

# Uma atualização em projetos de HVAC para Laboratórios

Eng. Felipe Alfaia do Carmo

Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

# Colocação do Problema

Crise energética de 2001 e 2002;

**SOLUÇÃO?**

- Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) Edifica;
- ANBT NBR 15220;

# Colocação do Problema

[illegible]

# Colocação do Problema

## MOVIMENTO INTERNACIONAL

- LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), o qual foi desenvolvido pela organização não governamental americana *U.S. Green Building Council* (USGBC);
- BREEAM, o qual foi desenvolvido pela empresa BRE Global Ltd;
- CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*), o qual foi desenvolvido no Japão pelo *Japan Sustainable Building Consortium* (JSBC);
- HQE (*Haute Qualité Environnementale*), o qual foi desenvolvido pela organização não governamental francesa *Association HQE*.

# Colocação do Problema

## POR QUE ESTUDAR LABORATÓRIOS?

- Estão presentes tanto no meio industrial como no meio urbano;
- Sistemas com pouco aproveitamento energético;
- Sistemas com normas e características próprias;
- Poucas pesquisas sobre o assunto.

# Tipo de Laboratórios Existentes

- Laboratórios Químicos.
- Laboratórios Rádio-químicos.
- Laboratório de Ensino.
- Laboratório de Pesquisa.
- Laboratório Clínico ou Hospitalar
- Laboratório Biológico.
- Laboratório de Animais.
- Salas Limpas / Sala de Isolamento.
- Laboratório de Testes de Materiais.
- Laboratório de Instrumentação.
- Espaços de suporte.

# Tipo de Laboratório Escolhido

Os **LABORATÓRIOS QUÍMICOS** são um dos tipos de laboratórios mais utilizados no mundo. Este tipo de ambiente é usado para análise e experimentação de uma grande variedade de produtos químicos. Também possuem como característica a utilização de equipamentos específicos como capelas e exaustão localizadas.

# Normas regulamentadoras

- NFPA 45 (2004) – *Standard on Fire Protection for Laboratories Using Chemicals*, da associação não governamental norte americana *National Fire Protection Association*.
- EN 14175 (2012) – *Requirements for Fume Cupboard*, da associação não governamental europeia *European Committee for Standardization*.
- 29 CFR PART 1910.1450 (1990) – *Occupational Safety and Health Standards*, do departamento *Occupational Safety & Health Administration* do órgão governamental americano *United States Department of Labor*.
- Z9.5 (2003) – *Laboratory Ventilation Standard*, da associação não governamental *American National Standards Institute*.
- ISO 14464 (2015) – *Cleanrooms and associated controlled environments*, da associação não governamental *International Organization for Standardization*.
- ASHRAE Standard 62.1 (2016) – *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, da associação não governamental americana *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*.

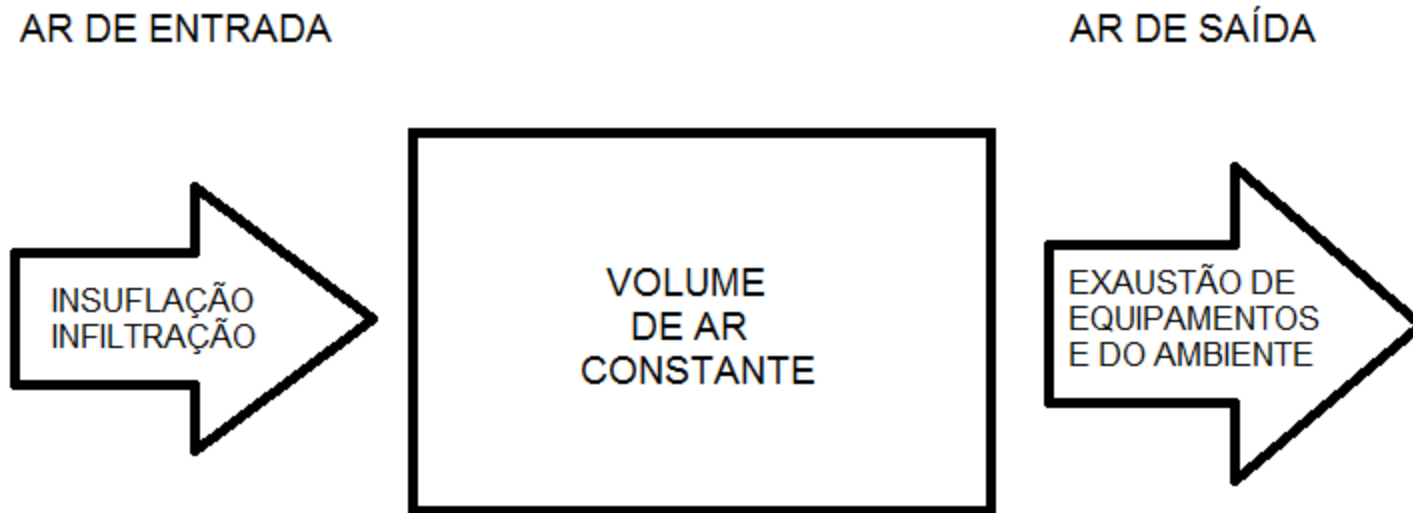


# Como projetar o HVAC??

De acordo com a TSI Incorporated (2014) existem quatro maneiras de projetar o sistema de HVAC de um laboratório, os quais são:

- Método por Volume de Ar Constante (VAC);
- Método por Duas Posições (MDC);
- Método por Volume de Ar Variável (VAV);
- Método pela Diversidade.

# Método VAC



# Método VAC

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Baixo custo de projeto;	Equipamentos mecânicos devem ser dimensionados para cargas máximas
Minimização de custos com automação.	Dificuldades reposicionar os equipamentos
	Limitada expansão futura
	Limitada operação nos alarmes de segurança do sistema.

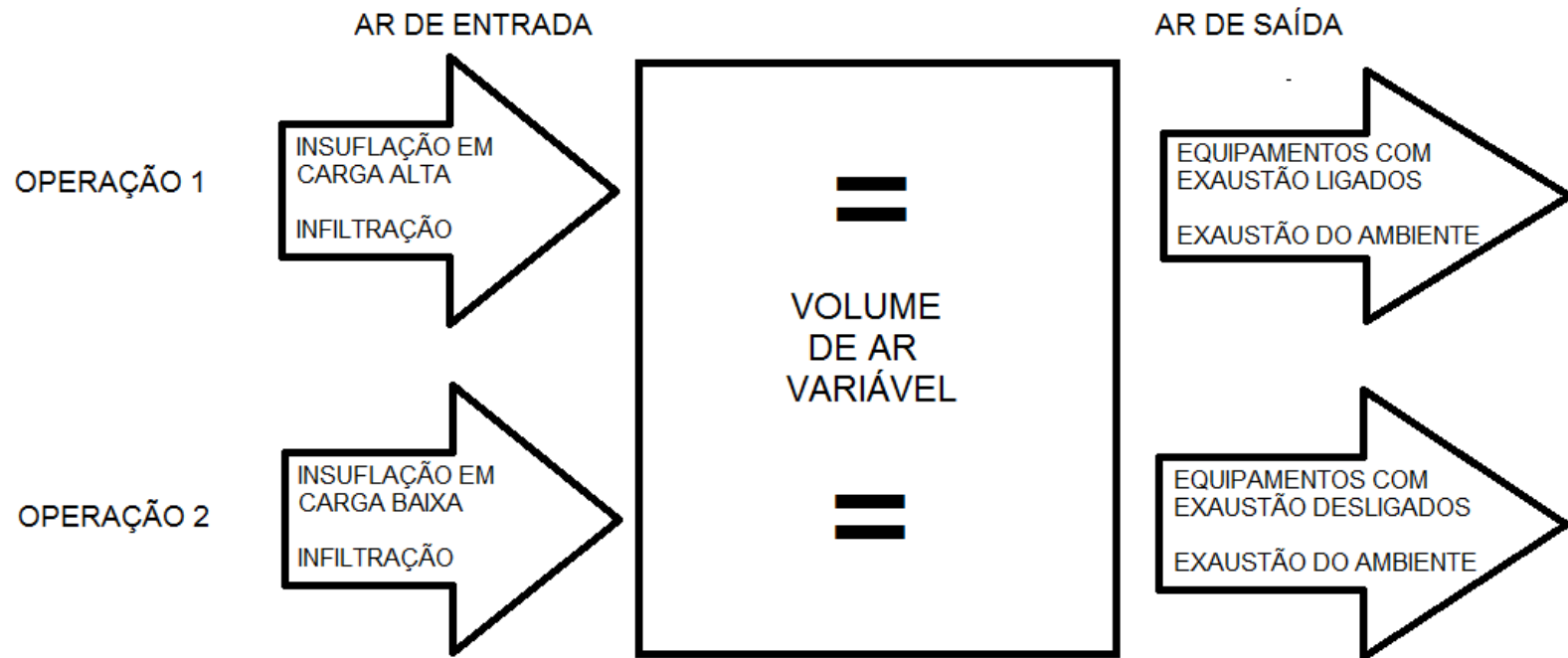
# Método por Duas Posições

O método visa à redução do fluxo de ar quando o laboratório está desocupado. Ou seja, este método entende que quando o laboratório estiver desocupado haverá uma redução da carga térmica e das operações realizadas assim o volume de ar requerido diminuiria.

# Método por Duas Posições

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Baixo custo de projeto	Equipamentos mecânicos devem ser dimensionados para cargas máximas
Minimização de custos com automação quando comparado com o VAV	Dificuldades reposicionar os equipamentos
Diminuição dos fluxos de ar durante as horas de desocupação	Limitada expansão futura
	Limitada operação nos alarmes de segurança do sistema.

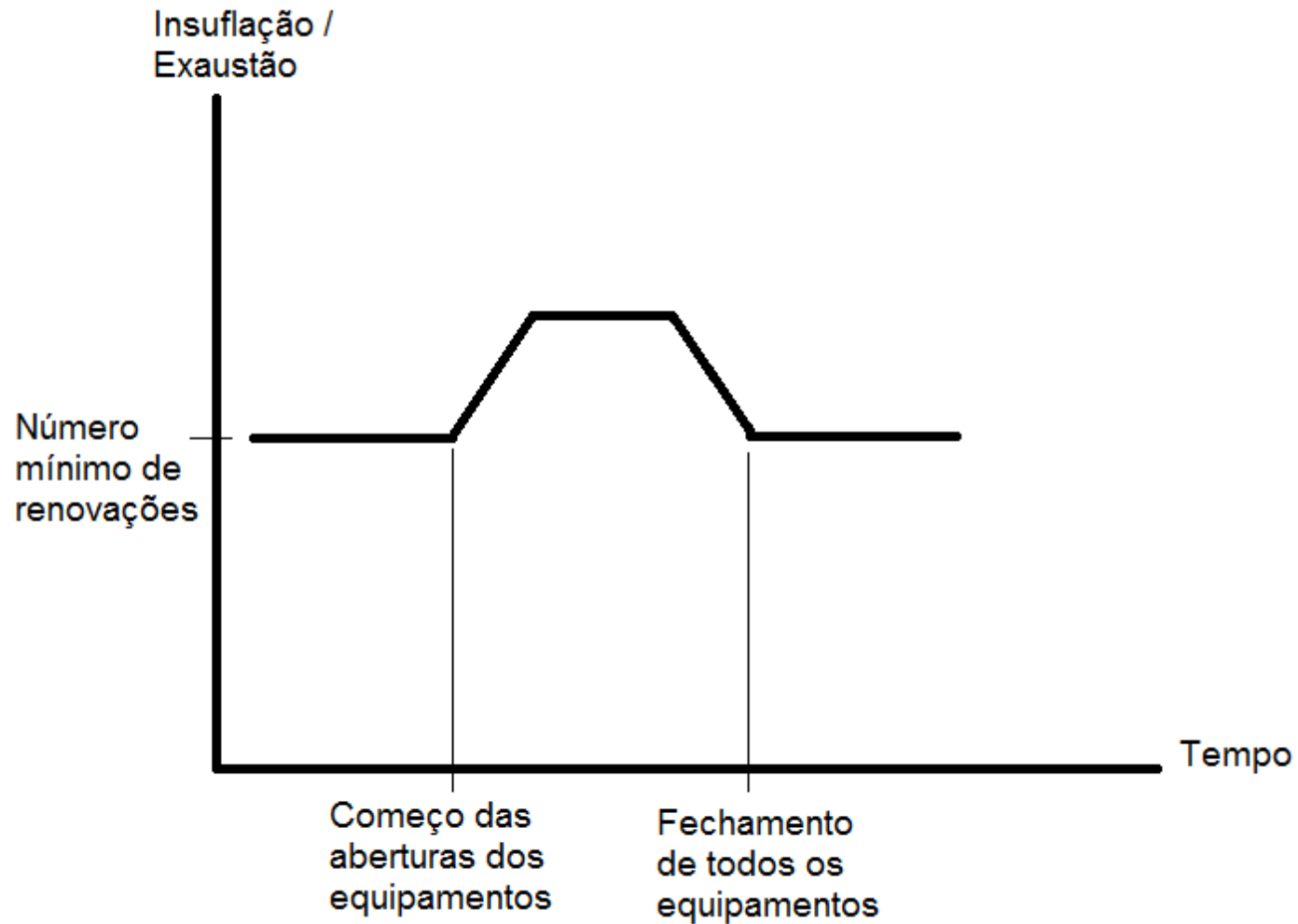
# Método VAV



# Método VAV

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Redução dos custos de energia	A redução dos fluxos de ar depende que os operadores reduzam ou fechem os equipamentos não utilizados
Usa o modo desocupado para diminuir a insuflação e exaustão de ar	Maior custo com automação
Aplicação de perfis de diversidade	Limitada expansão futura
Controles por VAV	Limitada operação nos alarmes de segurança do sistema.
VAV pode ser controlado por alarmes	

# Método por Diversidade





# Dimensionamento da vazão de ar

- PRESSURIZAÇÃO
- EXAUSTÕES
- NÚMERO MÍNIMO DE TROCAS DE AR
- COMBATE DA CARGA TÉRMICA

# Pressurização

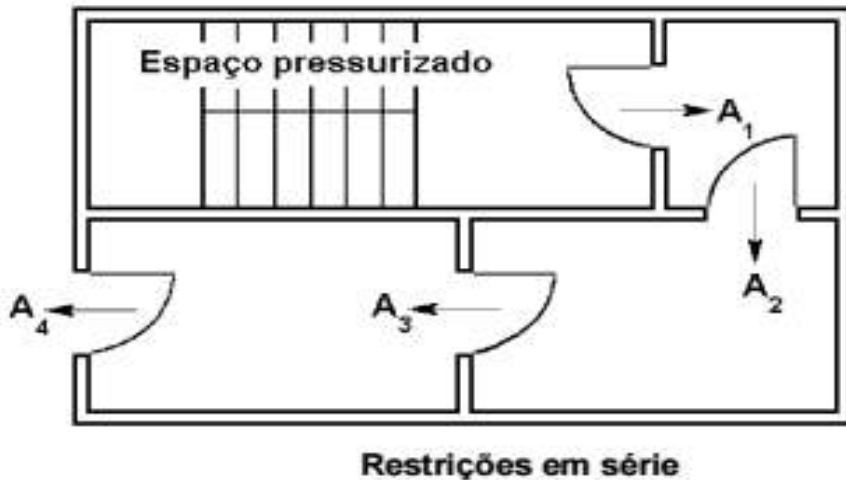
A cascata de pressão tem como intuito a proteção do ambiente de contaminações provenientes do exterior ou de ambientes adjacentes

- $V_{\downarrow \text{pressurização}} = 0,827 \times A \times P^{1/N}$
- onde:
- $V_{\downarrow \text{pressurização}}$  é a vazão de ar, em metros cúbicos por segundo, na condição-padrão do ar;
- A é a área de restrição, em metros quadrados;
- P é o diferencial de pressão, em pascal;
- N é um índice que varia entre 1 a 2.

# Pressurização



$$A_{\text{total}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots$$



$$1/(A_{\text{total}})^2 = 1/A_1^2 + 1/A_2^2 + 1/A_3^2 + \dots$$

# Sistema de Exaustão Localizados

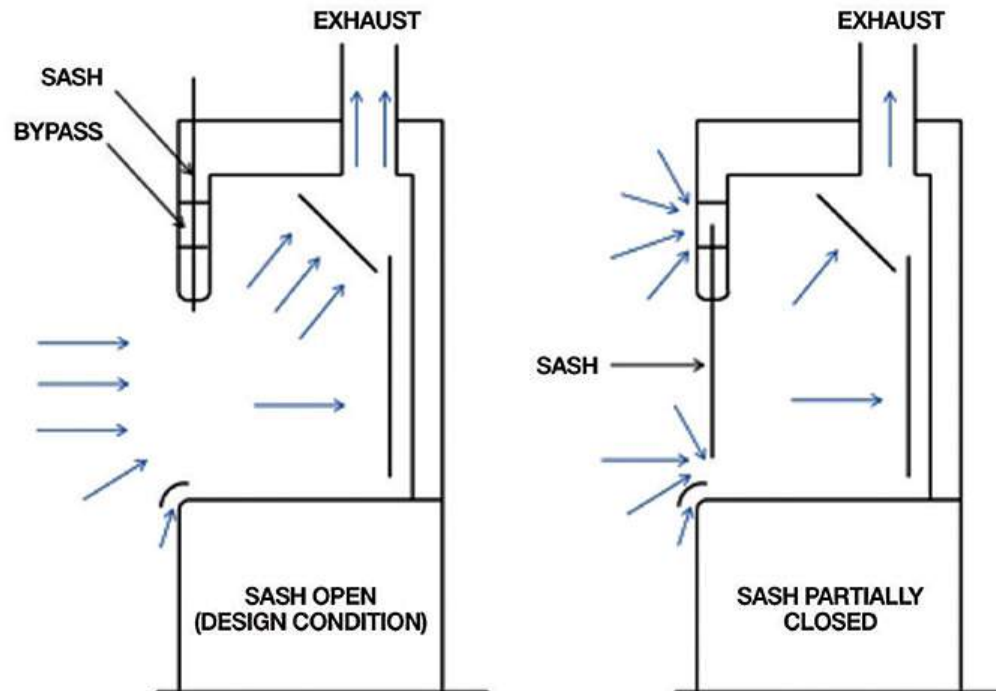


# Sistema de Exaustão Localizados

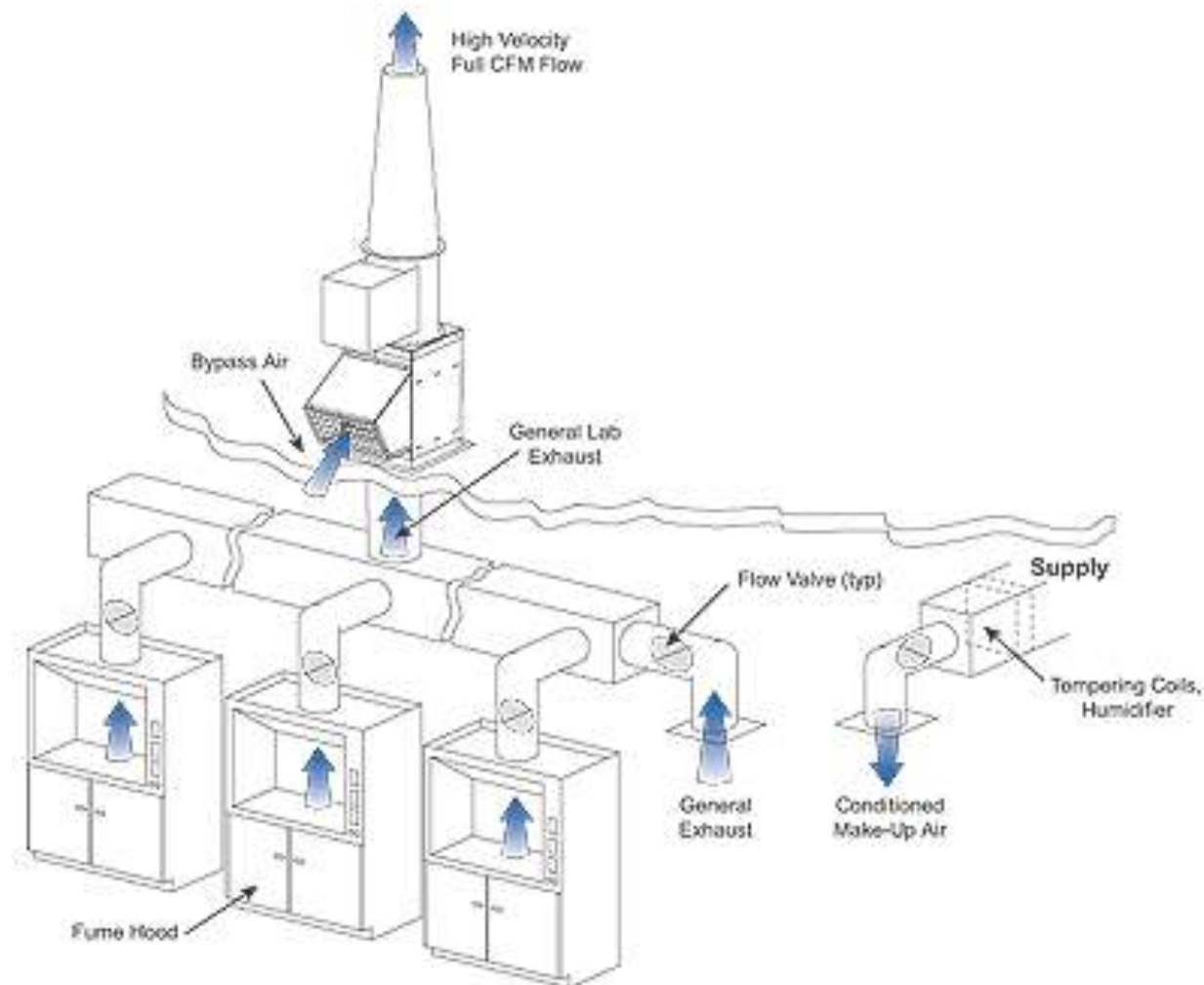
A simultaneidade dos sistemas de exaustão será determinada pelo usuário. A partir da informação de quantos sistemas operam simultaneamente e quantos ficam desligados.

- $V_{\text{sistemas de exaustão operantes}} = A_{\text{abertura em operação}} \times V_{\text{face}}$
- $V_{\text{sistemas de exaustão desligados}} = A_{\text{abertura mínima}} \times V_{\text{face}}$
- $V_{\text{exaustão do ambiente}} = \sum V_{\text{sistemas de exaustão operantes}} + \sum V_{\text{sistemas de exaustão desligados}}$

# Sistema de Exaustão Localizados



# Sistema de Exaustão Localizados



# Sistema de Exaustão Localizados

Entidade	Velocidade de Face
SEFA - Scientific Equipment & Furniture Association	0,51 m/s. E informa que velocidades entre 0,64 m/s a 0,38 m/s podem ser usadas em condições especiais
NFPA - National Fire Protection Association	0,41 a 0,61 m/s
ANSI/AIHA - American National Standards Institute	0,41 a 0,61 m/s
NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health	0,5 a 0,76 m/s
ACGIH - Association Advancing Occupational and Environmental Health	0,4 a 0,5 m/s
NAS - National Academy of Sciences	0,4 a 0,5 m/s. E 0,5 a 0,6 m/s para substâncias tóxicas



# Sistema de Exaustão Localizados

## OSHA - Occupational Safety and Health Administration

Condição de Operação	Velocidade de Face
Painéis de teto devidamente localizados e com velocidade de face inferior a 0,2 m/s. Equipamentos com fechamento horizontal. “Obstáculos” no máximo a 305 mm da face dos exaustores. Exaustores locais longe de portas e corredores.	0,20 m/s
Idem ao item anterior, com alguns sistema de exaustão de passagem. Permite que “obstáculos” estejam no máximo a 152,4 mm da face dos exaustores.	0,41 m/s

# Sistema de Exaustão Localizados

## OSHA - Occupational Safety and Health Administration

Condição de Operação	Velocidade de Face
Painéis de teto devidamente localizados e com velocidade de face inferior a 0,3 m/s ou difusores de teto localizados de maneira apropriada. Nenhum difusor deve estar imediatamente em frente ao sistema de exaustão local; o quadrante do difusor em frente ao sistema de exaustão deve estar fechado; velocidade da flecha deve ser inferior a 0,3 m/s. Equipamentos com fechamento horizontal. “Obstáculos” no máximo a 152,4 mm da face dos exaustores. Exaustores locais longe de portas e corredores.	0,41 m/s

# Sistema de Exaustão Localizados

## OSHA - Occupational Safety and Health Administration

Condição de Operação	Velocidade de Face
Idem ao item anterior, com alguns sistema de exaustão de passagem. Permite que “obstáculos” estejam no máximo a 152,4 mm da face dos exaustores.	0,51 m/s
Grelhas de parede podem ser utilizadas, mas não são recomendadas.	

# Número de renovações

O número de trocas mínimo tem por finalidade garantir condições mínimas de qualidade do ar no ambiente, ou seja, assegurar concentrações mínima de substâncias que possam causar danos à saúde dos usuários. Esta vazão será definida por:

$$V_{\text{nº de trocas mínimo}} = N^{\circ} \text{ de trocas} \times \text{Volume do ambiente}$$

# Número de renovações

Entidade	Número de trocas
ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers	6 a 10 trocas por horas
NFPA - National Fire Protection Association	4 renovações de ar por hora em ambientes não ocupados. E 8 renovações por hora em ambientes ocupados
NIH - National Institutes of Health	6 trocas por horas
NAS - National Academy of Sciences	4 a 12 trocas de ar por hora
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária *	27 m <sup>3</sup> /hora.pessoa. E 17m <sup>3</sup> /hora.pessoa em ambientes com alta rotatividade

# Número de renovações

A ACGIH relata que critérios de ventilação por parâmetros como “renovações de ar por hora” ou “renovações de ar por minuto” é uma **BASE FRACA** para ambientes com controle ambiental, de calor e de odores. Segundo a associação, a ventilação necessária depende da taxa de **GERAÇÃO DE TOXICIDADE E DO CONTAMINANTE**, não do tamanho da sala na qual ela ocorre.

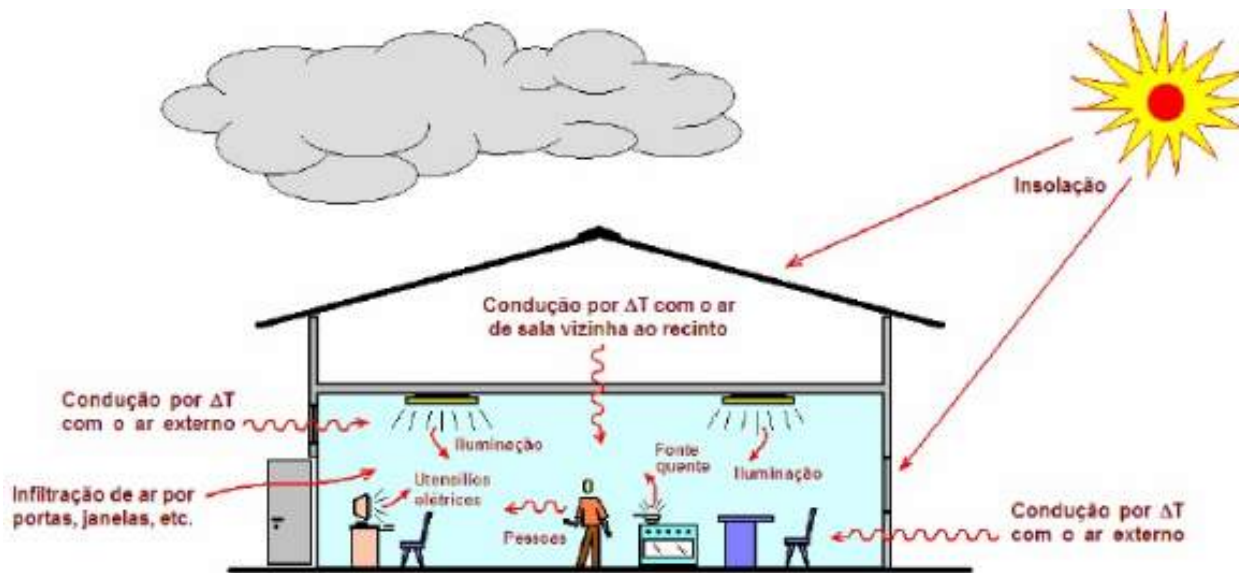
A ANVISA estabelece que os valores máximos para contaminação química são:

- Menor igual a **1000 ppm de dióxido de carbono** (indicador para renovação de ar);
- Menor igual a **80 micrograma por metro cúbico de aerodispersóides** totais do ar (indicador para grau de pureza do ar e limpeza do ambiente).

# Vazão em decorrência da carga térmica

A vazão em decorrência da carga térmica é aquela necessária para combater o calor interno do ambiente. A carga térmica pode ser definida como:

$$Q_{\text{carga térmica}} = Q_{\text{envoltoria}} + Q_{\text{pessoas}} + Q_{\text{iluminação}} + Q_{\text{equipamento}} + Q_{\text{ar externo}} + Q_{\text{infiltração}} + Q_{\text{motores}}$$



# Vazão em decorrência da carga térmica

A partir do valor da carga térmica é definida a vazão de ar necessária para o seu combate pela seguinte equação:

$$V_{\text{carga térmica}} = Q_{\text{carga térmica}} / \rho_{\text{ar}} \times c_{\text{p ar}} \times (T_{\text{ambiente}} - T_{\text{insuflação}})$$

- $V_{\text{carga térmica}}$  é a vazão de ar para o combate de carga térmica, em metro cúbico por segundo
- $\rho_{\text{ar}}$  é a massa específica do ar na temperatura de insuflação, em quilograma por metro cúbico;
- $c_{\text{p ar}}$  é o calor específico do ar na temperatura de insuflação, em quilojoule por quilograma grau Celsius.
- $T_{\text{ambiente}}$  é a temperatura do ambiente obtida no levantamento de campo, em graus Celsius;
- $T_{\text{insuflação}}$  é a temperatura do insuflação do sistema de ar condicionado, em graus Celsius;



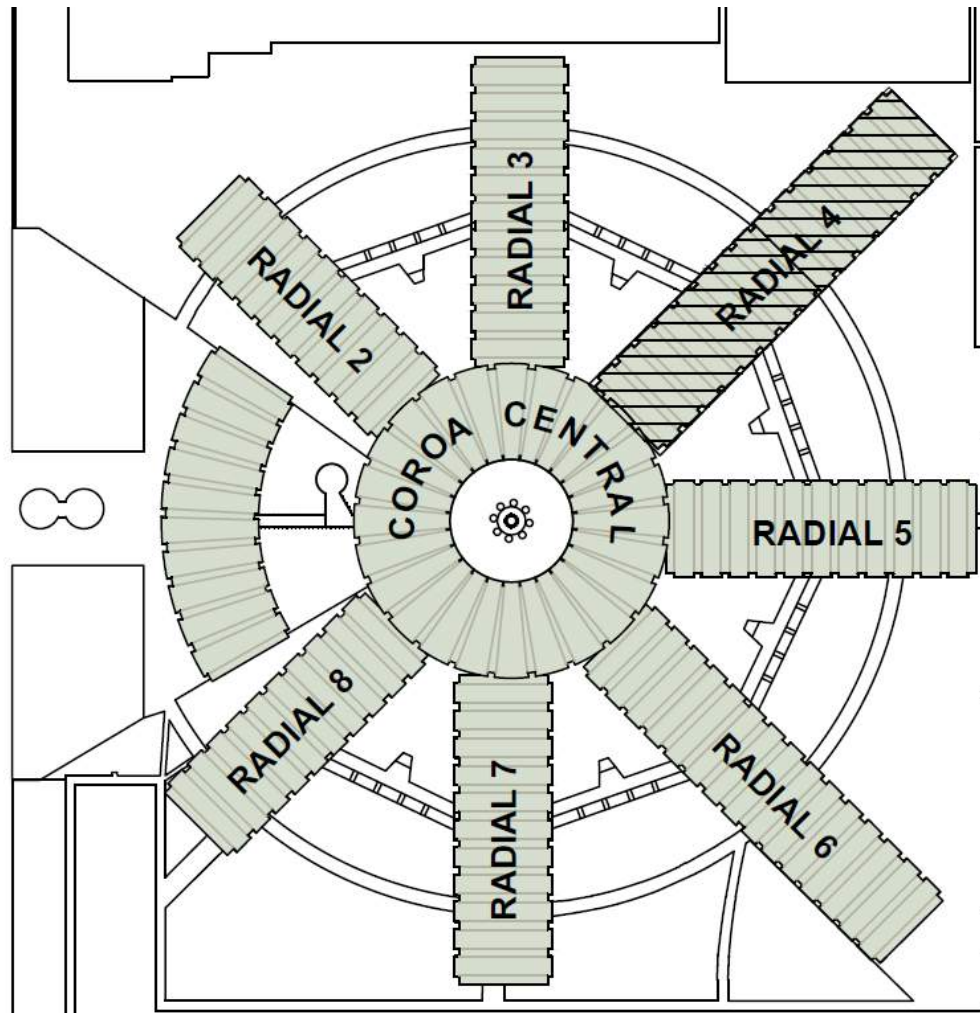
# Recomendações para velocidade em dutos

Condição	Exemplos	Velocidade de Face de Dutos
Vapores, gases e fumaças	Todos os vapores, gases e fumaças	Qualquer velocidade desejada (velocidade usual de 5 a 10 m/s)
Fumos	Fumos proveniente de soldagem	10 a 12,7 m/s
Poeira leve e fina	Fibra de algodão, farinha de madeira, pó de lito	12,7 a 15,2 m/s
Poeira seca e pó	Poeira fina de borracha, Pó de madeira, fiapos de juta, poeira de algodão, pó de sabão, aparas de couro	15,2 a 20,3 m/s

# A Pesquisa



# A Pesquisa



# Como será feita?

- Entrevistas com o usuário
- Elaboração de modelo de referência
- Elaboração do modelo proposto

# Entrevistas com o usuário

## Sobre o ambiente:

- Quantidade de usuários que utilizam o espaço, a atividade e vestimenta;
- Temperatura de Bulbo Seco e Umidade Relativa requerida para a operação do laboratório;
- Classificação do ambiente;
- Pressão em relação aos ambientes vizinhos, se é positiva ou negativa;
- Horário de funcionamento
- Quantidade e dissipação das luminárias e equipamentos;
- Posicionamento dos difusores de ar condicionado existentes;
- Tipo de vidro usado nas janelas e suas respectivas dimensões. Este fator influencia na quantidade de calor transferida entre o exterior e o ambiente;
- Tipo de parede externa e suas respectivas dimensões. Este fator influencia na quantidade de calor transferida entre o exterior e o ambiente;
- Tipo de parede interna e suas respectivas dimensões. Este fator influencia na quantidade de calor transferida entre o ambiente e os ambientes vizinhos.

# Entrevistas com o usuário

## Sobre os equipamentos de exaustão:

- Tipo de equipamentos de exaustão, se são capelas, captadores ou coifas;
- Regime de operação destes equipamentos, se é contínuo ou intermitente;
- Tipo de exaustão, se é individual ou coletiva;
- Se são do tipo volume constante ou volume variável;
- Tipo de exaustor, se são ventiladores ou lavadores de gases;
- Tipo de controle utilizado;
- Se há filtragem especial;
- Tipo de fluido que é exaurido por estes equipamentos;

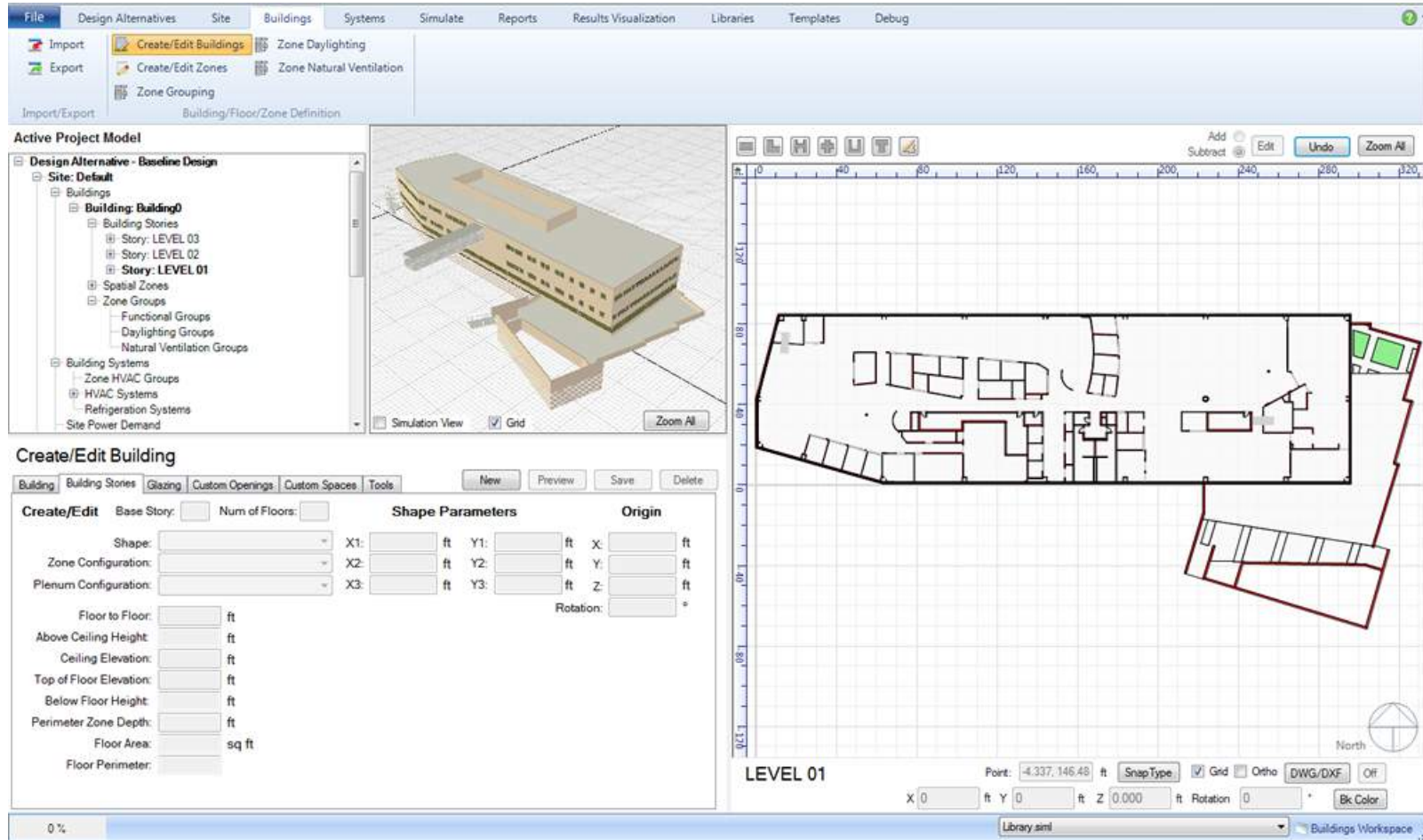
# Entrevistas com o usuário

Sobre os equipamentos de condicionamento:

- Tipo de equipamentos utilizados;
- Regime de operação destes equipamentos, se é contínuo ou intermitente;
- Tipo de controle, se é por volume constante ou volume variável;
- Quantidade de ambientes que assistem;
- Vazão de ar por ambiente;
- Tipo de insuflação;
- Tipo de difusor utilizado;
- Velocidade de difusão do ar;
- Se possuem recirculação ou são 100% de ar externo.



# Simulação Computacional - SIMERGY





# Simulação Computacional - SIMERGY

Dentre as diversas funções do programa destacam-se:

- É uma interface gráfica gratuita do ENERGYPLUS;
- Suporte para várias alternativas de projeto;
- Criação de geometria versátil com recursos de CAD de importação 2D e 3D;
- Bibliotecas e modelos de materiais de construção, padrão de horários de operação e equipamentos e modelos de climatização e para sistemas de climatização convencionais e de baixa energia;
- Personalização do sistema de HVAC por meio de esquemáticos
- Relatórios de síntese personalizados e visualização interativa de resultados da simulação em diferentes níveis de detalhe

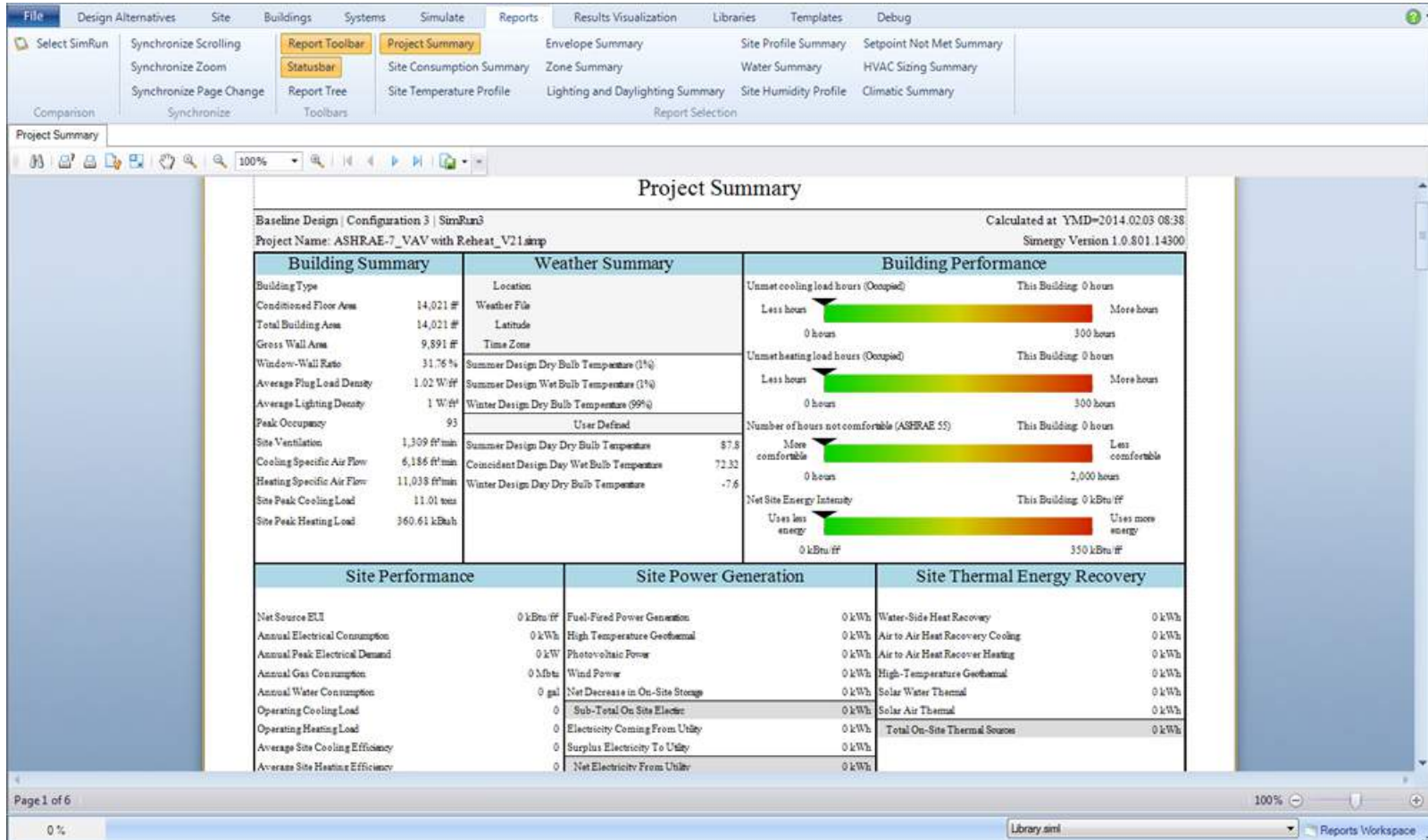
# Simulação Computacional - SIMERGY

The screenshot displays the SIMERGY software interface, which is used for computational simulation of building systems. The interface is divided into several main sections:

- Top Menu Bar:** Includes File, Design Alternatives, Site, Buildings, Systems, Simulate, Reports, Results Visualization, Libraries, Templates, and Debug.
- Active Project Model:** A tree view on the left showing the project structure, including Design Alternative - Baseline Design, Site, Buildings, Building 1, Building Stories, Spatial Zones, Thermal Zones, Plenum Zones, Zone Groups, Functional Groups, Daylighting Groups, Natural Ventilation Groups, Building Systems, Zone HVAC Groups, HVAC Systems, Air Loops, Air Loop 1, Hot Water Loops, Chilled Water Loops, and Condenser Loops.
- Selected Component Information:** A panel on the left showing details for the selected component, ReturnFan. It includes Type (ReturnFan), Sub Types (VariableVolume), Library Entities (ReturnFan-VSD), and a table of properties.
- Property Table:**

Property	Value	Unit
Name	VRF-1(1)(1)	
Availability S	Office_HVAC_90-1-2	
Fan Efficiency	0.65	
Pressure Rise	1.39	inH2O
Maximum Flow	Autosize	cfm
Fan Power Min	Fraction	
Fan Power Max	0.2	
Fan Power Min		cfm
Motor Efficiency	0.93	
- Air Loop Stencil:** A panel on the left showing various components available for the air loop, including Supply Fan, Return Fan, Cooling Coil 2-Port, DX Cooling Coil, MxW Cooling Coil 2-Port, HX Assisted Cooling Coil, Pre-Heat Coil 2 Pipe, and Heating Coil 2 Port.
- Main Diagram:** A schematic diagram of the Air Loop 1 system. It shows the flow of air through various components, including Supply Fan, Return Fan, Cooling Coil 2-Port, DX Cooling Coil, MxW Cooling Coil 2-Port, HX Assisted Cooling Coil, Pre-Heat Coil 2 Pipe, and Heating Coil 2 Port. The diagram also includes a VRF-1 unit and a VSD unit.
- Validation Results:** A panel at the bottom right showing the results of the simulation. It includes a table with columns for Name, System Issues to be fixed, and Error Type. The table shows that there are no validation issues found for Air Loop 1.

# Simulação Computacional - SIMERGY

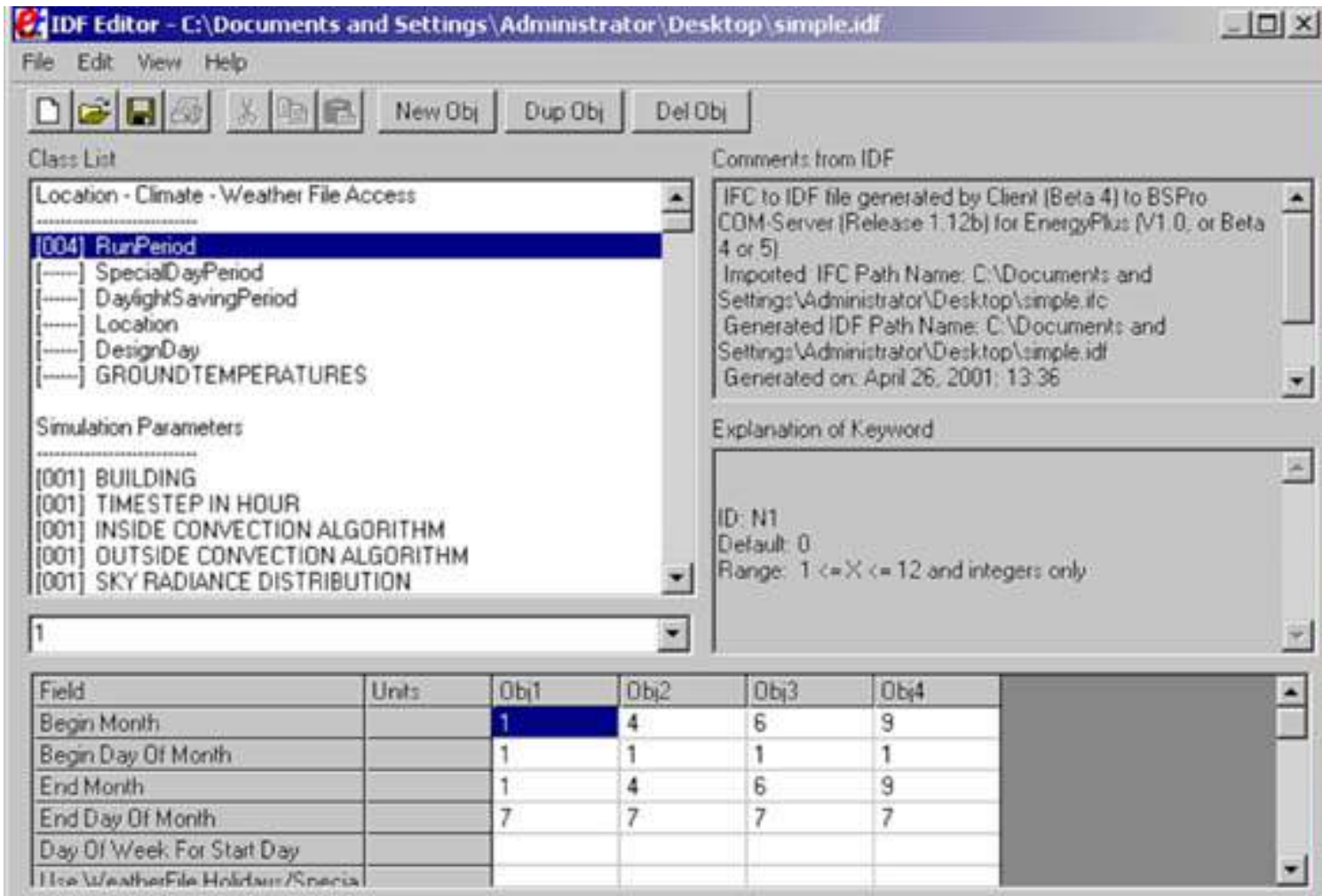


# O ENERGYPLUS

Alguns dos recursos do EnergyPlus incluem:

- Solução simultânea das condições das zonas térmicas e da resposta do sistema HVAC para cada zona definida;
- Solução baseada em equilíbrio térmico dos efeitos radiantes e convectivos;
- Intervalos de tempos de interação definidos pelo usuário;
- Modelo combinado de transferência de calor e massa;
- Modelo avançado de frenestação;
- Cálculos de brilho e luminosidade;
- Ferramentas para implantação de sistemas de HVAC;
- Larga gama de controles de iluminação e do sistema de HVAC;
- Diversos relatórios para análise da solução.

# 0 ENERGYPLUS

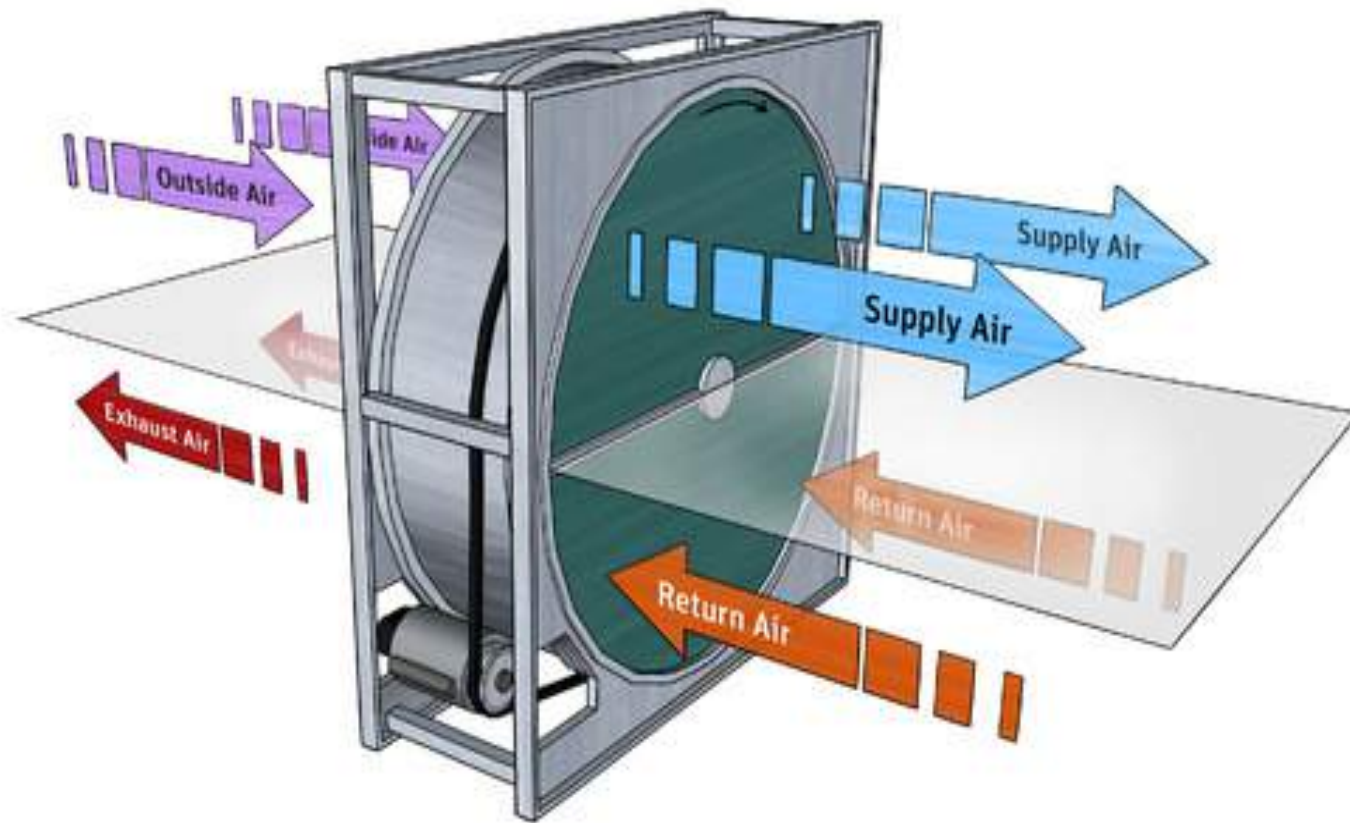


# SOLUÇÕES PROPOSTAS

- Implantação da vazão de ar externo obtida;
- Utilização de condicionadores de ar do tipo “fan coil” com expansão indireta e exclusão de quaisquer equipamentos com expansão direta;
- Implantação de variadores de frequência nos condicionadores de ar;
- Implantação de variadores de frequência nos sistemas de exaustão exaustão;
- Utilização de sistema de exaustão centralizado quando possível;
- Utilização de recuperadores de calor do tipo roda entálpica para o pré-tratamento do ar externo. A roda entálpica é um equipamento que possibilita a troca de calor entre o ar exaurido e ar novo através de um trocador de contra fluxo que utiliza uma roda de alumínio e preenchida com sílica.
- Utilização de transmissores de temperatura para controle da temperatura da água gelada que entra nas serpentinas dos condicionadores de ar;
- Utilização de transmissores de pressão diferencial no ambiente, para controle da pressurização;
- Utilização de transmissores de pressão diferencial no equipamento para controle da vazão dos sistemas de exaustão.



# SOLUÇÕES PROPOSTAS



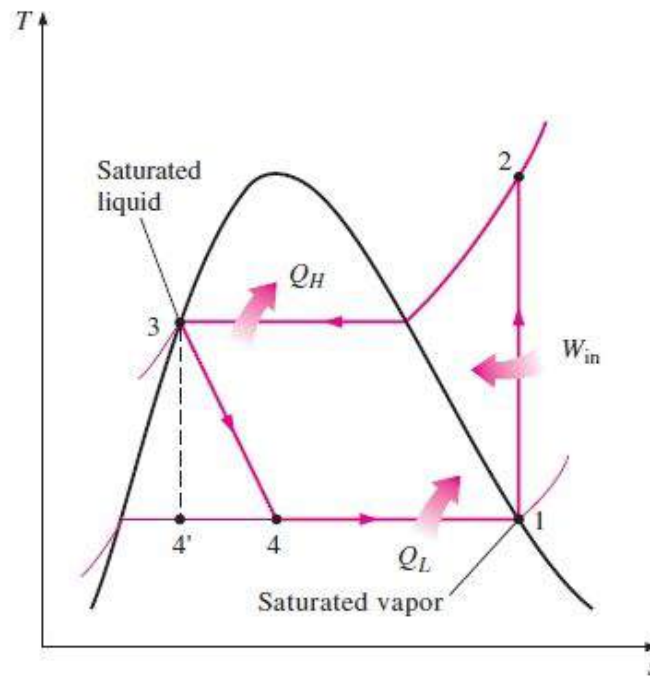
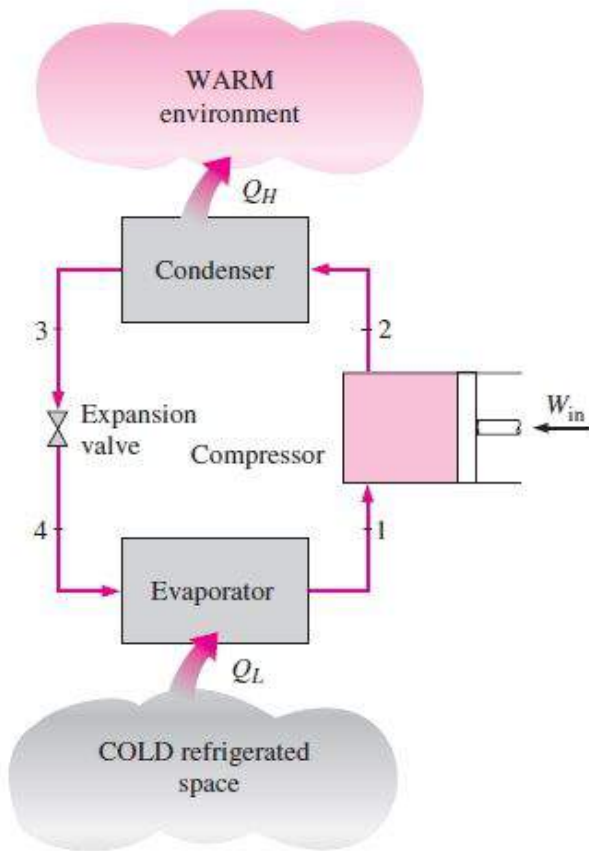
# SOLUÇÕES PROPOSTAS

Também será avaliado o melhor arranjo para o a central de água gelada que assiste o sistema. Serão testadas as seguintes opções de melhorias:

- Utilização de resfriadores de líquido (*Chillers*) em série;
- Utilização de resfriadores de líquido (*Chillers*) em paralelo;
- Aumento da temperatura de evaporação dos *Chillers*;
- Redução da temperatura de condensação dos *Chillers*;



# SOLUÇÕES PROPOSTAS



$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

# SOLUÇÕES PROPOSTAS

Após a simulação do modelo proposto será feita a comparação com o modelo de referência onde serão analisados os seguintes parâmetros:

- Consumo de energia elétrica;
- Eficiência do sistema de HVAC através dos parâmetros COP e IPLV;
- Conforto térmico nos ambientes.

# OBRIGADO!

[fadc@intertechne.com.br](mailto:fadc@intertechne.com.br)