

# **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\***

Lucas Rebello Moreira\*\*

**Resumo:** Este artigo avaliou oito diferentes soluções de climatização para Data Centers, incluindo climatização por equipamentos perimetrais e internos a sala, equipamentos com insuflamento direto no ambiente e equipamentos com insuflamento em entrepiso, retorno de ar dutado e livre no ambiente e confinamento de corredores frios e quentes de forma a se analisar a melhor solução de climatização para salas de pequeno porte e alta densidade. Concluiu-se que as melhores alternativas para tais tipos de ambiente são com insuflamento pelo entrepiso e confinamento de corredores quentes e retorno dutado e com climatização entre racks e confinamento de corredores quentes.

**Palavras-chave:** CFD. Eficiência. Soluções de Climatização.

## **1 TEMA**

Análise, por meio da ferramenta de Computationns Fluid Dynamics (CFD) – ferramenta numérica e de simulação computacional, das diferentes configurações de insuflamento e de sua eficiência termodinâmica para um Data Center predeterminado, com alta densidade e de pequeno porte.

## **2 PROBLEMA**

Qual a melhor estratégia de climatização para ambientes de processamento de dados de alta densidade e de pequeno porte?

## **3 PROBLEMATIZAÇÃO (FORMULAÇÃO DO PROBLEMA)**

Com a crescente utilização de equipamentos de telecominuação, em especial, após a popularização dos smartphones, notebooks e tablets, se tornou elevado o consumo de conteúdo online no século 21, e com isso, cresce tanto a necessidade de processamento de dados quanto a aplicação de ambientes com cada vez maior densidade de carga instalada. Uma das áreas constituintes da internet que mais cresce atualmente, da “Computação em Nuvem”, pode ser definida como o armazenamento e cálculos de computadores e servidores compartilhados

---

\*Artigo apresentado como trabalho de conclusão de curso de pós-graduação do Instituto Brasil Pós, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista. Orientador: Prof. Eduardo da Costa Sousa, Especialista em Data Center. Brasília, 2022.

\*\*Acadêmico (a) do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Infraestrutura de Ambientes Críticos com Ênfase em Data Center do Instituto Brasil Pós.

interligados por meio da internet, seguindo o princípio da computação em grade (SISNEMA, 2009).

Atualmente, as grandes densidades demandadas pela IoT, Blockchain e outros passaram a exigir da área de Cooling novas tecnologias que permitam suportar um aumento de densidade em espaços cada vez menores (KONTOYANIS, 2020). Com isso, se popularizaram as aplicações de confinamento de corredores quentes e frios, aplicação de equipamentos de climatização de precisão de elevada capacidade de remoção de calor sensível, conhecidos como Big CRAHS, bem como o uso de diferentes soluções de insuflamento de ar para o ambiente de Tecnologia da Informação (TI).

O Uptime Institute (2014), levantou que os custos de energia representam hoje até 44% do TCO (custo total da posse) de um Data Center, e com os aumentos dos custos com energia é natural que estratégias para maximizar a eficiência energética sejam cada vez mais consideradas.

Para Marin (2016), o consumo elétrico médio de um DC, em termos gerais, está caracterizado em quase 50% para a climatização. Cargas críticas de TI (sala de equipamentos) representam 36%, fontes de alimentação (UPS) correspondem a 11% e os 3% restantes são utilizados pelo sistema de iluminação.

Segundo o Data Center Guidelines (2012), o controle sobre o fluxo de ar implica no desenvolvimento de novas tecnologias a fim de minimizar ou eliminar a mistura de ar do insuflado no interior das salas de produção e o ar quente expelido pelos equipamentos de TI. Quando aplicado de maneira correta o controle do fluxo de ar pode reduzir custos de investimentos e operacionais, aumentar a capacidade de produção da instalação e reduzir o número de paradas para eventuais manutenções.

Sabendo que o ar condicionado é um dos maiores consumidores de energia em um Data Center, e diante de todas as demandas e evoluções que o mercado mundial vem apresentando, faz-se necessário um correto entendimento da forma mais adequada de insuflamento do ar nesses ambientes.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo Geral**

Definir a melhor estratégia de climatização para ambientes de processamento de dados de pequeno porte e alta densidade de carga.

## 4.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o impacto termodinâmico da utilização das diferentes formas de insuflamento do ar gelado para o ambiente de TI de um Data Center de pequeno porte e alta densidade de carga;
- Avaliar, segundo os critérios recomendados pela ASHRAE TC 9.9 2015 - envelope A1 e segundo os indicadores RTI e RCI, a melhor forma de insuflamento do ar para um Data Center de pequeno porte e alta densidade de carga.

## 5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É imprescindível que análises sejam realizadas a priori da construção ou retrofit de um Data Center para seus equipamentos atendam a demanda de carga instalada e para que todo o ambiente possua a melhor eficiência energética possível. Em geral, do ponto de vista termoenergético, são realizados cálculos analíticos de carga térmica e cálculos de temperatura e da vazão de fluido insuflado bem como a seleção dos equipamentos de climatização. Já do ponto de vista termodinâmico, são realizadas análises com cálculos numéricos em ferramentas computacionais, em geral o Computational Fluid Dynamics (CFD), para entendimento de como o ar se comporta nas condições em que o ambiente está sendo projetado. É importante ressaltar que, ainda na fase de diagnóstico anterior a construção ou retrofit de Data Centers, quaisquer intervenções são muito mais fáceis e menos custosas a serem executadas.

A indústria de *Data Center* é conhecida por sua aversão à riscos, visto que indisponibilidades por vezes trazem riscos devastadores. Dito isso, novas tecnologias normalmente são incorporadas à *Data Centers* "convencionais ou clássicos" após os players mais ousados (como Google, Amazon, Alibaba, Microsoft, Facebook e outros...) usarem com sucesso essas tecnologias. (KONTOYANIS, 2020).

Dessa forma, tecnologias que já vem sendo implementadas e análises que já vem sendo realizadas há muitos anos pelos grandes players do mercado de Data Center tem começado a se difundir e a serem executadas pelos menores players, inclusive pela redução do preço de implementação de certas tecnologias e realização de análises, como a de CFD.

Diferentemente dos CPDs (Centro de Processamento de Dados), cujo conceito era ter um espaço para abrigar computadores, os modernos *Data Centers*, além de hospedarem computadores (equipamentos de TI), constituem-se de salas que abrigam os demais equipamentos de infraestrutura, sistemas provedores de energia e de refrigeração dedicados, sistemas de segurança patrimonial, sistemas de monitoramento e a gerência de todos esses itens (FACCIONI FILHO, 2016). Assim, para a correta e ininterrupta operação desses sistemas, é extremamente necessário que as medidas tomadas sejam realizadas por profissional capacitado e embasadas em normas e fundamentação teórica.

Pesquisas internacionais mostram o custo efetivo associado ao conhecidos *downtimes* em *Data Center* de acordo com o seguimento com este está inserido. Este custo pode ser observado na Tabela 1 e demonstra o impacto de tais paradas em atividades essenciais ao nosso dia a dia. Comparativamente com a última pesquisa realizada pela mesma empresa, em 2014, podemos ver que houve um aumento de 60% no custo médio por hora de *downtime*, de 2014 a 2016.

*Tabela 1 - Custo por hora de Downtime*

<b>Tipo de Negócio</b>	<b>Custo de <i>Downtime</i> por Hora (R\$)</b>
Operações de corretagem	30.624.600,00
Energia	13.379.132,80
Autorização de vendas à credito	12.344.800,00
Telecomunicações	9.810.531,3
Indústria	7.647.385,2
Instituições financeiras	7.089.896,2
Seguros	5.709.204,1
Saúde	3.019.870,4
Reservas aéreas	427.320,00

(Adaptado de: Aberdeen Group, 2016)

Assim, tendo como conhecimento que a parada de um *Data Center* é fator de enorme prejuízo financeiro, e, sabendo também, que a climatização do ambiente é de extrema importância para o manutenção de boas condições internas no ambiente, aquelas determinadas pelas principais normas que dirigem a boa operação de ambientes de missão crítica, a climatização adequada acaba por ser considerada um dos grandes aliados dos gestores que desejam manter seu site em operação constante e reduzir custos.

Com o avanço tecnológico e o grande fluxo de dados, as empresas estão investindo cada vez mais na área de Tecnologia da Informação (TI) (Marin, 2011). Devido ao mencionado avanço houve o aumento da demanda por formas mais confiáveis, seguras e padronizadas para a construção, retrofit, gerenciamento e operação de um *Data Center*, bem como a aplicação de maiores densidades de carga em salas de TI.

Ademais, como a climatização já foi apresentada como um dos maiores consumidores de energia em um DC, algumas técnicas de refrigeração podem ser empregadas com o propósito de reduzir seus custos financeiros e evitar paradas. Entre as principais delas está a redução da mistura do ar frio com o quente (confinamento de corredores); a diminuição de desumidificações 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, 2010).

Do ponto de vista de Moraes Neto (2016), elementos arquiteturais 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, *racks* podem estar dispostos no ambiente de tal forma que exista uma segregação física entre corredores quente e corredores, e, além disso, o confinamento destes corredores é uma das técnicas mais utilizadas para aperfeiçoamento da climatização nos projetos mais atuais de ambientes de TI.

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 climatização: a utilização de *free cooling*, resfriamento evaporativo, termo acumulação e sistemas com absorção também podem e devem ser considerados.

De acordo com o apresentado por Rasmussen (2011), decisões simples e de baixo custo tomadas no projeto de um *Data Centers*, 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 redução de custos e eficiência elevada (RASMUSSEN, 2011).

De toda forma, considerando-se uma ou todas as estratégias mencionadas, a melhor forma de garantir que o *Data Center* permanecerá seguro, operante e confiável, do ponto de vista termodinâmico, é garantir que o ar gelado produzido pelos CRAHs esteja sendo direcionado para onde ele realmente precisa estar (para face dos servidores).

Para isso, nada é mais eficiente do que estudar como é o comportamento de ar da sala como um todo e tomar as devidas medidas para que o ar gelado chegue de tal forma 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, pontos que serão considerados nesse trabalho.

Conforme aponta Vaughan-Nichols (2019), se você estiver operando seu *Data Center* de forma ineficiente, como muitas empresas fazem, o orçamento de resfriamento deste pode ser o dobro do custo de compra e execução do hardware. Isso é muito dinheiro desperdiçado em aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) (VAUGHAN-NICHOLS, 2019). É aí que a procura pelos estudos CFD tem se difundido, procura-se cada vez mais esse tipo de serviço com o intuito de melhorar a difusão de ar no site e diminuir a chance de ocorrência de *downtime* e desperdício de energia.

O CFD pode fornecer informações detalhadas sobre o fluxo de ar tanto para configurações de data centers existentes quanto para configurações propostas antes destas serem construídas (WIBRON et al. 2018). Os procedimentos experimentais são diversas vezes mais caros e demorados. Outra vantagem de usando a modelagem CFD é a possibilidade de analisar as configurações propostas de data center que ainda não foram construídos, sem descartar as possibilidades de uso para melhorias em data centers já existentes.

No entanto, é muito importante que as simulações sejam realizadas com qualidade e precisão. Parâmetros importantes como qualidade da malha computacional, condições de contorno e a escolha do modelo de turbulência devem ser cuidadosamente consideradas (WIBRON et al. 2018).

O uso de técnicas numéricas para modelar o escoamento e temperatura em data centers foi apresentada por Schmidt (2001), que estudou a sensibilidade a alguns fatores de projeto de um data center, bem como a temperatura na entrada do ar dos equipamentos de processamento de dados. Em um artigo semelhante Schmidt et al. (2002) desenvolveu um modelo numérico para fornecer orientação sobre os requisitos de temperatura e vazão de ar em placas de piso perfuradas de forma a fornecer a climatização necessária aos equipamentos de TI. Patel et al. (2001) realizou a modelagem de um data center e validou os resultados numéricos com medições realizadas em ambiente protótipo. Todos os referidos autores argumentam em seus trabalhos que **salas com alta densidade de carga requerem modelagem numérica de forma a se projetar a correta difusão de ar e temperatura pelo *Data Center***, e que, somando a capacidade térmica dos equipamentos de climatização aplicados e distribuindo intuitivamente entre os *racks* não é suficiente para esse tipo de ambiente.

Em um artigo subsequente, Patel et al. (2002), apresentou a necessidade de modelagem numérica para garantir o correto provisionamento das unidades de ar condicionado. Em todos esses estudos a necessidade de modelagem para projetar efetivamente o data center é destacado com frequência.

No passado, projetistas comumente se concentravam na confiabilidade do equipamento de TI, mas isso gerava muito desperdício de energia pelo constante resfriamento excessivo da sala, o que se tornou muito preocupante nos dias de hoje. Portanto, é importante avaliar o adequado fornecimento de ar para reduzir carga térmica de servidores através da análise CFD, sempre baseadas nas normas e boas práticas para Data Center.

Já sabendo que a geometria do ambiente e os equipamentos utilizados devem ser de qualidade e possuir confiabilidade, também é importante destacar que o monitoramento do ambiente é de grande relevância. Para isso, destacam-se alguns indicadores de desempenho que serão discutidos aqui.

Segundo Ascenty (2021) o primeiro, e talvez mais importante indicador para uma análise completa do *Data Center* é o *Power Usage Effectiveness*, também conhecido como PUE, que é um índice que mede a eficiência energética e leva em consideração o gasto energético de todo o *Data Center* e o consumo de energia dos aparelhos de TI. Recomenda-se que o seu resultado seja próximo a 1,0 (ASCENTY, 2021), porém, esse valor é obtido apenas em ambientes ideais.

O governo dos EUA recomendou em um documento de planejamento de sustentabilidade de 2015 que os novos *Data Centers* devessem ser projetados e operados para manter um PUE de no máximo 1,4, mas que todos do setor são incentivados a projetarem ambientes para atingirem um PUE de 1,2. Ainda assim, Google e Facebook já superaram essas recomendações. O Google está gerenciando ambientes com PUE além do recomendado, de 1,12. O Facebook informa que seu principal *Data Center*, Open Compute em Prineville, Oregon, opera com um PUE de 1,07, o que indica que as recomendações já foram superadas pelos grandes players do mercado.

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

Para melhor entendimento e quantificação da eficiência de distribuição do ar na sala de cada análise utilizando a ferramenta de cálculo numérico e CFD serão apresentados os parâmetros RCI (Rack Cooling Index) e RTI (Return Temperature Index), que permitem extrair informações importantes a respeito da performance do sistema de climatização um *Data Center*. O primeiro parâmetro possui dois indicadores, o RCI\_HI e o RCI\_LO que avaliam a porcentagem de *racks* com temperaturas em sua admissão inferiores a temperatura máxima recomendada e o percentual de *racks* com temperaturas em sua admissão superiores a temperatura mínima recomendada, respectivamente. *Data Centers* que buscam maior eficiência devem buscar índices sempre superiores a 90% para ambos os indicadores.

O segundo parâmetro diz respeito a eficiência com que é feita a climatização dos *racks*, valores inferiores a 100% indicam que parte do ar insuflado retorna sem passar pelos *racks* (bypass de ar frio) e valores superiores a 100% indicam recirculação de ar no ambiente de TI (bypass de ar quente). Esses parâmetros e suas recomendações estão descritos resumidamente na Tabela 2. É importante ressaltar que esses parâmetros consideram avaliações globais do ambiente e não são necessariamente válidos para todas as regiões do ambiente de TI, bem como não são válidos exclusivamente para uma região específica.

Tabela 2 - Parâmetros quantitativos de avaliação

Parâmetro	Definição	Valor Desejado
RCI_HI	Parâmetro que avalia o percentual da área da face de entrada do ar nos <i>racks</i> com temperaturas do ar abaixo do valor recomendado de 27°C, em relação ao somatório da área da face de entrada de ar de todos os <i>racks</i>	RCI_HI > 90%
RCI_LO	Parâmetro que avalia o percentual da área da face de entrada do ar nos <i>racks</i> com temperaturas do ar acima do valor recomendado de 18°C, em relação ao somatório da área da face de entrada de ar de todos os <i>racks</i>	RCI_LO > 90%
RTI	Parâmetro que avalia a eficiência do sistema de climatização. Valores abaixo de 100% indicam by-pass de ar gelado e valores acima de 100% indicam recirculação de ar quente no ambiente de TI.	90% < RTI < 110%

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. A Figura 1 traz uma representação de uma carta psicrométrica, com as delimitações para os casos recomendado e permitido, para os diferentes envelopes considerados pela ASHRAE TC 9.9 2015.

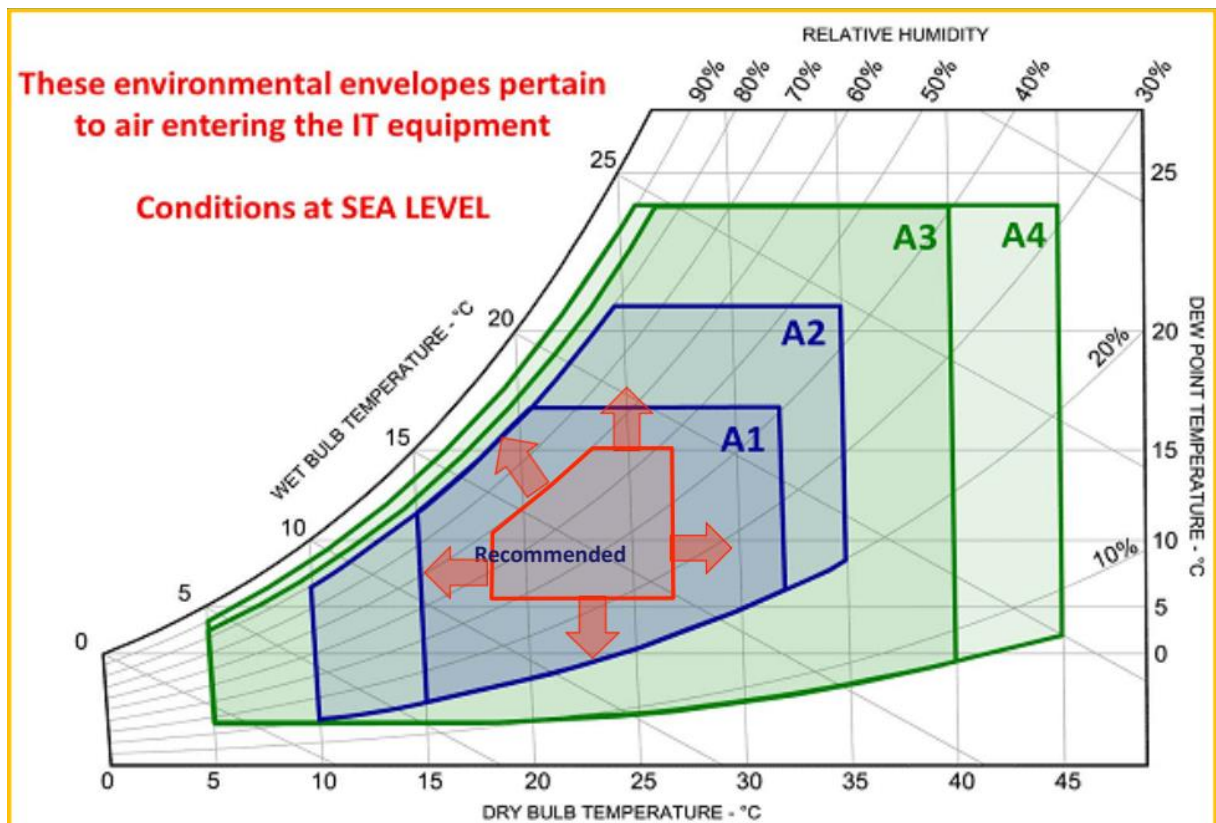


Figura 1 - faixa de operação de acordo com a ASHRAE TC 9.9 2015

É importante lembrar que diversos acessórios são de essencial implementação e manutenção em todos os *Data Centes*. Sem a aplicação de boa parte desses objetos,



provavelmente não seja possível atingir os parâmetros idealizados, projetados, e simulados nos reais ambientes de TI. O correto posicionamento de *racks* nas fileiras de corredores frios e quentes é fundamental para operação correta dos sistemas; a instalação de escovas de piso nas passagens de cabos são de extrema importância para impedir a passagem de ar gelado de entrespisos de insuflamento para o ambiente de TI, por exemplo; placas cegas devem ser instaladas em *racks* que não possuem todos os servidores internos, evitando a recirculação de ar dentro do próprio *rack*; o confinamento completo de corredores são de grande ajuda para dificultar a ocorrência de mistura do ar de insuflamento com o ar de retorno; a correta aplicação de placas de piso perfuradas (apenas em corredores frios) é imprescindível para um bom balanceamento do sistema, quando essa solução for adotada; a adequada vedação do entrespiso e do entreferro, e seus respectivos acessórios, impedem a contaminação de ar do ambiente, quando este for o caso; entre outras coisas.

Finalmente, é essencial entender o funcionamento da ferramenta de cálculo utilizada, a forma de modelagem e a operação dos softwares de *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Estes ajudam os gestores de *facilities* a gerenciar o fluxo de ar de seus *Data Centers*. A precisão da ferramenta como modelo analítico é baseada em capacidade e velocidades computacionais cada vez maiores, tornando as análises cada vez mais rápidas e viáveis. A visualização dos dados é feita tanto de forma quantitativa quanto de forma qualitativa, através de gráficos 3D, o que facilita a interpretação dos resultados.

O primeiro passo na implementação de uma estratégia de resfriamento é identificar a origem dos principais problemas, e se possível, identificar todas essas. O CFD fornece uma simulação detalhada do padrão de fluxo de ar, temperaturas e pressões diferenciais para facilitar a identificação do objeto de análise, principalmente para *Data Centers* já existentes. Também, é possível testar as configurações antes de serem construídas, evitando gastos desnecessários, o que o CFD torna muito importante para estudar e entender o impacto de possíveis mudanças, de forma que ajustes necessários podem ser feitos a tempo, a priori à real implementação.

## 6 METODOLOGIA

Para análise e determinação da melhor solução de climatização para *Data Centers* de pequeno porte e alta densidade de carga, será desenvolvido um modelo computacional base (Cenário Base), ao qual outros modelos farão referência. O Cenário Base reunirá informações de pelo menos três ambientes de TI visitados e aferidos em campo (informação confidencial) e será apresentado como uma média das características desses ambientes.

Dessa forma, a partir do Cenário Base, outros modelos poderão ser desenvolvidos mantendo algumas das principais características do Cenários Base, mas alterando configurações e soluções de climatização, de forma que se permita estudar a eficiência de cada uma das soluções, fazendo uma análise comparativa entre elas.

Serão desenvolvidos, a partir do Cenário Base, oito novos cenários:

- Cenário 1: Cenário com insuflamento realizado diretamente no ambiente (sem entrepiso), por equipamentos de climatização perimetrais e retorno livre do entreforro até o corredor técnico. Aplicação de confinamento de corredores quentes;
- Cenário 2: Cenário com insuflamento realizado diretamente no ambiente (sem entrepiso), por equipamentos de climatização perimetrais e retorno dutado do entreforro até os condicionadores de ar. Aplicação de confinamento de corredores quentes;
- Cenário 3: Cenário com insuflamento realizado no entrepiso (para a frente), por equipamentos de climatização perimetrais e retorno livre do entreforro até o corredor técnico. Aplicação de confinamento de corredores quentes;
- Cenário 4: Cenário com insuflamento realizado no entrepiso (para a frente), por equipamentos de climatização perimetrais e retorno dutado do entreforro até os condicionadores de ar. Aplicação de confinamento de corredores quentes;
- Cenário 5: Cenário com insuflamento realizado no entrepiso (para a frente), por equipamentos de climatização perimetrais e retorno livre do entreforro até o corredor técnico. Aplicação de confinamento de corredores frios;
- Cenário 6: Cenário com insuflamento realizado no entrepiso (para a frente), por equipamentos de climatização perimetrais e retorno de ar pelo ambiente até os condicionadores de ar. Aplicação de confinamento de corredores frios;
- Cenário 7: Cenário com climatização realizada entre *racks* (equipamentos do tipo inrow). Aplicação de confinamento do corredor quente;
- Cenário 8: Cenário com climatização realizada entre *racks* (equipamentos do tipo inrow). Aplicação de confinamento do corredor frio.

Para a análise quantitativa do ambiente serão analisados e comparados os valores obtidos para o RCI\_HI, o RCI\_LO e o RTI, entre todos os cenários desenvolvidos. Já para a análise qualitativa do ambiente, serão avaliadas as imagens gráficas geradas para cada cenário, com identificação da possível ocorrência de efeito venturi, by-pass de ar quente, by-pass de ar gelado, entre outros efeitos importantes, bem como será realizada análise comparativa entre essas.

Aqui, é importante destacar que os ambientes de alta densidade e de pequeno porte considerados neste trabalho serão aqueles de até de 10 kW por rack e de até 450 m<sup>2</sup>, respectivamente. Não obstante, não necessariamente as análises aqui desenvolvidas serão inválidas para ambientes de outros tamanhos ou com outras densidades de carga por *rack*. Por outro lado, é importante destacar que este trabalho não busca direcionar os proprietários e gestores de TI a alguma solução específica. Ressalta-se que, para cada ambiente, é fundamental

o desenvolvimento de simulações CFD particulares e específicas para o entendimento de dinâmica dos fluidos do ambiente.

A partir das análises realizadas, serão apresentados os potenciais prós e contras de cada tipo de abordagem e solução aplicada para climatização.

## 7 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS

Para desenvolvimento dos modelos computacionais foram levantadas informações geométricas de três diferentes Data Centers, em operação ou a serem construídos, e desenvolvida uma geometria computacional base, a qual todos os modelos são referidos. Para tanto, o Cenário Base foi construído com as informações geométricas necessárias para cada um dos demais cenários avaliados, sendo que nem todos os cenários possuem todas as configurações elencadas no Cenário Base, apenas as que se fazem necessárias a cada um dos modelos simulados. Alturas de entreferro, entrepiso e posicionamento de grelhas, por exemplo, não são compartilhadas entre todos os cenários avaliados. Para a modelagem do Cenário Base e facilitação da comparação dos resultados, não foi considerada a modelagem de interferências como eletrocalhas no entrepiso ou dentro da sala de piso branco, pilares, shafts e outros elementos que possam favorecer ou prejudicar uma ou outra solução de climatização específica. As principais características levantadas para o Cenário Base são apresentadas na Tabela 3.

*Tabela 3 - Parâmetros geométricos da sala*

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor adotado</b>
Área total	444 m <sup>2</sup> (20,00m x 22,20m)
Altura do pé direito	4,50 metros
Altura do entreferro	1,00 metro
Altura do entrepiso	0,90 metro

Além dos parâmetros geométricos, também foram desenvolvidas configurações padrão de racks e de equipamentos de climatização para atender cada um dos cenários avaliados. Para todos os cenários são utilizados os parâmetros da Tabela 4 para as informações de *racks*.

Tabela 4 - Parâmetros de racks

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor adotado</b>
Largura	0,60 metro
Altura	2,20 metros
Profundidade	1,20 metro
Potência por <i>rack</i>	8500 W
Potência total	1.200.000 W
Quantidade de <i>racks</i> por fileira	15
Quantidade total de <i>racks</i>	120
Vazão por kW	165 CFM/kW

Para a climatização dos diferentes cenários avaliados, são utilizadas as informações da Tabela 5 ou da Tabela 6 a depender do tipo de solução de climatização avaliada para cada cenário. Para os Cenários 1, 2, 3, 4, 5 e 6 são utilizadas as informações da Tabela 5, apresenta a seguir, para os parâmetros de *fan coils*.

Tabela 5 - Parâmetros de equipamentos de climatização do tipo 1 – Fan Coil

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor adotado</b>
Largura	3,10 metros
Altura	1,95 metros
Profundidade	0,85 metro
Capacidade Sensível	167,2 kW
Temperatura de insuflamento	24°C
Vazão Nominal	11,11 m <sup>3</sup> /s (40.000 m <sup>3</sup> /h)
Quantidade de <i>Fan Coils</i>	10
Topologia	N + 2 (Redundância ativa)

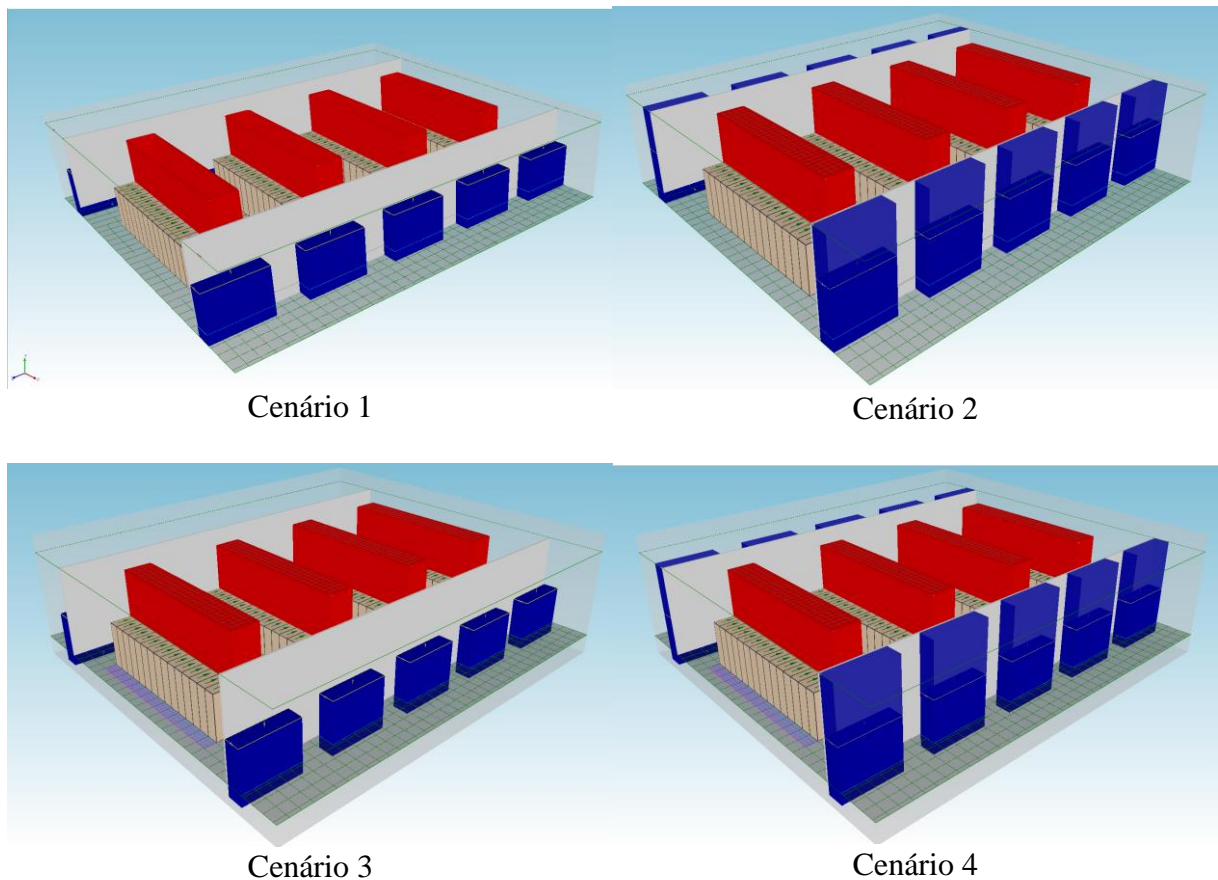
Por outro lado, para os Cenários 7 e 8 são utilizados os parâmetros da Tabela 6, apresentada na sequência, para os parâmetros de inrows.

Tabela 6 - Parâmetros de equipamentos de climatização do tipo 2 – Inrow

Parâmetro	Valor adotado
Largura	0,30 metro
Altura	2,20 metros
Profundidade	1,20 metro
Capacidade Sensível	34,83 kW
Temperatura de insuflamento	24°C
Vazão por equipamento	2,31 m <sup>3</sup> /s (8.332,5 m <sup>3</sup> /h)
Quantidade de <i>inrows</i>	48
Topologia	N + 8 (Redundância ativa)

Para os cenários que utilizam retorno de ar pelo entreforro, com ou sem aplicação de confinamento de corredores quentes, são utilizadas grelhas de retorno com o percentual de permeabilidade de 65%. Além disso, para os cenários que utilizam insuflamento de ar pelo entrepiso são utilizadas placas de piso perfuradas com percentual de permeabilidade de 54%. Por fim, é considerado percentual de permeabilidade em confinamentos de corredores, sejam quentes ou frios, de 5%.

A Figura 2 mostra a geometria desenvolvida para cada um dos cenários avaliados.



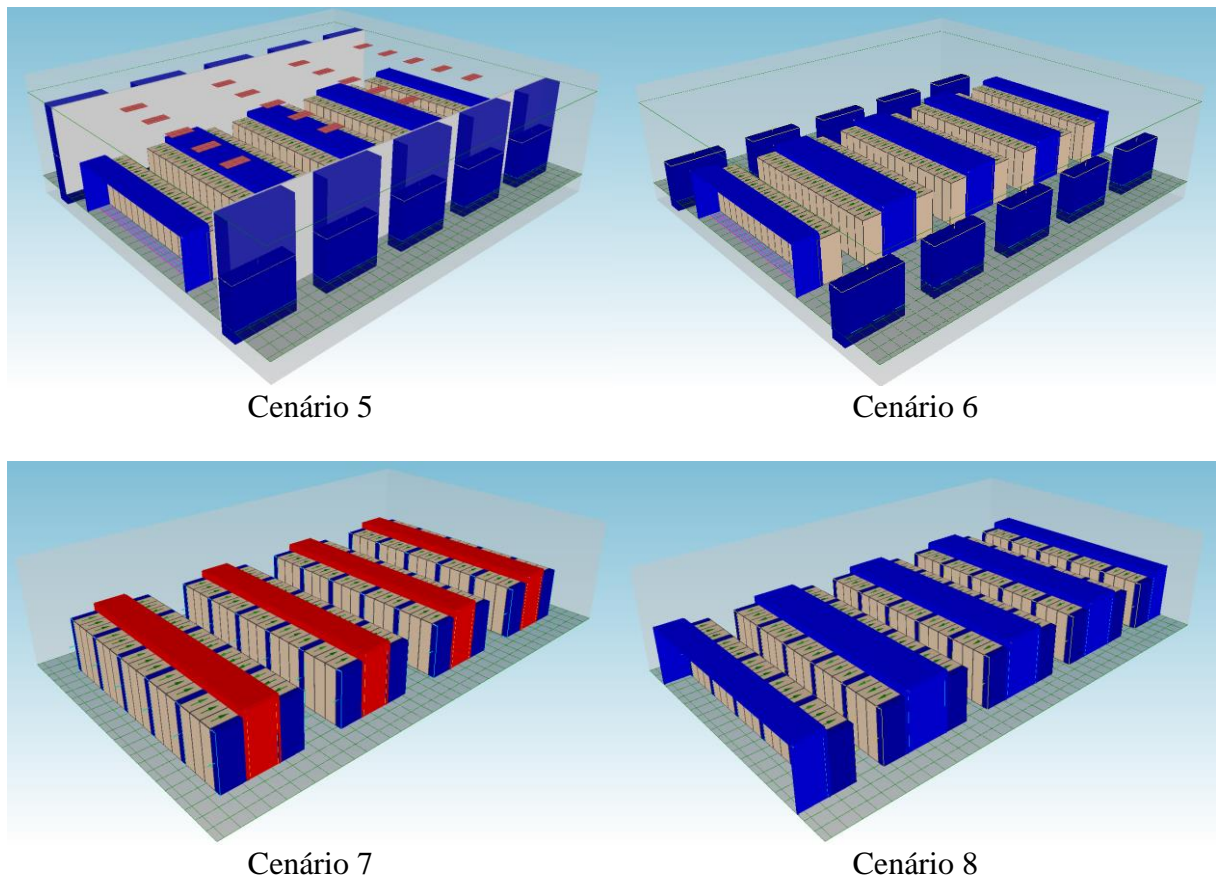


Figura 2 - Modelagem desenvolvida para cada um dos cenários avaliados

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tendo descrito e mostrado a geometria de cada um dos cenários desenvolvidos, foram realizadas as simulações para cada um dos cenários avaliados e comparados os resultados e as eficiências de climatização obtidas para cada caso. Para comparação dos resultados obtidos serão apresentados os resultados quantitativos de cada um dos cenários e os resultados gráficos do pior e o melhor cenário em relação aos parâmetros avaliados para definição do melhor cenário de climatização.

Para a simulação foi considerada a densidade do ar de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ , altitude de 0 metro (nível do mar), temperatura dos ambientes adjacentes ao data center de  $22^\circ\text{C}$  e resistência térmica das paredes adjacentes ao volume de controle de  $0,352 \text{ m}^2.\text{K/W}$ .

A Tabela 7 mostra o resumo dos principais resultados quantitativos para cada um dos cenários avaliados. Nessa tabela a malha representa a quantidade de células que contem a malha desenvolvida para cada geometria, o RTI, o RCI\_HI e o RCI\_LO representam eficiência da difusão de ar calculadas para cada cenário,  $T_{ad,máx,r}$  representa a temperatura máxima de admissão na superfície de entrada de ar dos racks e  $T_{ret,máx}$  representa a temperatura máxima de retorno observada nos equipamentos de climatização.

Tabela 7 - Resumo dos resultados quantitativos

Parâmetro	Cen. 1	Cen. 2	Cen. 3	Cen. 4	Cen. 5	Cen. 6	Cen. 7	Cen. 8
Vazão Isuflada [m <sup>3</sup> /s]	88,80	88,80	88,80	88,80	88,80	88,80	88,80	88,80
Vazão Demandada [m <sup>3</sup> /s]	79,77	79,77	79,58	79,59	79,46	79,48	79,47	79,48
Malha	347k	338k	516k	492k	448k	508k	249k	249k
RTI	89,83	89,84	89,62	89,62	89,49	89,51	89,49	89,5
RCI_HI	89,34	89,31	95,52	95,41	100	98,71	100	100
RCI_LO	100	100	100	100	100	100	100	100
$T_{ad,máx,r}$ [°C]	30,27	30,51	30,05	30,31	26,18	27,90	24,42	24,73
$T_{ret,máx}$ [°C]	33,71	34,01	33,57	33,63	33,69	33,60	33,63	33,72

Sendo assim, podemos extrair, a priori, importantes conclusões sobre os resultados numéricos obtidos.

Primeiramente, é importante ressaltar que do ponto de vista energético, não se fizeram importantes análises quanto ao PUE de cada um dos cenários uma vez que foram consideradas potências de racks fixas entre os cenários e potências de climatização bem próximas para cada um destes, não sendo eficaz a análise quanto ao PUE em cada caso. De forma complementar, também é importante destacar que a malha desenvolvida para cada cenário varia de acordo com a quantidade, complexidade e posição dos elementos modelados, mas que, para o estudo em questão, apesar da simplicidade dos modelos desenvolvidos a quantidade de células da malha trouxe resultados precisos para cada modelo (erro médio calculado de  $10^{-5}$ ). Para os Cenários 7 e 8, a malha desenvolvida é de menor ordem de grandeza uma vez que essas simulações desprezaram os corredores técnicos existentes nas outras simulações, reduzindo o volume de controle e, conseqüentemente, a ordem de grandeza da malha desenvolvida.

Em segundo lugar a análise das métricas de RTI, RCI\_HI e RCI\_LO trouxe conclusões significativas. Do ponto de vista do atendimento as temperaturas recomendadas pela TC 9.9 da ASHRAE, nenhum dos cenários simulados extrapolou o limite inferior de temperaturas, até porque para todos os casos a temperatura de insuflamento considerada nos equipamentos de climatização é de 24°C. Por outro lado, os únicos cenários que apresentaram total conformidade com o range de temperaturas recomendado pela ASHRAE TC 9.9 foram os Cenários 5, 7 e 8.

O Cenário 5, que é o cenário com insuflamento pelo entrepiso, confinamento de corredores frios e retorno pelo entreferro, condição amplamente verificada em Data Centers existentes, apesar de estar entre os três melhores cenários, do ponto de vista de atendimento as



temperaturas recomendadas, apresentou a máxima temperatura na superfície de admissão de ar dos *racks* de mais de 26°C, enquanto os Cenários 7 e 8 apresentaram máximas temperaturas na superfície de admissão de ar dos *racks* de cerca de 25,5°C, indicando que esses cenários possuem melhor difusão de ar no ambiente e temperatura mais amenas na face de admissão de ar de todos os *racks*, uma vez que os equipamentos de climatização estão mais próximos dos equipamentos de dissipação de carga térmica.

Em relação a razão entre as vazões de ar insuflado e demandado, pouco pode-se concluir a respeito, uma vez que para todos os cenários as vazões de ar insuflado e demandado são praticamente idênticas entre os cenários e as únicas alterações são em relação a solução de climatização adotada.

Finalizando as análises quantitativas das métricas, do ponto de vista de remoção de calor dos *racks*, os Cenários 7 e 8 foram os cenários que apresentaram melhores resultados, tanto por possuírem as menores temperaturas na superfície de admissão de ar dos *racks* quanto por possuírem os equipamentos de climatização mais perto das regiões de produção de calor, ainda que o Cenário 7 apresente resultados de temperaturas na face de admissão dos *racks* ligeiramente inferiores quando comparados com o Cenário 8.

Assim sendo, foram comparadas as análises gráficas em diferentes posições para a temperatura, pressão e velocidade na sala entre todos os cenários. A seguir, são apresentadas as imagens de temperaturas na face dos *racks* e cortes a 1,50 metro acima do piso para a temperatura no melhor e no pior cenário avaliado. Os melhores resultados obtidos foram para o Cenário 7 e os piores resultados obtidos ocorreram no Cenário 2.

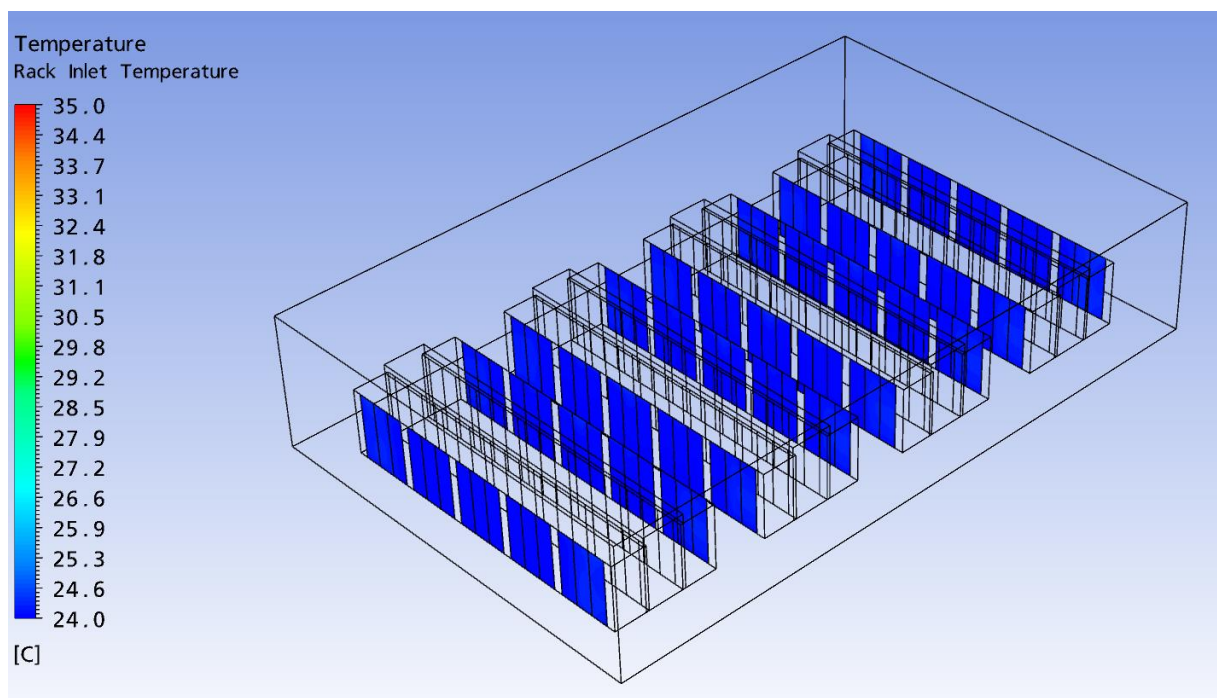


Figura 3 - Mapa de temperaturas na admissão de ar dos racks - Cenário 7



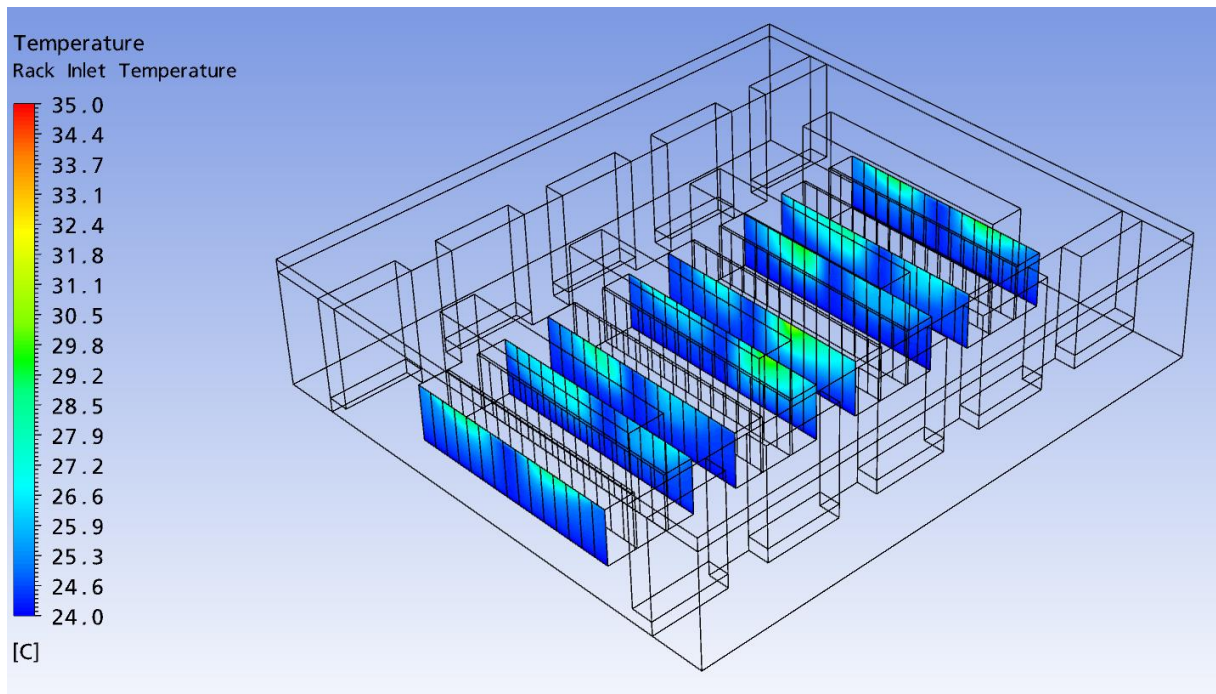


Figura 4 - Mapa de temperaturas na admissão de ar dos racks - Cenário 2

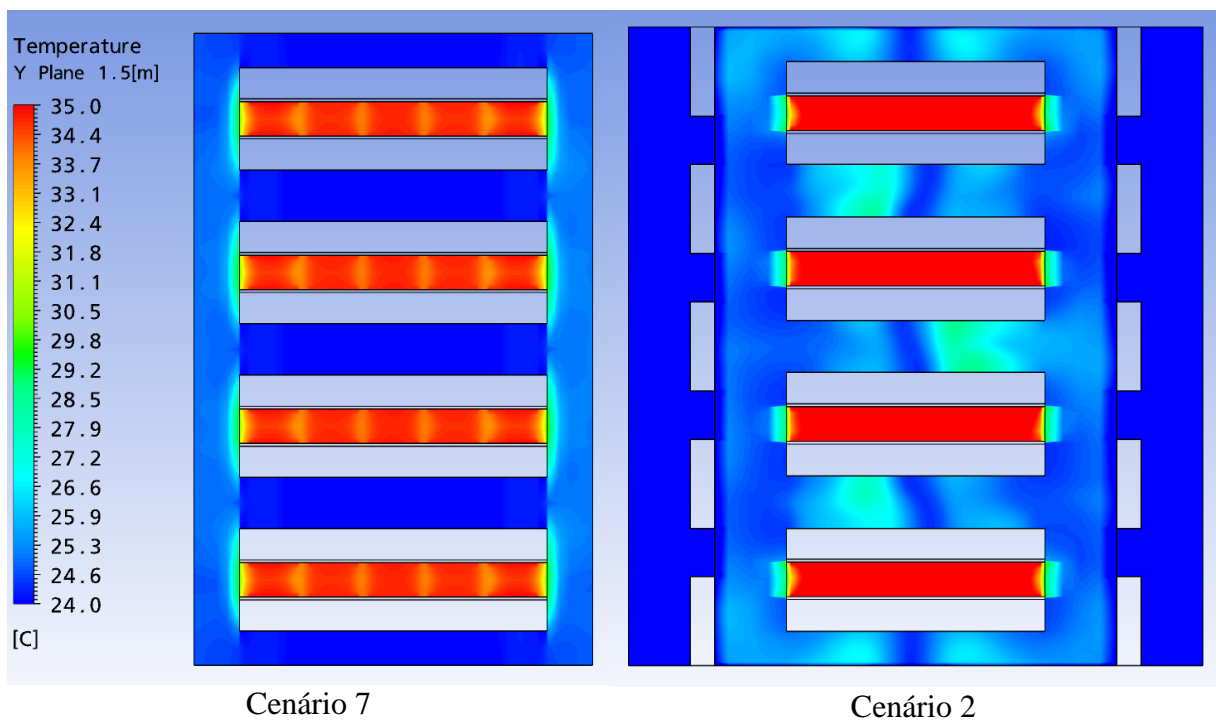


Figura 5 - Comparativo de temperaturas a 1,50 metros acima do piso

Além da comparação de temperaturas, também foram realizadas comparações de pressões e velocidades do ar em diferentes posições na sala. Quanto as análises de pressões e velocidades, foi verificado tanto no Cenário 1 quanto no Cenário 2, cenários nos quais o ar é insuflado perimetral mente direto no ambiente que quando as massas de ar frio insufladas por fan coils que estão frente a frente se chocam, ocorre a formação de vórtices verticais nos corredores frios devido ao surgimento de regiões de altas e baixas pressões e, conseqüentemente, altas e baixas velocidades. Nos cenários aonde este fenômeno ocorre, a parte superior dos racks que estão a 1/3 e a 2/3 do comprimento das fileiras de racks possuem temperaturas mais elevadas em sua

admissão, uma vez que é o centro dos vórtices formados e, portanto, as regiões de mais baixas pressões na sala, dificultando a admissão de ar por esses racks. A Figura 6 a seguir mostra a ocorrência do fenômeno no Cenário 2.

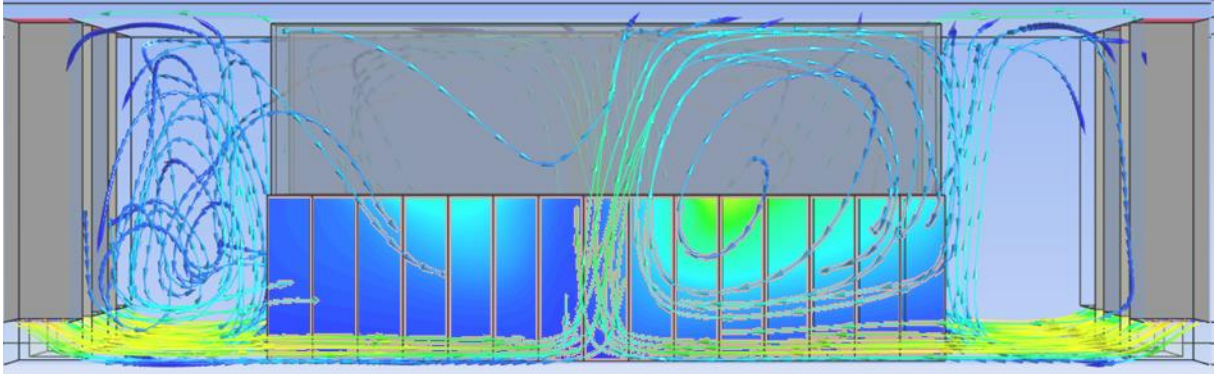


Figura 6 - Identificação da ocorrência de vórtices verticais – Cenário 2

Outros fenômenos foram identificados nestes e em outros cenários, como a ocorrência de efeito venturi, mesmo que mínima, e pequenos vazamentos de ar de corredores confinados para o ambiente, mas estes fenômenos não comprometeram a solução adotada nos cenários analisados.

Por fim, uma análise numérica das máximas temperaturas observadas na face de cada um dos racks ( $T_{ad,máx,r}$ ) do Cenário 7 e do Cenário 2 é apresentada na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Comparativo entre as máximas temperaturas por rack - Cenário 7 e Cenário 2

Fileira	Rack	$T_{ad,máx,r}$ - Cenário 7	$T_{ad,máx,r}$ - Cenário 2
Fileira 1	Rack 1	24,39	25,94
	Rack 2	24,33	27,65
	Rack 3	24,18	28,75
	Rack 4	24,07	29,23
	Rack 5	24,04	29,04
	Rack 6	24,04	27,01
	Rack 7	24,03	25,06
	Rack 8	24,02	24,74
	Rack 9	24,03	26,44
	Rack 10	24,03	28,62
	Rack 11	24,03	29,46
	Rack 12	24,05	29,26
	Rack 13	24,19	28,49
	Rack 14	24,37	27,39
	Rack 15	24,42	25,65
Fileira 2	Rack 1	24,27	26,66
	Rack 2	24,26	26,82
	Rack 3	24,06	27,11
	Rack 4	24,04	27,53
	Rack 5	24,14	28,04
	Rack 6	24,08	28,47
	Rack 7	24,16	28,19
	Rack 8	24,33	25,62
	Rack 9	24,15	24,67
	Rack 10	24,08	25,78

Fileira 2	Rack 11	24,14	26,55
	Rack 12	24,04	26,76
	Rack 13	24,07	26,84
	Rack 14	24,29	26,71
	Rack 15	24,30	25,24
Fileira 3	Rack 1	24,28	25,32
	Rack 2	24,26	26,33
	Rack 3	24,07	27,67
	Rack 4	24,04	28,93
	Rack 5	24,16	29,46
	Rack 6	24,1	29,38
	Rack 7	24,17	26,56
	Rack 8	24,32	24,66
	Rack 9	24,13	25,72
	Rack 10	24,08	26,66
	Rack 11	24,13	26,43
	Rack 12	24,03	25,98
	Rack 13	24,07	26,26
	Rack 14	24,29	26,29
	Rack 15	24,30	25,74
Fileira 4	Rack 1	24,27	24,70
	Rack 2	24,26	25,12
	Rack 3	24,06	26,53
	Rack 4	24,04	27,26
	Rack 5	24,18	27,28
	Rack 6	24,11	26,48
	Rack 7	24,15	24,98
	Rack 8	24,33	25,46
	Rack 9	24,15	27,79
	Rack 10	24,09	30,51
	Rack 11	24,15	30,49
	Rack 12	24,03	29,36
	Rack 13	24,07	28,34
	Rack 14	24,29	27,51
	Rack 15	24,31	26,88
Fileira 5	Rack 1	24,27	25,38
	Rack 2	24,26	27,02
	Rack 3	24,06	27,27
	Rack 4	24,04	27,16
	Rack 5	24,18	26,78
	Rack 6	24,11	26,47
	Rack 7	24,14	25,87
	Rack 8	24,32	24,77
	Rack 9	24,15	26,2
	Rack 10	24,09	28,33
	Rack 11	24,15	30,02
	Rack 12	24,03	30,13
	Rack 13	24,07	29,43
	Rack 14	24,29	28,12
	Rack 15	24,31	26,74
Fileira 6	Rack 1	24,28	25,05
	Rack 2	24,26	25,77

Fileira 6	Rack 3	24,06	27,39	
	Rack 4	24,04	28,54	
	Rack 5	24,16	28,52	
	Rack 6	24,09	27,66	
	Rack 7	24,18	25,72	
	Rack 8	24,33	24,8	
	Rack 9	24,14	25,89	
	Rack 10	24,08	26,39	
	Rack 11	24,13	26,35	
	Rack 12	24,03	26,19	
	Rack 13	24,07	25,73	
	Rack 14	24,29	25,19	
	Rack 15	24,30	24,72	
	Fileira 7	Rack 1	24,40	25,90
		Rack 2	24,33	27,39
Rack 3		24,18	28,28	
Rack 4		24,07	28,8	
Rack 5		24,04	28,81	
Rack 6		24,05	27,44	
Rack 7		24,03	25,4	
Rack 8		24,02	24,71	
Rack 9		24,03	26,20	
Rack 10		24,03	28,02	
Rack 11		24,03	28,58	
Rack 12		24,05	28,44	
Rack 13		24,19	27,84	
Rack 14		24,37	26,95	
Rack 15		24,42	25,42	
Fileira 8	Rack 1	24,27	26,30	
	Rack 2	24,26	26,42	
	Rack 3	24,06	26,67	
	Rack 4	24,04	26,96	
	Rack 5	24,14	27,31	
	Rack 6	24,08	27,70	
	Rack 7	24,16	27,53	
	Rack 8	24,33	25,51	
	Rack 9	24,15	24,62	
	Rack 10	24,08	25,51	
	Rack 11	24,14	25,86	
	Rack 12	24,04	26,30	
	Rack 13	24,07	26,68	
	Rack 14	24,29	26,74	
	Rack 15	24,30	26,45	

Em todos os cenários os racks foram nomeados em ordem crescente da esquerda para a direita e as fileiras foram nomeadas em ordem crescente de cima para baixo.

Tendo analisado as temperaturas na face de admissão de ar desses dois cenários, foi constada a ocorrência de temperaturas acima de 27°C, temperatura máxima recomendada para admissão de ar na face dos racks pela ASHRAE TC 9.9, em 51 dos 120 racks do Cenário 2, mesmo que em regiões pontuais. Já para o Cenário 7, não foram verificadas temperaturas acima

de 27°C na face de admissão de ar de nenhum dos racks. Ainda, não foram verificadas temperaturas acima de 32,2°C, temperatura máxima permitida na face de admissão de ar dos racks de nenhum dos cenários mencionados acima bem como de nenhum dos cenários avaliados nesse trabalho.

Assim, é evidente que temperaturas mais elevadas na face de admissão de ar dos racks são observadas para praticamente todos os racks do Cenário 2 (pior cenário avaliado) quando comparadas com as mesmas temperaturas para o Cenário 7 (melhor cenário avaliado). Muito disso se deve ao fato de a climatização estar sendo realizada mais próxima a fonte de calor, reduzindo acréscimos de temperatura e misturas de ar quente e frio que podem, pontualmente, estar ocorrendo no Cenário 2. Por outro lado, a quantidade de equipamentos de climatização em operação no Cenário 7 é muito maior, trazendo diversos outros custos e riscos intrínsecos a essa solução, como a maior necessidade de manutenção nesses equipamentos e a necessidade de acesso de um técnico especializado nesses equipamentos no ambiente de processamento de dados, por quaisquer motivos que possam ser necessários.

Por fim, mais uma vez, é importante ressaltar que a análise aqui realizada não tem o intuito de orientar para a escolha de uma ou outra solução de climatização para ambientes de missão crítica, uma vez que, cada ambiente possui suas peculiaridades e para os cenários avaliados algumas simplificações geométricas foram realizadas.

## **CONCLUSÕES**

Os modelos computacionais descritos neste artigo tiveram como finalidade demonstrar o potencial térmico e a difusão de ar em acordo com a geometria desenvolvida para cada um dos cenários avaliados, para diagnosticar, por meio da ferramenta de CFD a melhor solução de climatização, dentre as avaliadas, para um Data Center de pequeno porte de alta densidade.

Tendo realizado as oito simulações previstas na metodologia deste trabalho, pode-se afirmar que, para a geometria desenvolvida, e com todas as simplificações aqui previstas, o melhor cenário para operação de um Data Center de pequeno porte, contendo 120 racks com carga unitária de 8,5 kW e 165 CFM/kW cada, a melhor solução de climatização a ser adotada, unicamente do ponto de vista de distribuição de ar e de atendimento as temperaturas operativas recomendadas pela ASHRAE TC 9.9, é a de climatização por equipamentos do tipo inrow (entre os racks) com confinamento de corredores quentes.

Ainda que essa solução possa possuir maior CAPEX, OPEX e mais riscos quanto a segurança dos dados, os resultados obtidos para o Cenário 7 por possuir equipamentos de climatização mais próximos aos equipamentos que produzem calor na sala e por possuir estratégia de confinamento de corredores, evitando a mistura de ar quente e frio na sala, trouxe os melhores resultados do ponto de vista termodinâmico para o ambiente desenvolvido.

## REFERÊNCIAS

ABERDEEN GROUP, 2016. **The (Rising!) Cost of Downtime**

ASCENTY, 2021. **Eficiência Energética Em Data Center: O Que Você Precisa Saber! - Ascenty - Data Centers**. Ascenty, 6 Dec. 2021, Disponível em: <https://www.ascenty.com/blog/artigos/eficiencia-energetica-em-data-center/>. Acesso em 30/03/2022

DATA CENTER DESIGN GUIDELINES, 2012. **Data Center Best Practices Guide. Energy efficiency solutions for high-performance Data Centers**

FACCIONI FILHO, M., 2016. **Gestão da Infraestrutura do Datacenter**. Livro Digital, Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul, Palhoça

KONTOYANIS, Alexandre. **Estratégias De Cooling Para o Data Center Corporativo**. 11 Mar. 2020, Disponível em: <https://www.datacenterdynamics.com/br/opini%C3%B5es/estrat%C3%A9gias-de-cooling-para-o-data-center-corporativo/> Acesso em 29 de mar. 2022

MARIN, P. S., 2011. **Data Center: Desvendando cada passo: conceitos, projeto, infraestrutura física e eficiência energética**. 1ª ed. São Paulo: Érica

MARIN, P. S, 2016. **Data Centers-Engenharia: Infraestrutura Física**. São Paulo: PM Books

MORAES NETO, M. F., 2016. **Gestão dos ativos do Datacenter**. Livro Digital, Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul, Palhoça

PATEL, C.D; BASH, C.E; BELADY, C; STAHL, L; SULLIVAN, D, 2001. **Computational fluid dynamics modeling of high compute density data centers to assure system inlet air specifications**, International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition

PATEL, C.D; SHARMA, R.K; BASH, C.E; BEITELMAL, A, 2002. **Thermal considerations in cooling large scale high density data centers**, IThERM 2002, Eight Intersociety Conference Thermal and Thermo-Mechanical Phenomena in Electronic Systems, S. Diego, California

RASMUSSEN, N., 2011. **Implementing Energy Efficient Data Centers**. White Paper 114. Schneider Electric

SCHMIDT, R., 2001. **Effect of Data Center Characteristics on Data Processing Equipment Inlet Temperatures**, International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition

SCHMIDT, R; CRUZ, E; 2002. **Raised floor computer data center: Effect on rack inlet temperatures of chilled air exiting both the hot and cold aisles**, Inter society conference on Thermal Phenomena, San Diego, California, June 2002

SISNEMA, 2009. Cloud computing - novo modelo de computação

UPTIME INSTITUTE, 2014. **Data Center Site Infrastructure Tier Standard: Operational Sustainability**

VAUGHAN-NICHOLS, Steven J. **The Best Ways to Manage Data Center Airflow**. Tech-Beacon, 22 Jan. 2019, Disponível em: <https://techbeacon.com/enterprise-it/best-ways-manage-data-center-airflow>. Acesso em 29 de Mar. de 2022

VERAS, M., 2010. **Datacenters: Componente Central da Infraestrutura de TI**. 1 ed. Rio de Janeiro: Brasport

WIBRON, Emelie; LJUNG, Anna-Lena; LUNDSTROM, T Sraffan, 2018. **Computational Fluid Dynamics Modeling and Validating Experiments of Airflow in a Data Center**