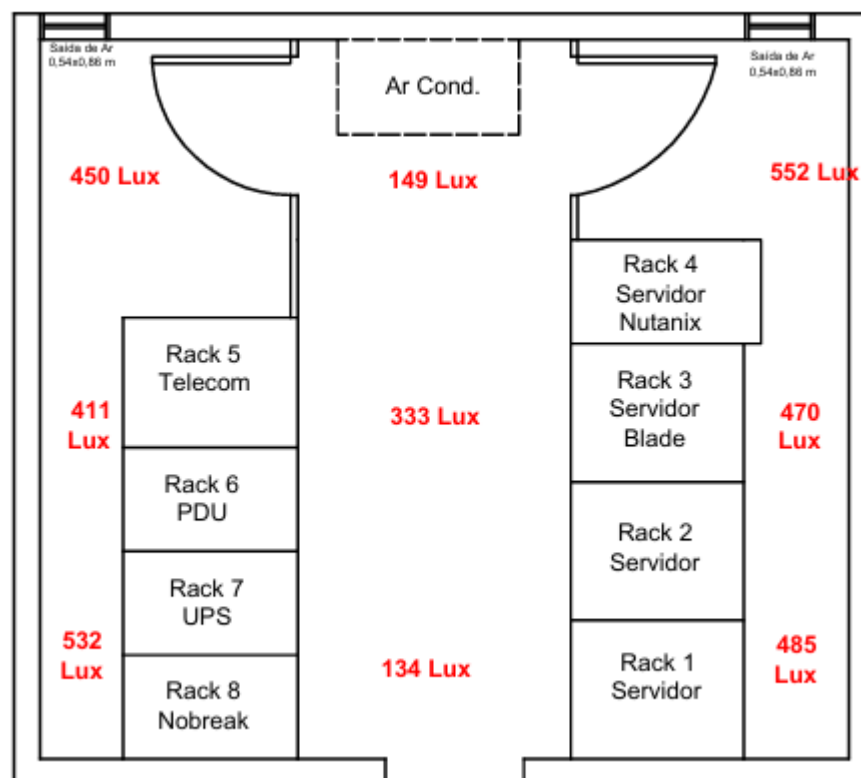
Figura 37. Luxímetro Digital Lux Meter MLM-1011 (Minipa) utilizado nas medições de iluminância (precisão $\pm 4\%$ na leitura).



Fonte: Luxímetro Digital Lux Meter, modelo MLM 1011, Minipa

Na Figura 38, foram realizadas medições de iluminância em nove pontos distribuídos pelo ambiente, com o objetivo de obter uma representação adequada da média de iluminação do DC. Cada ponto teve seu valor registrado em lux utilizando o luxímetro digital, e, posteriormente, foi calculada a média geral dos resultados. As medições indicaram um nível médio de iluminância de 390,67 lux, aproximadamente 391 lux, considerando toda a área avaliada do DC.

Figura 38. Medições realizadas com o Luxímetro Digital Lux Meter MLM-1011 (Minipa) em nove pontos distribuídos pelo DC.



Fonte: Próprio autor (2025).

A iluminação do DC analisado é composta por luminárias de sobrepor, cada uma equipada com duas lâmpadas tubulares LED T8 da marca Osram, com potência de 18 W por lâmpada e fluxo luminoso de 1850 lúmens. Quanto à distribuição, estão instaladas duas luminárias em cada corredor quente e uma luminária no corredor frio.

Destaca-se que, nas medições realizadas *in loco* no interior do DC, os resultados evidenciaram que apenas algumas situações atenderam aos níveis recomendados pela norma ASHRAE TC 9.9.

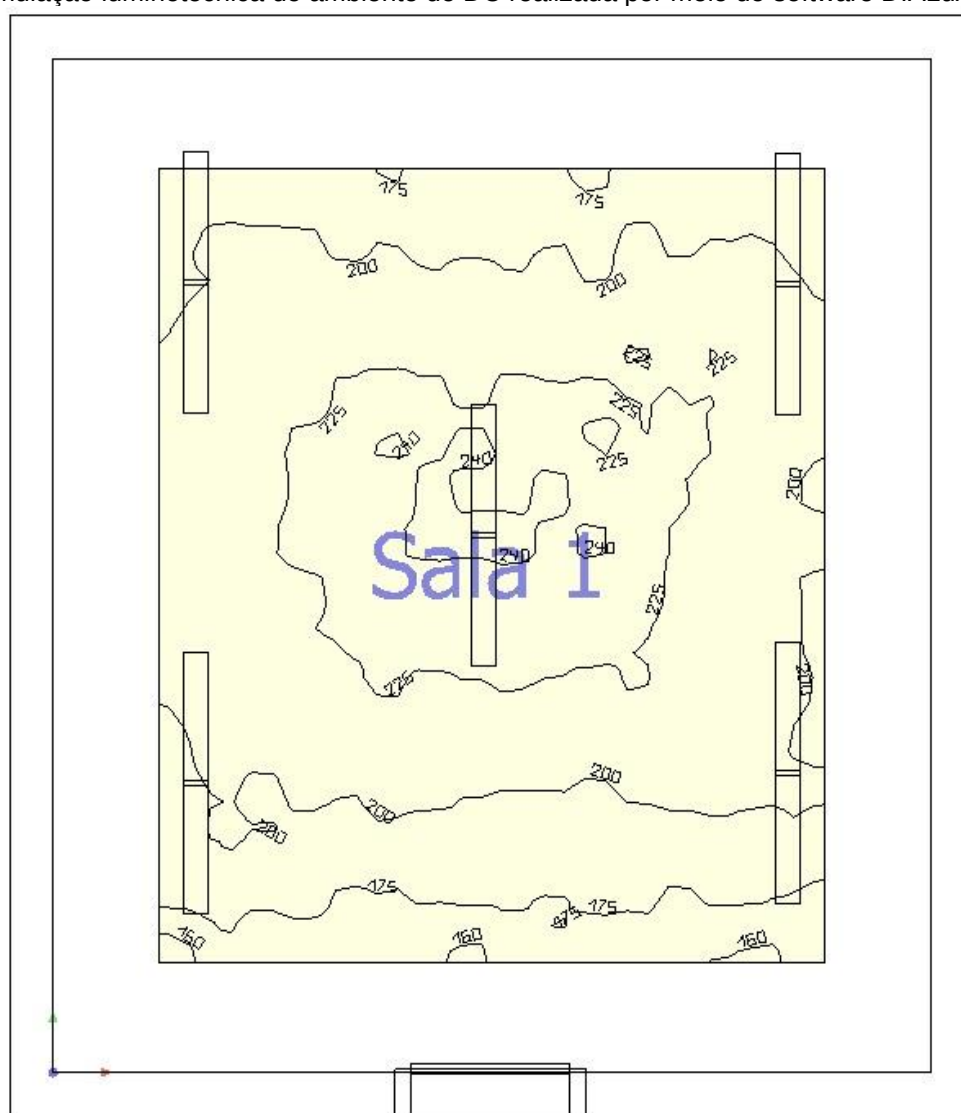
Durante a operação normal do DC, as luminárias permanecem desligadas, sendo acionadas apenas durante intervenções técnicas. Por estarem conectadas em circuito paralelo, todas são acionadas simultaneamente, o que assegura uma iluminação uniforme em ambos os corredores.

Foi realizada a simulação da iluminação interna do DC por meio do *software* DIALux evo, em sua versão gratuita, com o objetivo de verificar e propor melhorias nos níveis de iluminância do ambiente em estudo.

A simulação realizada no DIALux apresentou comportamento divergente com aqueles verificados durante as medições com luxímetro. A Figura 39 apresenta a simulação luminotécnica do DC, confirmando a necessidade de adequações no sistema de iluminação do ambiente, nela é possível verificar a quantidade de lux em cada ponto da sala em estudo.

A divergência entre os valores simulados e os obtidos por medição *in loco* pode ser atribuída às condições reais do ambiente, tais como depreciação das luminárias, interferências físicas dos *racks* e variações no fator de manutenção, fatores estes não integralmente reproduzidos no modelo computacional.

Figura 39. Simulação luminotécnica do ambiente do DC realizada por meio do software DIALux evo.

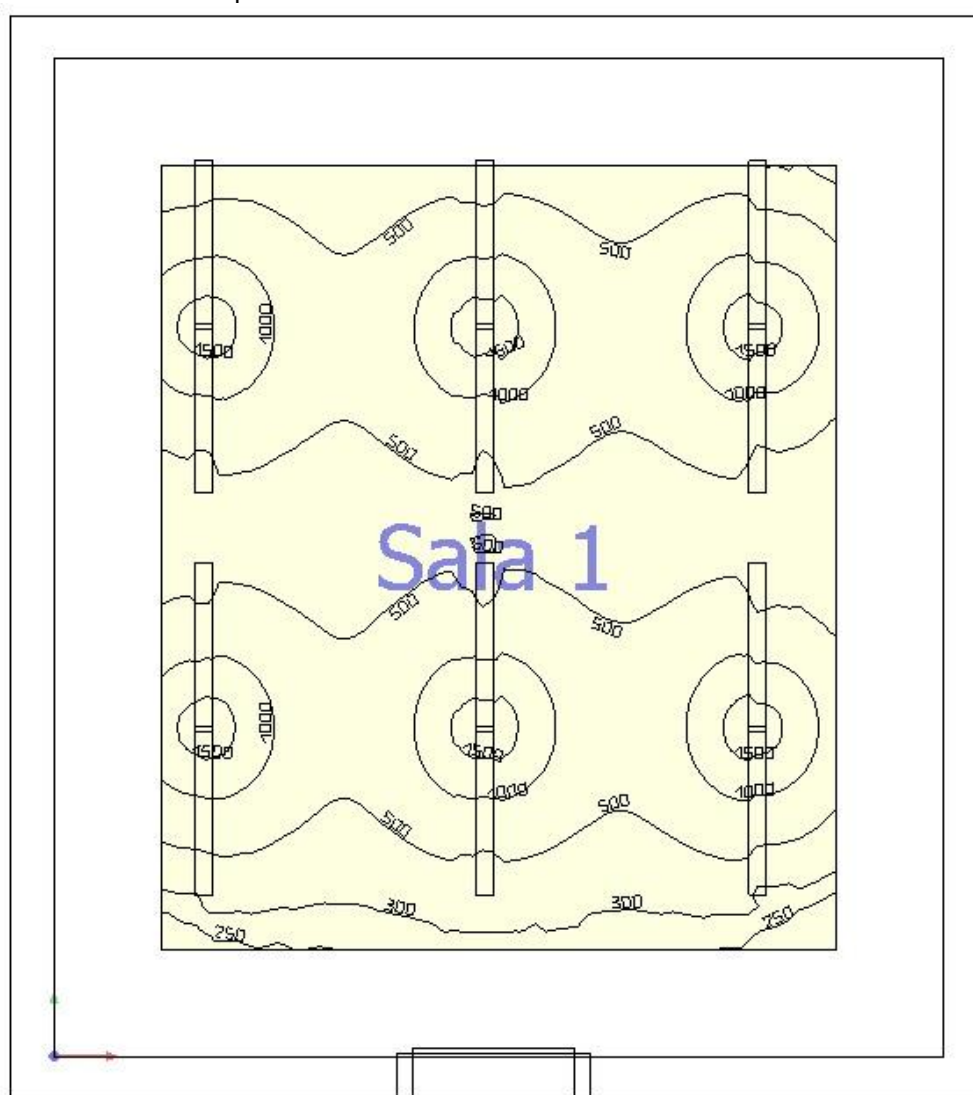


Fonte: DIALux (2026).

Como proposta de melhoria da luminotécnica do ambiente em estudo, foi realizada uma nova simulação no *software* DIALux evo, com o objetivo de apresentar uma alternativa de redistribuição e adequação da potência das luminárias, de modo a atender aos requisitos de iluminância estabelecidos pela norma TIA-942.

A Figura 40 apresenta a configuração proposta, contemplando a utilização de seis luminárias de 24 W, cuja distribuição no ambiente possibilitou o atendimento às exigências normativas de iluminância para o DC.

Figura 40. Simulação do ambiente do DC realizada por meio do *software* DIALux evo, em conformidade com os requisitos estabelecidos pela norma TIA-942.



Fonte: DIALux (2026).

Análise

De acordo com as recomendações da norma ANSI/TIA 942-B, os ambientes de DC devem apresentar níveis mínimos de iluminância de 500 lux no plano horizontal, garantindo condições adequadas para a execução de atividades de manutenção nos racks e demais equipamentos. Considerando que a área total do ambiente é de 20 m² e que o valor mínimo recomendado é de 500 lux, estima-se a necessidade de, pelo menos, 10.000 lúmens para atender ao requisito normativo. Entretanto, o DC dispõe atualmente de cinco pares de lâmpadas, cada par fornecendo 1850 lúmens, o que resulta em um fluxo luminoso total inferior ao necessário, caracterizando um *déficit* de iluminação.

Ao analisar separadamente os corredores, observa-se que o corredor quente esquerdo apresentou média de 464,33 lux, valor que não atende ao mínimo estabelecido pela TIA-942-B. Já o corredor quente direito registrou média de 502,33 lux, atendendo ao nível exigido. No corredor frio, entretanto, o valor médio obtido foi de apenas 205,33 lux, significativamente abaixo do recomendado pela norma.

Assim, verifica-se que, considerando a área total do DC, os níveis de iluminância não atendem aos requisitos da TIA-942-B, sendo necessária a instalação de luminárias adicionais para alcançar os 500 lux mínimos exigidos. Na análise por setores, apenas o corredor quente direito atende às recomendações, enquanto o corredor quente esquerdo apresenta leve insuficiência e o corredor frio demonstra deficiência acentuada.

A simulação realizada na Figura 39 apresentou indicou um fluxo luminoso total de 9.250 lm e potência instalada de 90 W, considerando as cinco luminárias de 18 W atualmente instaladas no Data Center. Contudo, os níveis de iluminância obtidos mostraram-se inferiores aos valores recomendados pela norma TIA-942, evidenciando a necessidade de adequação do sistema de iluminação.

A partir das análises realizadas no software DIALux evo, foi proposta como alternativa de otimização a substituição das luminárias de 18 W pelo modelo LEDTUBE T8 24 W 865. Com essa alteração, o fluxo luminoso total passou para 16.800 lm, com potência instalada de 144 W.

A Figura 40 apresenta a nova configuração de distribuição das luminárias no ambiente do DC, evidenciando o atendimento aos níveis mínimos de iluminância

exigidos pela norma. Ressalta-se que a adequação implicou acréscimo de 54 W na potência total instalada em relação ao sistema anterior.

Essa adequação promove a elevação dos níveis de iluminância média e da uniformidade luminosa, possibilitando o atendimento aos requisitos técnicos estabelecidos pela norma.

Esses resultados evidenciam a necessidade de adequação do projeto luminotécnico, a fim de garantir condições adequadas de trabalho, ergonomia e segurança, em conformidade com as normas aplicáveis ao ambiente de Tecnologia da Informação.

5.3 Etapa 3

Durante essa etapa, foi aplicado o *checklist*, apresentado na metodologia, referente ao isolamento térmico do DC, preenchido em visita *in loco*, com o objetivo de auxiliar na inspeção e no registro das principais características estruturais do ambiente.

5.3.1 Análise de demanda energética

Durante essa etapa para efetuar as medições de energia elétrica foi utilizado o analisador de energia elétrica da marca FLUKE 434 - série II ENERGY ANALYZER para verificar o comportamento e demanda utilizada no DC, bem como entender o seu consumo e comportamento durante o período de 7 dias. A Figura 41 apresenta o modelo do FLUKE utilizado nessa etapa do estudo.

Figura 41. Analisador de energia da FLUKE 434 série II - *Energy Analyzer*.



Fonte: Foto retirada pelo autor do FLUKE 434 série II - *Energy Analyzer* (2025).

No dia 04 de setembro de 2025, foi realizada a instalação do analisador de qualidade de energia FLUKE, conforme apresentado na Figura 15. O equipamento foi conectado ao quadro de comando trifásico, dotado de disjuntor de 225 A, dedicado exclusivamente ao atendimento dos equipamentos do DC. Após uma semana de monitoramento, em 10 de setembro de 2025, procedeu-se à retirada do analisador do referido quadro.

Os itens (a), (b), (c) e (d) da Figura 42 apresentam registros fotográficos do quadro elétrico responsável pelo fornecimento de potência aos equipamentos do DC. As imagens foram obtidas durante o processo de instalação do analisador de qualidade de energia (Fluke) e, posteriormente, no momento da retirada de seus conectores.

Figura 42. Instalação do analisador de energia da FLUKE 434 série II - *Energy Analyzer* no quadro geral (QG) de elétrica do DC.



(a) Foto da instalação do Fluke no quadro geral do DC.



(b) Foto registrada da montagem do analisador de energia no quadro geral do DC.



(c) Registro de dados durante a leitura do analisador no DC.



(d) Quadro de energia responsável pela demanda do DC.

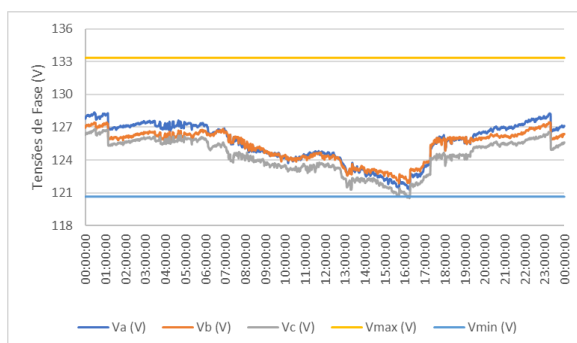
Fonte: Registro fotográfico realizado pelo autor do analisador de energia da FLUKE 434 série II - *Energy Analyzer* (2025).

Os resultados obtidos a partir das medições foram organizados em gráficos de tensão de fase, corrente de fase e potência trifásica. A Figura 43 apresenta, de forma detalhada, os gráficos referentes ao comportamento das tensões ao longo do período monitorado.

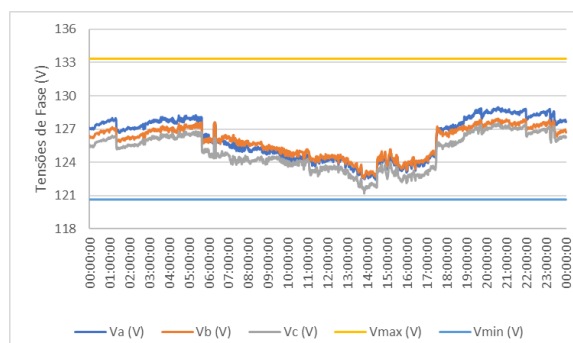
A Figura 43 apresenta os gráficos (a), (b), (c) e (d), correspondentes às tensões de fase, os quais possibilitam a análise do comportamento da voltagem e a verificação de eventuais variações significativas. Observou-se que na maioria do tempo a tensão permaneceu no regime permanente entre a faixa máxima e mínima. De modo geral, em comparação com os demais registros, verificou-se poucas variações nos valores monitorados.

Os gráficos da Figura 43, em (e) e (f), evidenciam oscilações e picos na rede elétrica. Em especial no gráfico (f), observou-se o desligamento do sistema, seguido pelo rápido acionamento do gerador e restabelecendo às condições normais de operação.

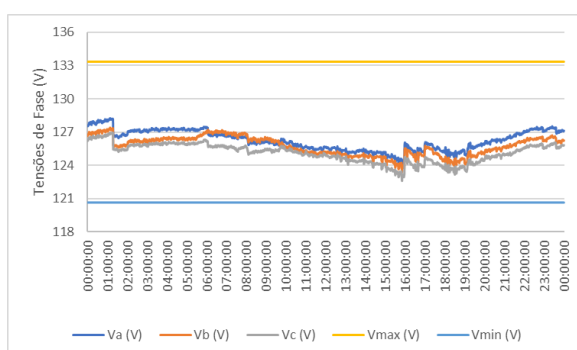
Figura 43. Registro obtido por meio do analisador de energia (FLUKE 434 série II - *Energy Analyzer*) o comportamento das tensões no DC.



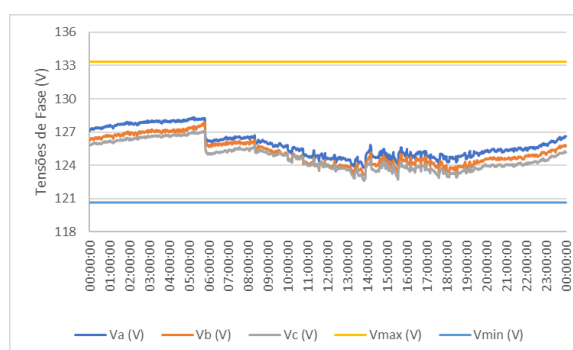
(a) Tensões de fase registradas no DC em 4/09/2025.



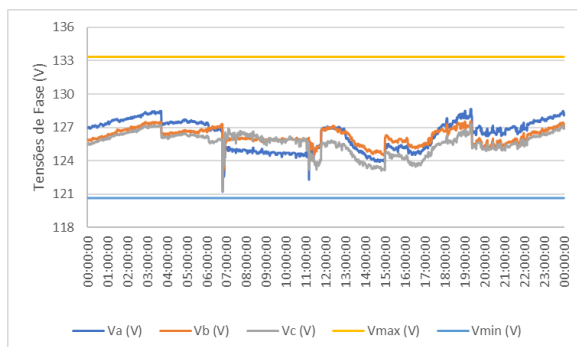
(b) Tensões de fase registradas no DC em 5/09/2025.



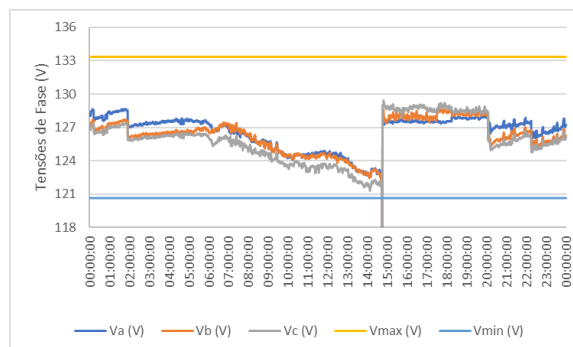
(c) Tensões de fase registradas no DC em 6/09/2025.



(d) Tensões de fase registradas no DC em 7/09/2025.



(e) Tensões de fase registradas no DC em 9/09/2025.



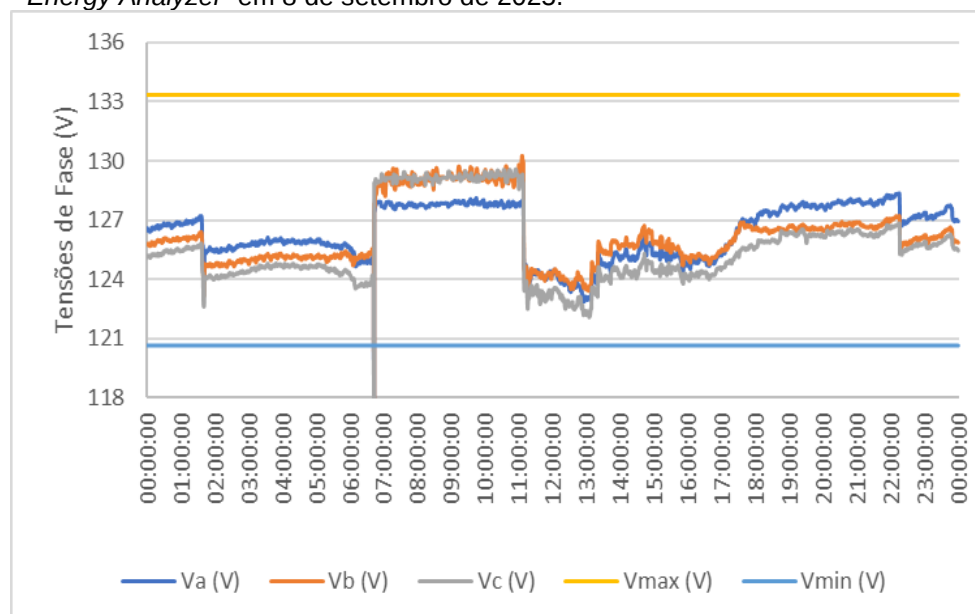
(f) Tensões de fase registradas no DC em 10/09/2025.

Fonte: Elaboração do autor com auxílio do analisador de energia, marca FLUKE (2025).

O gráfico da Figura 44 apresenta o comportamento das tensões elétricas às 7h, momento em que foi registrada uma queda de tensão decorrente do chaveamento do sistema de energia da concessionária para o teste do gerador. Nesse instante, a tensão mínima atingiu valores inferiores a 118 volts, possivelmente em função da entrada de carga significativa no sistema, associada à ativação do climatizador, o que possivelmente ocasionou um aumento significativo da corrente e uma queda momentânea da tensão.

Após esse evento, observou-se a manutenção do fornecimento de energia pelo gerador de forma estável e contínua entre 7h e 11h. Nesse período, a tensão de saída do gerador manteve-se em regime permanente, apresentando valores superiores à tensão nominal fornecida pela concessionária.

Figura 44. Comportamento das tensões de fase registradas pelo analisador de energia FLUKE 434 série II - *Energy Analyzer* em 8 de setembro de 2025.

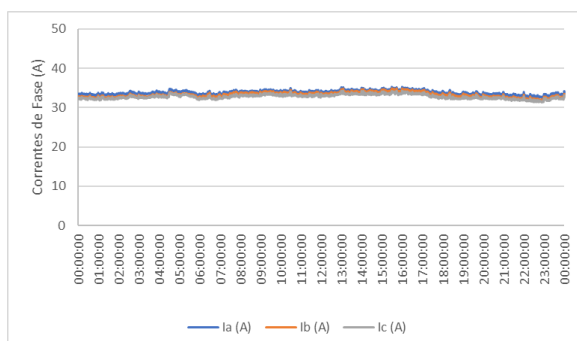


Fonte: Registros coletados pelo analisador de energia FLUKE 434 série II (2025).

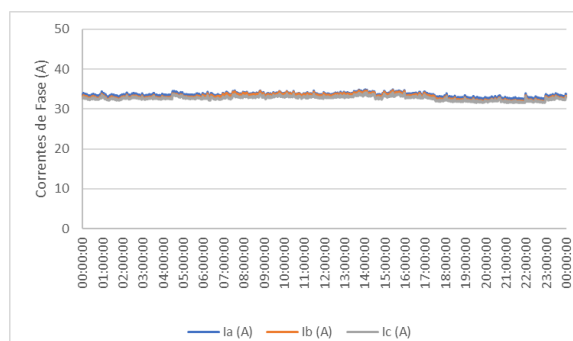
Os valores das correntes de fase do quadro geral da demanda do DC também foram medidos. A Figura 45 apresenta os gráficos correspondentes, obtidos durante o registro contínuo por sete dias realizados pelo analisador de energia.

Os gráficos apresentados na Figura 45, itens (a), (b), (c) e (d), registraram valores de corrente mínima acima de 30 A e máxima aproximadamente 35 A. Observa-se que o comportamento das correntes se manteve semelhante em todos os dias de análise, conforme os dados obtidos pelo analisador de energia.

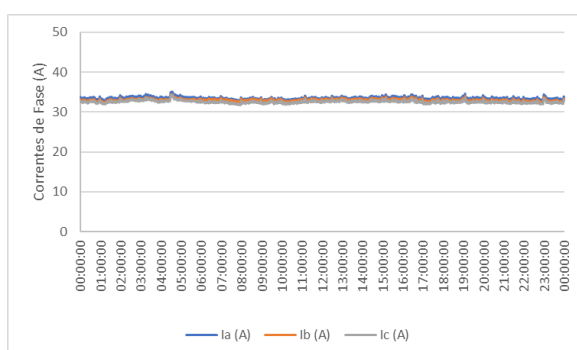
Figura 45. Comportamento da corrente medida pelo analisador de energia da marca FLUKE 434 série II - *Energy Analyzer* no DC durante uma semana.



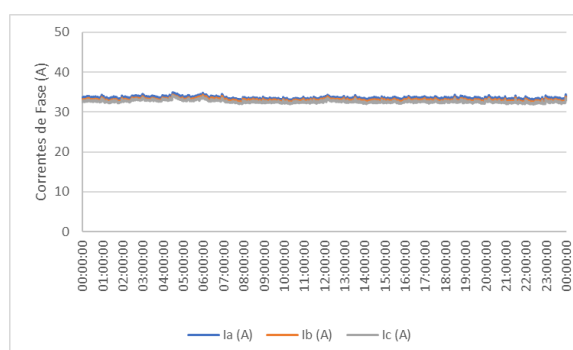
(a) Comportamento da corrente de fase do DC no dia 04/09/2025.



(b) Comportamento da corrente de fase do DC no dia 05/09/2025.



(c) Comportamento da corrente de fase do DC no dia 06/09/2025.

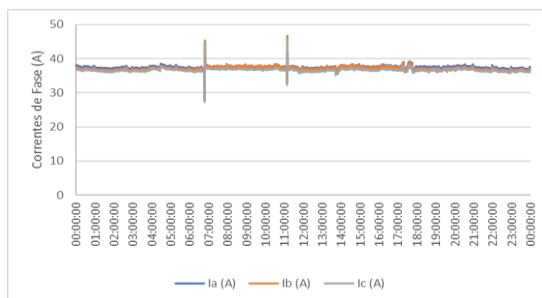


(d) Comportamento da corrente de fase do DC no dia 07/09/2025.

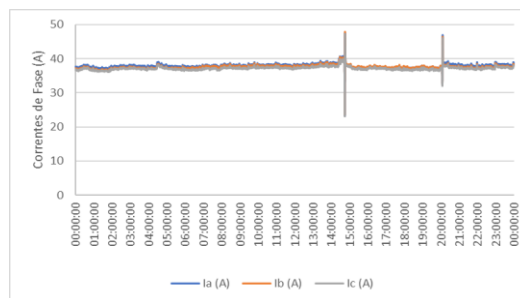
Fonte: Elaboração própria a partir de registros do analisador de energia marca FLUKE 434 série II (2025).

O analisador de energia apresentou registros interessantes nos dias 9 e 10/09/2025, com variações significativas em relação aos gráficos da Figura 46. Nos itens (a) e (b) da Figura 46, foram observadas correntes mínimas abaixo de 30 A, enquanto os picos chegaram a quase 50 A, possivelmente indicando os momentos de acionamento e desligamento do gerador.

Figura 46. Comportamento da corrente medida pelo analisador de energia (marca FLUKE 434 série II - *Energy Analyzer*) no DC nos dias 9 e 10 de setembro de 2025.



(a) Comportamento da corrente de fase do DC no dia 9/09/2025.



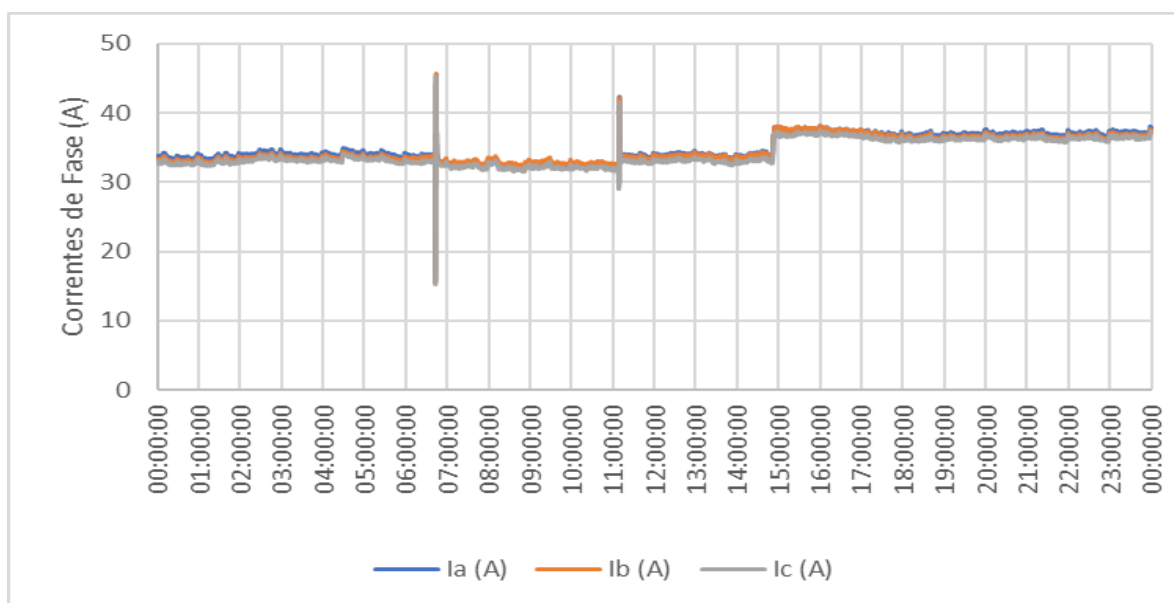
(b) Comportamento da corrente de fase do DC no dia 10/09/2025.

Fonte: Elaboração própria, registros do FLUKE 434 série II - *Energy Analyzer* (2025).

O gráfico da Figura 47 registra o momento em que ocorreu a troca da fonte de alimentação, momento que houve o desligamento da rede da concessionária e o acionamento do gerador. Nesse instante, verificou-se que a corrente mínima ficou menor que 20 A. Após o restabelecimento e estabilização do fornecimento da energia, a corrente ultrapassou os 40 A e, em seguida, estabilizou-se um pouco acima de 30 A, no intervalo entre 7h e 11h (cerca de quatro horas).

Na segunda etapa, correspondente ao retorno da operação do gerador para a rede da concessionária, observa-se comportamento distinto: a variação registrada foi significativamente menor em relação à primeira troca, com oscilações de corrente mínima e máxima pouco expressivas.

Figura 47. Comportamento das Tensões de fase durante a medição realizada na data do dia 8/09/2025 pelo analisador de energia FLUKE 434 série II - *Energy Analyzer*.



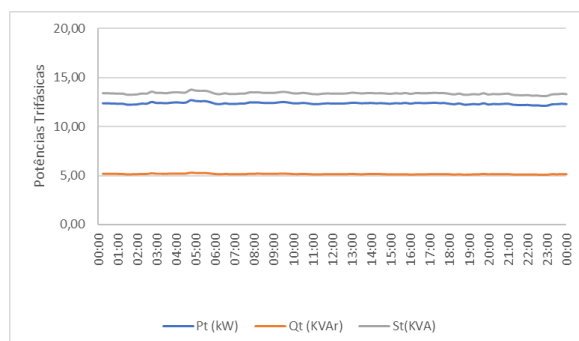
Fonte: Elaboração do autor a partir dos registros obtidos do analisador de energia FLUKE (2025).

Também foi analisada, por meio do analisador de qualidade de energia FLUKE, a potência trifásica do quadro geral do DC. Verificou-se, na Figura 48 dos gráficos (a), (b), (c) e (d), que a potência ativa (kW) não ultrapassou o valor de 13 kW durante o período analisado.

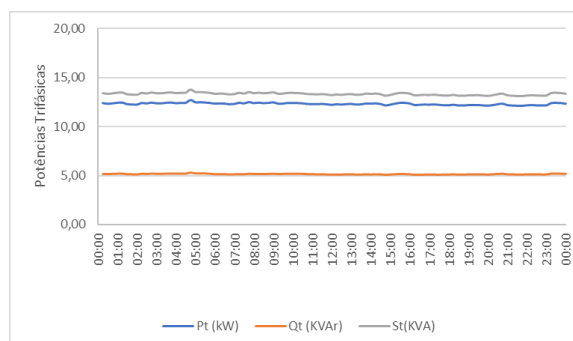
Ao comparar os valores de potência ativa registrados pelo analisador de qualidade de energia, apresentados na Figura 48, itens (a), (b), (c) e (d), verificou-se que na maioria do tempo a potência demandada permaneceu entre a faixa média de

13 kW. Esse resultado evidencia a estabilidade do consumo de energia no DC, bem como a consistência das medições realizadas.

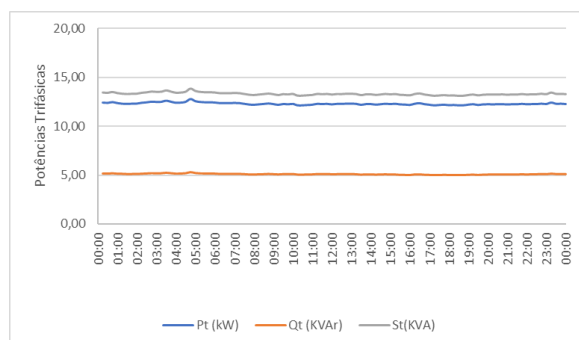
Figura 48. Medição da potência ativa (kW) demandada no DC, realizada com o analisador de energia FLUKE 434 Série II – *Energy Analyzer*.



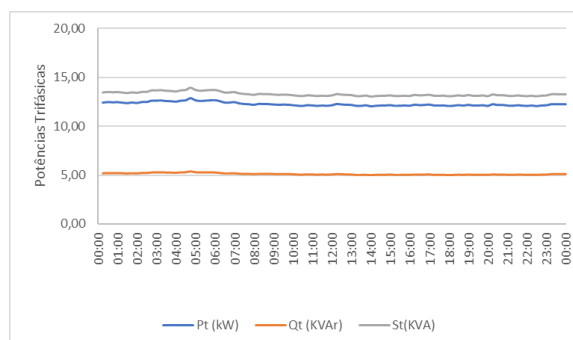
(a) Potência demandada dos equipamentos no DC no dia 4/09/2025.



(b) Potência demandada dos equipamentos no DC no dia 5/09/2025.



(c) Potência demandada dos equipamentos no DC no dia 6/09/2025.



(d) Potência demandada dos equipamentos no DC no dia 7/09/2025.

Fonte: Elaboração do autor a partir de registros obtidos pelo FLUKE (2025).

Na Figura 49, observa-se que o painel do *rack* do módulo de potência registrou uma demanda de potência ativa de 11 kW. Quando comparados aos valores medidos pelo analisador de energia, verificou-se uma discrepância em torno de 2 kW, correspondente a uma diferença percentual próxima de 16%.

Figura 49. Registro fotográfico do painel de comando elétrico do rack no DC.

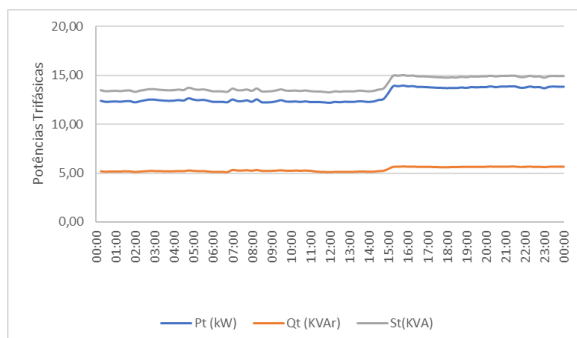


Fonte: Elaboração própria, imagem do painel do módulo de potência do DC (2025).

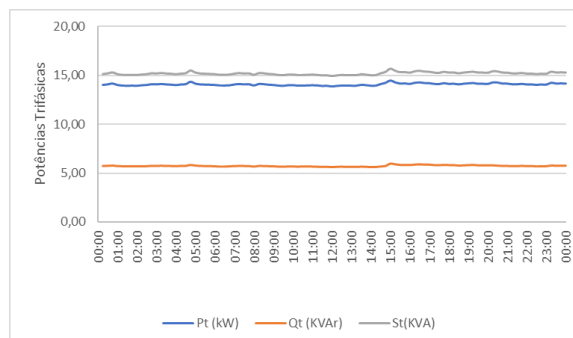
A partir do quinto dia de monitoramento, verificou-se um aumento na demanda de potência registrada pelo analisador de qualidade de energia no DC. Essa alteração ocorreu em 08/09/2025, às 15h, conforme apresentado no gráfico (a) da Figura 50. O acréscimo, que ultrapassou ligeiramente 14 kW, deve-se à inserção de novos equipamentos para atender às atividades demandadas no DC.

No gráfico (b) da Figura 50, observa-se a manutenção dos valores registrados nos dias 09/09/2025 e 10/09/2025, cujos comportamentos permaneceram semelhantes. Após a adição de novos equipamentos, a potência ativa demandada estabilizou-se em uma média de 14,21 kW de consumo diário no DC.

Figura 50. Resultado da medição da potência ativa (kW) realizada pelo FLUKE 434 Série II – *Energy Analyzer* do DC.



(a) Potência demandada dos equipamentos no DC no dia 8/09/2025.



(b) Potência demandada dos equipamentos no DC nos dias 9 e 10/09/2025.

Fonte: Elaboração do autor, registros do FLUKE (2025).

Nos registros obtidos durante a instalação do analisador de energia no quadro de comando do sistema de refrigeração do DC foi medida uma corrente média de linha de 18 A e um fator de potência de 0,93. Com base nesses parâmetros elétricos, determinou-se que a potência ativa demandada para a operação do sistema de climatização foi de 6,38 kW, valor correspondente ao consumo observado durante o período de medição.

A potência média demandada de 6,38 kW representa aproximadamente 18,13% da capacidade nominal do sistema de climatização, dimensionado para 10 TR (equivalente a cerca de 35,17 kW). Esse resultado evidencia um superdimensionamento significativo do sistema de refrigeração do DC, uma vez que a carga térmica medida corresponde a aproximadamente um quinto da capacidade instalada. Assim, essa análise reforça a evidência de superdimensionado significativo do sistema de climatização do DC, já que a carga medida corresponde a apenas cerca de 1/5 da capacidade instalada.

Adicionalmente, a partir das medições realizadas pelo analisador de energia, foi possível estabelecer uma relação quantitativa entre o consumo do sistema de climatização e a demanda dos equipamentos de TI. A análise demonstrou que os equipamentos de TI representam cerca de 44% da demanda total do ambiente, indicando que, no conjunto formado pelo sistema de ar-condicionado e pelos servidores, estes últimos contribuem com a maior parcela do consumo energético do DC.

Adicionalmente, utilizou-se como referência a base de dados tarifários disponibilizada pela ANEEL, adotando-se o grupo tarifário A4 – Horário Verde (alta tensão) para os cálculos de consumo e demanda nos períodos de ponta e fora de ponta. Para melhor organização, foi incluída na terceira coluna da Tabela 31 a discriminação do custo por kW e/ou kWh, facilitando a análise e a distribuição dos respectivos custos em reais (ANEEL, 2025).

Tabela 31. Resumo geral do consumo do DC, com base nos dados coletados pelo analisador de energia FLUKE 434 Série II – *Energy Analyzer*, adotando como referência o Horário Verde de alta tensão do grupo tarifário A4 (ANEEL).

(a) Demanda e consumo de energia dos equipamentos de TI do DC.			
Resumo Geral	Potência	Custo (R\$/kW)	Custo em reais
Demanda Fora de Ponta	14,49 kW	\$44,31	\$642,05
Consumo Fora de Ponta	8413,36 kWh	\$0,51	\$4290,81
Consumo na Ponta	879,08 kWh	\$2,88	\$2,531,75
Tarifa de energia elétrica total para funcionamento dos equipamentos do DC (mensal)			\$7464,61
(b) Demanda e consumo de energia do sistema de refrigeração do DC.			
Resumo Geral	Potência	Custo (R\$/kW)	Custo em reais
Demanda Fora de Ponta	6,38 kW	\$44,31	\$282,70
Consumo Fora de Ponta	4172,5 kWh	\$0,51	\$2127,97
Consumo na Ponta	421,08 kWh	\$2,88	\$1212,71
Tarifa de energia elétrica total para funcionamento do ar condicionado do DC (mensal)			\$3623,38
(c) Demanda e consumo de energia total do somatório dos equipamentos de TI + sistema de refrigeração do DC			
Total da tarifa de energia elétrica dos equipamentos do DC (mensal)			\$7464,61
Total da tarifa de energia elétrica do ar condicionado do DC (mensal)			\$3623,38

Total da tarifa de energia elétrica do ambiente DC UFMS (mensal)	\$11087,99
---	-------------------

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Considerando a potência total demandada para a operação do DC da UFMS, é destaca-se a importância do PUE, pois é um indicador de eficiência energética de *Data Centers* criado pelo consórcio TGG (Shao *et al.*, 2022).

$$PUE = \frac{\text{Energia total do DC}}{\text{Energia de TI}}$$

$$PUE = \frac{20,87}{14,47} = 1,44$$

A Tabela 32 apresenta a classificação da eficiência energética do DC da UFMS com base nos indicadores PUE e DCiE.

Tabela 32. Classificação da eficiência energética de Data Centers fundamentada nos indicadores PUE e DCiE.

PUE	Nível de Eficiência	DCiE
3,0	Muito ineficiente	33%
2,5	Ineficiente	40%
2,0	Médio	50%
1,5	Eficiente	67%
1,2	Muito Eficiente	83%

Fonte: Adaptado de Shao *et al.* (2022).

Análise

Durante a análise do sistema elétrico do DC, observou-se a presença de um quadro de distribuição exclusivo, devidamente aterrado e com as fases balanceadas, destinado especificamente ao atendimento do DC da UFMS. O quadro apresenta identificação clara dos circuitos e disjuntores dimensionados conforme as cargas

atendidas, em conformidade com as recomendações da norma ANSI/TIA-942-B (2017), que estabelece critérios para segurança, confiabilidade e organização dos sistemas elétricos em ambientes de missão crítica.

Os dados obtidos por meio do analisador de energia FLUKE 434 Série II – Energy Analyzer evidenciaram equilíbrio entre as tensões e as fases, apresentando baixas variações ao longo do período monitorado. As pequenas oscilações observadas ocorreram durante o acionamento do gerador e em raros momentos de instabilidade da rede elétrica, porém não comprometeram o fornecimento de energia nem a demanda requerida para o funcionamento contínuo do DC.

Com base nos resultados, verificou-se que o comportamento energético do sistema se manteve em regime permanente e estabilizado, demonstrando confiabilidade operacional. Ressalta-se que o sistema elétrico permaneceu estável ao longo de todo o período analisado, atendendo às especificações da norma ANSI/TIA-942-B, que visa garantir a continuidade do fornecimento de energia, mesmo diante de variações transitórias de tensão e corrente durante o chaveamento de cargas elétricas.

Os valores na Tabela 31 de tarifa mensal de energia elétrica evidencia o comportamento do consumo no DC da UFMS, onde observa-se que o custo associado ao funcionamento dos equipamentos de TI totaliza R\$ 7.464,61, enquanto o custo destinado ao sistema de refrigeração é de R\$3.623,38, resultando em um custo energético total de R\$ 11.087,99 para a operação do ambiente.

Verifica-se que o sistema de refrigeração está correspondendo a aproximadamente 32,7% do total mensal, ou seja, aproximadamente 1/3 do consumo total do DC é destinado ao sistema de refrigeração. O sistema de refrigeração representa parcela relevante do consumo energético, demonstrando o impacto da remoção de carga térmica gerada pelos equipamentos de TI.

A maior parcela do consumo energético está associada aos equipamentos de TI, responsáveis por aproximadamente 67,3% da demanda total, evidenciando que o processamento computacional constitui o principal fator de consumo do ambiente. No entanto, observa-se uma relação direta entre o consumo dos equipamentos de TI e a demanda energética do sistema de refrigeração, uma vez que o calor dissipado pelos servidores impacta diretamente na necessidade de resfriamento do ambiente.

O DC analisado apresentou PUE de 1,44, valor que o enquadra na faixa considerada eficiente segundo a classificação adotada neste estudo. O resultado evidencia desempenho energético satisfatório, além de indicar potencial adicional de otimização, especialmente por meio de ajustes operacionais no sistema de climatização.

Já o índice DCiE calculado foi de 67%, demonstrando que a maior parte da energia consumida no ambiente é efetivamente destinada aos equipamentos de TI. Esse percentual confirma o bom desempenho energético do DC, uma vez que parcela significativa da energia total é convertida em processamento computacional, enquanto a fração remanescente é direcionada à infraestrutura de suporte.

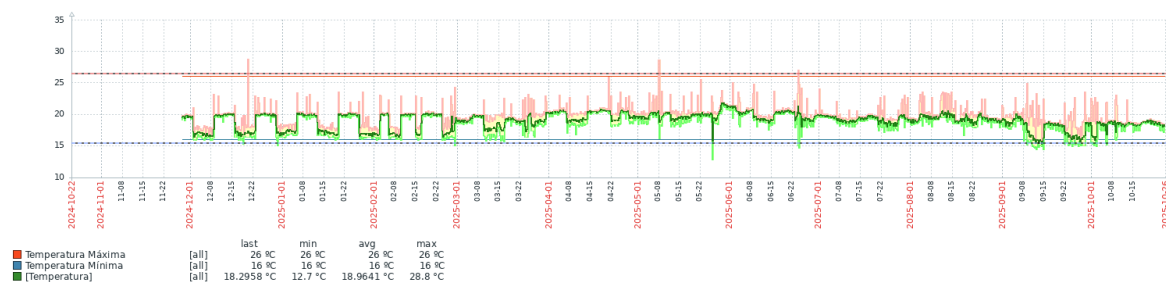
5.3.2 Análise térmica dos sensores APC

Os resultados dos registros térmicos realizados pelos sensores NETBOTZ, instalados internamente na porta dos *racks*, mostram o comportamento térmico do ambiente do DC no período do dia 22 de outubro de 2024 a 26 de outubro de 2025. As capturas realizadas por esses sensores são relacionadas à temperatura, umidade relativa do ar e ponto de orvalho, destacando seus comportamentos nos *racks* de telecomunicações, servidores e do climatizador.

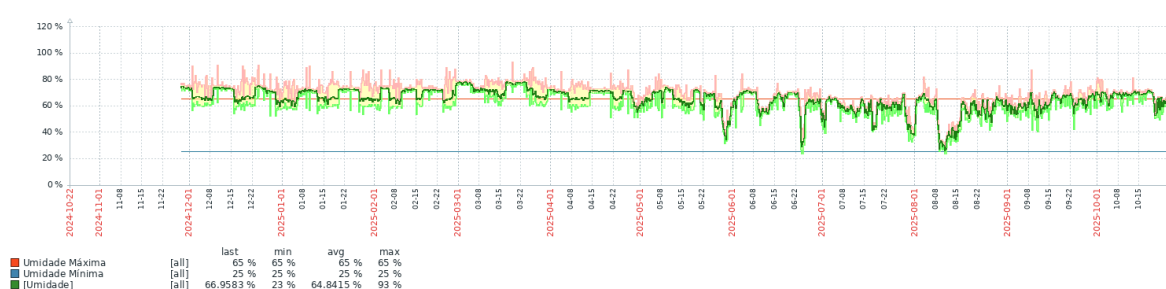
Nos registros colhidos no período de 22 de outubro, observou-se que não há informações térmicas, e esse motivo tem relação direta com o tempo de frequência do intervalo de coleta que o ZABBIX salva essas informações. Assim, o intervalo de registro dos sensores do sistema APC NETBOTZ, quando monitorado pelo ZABBIX via SNMP, são salvos apenas por 12 meses. Já a frequência de coleta ou atualização que o ZABBIX realiza essas informações no equipamento APC NETBOTZ são a cada 5 minutos.

Na Figura 51, observou-se que a temperatura do rack de telecomunicações manteve uma temperatura média próxima de 19 °C, e durante o intervalo de tempo de um ano ultrapassou somente duas vezes a temperatura de 28 °C.

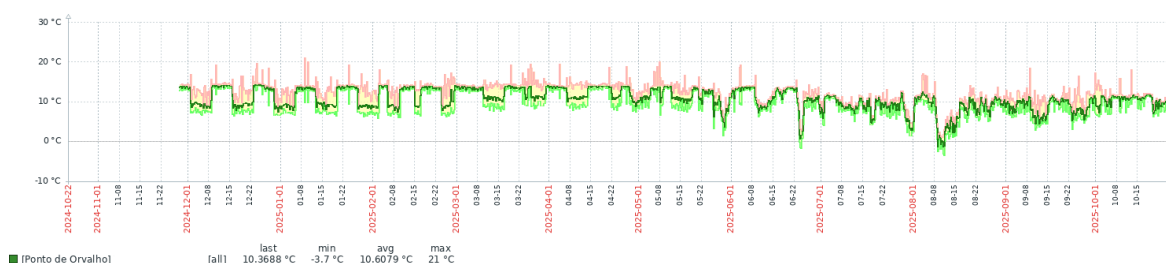
Figura 51. Resultado da coleta de dados da temperatura, umidade e ponto de orvalho do rack de telecomunicações pelo sensor APC NETBOTZ no período de 12 meses.



(a) Registro de temperatura do rack 5 de telecomunicações, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.



(b) Registro da umidade relativa do ar do rack 5 de telecomunicações, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.



(c) Registro do ponto de orvalho do rack 5 de telecomunicações, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.

Fonte: Adaptado com base em dados coletados pelo Zabbix e APC NETBOTZ (2025).

Análise do Comportamento Térmico do Rack de Telecomunicações - R5

De acordo com a ASHRAE TC 9.9, a faixa recomendada de operação para equipamentos de TI classificados como Classe A1 situa-se entre 18 °C e 27 °C, enquanto a faixa permitida de operação estendida vai de 15 °C a 32 °C.

Conforme apresentado na Figura 51(a), observa-se que, ao longo de todo o período analisado, poucas situações ultrapassaram os 30 °C, mantendo-se a

temperatura média próxima de 19 °C. Dessa forma, o ambiente permaneceu dentro dos limites recomendados tanto pela ASHRAE TC 9.9 quanto pela TIA-942-B, garantindo condições térmicas adequadas para os equipamentos de TI instalados no DC.

Em relação à umidade relativa do ar, observou-se uma média de 65%, valor que também atende às recomendações das normas ASHRAE TC 9.9 e TIA-942-B, que estabelecem limites entre 8% e 80% para ambientes de *data centers* da Classe A1.

Quanto ao ponto de orvalho, os valores registrados permaneceram dentro da faixa recomendada pelas mesmas normas, com média aproximada de 10 °C, indicando condições estáveis de temperatura e umidade no ambiente.

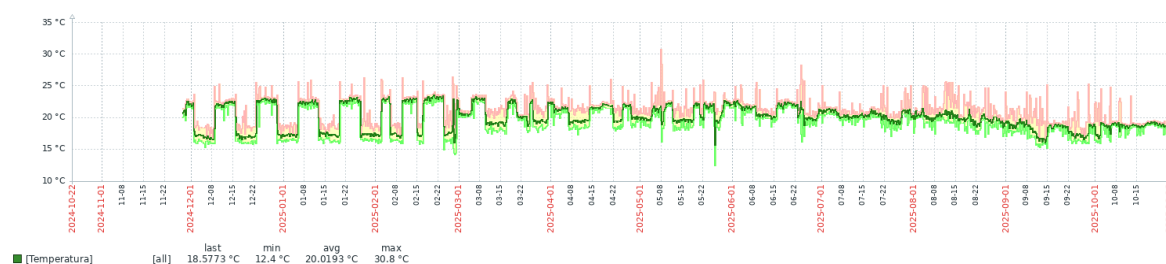
A Figura 52 apresenta as medições de temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho obtidas no *rack* 2 (servidor), registradas pelo sensor APC NETBOTZ e monitoradas pelo sistema ZABBIX.

Na Figura 52(a), a temperatura média foi de 20 °C, com mínimos de 12,4 °C e máximos de 30,8 °C, evidenciando uma variação moderada ao longo do período, com picos de aquecimento pontuais e tendência de estabilidade entre 18 °C e 22 °C durante a maior parte do tempo.

A Figura 52(b) mostra a variação da umidade relativa do ar no mesmo *rack*, registrada pelo sensor NETBOTZ e acompanhada via protocolo SNMP pelo ZABBIX, no intervalo de 22 de outubro de 2024 a 26 de outubro de 2025.

Por fim, a Figura 52(c) apresenta os valores de ponto de orvalho, que variaram entre -2,2 °C e 21,5 °C, mantendo-se predominantemente dentro da faixa ideal definida pelas normas ASHRAE TC 9.9 e TIA-942-B para ambientes da Classe A1.

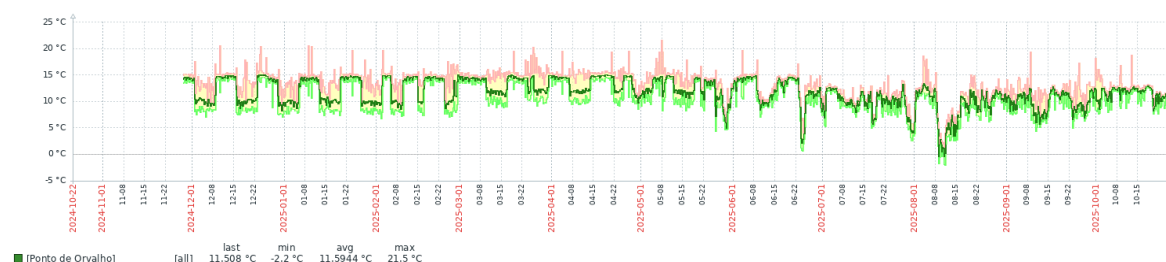
Figura 52. Variação da temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho registradas pelo sensor NETBOTZ no rack 2 (servidor), monitorada via Zabbix (out. 2024 - out. 2025).



(a) Registro da temperatura do rack 2 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do data center.



(b) Registro da umidade relativa do ar do rack 2 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do data center.



(c) Registro do ponto de orvalho do rack 2 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do data center.

Fonte: Adaptado com base em dados coletados pelo Zabbix e APC NETBOTZ (2025).

Análise do Comportamento Térmico do Rack de Servidor - R2

Os valores obtidos na captura dos dados de temperatura mantiveram-se, de modo geral, dentro da faixa recomendada pela norma ASHRAE TC 9.9. Foram observados, entretanto, picos acima de 30 °C em determinados períodos, o que pode indicar sobrecarga temporária do sistema de refrigeração ou ineficiência momentânea na distribuição do ar frio, especialmente durante momentos de maior demanda térmica ou ocorrência de falhas operacionais.

Ainda assim, considerando a classificação térmica ASHRAE Classe A1, na qual a temperatura máxima aceitável é de 32 °C, constata-se que os registros de temperatura do servidor permaneceram dentro dos limites normais de operação.

Com relação à umidade relativa do ar, observou-se estabilidade predominante ao longo do período, com média de aproximadamente 59% e poucos picos máximos de até 82%. Esses valores permanecem dentro da faixa recomendada para ambientes classificados como Classe A1, conforme a ASHRAE TC 9.9.

O histórico de umidade do servidor ao longo dos últimos 12 meses também evidencia períodos de interrupção na coleta de dados, especialmente entre o início e meados de dezembro de 2024, identificados por uma lacuna contínua (valor zero). Essa descontinuidade provavelmente se deve a falhas de comunicação via protocolo SNMP ou a uma desconexão temporária do dispositivo NETBOTZ. De modo geral, o ambiente manteve condições adequadas de umidade para uma operação segura dos equipamentos de TI, conforme as recomendações da ASHRAE TC 9.9.

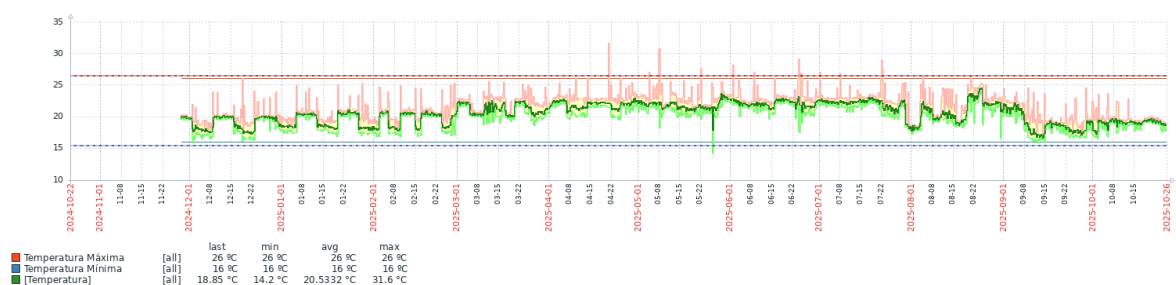
Quanto ao ponto de orvalho, observou-se que, em alguns dias do ano, os valores atingiram aproximadamente 20 °C, chegando ao máximo de 21,5 °C, situando-se, portanto, ligeiramente acima do limite recomendado pela ASHRAE TC 9.9. Contudo, a média anual das medições permaneceu dentro da faixa aceitável, evidenciando que essas variações foram pontuais e não representam a condição térmica predominante no DC.

Essa análise foi fundamental, pois demonstra que eventuais desvios pontuais de temperatura ou umidade não refletem o comportamento real e contínuo do ponto de orvalho do ambiente do DC.

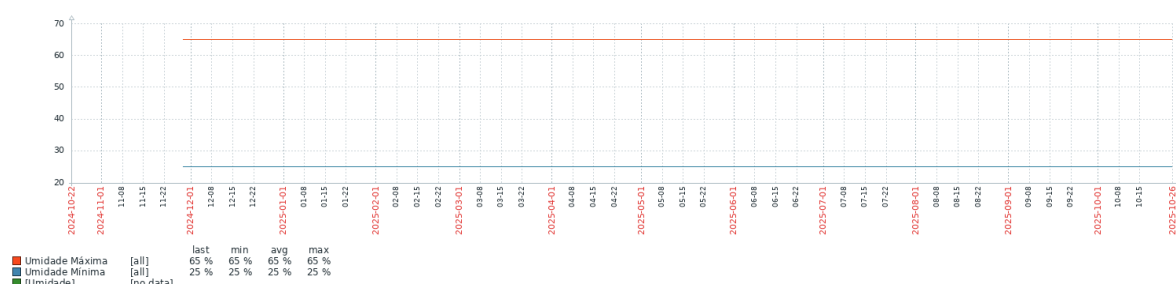
A Figura 53(a) apresenta a variação da temperatura no servidor Nutanix, localizado no corredor frio direito (rack 4), que registrou temperatura máxima de 31,6 °C. Já os registros de umidade relativa, conforme ilustrado na Figura 53(b), foram mais limitados, apresentando menor densidade de dados ao longo do período.

Por fim, o gráfico da Figura 53(c) exhibe as medições do ponto de orvalho obtidas pelo sensor NETBOTZ instalado no servidor principal do DC, indicando que, na maior parte do tempo, o ambiente manteve boas condições de equilíbrio entre temperatura e umidade, conforme os critérios da ASHRAE TC 9.9 e TIA-942-B.

Figura 53. Variação da temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho registradas pelo sensor NETBOTZ no rack 4 (servidor), monitorada via Zabbix (out. 2024 - out. 2025).



(a) Registro da temperatura do rack 4 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.



(b) Registro da umidade relativa do ar do rack 4 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.



(c) Registro do ponto de orvalho do rack 4 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.

Fonte: Adaptado com base em dados coletados pelo Zabbix e APC NETBOTZ (2025).

Análise do Comportamento Térmico do Rack de Servidor - R4

Os gráficos (a), (b) e (c) da Figura 53, referentes aos registros do servidor Nutanix, evidenciam um bom equilíbrio térmico entre os parâmetros de temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho. Todos os valores analisados mantiveram-se dentro dos limites recomendados pelas normas ASHRAE TC 9.9 (2017) e TIA-942-B, sendo esta última diretamente referenciada pela ASHRAE quanto às condições térmicas e psicrométricas adequadas para ambientes de TI.

No gráfico (a), referente à temperatura do rack 4, observou-se que, em determinados momentos, os valores atingiram 31,6 °C, ficando muito próximos do limite superior da Classe A1. No entanto, a temperatura média registrada foi de 20,4 °C, o que demonstra controle térmico satisfatório e condições estáveis de operação.

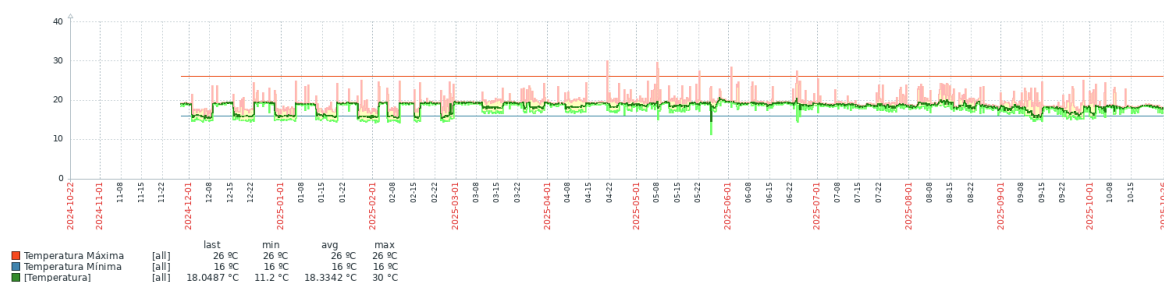
A ocorrência pontual de picos máximos entre março e setembro de 2025 não indica falhas crônicas de dimensionamento ou capacidade insuficiente do sistema de refrigeração. Esses eventos são mais provavelmente decorrentes de situações operacionais atípicas, como adição temporária de equipamentos, abertura de portas do corredor quente ou acessos para manutenção, que podem momentaneamente alterar a dinâmica do ar no ambiente.

A Figura 54 apresenta as medições de temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho do rack 1 (servidor do DC). A Figura 54(a) mostra uma temperatura média de 18,3 °C, valor que reflete o posicionamento físico desse rack, localizado próximo à porta de entrada do DC, e que se manteve praticamente igual à temperatura configurada no termostato eletrônico do sistema de refrigeração Carrier EcoSplit.

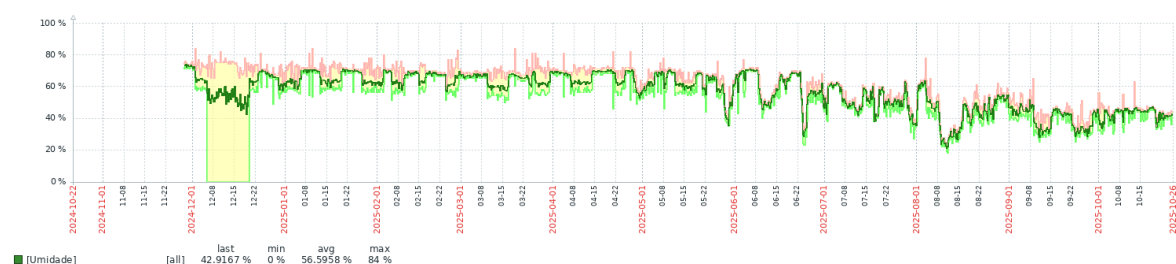
Na Figura 54(b), a umidade relativa variou entre 0% (mínimo) e 85% (máximo), apresentando constância entre 50% e 60% no período de janeiro a maio de 2025, e reduções abaixo de 60% nos meses de julho a outubro de 2025.

Por fim, a Figura 54(c), que apresenta o ponto de orvalho, mostrou valores significativos ao longo do período, com máxima de 21,3 °C e mínima de -2,9 °C, indicando momentos pontuais de desvio das condições ideais. Esses extremos podem estar associados a oscilações momentâneas na temperatura ou na umidade relativa, reforçando a importância do monitoramento contínuo para garantir a estabilidade psicrométrica do ambiente.

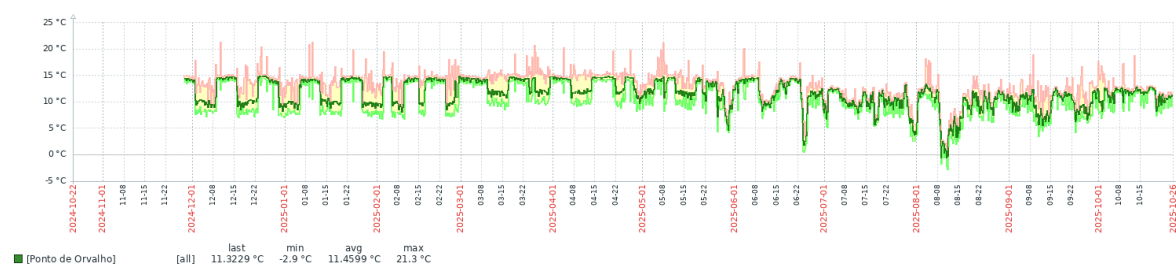
Figura 54. Variação da temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho registradas pelo sensor NETBOTZ no rack 1 (servidor), monitorada via Zabbix (out. 2024 - out. 2025).



(a) Registro da temperatura do rack 1 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.



(b) Registro da umidade relativa do ar do rack 1 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.



(c) Registro do ponto de orvalho do rack 1 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.

Fonte: Adaptado com base em dados coletados pelo Zabbix e APC NETBOTZ (2025).

Análise do Comportamento Térmico do Rack de Servidor - R1

A análise da temperatura registrou mínima de 11,2 °C, valor inferior ao limite de alerta mínimo configurado no ZABBIX para o sensor NETBOTZ, e abaixo do limite recomendado pela ASHRAE, que é de 18 °C para a classe A1. Temperaturas tão baixas podem indicar problemas de controle do sistema de refrigeração, excesso de resfriamento e risco de condensação, caso o ponto de orvalho esteja elevado.

De modo geral, o ambiente opera dentro da faixa recomendada pela ASHRAE, porém com ocorrência de picos de sobre-resfriamento e aquecimento pontual. A temperatura média permanece próxima ao limite inferior da faixa recomendada, o que

é positivo do ponto de vista de proteção térmica dos equipamentos, mas pode resultar em maior consumo energético pelo sistema de refrigeração.

Os valores mínimos de 11,2 °C indicam episódios de resfriamento excessivo, possivelmente relacionados à má distribuição do ar frio ou a ajustes inadequados nos ventiladores. Já a temperatura máxima de 30 °C, ainda dentro do limite operacional de 32 °C estabelecido para a classe A1 da ASHRAE, sugere picos térmicos ocasionais, que podem estar associados a variações de carga de TI, falhas momentâneas na refrigeração ou obstruções no fluxo de ar.

O ponto de orvalho médio de 11,5 °C indica que o ambiente opera, na maior parte do tempo, dentro da faixa ideal definida pela ASHRAE, refletindo bom controle psicrométrico e eficiência satisfatória do sistema de refrigeração. Contudo, o valor mínimo de -2,9 °C revela momentos de ar excessivamente seco, possivelmente durante períodos de menor carga térmica ou alta taxa de renovação de ar, o que aumenta o risco de descarga eletrostática (ESD), fenômeno capaz de causar danos a componentes eletrônicos sensíveis.

Por outro lado, a máxima de 21,3 °C no ponto de orvalho sugere elevações pontuais na umidade relativa, provavelmente associadas a flutuações de temperatura ou instabilidades no controle de umidade. Esse cenário eleva o risco de condensação em superfícies frias, cabos e conectores. Apesar disso, a estabilidade geral observada indica que o sistema mantém condições adequadas para a operação contínua dos servidores, conforme as recomendações da ASHRAE.

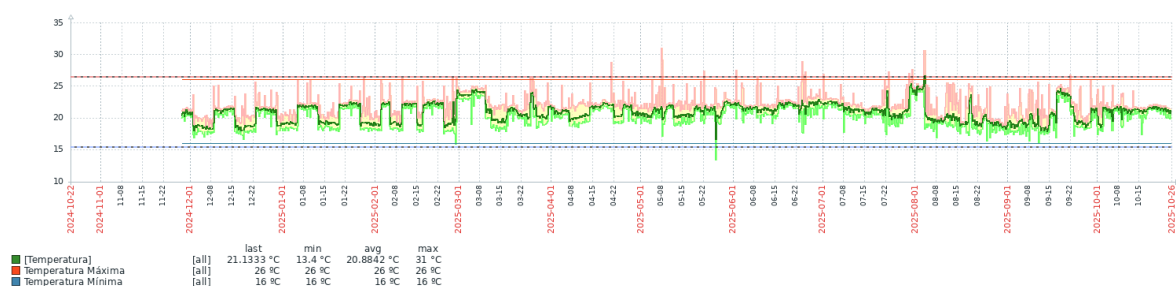
De forma geral, o ambiente apresenta bom desempenho climático, mantendo temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho dentro dos limites recomendados, embora os valores extremos negativos e acima de 20 °C no ponto de orvalho indiquem a necessidade de aperfeiçoamento no controle da umidade.

Recomenda-se, portanto, ajustar os parâmetros de controle de temperatura e umidade, buscando manter o ponto de orvalho entre 5,5 °C e 15 °C, além de realizar a calibração periódica dos sensores NETBOTZ para garantir confiabilidade das medições. É igualmente recomendável configurar alarmes automáticos para desvios prolongados do ponto de orvalho.

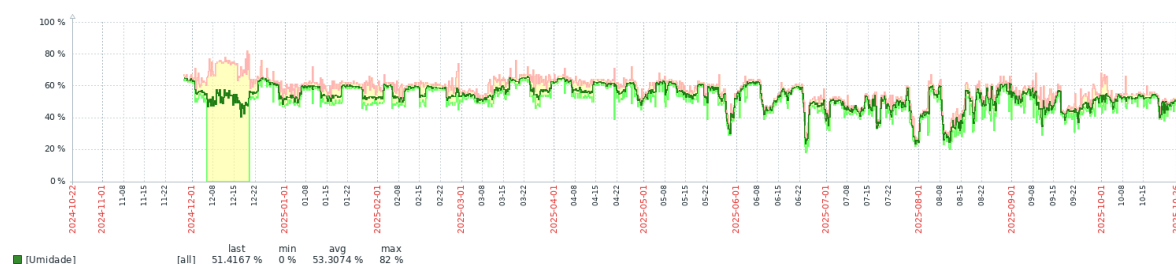
Os resultados apresentados na Figura 55(a) mostram temperatura mínima de 13,4 °C e máxima de 31 °C. Na Figura 55(b), a umidade relativa variou entre 0%

(mínimo) e 82% (máximo), apresentando acentuadas flutuações abaixo e em torno de 40% no período de junho a setembro de 2025. Já a Figura 55(c) evidencia valores mínimos de ponto de orvalho de $-3,3^{\circ}\text{C}$, indicando condições de ar excessivamente seco e aumento do risco de descarga eletrostática (ESD), com potencial de dano aos componentes dos servidores.

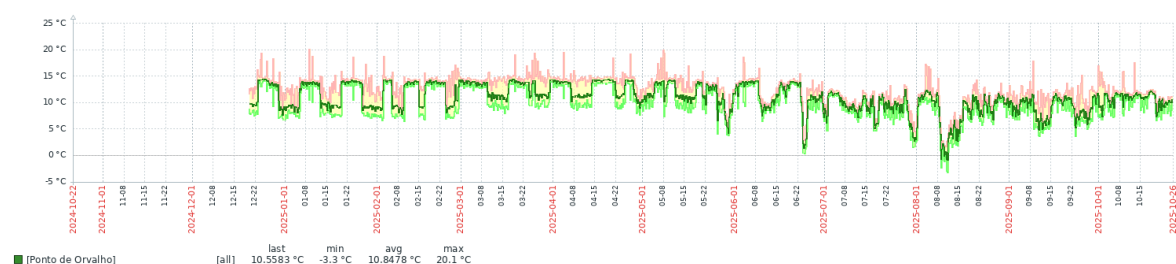
Figura 55. Variação da temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho registradas pelo sensor NETBOTZ no rack 3 (servidor), monitorada via Zabbix (out. 2024 - out. 2025).



(a) Registro da temperatura do rack 3 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.



(b) Registro da umidade relativa do ar do rack 3 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.



(c) Registro do ponto de orvalho do rack 3 de servidor, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.

Fonte: Adaptado com base em dados coletados pelo Zabbix e APC NETBOTZ (2025).

Análise do Comportamento Térmico do Rack de Servidor - R3

A temperatura média do rack 3 manteve-se dentro da faixa ideal de operação recomendada pela ASHRAE, indicando que, na maior parte do tempo, o sistema de refrigeração atuou de forma eficaz no controle térmico. Embora tenham sido observados dois picos de temperatura em 31 °C, esses episódios não configuram condição crítica, pois foram ocorrências isoladas ao longo de um ano de monitoramento, possivelmente associadas a manobras internas esporádicas ou variações momentâneas de carga térmica, sem risco significativo ao sistema.

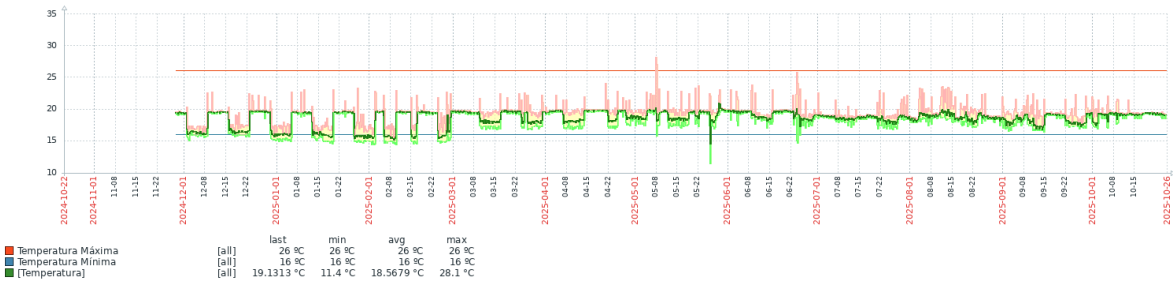
A temperatura mínima registrada de 13,4 °C, apesar de abaixo do limite recomendado pela ASHRAE (15 °C), não caracteriza falha operacional nem controle excessivo de resfriamento, uma vez que os registros indicam estabilidade térmica predominante ao longo do período analisado.

A umidade relativa média permaneceu em 53,7%, valor compatível com a faixa recomendada pela ASHRAE (40% a 60%) e enquadrada na classe A1 na maior parte dos dias do ano. Entretanto, foram identificados picos pontuais acima de 82%, que não comprometem significativamente o ambiente, por se tratar de eventos isolados. Por outro lado, o registro de 0% de umidade entre 8 e 22 de dezembro representa um potencial Risco de Descarga Eletrostática (ESD), devido à duração de aproximadamente 14 dias. Contudo, tal ocorrência também pode ter sido resultado de falha de leitura ou comunicação do sensor NETBOTZ, hipótese reforçada pela ausência de outras anomalias correlatas no período.

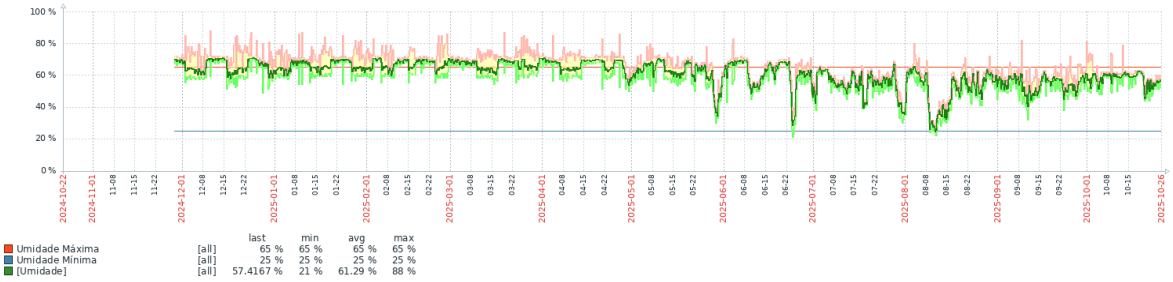
Em relação ao ponto de orvalho, até 22 de maio de 2025 os valores permaneceram dentro dos limites recomendados pela ASHRAE. Após essa data, observaram-se múltiplos registros abaixo de 5,5 °C, limite mínimo estabelecido pela norma, o que aumenta o risco de ESD em razão do ar excessivamente seco. Esse risco se torna mais acentuado em situações extremas, como o registro de -3,3 °C, que evidencia nível de umidade muito baixo no ambiente.

A Figura 56 apresenta a variação térmica registrada pelo sistema de refrigeração do DC, por meio dos gráficos de monitoramento do sensor NETBOTZ. Os itens (a), (b) e (c) correspondem, respectivamente, às medições de temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho, essenciais para a avaliação integrada das condições psicrométricas do ambiente monitorado.

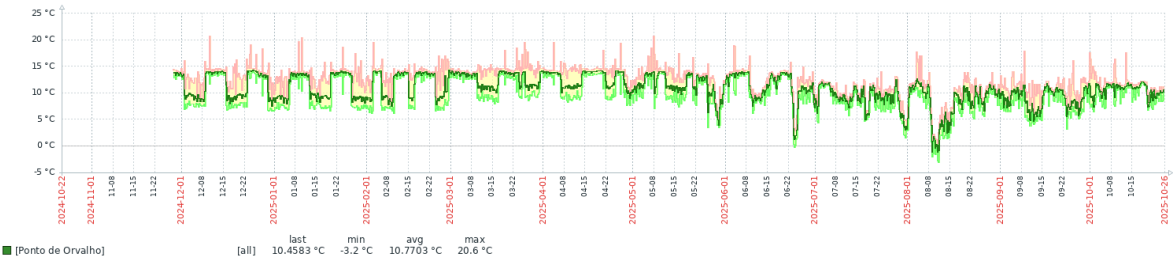
Figura 56. Variação da temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho registradas pelo sensor NETBOTZ do Sistema de refrigeração do DC, monitorado via Zabbix (out. 2024 - out. 2025).



(a) Registro da temperatura do Sistema de Refrigeração do DC, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.



(b) Registro da umidade relativa do ar do Sistema de Refrigeração do DC, obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.



(c) Registro do ponto de orvalho do Sistema de Refrigeração do DC obtido pelo sensor NETBOTZ localizado no corredor frio do *data center*.

Fonte: Adaptado com base em dados coletados pelo Zabbix e APC NETBOTZ (2025).

Análise do Comportamento Térmico do Sistema de Refrigeração do DC

Os resultados de temperatura do sistema de refrigeração permitem três análises principais: temperatura média, mínima e máxima. A temperatura média de 18,5 °C manteve-se dentro da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9, indicando que o sistema operou, na maior parte do tempo, em condições térmicas adequadas.

Contudo, o valor está próximo ao limite inferior da faixa recomendada, o que pode sugerir superdimensionamento ou excesso de resfriamento do sistema de refrigeração do DC.

A temperatura mínima registrada de 11,4 °C, observada ao longo do período de um ano, está abaixo do limite recomendado de 15 °C pela ASHRAE TC 9.9, com recorrência entre novembro/2024 e março/2025. Esses episódios de sub-resfriamento podem favorecer a condensação sobre componentes eletrônicos, aumentando o risco de falhas elétricas e danos por umidade.

Por outro lado, a temperatura máxima de 28,1 °C, ainda que ligeiramente superior ao limite recomendado (27 °C), atende à faixa operacional da classe A1 (até 32 °C). Esse comportamento sugere momentos pontuais de sobreaquecimento, possivelmente relacionados aos ciclos de operação (liga/desliga) do sistema de ar-condicionado, trocas manuais de unidades redundantes ou flutuações térmicas internas. Além disso, o padrão cíclico e instável observado nos gráficos indica variações térmicas indesejadas em ambientes de DC, pois podem induzir fadiga térmica nos componentes.

Os valores médios de umidade relativa (61,67%) mostram que o ambiente se mantém ligeiramente úmido, o que não representa condição crítica, mas reduz a margem de segurança em caso de oscilações térmicas. Ainda assim, o valor está dentro da faixa de operação da classe A1 e ligeiramente acima do limite recomendado (60%) pela ASHRAE. Já o pico máximo de 88% ultrapassa os limites da classe A1, caracterizando não conformidade com a norma. Esses eventos isolados indicam falhas momentâneas no controle de umidade, associadas a excesso de ar úmido no ambiente.

Quanto ao ponto de orvalho, a temperatura média de 10,8 °C está bem-posicionada dentro da faixa recomendada (5,5 °C a 15 °C) pela ASHRAE TC 9.9, refletindo equilíbrio psicrométrico. No entanto, o valor máximo de 20,6 °C ultrapassa o limite aceitável para a classe A1, sugerindo momentos de elevada umidade relativa. Por outro lado, o registro mínimo de -3,2 °C representa ar excessivamente seco, o que aumenta o Risco de Descarga Eletrostática (ESD) e pode indicar falha pontual de calibração do sensor.

Dessa forma, recomenda-se ajustar o *setpoint* do sistema de refrigeração para a faixa de 20 °C a 24 °C, visando evitar resfriamento excessivo, e calibrar os sensores de temperatura, umidade e ponto de orvalho, assegurando a precisão das medições e a estabilidade psicrométrica do ambiente.

5.4 Etapa 4

Durante a análise da etapa com uso da ferramenta *CoolSim* foram verificadas simulações de demandas elétricas dos *racks*, o comportamento das temperaturas e a dinâmica do fluxo do ar dentro do DC.

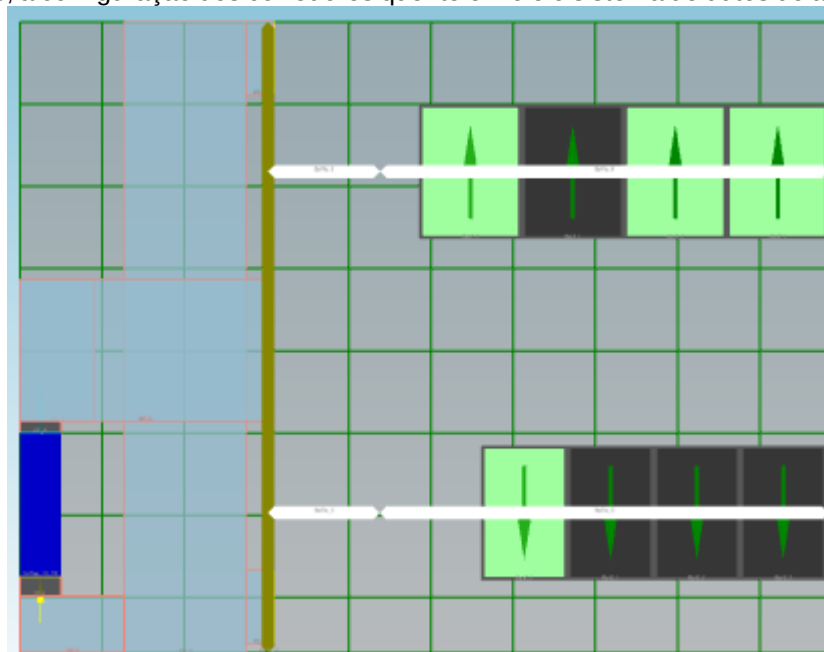
5.4.1 CFD CoolSim

Durante esta etapa, foram realizadas simulações utilizando a ferramenta *CoolSim*, com o objetivo de compreender a dinâmica térmica do DC da UFMS e, considerou-se uma demanda de 11 kW.

É importante destacar que o uso dessa ferramenta é essencial para compreender o comportamento dinâmico do fluxo de ar dentro do DC, possibilitando antecipar situações críticas e evitar gastos desnecessários ainda na fase de planejamento.

As simulações realizadas seguiram principalmente as recomendações da norma ASHRAE TC 9.9, especialmente no que se refere às faixas de temperatura adequadas ao ambiente de um DC. A modelagem desenvolvida na ferramenta consistiu na construção de uma planta baixa com vista superior, representando o *layout* do DC e seu sistema de refrigeração, conforme ilustrado na Figura 57.

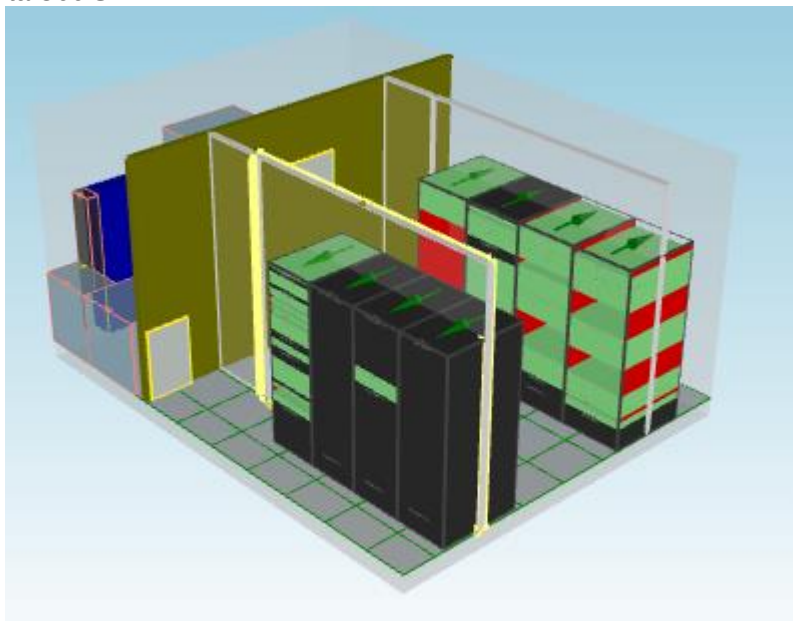
Figura 57. Visualização em vista superior (*Top View*) do ambiente do DC da UFMS, apresentando o *layout* dos racks, a configuração dos corredores quente e frio e o sistema de dutos do ar de refrigeração.



Fonte: Elaborado pelo autor com uso da ferramenta *CoolSim* (2025).

Na Figura 58 apresenta-se uma modelagem tridimensional do DC, com maior realismo e profundidade, proporcionando uma análise visual mais completa do ambiente. Nessa representação, é possível observar a separação dos corredores quente e frio por paredes de vidro, conforme verificado durante as investigações realizadas por meio do *checklist*. Além disso, foram indicados nos *racks*, por meio de setas, os sentidos do fluxo de ar, evidenciando a distribuição do ar frio em direção ao corredor quente.

Figura 58. Visualização em perspectiva 3D, na vista lateral, do ambiente do DC da UFMS, obtida por meio da ferramenta *CoolSim*.

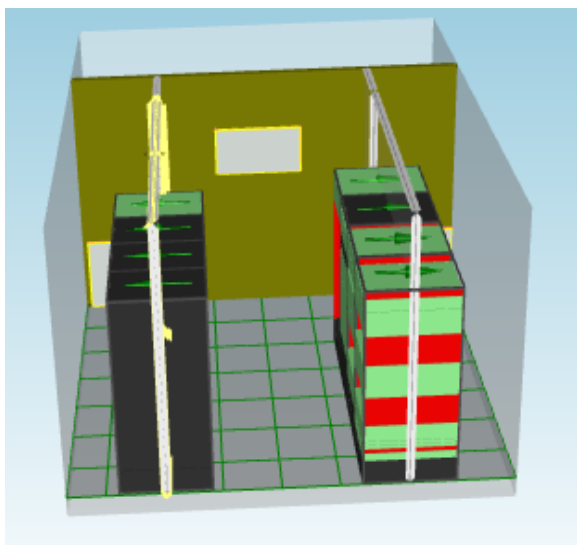


Fonte: Elaborado pelo autor com uso da ferramenta CoolSim (2025).

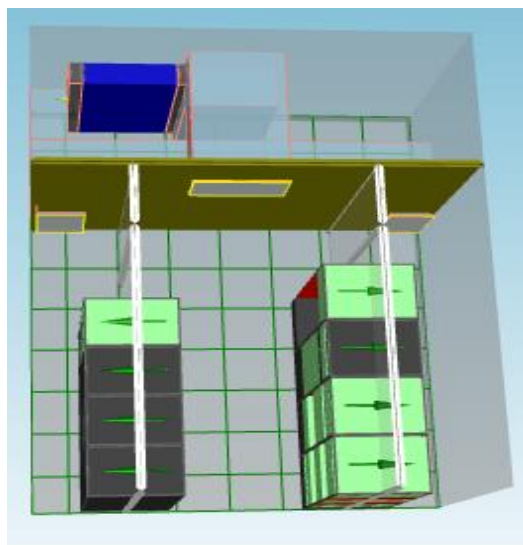
Na representação mostrada na Figura 59(a), os *racks* abertos, sem equipamentos instalados e sem tampas para evitar o retorno do ar quente ou frio, foram indicados pela cor verde. Os *racks* destacados em vermelho representam os espaços ocupados pelos equipamentos em operação, enquanto o *rack* na cor preta indica a presença de tampas cegas, utilizadas para evitar a recirculação indesejada do ar no interior do DC.

Na Figura 59(b) é apresentada uma visualização em perspectiva 3D, elaborada na ferramenta *CoolSim*, na qual são exibidas as grelhas de saída de ar localizadas em cada um dos corredores quentes, bem como a janela de insuflamento de ar voltada para o corredor frio. Nessa modelagem, observa-se também a presença dos dutos de ar e do equipamento CRAC (*Computer Room Air Conditioner*), ambos elementos essenciais para a representação fiel do projeto desenvolvido por meio da simulação com o *software* de CFD *CoolSim*.

Figura 59. Visualização em perspectiva 3D, nas vistas frontal e superior, do ambiente do DC da UFMS, obtida por meio da ferramenta *CoolSim*.



(a) Vista frontal do modelo do *Data Center* no *CoolSim*.

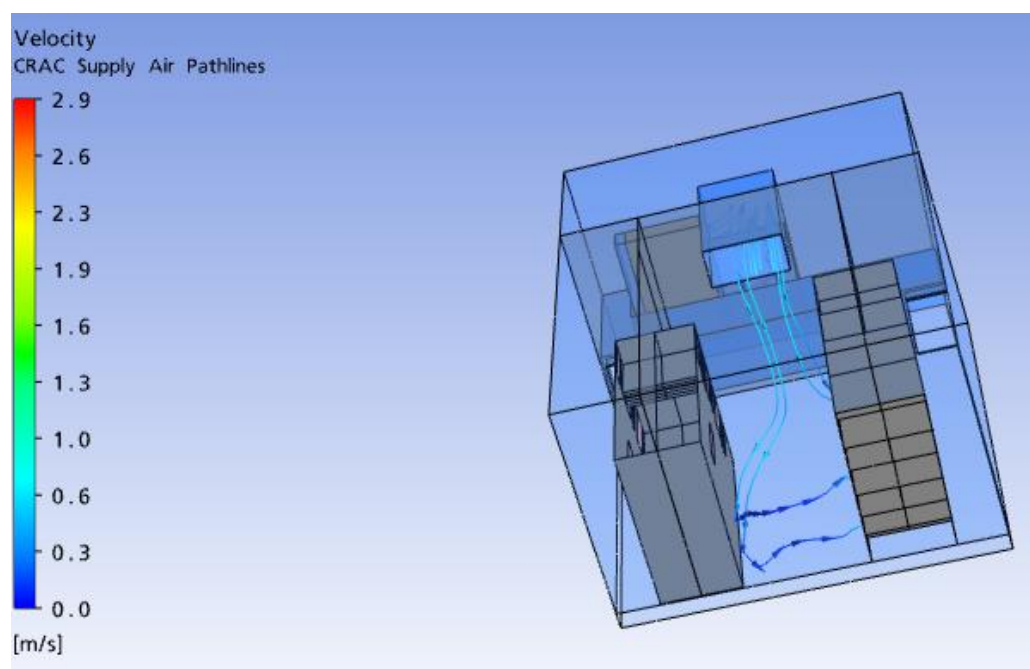


(b) Vista superior do modelo do *Data Center* no *CoolSim*.

Fonte: Elaboração do autor a partir de simulação realizada na ferramenta *CoolSim* (2025).

Na Figura 60, percebeu-se que a velocidade registrada das linhas de suprimento da CRAC ficou abaixo de 1 m/s, próxima do condicionador de ar, e abaixo de 0,3 m/s quando afastado ou próximo da porta de entrada do DC. Importante ressaltar que no confortímetro SENSU registrou 0,270 ms na variação da velocidade do ar, foi muito próximo do simulado pela ferramenta *CoolSim*. Isso demonstrou que as simulações representam processo muito semelhantes aos reais, obtidos por outros equipamentos *in loco* durante o estudo.

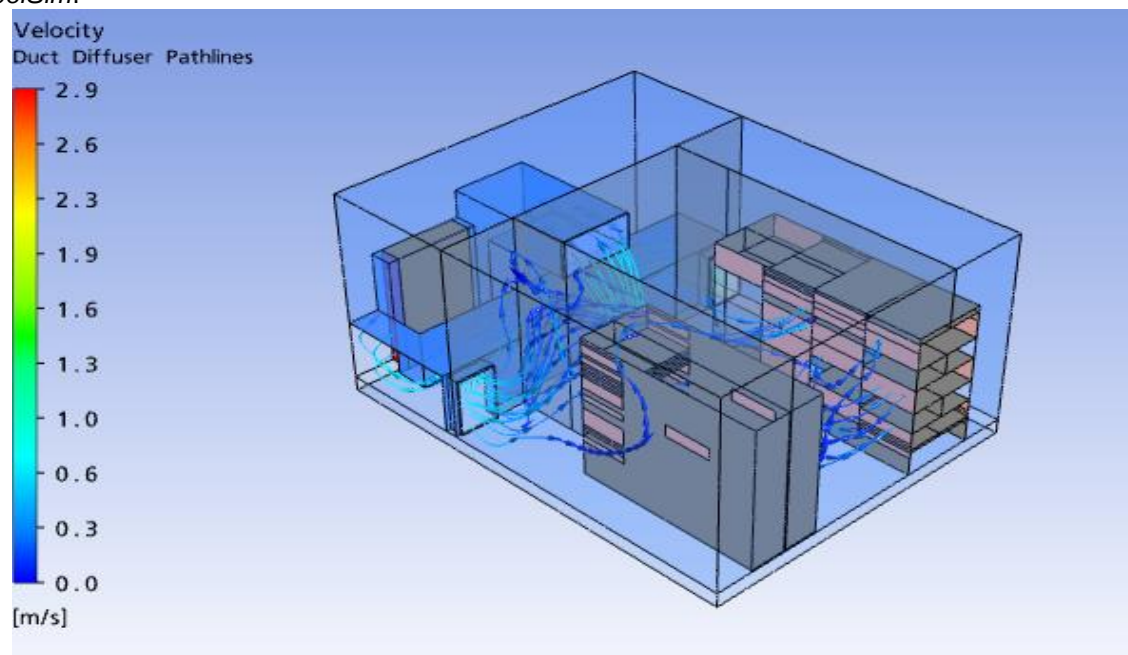
Figura 60. Representação da dinâmica das linhas de suprimento de ar no DC quando instalado uma demanda em torno de 11kW.



Fonte: Elaboração do autor a partir de simulação realizada na ferramenta *CoolSim* (2025).

Na Figura 61 foi apresentado o comportamento das linhas de ar nos corredores do DC, observadas a dinâmica do fluxo entrando nos *racks* de servidores. Percebe-se uma velocidade constante que não ultrapassa a velocidade de 0,3 m/s. No entanto, no sistema de refrigeração e nas grelhas de saída, nos corredores quentes, pode-se observar que os comportamentos dessas linhas representam velocidades em torno de 1 m/s.

Figura 61. Simulação do comportamento das linhas de ar no duto do DC realizado pela ferramenta *CoolSim*.



Fonte: Elaboração do autor a partir de simulação realizada na ferramenta *CoolSim* (2025).

Análise

A etapa de simulação computacional, realizada por meio da ferramenta de CFD *CoolSim*, não produziu resultados consistentes em relação à temperatura interna no DC. Durante a modelagem da simulação, foram observadas divergências significativas entre os valores obtidos no modelo computacional e aqueles registrados nas medições realizadas *in loco*, por meio de sensores térmicos, câmeras termográficas e analisadores ambientais. Diante dessas discrepâncias, optou-se por não considerar essa análise para a avaliação do comportamento térmico do DC.

O curto período concedido para utilização da licença do *software* de simulação, limitado a 15 dias, restringiu o processo de ajuste fino dos parâmetros de entrada, a calibração adequada do modelo e o refinamento das malhas computacionais, etapas fundamentais para assegurar maior precisão e confiabilidade dos resultados em estudos baseados em CFD.

Ainda assim, a tentativa de simulação evidenciou o potencial da aplicação de CFD em análises de eficiência energética em DC, demonstrando sua relevância como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Para investigações futuras, torna-se indispensável dispor de prazo adequado para modelagem, treinamento específico na ferramenta, definição completa dos

parâmetros de entrada e um processo rigoroso de calibração, a fim de garantir maior aderência entre os resultados simulados e as condições reais do ambiente.

Ressalta-se, contudo, que a simulação apresentou resultados satisfatórios e coerentes no que se refere ao comportamento do fluxo de ar, especialmente quanto à direção e à velocidade, aproximando-se das medições realizadas *in loco*.

5.5 ANÁLISE GERAL E DISCUSSÃO

O estudo foi dividido em etapas como estratégias no desenvolvimento da pesquisa, durante a metodologia do trabalho.

ETAPA 1

Nos resultados da primeira etapa, envolveu o levantamento das características do ambiente de estudo, através de *checklist* e levantamento da demanda de potência dos equipamentos instalados no DC. Nesse momento pode-se perceber que o ambiente utilizava os próprios *racks* como paredes para o sistema de contenção de ar, sendo completados a altura restante e as portas de acesso aos corredores quentes por paredes de vidros temperados.

O *layout* dos *racks* caracteriza-se pelos equipamentos servidores organizados todos juntos (mesmo lado), com o seu corredor quente mais largo comparado ao outro corredor quente. Essa diferença de largura um pouco maior possibilita uma facilidade de realizar manutenção e ajuste técnico nos *racks*. Salienta-se que nesse corredor encontram-se as PDUs (Tomadas de Uso Específico), que também são necessárias em eventuais manutenções preventivas e corretivas.

Quando se realizou o levantamento da potência desses equipamentos não havia informação precisa de consumo exato de cada um dos equipamentos instalados nos *racks*, essas informações foram obtidas no setor de patrimônio e por pesquisas realizadas pelos modelos e marcas desses equipamentos. No entanto, ainda assim os valores calculados de suas potências demandadas não traziam informações totalmente precisas, e como orientação utilizou da informação disponibilizada no painel do *rack* 7 de módulo de potência que indicava uma demanda total de 11 kW.

Ainda na 1ª Etapa foram preenchidos *checklists* das características da infraestrutura do local, com informações sobre as dimensões do ambiente, os tipos de materiais utilizados no isolamento dos corredores, o sistema de refrigeração, a

temperatura, os sensores no monitoramento térmico, as redundâncias, a capacidade do sistema de alimentação elétrica, os isolamentos, entre outros. Os *checklists* foram fundamentais para avaliar a infraestrutura e aprofundar o entendimento com relação à identificação de falhas e vulnerabilidades presentes no ambiente pela ótica das normas ANSI/TIA-942, ASHRAE e ISO 50.001.

Nessa etapa, a análise do DC demonstrou que o ambiente atende a grande parte das recomendações das normas ANSI/TIA-942-B e ASHRAE TC 9.9, especialmente no que diz respeito à refrigeração, infraestrutura elétrica e organização geral do espaço. A largura do corredor frio (1,53 m) encontra-se dentro do recomendado, favorecendo o fluxo de ar frio e garantindo segurança e acessibilidade.

No entanto, os corredores quentes apresentam larguras inferiores ao mínimo sugerido de 1,0 m, o que pode prejudicar a manutenção e comprometer a eficiência da exaustão de ar quente, influenciando negativamente o desempenho térmico.

Quanto aos materiais, observou-se conformidade nos pisos e paredes, que apresentam atributos de segurança, reflexão luminosa e proteção antiestática. Por outro lado, o forro de PVC representa um ponto crítico, por não atender às exigências de resistência ao fogo e por permitir fugas de ar, afetando a contenção térmica. A substituição por *drywall* resistente ao fogo seria mais adequada para conformidade normativa e eficiência energética.

No que se refere à refrigeração, o DC possui sistema dedicado, redundante e monitorado continuamente, garantindo operação dentro da faixa recomendada pela ASHRAE. A infraestrutura elétrica também se mostrou adequada, com UPS, gerador e alimentação exclusiva, atendendo aos critérios de continuidade operacional previstos na norma.

De maneira geral, o DC apresentou um bom nível de conformidade normativa e está equipado com sistemas que garantem segurança e estabilidade térmica. Entretanto, alguns pontos estruturais, principalmente o forro e as dimensões reduzidas dos corredores quentes, constituem limitações que podem impactar a eficiência energética e o desempenho térmico, indicando oportunidades de melhoria futura. No entanto, observando as instalações prediais aos arredores do DC, pode-se afirmar que existem poucas chances de expansão das dimensões do prédio e devido a isso,

caso venha ser realizado acréscimo no corredor quente, indiretamente irá influenciar nas dimensões do corredor frio.

A análise do isolamento térmico do DC identificou problemas no forro, incluindo aberturas e partes com risco de descolamento, o que pode no futuro comprometer a eficiência térmica do ambiente. Além disso, o material utilizado não atende às recomendações da norma TIA-942-B, que exige o uso de componentes com resistência ao fogo para garantir segurança, integridade estrutural e proteção dos equipamentos.

Recomenda-se substituir o forro atual por *drywall* do tipo RF, que oferece melhor desempenho térmico, maior contenção do ar no corredor frio e conformidade com as premissas da ASHRAE TC 9.9. Embora as aberturas identificadas não tenham causado impacto significativo no retorno do fluxo de ar, elas representam pontos potenciais de perda térmica e devem ser corrigidas. Também se sugere realizar reparos na porta de entrada, a fim de melhorar a vedação do ambiente.

Já nas inspeções realizadas *in loco*, elas permitiram registrar visualmente problemas estruturais que podem prejudicar o isolamento térmico e, conseqüentemente, o desempenho da refrigeração. Observou-se, uma abertura para alçapão no forro de PVC nos corredores quentes, porém devem ser bem encaixadas quando feitas suas retiradas em situações que precisam ser feitas manutenções, para assim evitar fuga do ar quente em direção ao corredor frio.

Dessa forma, essa inspeção revelou que o forro instalado no DC da UFMS não atende plenamente a essas diretrizes, apresentando aberturas e material inadequado, o que pode comprometer a estanqueidade do ambiente e a eficiência do sistema de refrigeração.

Apesar dessas irregularidades construtivas, os resultados térmicos registrados ao longo do estudo indicaram impacto limitado sobre as condições internas do DC, uma vez que as temperaturas permaneceram dentro dos limites recomendados pela ASHRAE TC 9.9. Ainda assim, a substituição do forro por material conforme as normas é recomendada, tanto para aprimorar a contenção de ar quanto para elevar o nível de segurança e conformidade técnica da instalação.

A análise fotográfica do *Data Center* permitiu identificar que a infraestrutura de refrigeração está alinhada, em grande parte, às recomendações das normas

ANSI/TIA-942-B e ASHRAE TC 9.9. Observou-se a presença de um sistema dedicado e redundante de ar-condicionado, com monitoramento por termostato digital, além de condensadoras instaladas em área coberta, elevadas do solo e sem obstruções, condições adequadas para garantir segurança e eficiência operacional. O sistema de contenção de ar, realizado por portas de vidro e fechamento superior acima dos racks, também atende às diretrizes normativas, contribuindo para a separação efetiva do ar quente e frio e para o melhor gerenciamento térmico do ambiente.

Entretanto, foram identificadas algumas não conformidades e pontos de atenção. As condensadoras externas estão instaladas com espaçamento lateral inferior ao recomendado (aprox. 0,15 m), o que poderia causar recirculação de ar quente e aumento da temperatura de condensação. Contudo, como funcionam em modo redundante (apenas uma opera por vez), esse risco é minimizado. Ainda assim, uma das unidades apresenta distância traseira inferior ao recomendado, o que pode prejudicar a eficiência da troca térmica quando estiver em operação.

Outro ponto relevante refere-se ao sistema de retorno de ar nos corredores quentes. Embora funcional, a posição atual da grelha próxima do piso elevado, não otimiza o fluxo de retorno conforme sugerido pela ASHRAE para ambientes com contenção de corredor quente.

A presença de uma eletrocalha obstruindo parcialmente a grade de retorno agrava o problema, podendo causar curtos-circuitos térmicos e reduzir a eficiência da refrigeração. O reposicionamento desse elemento é recomendado para garantir melhor captação do ar aquecido. Embora o DC apresente boas práticas na disposição dos equipamentos de refrigeração, contenção térmica e instalação das condensadoras, alguns ajustes pontuais especialmente relacionados ao retorno de ar e ao distanciamento físico das unidades externas, poderiam aumentar a eficiência energética e assegurar maior conformidade com as normas técnicas.

Como último item analisado da 1ª etapa, o sistema elétrico do DC evidenciou conformidade com as recomendações da norma ANSI/TIA-942-B, especialmente no que se refere à organização, segurança e confiabilidade da distribuição de energia. O quadro de distribuição exclusivo para o DC, devidamente aterrado, identificado e com fases balanceadas, demonstra atendimento às boas práticas da ISO 50.001 exigidas para ambientes de missão crítica.

ETAPA 2

O estudo da análise térmica realizada no DC utilizando os HOBOS indicaram que o comportamento das temperaturas e da umidade relativa se manteve, em geral, dentro dos limites recomendados pelas normas ASHRAE TC 9.9 e ANSI/TIA-942-B, com apenas pequenas variações localizadas.

No corredor quente direito, registrou-se a maior temperatura (29 °C), atribuída à proximidade do sensor com uma janela que, eventualmente, acumula ar aquecido. Apesar disso, os desvios padrões das temperaturas foram baixos, demonstrando estabilidade térmica no ambiente.

No corredor frio, as temperaturas permaneceram dentro da faixa recomendada, não ultrapassando 25 °C, e com pouca variabilidade entre os pontos analisados. Pequenas diferenças observadas entre os corredores direito e esquerdo podem estar relacionadas à maior carga térmica dos *racks* da fileira direita. Os dados de temperatura obtidos pelos sensores de umidade confirmaram a consistência das medições, reforçando a confiabilidade dos instrumentos utilizados.

Em relação à umidade relativa, embora a média tenha permanecido dentro dos limites aceitáveis para equipamentos da classe A1, observou-se grande variabilidade e valores mínimos inferiores a 40%, indicando risco potencial de eletricidade estática, além de máximos acima de 60%, que podem favorecer condensação em superfícies frias. Recomenda-se a implementação de controle ativo de umidade, associado ao monitoramento contínuo e ajuste de *setpoints* térmicos, visando maior estabilidade ambiental e eficiência energética conforme diretrizes da ASHRAE TC 9.9.

As flutuações observadas no ponto de orvalho, com valores inferiores à faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9, indicam períodos de ar excessivamente seco no ambiente do DC. Tal condição pode elevar o risco de descarga eletrostática e comprometer a confiabilidade dos equipamentos de TI. Recomenda-se a implementação de controle ativo por ponto de orvalho, associado à umidificação proporcional e ajuste de *setpoints* térmicos, visando maior estabilidade psicrométrica e eficiência energética do sistema de climatização.

De modo geral, as temperaturas no corredor frio mantiveram-se adequadas, situando-se próximas do ideal definido pela ASHRAE, o que indica bom

gerenciamento do fluxo de ar, eficiência da contenção térmica e correta atuação do sistema de refrigeração.

Em relação às medições realizadas com uso da câmera termográfica FLIR TG165-X, suas leituras evidenciaram temperaturas superficiais nos *racks* do corredor frio, onde permaneceram majoritariamente dentro da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9.

Embora tenha sido registrada uma temperatura pontual de 28,3 °C no *rack* 3, os demais valores mantiveram-se adequados, indicando que o sistema de refrigeração atende, em geral, às exigências térmicas do ambiente.

Essas imagens termográficas forneceram uma visão complementar às medições contínuas dos sensores HOBO, permitindo identificar rapidamente variações térmicas e pontos específicos de maior aquecimento. Em algumas capturas foram observadas temperaturas próximas de 29 °C, sugerindo áreas localizadas com maior carga térmica ou menor eficiência de ventilação.

Apesar de representarem apenas condições instantâneas, os padrões térmicos identificados destacam potenciais áreas críticas que podem, se não tratadas, impactar o equilíbrio do sistema de resfriamento. Esses achados reforçam a importância de monitoramento no fluxo de ar e no gerenciamento térmico para evitar incrementos indesejados na temperatura do ambiente.

A avaliação dos níveis de iluminância do DC revelou que o ambiente não atende plenamente aos requisitos da norma ANSI/TIA-942-B, que recomenda um mínimo de 500 lux no plano horizontal para garantir condições adequadas de operação e manutenção dos equipamentos. A análise setorial reforça essa inadequação: o corredor quente esquerdo apresentou média de 464,33 lux, ligeiramente abaixo do recomendado, enquanto apenas o corredor quente direito atingiu 502,33 lux, situando-se dentro do limite normativo. Já o corredor frio obteve média de apenas 205,33 lux, valor muito inferior ao exigido e que compromete significativamente as condições de visibilidade em uma das áreas mais críticas do DC.

Os resultados de iluminância evidenciaram *déficit* luminotécnico no ambiente analisado, indicando a necessidade de readequação do sistema de iluminação. Com o objetivo de garantir melhores condições de visibilidade operacional, eficiência energética e conformidade com as recomendações da TIA para ambientes de DC.

Assim, realizou-se a simulação computacional por meio do *software* DIALux, visando o redimensionamento do fluxo luminoso total e a otimização do *layout* das luminárias.

A simulação resultou na especificação de seis lâmpadas LED tubulares marca LEDVANCE T8 de 24 W, modelo 865 LEDV, com fluxo luminoso nominal de 2.800 lm cada. A distribuição proposta contempla seis unidades no corredor frio e três unidades em cada um dos corredores quentes, garantindo melhor uniformidade luminosa e redução de áreas sombreadas entre os *racks*.

Com essa configuração, o ambiente passou a apresentar iluminância média estimada de aproximadamente 676 lux, superando o mínimo recomendado para áreas técnicas, com consumo total aproximado de 144 W. Tal solução proporciona adequação normativa, melhoria das condições de manutenção dos equipamentos e otimização do desempenho energético do sistema de iluminação.

ETAPA 3

Os dados registrados pelo analisador FLUKE 434 Série II mostraram equilíbrio entre as tensões das fases, com variações mínimas durante o período monitorado. As pequenas oscilações identificadas ocorreram principalmente durante o acionamento do gerador ou em momentos pontuais de instabilidade da concessionária, sem impacto significativo no fornecimento elétrico do DC.

De modo geral, o sistema elétrico apresentou comportamento estável e operação em regime permanente, atendendo aos requisitos de continuidade e confiabilidade estabelecidos pela norma. Isso reforça que a infraestrutura elétrica do DC é capaz de suportar sua demanda com segurança, mesmo diante de eventos transitórios que poderiam comprometer instalações menos preparadas.

Os custos associados ao consumo energético do sistema de climatização, responsável por atender a demanda térmica dos equipamentos de TI (aproximadamente em 14,49 kW) conforme medições realizadas com o analisador de energia FLUKE, são influenciados pelo superdimensionamento da unidade instalada, onde sua representatividade varia em torno de 18,13% em comparação a capacidade nominal de 10 TR do sistema de climatização.

Essa condição operacional pode justificar a baixa variabilidade observada durante as análises térmicas, uma vez que a elevada capacidade disponível tende a

manter rapidamente as condições de conforto térmico. Como medida para melhorar a eficiência do sistema de refrigeração, uma possibilidade seria a elevação do *setpoint* de temperatura entre 4 °C e 5 °C, preferencialmente avaliada por meio de simulações com ferramenta CFD, de modo a assegurar que o novo regime térmico não comprometa a segurança do ambiente.

Outra alternativa seria a instalação de uma unidade de menor capacidade, mais compatível com a carga térmica real e com margem de contingência reduzida em relação ao equipamento atual de 10 TR, pois atualmente a demanda utilizada varia em torno de 2 TR. Entretanto, essa abordagem demandaria a implantação de nova condensadora e adaptações no sistema de refrigeração, tornando-a menos viável no contexto atual, tendo em vista o curto período desde a instalação do equipamento existente no DC.

Os resultados dos sensores APC NETBOTZ relacionado a temperatura do sistema de refrigeração, indicaram três comportamentos principais: a temperatura média de 18,5 °C permaneceu dentro da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9, embora próxima ao limite inferior, sugerindo possível excesso de resfriamento.

A temperatura mínima de 11,4 °C ficou abaixo do limite de 15 °C e ocorreu de forma recorrente entre novembro/2024 e março/2025, configurando episódios de sub-resfriamento no ambiente do DC. Tal condição pode favorecer condensação, aumentar o consumo energético e comprometer a confiabilidade dos equipamentos. Recomenda-se o ajuste do *setpoint* térmico para faixa compatível com as diretrizes normativas, associado à implementação de controle proporcional e monitoramento contínuo das variáveis psicrométricas, visando maior estabilidade operacional e eficiência energética.

Já a temperatura máxima de 28,1 °C ultrapassou ligeiramente o limite recomendado (27 °C), mas permaneceu dentro da faixa operacional da classe A1, indicando sobreaquecimentos pontuais possivelmente relacionados ao ciclo de operação dos equipamentos de refrigeração.

A umidade relativa registrada durante os últimos 12 meses apresentou média de 61,67%, valor ligeiramente acima da recomendação da ASHRAE, porém ainda dentro dos limites da classe A1. Entretanto, o pico de 88% caracteriza não conformidade e evidencia falhas momentâneas no controle higrométrico.

Apesar da média do ponto de orvalho ter permanecido dentro da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9, os valores extremos registrados evidenciam instabilidade no controle higrométrico do ambiente. O pico de 20,6 °C indica momentos de elevada carga latente e risco potencial de condensação, enquanto o mínimo de -3,2 °C caracteriza períodos de ar excessivamente seco, com possibilidade de descarga eletrostática. Recomenda-se a implementação de controle integrado por ponto de orvalho, associado a sistemas proporcionais de umidificação e desumidificação, além da estabilização dos *setpoints* térmicos, visando maior confiabilidade operacional e eficiência energética do DC.

Diante desses resultados, recomenda-se ajustar o *setpoint* de refrigeração para a faixa de 20 °C a 24 °C, a fim de evitar resfriamento excessivo, e realizar a calibração dos sensores de temperatura, umidade e ponto de orvalho, garantindo maior estabilidade psicrométrica e segurança operacional no DC.

ETAPA 4

Finalmente, na última etapa, a simulação computacional realizada com a ferramenta de CFD *CoolSim* apresentou limitações quanto à reprodução precisa das linhas de retorno térmico do ambiente, em razão do curto período de licença disponível, o que restringiu o processo de calibração e refinamento do modelo. Ainda assim, a aplicação da Dinâmica dos Fluidos Computacional demonstrou potencial significativo como ferramenta de apoio à análise da eficiência energética em DCs.

Destaca-se que os resultados obtidos foram satisfatórios no que se refere ao comportamento do fluxo de ar, especialmente quanto à direção e à velocidade, apresentando boa aproximação com as medições realizadas *in loco*. Esses achados reforçam a viabilidade do uso de CFD em estudos futuros, desde que conduzidos com maior tempo de modelagem e calibração adequada.

Durante o desenvolvimento do estudo, foram enfrentadas diversas dificuldades que, em alguns momentos, extrapolaram o escopo de conhecimento necessário para a execução das etapas previstas. Entre os principais desafios, destacam-se:

- **Acesso ao Data Center (DC):** Embora a AGETIC tenha disponibilizado livre acesso ao ambiente, houve dificuldades na conciliação dos agendamentos, em função dos cronogramas internos da unidade e das

demais atividades desenvolvidas pelo pesquisador, o que resultou em ajustes e atrasos em relação ao planejamento inicial.

- **Levantamento da potência dos equipamentos:** A identificação de alguns equipamentos instalados nos racks do DC foi dificultada pela ausência de etiquetas de patrimônio ou informações visíveis de modelo e marca. Essa limitação exigiu pesquisas aprofundadas em *sites* dos fabricantes e, mesmo assim, em alguns casos, não foi possível obter total precisão dos dados.
- **Instalação e operação dos sensores HOBO:** Após alguns dias da instalação dos sensores, observou-se que o nível de bateria estava baixo, sendo necessária a substituição. Entretanto, ao analisar os dados posteriormente, verificou-se a ausência de registros a partir da data de troca das baterias. A falta de conhecimento sobre a necessidade de reconfiguração do *data logger* após a substituição das baterias resultou na necessidade de uma nova instalação dos sensores no DC.
- **Medições com o analisador de energia FLUKE:** Após o período de monitoramento de sete dias, ao realizar o *download* dos dados foi constatado que o cartão de memória havia sido corrompido. Como o equipamento já havia sido retirado e estava reservado para outra demanda, foi necessário aguardar um novo período e solicitar novo agendamento para reinstalação, impactando o cronograma do estudo.
- **Simulação utilizando o software CoolSim:** O prazo disponível para utilização da ferramenta foi limitado a 15 dias. Nesse período, o tempo para aprender a operar o software e explorar suas funcionalidades foi reduzido, o que, somado à falta de experiência prévia, impossibilitou a obtenção de resultados robustos e plenamente satisfatórios para compor a análise final.

Como sugestão para trabalhos futuros, com o intuito de ampliar e aprofundar as investigações realizadas, recomenda-se:

- Avaliar a aplicação de fontes de energia renovável, especialmente a energia fotovoltaica, como alternativa de redundância para o suprimento elétrico do DC. Essa abordagem pode contribuir para a redução de

custos operacionais do sistema de refrigeração, aumento da resiliência energética e alinhamento com práticas sustentáveis.

- Realizar novas simulações utilizando a ferramenta CFD *CoolSim*, uma vez que ela se mostrou promissora para estudos de eficiência energética em DC, considerando a necessidade de testes de comparações envolvendo a demanda de consumo dos servidores com o necessário para ser atendido pelo sistema de refrigeração. Contudo, sugere-se que essas análises contem com um período de uso mais amplo e treinamento específico para operação da ferramenta, de modo a garantir maior precisão, confiabilidade e aplicabilidade dos resultados obtidos.

6 CONCLUSÃO

O estudo realizado no DC da UFMS permitiu uma análise abrangente da infraestrutura física, das condições térmicas e do desempenho energético do ambiente, com foco na identificação de oportunidades de melhoria voltadas à eficiência energética e à estabilidade operacional.

O levantamento realizado possibilitou a construção de um roteiro metodológico consistente, fundamentado em boas práticas como contenção de ar, otimização do fluxo térmico, avaliação da infraestrutura, simulação computacional e monitoramento ambiental contínuo. Com base nesse referencial, a pesquisa avançou para a caracterização detalhada do ambiente da UFMS, por meio de medições, inspeções e análises técnicas.

A execução das etapas previstas permitiu avaliar de forma abrangente os principais fatores que influenciam o desempenho energético do DC, contemplando aspectos elétricos, térmicos, estruturais e de circulação de ar. As análises térmicas realizadas ao longo de um período prolongado evidenciaram variações no comportamento do sistema de refrigeração e possibilitaram a identificação de padrões operacionais, os quais subsidiaram recomendações técnicas voltadas à melhoria do desempenho térmico e da eficiência energética do ambiente estudado.

As medições realizadas com o analisador de energia da FLUKE evidenciaram pequenas variações nos momentos de comutação de fonte. Contudo, os resultados demonstraram a estabilidade do fornecimento do sistema elétrico, mesmo diante das oscilações decorrentes dessas transições, indicando confiabilidade operacional da infraestrutura.

No que se refere à etapa de simulação computacional, a aplicação da ferramenta de CFD representou um avanço metodológico relevante para a pesquisa. A simulação apresentou resultados coerentes quanto ao comportamento do fluxo de ar, especialmente em relação à direção e à velocidade, evidenciando aproximação satisfatória com as medições realizadas in loco e reforçando a consistência das análises desenvolvidas.

Os resultados deste estudo levaram às seguintes conclusões significativas:

- Os dados térmicos coletados mostraram uma estabilidade geral do ambiente dentro das faixas recomendadas pela ASHRAE TC 9.9;
- O sistema de refrigeração corresponde a menos de 49% comparado com o consumo total dos equipamentos de TI;
- A análise do consumo energético do DC demonstrou que a maior parcela da demanda elétrica está concentrada nos equipamentos de TI, responsáveis por mais de 2/3 do consumo total;
- O estudo apresentou um PUE considerado eficiente para a configuração analisada.

Recomenda-se a ampliação do sistema de iluminação, a fim de proporcionar níveis adequados de iluminância para as atividades de operação e manutenção no ambiente. Ressalta-se que tal medida implicará impacto reduzido no consumo energético, uma vez que as luminárias permanecem desligadas na maior parte do tempo.

No que se refere aos equipamentos de TI, que representaram mais de 50% do consumo energético total, recomenda-se a elevação do nível de virtualização dos servidores instalados nos *racks* 2, 3 e 4, com vistas à consolidação das cargas de trabalho e ao melhor aproveitamento da capacidade computacional disponível. Sugere-se, ainda, a substituição de equipamentos com baixo desempenho energético e a implementação de monitoramento contínuo da utilização de processamento, de modo a reduzir períodos de ociosidade e concentrar os serviços no menor número possível de servidores ativos, promovendo a racionalização do consumo e a melhoria do desempenho global do DC.

Em relação ao sistema de refrigeração, visando ao aumento da eficiência energética, recomenda-se o ajuste do *setpoint* de temperatura em até 5 °C acima do valor atualmente praticado, considerando que as medições realizadas indicaram conformidade com as faixas recomendadas. Complementarmente, a realização de simulações adicionais por meio de *software* CFD poderá contribuir para a definição mais precisa da temperatura ideal dentro do intervalo proposto.

Conclui-se que o estudo permitiu uma análise integrada das condições térmicas e operacionais do *Data Center* da UFMS, possibilitando a obtenção dos indicadores PUE e DCiE, a definição do perfil de demanda energética e a identificação de pontos críticos relacionados à recirculação e ao isolamento. As propostas apresentadas demonstram viabilidade técnica para a melhoria da eficiência energética, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo, planejamento e modernização da infraestrutura para garantir maior confiabilidade e desempenho aos serviços de TI da instituição.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução Homologatória nº 3.441, de 8 de abril de 2025*. Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2025, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD referentes à Energisa Mato Grosso do Sul Distribuidora de Energia S.A. – Energisa MS. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/sites/energisa/files/media/documents/2025-07/Quadro%20de%20Tarifas%20EMS%20Atual.pdf>. Acesso em: 10 out. 2025.

AHMADI, V. E.; ERDEN, H. S. A parametric CFD study of computer room air handling bypass in air-cooled Data Centers. *Applied Thermal Engineering*, v. 166, p. 114685, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114685>

APC. Instadoculação e configuração rápida - Módulo de expansão de temperatura/umidade – AP9341. American Power Conversion (APC), 2005. Disponível em: https://gpcabling.com.br/produto_documento/7501%205/75015_spec.pdf. Acesso em: 1 abr. 2024.

ASHRAE TC 9.9. *Data Center storage equipment – thermal guidelines, issues, and best practices*. ASHRAE Technical Committee 9.9, 2015. Disponível em: https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/bookstore/ashrae_storage_white_paper_2015.pdf. Acesso em: 17 abr. 2024.

ASHRAE TECHNICAL COMMITTEE. *Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance*. 5. ed. Atlanta, 2021. Disponível em: <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/bookstore/supplemental%20files/therm-gdlns-5th-r-e-refcard.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520:2023: Citações em documentos**: Apresentação. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:2018: Informação e documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, 2018.

BACKLUND, F.; CHRONEER, D.; SUNDQVIST, E. Project management maturity models: a critical review: a case study within Swedish engineering and construction organizations. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 119, p. 837-846, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.094>.

CAMARGO, D. S.; MIERS, C. C.; PILLON, M. A.; KOSLOVSKI, G. P. MeHarCEn: Um Método de Harmonização do Consumo de Energia em Data Centers. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, v. 24, p. 47–70, 2017.

CHANG, Q.; HUANG, Y.; LIU, K.; XU, X.; ZHAO, X.; PAN, S. Optimization Control Strategies and Evaluation Metrics of Cooling Systems in Data Centers: A Review. *Sustainability*, v. 16, p. 1-41, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16167222>.

CHEN, X.; JIANG, S.; CHEN, Y.; LEI, Y.; ZHANG, D.; ZHANG, M.; GOU, H.; SHEN, B. A 10 MWclass *Data Center* with ultra-dense high-efficiency energy distribution: Design and economic evaluation of superconducting DC busbar networks. *Energy*, v. 250, p. 1-17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123820>

CHO, J. Comparing thermal performance for *Data Center* cooling. *ASHRAE Journal*, 2021.

CHO, J.; KIM, Y. Development of modular air containment system: Thermal performance optimization of row-based cooling for high-density *Data Centers*. *Energy*, v. 231, p. 1-18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120838>.

CHO, J.; PARK, B.; JEONG, Y. Thermal performance evaluation of a *Data Center* cooling system under fault conditions. *Energies*, v. 12, p. 2996, 2019.

CHU, W. -X.; WANG, C. -C. A review on airflow management in *Data Centers*. *Applied Energy*, v. 240, p. 84-119, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.041>.

DEPOORTER, V.; ORO, E.; SALOM, J. The location as an energy efficiency and renewable energy supply measure for data centres in Europe. *Applied Energy*, v. 140, p. 338–349, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.11.067>.

EL-SAYED, N.; STEFANOVICI, I.; AMVROSIADIS, G.; HWANG, A. A.; SCHROEDER, B. Temperature management in *Data Centers*: why some (might) like it hot. University of Toronto, 12, 2012.

EL-SAYED, N.; STEFANOVICI, I.; AMVROSIADIS, G.; HWANG, A. A.; SCHROEDER, B. Temperature Management in *Data Centers*: Why Some (Might) Like it Hot. University of Toronto, 12, 2012.

FIEDLER, T.; MIRCEA, P. -M. Energy Management Systems according to the ISO 50001 Standard – Challenges and Benefits. In: International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), 2012. DOI: [10.1109/ICATE.2012.6403411](https://doi.org/10.1109/ICATE.2012.6403411).

GEET, O. V.; SICKINGER, D. *Best practices guide for energy-efficient Data Center design*. Golden: National Renewable Energy Laboratory, 2024. OSTI ID: 2417618. DOI: <https://doi.org/10.2172/2417618>.

GÜGÜL, G. N.; GÖKÇÜL, F.; EICKER, U. Sustainability analysis of zero energy consumption *Data Centers* with free cooling, waste heat reuse and renewable energy systems: A feasibility study. *Energy*, v. 262, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125495>.

HAN, Z.; WEI, H.; SUN, X.; BAI, C.; XUE, D.; LI, X. Study on influence of operating parameters of *Data Center* air conditioning system based on the concept of on-demand cooling. *Renewable Energy*, v. 160, p. 99-111, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.100>.

HINTEMANN, R.; ACKERMANN, L. KPI für IT-Leistung und Energieeffizienz von Rechenzentren. *Borderstep Arbeitspapier*. Berlin: Borderstep Institut, 2016. Disponível em: <https://www.borderstep.de>. Acesso em: 07 dez. 2024.

HU, H. H. Computational Fluid Dynamics. In: *Fluid Mechanics*. 5. ed. Oxford: Elsevier, 2012. p. 421-472. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382100-3.10010-1>.

HWANG, J.; LEE, T. Study on the Design and Operation of an Outdoor Air-Cooling System for a Computer Room. *Energies*, v. 14, n. 6, p. 1-17, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14061670>.

IBM (International Business Machines Corporation). *O que é um Data Center?* IBM. Acesso em: 05 mar. 2025. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/data-centers>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Energy management systems – Requirements with guidance for use*. ISO 50001:2011.

ISO. *Energy Management Systems – Requirements with guidance for use*. ISO 50001, Popular Standards, Geneva, Switzerland, 2018. Disponível em: <https://www.iso.org/iso-50001-energymanagement.html>. Acesso em: 19 mar. 2024.

JOVANOVIĆ, B.; FILIPOVIĆ, J. ISO 50001 standard-based energy management maturity model: a proposal and validation in industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 2744-2755, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.023>.

KALS, J. *ISO 50001 Energy Management Systems: what managers need to know about energy and business administration*. New York: Business Expert Press, 2015.

KANNEGANTI, H.; GOPALAKRISHNAN, B.; CROWE, E.; AL-SHEBEEB, Y.; YELAMANCHI, T.; NIMBARTE, A.; CURRIE, K.; ABOLHASSANI, A. Specification of energy assessment methodologies to satisfy ISO 50001 energy management standard. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 23, p. 121-135, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.09.003>.

KITCHENHAM, B. *Procedures for performing systematic reviews*. Keele, UK: Keele University, 2004.

LI, C.; MAO, R.; WANG, Y.; ZHANG, J.; LAN, J.; ZHANG, Z. Experimental study on direct evaporative cooling for free cooling of *Data Centers*. *Energy*, v. 288, p. 1-13, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129889>.

LIU, J.; YAN, L.; YAN, C.; QIU, Y.; JIANG, C.; LI, Y.; LI, Y.; CÉRIN, C. Escope: An energy efficiency simulator for internet *Data Centers*. *Energies*, v. 16, p. 3187, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16073187>.

MARIN, P. S. *Data Center: desvendando cada passo: conceitos, projeto, infraestrutura física e eficiência energética*. 1. ed. São Paulo: Érica, 2011.

MARIN, P. S. *Data Centers: engenharia: infraestrutura física*. São Paulo: PM Books, 2016.

MENDONÇA, R.; ÁLVARES, D. S. S.; CIANFRONI, R.; GUEDES, L. G. R. Uso do ciclo PDCA para melhoria da eficiência energética em datacenters. *Revista Brasil Pós: Engenharia, Tecnologia e Gestão*, v. 1, n. 2, p. 8-12, 2024. DOI: [10.5281/zenodo.13840096](https://doi.org/10.5281/zenodo.13840096).

MENEZES, I. B. *A influência do DCIM na melhoria da refrigeração de um Data Center*. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/0e437f4c-b56e-425a-8bad-fcd788a13583>. Acesso em: 23 abr. 2023.

MORAES NETO, M. F. *Gestão dos ativos do Datacenter*. Livro digital. Palhoça: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2016.

MOREIRA, L. R. *Análise da eficiência dos diferentes tipos de insuflamento de ar em Data Centers de pequeno porte e alta densidade: por meio da ferramenta de CFD*. 2022. Disponível em https://datacenter.org.br/wp-content/uploads/2023/06/MBA-BRPOS-ARTIGO-LUCAS_REBELLO_MOREIRA-R00-2.pdf. Acesso em: 3 nov. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: 17 ODS para transformar nosso mundo*. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 fev. 2025.

PATANKAR, S. V. Airflow and cooling in a *Data Center*. *ASME Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 132, p. 073001, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4000703>.

PINERO, E. ISO 50001: setting the standard for industrial energy management. *Green Manufacturing News*, p. 21-24, 2009.

PINTO, M. M. F.; CAMPO, P. K.; AZEVEDO, V. R. Sustentabilidade de *Data Centers* com uso da TI-verde. *Revista Científica E-Locução*, v. 10, p. 795-812, 2021. DOI: <https://doi.org/10.57209/e-locucao.v1i20.420>.

RASMUSSEN, N. *Implementing energy efficient Data Centers*. APC Legendary Reliability, p. 3-15, 2011. Disponível em: http://62.129.210.18/pub/katalogi/schneider/6_systemy_zasilania_gwarantowanego_i_chlodzenia/6_9_dokumenty_white_paper/wp-114.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

SANTOS, A. F.; GASPAR, P. D.; DE SOUZA, J. L.; HERALDO, J. L. New *Data Center* performance index: Perfect design *Data Center*—PDD. *Climate*, v. 8, p. 110, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli8100110>.

SCHMIDT, R. R.; CRUZ, E. E.; IYENGAR, M. Challenges of *Data Center* thermal management. *IBM Journal of Research and Development*, v. 49, n. 4-5, p. 709-723, 2005.

SHAO, X.; ZHANG, Z.; SONG, P.; FENG, Y.; WANG, X. A review of energy efficiency evaluation metrics for *Data Centers*. *Energy and Buildings*, v. 271, p. 1-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112308>.

SINGH, N.; PERMANA, I.; AGHARID, A. P.; WANG, F. J. Retrofitting HVAC systems for enhanced energy performance and resilience in university *Data Center* room. *Journal of Building Engineering*, v. 95, p. 1-18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110162>.

TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION (TIA). *ANSI/TIA-942 Standard - Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers*. 2005. Disponível em: https://tiaonline.org/wp-content/uploads/2024/05/TIA-942-C-DC-infrastructure-standard_TIA-white-paper.pdf. Acesso em: 20 abr. 2024.

TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION (TIA). *TIA-942-B: Data Center Infrastructure Standard*. Arlington, VA: TIA, 2017. Disponível em: <https://tiaonline.org/products-and-services/tia942certification/ansi-tia-942-standard/#:~:text=The%20globally%2Dadopted%20ANSI%2FTIA,safety%2C%20telecommunication%2C%20security%20and%20other>. Acesso em: 18 mar. 2025.

TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION (TIA). *TIA-942-C: Data Center Infrastructure Standard*. Arlington, VA: TIA, 2023. Disponível em: <https://tiaonline.org/products-and-services/tia942certification/ansi-tia-942-standard/#:~:text=The%20globally%2Dadopted%20ANSI%2FTIA,safety%2C%20telecommunication%2C%20security%20and%20other>. Acesso em: 08 mar. 2025.

THERMAL CAMERA FLIR. Disponível em: <https://www.flir.com.br/products/tg165-x/?vertical=condition+monitoring&segment=solutions>. Acesso em: 20 ago. 2025.

TU, J.; YEOH, G. -H.; LIU, C. *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2018. p. 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101127-0.00001-5>.

TUNNER, W. P.; SEADER, John H.; BRILL, K. G. Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance, White Paper/The Uptime Institute. Inc.: New York, NK, USA, 2005.

VAUGHAN-NICHOLS, S. J. The Best Ways to Manage *Data Center* Airflow. TechBeacon, 2019. Disponível em: <https://techbeacon.com/enterprise-it/best-ways-manage-data-center-airflow>. Acesso em 12 abr. 2024.

VERAS, M. *Datacenter: componente central da infraestrutura de TI*. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

WANG, S.; TU, R.; CHEN, X.; YANG, X.; JIA, K. Thermal performance analyses and optimization of *Data Center* centralized-cooling system. *Applied Thermal Engineering*, v. 222, p. 1-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119817>.

WIBRON, E.; LJUNG, A. -L.; LUNDSTRÖM, T. S. Computational fluid dynamics modeling and validating experiments of airflow in a *Data Center*. *Energies*, v. 11, p. 644, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11030644>.

ZABBIX. Solução completa e OpenSource. Disponível em: https://www.zabbix.com/br/network_monitoring. Acesso em: 20 abr. 2024.

ZHOU, F.; GU, W.; MA, G. Advancements in *Data Center* cooling systems: From refrigeration to high performance cooling. *Energy and Buildings*, v. 320, p. 1-19, 2024.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114634>.

APÊNDICE

APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DO DC.

Quadro A1- *Checklist* da infraestrutura verificada no DC da UFMS.

Espaço Físico e Estrutura do <i>Data Center</i>			
Descrição Itens	Sim	Não	Observações
Área total do DC.			
Qual é o comprimento, largura e altura do ambiente do DC?			
Qual altura do pé-direito do DC?			
Na sua divisão interna ele possui corredor frio?			
Quantos corredores frios estão implementados no DC?			
Qual a dimensão do corredor frio (largura, comprimento)?			
Existe contenção física do corredor frio?			
Tem material que isola os corredores frio/quente?			
Qual o tipo de material?			
A contenção física do corredor frio é realizada por portas?			
Qual material dessa porta?			
A contenção física do corredor frio é realizada por cortinas de ar?			
Na sua divisão interna ele possui corredor quente?			
Quantos corredores quentes possuem no DC?			
Qual o material que isola os corredores quente?			
Qual a dimensão do corredor quente à direita (largura, comprimento)?			
Qual a dimensão do corredor quente à esquerda (largura, comprimento)?			

O piso é elevado?			
Qual altura do piso elevado utilizado no DC?			
Qual a função principal do piso elevado?			
Existe forro instalado no ambiente do DC?			
Qual o material do forro?			
Refrigeração do ambiente			
Descrição Itens	Sim	Não	Observações
Existe um sistema de refrigeração dedicado para o DC?			
Qual é a marca e modelo do ar-condicionado?			
Quanto tempo foi feita a instalação do "Splitão"?			
O projeto foi executado por Engenheiro?			
O equipamento utiliza qual tipo de fluido refrigerante?			
A condensadora está instalada em local ventilado e sem restrição ao fluxo do ar?			
A saída de ar da unidade condensadora está livre de obstruções (paredes, vegetação e outros)?			
O isolamento dos motores e componentes elétricos está íntegro e sem sinais de superaquecimento?			
Existe isolamento térmico adequado nas linhas de sucção e líquido?			
O isolamento térmico das tubulações de cobre (linha de sucção e líquido) está em boas condições e sem danos visíveis?			
A tubulação exposta ao sol possui proteção UV adequada?			

A drenagem da condensadora está funcionando corretamente?			
Qual é o COP (<i>coefficient of performance</i>) ou EER declarado pelo fabricante?			
O equipamento mantém a temperatura interna dentro da faixa recomendada pela ASHRAE TC 9.9 (2021)?			
O sistema opera com controle por termostato?			
Quando foi feita a última manutenção preventiva?			
Já houve reposição de gás refrigerante ou vazamentos detectados?			
Há registros de falhas ou alarmes no histórico do sistema?			
Qual tipo de sistema de refrigeração utilizada?			
Quantas unidades de refrigeração existem no ambiente do DC?			
A refrigeração é redundante?			
Qual tipo de redundância?			
Qual a capacidade de refrigeração de cada unidade instalada no DC?			
Os sistemas de refrigeração instalados estão funcionando?			
Existe automação para controle da temperatura e umidade?			
O monitoramento é contínuo?			
Possui sistema de alertas em caso de falhas?			
Existem sensores monitorando a temperatura?			
Existem sensores monitorando a umidade?			
Qual a temperatura configurada para o ambiente do DC?			

Qual a temperatura mínima configurada para o ambiente do DC?			
Qual a temperatura máxima configurada para o ambiente do DC?			
Sistema de alimentação do DC			
Descrição Itens	Sim	Não	Observações
Qual a capacidade nominal (kW) do módulo de potência para os <i>racks</i> do DC?			
Qual a corrente máxima (A) no disjuntor do módulo de potência?			
Qual o consumo médio registrado no <i>rack</i> elétrico de potência UPS?			
Qual é a autonomia do <i>Nobreak</i> (UPS)?			
Existe redundância no fornecimento do sistema elétrico?			
Qual tipo de redundância do sistema elétrico?			
O sistema elétrico do DC é trifásico?			
Existe aterramento e sistema de proteção contra surtos elétricos dedicados para DC?			
Existe gerador para suprimento em caso de falha na rede?			
Qual o combustível para motor-gerador?			
Qual a autonomia em horas do motor-gerador em falha da rede da concessionária?			
Existe integração entre o sistema UPS e o motor-gerador de energia?			
Existe segregação do circuito de TI e os da refrigeração?			
Existe geração de energia renovável?			
Possui Sistema de Transferência Automática (ATS)?			

São realizados testes de carga simulada no DC para detectar pontos de falhas?			
Qual a frequência dos testes de carga?			
São realizados testes <i>failover</i> (sistema de transferência automática - ATS)			
Qual a frequência dos testes <i>failover</i> ?			

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro A2- *Checklist* do isolamento térmico do DC UFMS.

Isolamento físico da estrutura do <i>Data Center</i>			
Descrição Itens	Sim	Não	Observações
As paredes externas estão expostas à radiação solar?			
Qual o horário com maior incidência da radiação solar?			
Qual a frequência dessa incidência solar durante o dia?			
Vedação superior do corredor frio (paredes ou/e forros) está devidamente instalada e sem frestas?			
Fluxo de ar dentro do corredor frio é homogêneo, sem recirculação perceptível de ar quente?			
A temperatura de entrada dos <i>racks</i> , localizada no corredor frio, encontra-se dentro dos limites recomendados pela ASHRAE TC 9.9 (2021)?			
Possui um sistema de contenção de corredores?			
Existe isolamento das paredes internas que isolam os corredores quente/frio?			
Qual tipo de material das paredes internas do corredor frio?			

Juntas entre <i>racks</i> apresentam aberturas que permitam vazamento de ar frio.			
Aberturas não utilizadas em <i>racks</i> (U livres) estão seladas com <i>blanking panels</i> ?			
As aberturas entre os racks podem causar recirculação do ar?			
Corredor quente com problemas?			
Possui grelha de saída para o ar quente?			
A grelha disponível nos corredores quente possui exaustor?			
Possui possível recirculação de ar nos corredores quente?			
O teto possui forro?			
Qual tipo de material desse forro?			
Forro com problemas?			
Existem aberturas no forro?			
Precisa de trocas dos forros?			
Precisa de reparos dos forros?			
Piso elevado possui aberturas (placas soltas ou mal encaixadas)?			
Piso necessita de reparos ou trocas?			
A porta de acesso ao corredor frio do DC está em boas condições, com fechamento adequado?			
A porta de entrada ao DC possui vedação comprometida?			
A porta de acesso ao DC tem frestas/aberturas?			

Fonte: Elaboração própria (2025)