



**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DO  
ENCLAUSURAMENTO DE CORREDORES  
EM AMBIENTES DE DATA CENTER**

Por,

**Brenno Khappalla Santos**

Brasília, 23 de Junho de 2014

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica

## PROJETO DE GRADUAÇÃO

# ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DO ENCALUSURAMENTO DE CORREDORES EM AMBIENTES DE DATA CENTER

POR,

**Brenno Khappalla Santos**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Mecânico.

### **Banca Examinadora**

Taygoara Felamingo de Oliveira, UnB/ ENM (**Orientador**)

João Manoel Dias Pimenta, UnB/ ENM

Armando Azevedo Caldeira Pires, UnB/ ENM

José Silvério Lage, CREA 11607 D-DF

.....  
.....  
.....  
.....

Brasília, 23 de Junho de 2014

## **Agradecimentos**

*Agradeço primeiramente a Deus que me guiou e me guia até hoje, pela força que Ele me dá e por me suportar em tantos momentos. Agradeço a minha família pelo carinho e dedicação em todos esses anos de luta. Essa vitória é graças a eles, em especial a minha nova família de Brasília que me acolheu e auxiliou em todos os momentos durante esses anos, sem o aporte oferecido por eles eu nem mesmo poderia ter começado esse novo desafio. Sou grato, também, aos meus velhos e novos amigos por todos os momentos alegres e tristes convividos. Com muitos deles sorri, com outros chorei, mas com todos pude compartilhar parte de quem eu sou e ter deles um pouco da essência de cada um. Meu muito obrigado as equipes técnica e acadêmica, as quais tornaram esse projeto possível e também contribuíram de maneira singular para a formação do meu caráter.*

---

## **RESUMO**

Os Data Centers tornaram-se um ambiente tecnológico cada vez mais presente no cotidiano da sociedade, gerindo sistemas que são responsáveis pela organização estrutural de corporações e até países. Com o aumento da produção de informações, para administrar tais sistemas o consumo de energia tende a aumentar significativamente nos próximos anos. Este trabalho apresenta uma análise de eficiência energética através da implementação de enclausuramento de corredores frios em Data Centers a fim de reduzir os custos totais com a refrigeração do sistema.

---

## **ABSTRACT**

The Data Centers have become an increasingly technological environment present in everyday life, managing systems that are responsible for the structural organization of corporations and even countries. With the increased production of information to administer such systems, the energy consumption is likely to increase significantly in the coming years. This paper presents an analysis of energy efficiency through the implementation of enclosure of cold aisle in Data Centers in order to reduce total costs with the cooling system.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVAÇÃO .....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Gerais .....	2
1.2.2. Específicos .....	2
1.3. METODOLOGIA .....	2
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1. HISTÓRICO.....	4
2.2. NORMAS.....	6
2.2.1. TIA-942.....	7
2.2.2. ASHRAE TC 9.9.....	8
2.3. PRÁTICAS DE ENGENHARIA .....	11
2.3.1. Gerenciamento do fluxo de ar (Air Management) .....	15
2.3.2. Parâmetros de eficiência.....	22
RCI (Índice de arrefecimento do rack).....	22
RTI (Índice de retorno de temperatura) .....	23
<b>3. DATA CENTER DO BANCO DO BRASIL .....</b>	<b>25</b>
3.1. APRESENTAÇÃO .....	25
3.2. DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES (DADOS TÉCNICOS) .....	26
<b>4. ENCLAUSURAMENTO DE CORREDORES.....</b>	<b>29</b>
4.1. CONFINAMENTO DE CORREDOR FRIO (CAC).....	30
4.2. CONFINAMENTO DE CORREDOR QUENTE (HAC).....	31
4.3. CHAMINÉS (VED) .....	31
<b>5. CFD (DINÂMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL) .....</b>	<b>34</b>
5.1. EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS .....	36
5.1.1. Fenômenos de transporte.....	36
5.2. MODELOS NUMÉRICOS .....	37
5.3. CONDIÇÕES DE CONTORNO.....	38
5.4. MODELO COMPUTACIONAL CFX .....	39
5.4.1. Etapas do CFD .....	40
5.4.2. Geração da malha .....	40
5.4.3. Condições de contorno .....	41

5.4.4.	Pré-processador .....	42
5.4.5.	Processador (CFX Solver).....	42
5.4.6.	Pós-processador.....	42
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
6.1.	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	44
6.2.	CORREDOR IBM (VALIDAÇÃO DA SIMULAÇÃO).....	46
6.2.1.	Coleta de dados (Procedimentos de medidas).....	46
6.2.2.	Simulação .....	51
6.3.	CORREDOR EMERSON .....	55
6.3.1.	Simulação .....	56
6.3.2.	Sem confinamento.....	57
6.3.3.	Com confinamento .....	61
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>
	ANEXO I – ROTINA PARA A DETERMINAÇÃO DO FLUXO MÁSSICO. ....	70
	ANEXO II – INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO .....	71
	Termo-Higrômetro MTH-1380.....	71
	Balômetro Alnor EBT 721 .....	72
	Régua elétrica Avocent PM 3000 .....	73
	ANEXO III – DESENHOS CAD .....	74
	ANEXO IV – REPRESENTAÇÃO DO POSICIONAMENTO DOS RACKS PARA O CORREDOR EMERSON .....	77
	ANEXO V – RESULTADOS PARA SIMULAÇÃO DE VALIDAÇÃO.....	78
	Entrada dos racks: .....	79
	Saída dos racks:.....	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de Data Centers definidos pela norma TIA-942. ....	7
Figura 2: Ambientes relacionado à operação de um Data Center (ASHRAE TC 9.9, 2011).....	9
Figura 3: Ambientes para diferentes classes de Data Center (ASHRAE).....	10
Figura 4: Ilustração da parcela de gastos no gerenciamento de um Data Center. ....	12
Figura 5: Evolução de carga térmica em aplicações de TI (ASHREA, 2007) .....	13
Figura 6: As direções dos fluxos de ar nos racks para a configuração de corredor quente e frio (ASHREA, 2009) .....	17
Figura 7: Leiaute para o corredor quente e frio em um Data Center (ASHREA, 2009). ....	18
Figura 8: Configuração mais comum em ambientes de Data Centers (ASHREA, 2009). ....	18
Figura 9: Representação para os fenômenos de <i>by-pass</i> e de recirculação (U.S. Department of Energy, 2012). ....	19
Figura 10: Piso elevado congestionado por cabos (Furukawa, 2008). ....	20
Figura 11: Piso elevado com os cabos organizados de maneira correta (Furukawa, 2008). ....	20
Figura 12: Recortes no piso elevado sem a vedação necessária (Furukawa, 2008). ....	20
Figura 13: Vedações para recortes em piso elevado (Solutions, 2013). ....	20
Figura 14: Densidade de calor em zonas de <i>hotspot</i> (mais calor por m <sup>2</sup> ) (Aceco TI, 2010). ....	21
Figura 15: Representação esquemática da divisão do ICI-II. ....	27
Figura 16: Representação de um corredor enclausurado frio (à esquerda) e um quente (à direita) (Future-Tech, 2013). ....	31
Figura 17: Vista da aplicação de um sistema VED (Simeon, 2013). ....	32
Figura 18: Detalhe da instalação de um sistema exaustor em um rack (Simeon, 2013). ....	32
Figura 19: Representação de como o volume fluido produz calor no interior do rack (configuração inicial para a simulação).....	39
Figura 20: Diferentes estruturas para geração das malhas. (a) Hexaédrica, (b) Tetraédrica, (c) Pentaédrica, (d) Piramidal. ....	40
Figura 21: Diferentes tipos de malhas (Batista, 2005). ....	41
Figura 22: Corredor genérico Emerson. ....	44
Figura 23: Termohigrômetro Minipa MTH-1380 (Minipa, 2012). ....	47
Figura 24: Balômetro Alnor EBT 721 (www.tsi.com, 2013). ....	47
Figura 26: Configuração dos racks e nomeação de acordo com a posição. ....	48
Figura 25: Pontos de coleta de dados (Esquerda insuflamento e Direita exaustão). ....	48
Figura 27: Régua elétrica Avocent PM 3000 (Avocent, 2013). ....	49
Figura 28: Termografias na saída dos racks (Corredor IBM). ....	52
Figura 29: Simulação do campo de escoamento (Corredor IBM). ....	53
Figura 30: Temperaturas de entrada nos racks para a configuração sem confinamento. ....	59

Figura 31: Termografias baseadas em parâmetros ASHRAE (sem confinamento).....	60
Figura 32: Linhas de corrente para o Corredor Emerson não confinado. ....	61
Figura 33: Termografias na entrada dos racks para o ambiente enclausurado.....	62
Figura 34:Termografias baseadas em parâmetros ASHRAE (com confinamento).....	63
Figura 35: Linhas de corrente para o Corredor Emerson enclausurado. ....	63
Figura 38: Mapeamento dos racks para o Corredor Emerson. ....	77
Figura 39: Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na entrada do rack A.....	79
Figura 40:Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na entrada do rack D.....	79
Figura 41:Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na entrada do rack G.....	80
Figura 42:Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na entrada do rack J. ....	80
Figura 43:Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na saída do rack A. ....	81
Figura 44:Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na saída do rack D. ....	81
Figura 45:Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na saída do rack G. ....	82
Figura 46:Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na saída do rack J.....	82



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Custo por hora de Downtime. ....	6
Tabela 2: Especificações térmicas para o ambiente de Data Center. ....	23
Tabela 3: Discriminação das instalações do CCT-DF.....	25
Tabela 4: Coleta de dados. ....	49
Tabela 5: Resultados para o $RCI_{HI}$ , $RCI_{LO}$ e RTI experimentais.....	50
Tabela 6: Carga térmica para o corredor IBM .....	50
Tabela 7: Vazão mássica para o corredor IBM .....	51
Tabela 8: Comparação entre as temperaturas na entrada dos racks do Corredor IBM experimentais e numéricas. ....	54
Tabela 9: Comparação entre as temperaturas na saída dos racks do Corredor IBM experimentais e numéricas.....	54
Tabela 10: Comparação entre o RCI e o RTI para os dados experimentais e para a simulação numérica no Corredor IBM. ....	55
Tabela 11: Dados de saída do CFX contendo as médias espaciais de temperatura na entrada dos racks sem confinamento. ....	58
Tabela 12: Dados de saída do CFX contendo as médias espaciais de temperatura na entrada dos racks com confinamento.....	61
Tabela 13: Potencial de economia.....	65
Tabela 14: Tabela gerada pelo CFX com todos os dados compilados pelo programa. ....	78

## LISTA DE SÍMBOLOS

### SÍMBOLOS LATINOS

$T$	Temperatura	[°C, K]
$t$	Tempo	[s]
$u, v$	Velocidade	[m/s]
$p$	Pressão	[Pa]
$g$	Gravidade	[m <sup>2</sup> /s]
$e_t$	Energia total	[J]
$q$	Calor transferido	[J]
$i$	Intensidade de corrente elétrica	[A]
$U$	Tensão elétrica	[V]
$\dot{q}$	Carga térmica	[W]
$c_p$	Calor específico a pressão constante	[kJ/kg·K]
$\dot{m}$	Fluxo mássico	[kg/s]
$Pot$	Potência	[W]

### SÍMBOLOS GREGOS

$\rho$	Massa específica	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\tau_{ij}$	Tensor de tensões viscosas	[Pa·s]
$v_\tau$	Velocidade de atrito	[m/s]
$\tau_0$	Tensor de tensões na superfície	[Pa·s]
$\beta$	Coefficiente de expansão térmica	[°C <sup>-1</sup> ]

### SUBESCRITOS

$HI$	Alto
$max.all$	Máximo permitido
$max.rec$	Máximo recomendado
$LO$	Baixo
$R$	Retorno
$S$	Insuflamento
$Equip$	Equipamento de refrigeração
$diss$	Dissipada
$útil$	Útil

## **SOBRESCRITOS**

- Variação temporal

## **SIGLAS**

TI - Tecnologia da Informação

COP - Coeficiente de Performance

EES - EngineeringEquation Solver

CPD - Centro de Processamento de Dados

PCD - Data Center Privado

IDC - Internet Data Center

CFTV - Circuito Fechado de TV

PMDC - Portable Modular Data Center

ANSI - American National Standards Institute

TIA - Telecommunications Industry Association

EIA - Energy Information Administration

ISO - International Organization for Standardization

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

IT - Informationstecnologic

PUE - Power Usage Effectiveness

DCiE - Datacenter Infrastructure Efficiency

DC - Data Center

CRAC - Computer Room Air Conditioner

CRAH - Computer Room Air Handler

CAG - Central de Água Gelada

HACA - Hot Aisle / ColdAisle

CCT - Complexo Central de Tecnologia

BB - Banco do Brasil

ICI - Instalações Centrais de Informática

URL - Unidades Resfriadoras de Líquido

CAC - ColdAisleContainment

HAC - Hot Aisle Containment

VED - Vertical Exhaust Duct

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. MOTIVAÇÃO

Uma das áreas constituintes da internet que mais cresce atualmente a da “Computação em Nuvem” esta pode ser definida como o armazenamento e cálculos de computadores e servidores compartilhados interligados por meio da internet, seguindo o princípio da computação em grade (SISNEMA, 2009). Com a popularização de dispositivos portáteis, como celulares e *tablets* com capacidade de processamento cada vez melhores, a navegação na internet se tornou mais popular, contudo, mesmo com a boa capacidade de processamento de todos os novos dispositivos estes ainda possuem uma limitação quanto à quantidade de informação que pode ser armazenada. Uma das propostas da “Nuvem” é a de prestar serviços de armazenamento de dados aos usuários mesmo que estes não possuam um disco rígido. Outra vantagem é a facilidade de acessar conteúdos exclusivos sem a necessidade de instalar um *software* na máquina do usuário. Outra grande vantagem para quem utiliza essas ferramentas é a isenção de manutenção com equipamentos físicos, seja de processamento ou armazenamento de dados.

Entretanto, muitos leigos acreditam que a “nuvem” seja realmente uma nuvem, uma nuvem virtual que paira na atmosfera processando os dados de milhões de usuários pelo mundo simultaneamente. A “nuvem” é uma proposta de negócio dos grandes grupos que passaram a disponibilizar seus serviços na *web* (rede de internet) utilizando suas próprias plataformas. Todos os dados armazenados, como contas e perfis de usuários, ou os dados compilados, como por exemplo, quando os dados são processados por *softwares* externos aos computadores, estão fisicamente sendo analisados em um Data Center.

Além dos serviços de “nuvem” presentes de uma maneira tão direta vida do usuário outros serviços de grande importância também estão sendo geridos em Data Centers pelo mundo. Estes serviços são prestados por bancos, Estados, grandes corporações. Podem estar relacionados à segurança nacional de um país, transações financeiras de grande ou pequeno porte, armazenamento de informações pessoais restritas, armazenamento de informações sobre os cidadãos de um país, sistema de transmissão de energia de uma concessionária, dentre outros.

O Data Center é uma estrutura física, sala ou edifício, que foi projetado para abrigar uma variedade de recursos que fornecem armazenamento e gerenciamento de equipamentos de rede, servidores e telecomunicação (The Green Grid, 2010).

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 a esse avanço houve o

aumento da demanda por maneiras mais seguras e padronizadas para a construção e gerenciamento de um Data Center.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. GERAIS**

Avaliar o impacto da utilização do enclausuramento de corredores frios nas condições de refrigeração dos racks de processamento e armazenamento de dados de um Data Center utilizando ferramentas numérica e simulações computacionais.

### **1.2.2. ESPECÍFICOS**

Inicialmente para implementação de uma simulação numérica é necessário uma validação do modelo, esta foi feita comparando dados reais aferidos no Data Center foco do estudo. Uma vez validada a simulação deve-se utilizar o mesmo modelo no ambiente estudado.

Os dois ambientes utilizados são fazem parte do Data Center do Banco do Brasil. Um dos objetivos com esse estudo é ter uma dimensão quantitativa e qualitativa do potencial impacto econômico do confinamento de um corredor frio.

## **1.3. METODOLOGIA**

Inicialmente foi necessário coletar informações sobre o toda a estruturação de um Data Center. Toda a importância social, estrutural, econômica e todos os aspectos construtivos. Todas as áreas da engenharias que estão interligadas a um CPD tiveram que ser estudadas a fim de serem conhecidas as possíveis influencias em outras áreas. Por se tratar de uma instalação cujo processo de resfriamento é essencial para o seu funcionamento, também houve a busca pelas normas que estão ligadas ao gerenciamento dos equipamentos de refrigeração. Tais normas têm como objetivo garantir a operacionalidade dos equipamentos de TI em detrimento de todos os outros. Estas em sua maioria competem a entidades internacionais, já que nacionalmente ainda não houve o desenvolvimento de uma legislação que regule o funcionamento dos Data Center.

Em seguida, objetivou-se observar todas as propostas para a refrigeração em Data Center, todas as possibilidades, soluções tecnológicas, práticas de engenharia provenientes de fontes técnicas que lidam com estes ambientes e já possuem credibilidade técnicas e acadêmicas no mercado. Tais dados foram comparados com as práticas do Data Center analisado para que críticas construtivas pudessem ser feitas e tais melhorias pudessem fazer parte do escopo deste trabalho.

Feitas as críticas, partiu-se para a definição da melhor solução a ser implementada a fim de melhorar a eficiência energética de refrigeração. O enclausuramento de corredor frio foi apresentado como uma boa solução de melhora na eficiência e no resfriamento dos equipamentos de TI. Para quantificar os benefícios desta solução foi necessário a utilização de uma solução numérica que simulasse o escoamento e as trocas de calor no interior do Data Center estudado. Para a simulação tivesse respaldo, e pudesse ser aplicada em ambientes virtuais ou em ambientes que não fossem idênticos ao do Data Center do BB, a primeira etapa da simulação foi a sua validação através da comparação entre os resultados obtidos com uma simulação em um ambiente específico da instalação e os dados pessoalmente coletados no mesmo ambiente.

Uma vez validada a simulação, duas novas simulações foram feitas em outra região do Data Center, esta com o objetivo de avaliar o ganho energético com a utilização da contenção de corredores frios. Um grupo de racks sem a contenção foi simulado, em seguida o mesmo grupo foi simulado havendo a contenção do corredor frio. Após as simulações numéricas foram feitas as conclusões apresentando os valores do potencial energético devido a soluções passivas de melhoramento do fluxo de ar dentro de uma Data Center.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Devido ao caráter técnico do tema tratado a maior parcela da bibliografia encontrada foi de documentos técnicos de empresas que especializadas com o aprimoramento da eficiência energética em Data Centers. Em um grande número destes documentos o estudo de análise feito pela companhia foi interno, não havendo fontes acadêmicas de embasamento para as publicações. Contudo nos documentos disponibilizados pelas empresas e nos raros trabalhos da academia encontrados a simulação numérica foi implementada como ferramenta de consolidação do trabalho. As fontes acadêmicas encontradas de maior representação estão ligadas à simulação numérica e todo o embasamento teórico relativo à mecânica dos fluidos e à transferência de calor.

As propostas de eficiência energética em Data Center encontradas basearam-se primordialmente nas boas práticas de engenharia e na experiência adquirida pela equipe de gestores no decorrer das últimas décadas, quando a evolução das salas de processamento se intensificou. Entretanto nos últimos anos, com o avanço dos mesmos equipamentos de TI a simulação numérica foi utilizada mais sistematicamente para garantir e comprovar as práticas antes utilizadas.

### 2.1. HISTÓRICO

No início da década de 60, mais especificamente em 1964, a IBM<sup>®</sup> lançou o IBM System 360 (Gantz, 2004), o qual poderia ser caracterizado com um *mainframe* que prometia centralizar e processar todos os dados de uma mesma organização. A superioridade e domínio da IBM se estenderam até a metade da década se 70, quando outras empresas lançaram seus centros de processamento de dados corporativos, ou seja, seus próprios Data Centers.

Inicialmente a denominação dada ao Data Center era CPD (Centro de Processamento de Dados). Este nome foi dado porque era nesse local que residiam os *mainframes* das empresas, ou seja, o local onde ocorria o processamento, automatização da distribuição de informações. O nome, posteriormente, migrou para “Data Center”, visto que agora este adquiria a função mais importante dentro de uma corporação: reter a informação. Por ter uma função única, abrigar um bem tão precioso às empresas, o Data Center tornou-se um centro no qual falhas são minimamente aceitas, em alguns casos essas falhas não podem ocorrer sob nenhuma hipótese, caso contrario o faturamento e lucro das corporações podem ser seriamente comprometidos.

Na década de 70 quando os sistemas de *mainframe* eram utilizados em larga escala, o conceito de Data Center era muito conhecido como “Bureaux de Serviços”. Hoje existem duas

categorias comerciais para Data Centers: Data Center Privado (PCD) e o Internet Data Center (IDC) (Pinheiro, 2009).

O IDC pertence a provedores de serviços de telecomunicações, em geral a empresas de telefonia e outros tipos de prestadoras de serviços na internet. Sua função é prover os serviços básicos para a navegação, conexão, hospedagem e processamento de dados de sites e de equipamentos de TI para o usuário. Tais serviços podem estar relacionados à navegação na internet, drives *on-line*, etc. Por outro lado o PDC é gerido por uma companhia privada, instituições ou agências governamentais com o propósito principal de armazenar dados, em sua maioria, sigilosos, resultantes de operações de processamento de interno e também em aplicações voltadas para a Internet (Pinheiro, 2009).

A estrutura atual de um Data Center diferencia-se muita daquela surgida em 1964 quando o *mainframe* central apenas processava os dados. Agora as corporações buscam um local que além de processar os dados, mantenha suas informações seguras e em sigilo e ainda sejam eficientes em seu funcionamento. Podemos citar o exemplo de empresas como a GOOGLE® que investiu 951 milhões de dólares no último trimestre de 2011, com um total de 3,44 bilhões de dólares no mesmo ano em recursos e sistemas que conferissem melhor eficiência energética aos seus Data Centers (Miller, 2012).

A concentração de tantas informações em um só lugar faz com que uma eventual falha seja muito mais impactante. Por esse motivo novas tecnologias estão sendo desenvolvidas a fim de minimizar os riscos de falha, visando aumentar a segurança e a disponibilidade dos componentes. Um Data Center que busca se adequar as novas exigências de mercado procura certificados e classificações que lhe assegure padrões de operação. Estes níveis distinguem os estabelecimentos de acordo com alguns parâmetros, entre eles: capacidade de processamento e segurança. Por esta razão a tendência de se adequar as normas internacionais que estabelecem esses níveis aumentou em todo o globo. O Banco do Brasil S.A. caracteriza-se como uma dessas novas empresas que busca certificados internacionais de validação de Data Center a fim de expandir seus negócios em proporções internacionais.

Atualmente o Data Center é a espinha dorsal das grandes corporações. Também se tornou essencial na vida da população, visto que abriga a o processamento de dados de companhias que participam direta e indiretamente na vida de todos. Para as empresas, não importa o porte destas, há uma necessidade vital de operação em plena carga de seus Data Centers.

Pesquisas internacionais nos mostram o custo efetivo associado as paradas em Data Center de acordo com o seguimento com este está inserido. Este custo pode ser observado na Tabela 1 e demonstra a importância de tais estruturas em atividades essenciais a nós.



Tabela 1: Custo por hora de Downtime.

<b>Tipo de Negócio</b>	<b>Custo de Downtime por Hora (US\$)</b>
Operações de corretagem	6.450.000
Energia	2.817.846
Autorização de vendas à credito	2.600.000
Telecomunicações	2.066.245
Indústria	1.610.654
Instituições financeiras	1.495.134
Seguros	1.202.444
Saúde	636.030
Reservas aéreas	90.000

(Aberdeen Group, 2012)

Inicialmente a construção dessas instalações baseava-se em recomendações dos fabricantes de *mainframes*, dos equipamentos de TI e na experiência dos engenheiros e analistas envolvidos no projeto. Atualmente essa variação de estruturas vem sendo combatida a fim de que haja conformidade nos projetos de Data Centers. Essa conformidade é proposta pela norma ANSI/TIA/EIA-942–Telecommunications Infrastructure Standard for Data centers, a qual regulamenta e padroniza a construção de Data Centers. A norma foi inicialmente implantada nos EUA e atendia somente o solo americano, contudo as normas internacionais, da ISO, e nacionais, da ABNT, estão aderindo às recomendações propostas por aquela.

O padrão proposto pela TIA-942 fornece os requisitos e configurações para que um ambiente de Data Center possa suportar as tecnologias existentes e novos avanços tecnológicos em processamento de dados, comunicações e armazenamento de dados (Pinheiro, 2009). Com essa norma as companhias, podem estipular rotinas para que a missão crítica de cada empresa seja mantida.

## **2.2. NORMAS**

As normas que regulamentam a instalação e o gerenciamento de um Data Center podem ser embasadas em diferentes aspectos: prestação de serviço, segurança das informações, segurança das instalações, capacidade de processamento e armazenamento de dados, eficiência energética, etc. As duas regulamentações abordadas a seguir abrangem muitas dessas áreas mais o foco principal são os aspectos relacionados a refrigeração do ambiente de produção.

### 2.2.1. TIA-942

A topologia de um Data Center pode ser descrita de várias formas (*vide* Figura 1), geralmente essa estrutura se baseia na norma TIA 942 a qual apresenta um padrão para este tipo de ambiente (Veraz, 2009). A norma em sua composição utilizou muitos dados coletados ao longo do tempo foram compilados para identificar fatores que podem ser vantajosos ou prejudiciais na implementação física de um Data Center. Aspectos como a proximidade com as concessionárias de energia serviços de emergência são vantajosos, outros, porém como locais de encostas podem ser prejudiciais. Segundo Manuel Veras pela norma ANSI/TIA 942, existem regras aplicáveis para a classificação do Data Center em quatro classificações independentes de Tiers (Veraz, 2009).



Figura 1: Tipos de Data Centers definidos pela norma TIA-942.

A TIA-942 descreve o projeto de Data Center em quatro diferentes áreas, as quais devem ser integradas a fim de que seja obtido um projeto bom e eficiente para o Data Center: telecomunicação; arquitetura e estrutura; elétrica; mecânica.

A norma classifica os Data Centers em quatro diferentes camadas de proteção (tiers). Essa classificação é feita utilizando a numeração de um a quatro conforme a respectiva importância do Data Center. Os níveis são:

- Tipo 1: Data Center Básico;
- Tipo 2: Data Center com Componentes Redundantes;
- Tipo 3: Data Center Auto Sustentados;
- Tipo 4: Data Center com Alta Tolerância a Falhas.

Para cada nível de Data Centers são definidas as disponibilidades de operação, um bom exemplo é o tempo máximo “fora do ar” (*Downtime*), aos quais os Data Centers estão sujeitos.

Para o atual projeto iremos nos atentar a parte mecânica relacionada ao Data Center. Na esfera mecânica as principais diretrizes estão vinculadas à climatização do ambiente de confinamento dos racks (componentes de armazenamento e processamento de dados).

A TIA-942 apresenta o sistema de refrigeração como um dos principais requisitos no detalhamento de um projeto. É necessário estipular a capacidade térmica de um ambiente operando em plena carga e as possíveis variações, como as variações de carga ou a ampliação do ambiente, seja física ou com o aumento do número de racks.

A temperatura e umidade devem ser controladas a fim de serem capazes de garantir a operacionalidade do sistema de maneira ininterrupta (TIA STANDARD, 2005):

- Temperatura de bulbo seco: 20°C (68°F) a 25°C (77°F);
- Umidade relativa: 40 a 55%;
- Máximo ponto de orvalho: 21°C (69,8°F);
- Máxima variação de temperatura por hora: 5°C (9°F);
- Umidificação e desumidificação equipamentos devem ser necessários dependendo das condições climáticas de cada local.

A temperatura e umidade ambientes devem ser aferidas após o início de funcionamento da instalação e com os equipamentos em operação. As medidas devem ser feitas a uma distancia de 1,5 metros acima do nível do piso elevado em uma linha horizontal de nível que acompanha os racks em intervalos de 3 a 6 metros ao longo do “corredor frio”, havendo ou não equipamentos ao longo deste corredor (TIA STANDARD, 2005). A TIA-942 nos indica os parâmetros utilizados pela ASHRAE (Sociedade Americana de Engenheiros de Climatização), uma entidade norte-americana internacional na área de padronização para climatização, a qual também possui normas para o gerenciamento térmico de ambientes de Data Center.

### **2.2.2. ASHRAE TC 9.9**

Descrita acima, a ASHRAE produziu em 2011 um guia técnico que apresenta normas para a classificação e operação de um Data Center, o “*2011 thermal Guidelines for Data Processing Enviroments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance*”. Este é um documento decorrente de atualizações de outros guias relacionados ao mesmo tema.

Esta norma nos apresenta os diferentes parâmetros que são as variáveis para a implementação e operação de um Data Center. A relação entre estes ambientes pode ser observada na Figura 2. É possível observar que não há interligação direta entre as variáveis. A norma indica que cada um desses parâmetros podem ser de maior ou menor importância para a

construção ou operação de um Data Center, isso dá ao usuário maior flexibilidade no gerenciamento.

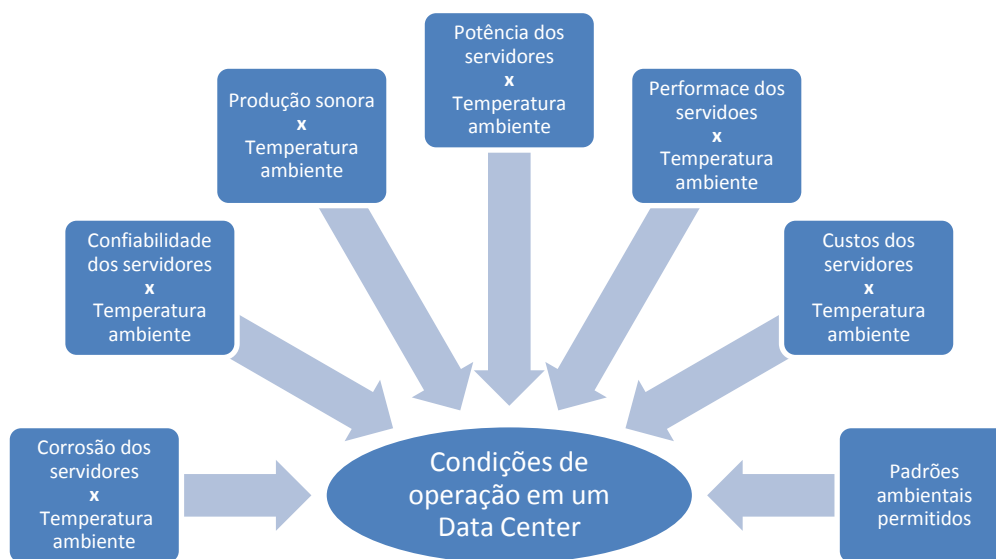


Figura 2: Ambientes relacionado à operação de um Data Center (ASHRAE TC 9.9, 2011).

Assim como a TIA-942, a ASHRAE classifica os ambientes de Data Center em 4 diferentes categorias. 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 ambientes em operação total e os diferentes níveis de controle sobre cada um deles (ASHRAE TC 9.9, 2011):

- Classe A1: Um ambiente de Data Center com um rígido controle dos parâmetros do ambiente (ponto de orvalho, temperatura, umidade relativa do ar) e em missão crítica de operação. Geralmente desenvolvidos para grandes empresas com um grande numero de racks (altos níveis de processamento de dados e armazenamento de informações).
- Classe A2: Geralmente um ambiente de produção tecnológica ou um escritório ou um laboratório com algum controle dos parâmetros ambientais. São ambientes que abrigam pequenos racks, podem ser servidores pessoais ou estações de trabalho.
- Classe A3/A4: Geralmente um ambiente de produção tecnológica ou um escritório ou um laboratório com algum controle dos parâmetros ambientais. São ambientes que abrigam pequenos racks, podem ser servidores pessoais ou

estações de trabalho. Diferenciam-se do anterior pelo menor porte de seus equipamentos.

Concentrar-nos-emos na classe A1, aquela em que enquadramos nosso objeto de estudo. Para cada classe a ASHRAE nos apresenta a carta psicrométrica descrevendo a área que cada classe deve habitar dentro do gráfico.

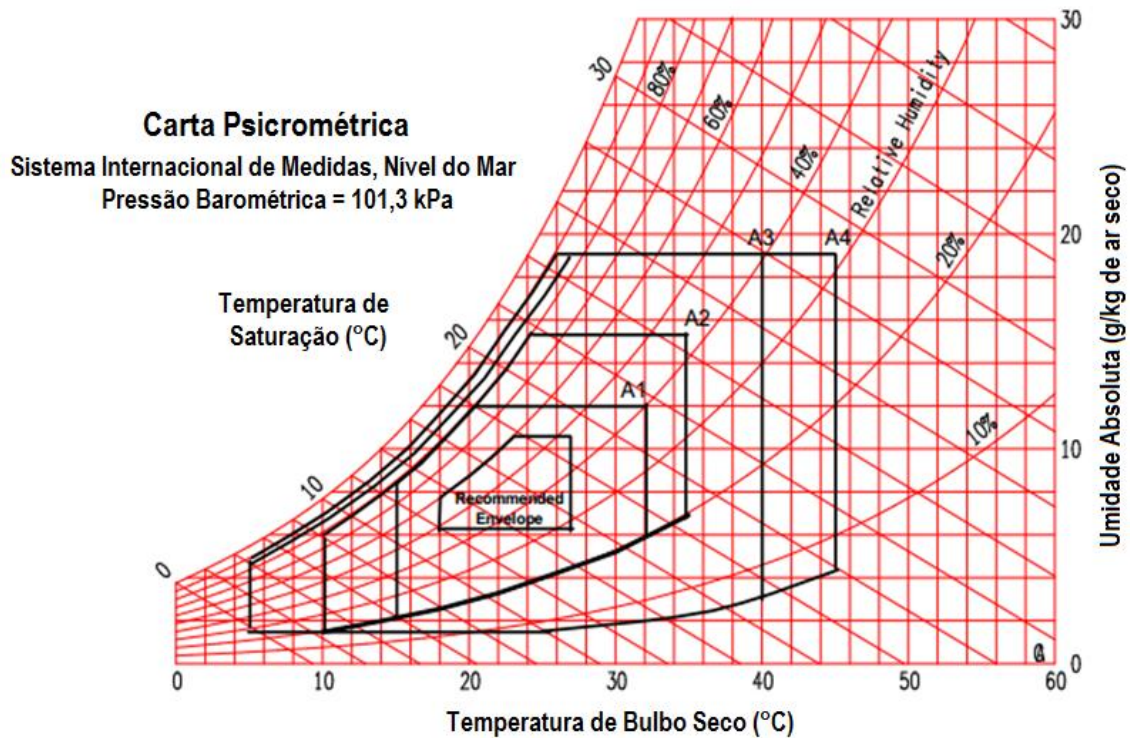


Figura 3: Ambientes para diferentes classes de Data Center (ASHRAE TC 9.9, 2011).

A temperatura, umidade, ponto de orvalho são os parâmetros mais importantes no gerenciamento térmico de um Data Center. Estas estão diretamente interligadas e para um ambiente classe A1 devem ser criteriosamente verificadas.

Tais variáveis são importantes, pois os servidores necessitam de condições ideais para um bom funcionamento. Altas temperaturas provocam um desgaste excessivo nos processadores, portanto não devem ser permitidas. Em contrapartida, baixas temperaturas também não podem ser permitidas, ao diminuirmos indiscriminadamente a temperatura ambiente atingimos o ponto de orvalho, causando a condensação do ar. Tal hipótese deve ser evitada, já que a operação dá-se em um ambiente de microeletrônica.

Contudo os valores de umidade não podem ser muito baixos, já que quanto menor a quantidade de água no ar, menos é a sua capacidade dielétrica. Logo, atmosferas estáticas podem ser geradas e trocas de cargas indesejadas tornam-se uma possibilidade real.

## 2.3. PRÁTICAS DE ENGENHARIA

Em fevereiro de 2007 a Green Grid<sup>TM</sup>, uma associação de profissionais de IT (*Informations technologic*) fez uma publicação técnica chamada: “*Green Grid Metric Describing Data Center Power Efficiency*”. Neste documento A Green Grid<sup>TM</sup> propôs o uso da *Power Usage Effectiveness*, Eficácia da Energia Consumida (PUE) e do seu inverso, o *Datacenter Infrastructure Efficiency*, Eficiência do Datacenter (DCiE), para mensurar a eficiência energética de um Data Center (Christian Belady, 2008).

A proposta do PUE e DCiE é a de evoluir a eficiência energética nos Data Centers existentes, bem como ajudar na tomada de melhores decisões no desenvolvimento de novas instalações, além disso essas medidas fornecem uma maneira confiável de mensurar seus resultados e comparar com o de outros Data Centers existentes, independentemente da diferença de porte que as instalações possam ter.

$$PUE = \frac{\text{Total de Energia Gasta no DC}}{\text{Total de Energia Gasta com os Equipamentos de TI}} \quad (1)$$

O PUE apresenta um número puro (adimensional) no qual obtemos a razão de todo o consumo de energia no Data Center pelo consumo de energia somente dos equipamentos de TI, os quais são os responsáveis pelo processamento e armazenamento de dados, ou seja, os equipamentos que geram receita à empresa. O total de energia gasta no Data Center, divisor da razão, é a soma dos outros gastos com energia da empresa: refrigeração, iluminação, automação, equipamentos de TI, perdas, etc. Logo é possível constatar que parâmetro nos apresenta um resultado cujo valor é maior que um. O objetivo atual de Data Centers que utilizam esse resultado é aproximá-lo o máximo da unidade, deste modo há a constatação de que a maior parcela da energia consumida pela instalação é destinada aos equipamentos de processamento.

## Custos de Gerenciamento

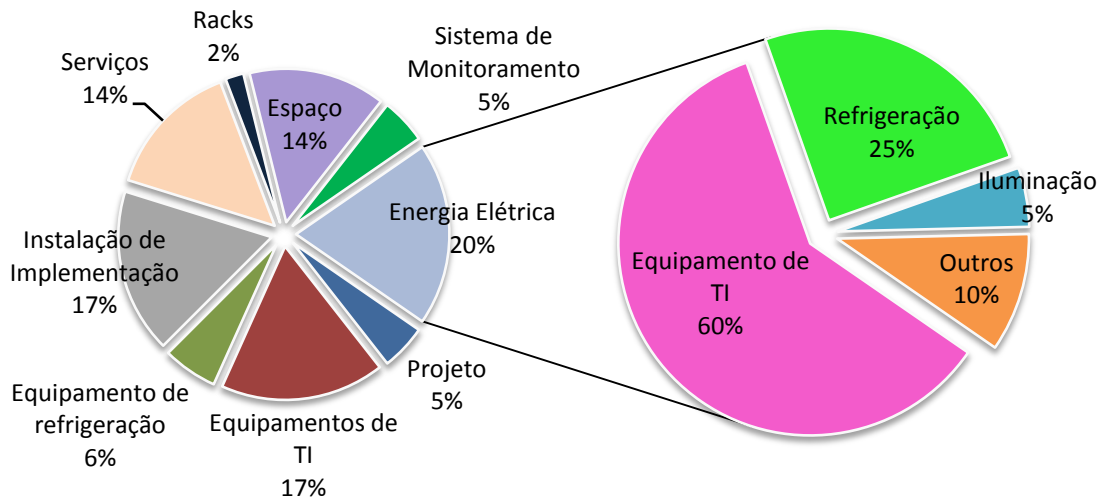


Figura 4: Ilustração da parcela de gastos no gerenciamento de um Data Center.

O gráfico acima é apenas uma ilustração de como os custos de uma Data Center podem ser observados. Na primeira esfera (à esquerda) vemos os custos relacionados à estrutura de um Data Center. Custos como os de equipamentos de refrigeração são aqueles relativos à manutenção e aquisição das máquinas. Assim também são mensurados os custos dos equipamentos de TI, sistema de monitoramento, racks. Custos de serviços em geral estão relacionados aos salários dos operadores do ambiente, outros como os custos de espaço estão ligados ao pagamento de impostos pela localização.

Contudo o maior custo de gerenciamento de um Data Center é a de consumo de energia elétrica (Prime Enegy IT, 2011). Na esfera à direita vemos a divisão proporcional dos custos de energia com cada segmento. É possível observar que o maior consumo de energia provém dos equipamentos de TI. Este consumo é uma parcela fixa que não é passível de alteração, contudo os custos com as outras áreas como iluminação, automação e refrigeração podem ser diminuídos com boas práticas de engenharia.

Este trabalho foca o estudo na diminuição do consumo de energia elétrica na utilização do sistema de refrigeração. Reduzindo este percentual, a parcela relativa ao consumo de energia pelos equipamentos de TI se tornaria maior reduzindo o valor do PUE e reduzindo os custos financeiros com estes equipamentos.

Na Figura 5 observa-se a tendência para a carga de refrigeração de diferentes sistemas de TI (expressas em Watts/m<sup>2</sup>) para os próximos anos. É possível notar que a potência específica para o resfriamento instalado ainda vai aumentar. Assim, as estratégias a serem adotadas consistem

em sistemas mais eficientes, melhores práticas e aperfeiçoamento da gestão de sistemas de refrigeração.

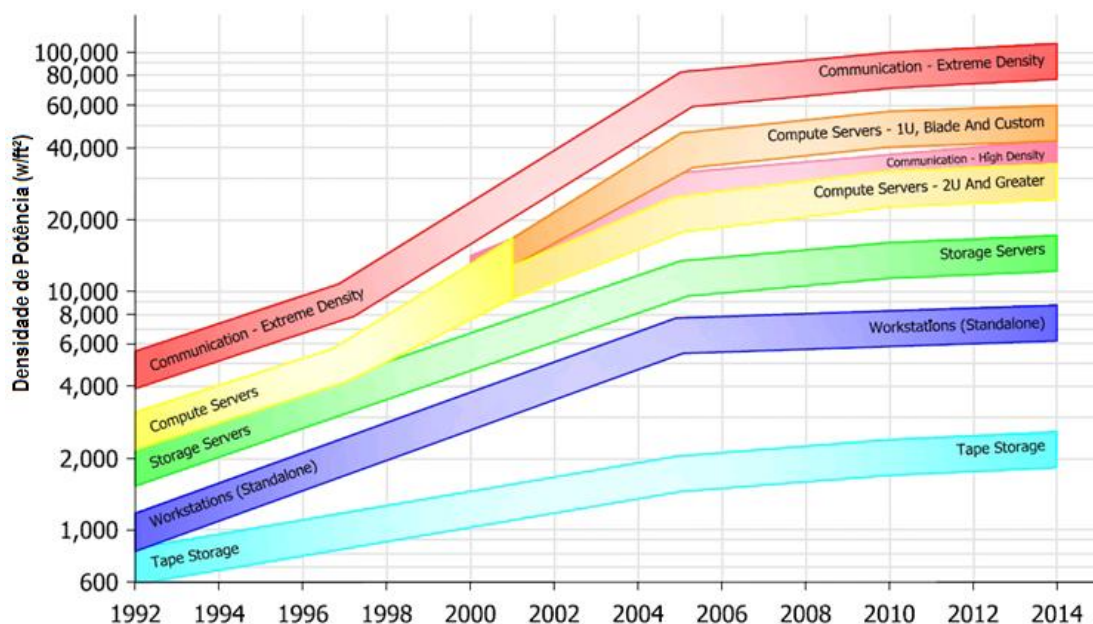


Figura 5: Evolução de carga térmica em aplicações de TI (ASHREA, 2007).

A eficiência energética em todo o complexo que envolve os centros de dados tornou-se um grande problema para as empresas de TI. A gestão energética das áreas ligadas à infraestrutura mudou de alguns anos atrás até hoje. Durante os últimos 10 anos, o custo de eletricidade aumentou e deve continuar a subir. Em alguns casos, os custos de energia correspondem a 40-50% do orçamento total da operação de centro de processamento de dados (Prime Energy IT, 2011).

A partir do uso de parâmetros de eficiência como o PUE as empresas passaram a investir na diminuição dos custos de operação, visto que agora é possível aferir de maneira objetiva os gastos e obter um parâmetro individual, o qual pode ser comparado ao de outros Data Centers. Então, por que a necessidade de maior eficiência energética? Porque os custos com eletricidade e refrigeração dos Data Centers são os dois maiores gargalos para as organizações de IT atualmente (Christian Belady, 2008). Conseqüentemente para que as empresas possam pensar em uma futura expansão esses custos devem ser controlados. Com Data Centers mais eficientes as companhias podem pensar no aumento do processamento e armazenamento de dados com a possibilidade em um maior controle de gastos, garantido a solidez e competitividade da empresa.

Há no mercado duas práticas difundidas de refrigeração para os ambientes de Data Center a primeira denominada CRAC (*Computer Room Air Conditioner*), a qual funciona de maneira semelhante a um ar condicionado normal. Ele tem um ciclo de refrigeração de expansão direta, construído dentro da unidade de refrigeração. Isto significa que os compressores necessários



para alimentar o circuito de refrigeração também estão localizados dentro da unidade. O arrefecimento é conseguido por insuflando o ar sobre uma serpentina de arrefecimento cheia de refrigerante. A CRAC é tipicamente de volume constante, por isso, só pode modular ligado e desligado. Recentemente, alguns fabricantes desenvolveram unidades CRAC que podem variar o fluxo de ar através de compressores de vários estágios, mas as unidades de CRAC mais existentes têm apenas on / off como sistemas de controle (DATA CENTER HUDDLE, 2011).

A outra, a CRAH (*Computer Room Air Handler*), nesta a unidade funciona exatamente como uma unidade de tratamento de água refrigerada encontrado em quase todos os edifícios altos e grandes instalações. O arrefecimento é conseguido pela sopragem de ar sobre uma serpentina de arrefecimento cheia de água gelada. Normalmente a água gelada é fornecida aos CRAHs por uma central de água gelada (CAG). CRAHs possuem *drivers* de variação de frequência que modulam a velocidade do ventilador para manter um conjunto de pressão estática, ou sob o piso ou nos parâmetros gerais (DATA CENTER HUDDLE, 2011).

Há também outro sistema utilizado, o *Free Cooling System* que consiste na utilização do ar externo ao ambiente para a refrigeração do Data Center. Em muitos climas, os operadores de Data Centers podem ajudar a reduzir os custos de refrigeração, aproveitando as condições ambientais externas para resfriar equipamentos de TI. Sob condições ideais, estas tecnologias podem economizar muito os custos de energia elétrica. Em países de clima frio, como a Finlândia, empresas de grande porte, como a GOOGLE® (Datacenter Dynamics, 2012), construíram grandes Data Centers que utilizam as condições climáticas locais para o resfriamento dos racks, contudo esse sistema necessita de um rigoroso controle da qualidade do ar. Geralmente esse sistema possui redundâncias utilizando um sistema de refrigeração do tipo CRAC ou CRAH, porém estes só são utilizados em poucos meses do ano, caso necessário. Ainda, com a menor utilização dos equipamentos do sistema de refrigeração tradicional a vida dos equipamentos é estendida.

Para um sistema de refrigeração tão robusto como de um Data Center de grande porte, o sistema de refrigeração possui um projeto específico em cada caso. A carga térmica produzida no Data Center é normalmente sensível a temperatura do bulbo enquanto é simultaneamente sensível e latente num espaço de trabalho devido a necessidade de umidade do ar devido a presença humana e dos racks (Prime Energy IT, 2011). Tais projetos consideram parâmetros estabelecidos por boas práticas e pelas normas relacionadas à implementação.

Os elementos básicos em um sistema de refrigeração são sistema de proteção contra o calor (isolamento térmico); equipamento de refrigeração; equipamento terminal (dispositivos de remoção de calor) e, como parâmetro inicial, carga térmica, proveniente dos equipamentos de TI, serviços, operadores, outros (Prime Energy IT, 2011).

Em seguida é de fundamental importância selecionar os equipamentos que irão proporcionar melhor eficiência energética, são eles (Prime Energy IT, 2011), podemos citar unidades de CRAC ou CRAH; ventiladores, fancoils ou outros sistemas de refrigeração; bombas; chillers (ar ou água); torres de resfriamento, drycoolers, condensadores; umidificadores.

### **2.3.1. GERENCIAMENTO DO FLUXO DE AR (AIR MANAGEMENT)**

Data Centers modernos são capazes de produzir grandes ambientes com altas densidades de calor. De pequenas estruturas em prédios comerciais cuja função é o processamento de dados de uma pequena companhia às grandes corporações, como bancos e países, que processam dados de importância econômica, bélica, estratégica dentre outros, o controle do fluxo de ar responsável pela refrigeração dos equipamentos eletrônicos dos Data Centers pode representar uma significativa parcela na economia de energia e na vida útil dos equipamentos (Data Center Design Guidelines, 2012).

O controle sobre o fluxo de ar implica no desenvolvimento de formas a fim de minimizar ou eliminar a mistura de ar de refrigeração 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 (Data Center Design Guidelines, 2012). Para que tal controle seja possível algumas práticas devem ser tomadas, estas devem estar de acordo com as normas e práticas de engenharia.

A fim de aperfeiçoar a distribuição do ar refrigerado no interior do Data Center o posicionamento, tamanho e dissipação térmica de cada componente devem ser avaliados, desta maneira o dimensionamento do sistema de refrigeração CRAC/CRAH torna-se mais objetivo. Desta maneira fugas de ar frio e pontos de concentração de calor são minimizados. Existem diferentes maneiras de otimizar ou aprimorar o controle do fluxo de ar, dentre elas podemos citar: placas de alta vazão de ar, placas de piso elevado ventiladas, racks com ventilação forçada, vedações para cortes de piso, contenção de corredores, etc. No decorrer deste trabalho tais soluções serão exemplificadas, esclarecidas e, caso necessário, sugeridas para o ambiente estudado. Ainda há soluções alternativas de controle de ar com o objetivo de diminuir os custos com a refrigeração do ambiente de produção. A mais aplicada é o “economizado de ar”, o qual consiste em um sistema que mixa o ar externo ao ambiente, devidamente tratado, com o ar quente exaurido pelos racks. Tal sistema visa diminuir a temperatura do ar a ser refrigerado, já que neste sistema a temperatura do ar externo é menor que a temperatura de retorno do ar dos racks. Logo o principal intuito é com a diminuição da temperatura do ar a ser refrigerado pelos CRAC/CRAH haja a redução dos custos com a refrigeração do ambiente. O “economizado de

ar” é utilizado em instalações cuja produção de ar quente é alta e as temperaturas ambientes são pelo menos inferiores a de exaustão, assim locais cujo clima proporciona temperaturas próximas a 25°C já possuem potencial para este topo de sistema.

Uma proposta que vem sendo adotada em novos projetos de Data Centers é a implementação de um amplo controle de temperaturas, pressão e umidade dentro da sala de produção. O monitoramento é feito utilizando uma rede integrada de sensores distribuídos no ambiente de produção. Sensores de pressão estática sob o piso elevado, de temperaturas de insuflamento e exaustão do ar, de umidade e de fluxo de ar ao serem interligados geram um mapa das condições térmicas do ambiente, o qual é de fundamental importância na tomada de decisões a respeito dos investimentos no Data Center. Dessa maneira também há a possibilidade de avaliar as condições de funcionamento e tomar decisões preventivas a fim de manter a integridade dos equipamentos do CPD.

As três estratégias de gerenciamento relacionadas ao controle do fluxo de ar são:

- Gerenciamento energético: neste caso o manejo do ar frio auxilia na redução dos custos operacionais através da melhor utilização dos equipamentos de refrigeração, tais como chillers, torres de resfriamento, *fan-coils*, etc. Tais equipamentos passam a ter um tempo de vida mais longo e os procedimentos e rotinas de manutenção tornam-se menos frequentes, logo a vida útil de cada componente se estende e a as paradas mais raras;
- Gerenciamento de capital: com o aumento da eficiência energética há também uma redução dos custos com investimentos e manutenção com equipamentos de refrigeração e de energia elétrica ligada à alimentação da maioria dos componentes do Data Center. Tal fato ocorre porque refrigerados de maneira corretas componentes como UPS’s, processadores, baterias também operam com maior eficiência energética;
- Gerenciamento térmico: este quesito é essencial já que os equipamentos de TI são os componentes nobres de um centro de processamento de dados. Estes são sensíveis a altas temperaturas. Portanto controlar as condições climáticas é primordial para a longevidade dos processadores, *storages*, etc. Neste ponto o manejo do ar dentro de uma sala de produção torna-se uma prática necessária para o bom gerenciamento de um Data Center.

Embora haja maneiras diferentes para o insuflamento do ar gelado nos ambientes de produção de TI a maneira com que o ar resfria o ambiente é padronizada. Os ambientes de produção são dispostos de uma maneira específica, na qual há a existência de corredores frios e quentes para circulação do ar.

Os racks devem ser dispostos em um padrão alternado com as frentes de cada rack direcionado para frente do outro posicionado outro lado do corredor a fim de criar um corredor

frio, conseqüentemente as partes posteriores devem estar faceadas (TIA STANDARD, 2005). Corredores frios são aqueles em que o ar frio é insuflado e posteriormente é sugado pelos racks devido ao próprio sistema de aspiração do ar e da convecção existente no ambiente. Já os corredores quentes são aqueles em que os racks despejam o ar utilizado na refrigeração dos equipamentos de TI, o qual em seguida aspirado para fora do ambiente.

Os racks são produzidos em uma plataforma que confere a estes um sentido único de sopragem do ar. Em sua estrutura podem existir *fans*, ventiladores ou ventoinhas que ditam a direção a ser percorrida pelo ar. Logo, pela conformidade dos racks a disposição destes nos ambientes é feita utilizando corredores frios e quentes.

As características do fluxo de ar são elementos importantes a serem pensados. As direções recomendadas são: frente para traseira; frente para o topo e frente para cima e traseira.

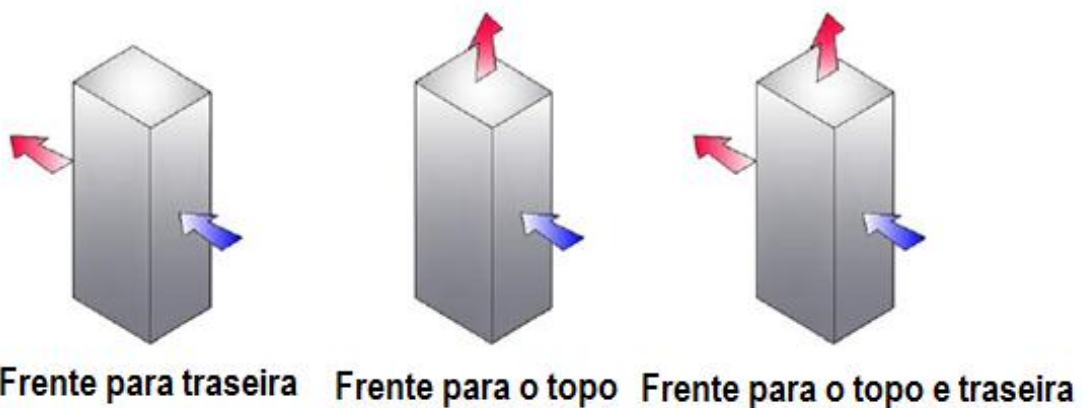


Figura 6: As direções dos fluxos de ar nos racks para a configuração de corredor quente e frio (ASHREA, 2009)

As práticas de refrigeração em um Data Center podem ser variadas de acordo com o projeto. As duas abordagens mais comuns são a de insuflamento através de placas perfuradas posicionadas no piso elevado (*under floor*) e a do insuflamento pelos dutos superiores internos ao forro do teto (*overhead*). Essa configuração é denominada *Hot Aisle / Cold Aisle* (HACA). Na utilização do sistema *overhead* não deve haver o emprego dos difusores situados nas saídas de cada duto, tais difusores direcionam parte do fluxo de ar para regiões acima dos racks, aumentando a perda energética. No sistema *under floor* só devem ser utilizadas placas nos corredores frios na frente dos racks que estejam ocupados.

Esta configuração foi criada a fim de prevenir a mistura do ar frio de refrigeração com o ar quente de exaustão. Como o próprio nome sugere também cria áreas de acesso para das equipes técnicas para procedimentos de manutenção, substituição ou instalação de novos equipamentos.

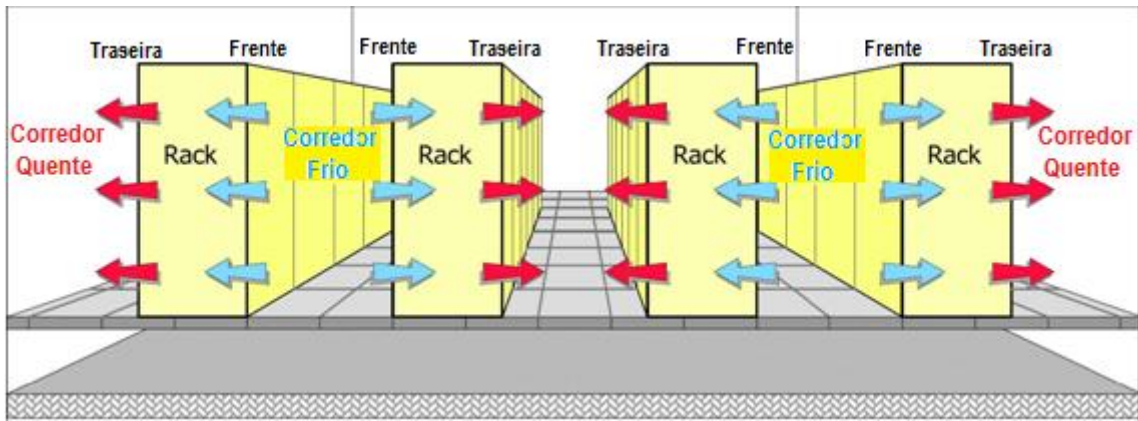


Figura 7: Layout para o corredor quente e frio em um Data Center (ASHREA, 2009).

Para permitir a entrega de ar frio nos ambientes a configuração mais comum em ambientes de produção é a *under floor* (Figura8). Nelas os racks estão dispostos sobre um piso elevado. O ar refrigerado é insuflado nos corredores frios através de grelhas no piso, em seguida o ar quente flui em direção aos corredores quentes e ao teto, retornando para a unidade refrigeradora.

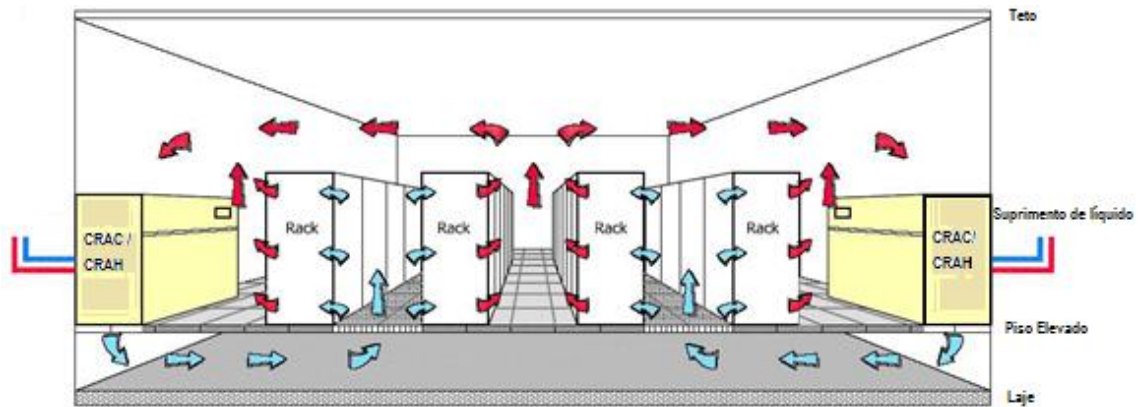


Figura8: Configuração mais comum em ambientes de Data Centers (ASHREA, 2009).

Essa organização de corredor quente / frio tem sido implementada para elevar a eficiência de refrigeração em Data Centers. Entretanto, o ar quente pode se difundir no frio próximo ao topo dos racks ou no final do corredores. Essa mistura pode ser agravada por um equilíbrio ruim entre a demanda total de ar frio para racks no corredor e o suprimento total das placas de piso perfuradas no corredor (Emerson Network Power, 2009).

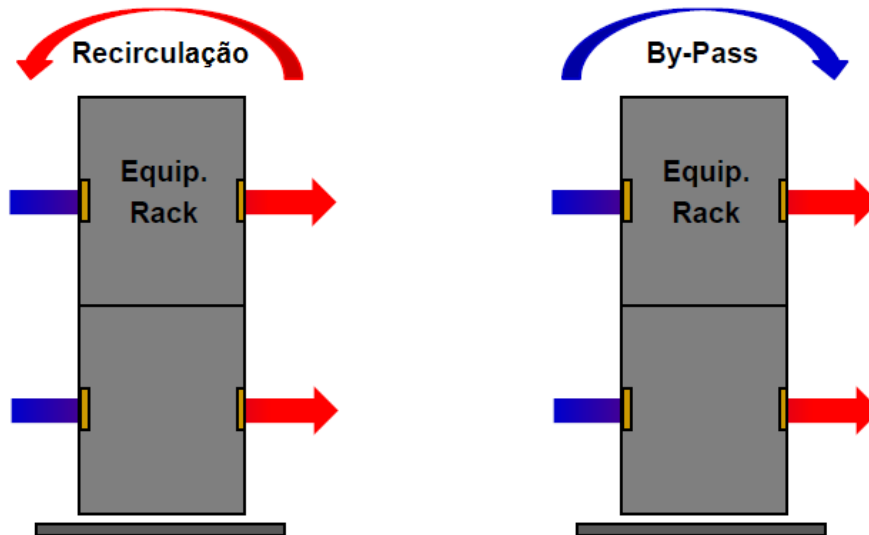


Figura 9: Representação para os fenômenos de *by-pass* e de recirculação (U.S. Department of Energy, 2012).

O objetivo de um bom controle do ar na refrigeração visa evitar situações de super dimensionamento do sistema de refrigeração, evitando gastos energéticos desnecessários em instalações que operam em regime crítico. Também tem como princípio garantir a refrigeração adequada a todos os equipamentos eletrônicos no interior do Data Center necessários à infraestrutura e ao processamento e armazenamento de dados. Portanto o gerenciamento do ar auxilia no balanceamento entre a economia energética e a refrigeração eficiente dos componentes, prevenindo o *by-pass* e a recirculação de ar.

Os principais erros de gerenciamento que levam ao super dimensionamento do sistema de refrigeração ou à má refrigeração do sistema estão ligados ao (U.S. Department of Energy, 2012):

- Congestionamento dos cabos de alimentação elétrica e lógica sob o piso elevado em um sistema *under floor*. Tal efeito pode reduzir drasticamente a quantidade de ar insuflado no ambiente e interferir na distribuição através das placas perfuradas. Por tanto, deve haver o cuidado para que a passagem de ar não esteja bloqueada, isto deve ser feito através da integração dos projetos mecânicos, arquitetônicos e elétricos. Uma solução é a disposição dos cabos em regiões paralelas alternada às dos corredores frios. Além disso, calhas flutuantes também podem ser utilizadas para garantir que não haja obstrução do ar sob o piso elevado.



Figura 10: Piso elevado congestionado por cabos (Furukawa, 2008).



Figura 11: Piso elevado com os cabos organizados de maneira correta (Furukawa, 2008).

- Recortes no piso elevado. Este fato ocorre devido à necessidade de perfurar o piso para a passagem dos cabos de alimentação energética e lógica dos racks. Contudo tais perfurações devem ser devidamente vedadas para que não haja o *by-pass* do ar frio em uma região não útil à refrigeração dos racks;

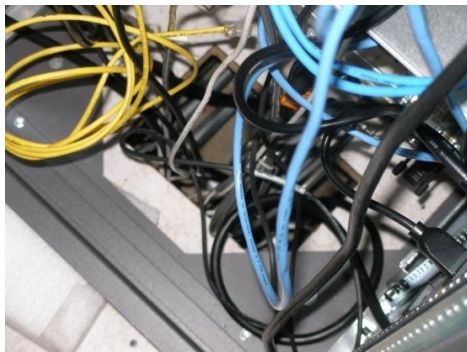


Figura 12: Recortes no piso elevado sem a vedação necessária (Furukawa, 2008).



Figura 13: Vedações para recortes em piso elevado (Solutions, 2013).

- Desbanco da pressão estática sob o piso elevado. Com o desbalanceamento da pressão estática podemos ter duas situações distintas. Caso a pressão seja muito elevada o *by-pass* de ar frio trona-se mais acentuado, desperdiçando o ar de refrigeração. Contudo, caso a pressão esteja muito baixa não haverá velocidade suficiente para o ar refrigerar toda a extensão do rack, podendo gerar pontos de concentração de calor;
- Espaços não preenchidos no corpo do rack. Quando não há a ocupação completa do rack os espaços vazios compreendidos entre os *switches* devem ser preenchidos. Neste caso são utilizadas placas cegas a fim de impedir a recirculação do ar de exaustão para o interior do corredor frio.

O desequilíbrio do sistema de refrigeração, do fluxo de ar e de pressão geram perdas energéticas consideráveis, que aumentam o custo operacional da instalação e podem criar os *hotspots*, condição que pode causar a paralisação do funcionamento dos equipamentos de TI. Esse fenômeno é caracterizado como um ponto de concentração do calor e suas conseqüências podem acarretar em prejuízos incalculáveis a algumas empresas. Companhias como bancos, as quais processam dados de correntistas e aplicações no mercado financeiro, não podem correr o risco de falha de um processador devido ao superaquecimento.

Como conseqüências dos *hotspots* há o travamento do sistema operacional que o gere, a parada total do processamento e, caso haja alguma falha de projeto de alguns componentes da placa de processamento, o derretimento de componentes inutilizando permanentemente o processador. Mesmo que haja o processamento simultâneo em algumas operações de risco o tempo de parada de um rack pode ser bem prejudicial aos negócios da empresa.

Os potenciais de refrigeração devem ser constantemente avaliados para a obtenção de um ambiente controlado e saudável aos equipamentos eletrônicos. Para configurações em que os racks não estão completamente preenchidos o curto-circuito do ar frio e quente deve extinto. O vazamento do ar frio devido a cortes no piso elevado também gera um acréscimo nos custos e um desperdício da capacidade de refrigeração. Estas e outras falhas estruturais devem ser observadas pela equipe técnica responsável pelo ambiente e sanadas assim que possível. A equipe técnica também deve estar ciente dos possíveis *hotspots* gerados devido às falhas e circunstâncias operacionais.

A Figura 14 apresenta um ambiente de produção genérico, de caráter ilustrativo, com alguns racks e os pontos de concentração de calor. Ao lado é possível observar escala de cores que demonstra a variação de temperatura entre os equipamentos dentro de uma Data Center.

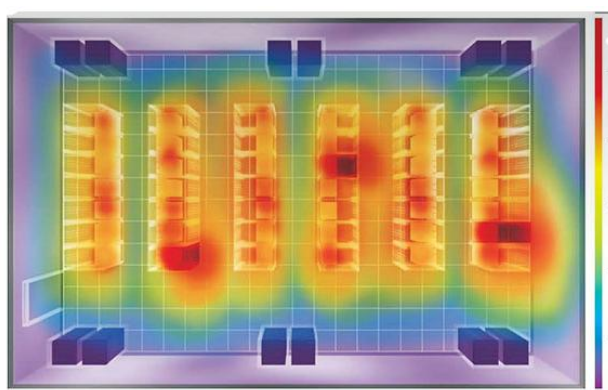


Figura 14: Densidade de calor em zonas de *hotspot* (mais calor por m<sup>2</sup>) (Aceco TI, 2010).

A configuração HACA também se tornou uma prática normatizada devido a capacidade de suportar configurações de maior densidade de calor dissipado. Hoje a expectativa é de que a dissipação chegue 30kW, com tendências de continuar crescendo (PG & E Corporation, 2012).



Uma das maneiras para evitar o *by-pass* do ar frio com o quente nas regiões adjacentes aos racks é aumentar o fluxo de ar frio nos corredores frio a fim de minimizar os efeitos do ar quente na circulação do ar responsável pela refrigeração, diminuindo a condição de desequilíbrio. Infelizmente aumentar o fluxo de ar frio implica em um aumento substancial do consumo de energia, por esse motivo data centers tem utilizado uma geometria de contenção de corredores para evitar a missigenação do ar frio e quente dos corredores.

### **2.3.2. PARÂMETROS DE EFICIÊNCIA**

O RCI e o RTI foram desenvolvidos com o mesmo objetivo: serem índices adimensionais que exprimem a eficiência energética de uma máquina. Contudo, a metodologia completa para o desenvolvimento e emprego deste índice envolve algumas etapas.

A primeira delas consiste na utilização de CFD para estimar as condições térmicas na entrada dos racks, em seguida sugere-se um índice ligado a refrigeração dos racks que seja rápido e ofereça uma comparação precisa entre os ambientes analisados. Por conseguinte, fixa-se o RCI e o RTI aos padrões e normas técnicas de refrigeração, por fim, é aplicada a metodologia em (pelo menos) dois ambientes distintos.

#### **RCI (ÍNDICE DE ARREFECIMENTO DO RACK)**

Este parâmetro foi proposto no ano de 2005 pela ASHRAE com a proposta de mensurar a eficiência energética de refrigeração em equipamentos de processamentos de dados (racks) em Data Centers (U.S. Department of Energy, 2012).

Este índice foi proposto para ser uma medida da eficiência de refrigeração dos racks seguindo os padrões e normas da indústria. Tal índice ajuda a avaliar o estado da sala de processamento e armazenamento de dados para um planejamento de gerenciamento ou de projetos. Desta maneira decisões de curto e longo prazo para o melhor gerenciamento das instalações podem ser tomadas com maior segurança (Herrlin, 2005).

Devido à grande quantidade de testes realizados, a ASHREA pode estipular as temperaturas máximas e mínimas aceitáveis e permitidas na operação de um centro de processamento de dados. As temperaturas podem ser obtidas através da carta psicrométrica mostrada anteriormente.

Tabela 2: Especificações térmicas para o ambiente de Data Center.

	Recomendada	Permitidas
Temperatura	20 - 25°C	15 - 32°C
Umidade	40 – 55%	20 – 80%

Foram estipuladas duas variações para o RCI, o  $RCI_{HI}$  e o  $RCI_{LO}$  ambos expressam a eficiência de refrigeração, contudo o primeiro demonstra o quanto à refrigeração é eficiente dentro dos padrões máximos e o segundo dentro dos limites mínimos. Estes são representados pelas Equações ( 2 ) e ( 3 ).

$$RCI_{HI} = \left[ 1 - \frac{\sum_{x=1}^n (T_x - T_{max.rec})}{(T_{max.all} - T_{max.rec})n} \right] 100 \text{ [%]}; T_x > T_{max.rec} \quad (2)$$

Na qual  $T_x$  é a temperatura tomada na entrada do rack,  $n$  é o total de dados tomados,  $T_{max.rec}$  é a temperatura máxima recomendada e  $T_{max.all}$  é a temperatura máxima permitida.

$$RCI_{LO} = \left[ 1 - \frac{\sum_{x=1}^n (T_x - T_{min.rec})}{(T_{min.all} - T_{min.rec})n} \right] 100 \text{ [%]}; T_x < T_{min.rec} \quad (3)$$

Onde  $T_{min.rec}$  é a temperatura mínima recomendada e  $T_{min.all}$  é a temperatura mínima permitida.

Os resultados compreendem valores entre 0 e 100%, sendo 100% o valor ideal, ou seja, todas as temperaturas se encontram dentro dos valores aceitáveis.

## RTI (ÍNDICE DE RETORNO DE TEMPERATURA)

Representa a medida do desempenho energético do gerenciamento do ar de refrigeração no Data Center. Especificamente é medida da do *by-pass* do ar frio ou da recirculação de ar quente da exaustão no interior das salas do centro de processamento de dados.

$$RTI = \left[ \frac{T_R - T_S}{\Delta T_{Equip}} \right] 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

Onde  $T_R$  é a temperatura de retorno do ar (medida na unidade resfriadora),  $T_S$  é a temperatura de insuflamento (na unidade resfriadora) e  $\Delta T_{Equip}$  é a diferença média de temperatura nos racks.

Também é um número adimensional que deve ser interpretado como:

- RTI = 100% significa um balanceamento de ar ideal;

- RTI < 100% indica que há *by-pass* do ar frio (o suprimento de ar refrigerado retorna as unidades de refrigeração diretamente);
- RTI > 100% indica recirculação do ar quente (neste caso pode haver a geração de *hotspots*, geralmente está associado a baixos RCI's).

Como pode ser observado na descrição das variáveis para o cálculo. Podemos definir o RCI como uma razão entre a diferença de temperatura nas unidades responsáveis pelo resfriamento do ambiente (unidade de CRAC ou CRAH) e a diferença entre as temperaturas no equipamento de TI. Dessa maneira temos um balanço térmico dentro da sala de produção que nos dá a porcentagem de ar usado no resfriamento do rack.

### 3. DATA CENTER DO BANCO DO BRASIL

#### 3.1. APRESENTAÇÃO

O objeto de estudo é o Data Center do Banco do Brasil, localizado em Brasília, Distrito Federal. Tido como ponto inicial de análise, o Complexo Central de Tecnologia do Banco do Brasil (CCT) encontra-se localizado na STN 716, este possui 50.000 m<sup>2</sup> de área construída e é dotado de quatro instalações: ICI-I, ICI-II, Edifício Sede IV e Cooperativa. A tabela abaixo apresenta a distribuição de área por cada prédio da instalação.

Tabela 3: Discriminação das instalações do CCT-DF.

<b>Prédio</b>	<b>Área Construída (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Função</b>
<b>Cooperativa</b>	4400	Escritórios
<b>Edifício Sede IV</b>	25000	Escritórios e Data Center
<b>ICI – I</b>	5600	Data Center
<b>ICI – II</b>	13150	Data Center
<b>Total</b>	48150	

(Banco do Brasil S.A., 2013).

Os prédios ICI-I e ICI-II, cuja sigla refere-se a Instalações Centrais de Informática, são os principais Data Centers do Banco, onde são processados e armazenados em tempo real todos os dados de transações bancárias e corporativas de todo o banco no Brasil e agências do exterior. Nestes também são processadas as operações interbancárias e serviços do Sistema Financeiro Nacional executado pelo Banco do Brasil.

Face ao requisito da plena disponibilidade dos serviços de TI, as instalações do CCT possuem um regime de operação contínuo e ininterrupto, funcionando 24 horas por dia nos 7 dias da semana e durante 365 dias por ano. Para cumprir a missão crítica de operar e sustentar a disponibilidade dos equipamentos e sistemas de TI, o Complexo é dotado de instalações elétricas, eletrônicas e mecânicas de grande porte, de natureza diversificada e de alta complexidade tecnológica, dedicadas a aplicação crítica de processamento de dados. Dentre os principais objetivos da infraestrutura existente no CCT, destaca-se a de assegurar a disponibilidade e a segurança física dos Data Centers, de forma a minimizar os riscos financeiros, legais, de imagem, perda de informações, dentre outros, decorrentes de eventuais falhas de prestação dos serviços de TI.

Para atender as exigências de infraestrutura física, o CCT possui em sua configuração de estruturas que garantam segurança as salas de processamento de dados. Os dois Data Centers presentes são ambos independentes, com sua própria carga térmica, configuração e estrutura física. O ICI-I é o mais antigo dentre os dois. O ambiente estudado foi o ICI-II, o qual é mais recente, começou a operar no fim de 2011, hoje é o principal CPD e sua ocupação pelos equipamentos de TI só tende a crescer.

O CCT atualmente busca reconhecimento de suas instalações a fim de obter, segundo padrões internacionais, títulos de operacionalidade. Hoje, em muitos requisitos o CCT é enquadrado nas classes de Data Center de grande porte, conseqüentemente de grande importância. No que tange a capacidade de processamento de dados, estrutura física, sistema de redundância, carga térmica o Data Center do Banco do Brasil é enquadrado como de Tier3 e também como Classe A1. Contudo em aspectos como a automação o Data Center do banco ainda não possui as exigências necessárias para possuir alguns certificados.

Devido a necessidade de melhorias nas instalações a fim de melhorar a eficiência energética do Data Center do banco, posturas como o enclausuramento de corredor estão sendo adotadas, visto que reduzir os custos com o sistema de periféricos ao Data Center se tornou prioridade das equipes de gerenciamento.

### **3.2. DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES (DADOS TÉCNICOS)**

Devido a necessidade de operação constante, os Data Centers exigem uma confiabilidade cada vez maior e um número bem menor de paradas para manutenção. Contudo é sabido que nenhum componente possui vida infinita, ou seja, os *hardwares* são passíveis de falhas. É necessário neste caso uma manutenção capaz de prever essas falhas utilizando sistemas de redundância que assegurem o funcionamento do Data Center. Atualmente este vem sendo o procedimento mais adotado pelos Data Centers. A redundância é o procedimento no qual todas as instalações são duplicadas, triplicadas, quadruplicadas, ou mais para garantir a disponibilidade de processos e equipamentos críticos. Como a redundância representa a criação de sistemas duplicados ou múltiplos, sua implementação acarreta um número maior de ativos. Acarreta também custo maior de estruturação e, principalmente, exige maior planejamento de manutenção (Brito, 2012).

O Data Center ponto de partida para a avaliação de eficiência energética é o ICI – II. Este composto por três prédios divididos em Produção, Gerenciamento e Infraestrutura. Respectivamente estas estruturas são:

- Produção: salas denominadas Telemáticas, ambientes de processamento de dados, ou seja, ambientes onde estão alocados os racks;

- Infraestrutura: locações chamadas Infras, nas quais estão alocados os equipamentos responsáveis pelo funcionamento das telemáticas providenciando os insumos básicos como refrigeração, alimentação elétrica, etc;
- Gerenciamento: salas de escritórios que abriga os equipamentos e equipe de monitoramento e gerenciamento do Data Center.

Os dois ambientes competentes a análise neste projeto são as salas produção (Telemáticas) e infraestrutura (Infras). Dentro das infras a parcela mais importante está ligada à produção de frio, visto que é neste ponto que há a busca pelo menor consumo de energia elétrica a fim de aumentar a eficiência energética proposta pelo PUE.

O sistema de refrigeração é indireta, composto por duas Centrais de Água Gelada (CAG's), que atuando individualmente ou em conjunto são capazes de suprir as necessidades de refrigeração de todo o conjunto de prédios. As CAG's são semelhantes e para atender a demanda de produção de frio possuem individualmente 3 Unidades Resfriadoras de Líquido (URL's) de condensação a água, sendo 2 com capacidade de refrigeração nominal de 700TR e uma com capacidade de refrigeração nominal de 300TR.

Os ambientes de estudo serão a Telemática 3 para a simulação foco deste trabalho, sala na qual já existe um corredor frio enclausurado e a Telemática 4 para a simulação para a validação do modelo.

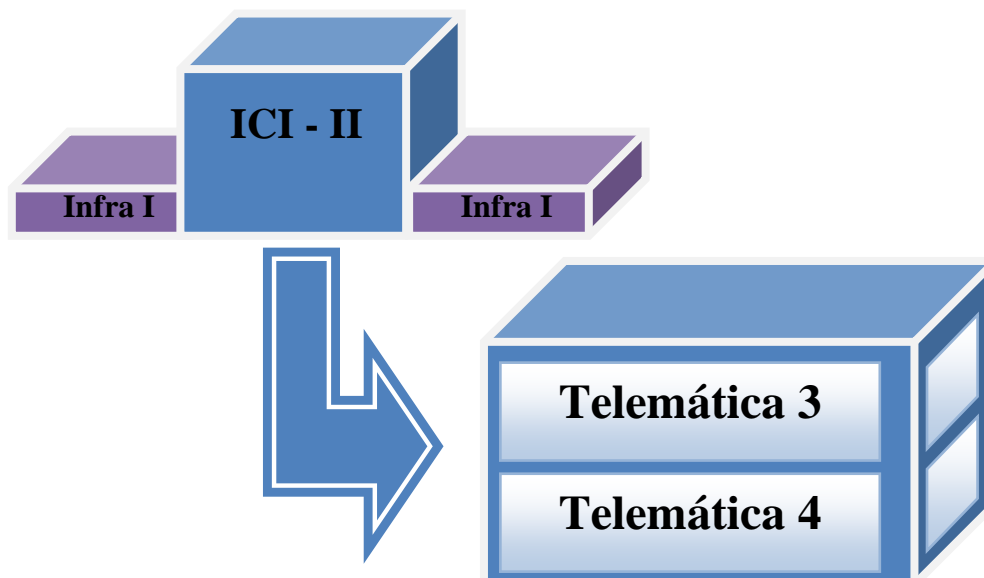


Figura 15: Representação esquemática da divisão do ICI-II.

Cada Telemática pode ser descrita como uma grande sala repleta de equipamentos de TI com dois corredores laterais, denominados corredores técnicos. São nestes corredores que estão alocados os fancoils, responsáveis pelo insuflamento do ar refrigerado sob o piso elevado. O

sistema conta também com quatro condicionadores de ar para renovação de ar, localizados nos vértices da sala, o qual também é responsável pela higienização, filtragem, umidificação ou desumidificação.

O insuflamento de ar para o ambiente de produção é feito através da sopragem de ar sob o piso do corredor técnico na região formada entre a laje e o piso elevado. O retorno dá-se por dumpers na parte superior dos painéis que dividem a área de Produção dos corredores técnicos na estrutura de alvenaria, estes dumpers caracterizam-se por também possuírem a função de registros corta-fogo. Tais registros também estão presentes na admissão externa e exaustão do ar interior ao ambiente visto que em situações de incêndio estes se fecham para impedir a entrada do oxigênio no ambiente.

## 4. ENCLAUSURAMENTO DE CORREDORES

Data Centers são instalações que operam sob uma missão crítica por terem se tornado o centro nervoso das operações das grandes corporações. Com o aumento da demanda por capacidade de processamento, as cargas térmicas também cresceram, transformando o gerenciamento térmico de um Data Center um desafio. Os problemas térmicos de ambientes de baixa densidade, antes ignorados, com os Data Centers de maior porte não são mais descartados, podemos citar:

- Recirculação do ar quente – o ar proveniente da exaustão dos racks retorna para o interior do equipamento;
- Vazamentos – a má vedação de pontos específicos como o piso elevado levam à passagem de ar frio/quente fora de seus respectivos corredores;
- Mistura do ar frio e quente – essa mistura gera perda da eficiência de energia de refrigeração;
- Obstrução da passagem de ar – a obstrução aumenta a resistência térmica no interior do rack.

Os operadores de Data Center usualmente devem estar capacitados a lidar com problemas típicos destas instalações. Estes são geralmente:

- Suprimento de ar para a refrigeração do ambiente insuficiente;
- Suprimento de ar para a refrigeração excessivo aumentando a velocidade de circulação do ar, conseqüentemente o *bypass* de ar frio com o quente;
- Utilização do sistema de refrigeração de maneira inadequada sem um ajuste fino dos parâmetros de refrigeração do sistema CRAC ou CRAH;
- Super utilização do sistema de refrigeração a fim de anular os pontos de calor (*hot spots*).

Todos as questões e problemas citados acarretam em sub ou super utilização do sistema de refrigeração e a uma baixa eficiência energética. Não se trata somente de reduzir o montante de energia gasta, também é importante a avaliação holística de opções de equipamentos e escolhas de *design* eficazes (Saurabh K. Shrivastava, 2012). A eficiência de um data Center, como dito, está relacionada à diminuição dos custos com todos componentes periféricos ao processamento de dados, do tipo: refrigeração, infraestrutura, iluminação, etc. Este trabalho possui como foco a análise do aumento da eficiência de refrigeração de Data Centers utilizando enclausuramento de corredor.



Um dos objetivos em melhorar a utilização de dispositivos que maximizem a eficiência do sistema de refrigeração é a eliminação dos pontos de calor (*hot spots*), os quais se tornam um risco em ambientes de alta densidade de calor.

A contenção de corredores é uma boa estratégia a fim de otimizar a economia energética (Prime Energy IT, 2011). Grande parte dos Data Centers mais modernos e de grande porte utilizam esse sistema de otimização energética (R. Zhou, 2011). O enclausuramento pode economizar 20% dos custos operacionais de refrigerador (chiller). Além disso, um estudo de 2007 do *Lawrence Berkeley National Laboratory* descobriu que a eletricidade usada para movimentar o suprimento de ar frio poderia ser reduzida em 75% implementando a contenção de corredor frio (McGucking, Paul, 2008). De maneira simples, a contenção de corredor promove a separação física entre o ar frio insuflado e o ar quente de retorno. O sistema de contenção de corredor em Data Centers ao prevenir a mistura do ar frio com o quente aperfeiçoa a distribuição e o fluxo de ar no ambiente. Esta separação garante um suprimento exclusivo de ar frio para a refrigeração dos equipamentos de TI. Com a alimentação de ar mais uniforme nos gabinetes as temperaturas na entrada dos racks não precisam ser tão baixas, diminuindo a sobrecarga no sistema de refrigeração.

Existem dois tipos básicos de contenção de corredor: contenção de corredor frio e contenção de corredor quente. Ambos os sistemas apresentam vantagens em comparação com o sistema convencional de corredores frios e quentes (Focused Cooling Using Cold Aisle Containment, 2009). O enclausuramento pode funcionar sob ou sobre o piso elevado como também sobre o forro da sala de processamento. Essa geometria de separação é uma decisão da gerência do Data Center e pode variar de acordo com a estrutura já instalada, diferentes configurações de racks, projeto arquitetônico do Data Center, *design* das salas de TI, dentre outros. As maneiras mais comuns de contenção são: Confinamento de Corredor Frio (CAC), Confinamento de Corredor Quente (HAC), e Chaminés ou Sistema de Dutos de Exaustão (VED). Os dois últimos são maneiras de contenção do ar quente, possuem diferentes geometrias, contudo oferecem as mesmas vantagens.

#### **4.1. CONFINAMENTO DE CORREDOR FRIO (CAC)**

Os corredores frios enclausurados promovem a separação física do ar frio insuflado do ar quente de exaustão através do confinamento do corredor frio. Um sistema CAC facilita o fornecimento de ar gelado para equipamentos com entradas de ar a uma temperatura uniforme. Ele oferece uma abordagem focalizada arrefecimento onde as temperaturas do ar de admissão dos equipamentos encontram-se perto da temperatura do ar insuflado pelo piso elevado. No entanto, isso resulta em um ambiente externo ao corredor frio de alta temperatura fazendo com

que o operador que trabalhe no Data Center esteja exposto a essa condição climática (Fink, 2011).

## 4.2. CONFINAMENTO DE CORREDOR QUENTE (HAC)

Neste caso, o corredor quente é separado fisicamente dos demais ambientes de produção. O objetivo do HAC é capturar o ar quente de exaustão eliminá-lo ou devolvê-lo às unidades refrigeradoras. O restante do ambiente torna-se uma sala refrigerada, trazendo conforto aos operadores do Data Center (Saurabh K. Shrivastava, 2012).

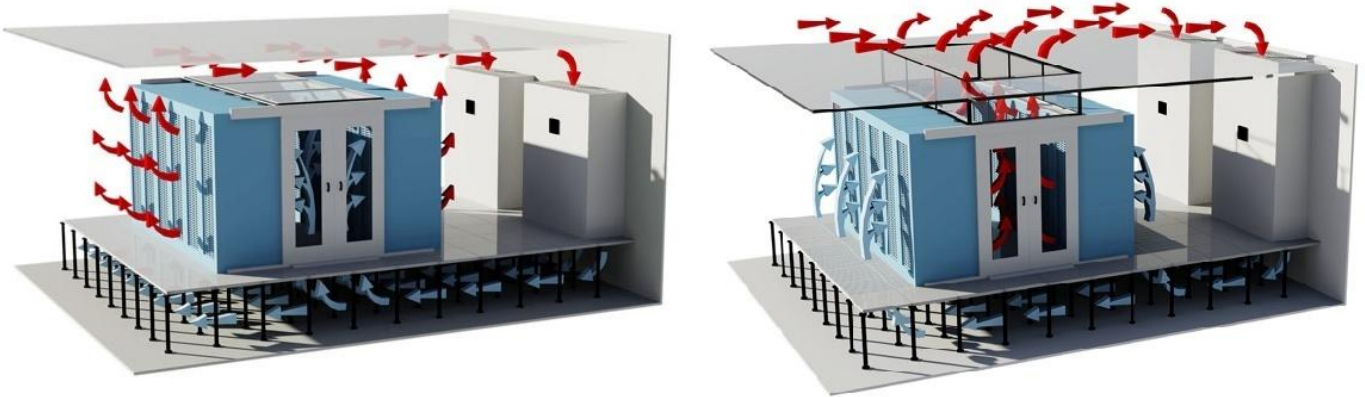


Figura 16: Representação de um corredor enclausurado frio (à esquerda) e um quente (à direita) (Future-Tech, 2013).

## 4.3. CHAMINÉS (VED)

O principal objetivo do VED é conter o ar de exaustão dos gabinetes e evitar a mistura de ar quente e frio dentro dos ambientes de produção. A captura do ar, neste sistema, é feita através da coleta do ar por sistemas semelhante às chaminés localizadas na parte externa de cada rack. Esse sistema necessita de uma montagem especial, mais rígida, na porta traseira dos racks conectando a região de exaustão com o forro do teto a fim de direcionar o ar quente as unidades refrigeradoras ou ao ambiente externo ao Data Center. As vantagens desse sistema é a livre passagem dos operadores pelos corredores dos ambientes de produção, contudo é o de maior custo em detrimento das estruturas de chaminés e forro a serem construídas para o funcionamento adequado dessa montagem. Outro problema para a utilização do VED é a diferença construtivas dos gabinetes. Muitas marcas devido ao aumento de capacidade de produção dos processadores projetaram racks que não são passíveis da instalação do VED (Saurabh K. Shrivastava, 2012).

As Figura 17 e Figura 18 mostram a montagem de um VED nas estruturas dos racks localizadas na exaustão do ar quente. Há também a possibilidade da montagem desse sistema de confinamento de ar para o ar frio. Neste sob o piso elevado são montados dutos para direcionar o ar frio diretamente para as grelhas de insuflamento. Para esse sistema é necessária a construção de uma estrutura complexa e precisa de dutos sob o piso elevado, outro ponto negativo é a impossibilidade de mudanças de leiaute, já que os dutos não podem ser reposicionados facilmente.

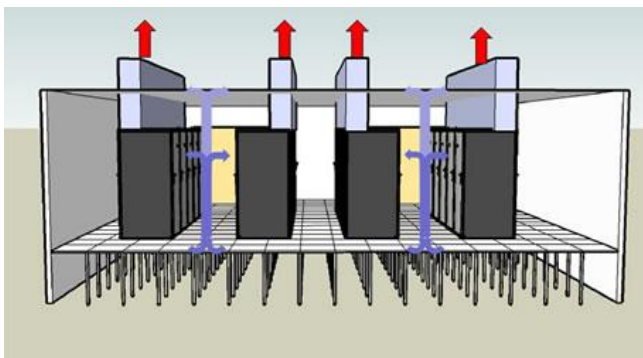


Figura 17: Vista da aplicação de um sistema VED (Simeon, 2013).



Figura 18: Detalhe da instalação de um sistema exaustor em um rack (Simeon, 2013).

Como vantagens para o corredor frio pode-se citar: menor área a ser refrigerada; há controle do fluxo de ar na passagem pelos racks; há uma diferença de pressão positiva entre o ar quente (saída dos racks) e frio (entrada dos racks). Já para o corredor quente têm-se como benefícios um ambiente externo aos racks mais confortável, caso haja necessidade de operadores no ambiente e uma inércia térmica favorável para o caso de falha do sistema de refrigeração.

Nas Figura 16, Figura 17 e Figura 18 observam-se as diferentes configurações de enclausuramento. Ambas necessitam de estruturas planejadas e planejamentos prévios, visto que o custo de implementação de estruturas como estas não é baixo em grandes Data Centers, os quais podem possuir muitas dezenas de corredores com comprimentos, também, bem extensos.

A proposta deste trabalho é avaliar a melhora de eficiência energética utilizando a contenção de corredores. Para o caso analisado, o qual será descrito em breve, será estudado somente a implementação de corredores de confinamentos frios. Esta é uma proposta já em utilização no Data Center foco do estudo, contudo não existem estudos economicos detalhados, nem dados quantitativos a respeito da implementação do CAC.

A contenção de corredor frio pode ser utilizada com ou sem a refrigeração tradicional, aquela sobre o piso elevado. Uma das vantagens desta configuração é a facilidade de adaptação à Data Centers com o piso elevado em conjunto com sistemas de refrigeração de densidade elevada, a fim de produzir soluções de refrigeração altamente eficientes. Ao integrar a

contenção de corredor frio com o refinamento dos sistemas de refrigeração, desempenho e eficiência energética são atingidos (Emerson Network Power, 2009).

## 5. CFD (DINÂMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL)

O uso de simulações computacionais atualmente tem se tornado uma prática comum no gerenciamento em Data Centers. Com o auxílio dessa ferramenta computacional é possível estimar temperaturas, fluxo de ar e campos de pressão no interior de uma sala de produção. Também é possível observar pontos de concentração de calor devido ao *layout* dos equipamentos e otimizar o posicionamento dos equipamentos a fim de obter uma maior eficiência do processo de resfriamento dos racks. Posicionamento das unidades de resfriamento, efeitos das obstruções do fluxo de ar, posicionamento dos racks, distribuição dos corredores quentes e frios, possíveis estratégias de contenção, todos são aspectos que podem ser observados e simulados em um CFD.

Entretanto, apesar das vantagens do uso do CFD, muitos Data Centers não são capazes de utilizar o CFD de maneira eficiente na operação de seus sistemas, visto que manter atualizado o inventário de todos os equipamentos de refrigeração e suas interligações gera um grande esforço para a equipe de gerenciamento. Reunir os dados necessários para a utilização do CFD pode se tornar uma boa empreitada, e as empresas que não possuem um sistema de gestão de recursos de infraestrutura abrangente, muitas vezes lutam para reunir a quantidade de detalhes necessários para a ferramenta de CFD fornecer uma análise completa (Aperture Technologies, Inc., 2009).

A análise de um escoamento está relacionada ao transporte das propriedades termodinâmicas podendo haver transferência de calor durante o período de análise do escoamento. A utilização do CFD vem crescendo devido a sua praticidade e baixo custo quando comparado à métodos mais clássicos como a construção de maquetes que tentam reproduzir os ambientes estudados em escala reduzida.

A simulação utilizando o CFD representa todos os aspectos do *layout*, piso e os equipamentos, e cria representações tridimensionais com base em dispositivos reais ou projetadas, que consideram os complexos processos que controlam a distribuição do fluxo de ar. Essa informação permite que a equipe de gerenciamento avalie as várias opções de design no menor tempo possível e rapidamente explore os possíveis cenários em busca da alocação ideal dos diversos equipamentos que compõem o Data Center equipamentos.

Em diversos casos, demonstrou-se que o fluxo de ar com base na modelagem em CFD pode ser eficazmente utilizado para identificar e solucionar problemas de refrigeração em Data Centers. Usando modelagem para o fluxo de ar o desempenho energético de refrigeração nos centros de processamento de dados existentes pode ser melhorado e, além disso, novos centros podem ser projetados para proporcionar uma melhor eficiência de refrigeração e menor consumo de energia. Em instalações já construídas, a equipe de gerenciamento de TI também

terá uma linha de base operacional mais detalhada e poderá realizar novas atualizações em detrimento de como o ambiente muda (Aperture Technologies, Inc., 2009).

A modelagem utilizando CFD em novos Data Centers tem um impacto positivo sobre o custo total e nos resultados, visto que, os engenheiros estão trabalhando em um ambiente inteiramente novo. Em um CPD operacional, onde os obstáculos são muitos, modelagem CFD pode ser mais desafiadora. Mesmo que haja um ambiente desafiador para em novas instalações, em geral os Data Centers se beneficiam com a modelagem com CFD já que a equipe responsável pelo gerenciamento de TI pode reconfigurar o ambiente existente para melhorar os níveis de eficiência atuais.

A origem do estudo do comportamento do fluido é antiga e esteve presente por séculos nos estudos de engenharia. Tais estudos se concentraram na análise do ‘comportamento’ do fluido, contudo isso só era possível através da observação e empirismo.

A Teoria do Contínuo fundamenta a conceituação teórica que justifica a maior parte das análises em CFD. O fluido, um meio contínuo, é discretizado com base no modelo das partículas fluidas. Esta abstração conceitua um elemento representativo de volume, REV. Neste elemento de volume, de micro ou nano dimensões, uma propriedade ou quantidade física mantém um valor médio, sob as mesmas condições, passível de reprodução em laboratório, sob as mesmas solicitações externas ao fluido. Assim uma partícula representativa de um volume de fluido, o REV, é o menor volume em que as propriedades do fluido se mantêm (Harlow, 2004).

As descrições matemáticas do comportamento dos fluidos só foram ganhar maior importância no século XIX com as equações de Navier-Stokes, Eq. ( 5 ), desenvolvidas a partir precursores de Claude Navier (1822), Simeon Poisson (1839) e George Stokes (1845). Nesse trabalho relacionavam as propriedades do fluido e do escoamento sendo muito avançado para a época (Strobel, 2011).

$$\frac{D\vec{U}}{Dt} = -\nabla p + \nabla \cdot \tau - g \cdot k \quad (5)$$

As equações de Navier-Stokes modelam qualquer escoamento viscoso, e matematicamente elas constituem um sistema de equações diferenciais parciais não lineares, nas variáveis  $v_i$ ,  $p$  e  $T$  como variáveis dependentes. Os termos de mais alta ordem nestas equações, que aparecem devido aos efeitos viscosos são lineares e de segunda ordem, enquanto os termos convectivos são não lineares e de primeira ordem. Por estas razões estas equações são também chamadas quase lineares (Lauder & Spalding, 1974).

Qualquer conjunto de equações diferenciais parciais de segunda ordem pode ser classificado como elíptico, parabólico ou hiperbólico, sendo que as equações de Navier-Stokes exibem todos

os três tipos de comportamento. Até hoje não se conhece soluções analíticas para um escoamento viscoso e arbitrário, assim costuma-se adotar o tratamento numérico que se mostra muito promissor. O termo “dinâmica dos fluidos computacional” é usado para resolver escoamentos governados por estas equações via métodos numéricos e em um computador (Ferreira, Mello, Oliveira, & Fortuna, 1999). Com a evolução da capacidade de processamento de dados a simulação numérica da mecânica dos fluidos tornou-se uma prática amplamente usada em validações e implementação de modelos propostos. Tal prática é tem se tornado primordial em novos projetos de engenharia a fim de prever os fenômenos físicos relacionados ao escoamento fluido.

## 5.1. EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS

A mecânica dos fluidos quando utilizada em simulações numéricas utiliza-se de três equações fundamentais: equação da continuidade, quantidade de movimento e da energia. Tais equações baseiam-se em três princípios físicos, respectivamente:

- Conservação massa;
- Conservação da quantidade de movimento (nomeada como 2ª Lei de Newton);
- Conservação da energia (conhecida como 1ª Lei da Termodinâmica).

Respectivamente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{D\rho}{Dt} + \rho \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho e_t) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i e_t) = -\frac{\partial}{\partial x_i}(p u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} u_i) + \frac{\partial q_i}{\partial x_i} \end{array} \right. \quad (6)$$

### 5.1.1. FENÔMENOS DE TRANSPORTE

Podemos caracterizar uma função como uma “equação de transporte” utilizando uma função característica  $\psi$ . Sempre que esta grandeza  $\psi$  é transportada pelo campo de velocidades de um escoamento, esta grandeza satisfará a uma equação, dita de transporte, que tem o seguinte aspecto geral (Bird, Stewart, & Lightfoot, 1960).

$$\frac{D\psi}{Dt} = Dif_{\psi} + (F - P)_{\psi} \quad (7)$$

- $\frac{D\psi}{Dt}$ : representará a taxa de variação temporal do valor da grandeza no interior de um volume elementar de fluido;
- $Dif_{\psi}$ : representará um fluxo da grandeza através das paredes do volume elementar, de origem daquela do transporte pelo campo de velocidades (denominado de “transporte difusivo”);
- $(F - P)_{\psi}$ : representa o ganho global de  $\psi$  devido à criação ( $F$ ) ou destruição ( $P$ ) da propriedade no interior do volume elementar de fluido. ( $F$  designa ‘fonte’ e  $P$  designa ‘poço’).

Da própria definição de derivada material podemos reescrever a Eq. ( 7 ).

$$\frac{\partial\psi}{\partial t} + u_i \frac{\partial\psi}{\partial x_i} = Dif_{\psi} + (F - P)_{\psi} \quad ( 8 )$$

Escrita desta forma, a equação pode ser interpretada como representando um balanço da grandeza  $\psi$  sobre um volume de controle no interior do escoamento. A variação temporal da propriedade, aqui, representa a taxa de acumulação (por unidade de volume) no interior do volume de controle e  $u_i \left( \frac{\partial\psi}{\partial x_i} \right)$  expressa o transporte associado à existência de um campo de velocidades, sendo esta última parcela a responsável pelo transporte advectivo. O termo  $(F - P)_{\psi}$  irá dizer o efeito global das fontes e poços de  $\psi$  sobre o valor da grandeza no interior do volume de controle. Finalmente, a parcela  $Dif_{\psi}$  expressará o transporte global através das superfícies que circundam o volume de controle por ação diversa da convecção (Bird, Stewart, & Lightfoot, 1960).

## 5.2. MODELOS NUMÉRICOS

O modelo turbulento utilizado pelo CFX é o SST (*Shear Stress Transport*), este modelo foi criado por Menter (1994), é um modelo do tipo RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*) e utiliza duas formulações de outros dois modelos  $k - \epsilon$  e o  $k - \omega$ . Tais formulações são bem simples quando comparadas a outras. Na região externa ao escoamento utiliza-se a formulação do robusto modelo  $k - \epsilon$ , e onde esse modelo se mostra pouco eficiente, na região próxima a parede (interna à camada limite), utiliza-se as equações de transporte do modelo  $k - \omega$  (Martins, 2007).

O parâmetro fundamental que modula as diferentes formulações para  $k - \epsilon$  e  $k - \omega$  é denominado  $y^+$ , forma adimensional da coordenada perpendicular à direção do escoamento. Esta variável é usada para verificar a distância do primeiro nó até a parede.



$$y^+ = \frac{yv_\tau\rho}{\tau_0} \quad (9)$$

Onde  $y$  é a distância à parede e  $v_\tau$  é a velocidade de atrito dada por:

$$v_\tau = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (10)$$

Sabendo que  $\tau_0$  é a tensão na parede.

Para uma malha cujo refinamento não seja tão fino a ponto de discartizar todos os fenômenos que ocorrem no interior da camada limite, a formulação  $k - \epsilon$  é a mais adequada. Os valores ideais para  $y^+$  no modelo  $k - \epsilon$  variam de 30 a 300 (Versteeg & Malalasekera, 2007).

Para o modelo de convecção, utilizado devido ao transporte de massa, foram utilizados os modelos *standard* presente do CFX. Primeiro, o modelo de Boussinesq o qual define que a variação na massa específica do fluido é dada pelo gradiente de temperatura. Este modelo confere uma convergência mais rápida da modelagem, visto que coloca a densidade do fluido em função somente da temperatura. A aproximação de Boussinesq é descrita como:

$$\rho = \rho_0(1 - \beta\Delta T) \quad (11)$$

Onde  $\beta$  é o coeficiente de expansão térmica. O modelo de Boussinesq não deve ser utilizado em domínios onde o gradiente de temperatura é elevado, entretanto para as simulações propostas possuem um gradiente de temperatura suficientemente baixo, a fim de que a modelagem confira um resultado seguro.

### 5.3. CONDIÇÕES DE CONTORNO

Em um estudo cuja transferência de calor é um dos pontos de análise as trocas de calor em detrimento do escoamento devem ser contabilizadas. Devido ao caráter não linear do escoamento as condições de contorno iniciais tomadas são as de que a temperatura do fluido é igual a da superfície em contato. Outra se baseia no conceito de camada limite, a qual é que a camada de fluido nas imediações de uma superfície delimitadora, fazendo-se sentir os efeitos difusivos e a dissipação da energia mecânica. Por este conceito temos que a velocidade do escoamento é nula nas superfícies em contato.

As condições primordiais para a simulação foram:

- Escoamento tridimensional;
- Incompressível;
- Permanente;
- Turbulento;

- Sem dissipações viscosas;
- As forças de compressão não realizam trabalho;
- Paredes adiabáticas.

Para a geração de calor, cada rack foi considerado uma unidade fluida geradora de calor, tal dado foi especificado de acordo com o objetivo de cada simulação. As vazões mássicas também foram elementos iniciais necessários à inicialização da simulação, tais vazões também variaram de acordo com o objetivo da simulação.

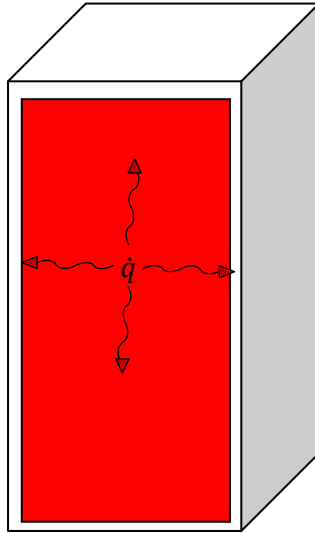


Figura 19: Representação de como o volume fluido produz calor no interior do rack (configuração inicial para a simulação).

#### 5.4. MODELO COMPUTACIONAL CFX

Para as simulações o software utilizado foi o CFX 14.0, desenvolvido pela AEA Technology – Engeneering Software e faz parte de um pacote de ferramentas computacionais o ANSYS Workbench. O CFX tem sido uma das ferramentas mais utilizadas em ambientes acadêmicos e profissionais para o estudo da mecânica dos fluidos em casos que exigem ferramentas numéricas para sua solução. Tais casos, em geral, possuem termos não lineares que tornam a solução inviável manualmente. Para a solução de casos tão complexos o *software* faz uso das equações de Navier-Stokes utilizando as condições de contorno inseridas em sua interface.

Uma de suas facilidades é a capacidade de importar arquivos do tipo CAD para sua plataforma, desta maneira estruturas mais complexas podem ser desenhadas em plataformas destinadas a função de desenho e posteriormente serem interpretadas em uma simulação.

### 5.4.1. ETAPAS DO CFD

A simulação é dividida em quatro etapas: geração de malha; pré-processador; processador; pós-processador.

Os algoritmos numéricos são a base de cálculo para a simulação computacional. Por isso há uma sofisticada interface gráfica para a inserção de parâmetros que definem as condições de contorno, os dados iniciais e os dados desejados ao final da simulação.

O CFX emprega o método dos volumes finitos em conjunto com malhas estruturadas (podendo-se ter malhas não-estruturadas), porém com flexibilidade de adaptação de geometrias complexas por meio de coordenadas generalizadas e a possibilidade de resolução com a metodologia de multibloco. Além de resolver numericamente as equações de Navier-Stokes em três dimensões, o software possui uma enorme quantidade de modelos para diferentes aplicações que vão desde modelos para o escoamento turbulento até modelos para escoamentos em meios porosos, combustão e escoamentos multifásicos, entre outros (Kostetzer, 2007).

### 5.4.2. GERAÇÃO DA MALHA

Este é primeiro passo no processo de simulação e é com ele que é estipulada a qualidade dos dados a serem gerados, bem como o tempo necessário para se obtê-los. A malha é uma representação discreta de um domínio geométrico em um conjunto de subconjuntos formados por formas geométricas em duas dimensões e por pequenos prismas no caso 3D.

Os prismas que podem ser utilizados são os demonstrados na Figura 20. Os elementos tetraédricos são mais versáteis que os hexaédricos na representação de geometrias mais complexas, já que este tipo de estrutura pode gerar problemas na região da camada limite, onde o refinamento na parede é importante, principalmente em escoamentos turbulentos. Porém hexaedros necessitam de um refinamento maior visto que não há variação entres os ângulos dos elementos, os quais permanecem retos, o que minimiza sua utilização em superfícies curvas.

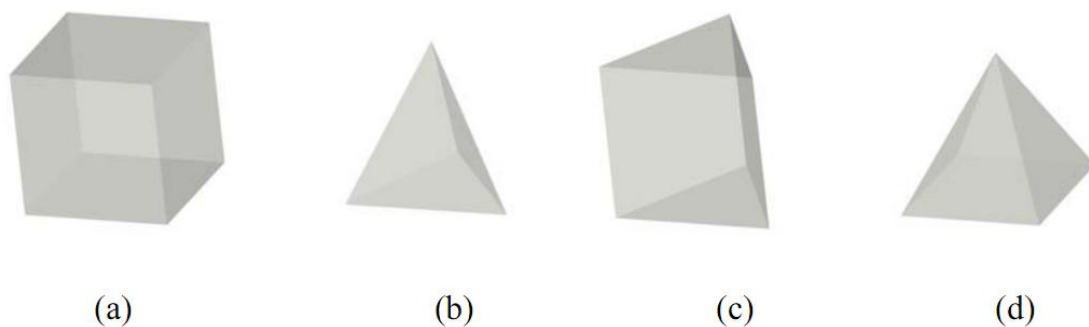


Figura 20: Diferentes estruturas para geração das malhas. (a) Hexaédrica, (b) Tetraédrica, (c) Pentaédrica, (d) Piramidal.

As malhas podem ser escolhidas de duas maneiras: estruturadas e não-estruturadas. As malhas estruturadas basicamente em malhas curvilíneas generalizadas de fácil construção, porque se adaptam segundo as direções preferenciais das fronteiras, em malhas ortogonais que garantem a normalidade entre as famílias de curvas em todos os pontos (Correã, 2012).

As malhas não-estruturadas têm a característica de se adaptarem aos limites do domínio, permitindo uma construção quase perfeita do mesmo. É necessário especificar um número de nós nos contornos e um algoritmo de cálculo (Correã, 2012).

Ainda é possível a utilização de malhas híbridas as quais também são usadas em domínios com geometria arbitrária, mas o processo de geração de malhas é mais complicado que o processo que usa malhas não-estruturadas (Sousa, 2007).

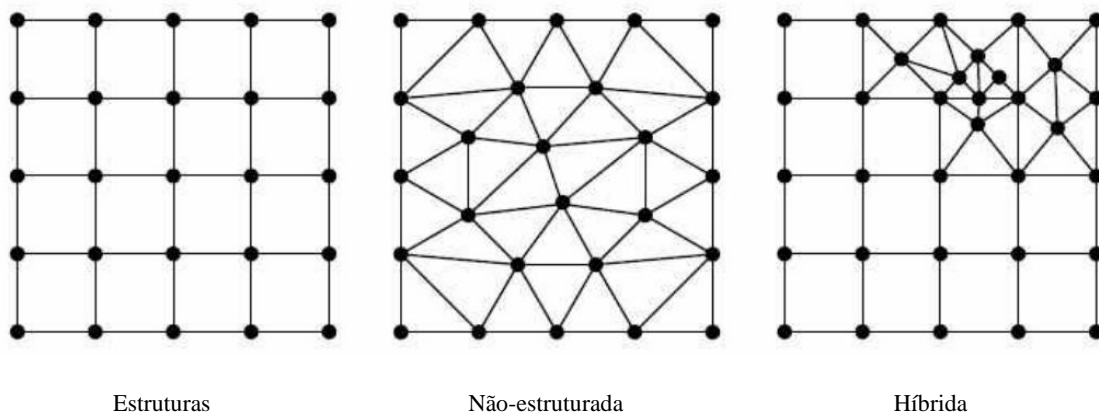


Figura 21: Diferentes tipos de malhas (Batista, 2005).

### 5.4.3. CONDIÇÕES DE CONTORNO

Estão são as características conhecidas do escoamento tais como pressão, velocidades temperatura. Desta maneira os dados conhecidos devem ser introduzidos no *software* a fim de regular as condições de cada volume de controle, esta etapa é de fundamental importância já que a convergência dos resultados dependem de como as condições iniciais da simulação foram impostas.

Para um escoamento de um fluido transportando calor foram atribuídas as seguintes condições:

- Entrada (inlet): fluido escoar somente para fora do domínio;
- Saída (outlet): fluido escoar somente, para fora do domínio;
- Aberto (opening): fluido pode escoar tanto para fora quanto para dentro do domínio, simultaneamente;
- Parede (wall): controle impenetrável do escoamento;

- Parede (wall): contorno impenetrável por fluido e não deslizamento.

É aqui que também foi definido regime do escoamento tal como fluxo de massa e temperatura do fluido. Nas condições abertas o fluxo de entrada e/ou saída é livre. Nas paredes são definidas as características de superfície: lisa ou rugosa.

#### **5.4.4. PRÉ-PROCESSADOR**

Para desenvolver qualquer projeto em CFD é necessário identificar o domínio do problema, ou seja, a região onde se deseja definir as variáveis de interesse (pressão, velocidade, temperatura, vazão, etc) e analisar o escoamento. A geometria e a malha do domínio são geradas em um programa tipo CAD as quais são importadas para o pré-processador. Nesta etapa é que serão determinadas as condições de contorno, indicando o fenômeno a ser simulado (físico ou químico), o fluido de trabalho e suas propriedades, características do escoamento (rugosidades, temperaturas, pressões), características da simulação (transiente ou permanente, subsônico ou supersônico, monofásico ou multifásico) e as condições de contorno do domínio (Strobel, 2011).

É nesta etapa que é definido o refinamento da malha. Quanto mais fina, maior os detalhes e a precisão dos resultados, contudo uma malha mais refinada exige uma capacidade computacional maior, isto implica em maior tempo de processamento.

#### **5.4.5. PROCESSADOR (CFX SOLVER)**

Esta etapa utiliza o método de volumes finitos no processamento de dados da malha gerada sob as condições estipuladas no pré-processador. O CFX Solver é o responsável pela solução numérica das equações governantes do sistema e da convergência da solução. Também é possível o monitoramento de outras variáveis definidas no pré-processador e a alteração de alguns parâmetros antes estipulados, como por exemplo, o número de interações.

As equações geradas são de grande complexidade e são resolvidas de maneira iterativa devido ao caráter não linear das equações. Portanto para cada iteração um erro residual é reportado como a medida da diferença entre o resultado das equações algébricas e a solução exata (Resende, 2009).

#### **5.4.6. PÓS-PROCESSADOR**

Os resultados obtidos na etapa de processamento são redirecionados ao pós-processador. Neste momento é possível observar graficamente os resultados do escoamento, através de linhas de corrente, termografias, campos de pressão, e outros em cada região do domínio estudado,

facilitando o entendimento físico de cada fenômeno e possibilitando o controle de zonas específicas que antes não poderiam ser discretizadas. É nesta etapa que são feitas as análises dos resultados e a discussão do modelo adotado.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Este estudo visa através da utilização de *softwares* (EES, CFX e SolidWorks) avaliar o ganho energético no sistema de refrigeração do Data Center do Banco do Brasil utilizando a contenção de corredores frios. A avaliação será feita em um corredor localizado na Telemática 3 do ICI-II do Banco do Brasil. Neste corredor já há o confinamento dos corredores, contudo nenhum estudo foi para comprovar a eficiência desta solução.

Por se tratar de fenômeno transiente parte importante da simulação para o corredor foco do estudo é a validação da simulação, ou seja, a confirmação de que o modelo numérico utilizado comporta-se como a fisicamente observada no mundo real sob as mesmas condições. Caso o comportamento seja semelhante então o modelo é dito válido.

Para a validação utilizou-se outro grupo de racks, cujas variáveis podiam ser aferidas e posteriormente comparadas com os resultados computacionais. Os dois grupos de racks foram denominados:

- Corredor IBM: conjunto no qual o objetivo é a validação da simulação numérica;
- Corredor Emerson: conjunto foco do estudo, que já possui o confinamento.

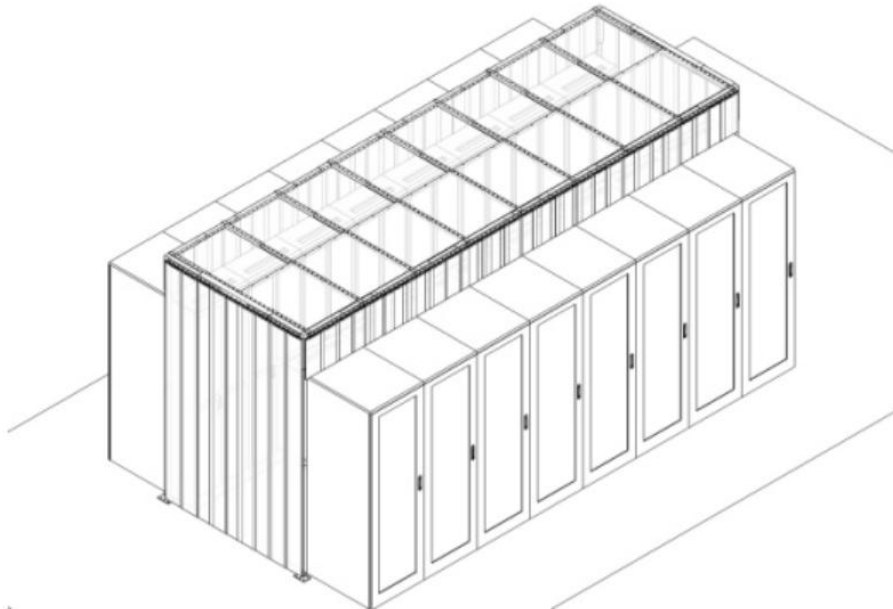


Figura 22: Corredor genérico Emerson.

Tais corredores estão localizados no mesmo Data Center em duas sala diferentes, porém estas são espelho uma da outra, possuindo a mesma configuração estrutural e os mesmos equipamentos responsáveis pela refrigeração do ambiente. O Corredor IBM está localizado no ICI-II na Telemática 4, enquanto o Corredor Emerson (como dito) localiza-se na telemática 3.

Para as simulações numéricas algumas adaptações nas geometrias dos corredores foram feitas a fim de facilitar a coleta de dados sem, contudo, prejudicar a compatibilidade do modelo real. Primeiramente os corredores foram simulados de maneira isolada. No modelo não há outros conjuntos de racks ou equipamentos de TI que pudessem interagir com o conjunto estudado. Para o sistema de refrigeração foi adotado a mesma configuração para os dois corredores. O conjunto de dampers localizados nas paredes que dão acesso aos corredores técnicos foi substituído por uma abertura de mesma altura. Os dampers possuem dimensões de 60x60 centímetros, na altura correspondente a real foi utilizado um rasgo na parede com 60 centímetros de altura. Tal simplificação é possível já que temos as paredes como adiabáticas, logo não há troca de calor com qualquer outra estrutura que esteja no caminho do escoamento.

Com relação aos possíveis e existentes vazamentos de ar da estrutura de um Data Center, foi considerado que essa falha operacional não ocorre. Os vazamentos podem ser evitados mediante projetos que tentem ajustar da maneira mais fina possível as junções no sistema de refrigeração ou com a utilização de estruturas de vedação que evitam que os cortes no piso elevado, necessários para a passagem dos cabos elétricos e lógicos, não fiquem abertos.

O sistema de refrigeração utilizado para a simulação do ambiente de validação (Corredor IBM) foi representado de acordo com o presente no Data Center. Tanto a geometria quanto as especificações técnicas forma mantidas. O insulamento é feito pela parte inferior do fancoil e o retorno pela parte superior. Uma das condições de funcionamento reproduzida em todas as simulações foi a incapacidade dos fancoils de modularem a vazão de ar insuflado. Para o corredor de validação foi utilizada uma vazão constante medida localmente. Para o corredor Emerson, devido à alta carga térmica, foi utilizada uma vazão de ar padrão sugerida pela bibliografia. No segundo caso, mesmo com vazões consideradas muito altas foram encontrados equipamentos presentes no mercado que são possuem as especificações técnicas dos fancoils representados.

Um parâmetro importante do gerenciamento de um CPD é a umidade relativa do ar. Como mencionado, este é definido dentro de padrões claros, contudo na utilização do modelo este parâmetro não foi considerado. Durante as medidas feitas a umidade relativa do ar também pode ser observada, esta se conservou sempre no intervalo entre 45 e 53%, a qual é considerada ideal segundo as recomendações da ASHREA (*vide* Tabela 2). Portanto para todas as propostas numéricas considerou-se a umidade relativa ideal.



## **6.2. CORREDOR IBM (VALIDAÇÃO DA SIMULAÇÃO)**

Para a validação do modelo os dados utilizados foram as temperaturas de entrada e saída dos racks. Tais temperaturas foram aferidas utilizando aparelhos de medições para temperatura, umidade relativa do ar, pressão estática e fluxo de ar.

O corredor utilizado nessa primeira avaliação apresenta uma configuração particular. Diferentemente da configuração que pode ser vista em uma configuração padrão de HACA, neste corredor não há o um conjunto de racks paralelos a fim de criar um corredor frio fechado. A existência entre corredor frio (no qual o ar é insuflado) e corredor quente (no qual o ar é exaurido) persiste, porém só há um lado do corredor com equipamentos para processamento.

O Corredor IBM é responsável pelo processamento dos investimentos de agências e correntistas. Tais investimentos ocorrem em agências e os gerentes destas são os responsáveis por acioná-los. Logo, o máximo processamento dos dados ocorre em dias úteis em horário comercial. Tal fato reforça a importância da validação dos dados sob uma ótica técnica. Por esse motivo a coleta de dados foi efetuada de maneira rápida a fim de minimizar as incertezas do processamento a qual está diretamente ligada com a geração de calor. Os dados foram coletados no mínimo espaço de tem e em um dia e hora de intensa atividade financeira para que os resultados apresentassem maior consistência e peso técnico.

Utilizando a planta da instalação e dados coletados manualmente foi feita uma reprodução simplificada dos racks no *SolidWorks*. A simplificação da geometria foi feita para que não houvesse interferência dos outros grupos de racks no sistema.

As dimensões do CAD podem ser vistas no Anexo III. Neste modelo não foram representadas as interferências causadas pelos obstáculos sob o piso elevado. Esta consideração foi feita devido à localização do corredor na sala de produção, por se encontrar parcialmente isolado dos demais racks o cabeamento sob este grupo de racks é menor.

### **6.2.1. COLETA DE DADOS (PROCEDIMENTOS DE MEDIDAS)**

As medições foram efetuadas no dia 13 de setembro de 2013 entre às 14h12min e 14h50min horas. O objetivo das medições terem sido feitas em um único dia e em uma mesma tomada de dados é o de minimizar o caráter transiente da operação de processamento de dados. Tal caráter está relacionado à randomicidade do processamento de dados em determinados racks, os quais podem estar ligados as redundâncias de processamento, as características de cada dado, e outros.

As medições de temperatura na entrada dos racks, vazão nas grelhas de insuflamento e pressão estática foram feitas utilizando um balômetro Alnor modelo EBT 721, as temperaturas

na saída dos racks e retorno nos *fancoils* foram tomadas utilizando o termo-higrômetro Minipa modelo MTH-1380.



Figura 23: Termohigrômetro Minipa MTH-1380 (Minipa, 2012).



Figura 24: Balômetro Alnor EBT 721 (www.tsi.com, 2013).

A coleta das temperaturas na saída do rack foi feita em diferentes alturas. O termohigrômetro foi posicionado em três níveis separados uniformemente. Este foi posicionado exatamente na grelha de exaustão do gabinete. Os três pontos foram a 500mm, 1000mm e 1500mm da base do rack. Ao ser observada a estabilização da temperatura no visor do aparelho (o tempo aproximado foi de 1 minuto) está era anotada.

A tomada dos dados na entrada do rack foi feita baseada nas dimensões do balômetro, o qual devido a sua configuração estrutural faz a medição a um metro do piso elevado, também na região próxima a entrada física do gabinete.

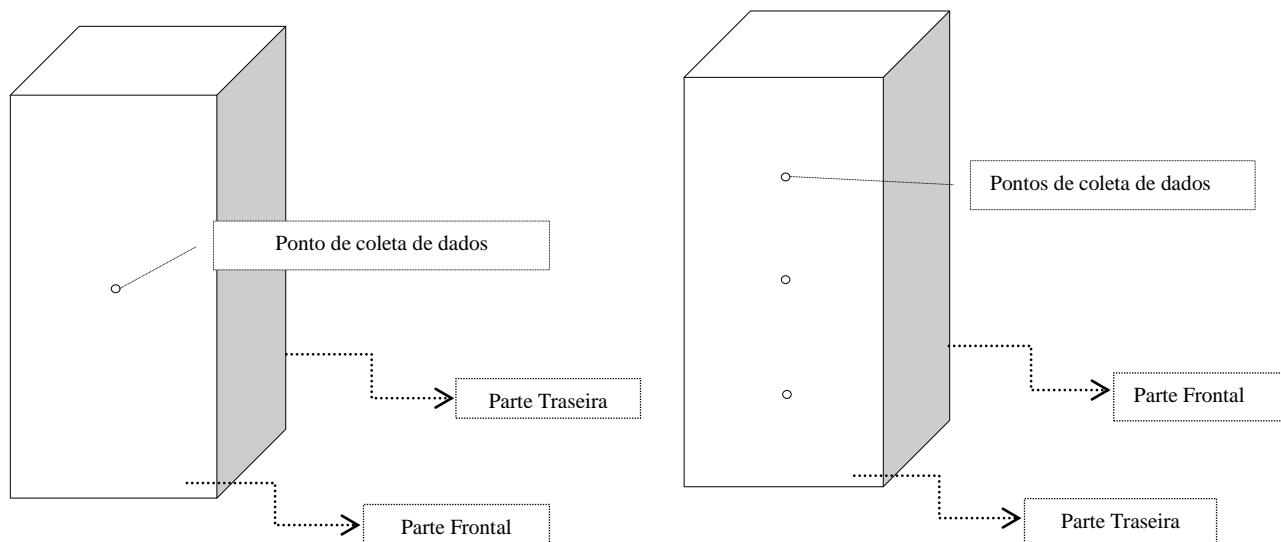


Figura 25: Pontos de coleta de dados (Esquerda insuflamento e Direita exaustão).

O corredor foi dividido entre os dez racks que o constituem, como ilustrado na Figura 26.

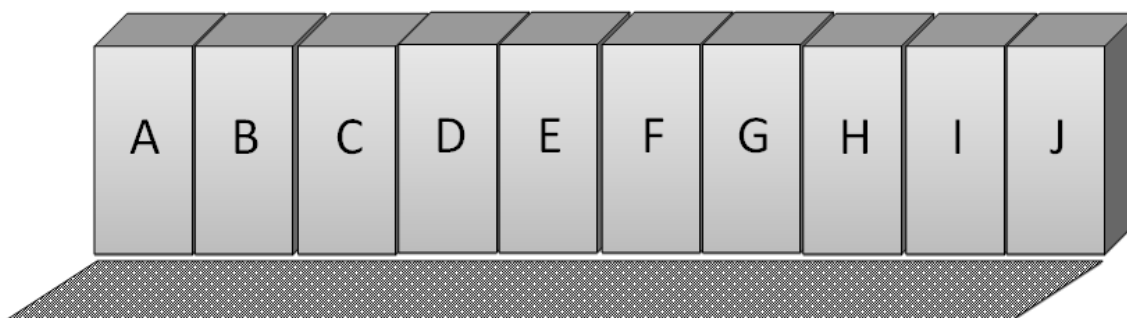


Figura 26: Configuração dos racks e nomeação de acordo com a posição.

O rack A é a mais afastada da unidade resfriadora, logo o J é a mais próxima do fancoil. As medições de temperatura de entrada e retorno e de vazão de ar foram feitas em quatro racks: A, D, G e J.

Os dados coletados que servirão como parâmetros comparativos encontram-se na Tabela 4. As células que apresentam três valores são aquelas nas quais foram feitas três medições com o balômetro, visto que este aparelho coleta o dado de maneira instantânea. Nas temperaturas de saída foram feitas as medições utilizando-se o termohigrômetro em três diferentes alturas, como já elucidado. As temperaturas de retorno nos fancoils foram tomadas nas unidades mais próximas ao grupo de racks estudado. Estas também foram tomadas com o termohigrômetro na parte superior do equipamento de refrigeração, ou seja, no retorno do ar à máquina. A respeito das pressões, com o balômetro, também, aferiu-se as pressões manométricas sob o piso elevado, entretanto os valores obtidos foram da ordem de  $10^1$  Pa, ou seja da ordem de  $10^{-4}$  da pressão atmosférica, tais valores encontram-se fora do ponto de convergência do software. Por esse motivo a pressão estática sob o piso não foi um fator de verificação para validação.

Tabela 4: Coleta de dados.

	A	D	G	J
Temperatura de Entrada [°C]	21,3/ 22,5/ 22,1	21,6/ 23/ 22,2	21,7/ 22/ 22	22/ 22,2/ 22,3
Temperaturas de Saída [°C]	30,6	30,7	30,3	30,9
	27,8	37,2	28,0	26,5
	26,2	25,2	24,6	24,3
Temperatura de Retorno no	24,46			
Vazão [m³/h]	1476/ 1487/ 1480	1443/ 1439/ 1428	1437/ 1436/ 1429	1343/ 1352/ 1342
Pressão Estática [Pa]	48	47	50	47

Este corredor foi escolhido para ser objeto da validação por se tratar de um corredor onde houvesse a capacidade de determinar a carga térmica instantânea. Na parte posterior de cada rack há uma régua elétrica PM 3000 Avocent, que possui um visor indicando a corrente elétrica real instantânea.



Figura 27: Régua elétrica Avocent PM 3000 (Avocent, 2013).

Para que o modelo fosse representado de maneira mais realista todas as correntes instantâneas foram coletadas, ou seja, neste caso foi possível obter dados para todos os racks (de A a J) que constituem o corredor. Desta maneira temos a dissipação térmica exata em cada rack.

Tal fato dá mais veracidade ao modelo computacional, pois se tenta minimizar os efeitos transientes relacionados ao processamento de dados, o qual está em constante alteração.

Com os dados de temperatura foi possível encontrar os valores do RCI e RTI, tais parâmetros foram necessários para a adoção de algumas premissas de análise. Utilizando das definições e das Eq. ( 2 ), ( 3 ) e ( 4 ) foram encontrados os parâmetros de eficiência.

Tabela 5: Resultados para o RCI<sub>HI</sub>, RCI<sub>LO</sub> e RTI experimentais.

RCI <sub>HI</sub>	100%
RCI <sub>LO</sub>	100%
RTI	390,21%

Utilizando da premissa de que praticamente toda potência elétrica consumida pela máquina de TI é transformada em calor, foram utilizados para a determinação da carga térmica dos racks os valores dados pela equação ( 12 ).

$$\dot{q} \equiv Pot_{dis} \equiv Pot_{\acute{u}til} = i \cdot U \quad (12)$$

Sabendo que  $\dot{q}$  é a carga térmica,  $Pot_{dis}$  é a potência dissipada,  $Pot_{\acute{u}til}$  é a potência útil,  $i$  é a corrente elétrica por rack e  $U$  é a tensão elétrica em que estão conectados os racks.

A tensão nominal a que todos os racks estão submetidos no interior do Data Center é de 208 volts. Tal parâmetro é assegurado como constante devido ao sistema de UPS's que mantém a tensão estável dentro de limites mínimos de variação. Os resultados para as cargas térmicas por rack são:

Tabela 6: Carga térmica para o corredor IBM

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Amperagem [A]	9	9	3	4	3	7	6	4	4	7
Carga Térmica [W]	1872	1872	624	830	624	1456	1248	830	830	1456
Carga Térmica Total [W]	11648									

Neste caso é possível observar que para o mesmo corredor as cargas térmicas de cada rack podem ser bem dispare. Tal fato é consequência da randomicidade a qual os processadores estão submetidos.

Outra condição de contorno é a vazão de ar insuflado no ambiente. Um das premissas adotadas para a determinação do fluxo mássico de ar refrigerado consiste no fato de que todo o ar insuflado no interior dos racks troca calor. Tal consideração pode ser utilizada, pois o RTI calculado, o qual quantifica o quão bem refrigerado está sendo o rack, possuía um valor excelente. Logo todo o calor produzido pelos racks é retirado pelo ar refrigerado.

$$\dot{q} = \dot{m}c_p\Delta T \quad (13)$$

Onde:

$\dot{q}$ : é a carga térmica [W];

$\dot{m}$ : é o fluxo mássico [kg/s];

$c_p$ : é o calor específico a pressão constante [J/kg·K];

$\Delta T$ : é a diferença de temperatura entre a entrada e a saída [°C ou K].

Utilizando-se da Eq. ( 13 ) o valor encontrado para a refrigeração dos racks é:  $\dot{m} = 1,29$  kg/s. Para esse cálculo simples foi utilizada uma rotina simples no EES. (vide Anexo I – Rotina para a determinação do fluxo mássico.).

A Tabela 7 mostra a vazão total de ar insuflada pelas grelhas no piso elevado, a qual foi obtida multiplicando as médias das vazões aferidas pela quantidade de grelhas no corredor e a vazão estimada de refrigeração, a qual foi calculada acima. As medidas *in loco* quando comparadas aos resultados teóricos mostraram que a proporção entre o ar utilizado para a refrigeração dos racks e o ar insuflado total é de ¼. Tal informação nos diz que ¾ do ar insuflado retorna a unidade resfriadora sem efetivamente retirar calor do ambiente.

Tabela 7: Vazão mássica para o corredor IBM

Vazão de Ar Total Insuflada	14850 m <sup>3</sup> /h
Vazão de ar Usada na Refrigeração	3805 m <sup>3</sup> /h

### 6.2.2. SIMULAÇÃO

Utilizando o CFX, foi importado o modelo tipo CAD e as etapas descritas para a simulação do modelo de mecânica dos fluidos foram seguidas. Inicialmente foi gerada uma malha híbrida com 877.782 nós e 2.992.921 elementos dos quais 360.000 são hexaédricos e configuram a

malha dos racks o restante da malha é tetraédrica e monta o restante do ambiente. Em seguida foram definidas as condições de contorno e as variáveis que fazem parte da simulação: vazão de ar, cargas térmicas de cada rack, temperatura de insuflamento do ar, são elas:

- Carga térmica total: 11.638 kW;
- Temperatura de insuflamento do fancoil: 18 °C;
- Vazão de ar insuflado: 5,32 kg/s.

Como descrito, a forma adotada para descrever o rack (fonte de calor) foi defini-lo como um volume fluido, no qual todo o ar insuflado retira calor do seu interior.

Na fase de pós-processamento foi possível observar as termografias geradas e as linhas de fluxo no sistema.

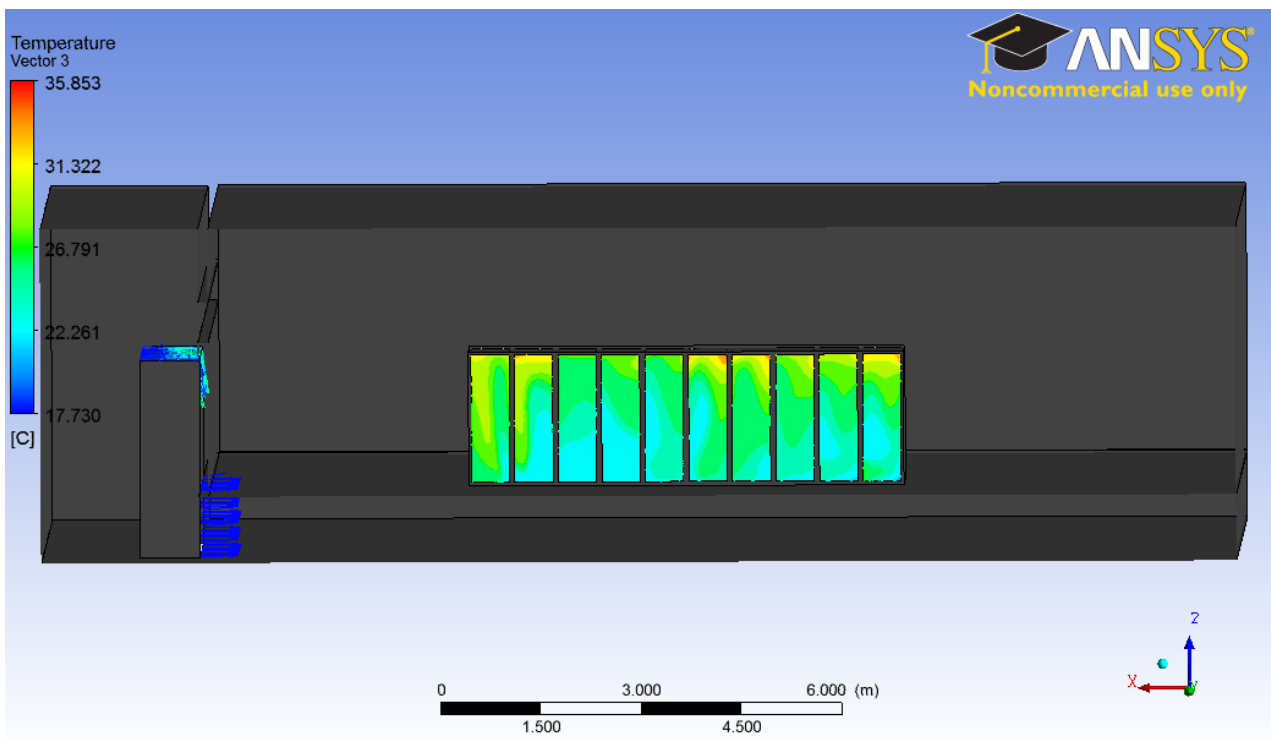


Figura 28: Termografias na saída dos racks (Corredor IBM).

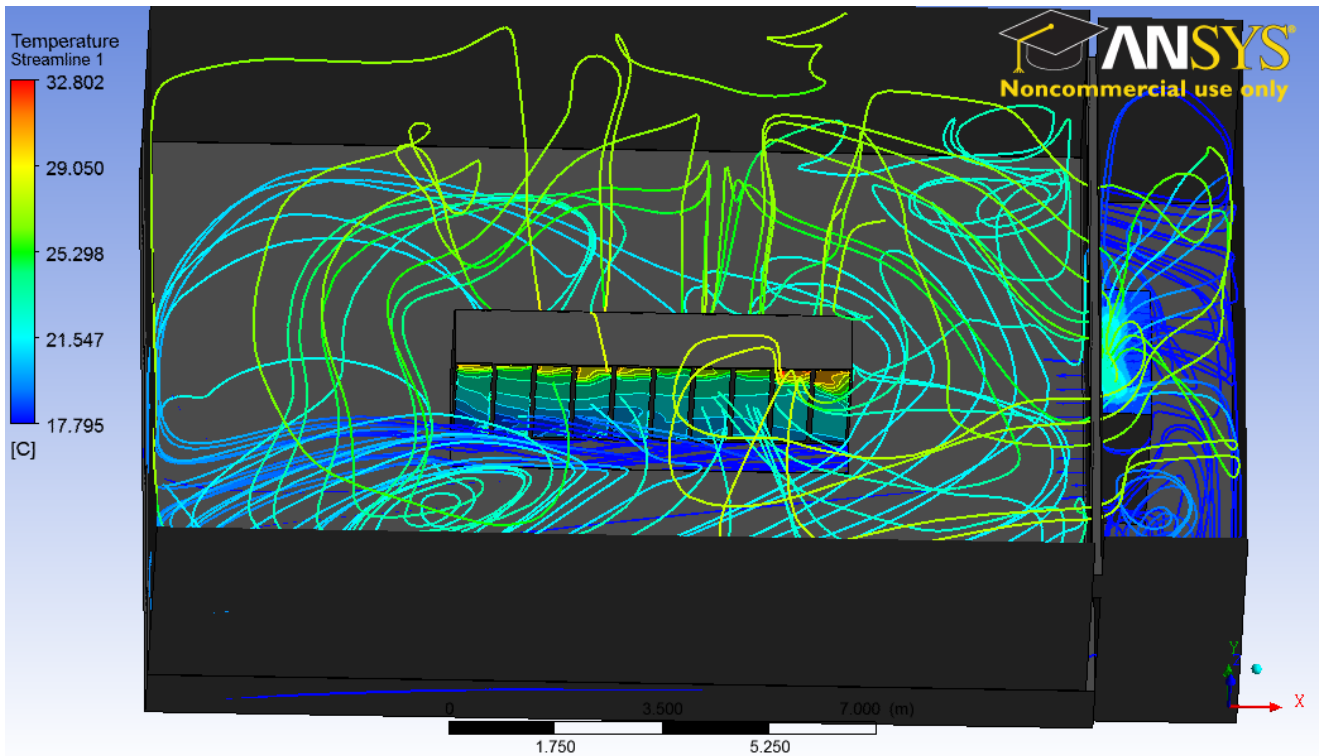


Figura 29: Simulação do campo de escoamento (Corredor IBM).

Inicialmente, obteve-se um  $y^+$  médio de 52,98, o que dá consistência a formulação adotada. Os resultados obtidos na simulação foram satisfatórios e através da comparação dos resultados com os dados reais foi possível autenticar a eficiência do método numérico. Utilizando dos dados gerados pela simulação, presentes nos gráficos contidos no Anexo IV, logo, construiu-se uma tabela com dados de temperatura com o objetivo de compará-la à apresentada no tópico de coleta de dados. As temperaturas resultado da simulação são as imediatamente após a superfície geradora de calor. A Tabela 8 compara as temperaturas da entrada dos racks no corredor IBM. As temperaturas obtidas através da simulação foram colhidas em pontos semelhantes às empíricas, a 1 metro de altura e no centro dos racks intitulados: A, D, G e J.



Tabela 8: Comparação entre as temperaturas na entrada dos racks do Corredor IBM experimentais e numéricas.

<b>Racks</b>	<b>Temperaturas médias coletadas experimentalmente [°C]</b>	<b>Temperaturas encontradas na simulação do Corredor IBM [°C]</b>
A	21,7	23,3
D	22,2	22,8
G	21,9	22
J	22,17	22,6

Observa-se que a diferença entre as duas medidas é baixa e corresponde a no máximo 10% da magnitude das temperaturas.

A Tabela 9 difere-se da anterior devido ao modo com que os dados reais foram coletados. As três temperaturas na saída dos racks, tomadas em diferentes alturas, foram comparadas às temperaturas obtidas na análise numérica em pontos próximos aos coletados *in loco*.

Tabela 9: Comparação entre as temperaturas na saída dos racks do Corredor IBM experimentais e numéricas.

<b>Racks</b>	<b>Temperaturas coletadas experimentalmente [°C]</b>	<b>Temperaturas encontradas na simulação do Corredor IBM [°C]</b>
A	30,6	30,8
	27,8	28
	26,2	26
D	30,7	29
	29,2	25,5
	25,2	22,3
G	30,3	32,2
	28,0	27,6
	24,6	24
J	30,9	31
	26,5	25,3
	24,3	23,6

Da mesma maneira que a mostrada pela Tabela 8, observa-se que em ambos os cenários para o mesmo rack, a uma mesma altura, a maior parte dos valores encontrados para as temperaturas são compatíveis. Mesmo havendo um ponto impar, todos os outros dados também possuem uma diferença menor que 10% em relação ao seu conjugado. Tendo em mãos os valores de temperatura foi possível comparar os valores para o RCI e RTI. Por se tratarem de funções cuja única variável é a temperatura a convergência desse parâmetro era previamente esperada.

Tabela 10: Comparação entre o RCI e o RTI para os dados experimentais e para a simulação numérica no Corredor IBM.

	<b>Dados experimentais</b>	<b>Dados resultantes da simulação numérica</b>
RCI <sub>HI</sub>	100%	100%
RCI <sub>LO</sub>	98,6%	100%
RTI	390,21%	323,13%

A Tabela 10 aponta que, tanto para o caso real quanto para o ambiente numericamente simulado, as condições de operação são as semelhantes. Em ambos os casos a refrigeração dos racks é completa, porém há uma grande perda de ar por by-pass. Para o calculo do RCI e RTI foram utilizados diferentes rotinas. A rotina utilizada para o calculo do RCI é mais complexa, por isso foi utilizada uma rotina proposta pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos desenvolvida pela equipe de eficiência energética e energias renováveis (*EERE - Energy Efficiency & Renewable Energy*).

O RTI, por sua vez, pode ser determinado de uma maneira mais simples. Por se tratar entre a relação da diferença de temperatura nos fancoils e a diferença de temperatura nos racks, foi utilizada uma rotina que utilizando as temperaturas aferidas e as disponibilizadas pelo CFX, disponíveis na Tabela 14.

### **6.3. CORREDOR EMERSON**

Foco principal da verificação dos impactos do enclausuramento, o Corredor Emerson é um dos exemplos de corredores de alta densidade dentro do Data Center. A proposta inicial do corredor era conter somente *blades* para o processamento no interior dos racks. *Blades* são servidores com uma capacidade de processamento, em geral maior que a de *switches* convencionais em Data Centers.

Este corredor foi inicialmente projetado para possuir duas fileiras de racks com onze racks em cada uma delas. A proposta sempre foi de que este fosse um dos corredores categorizados

como de alta densidade (acima de 7 kW por rack). Por apresentarem maior capacidade de processamento os *blades* também dissipam uma quantidade maior de calor. Inicialmente a proposta do Corredor Emerson era abrigar em cada rack três *blades* com capacidade de dissipação de calor de 7 kW, cada. No total isso levaria cada rack a ter 21 kW de carga térmica, no final o corredor passaria a ter uma carga térmica nominal de 441 kW, aproximadamente 125 TR. Para uma carga térmica dessa magnitude seria necessário um sistema de refrigeração bem robusto, tudo isso sem considerar que existem outros corredores com suas respectivas dissipações térmicas. Por esse motivo um acordo realizado entre as equipes de engenharia e responsável pelo desenvolvimento de TI do Banco do Brasil estipulou como máxima carga térmica por rack o valor de 10 kW. Portanto, essa foi a primeira condição de contorno para esse corredor.

Outro fato que contribuiu para uma nova representação do corredor é o fato de alguns dos racks não estão ocupados. Logo foi utilizado um rack a menos que o número de racks em cada fileira do corredor. O corredor existente possui, no total 21 racks, o construído para a simulação, 20.

Feita a validação do modelo. Aqui foram feitas duas análises numéricas sem confinamento e com confinamento. Ambas foram feitas sob as mesmas condições de contorno, em um mesmo ambiente. A única condição de contorno que diferencia as duas hipóteses é a de impenetrabilidade nas superfícies do teto e das portas do corredor para o caso com confinamento.

O ambiente foi gerado com as dimensões semelhantes às utilizadas no Corredor IBM, e também podem ser observadas no Anexo III. Um dos detalhes que diferenciam os ambientes dá-se pela tentativa de representar a influência do cabeamento sob o piso elevado. As estruturas que tentam inserir essa influência no modelo podem ser observadas na parte inferior na planta do Corredor Emerson no Anexo III.

### **6.3.1. SIMULAÇÃO**

De maneira análoga à do Corredor IBM, obteve-se a malha gerada através do sistema de pré-processamento do CFX com 966.180 nós, a qual foi utilizada para os cenários aberto e fechado.

Em seguida se estabeleceu as condições de contorno do problema. Como dito, parte importante para uma análise confiável foi a utilização das mesmas condições em ambos os casos:

- Carga térmica total: 200 kW;
- Temperatura de insuflamento do fancoil: 14 °C;
- Vazão de ar insuflado: 400 m<sup>3</sup>/h por rack.

Para a carga térmica utilizou-se o produto entre a carga térmica máxima estipulada pela equipe técnica do Bando do Brasil e quantidade de racks. Analogamente ao Corredor IBM, os racks também foram considerados como volumes fluidos. A vazão de ar insuflado foi análoga a valores utilizados em simulações presentes em trabalhos citados na bibliografia. O objetivo ao se utilizar uma vazão tão alta é garantir que os racks estejam sendo completamente refrigerados, visto que com a vazão utilizada no modelo de validação (corredor IBM) o fluxo mássico era insuficiente para retirar o calor gerado por uma carga tão grande.

### **6.3.2. SEM CONFINAMENTO**

Como informação de saída do *software*, foram obtidas as temperaturas de entrada e saída dos racks, também foi possível analisar as temperaturas de retorno do ar nos fancoils. Entretanto, os valores apresentados na Tabela 11 seguem as recomendações propostas pela ASHRAE, as quais recomendam o controle e monitoramento somente as temperaturas de entrada nos racks. Logo, só estas foram analisadas. O valor para  $y^+$  médio, neste caso, foi de 200.

É importante ressaltar que a temperaturas, apresentadas na Tabela 11, são uma média espacial dos valores obtidos na simulação. No total, estes valores são resultado de uma média aritmética de aproximadamente 1200 pontos localizados nas superfícies de entrada dos racks. Um dos objetivos da utilização da média é amortizar as discrepâncias encontradas e fazer uma comparação mais uniforme.

Tabela 11: Dados de saída do CFX contendo as médias espaciais de temperatura na entrada dos racks sem confinamento.

<b>Aberto</b>				
Racks	Temp. [°C]		Racks	Temp. [°C]
E1	24,80		D1	24,86
E2	32,76		D2	22,72
E3	29,90		D3	23,14
E4	24,72		D4	23,68
E5	20,25		D5	22,09
E6	20,88		D6	22,25
E7	20,88		D7	21,85
E8	19,53		D8	18,97
E9	18,99		D9	17,27
E10	18,49		D10	16,37
<b>Média</b>	<b>23,12</b>		<b>Média</b>	<b>21,32</b>

Pelas termografias (Figura 30) é possível observar que em racks como o E2, temperaturas acima de 50°C podem ser encontradas. Na Figura 30 a termografia apresenta as temperaturas que variam de 14 a 58°C. Variações tão grandes são extremamente nocivas em ambientes de Data Center, visto que alguns equipamentos possuem limites de variação de temperatura por tempo bem determinados.

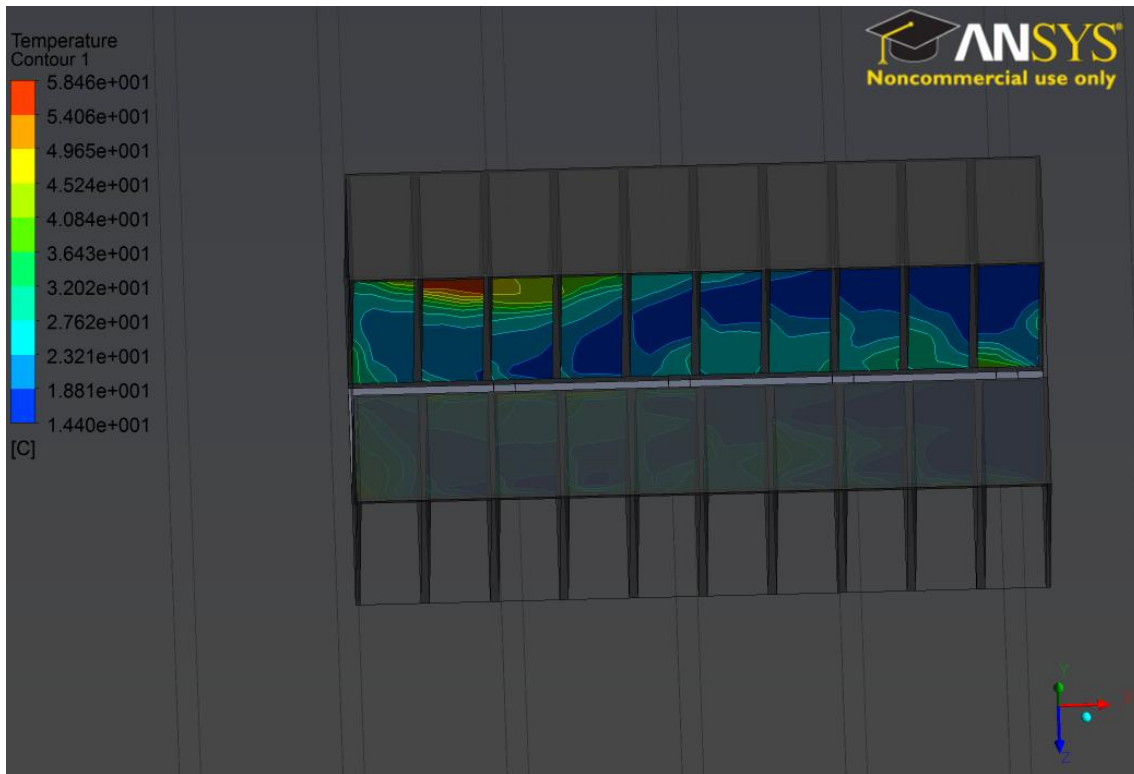


Figura 30: Temperaturas de entrada nos racks para a configuração sem confinamento.

A fim de avaliar os impactos diretos das temperaturas, baseado nas especificações da ASHRAE, uma segunda imagem termográfica foi gerada. A Figura 31 apresenta três diferentes circunstâncias:

- Região azul: apresenta temperaturas abaixo dos recomendados;
- Região verde: apresenta valores com temperaturas dentro dos valores sugeridos;
- Região vermelha: as temperaturas estão acima dos valores recomendados.

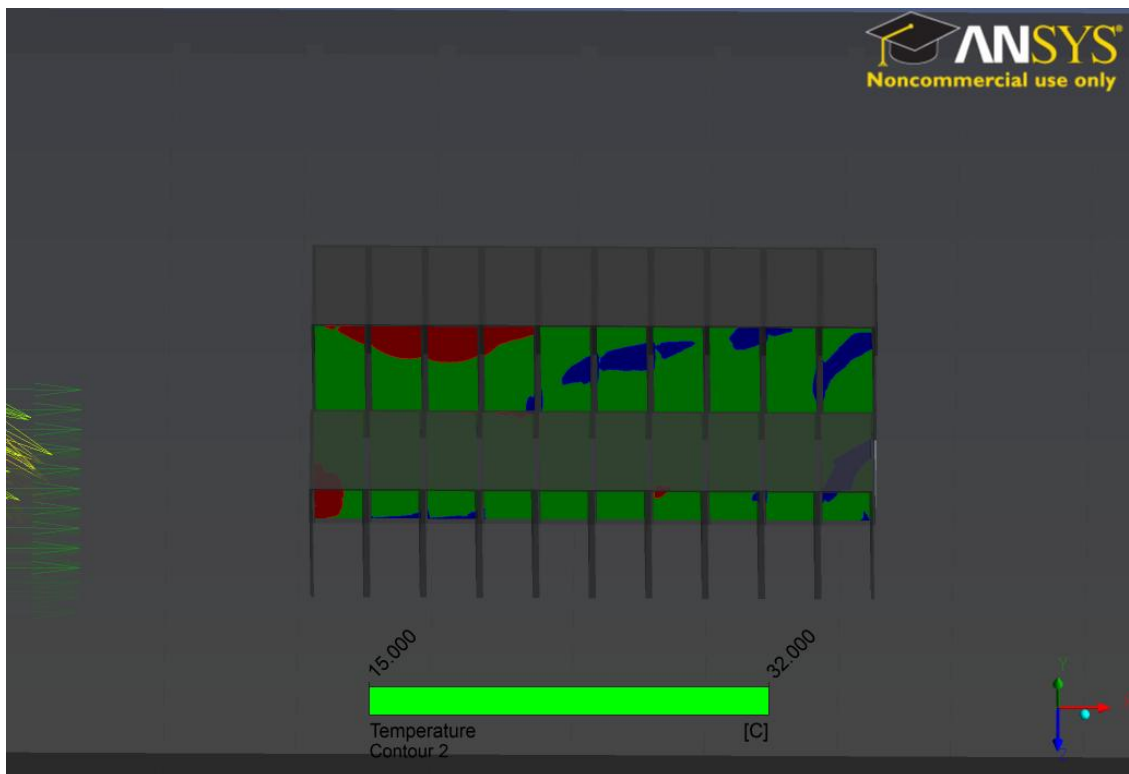


Figura 31: Termografias baseadas em parâmetros ASHRAE (sem confinamento).

As informações por serem apresentadas de uma maneira mais simples, dentro de zonas pré-determinadas, tornam a análise do estado dos racks mais intuitivas. Desta maneira também a comparação com o modelo confinado torna-se mais fácil visualmente. Na Figura 31 a mesma região que apresentava altas temperaturas como visto na Figura 30, apresenta-se mais explícita, bem como outras zonas de concentração ou perda excessiva de calor.

Observando a Figura 32 é possível entender o quanto o escoamento dá-se preferencialmente nos racks localizados ao fim do corredor. Espera-se que com o confinamento do corredor haja uma homogeneização deste escoamento, aumentando a capacidade de refrigeração do sistema.

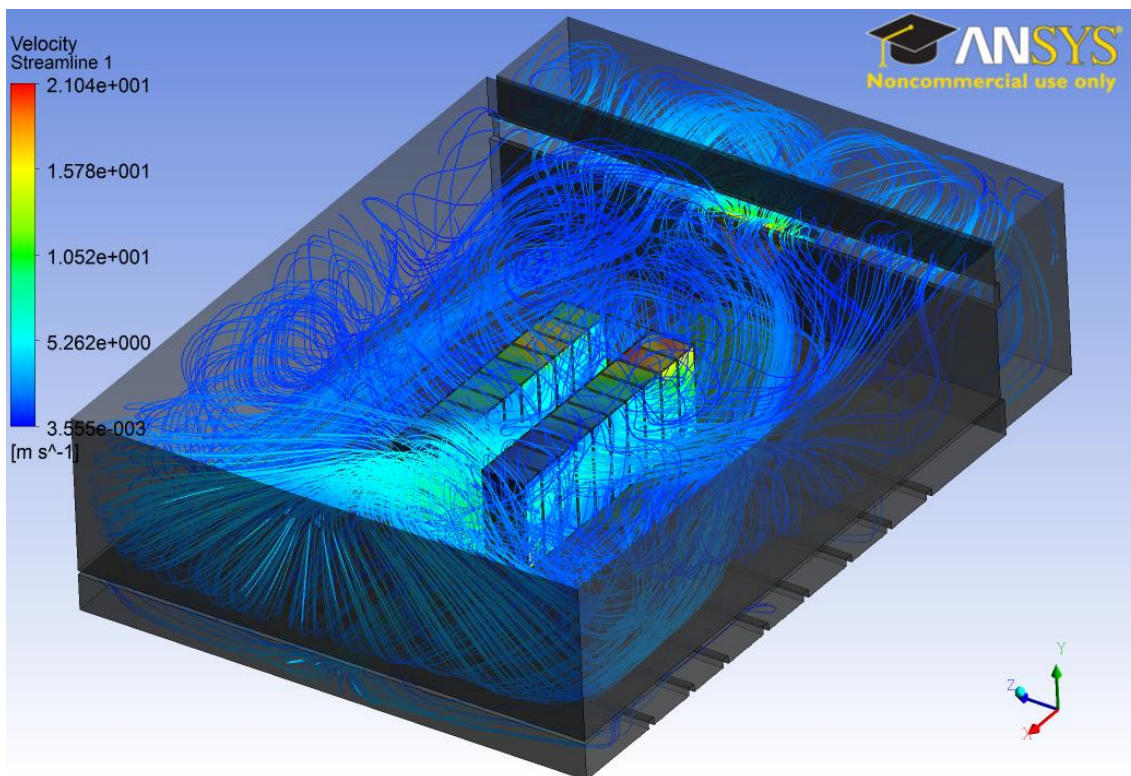


Figura 32: Linhas de corrente para o Corredor Emerson não confinado.

### 6.3.3. COM CONFINAMENTO

Os mesmos dados de saída foram obtidos para a configuração de enclausuramento. Também foram avaliadas as temperaturas de entradas nos racks e a mesma média espacial de temperaturas foi feita para ambos os lados do corredor.

Tabela 12: Dados de saída do CFX contendo as médias espaciais de temperatura na entrada dos racks com confinamento.

<b>Confinado</b>				
Racks	Temp. [°C]		Racks	Temp. [°C]
E1	18,58		D1	17,67
E2	18,52		D2	21,44
E3	16,38		D3	17,85
E4	18,60		D4	15,81
E5	17,03		D5	16,70
E6	16,40		D6	18,63
E7	15,35		D7	20,23
E8	14,70		D8	21,47
E9	15,08		D9	19,24



E10	15,61		D10	15,80
<b>Média</b>	<b>16,63</b>		<b>Média</b>	<b>18,48</b>

É possível observar que as temperaturas médias em cada rack é menor, conseqüentemente as médias finais também. Diminuição das temperaturas podem também ser vistas na Figura 33. Comparativamente temos a temperatura máxima próxima de 41,5°C no enclausurado, para uma máxima de 52°C, tal diferença pode representa um impacto grande nos custos com o sistema de refrigeração.

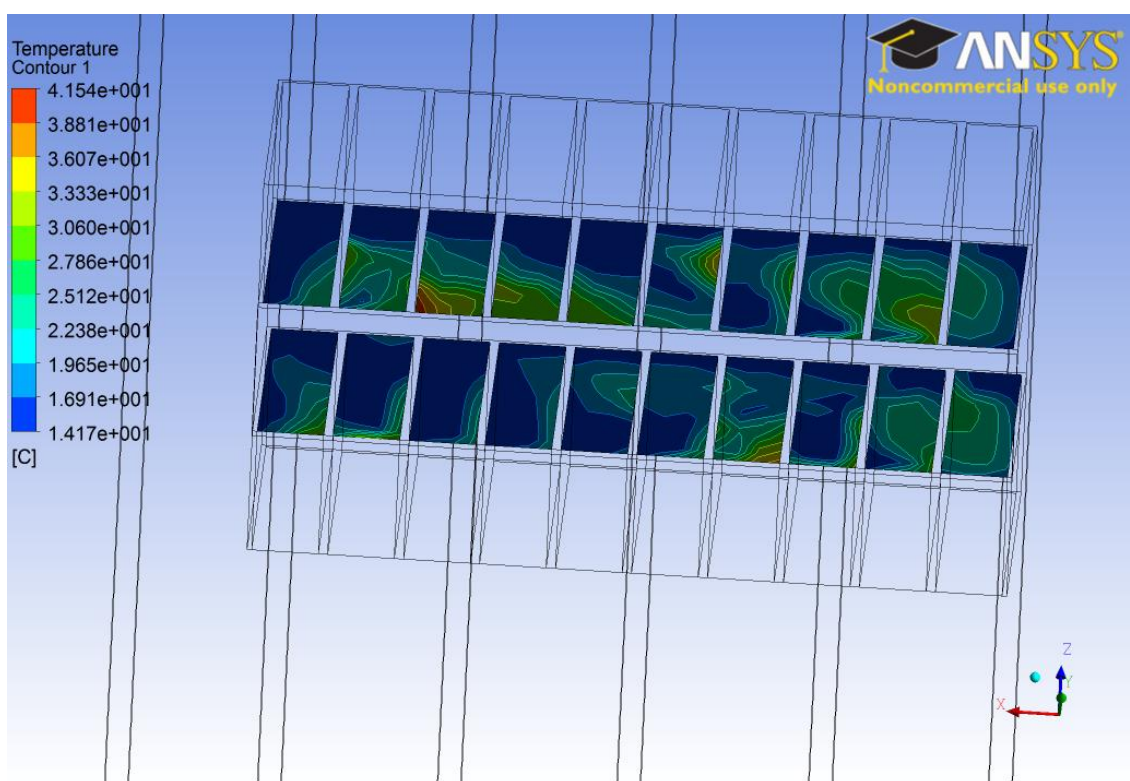


Figura 33: Termografias na entrada dos racks para o ambiente enclausurado.

As mesmas regiões de temperaturas ideais propostas pela ASHRAE também foram geradas para essa configuração e é aqui que é possível observar nitidamente a verdadeira influência do confinamento. Na Figura 34 as regiões acima dos limites recomendados pela ASHRAE são significativamente menores que as apresentadas na Figura 31. Também entre estas duas figuras vê-se que as regiões abaixo dos limites aumenta na primeira mostrando que nesta configuração há um excesso de ar frio para a refrigeração.

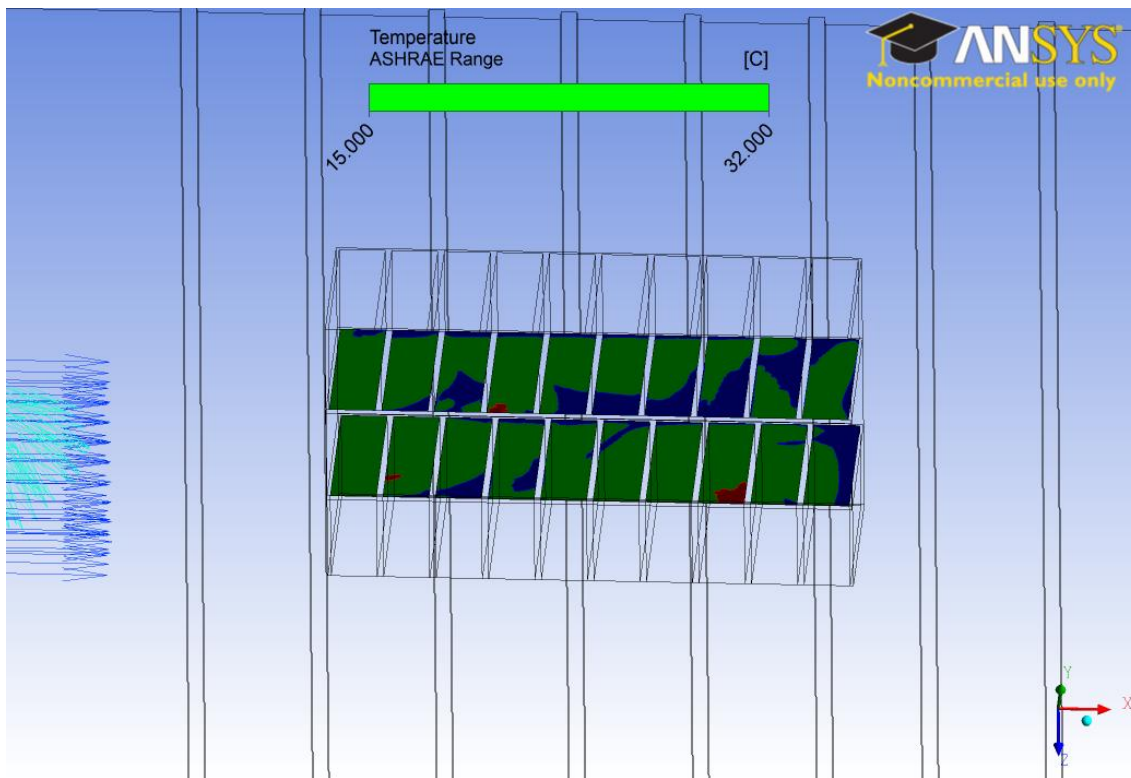


Figura 34: Termografias baseadas em parâmetros ASHRAE (com confinamento).

A melhor distribuição do ar pode ser observada na Figura 35 que mostra as linhas de corrente e como elas fluem dentro da configuração. Aqui não há a deformidade do fluxo que ocorre no corredor sem o confinamento.

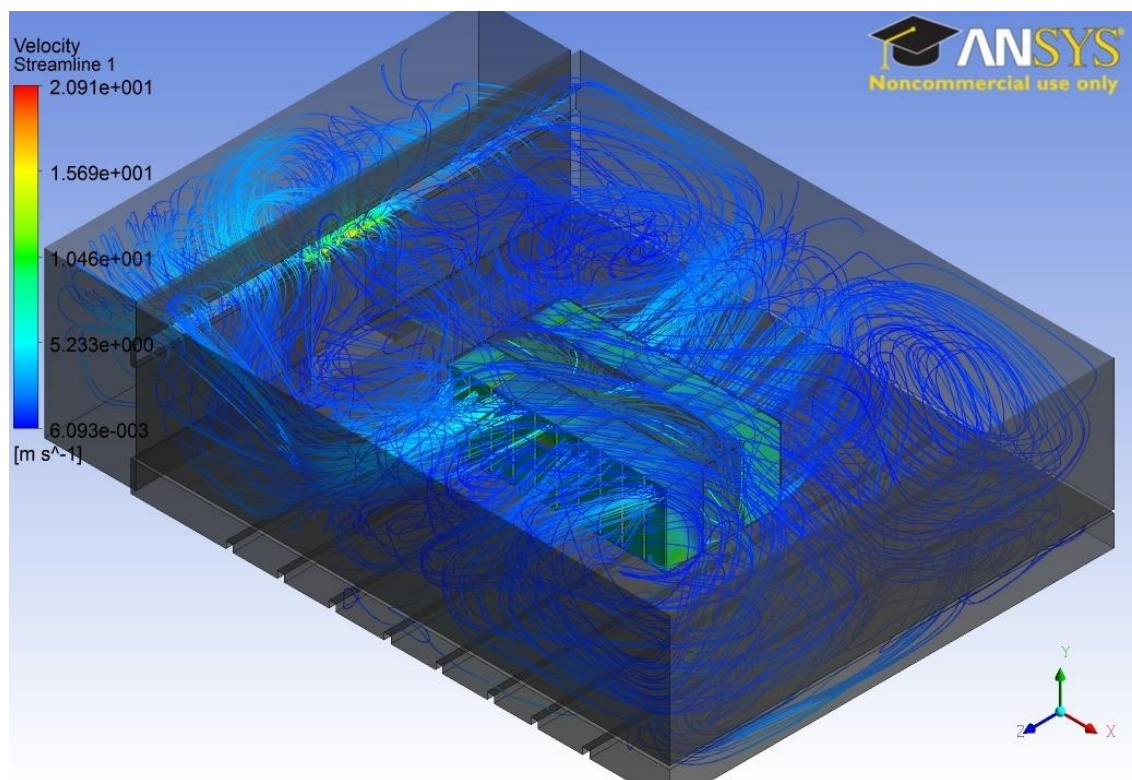
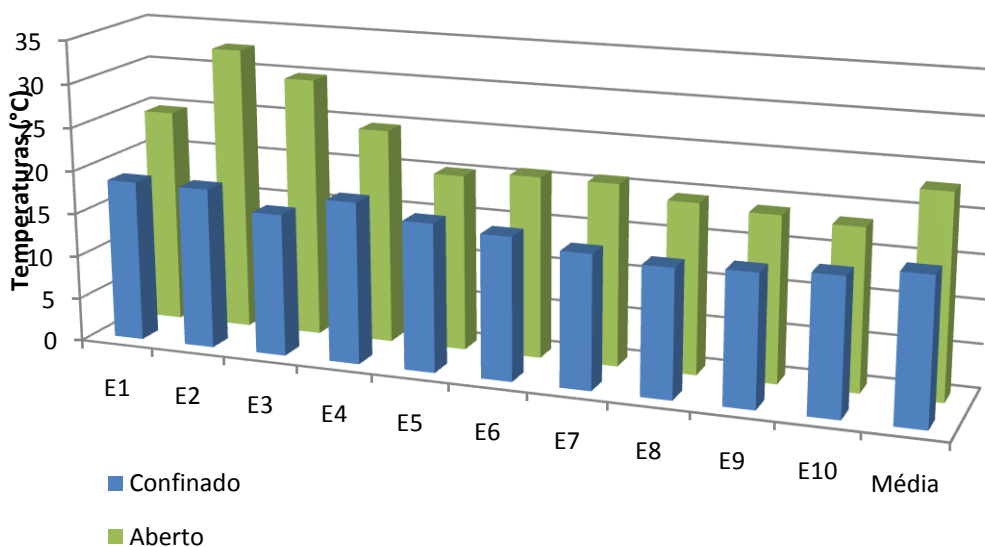


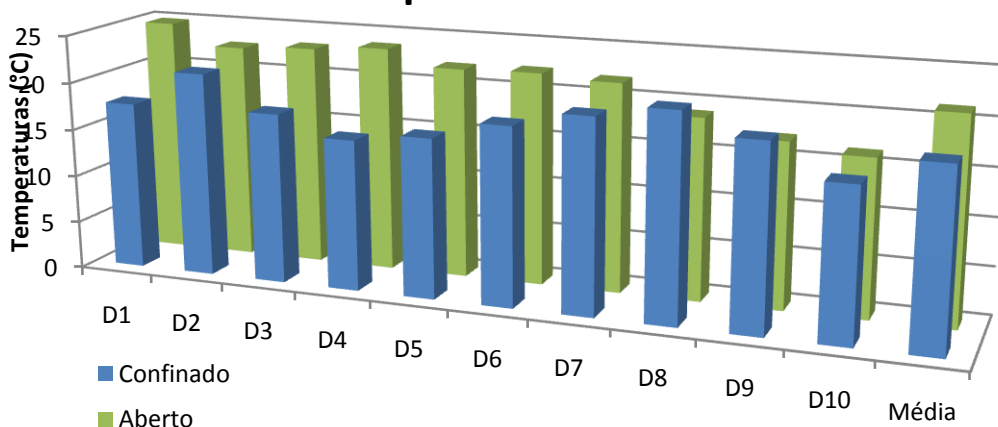
Figura 35: Linhas de corrente para o Corredor Emerson enclausurado.

Comparativamente podemos apresentar de maneira gráfica como as temperaturas se comportam em cada caso para os diferentes lados do corredor. Para a comparação, os dados foram retirados das Tabela 11 e Tabela 12 e cada lado foi comparado a seu semelhante nos dois cenários.

### Temperaturas dos Racks à esquerda



### Temperaturas dos Racks à direita



Para uma análise mais quantitativa, a partir dos valores das médias de temperaturas na entrada de cada rack, calculou-se um valor aproximado de economia em kW. Utilizando a equação ( 13 ) na qual  $\Delta T$  é a diferença obtida como saída do programa na entrada dos racks para os dois cenários (confinado e aberto) e  $\dot{m}$  é a vazão proposta como condição de contorno do sistema, 400 m<sup>3</sup>/h por rack.

Utilizando os saltos de temperatura entre E1, E2,... e D1, D2,... apresentados pela Tabela 11 e Tabela 12 obteve-se um valor estimativo de economia de energia (potência) para o cenário enclausurado.

Tabela 13: Potencial de economia.

	Economia (kW)		Economia (kW)	<b>Total (kW)</b>
E1	0,8507747	D1	0,9834518	<b>12,76299</b>
E2	1,9477543	D2	0,175079	
E3	1,8492724	D3	0,7235688	
E4	0,8370967	D4	1,0764625	
E5	0,4404332	D5	0,7372469	
E6	0,6127766	D6	0,4951454	
E7	0,7563962	D7	0,2215844	
E8	0,6606498	D8	-0,341951	
E9	0,5348118	D9	-0,269458	
E10	0,3939278	D10	0,0779649	

## 7. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi elaborado um estudo numérico utilizando o CFX® a fim de avaliar o ganho energético decorrente do enclausuramento de corredores frios em ambientes de Data Center, utilizando como foco o Data Center do Banco do Brasil. A relevância deste projeto é decorrente da atual busca de melhor eficácia na refrigeração destes ambientes devido ao crescimento dos custos com insumos, como eletricidade.

A etapa inicial consistiu-se em uma extensa revisão bibliográfica, técnica e acadêmica, sobre o que é e a importância de um Data Center atualmente. Por conseguinte, qual a importância e como se dá o processo de refrigeração no interior desses ambientes, elencando a principais diretrizes técnicas e normas que orientam o bom gerenciamento dos CPD's. Nesta etapa, o confinamento de corredores foi mostrado como uma prática amplamente difundida para o melhor controle do fluxo de ar utilizado na refrigeração dos racks, responsáveis pelo processamento de dados. Em seguida, há uma introdução simplificada sobre a mecânica dos fluidos computacional, descrevendo os métodos e processos utilizados pelo software para a obtenção dos resultados ao final das simulações.

Para uma análise numérica em um ambiente virtual foi necessário a validação do modelo proposto, para tal, os dados coletados de empiricamente e *in loco* foram comparados aos obtidos ao do modelo proposto. Os resultados apresentaram-se coerentes, apresentando um desvio de no máximo 15%. Portanto, utilizou-se este mesmo modelo para as seguintes simulações.

Por fim, a simulação dos corredores aberto e confinado foi executada utilizando o modelo validado e as mesmas condições de contorno. Os resultados apresentados foram condizentes com os esperados. Houve uma diminuição explícita da temperatura de entrada dos racks para o cenário enclausurado da ordem de 5°C. Para as mesmas condições de fluxo mássico utilizado na simulação as diferenças de temperatura apresentadas podem gerar um ganho de aproximadamente 12,7 kW. Estendendo esse ganho ao cenário técnico, o qual apresenta o Data Center como uma instalação de operação 24/7, a economia gerada pode ser bem significativa.

Conclui-se, portanto, que os objetivos deste projeto de graduação foram satisfatórios, visto que a metodologia possibilitou a obtenção dos resultados esperados, propostos e elucidados pela bibliografia.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Aceco TI. (2010). *Catálogo de soluções Aceco TI*. Fonte: [www.acecoti.com.br/new/catvirtual/catvirtual.html](http://www.acecoti.com.br/new/catvirtual/catvirtual.html)
- Aguiari, V. (17 de 05 de 2011). *IBM vende data centers em containers*. Acesso em 26 de 05 de 2013, disponível em EXAME.com: <http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/ibm-vende-data-centers-em-containers>
- Aperture Technologies, Inc. (2009). *Computational Fluid Dynamics Modeling for Operational Data Centers*.
- ASHRAE TC 9.9. (2011). 2011 thermal Guidelines for Data Processing Enviroments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance.
- ASHREA. (2009). Save energy now presentation.
- Bird, R., Stewart, W., & Lightfoot, F. (1960). In: J. Miley, *Transport phenomena*.
- Brito, F. (2012). *Sistemas Redundantes e Manutenção*.
- Christian Belady. (30 de dezembro de 2008). *Paper intitulado "Green Grid Data Center Power Efficiency Metrics: PUE and DCiE"*. Acesso em 29 de maio de 2013, disponível em Site da The green Grid: [http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/White\\_Paper\\_6\\_-\\_PUE\\_and\\_DCiE\\_Eff\\_Metrics\\_30\\_December\\_2008.pdf?lang=en](http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/White_Paper_6_-_PUE_and_DCiE_Eff_Metrics_30_December_2008.pdf?lang=en)
- Correâ, C. A. (22 de março de 2012). Uso combinado do software comercial CFX e técnicas de probelmas inversos em transferência de calor. Itajubá.
- Data Center Design Guidelines. (2012). Data Center Best Practices Guide. *Energy efficiency solutions for high-performance data centers*.
- DATA CENTER HUDDLE. (11 de agosto de 2011). *DATA CENTER HUDDLE*. Acesso em 05 de junho de 2013, disponível em Site da DATA CENTER HUDDLE : <http://www.dchuddle.com/2011/crac-v-crah/>
- Datacenter Dynamics. (2012). *GOOGLE'S SEAWATER COOLED DATA CENTER IN HAMINA, FINLAND*. Acesso em 8 de julho de 2013, disponível em Site da DatacenterDynamics: <http://www.datacenterdynamics.com/node/22676>
- Emerson Network Power. (2009). Refrigeração focalizada utilizando contenção de corredor frio. Ohio, EUA.
- Ferreira, V. G., Mello, O. D., Oliveira, J., & Fortuna, A. d. (Março de 1999). Tópicos teóricos e computacionais em escoamentos de fluidos.
- Fink, J. (14 de junho de 2011). Impact of High Density Hot Aisles on IT Personnel Work Conditions. *Schneider Electric Data Center Science Center, White Paper 123 Rev. 1, pp. 1-13*.
- Focused Cooling Using Cold Aisle Containment. (2009). *White Paper*, (pp. 1-15).
- Furukawa. (2008). Telecommunications Infrastructure - Standard for Data Centers.
- Future-Tech. (2013). *Hot Aisle V's Cold Aisle Containment for Data Centres*. Fonte: <http://www.future-tech.co.uk/hot-aisle-vs-cold-aisle-containment-for-data-centres>
- Gantz, J. (2004). 40 Years of IT: Looking Back, Looking Ahead. *IDC*, 20.
- GENOP DATACENTER Banco do Brasil S.A. (s.d.). Avaliação da ocupação do ICI-II. 2013.
- Harlow, F. H. (28 de Marrço de 2004). Fluid dynamics in Group T-3 Los Alamos National Laboratory. *Journal of Computational Physics*.

- Herrlin, M. K. (2005). Rack Cooling Effectiveness in Data Centers and Telecom Central Offices: *The Rack Cooling Index (RCI)* . American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Kostetzer, L. A. (2007). Relatório de Estágio ESSH.
- Lauder, B. E., & Spalding, D. B. (1974). The Numerical Computational of Turbulent Flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* .
- Marin, P. S. (2011). *Data Center: Desvendando cada passo: conceitos, projeto, infraestrutura física e eficiência energética*. 1ª ed. São Paulo: Érica.
- Martins, D. A. (2007). Implementação do modelo de turbulência  $\kappa$ - $\omega$  sst em uma cavidade tridimensional.
- McGucking, Paul. (2008). Cool More Wit Less in Your Data Center.
- Miller, R. (28 de 01 de 2012). *Site pertencente à Data Center Knowledge*. Acesso em 26 de 05 de 2013, disponível em Data Center Knowledge: <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2012/01/23/google-spent-951-million-on-data-centers-in-4q/>
- PG & E Corporation. (2012). Data Center Best Practices Guide. *Energy efficiency solutions for high-performance data centers* .
- Pinheiro, J. M. (2009). Curso de Sistemas de informação - UniFOA. Volta redonda, Rio de Janeiro, Brasil.
- Prime Enegy IT. (22 de setembro de 2011). Acesso em 05 de junho de 2013
- R. Zhou, Z. W. (17 de novembro de 2011). Modeling and control for cooling management of data centers with hot aisle containment. *Proceedings of ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE 2011)* . Denver, Colorado, USA.
- Resende, L. B. (julho de 2009). CFD com controle aplicado na modelagem de um separador gás-líquido em linha. Florianópolis.
- Ribeiro, C. A. (Março de 2012). Uso combinado do software CFX e técnicas de problemas inversos em transferencia de calor.
- Saurabh K. Shrivastava, A. R. (1 de junho de 2012). Quantitative Comparison of Air Containment Systems. San Diego, CA, EUA.
- Simeon. (2013). Full-Line Catalog 2013: North America Edition. [www.siemon.com/e-catalog/ECAT\\_GI\\_page.aspx?GI\\_ID=vpod\\_versapod-exhaust-duct](http://www.siemon.com/e-catalog/ECAT_GI_page.aspx?GI_ID=vpod_versapod-exhaust-duct).
- SISNEMA. (22 de janeiro de 2009). *CLOUD COMPUTING - NOVO MODELO DE COMPUTAÇÃO*. Acesso em 6 de julho de 2013, disponível em SISNEMA Inovações e conhecimentos: <http://sisnema.com.br/Materias/idmat019433.htm>
- Solutions, T. (2013). *VEDAÇÕES PARA PISO*. Acesso em Setembro de 2013, disponível em <http://www.tcsolutions.com.br/vedacoes-piso.php>
- Sousa, R. A. (Fevereiro de 2007). Adaptatividade geométrica e numérica na geração de malhas de elementos finitos em 2D e 3D. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: PUC-Rio.
- Strobel, P. (2011). Simulação numérica e de campo para a avaliação de um sistema por resfriamento evaporativo em uma praça de alimentação.
- The Green Grid. (2010). *The Green Grid*. Acesso em 26 de 05 de 2013, disponível em Networkworld: <http://www.networkworld.com>
- TIA STANDARD. (12 de abril de 2005). TIA-942. *Telecommunications Infrastructure* .

U.S. Department of Energy. (2013). *Center of Expertise*. Acesso em 23 de Outubro de 2013, disponível em Energy Efficiency in Data Centers: <http://datacenters.lbl.gov/resources/datacenter-air-management-tool>

U.S. Department of Energy. (2012). Data Center energy Efficiency Training. *Air Management* .

U.S. Department of Energy. (10 de maio de 2013). *Data Center Profiler Software Tool Suite*. Acesso em Outubro de 2013, disponível em <http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/datacenters/software.html>

Veraz, M. (2009). *Datacenter: Componente central da infraestrutura de TI*. Rio de Janeiro: Brasport.

Versteeg, H., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd Edition)*. Pearson Education Limited.



## ANEXO I – ROTINA PARA A DETERMINAÇÃO DO FLUXO MÁSSICO.

```

1: "Vazão mássica para a refrigeração dos racks"
2: q_dot=m_dot*c_p*DeltaT
3:
4: "Variáveis:"
5: q_dot=11,648
6: c_p=SpecHeat(Air.T=25)
7: DeltaT=8,95

```

*Vazão mássica para a refrigeração dos racks*

$$\dot{q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

*Variáveis:*

$$\dot{q} = 11,648$$

$$c_p = C_p_{Air} ; T=25 \text{ ]}$$

$$\Delta T = 8,95$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$$c_p = 1,005 \text{ [kJ/kg-K]} \quad \Delta T = 8,95 \text{ [K]}$$

$$\dot{m} = 1,295 \text{ [kg/s]}$$

$$\dot{q} = 11,65 \text{ [kW]}$$

No unit problems were detected.

## ANEXO II – INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

### TERMO-HIGRÔMETRO MTH-1380

#### Características Técnicas:

- Display: LCD de 4 dígitos.
  - Tempo de Resposta: Umidade: 75s com fluxo de ar lento; Temperatura: 40s com fluxo de ar lento.
  - Indicação de Polaridade: Automática, negativa (-) indicada.
  - Indicação de Bateria Fraca: O símbolo de bateria é mostrado quando a tensão da bateria cair abaixo da tensão normal de operação.
  - Saída de Sinal: Saída de Dados RS-232.
  - Data Hold.
  - Modo Máximo e Mínimo (MAX / MIN).
  - Modo Relativo.
  - Auto Power Off: Aprox. 30 minutos.
  - Coeficiente de Temperatura: Para temperatura ambiente de 0°C ~ 18°C e 28°C ~ 50°C adicione a seguinte tolerância de 0.01%+0.03°C / 0.01%+0.06°F na especificação da precisão.
  - Ambiente de Operação: 0°C ~ 50°C, RH < 90% não condensado.
  - Ambiente de Armazenamento: -10°C ~ 60°C, RH < 80%.
  - Altitude: Até 2000m.
  - Alimentação: Bateria de 9V 006P ou IEC 6F22 ou NEDA 1604; Adaptador AC: 9V DC / 10mA (mínimo). Diâmetro do Plug: 3.5mm x 1.35mm.
  - Duração da Bateria: Aprox. 100 horas (alcalina).
  - Normas: EMC (CE).
  - Dimensões: Instrumento: 186(A) x 64(L) x 30(P)mm; Ponta de Prova: 190(A) x 15(D)mm.
  - Peso: Aprox. 320g.
- Temperatura
- Faixas T1: -20°C ~ 60°C, -4°F ~ 140°F
  - Faixas T2: -200°C ~ 1370°C, -328°F ~ 2498°F
  - Precisão T1:  $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 1.4^{\circ}\text{F}$
  - Precisão T2: -200°C ~ 200°C  $\pm (0.3\%+1^{\circ}\text{C})$ ; 200°C ~ 400°C  $\pm (0.5\%+1^{\circ}\text{C})$ ; 400°C ~ 1370°C  $\pm (0.3\%+1^{\circ}\text{C})$ ; -328°F ~ -200°F  $\pm (0.5\%+2^{\circ}\text{F})$ ; -200°F ~ 2498°F  $\pm (0.3\%+2^{\circ}\text{F})$
  - Resolução T1: 0.1°C, 0.1°F
  - Resolução T2: 0.1°C, 1°C / 0.1°F, 1°F
  - Tipo de Sensor: Termopar Tipo K (MTK-01)
  - Faixa do Termopar Tipo K: -50°C ~ 200°C (-58°F ~ 392°F)
  - Tolerância do Termopar:  $\pm (0.75\%$  ou  $2.2^{\circ}\text{C})$ ,  $\pm (0.75\%$  ou  $3.6^{\circ}\text{F})$
- Umidade Interna
- Faixa: 0 ~ 100% RH
  - Precisão:  $\pm 2.5\%$  para 25°C
  - Resolução: 0.1% RH

#### Acessórios

- Manual de Instruções
- Termopar Tipo K
- Bolsa para Transporte
- Bateria 9V- Ponta de Prova

# BALÔMETRO ALNOR EBT 721

## Alnor® Models EBT720/EBT721 and AIRFLOW™ Instruments Models PH720/PH721

### Specifications\*

<b>Range</b>		<b>Units</b>	
Differential pressure...	±15 in. H <sub>2</sub> O (3735 pa); 150 in. H <sub>2</sub> O maximum safe operating pressure	Pressure .....	in. H <sub>2</sub> O, pa, hPa, kPa, mm Hg, in. Hg, cm Hg, mm H <sub>2</sub> O, cm H <sub>2</sub> O
Absolute pressure .....	15 to 40 in. Hg (356 to 1016 mm Hg)	Velocity .....	ft/min, m/s
Velocity .....	25 to 8,000 ft/min (0.125 to 40 m/s) pitot probes; 25 to 5,000 ft/min (0.125 to 25 m/s) air flow probe; 25 to 2,500 ft/min (0.125 to 12.5 m/s) velocity matrix	Volume .....	ft <sup>3</sup> /min, m <sup>3</sup> /h, m <sup>3</sup> /min, l/s
Volume .....	25 to 2,500 ft <sup>3</sup> /min (42 to 4250 m <sup>3</sup> /h) capture hood	Temperature .....	degrees F, degrees C
Temperature .....	-40 to 250°F (-40 to 121°C) temperature probe 14 to 140°F (-10 to 60°C) temperature/RH probe 40 to 140°F (4.4 to 60°C) operating (electronics)	<b>Statistics</b> .....	min, max, average up to 1000 readings
Storage temperature...	-4 to 160°F (-20 to 71°C)	<b>Data Storage</b> .....	1000 readings, time and date stamped
Rh .....	0 to 95% RH temperature/RH probe	<b>Logging Interval</b> .....	user selectable (10 to 600 seconds)
<b>Resolution</b>		<b>Response Time</b> .....	2 to 8 seconds
Pressure .....	0.00001 in. H <sub>2</sub> O (0.001 pa) static and differential; 0.01 in. Hg (1 mm Hg) absolute	<b>Display</b> .....	6 digit, 0.75 in. character height, multi-line, sectored, multiple symbolic icons, high-contrast backlit LCD
Velocity .....	1 ft/min (.01 m/s)	<b>Dimensions</b>	
Volume .....	1 ft <sup>3</sup> /min (1 m <sup>3</sup> /h)	(manometer only) .....	7.4 in. × 4.5 in. × 2.3 in. (18.8 cm × 11.4 cm × 5.8 cm)
Rh .....	0.1% RH	<b>Pressure connection</b> ...	¼ in. OD straight ports for use with 3/16 in. ID flexible tubing
Temperature .....	0.1°F (0.1°C)	<b>Weight with batteries</b> ..	EBT720/PH720 17 oz (0.5 kg); EBT721/PH721 7.4 lb (3.4 kg)
<b>Accuracy</b>		<b>Power requirements</b> ....	four AA-size cells, rechargeable NiMH (included) or alkaline, or AC adapter (included), 7.5 VDC, 1.6 A, regulated
Pressure .....	±2% of reading ±0.001 in. H <sub>2</sub> O (0.25 pa) static and differential; ±2% of reading absolute	<b>Battery life</b> .....	minimum of 12 hours typical
Velocity .....	±3% of reading ±7 ft/min (0.04 m/s) >50 ft/min (>0.25 m/s)	<b>Recharge time</b> .....	1 hour (external charger); 4 hours (internal charger)
Volume .....	±3% of reading ±7 ft <sup>3</sup> /min (12 m <sup>3</sup> /h) >50 ft <sup>3</sup> /min (>85 m <sup>3</sup> /h)	<b>Hood sizes available</b>	
Rh .....	±3% RH	Standard .....	2 ft × 2 ft (610 mm × 610 mm)
Temperature .....	±0.5 °F (0.3°C) from 32 to 160°F (0 to 71°C); max ±2.0 °F (1.2°C) from -40 to 32°F (-40 to 0°C) and from 160 to 250°F (71 to 121°C)	Optional .....	2 ft × 4 ft (610 mm × 1220 mm); 1 ft × 4 ft (305 mm × 1220 mm); 1 ft × 5 ft (305 mm × 1525 mm); 3 ft × 3 ft (915 mm × 915 mm)
		<b>RS232C output</b> .....	ASCII character codes; 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 baud rate (selectable) no parity 8 data bits 1 stop bit no handshaking
		<b>Warranty</b> .....	2 year factory warranty

\* Specifications are subject to change without notice.

# RÉGUA ELÉTRICA AVOCENT PM 3000

## Avocent® PM 1000/2000/3000 Power Distribution Units (PM PDUs)

Infrastructure Management &  
Monitoring for Business-Critical  
Continuity™

PM 1000 Part Number	PM 2000 Part Number	PM 3000 Part Number	Number of Outlets	Type of Outlets	Rated Amps	Maximum Continuous Amps**	Input Voltage	Input Power Cord Type
<b>North America – Horizontal Models</b>								
	PM2001H-401	PM3001H-401	3	IEC C19	30A	24A	1-PH 208V	L6-30P
	PM2002H-401	PM3002H-401	6	IEC C19	30A	24A	3-PH 208V	L15-30P
	PM2005H-403	PM3005H-403	6	IEC C19	50A	40A	3-PH 208V	HUBBELL CS8365C
	PM2005H-404	PM3005H-404	6	IEC C19	60A	48A	3-PH 208V	IEC309
	PM2006H-401	PM3006H-401	6	IEC C19	30A	24A	3-PH 208V	L21-30P
PM1009H-401	PM2007H-401	PM3007H-401	10	IEC C13	30A	24A	1-PH 200-240V	L6-30P
PM1011H-xxx*	PM2009H-xxx*	PM3009H-xxx*	10	IEC C13	20A	16A	1-PH 100-240V	Detachable cord with IEC 320-C20 Inlet
<b>North America – Vertical Models</b>								
PM1001V-401	PM2001V-401	PM3001V-401	24	(21) C13 and (3) C19 outlets	30A	24A	1-PH 208V	L6-30P
PM1008V-401	PM2002V-401	PM3002V-401	24	(21) C13 and (3) C19 outlets	30A	24A	3-PH 208V	L15-30P
PM1003V-401	PM2005V-403	PM3005V-403	24	(21) C13 and (3) C19 outlets	50A	40A	3-PH 208V	HUBBELL CS8365C
PM1004V-401	PM2005V-404	PM3005V-404	24	(21) C13 and (3) C19 outlets	60A	48A	3-PH 208V	IEC309
PM1002V-401	PM2006V-401	PM3006V-401	24	(21) C13 and (3) C19 outlets	30A	24A	3-PH 208V	L21-30P
PM1012V-401	PM2010V-401	PM3010V-401	20	IEC C13	30A	24A	1-PH 200-240V	L6-30P
PM1014V-xxx*	PM2012V-xxx*	PM3012V-xxx*	20	IEC C13	20A	16A	1-PH 100-240V	Detachable cord with IEC 320-C20 Inlet
<b>International – Horizontal Models</b>								
	PM2003H-401	PM3003H-401	3	IEC C19	32A	32A	1-PH 220/230/240V	IEC309
	PM2004H-401	PM3004H-401	6	IEC C19	16A	16A	3-PH 380/400/415V	IEC309
	PM2005H-406	PM3005H-406	6	IEC C19	32A	32A	3-PH 380/400/415V	IEC309
PM1010H-401	PM2008H-401	PM3008H-401	10	IEC C13	32A	32A	1-PH 220/230/240V	IEC309
PM1011H-xxx*	PM2009H-xxx*	PM3009H-xxx*	10	IEC C13	16A	16A	1-PH 100-240V	Detachable cord with IEC 320-C20 Inlet
<b>International – Vertical Models</b>								
PM1005V-401	PM2003V-401	PM3003V-401	24	(21) C13 and (3) C19 outlets	32A	32A	1-PH 220/230/240V	IEC309
PM1006V-401	PM2004V-401	PM3004V-401	24	(21) C13 and (3) C19 outlets	16A	16A	3-PH 380/400/415V	IEC309
PM1007V-401	PM2005V-406	PM3005V-406	24	(21) C13 and (3) C19 outlets	32A	32A	3-PH 380/400/415V	IEC309
PM1013V-401	PM2011V-401	PM3011V-401	20	IEC C13	32A	32A	1-PH 220/230/240V	IEC309
PM1014V-xxx*	PM2012V-xxx*	PM3012V-xxx*	20	IEC C13	16A	16A	1-PH 100-240V	Detachable cord with IEC 320-C20 Inlet

\* Note- Actual part numbers for these models include a specific country code. Please review the chart below for the list of available options.

\*\* Note-Maximum Continuous amps shown for North American models are derated 20% for North American safety codes.

## **ANEXO III – DESENHOS CAD**





## ANEXO IV – REPRESENTAÇÃO DO POSICIONAMENTO DOS RACKS PARA O CORREDOR EMERSON

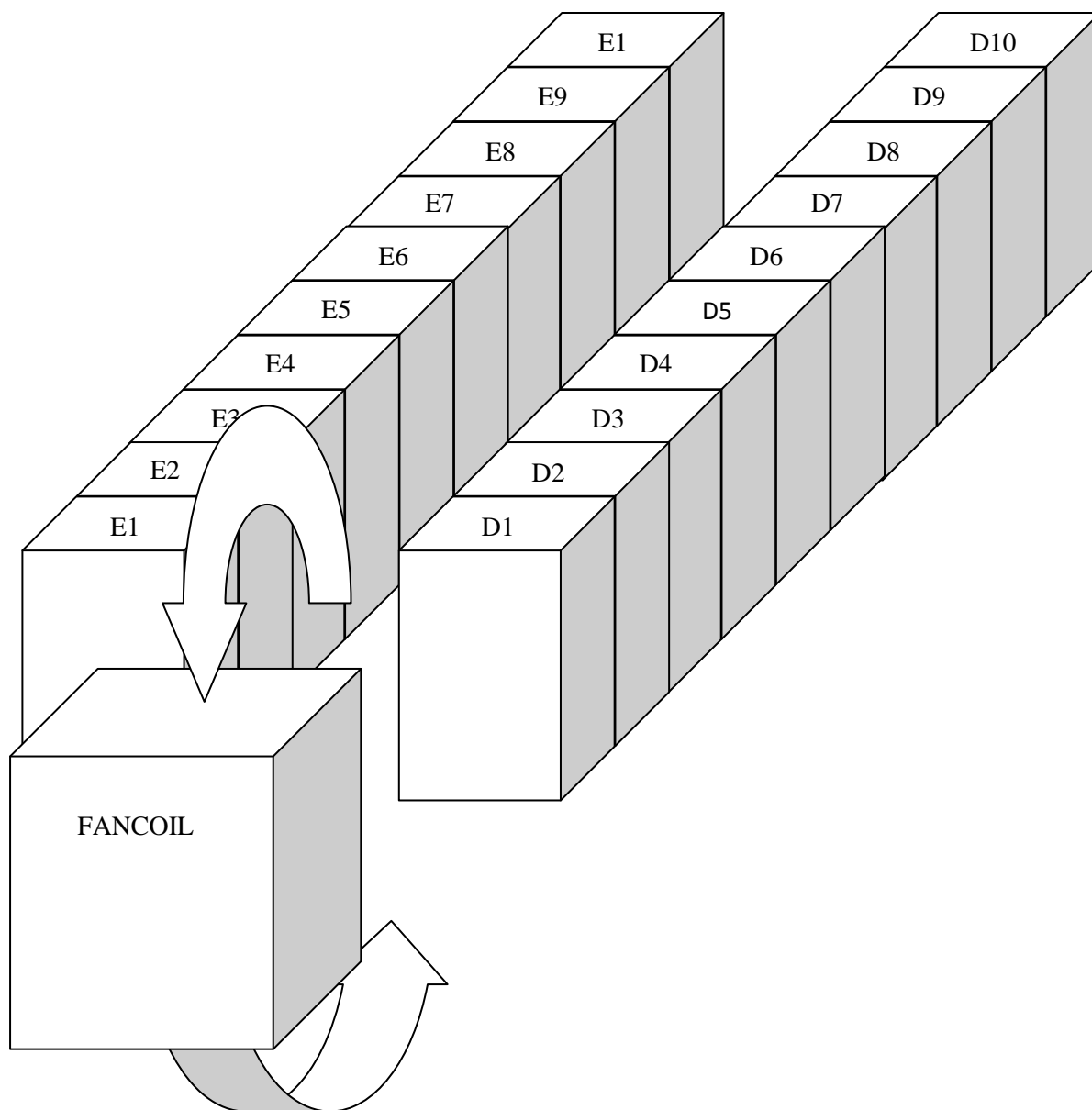


Figura 36: Mapeamento dos racks para o Corredor Emerson.



## ANEXO V – RESULTADOS PARA SIMULAÇÃO DE VALIDAÇÃO

Com o auxílio do próprio CFX foi possível gerar a Tabela 14, a qual apresenta os dados das variáveis presentes na análise da validação da simulação.

Tabela 14: Tabela gerada pelo CFX com todos os dados compilados pelo programa.

	Temperaturas espaciais médias [°C]			Carga térmica [W]	Vazão pelo rack [kg/s]
	Entrada do Rack	Dentro do Rack	Saída do Rack		
<b>Rack A</b>	25	26,7	27,2	1872	0,09
<b>Rack B</b>	24,3	26,6	25,9	1872	0,11
<b>Rack C</b>	23,3	24,5	24,5	624	0,12
<b>Rack D</b>	23,5	24,9	24,3	832	0,11
<b>Rack E</b>	23,1	24,7	24,6	624	0,11
<b>Rack F</b>	23,6	26,6	25,9	1456	0,10
<b>Rack G</b>	23,6	26,2	26,1	1248	0,15
<b>Rack H</b>	23,4	25,7	25,7	832	0,13
<b>Rack I</b>	23,3	25,6	25,2	832	0,11
<b>Rack J</b>	23,3	26,6	25,7	1446	0,10
<b>Total</b>	-	-	-	11638	1,125
	<b>Temperatura de insuflamento [°C]</b>	<b>Temperatura retorno [°C]</b>	<b>Calor retirado baseado na média [W]</b>		
<b>Fancoil</b>	18	20,9	10780		
	<b>RTI [%]</b>	<b>323,13</b>			

Os gráficos utilizados para a validação da simulação são os gráficos gerados com os valores das temperaturas na entrada e saída dos racks. Como mencionado no tópico 6.2.1 foram escolhidos 4 racks espaçados igualmente, A, D, G e J. Abaixo se encontra os gráficos gerados com os mil valores de temperatura em função da altura de cada rack.

## ENTRADA DOS RACKS:

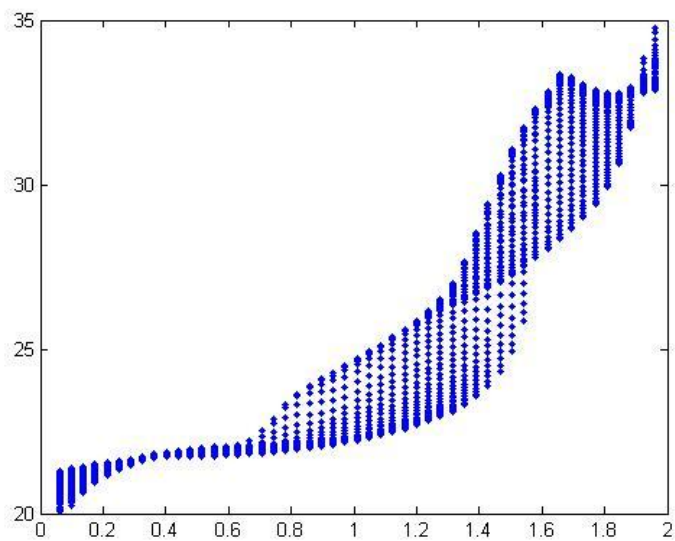


Figura 37: Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na entrada do rack A.

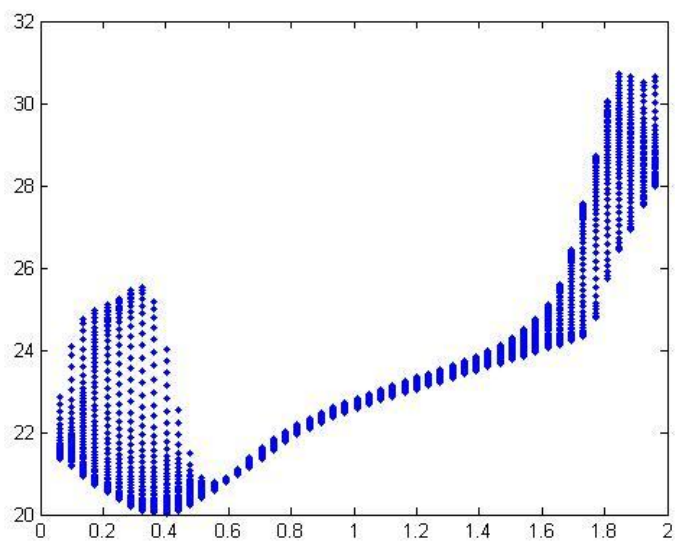


Figura 38: Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na entrada do rack D.

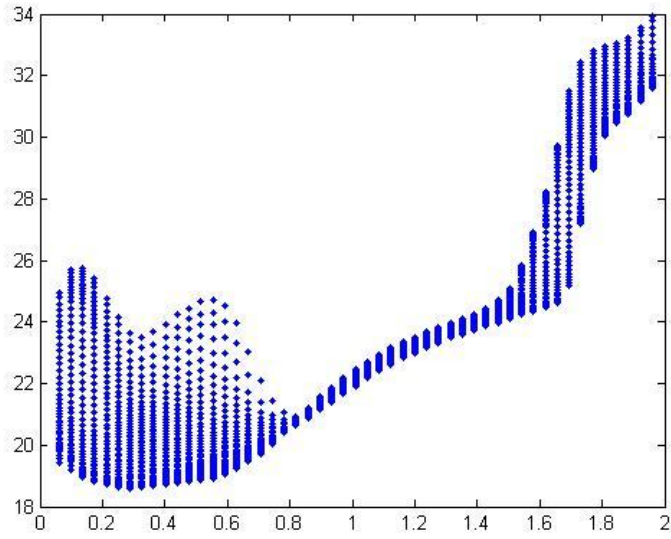


Figura 39: Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na entrada do rack G.

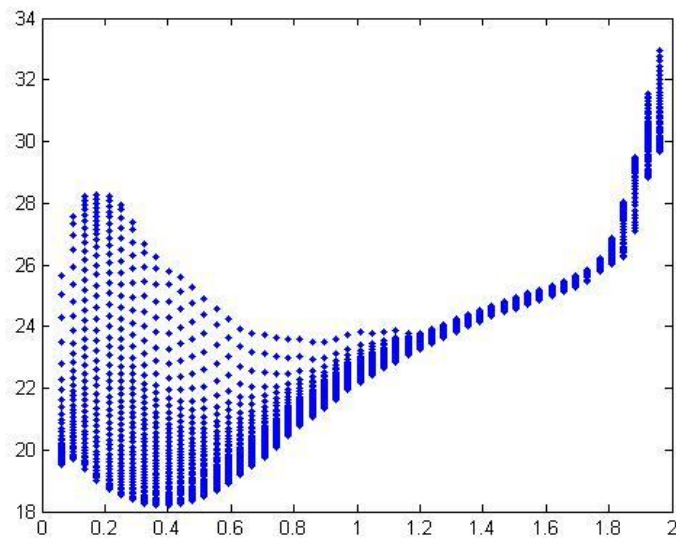


Figura 40: Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na entrada do rack J.

## SAÍDA DOS RACKS:

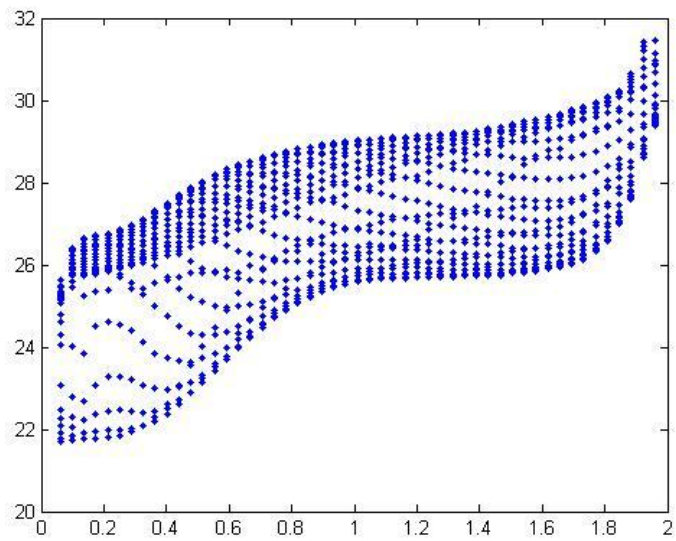


Figura 41: Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na saída do rack A.

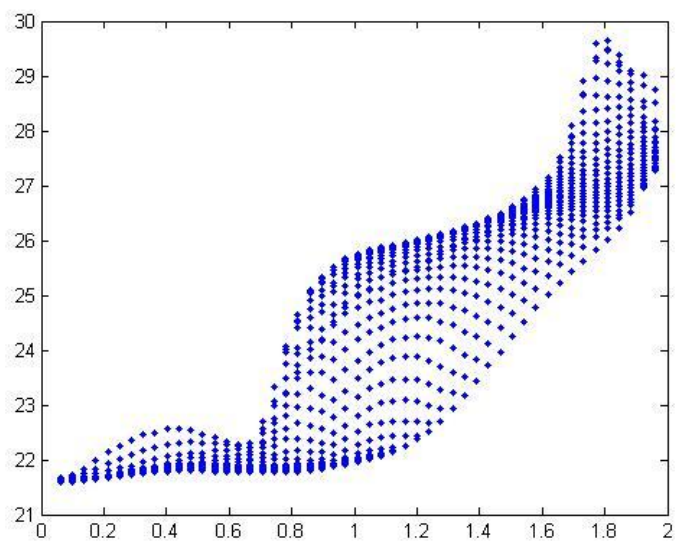


Figura 42: Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na saída do rack D.

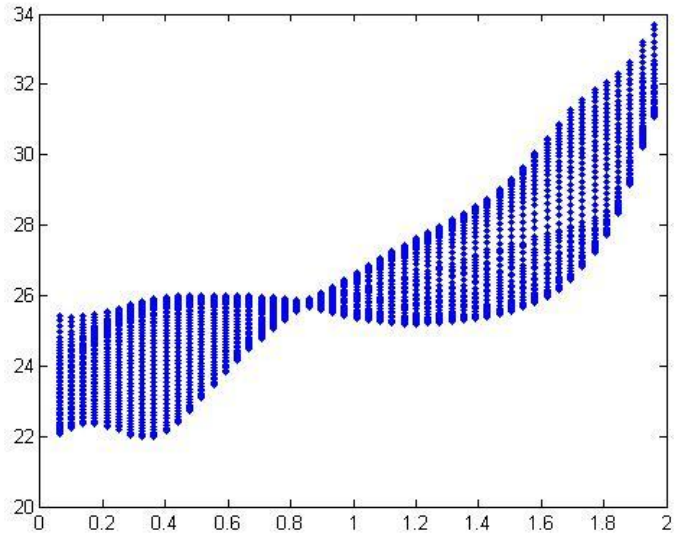


Figura 43: Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na saída do rack G.

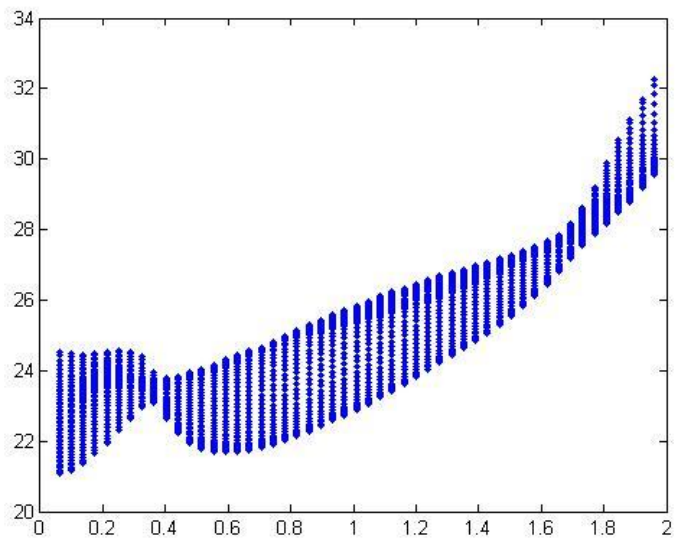


Figura 44: Gráfico Temperatura [°C] x Altura [m] na saída do rack J.