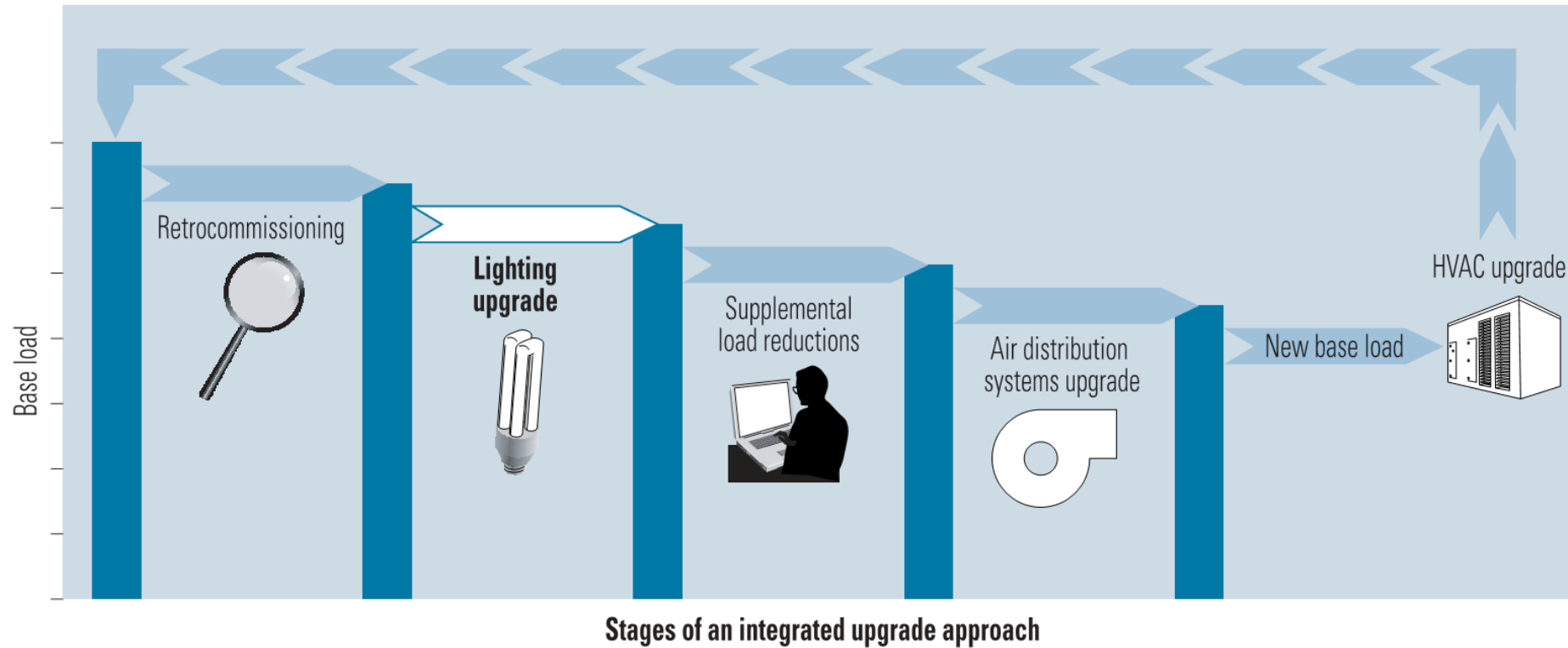


PME 3502 - DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

Avaliação de Medidas de Eficiência Energética (MEEs)

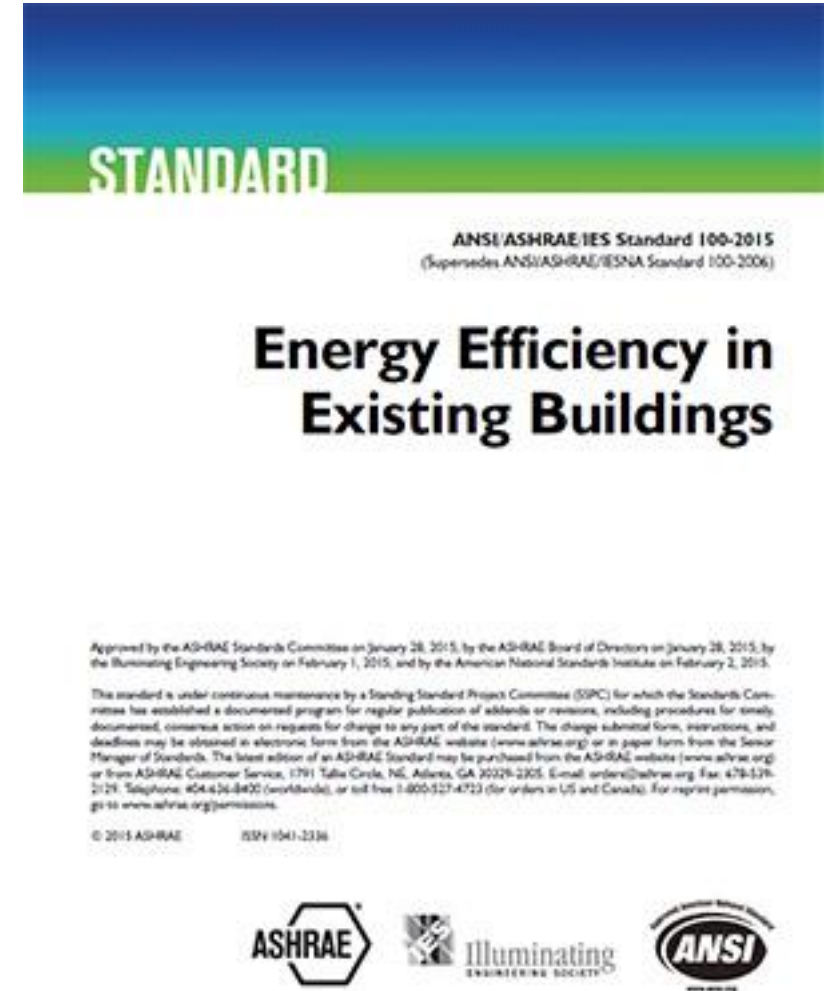
Projeto Integrado



Courtesy: E SOURCE

ANSI/ASHRAE/IES Standard 100-2015: Annex E Energy Efficiency Measures

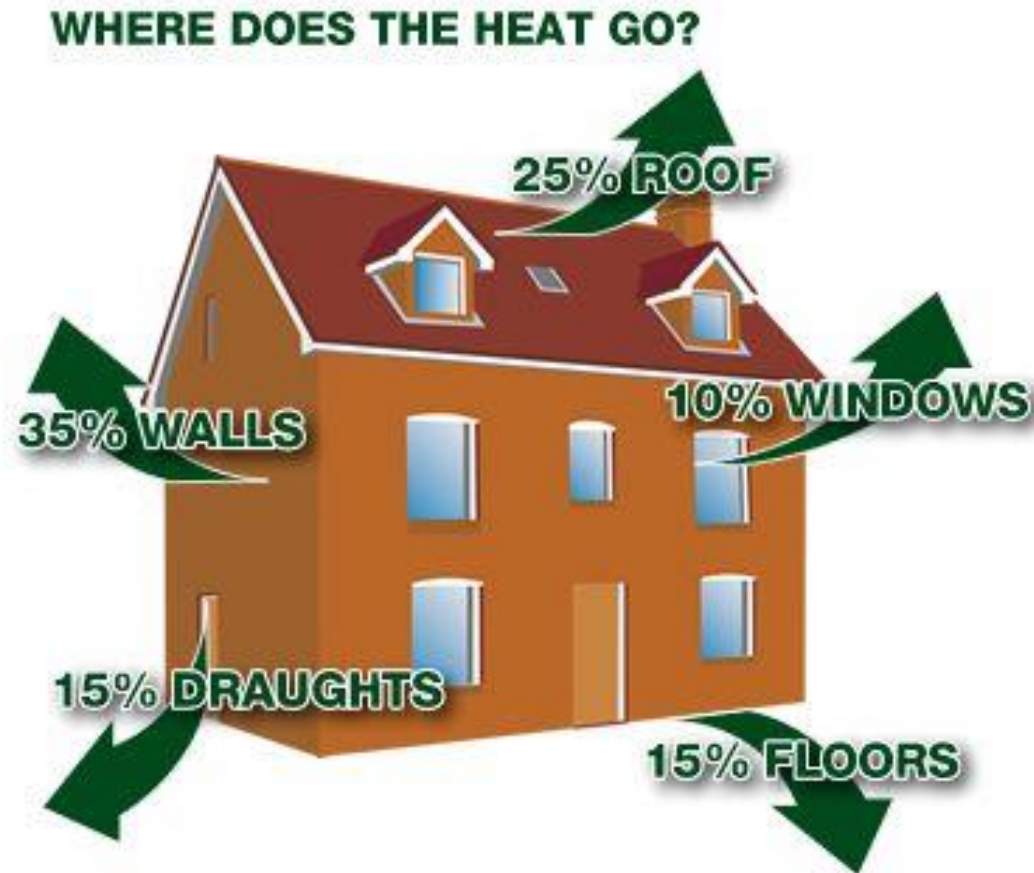
- Categorias de MEEs
 - Envoltória
 - Sistemas de climatização
 - Ventilação
 - Sistemas de distribuição de ar/água
 - Controle e Automação
 - Refrigeração
 - Sistemas de água quente
 - Centrais de Água Gelada e distribuição de água gelada
 - Aquecedores
 - Resfriadores
 - Termo-acumulação e bombas de calor
 - Iluminação
 - Motores e sistemas elétricos
 - Appliances (i.e., plug loads)



Envoltória

- Avaliação dos níveis de transferência de calor na edificação
- Ações:
 - Vidros com melhor fator solar
 - Uso de sombreamento
 - Isolamento ou redução de transferência de calor nos tetos
 - Uso do paisagismo para redução de cargas térmicas
 - Redução da infiltração

Integração dos componentes da edificação



Integração dos componentes da edificação

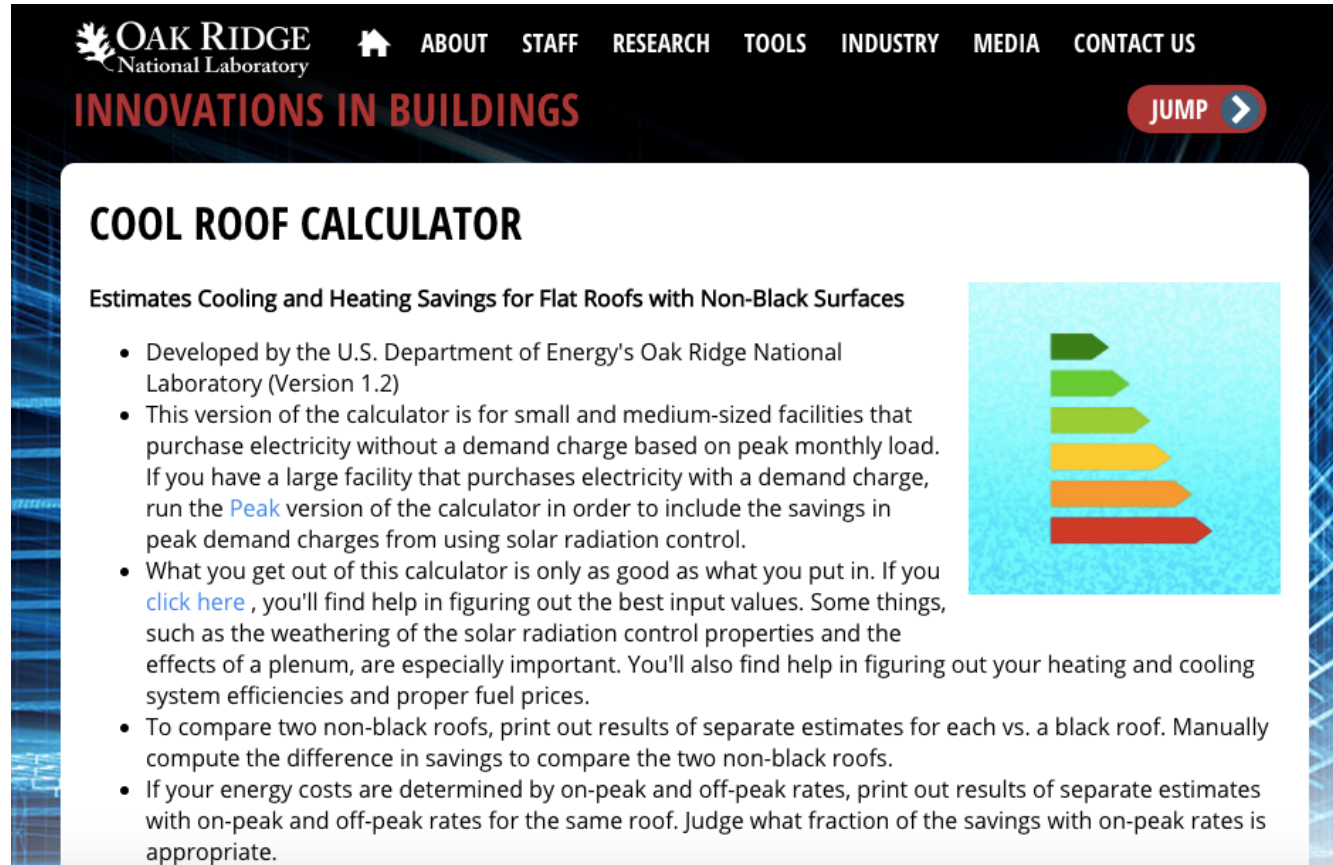
- Vidros mais eficientes
- Isolamento do teto e redução da transferência de calor
- Sombreamento (brises, persianas, etc.)
- Paisagismo : sombreamento com redução de carga térmica para o sistema de ar condicionado
- Uso de cortinas de ar nas passagens de alto fluxo

Tetos “mais frios”

- Redução da emissividade do teto, reduzindo a temperatura do teto
- Redução da carga térmica proveniente do teto



Tetos “mais frios”



OAK RIDGE
National Laboratory


ABOUT STAFF RESEARCH TOOLS INDUSTRY MEDIA CONTACT US

INNOVATIONS IN BUILDINGS **JUMP** >

COOL ROOF CALCULATOR

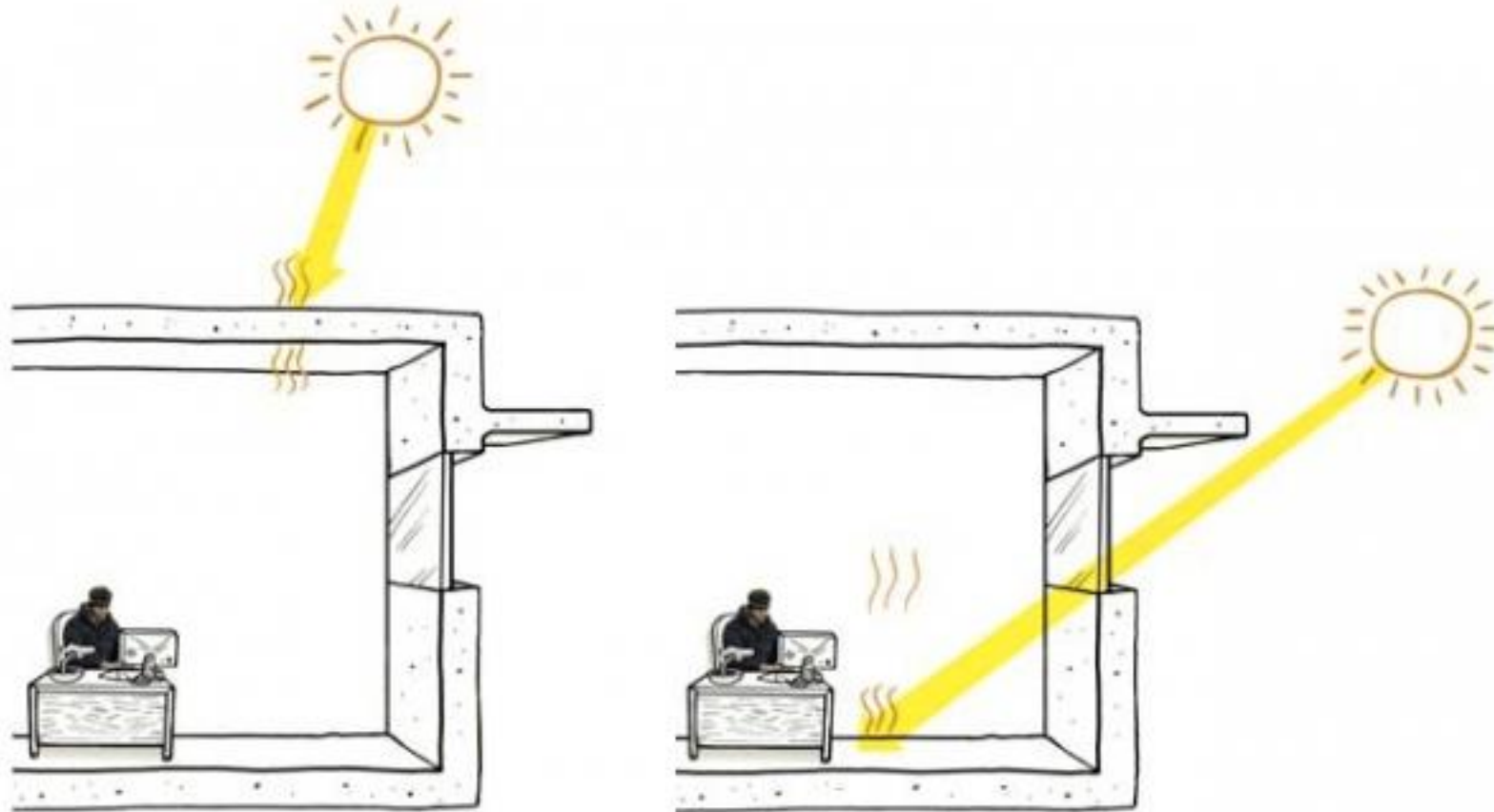
Estimates Cooling and Heating Savings for Flat Roofs with Non-Black Surfaces

- Developed by the U.S. Department of Energy's Oak Ridge National Laboratory (Version 1.2)
- This version of the calculator is for small and medium-sized facilities that purchase electricity without a demand charge based on peak monthly load. If you have a large facility that purchases electricity with a demand charge, run the [Peak](#) version of the calculator in order to include the savings in peak demand charges from using solar radiation control.
- What you get out of this calculator is only as good as what you put in. If you [click here](#), you'll find help in figuring out the best input values. Some things, such as the weathering of the solar radiation control properties and the effects of a plenum, are especially important. You'll also find help in figuring out your heating and cooling system efficiencies and proper fuel prices.
- To compare two non-black roofs, print out results of separate estimates for each vs. a black roof. Manually compute the difference in savings to compare the two non-black roofs.
- If your energy costs are determined by on-peak and off-peak rates, print out results of separate estimates with on-peak and off-peak rates for the same roof. Judge what fraction of the savings with on-peak rates is appropriate.



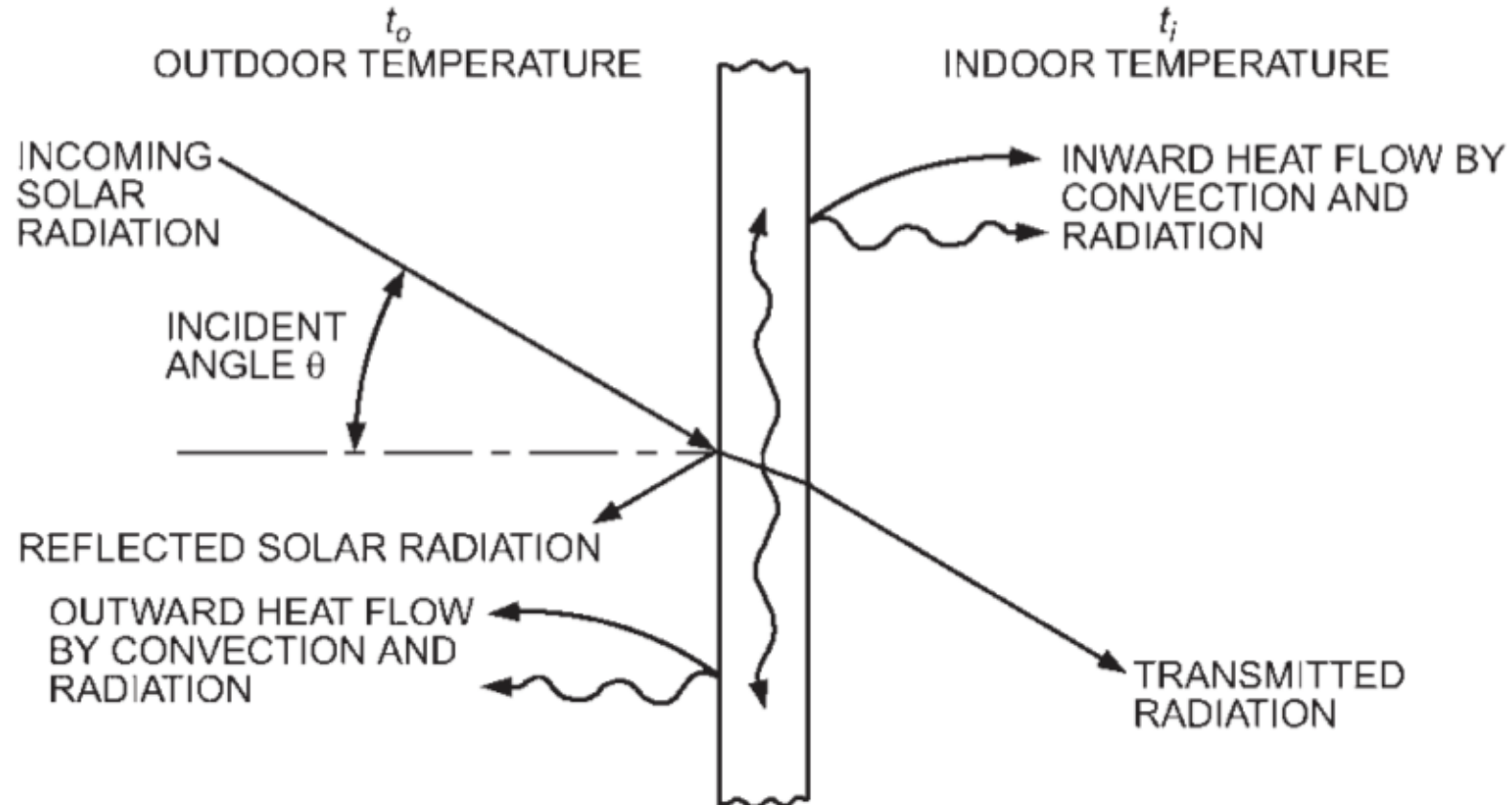
<http://web.ornl.gov/sci/buildings/tools/cool-roof/>

Sombreamento



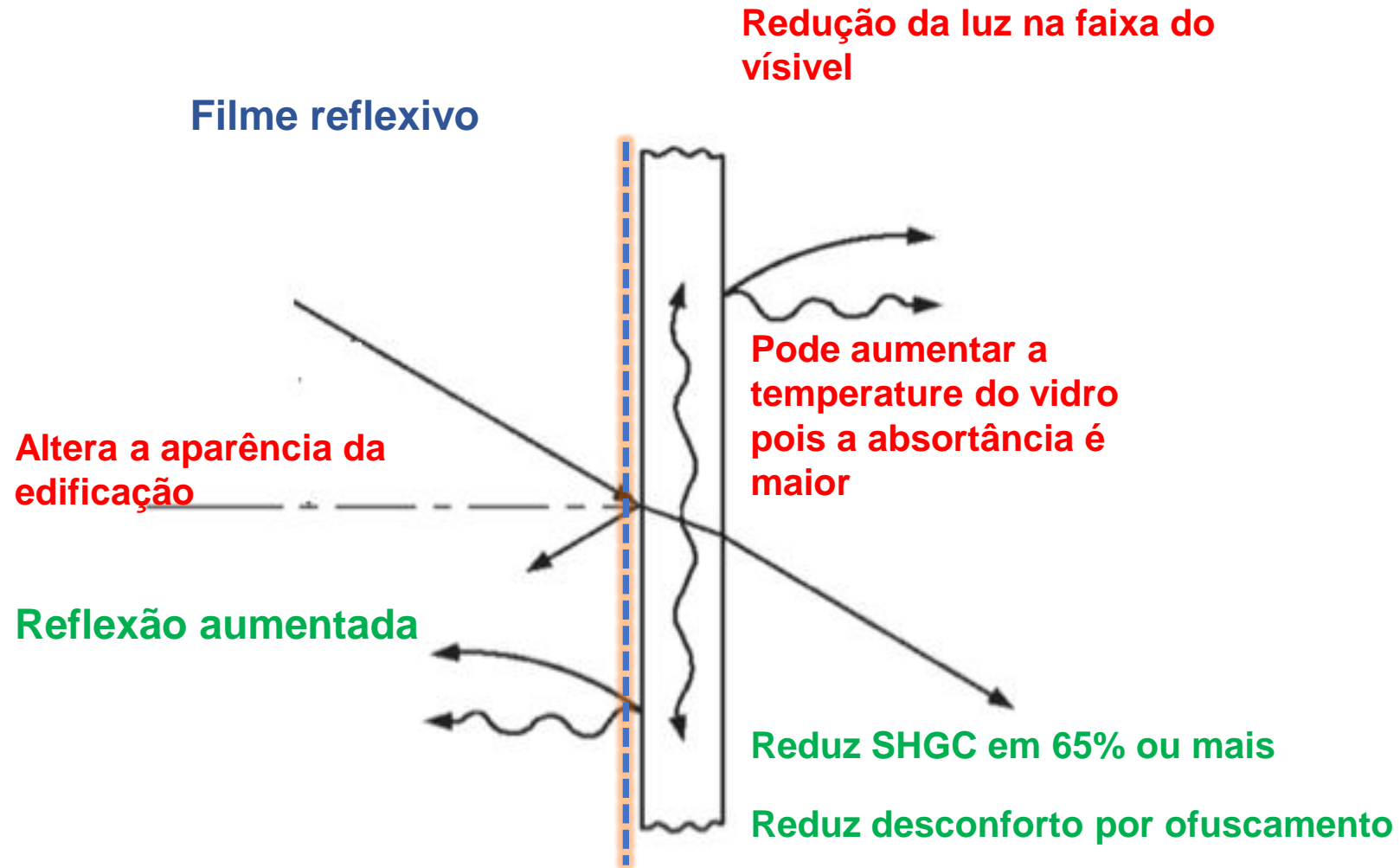
Source: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/direct-solar-gain>

Vidros com fator solar mais baixo



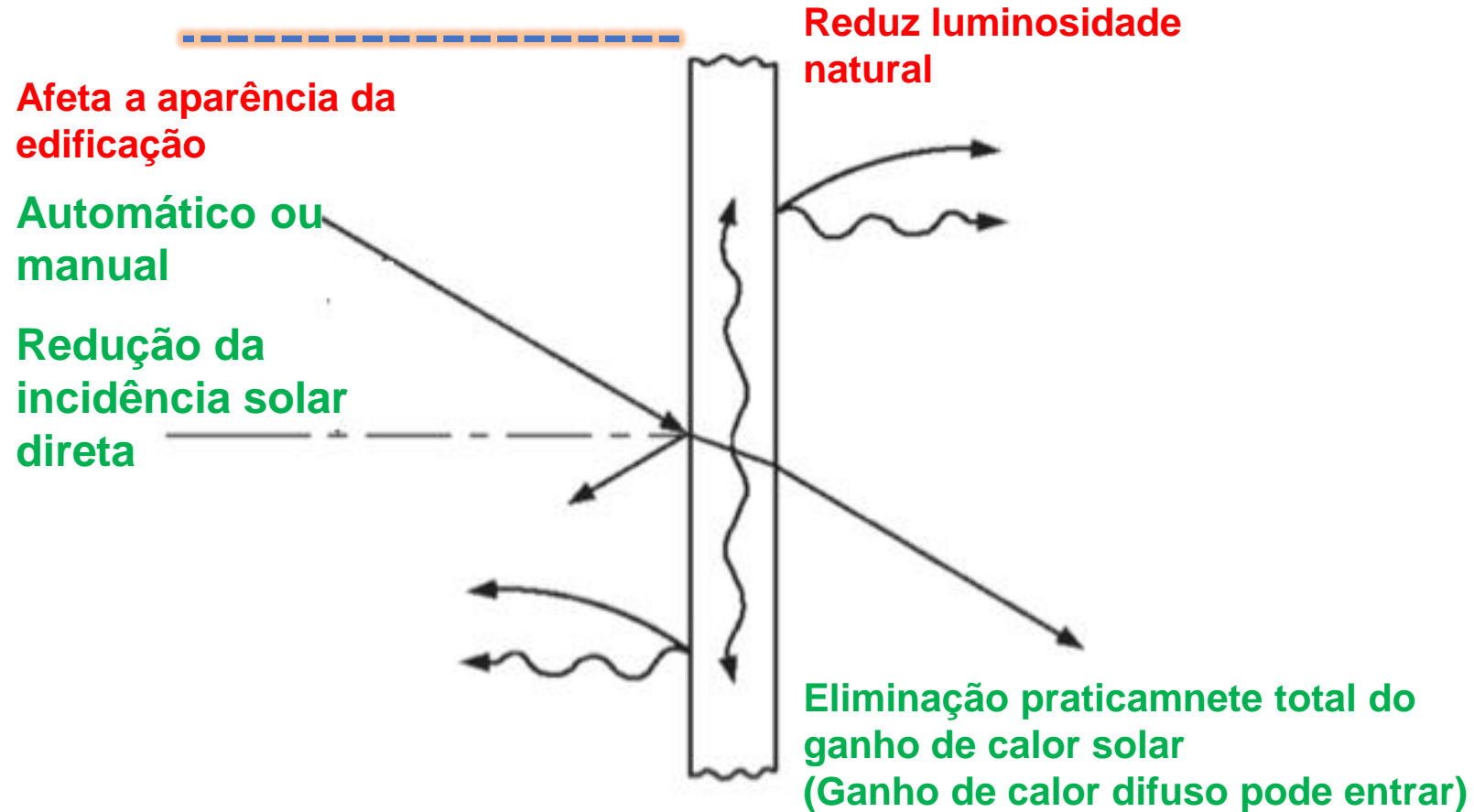
Source: ASHRAE Fundamentals 2017, Chapter 15, Fig 18

Filmes reflexivos



Brises

Horizontais e verticais



Paisagismo

Retorno de investimento de paisagismo projetado para melhoria de desempenho: 08 anos



Menos manutenção



Menor consumo de água



Redução de consumo de ar condicionado



Melhoria do desempenho térmico



Redução do ruído e melhoria da qualidade do ar

Combinação de sombreamento e energia renovável



Source: <https://energy.gov/energysaver/energy-efficient-window-treatments>

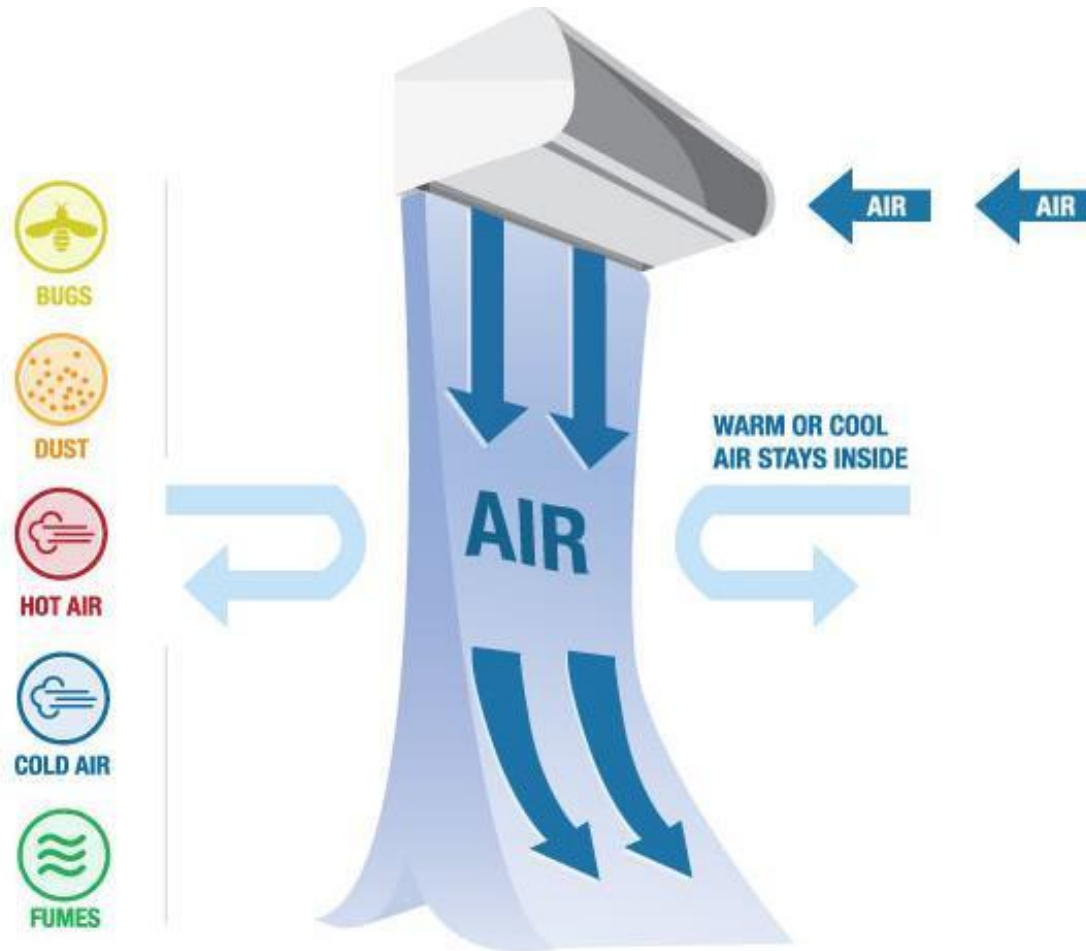
Uso de cortinas de ar

Geração de fluxo de ar sob uma passagem (usualmente portas) para reduzir a entrada de ar a uma temperatura maior e saída de ar a uma temperatura menor



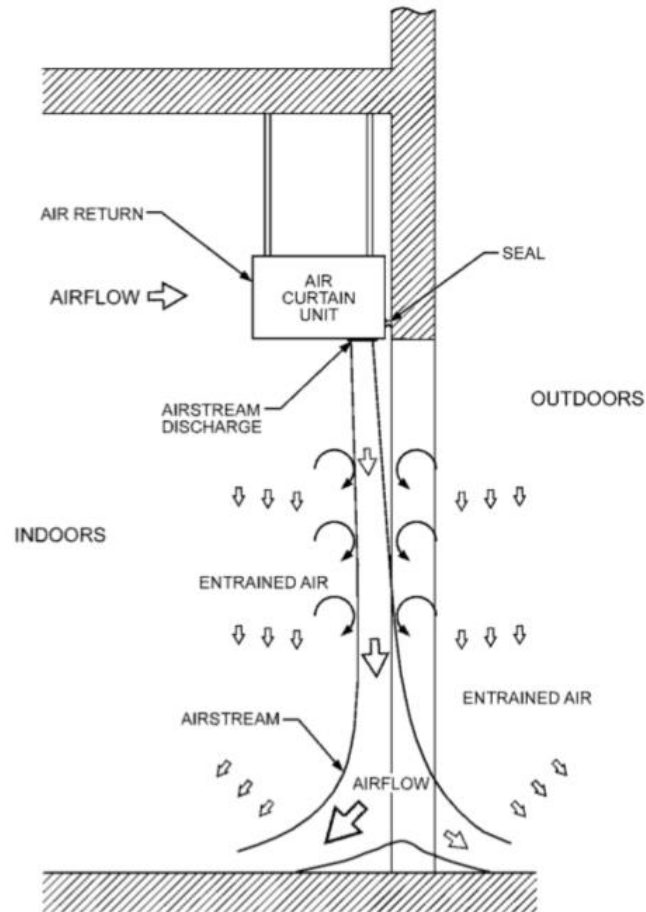
<https://education.buildings.com/learn/course/air-curtains-energy-savings-occupant-comfort/files>

Uso de cortinas de ar



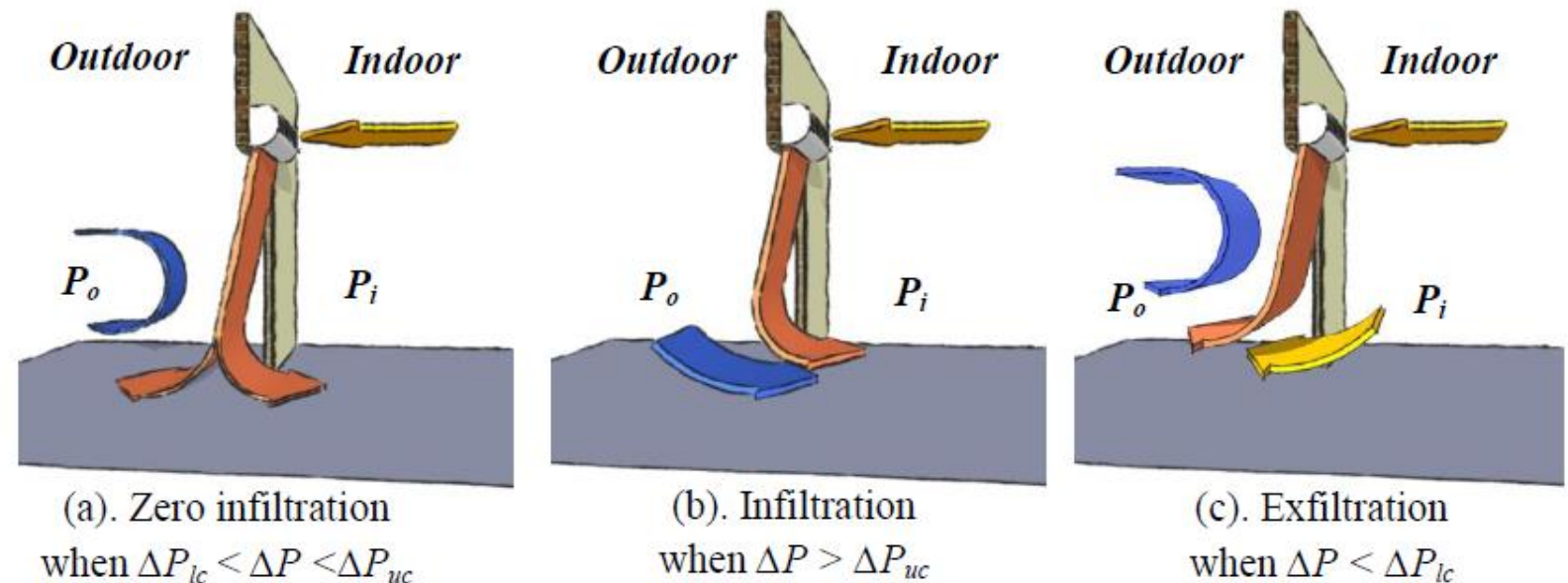
<https://education.buildings.com/learn/course/air-curtains-energy-savings-occupant-comfort/files>

Uso de cortinas de ar



Source: 2016 ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment Chapter 20, Fig 7

- Reduções de 1,4 a 2,3 % do consumo do Sistema de ar condicionado para diferentes climas



Wang L. "Investigation of the Impact of Building Entrance Air Curtain on Whole Building Energy Use Short Summary"

Sistemas de climatização

- Custo baixo ou sem custo
 - Desligamento em horas sem ocupação
 - Definição de setpoints
 - Economizador
 - Acionamento otimizado
- Minimização das taxas de ventilação
- Troca de correias
- Uso de resfriamento evaporativo
- Retrofit de CAV para VAV
- Controle da pressão estática do Sistema VAV
- Ajuste dinâmico da pressão estática

Desligamento do Sistema em horas sem ocupação

- Desligamento das unidades de fancoil

- Exemplo: 10 Fan coils com motor de 1 hp (0,746 kW) com tarifa de R\$0,06/kWh
- 10 FCs x 0,746kW x 4 horas/dia x 300 dias/ano x R\$0,06/kWh = R\$537/ano



Ajuste de termostatos

- Mudanças no setpoint de resfriamento/aquecimento
- Gerenciamento de setpoint management: reduz consumo de energia, melhora conforto e produtividade

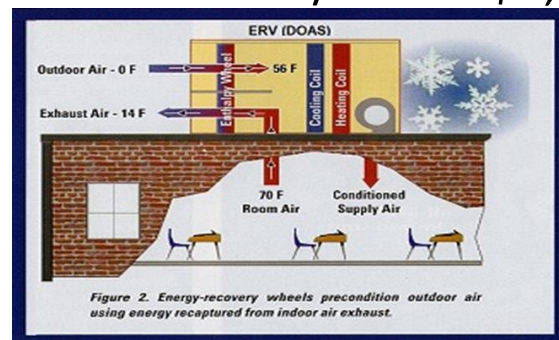
- Exemplo:

- Ajuste do termostato de 24 para 25°C
- Redução de 550 horas de operação do sistema de resfriamento de 10TR (COP=3,5) por ano
- $10 \text{ TR} = 35,2 \text{ kW} \rightarrow \text{Demanda} = (35,2/3,5) = 10,1 \text{ kW}$
- $\text{Consumo} = 10,1 \text{ kW} \times 550 \text{ horas/ano} = 5.555 \text{ kWh/ano}$
- $\text{Redução de custo} = 5.555 \text{ kWh/ano} \times \text{R}\$0,06/\text{kWh} = \text{R}\$333,30/\text{ano}$



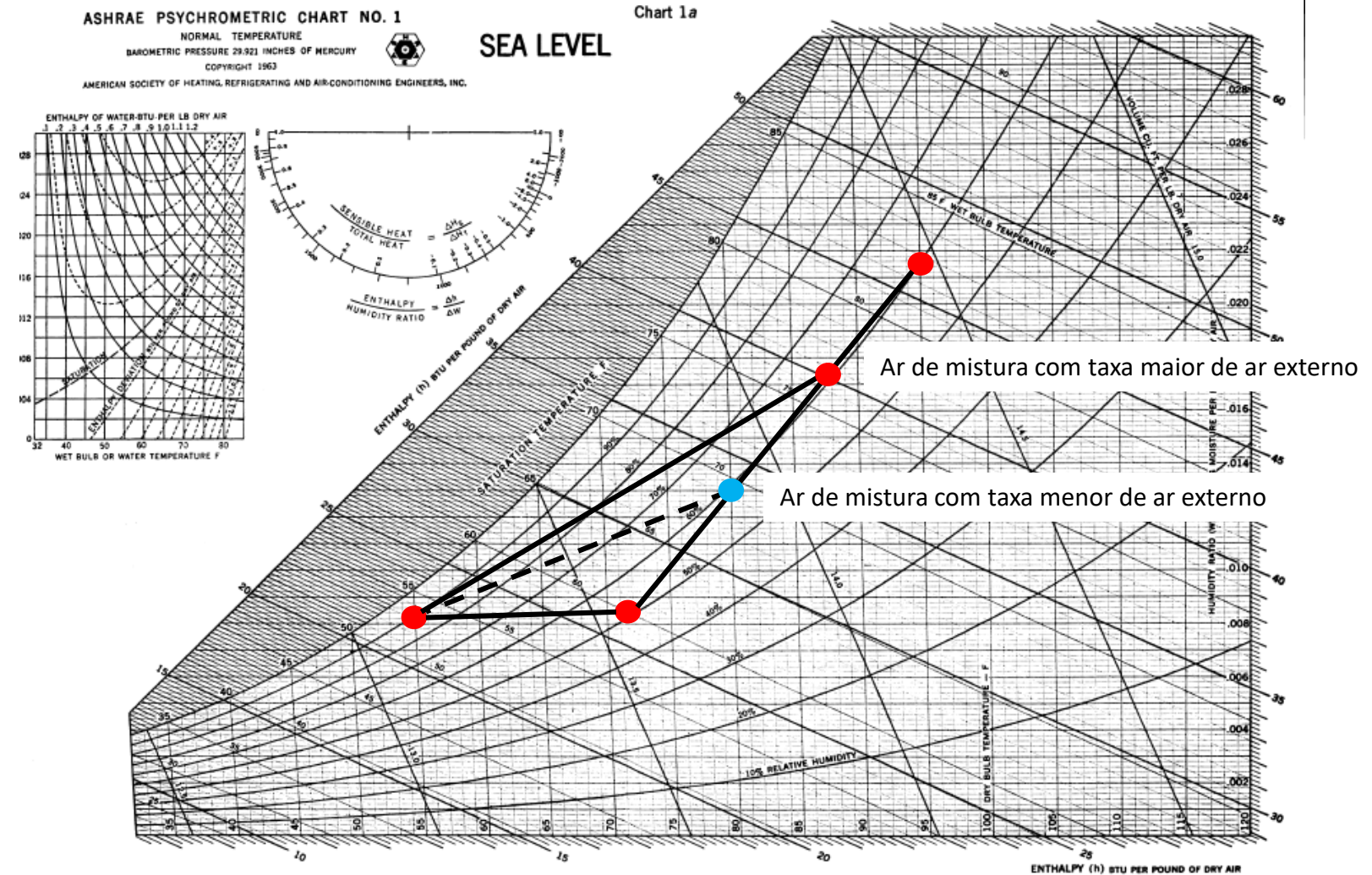
Otimização de acionamento

- Uso de algoritmos no sistema de automação para definir o melhor momento para ligar e desligar o sistema de climatização
- Avaliação de histórico para otimização associado a análise de inércia térmica
- Exemplo:
- Início de operação do sistema de climatização : 01 hora mais tarde
- Redução de 270 horas de operação do sistema de resfriamento de 10TR (COP=3,5) por ano
- 10 TR= 35,2 kW → Demanda= $(35,2/3,5) = 10,1$ kW
- Acionamento das bombas e ventiladores: 4,7 kW
- Consumo = $(10,1+4,7)$ kW x 270 horas/ano = 3.996kWh/ano
- Redução de custo = 3.996 kWh/ano x R\$0,06/kWh = R\$239,76/ano



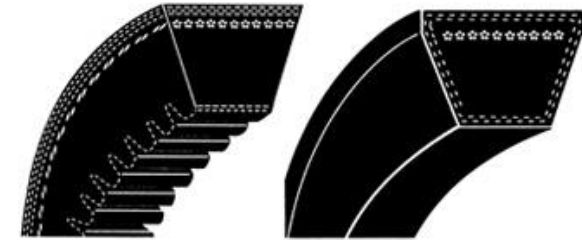
Minimização de taxas de ventilação

- Ar externo em excesso aumenta o consumo de energia



Troca de correias

- Troca de correias reduzem as perdas de energia devido a transmissão de rotação e deslizamento
- Redução de 2 a 3% no consume dos ventiladores (0,2 a 0,3% na edificação)

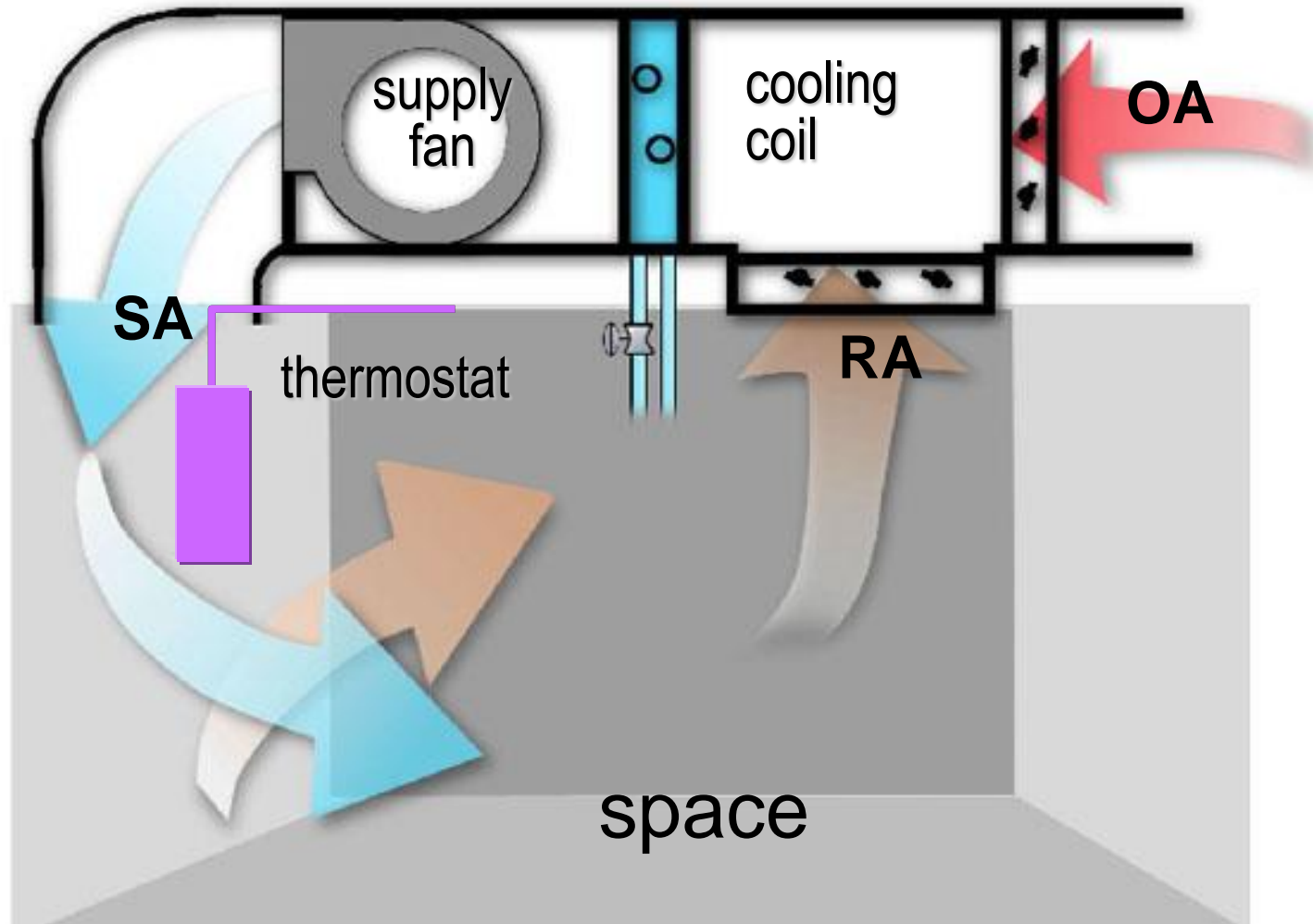


www.nrel.gov/docs/fy13osti/56012.pdf

Image Source: <http://www.altramotion.com/newsroom/2014/08/understanding-trade-offs-when-selecting-belted-drive-systems>

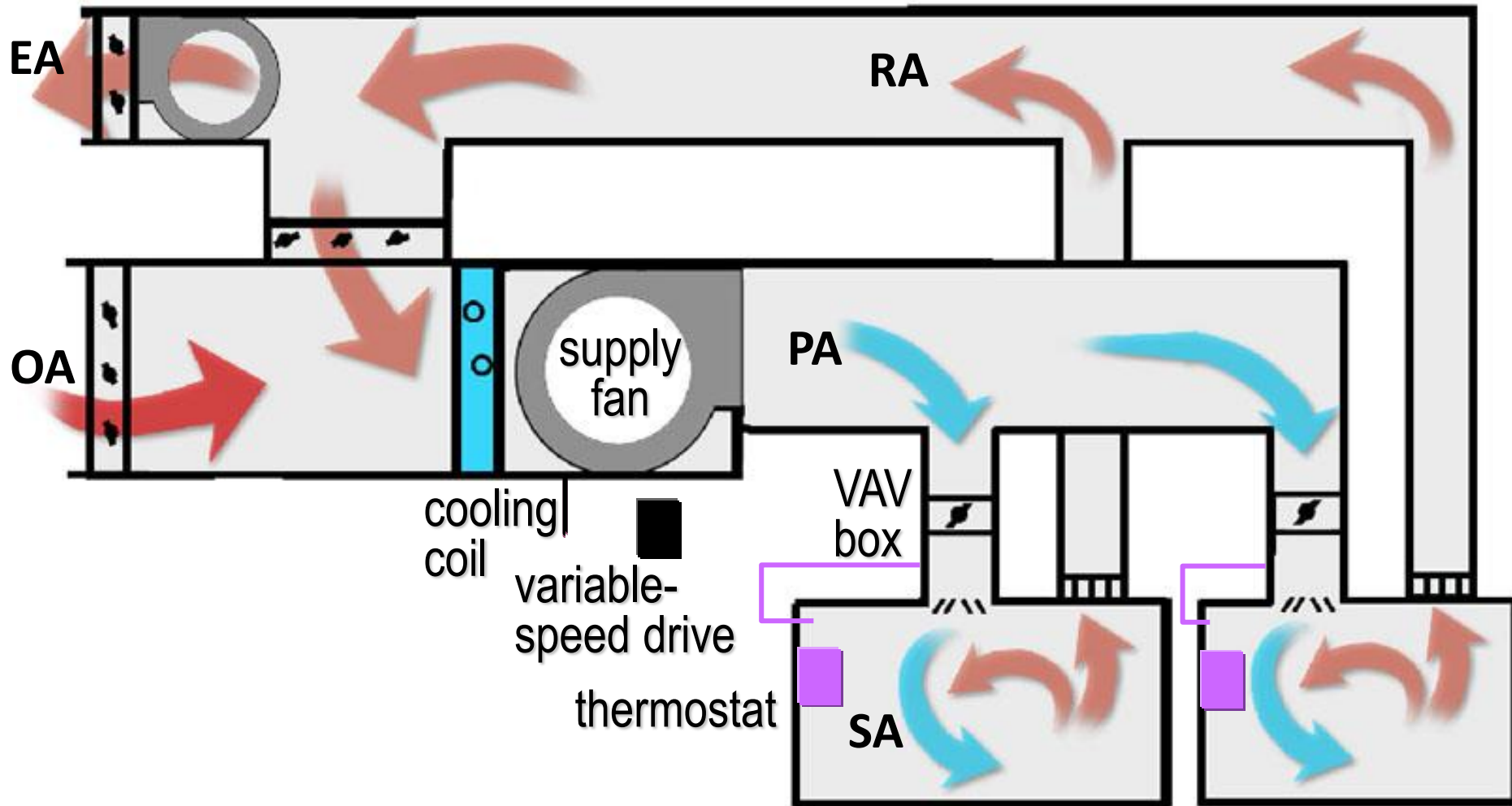
Conversão de CAV para VAV

CAV



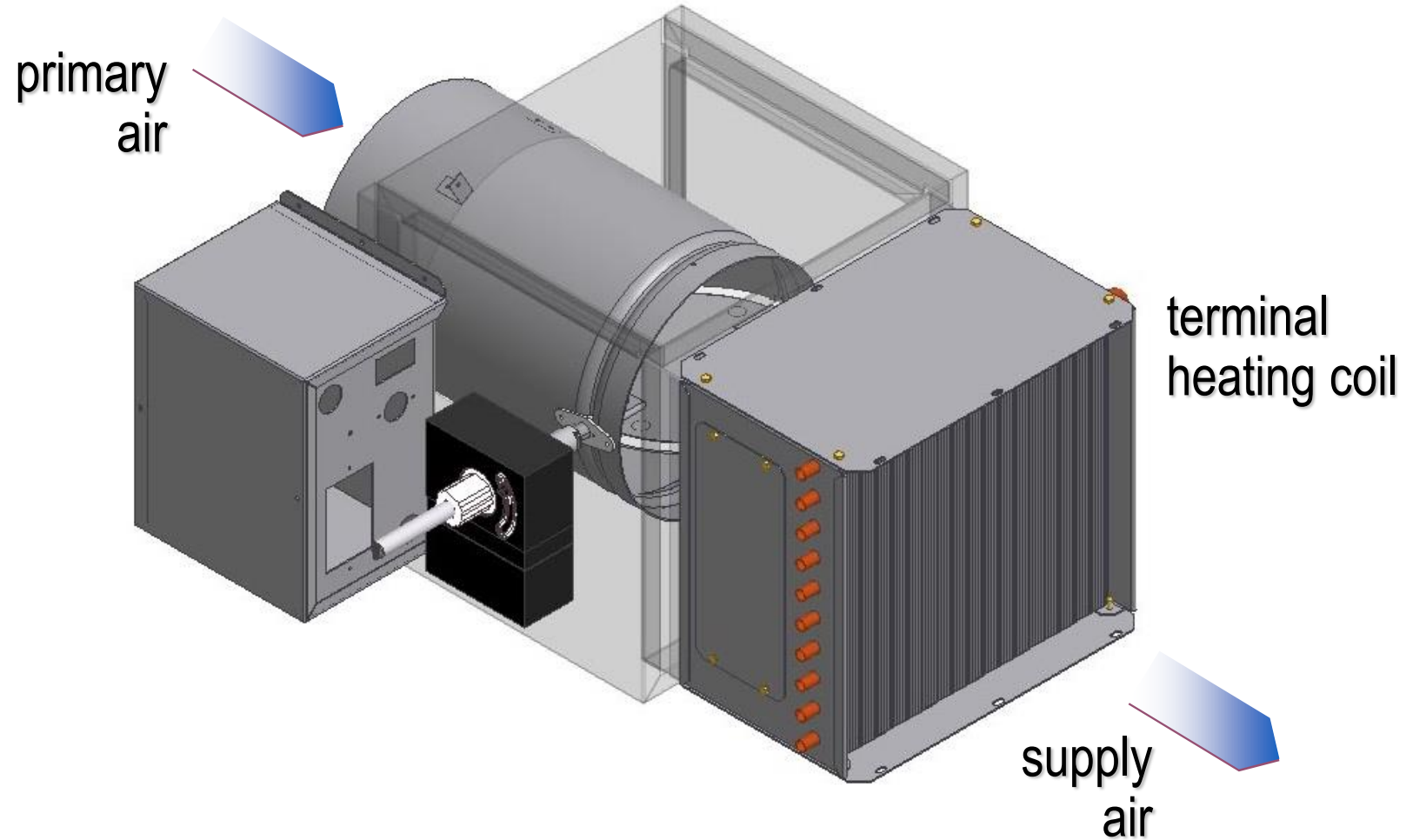
Conversão de CAV para VAV

VAV




Conversão de CAV para VAV

VAV com reaquecimento



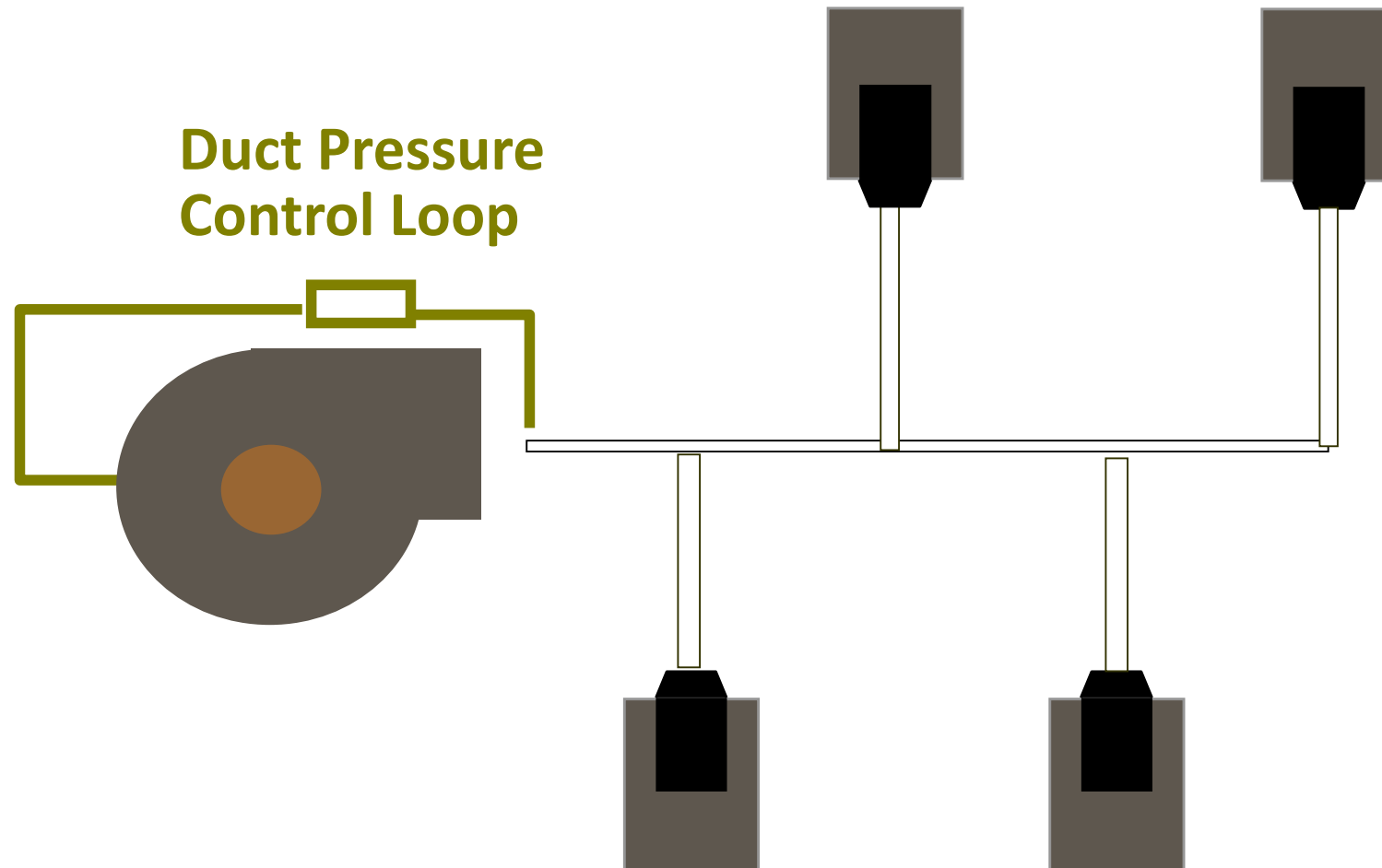
Exemplo CAV x VAV

- CAV em carga total:
Potência= $10.000 \text{ m}^3/\text{h} * 40 \text{ mmca} \approx 150\text{W}$
 - VAV em carga parcial :
Potência = $7.000 \text{ m}^3/\text{h} * 28\text{mmca} \approx 72\text{W}$
- 
- Redução: 52%

Controle da pressão estática - VAV

- Posicionamento a 2/3 do trecho entre a saída do ar no equipamento e a zona térmica mais distante
- Setpoint determinado pela equipe de balanceamento do sistema

Controle da pressão estática - VAV



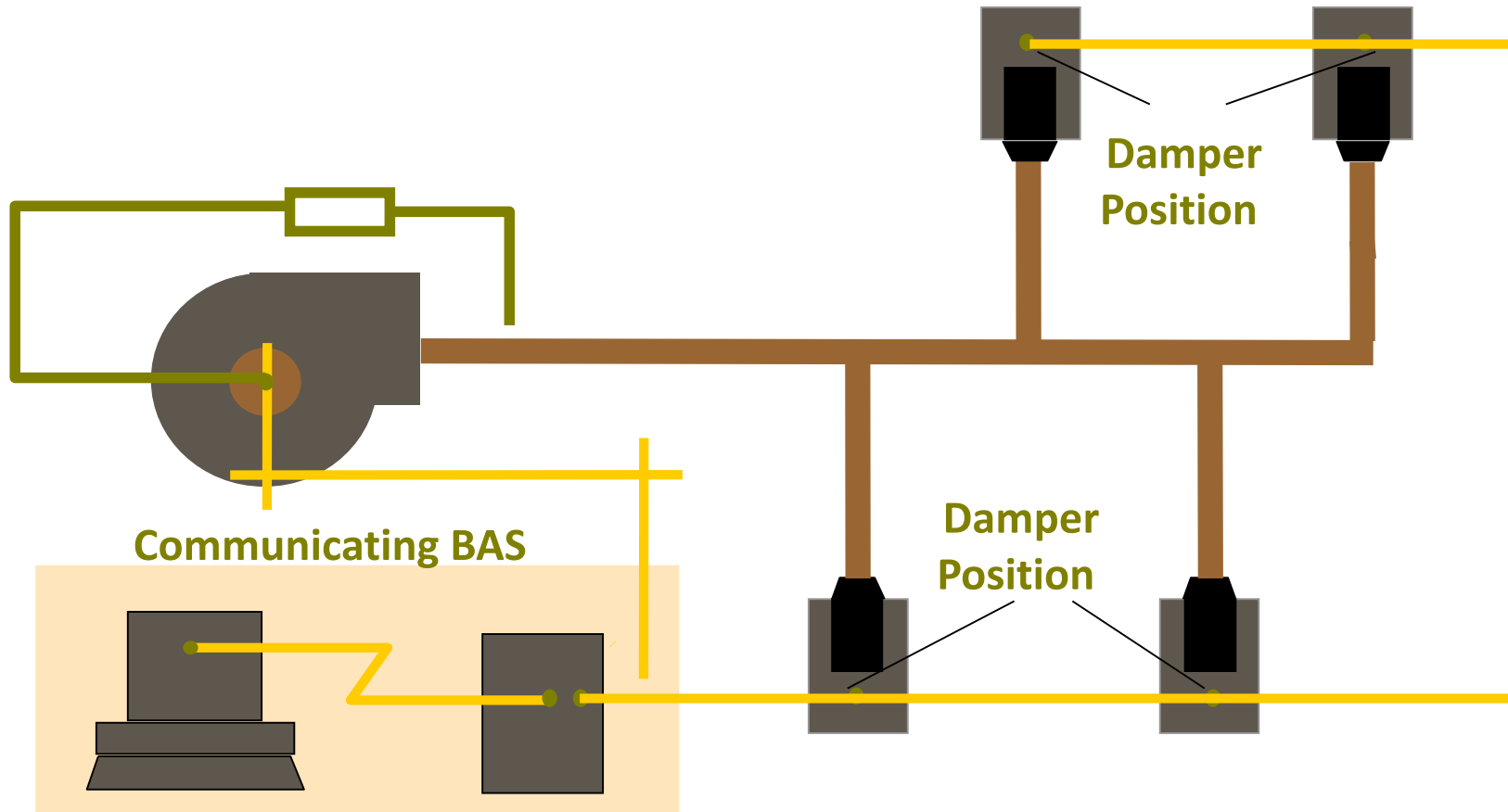
Controle da pressão estática - VAV

- Potência do ventilador: $Pot = Vazão \times Pressão \text{ Estática}$
- Sobredimensionamento da pressão estática de controle: aumento da potência do ventilador ao longo de toda operação
- Subdimensionamento da pressão estática: redução de vazão em zonas térmicas (climatização inadequada)
- Impacto
 - Ventiladores representam metade do consumo do sistema de climatização
 - Redução do nível de ruído e de desgaste

Controle da pressão estática - VAV

- Vazão requerida: 10.000 m³/h
- Pressão estática : 35 mmca
- Potência: 10.000 x 35 = 128 W
- Definição incorreta do setpoint da pressão estática: 50 mmca
- Potência: 10.000 x 50 = 183 W (aumento de 41%)

Ajuste dinâmico da pressão estática



Ajuste dinâmico da pressão estática

Exemplo

Projeto	Controle estático	Ajuste dinâmico
<ul style="list-style-type: none">• 24.000 m³/h• 69 mmca• 660 W• --	<ul style="list-style-type: none">• 18.000 m³/h• 48 mmca• 316 W• Redução de 52%	<ul style="list-style-type: none">• 18.000 m³/h• 38 mmca• 250 W• Redução de 62%

EEM: Combustion Analysis

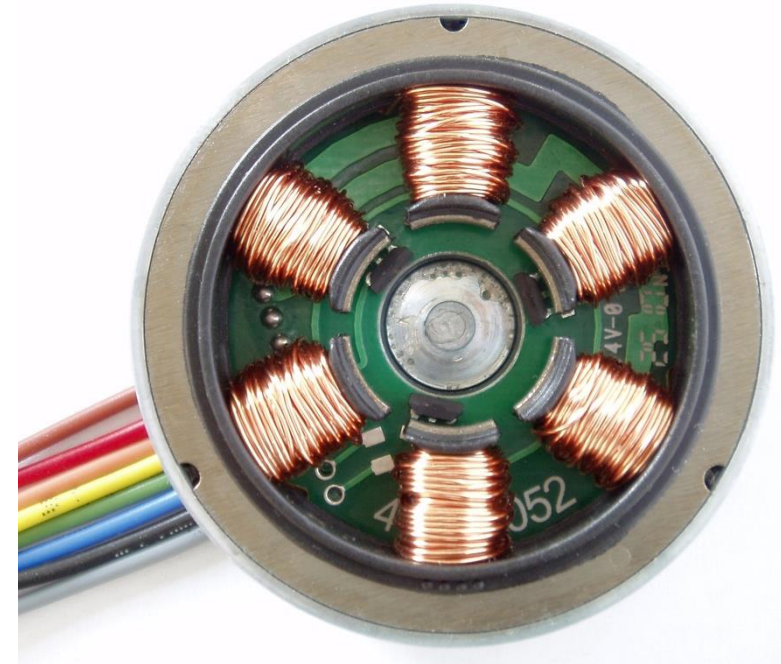
- What is the overall impact potential?
 - Because fuel-fired boilers and furnaces are typically the largest fuel-consuming system for a building or facility, this EEM can have significant impact.
- Basic Calculations:
 - $$\left(\text{Annual Energy Savings}, \frac{\text{MMBtu}}{\text{yr}} \right) = \left(\text{System Annual Fuel Consumption}, \frac{\text{MMBtu}}{\text{yr}} \right) \left(1 - \frac{\eta_{old}}{\eta_{new}} \right)$$
 - $$\text{Cost Savings} \left(\frac{\$}{\text{yr}} \right) = \left(\frac{\text{MMBtu}}{\text{yr}} \right) \left(\frac{\$}{\text{MMBtu}} \right)$$
- Note: care must be taken to ensure enough excess oxygen for complete combustion; otherwise, dangerous carbon monoxide will be produced.

Centrais de Água Gelada

- Troca por motores mais eficientes
- Ajuste de rotores das bombas de água de condensação e de água gelada que estão superdimensionados
- Instalação de variadores de frequência em bombas secundárias com troca das válvulas de 03 vias por de 2 vias
- Uso de condensadores evaporativos, pré resfriamento evaporativo ou uso de condensação a água no lugar de condensação a ar
- Uso de variadores de frequência em torres de resfriamento com controle das bombas
- Uso de variadores de frequência nos ventiladores da torre
- Otimização do controle da temperatura da água de condensação para atingir a melhor combinação de eficiência do resfriador e da torre
- Uso de economizadores no circuito de água de condensação

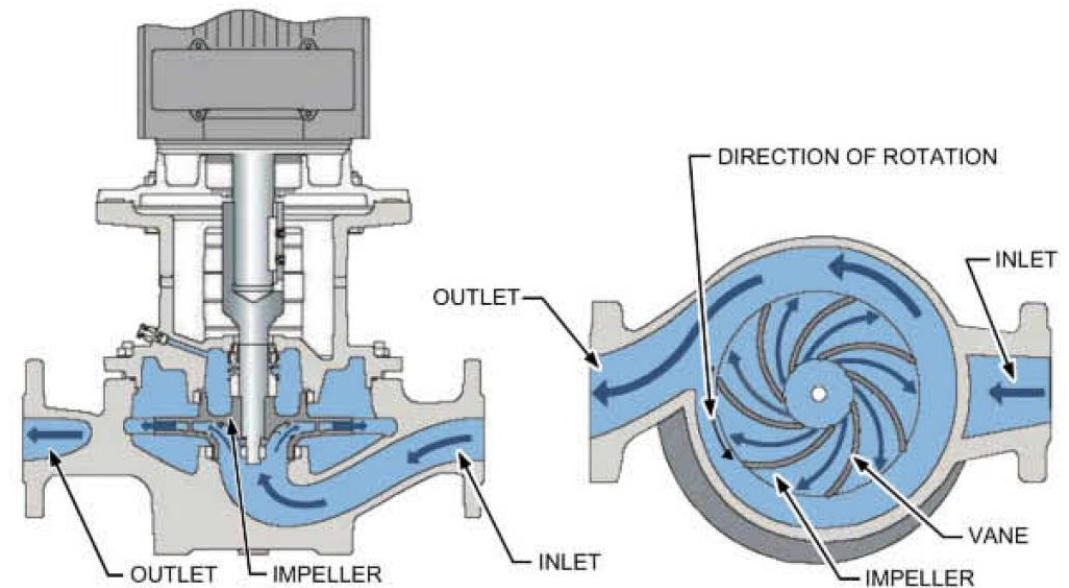
Uso de motores mais eficientes

- Motores de indução consomem 3 a 10% menos energia que motores de bobina
- Motores pequenos (< 1 hp) usam motores capacitivos
 - Ventiladores e bombas de pequeno porte
 - Eficiência entre 35% a 60%
- Motores de comutação electrónica ou sem escova
 - Eficiência 75% a 90%
 - Uso de variador de frequência



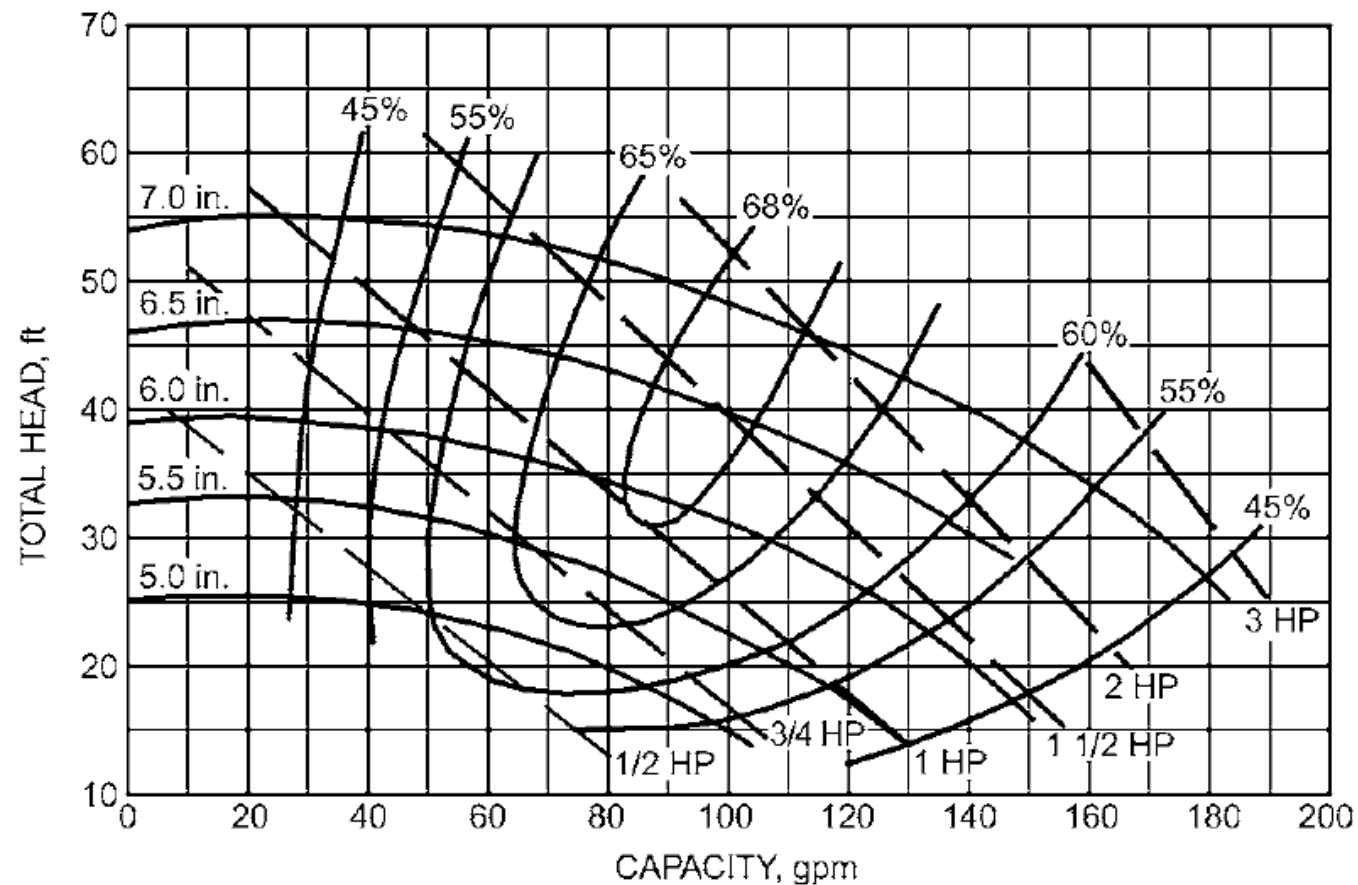
Ajuste de rotores superdimensionados

- Usualmente bombas estão com ajustes que deixam a sua operação superdimensionada
- Ajustes no comissionamento podem ser feitos por meio de balanceamento
- Para bombas de maior porte, diâmetro do rotor pode ser ajustado para aumento da eficiência



Ajuste de rotores superdimensionados

Curvas de operação de bombas



Ajuste de rotores superdimensionados

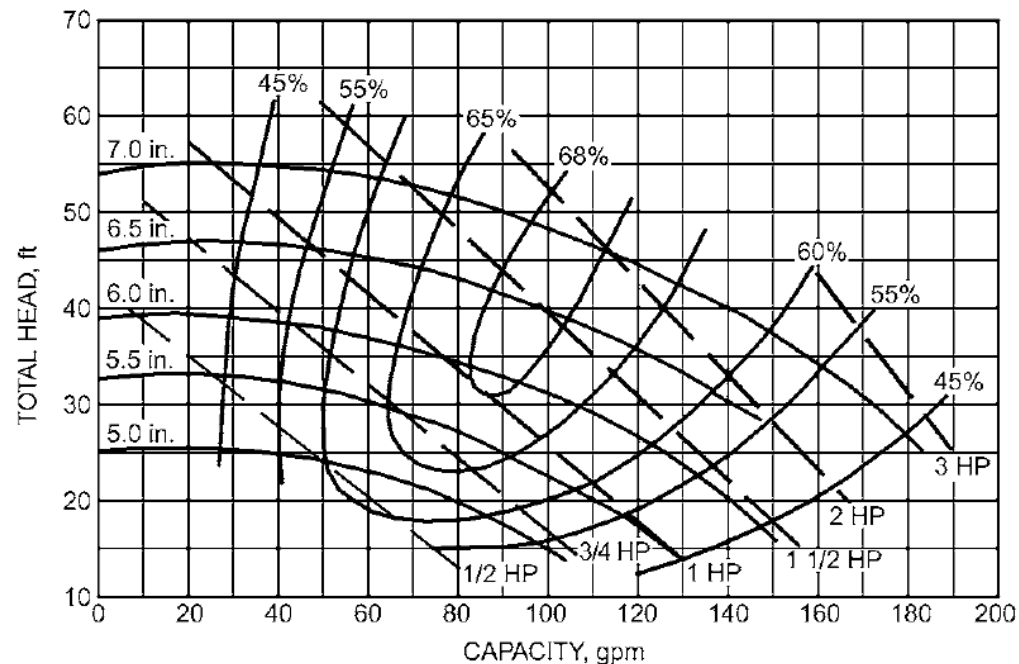
Leis de Bombas

Function	Speed Change	Impeller Diameter Change
Flow	$Q_2 = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$	$Q_2 = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)$
Head	$h_2 = h_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2$	$h_2 = h_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2$
Horsepower	$\text{bhp}_2 = \text{bhp}_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$	$\text{bhp}_2 = \text{bhp}_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3$

Ajuste de rotores superdimensionados

Exemplo

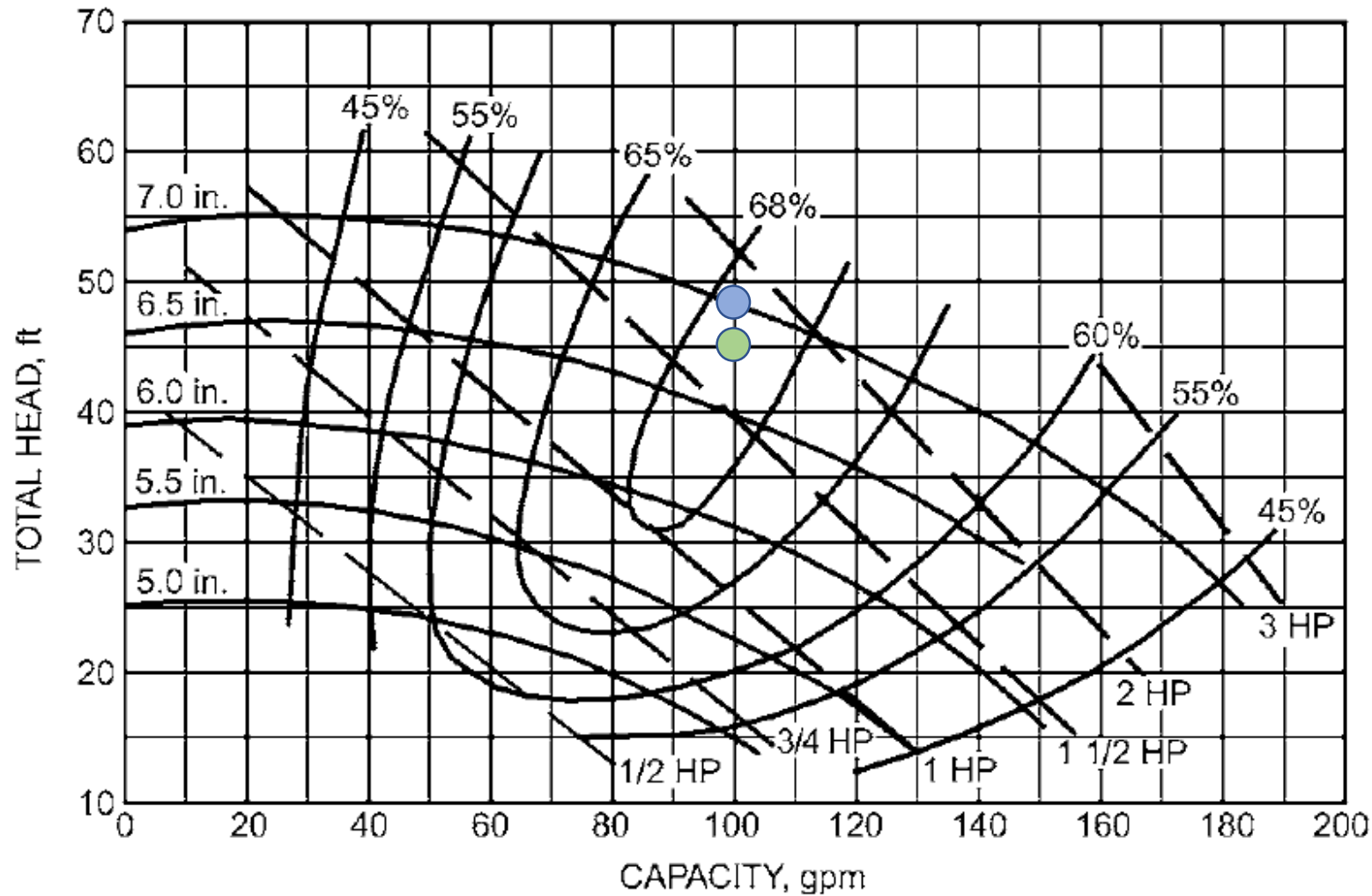
Sistema de bombeamento foi projetado para uma vazão de 23 m³/h (100gpm) e uma perda de pressão de 14 m. Com a curva de bomba fornecida, um rotor de 7 pol de diâmetro foi escolhido. Qual seria a economia se o rotor fosse de 6,8”?



Curvas de operação de bombas

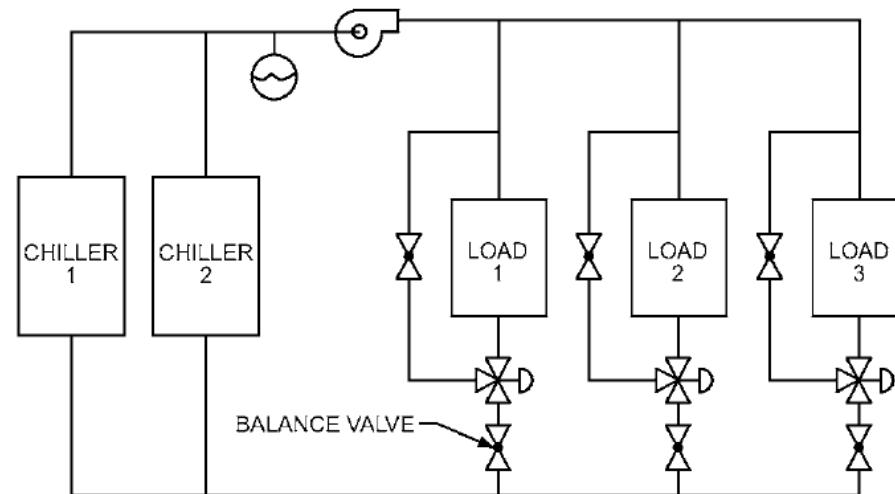
Ponto de operação original de projeto
Potência=1343 W

Novo ponto de operação: 1268 W
(redução de 5,6%)



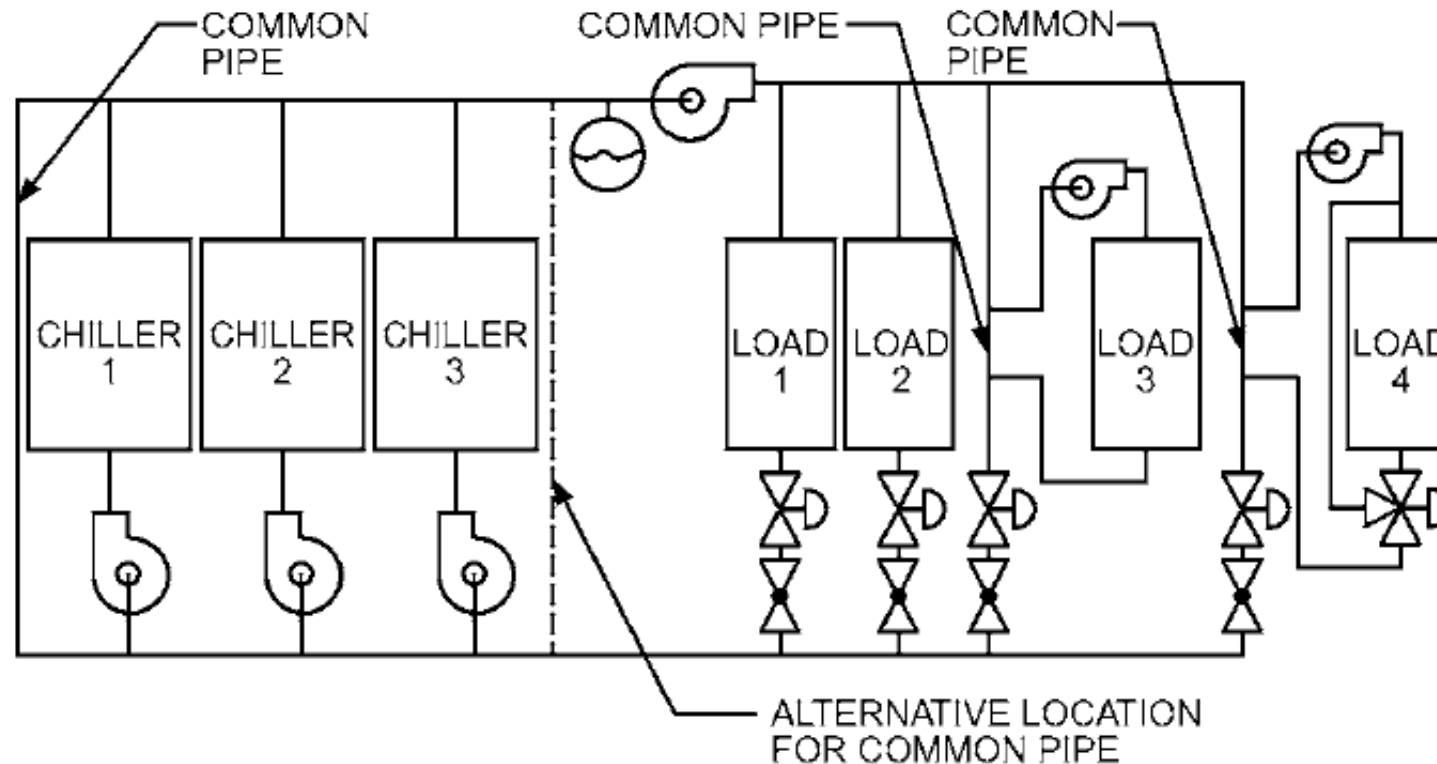
Uso de variadores de frequencia e troca de válvulas de 03 vias

- Muitos sistemas usam bombas de velocidade constante com válvulas de 03 vias para distribuição de água gelada
- Em carga parcial, válvulas redirecionam a vazão para a bomba de água gelada de vazão constante

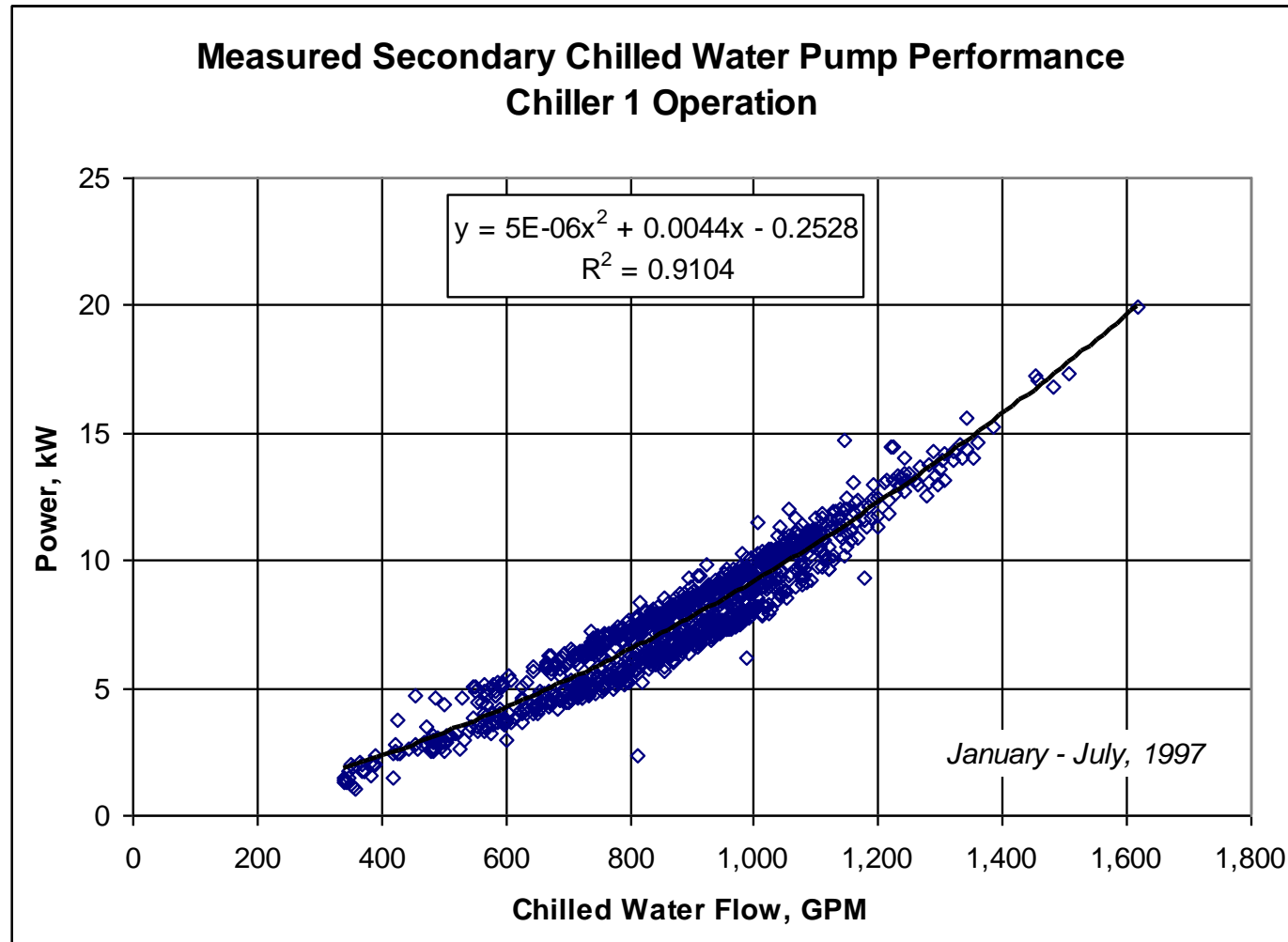


Uso de variadores de frequencia e válvulas de 02 vias

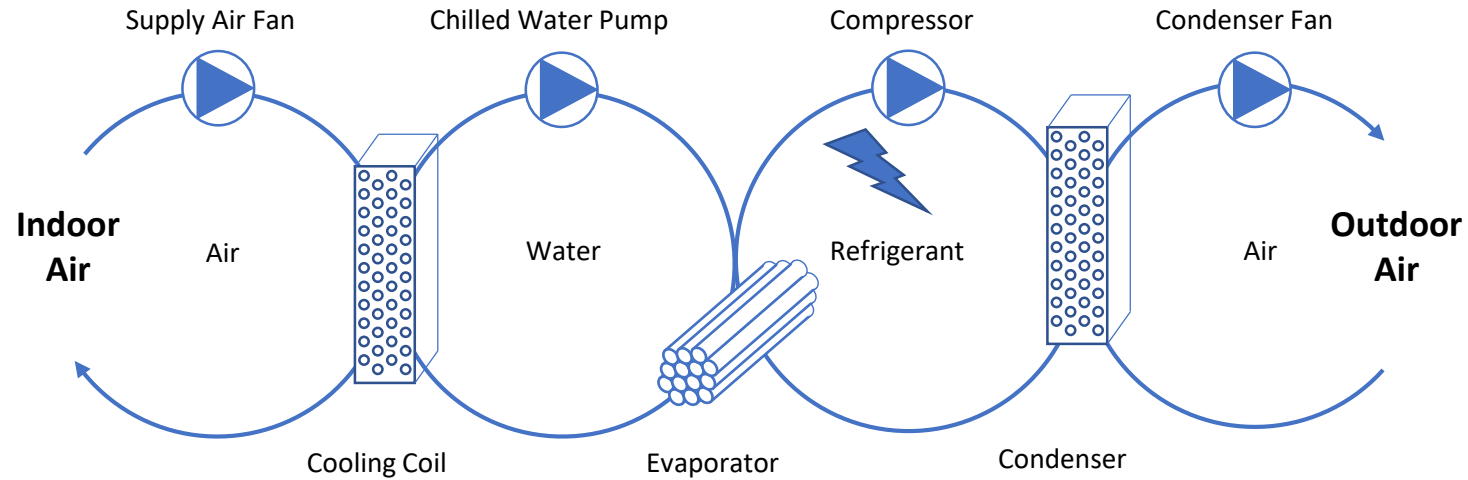
- Em carga parcial, escoamento é reduzido nas serpentinas e nas bombas



Exemplo de relação Potência de Bomba e Vazão

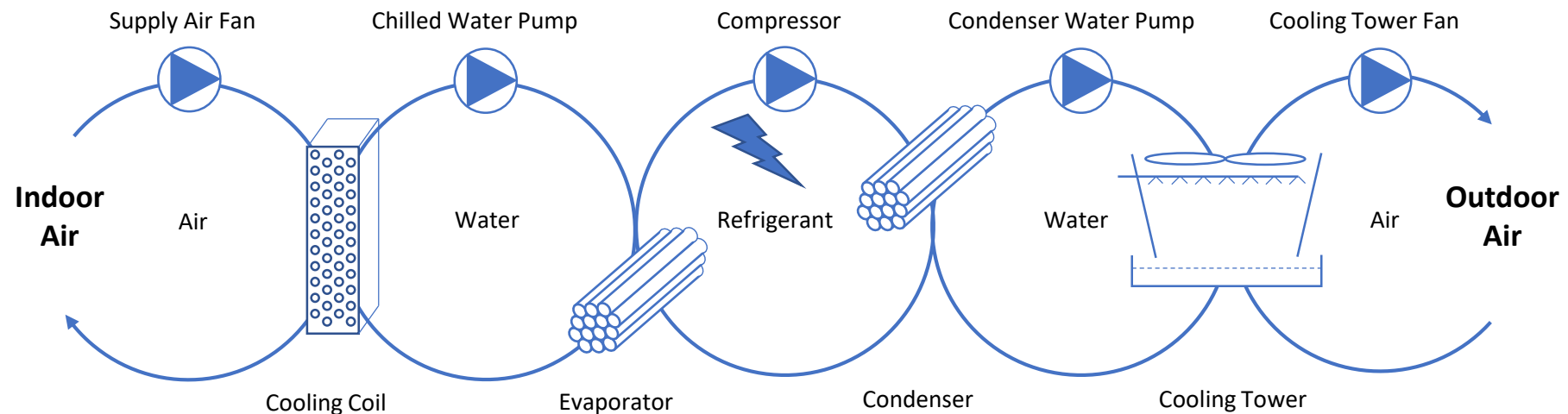


Uso de Evaporação para Rejeição de Calor



Resfriado a ar

Resfriado a água (evaporação)

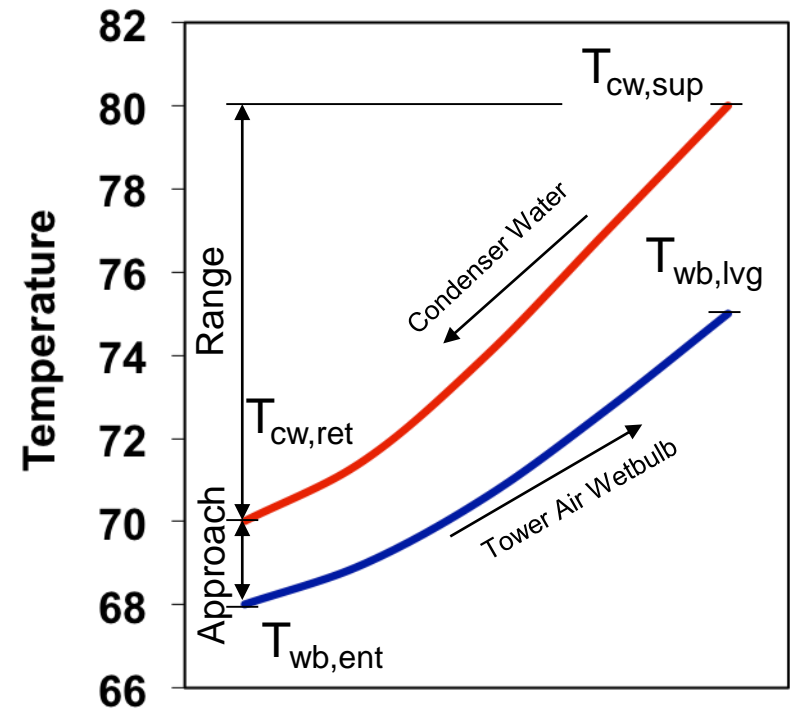


Rejeição de calor por evaporação

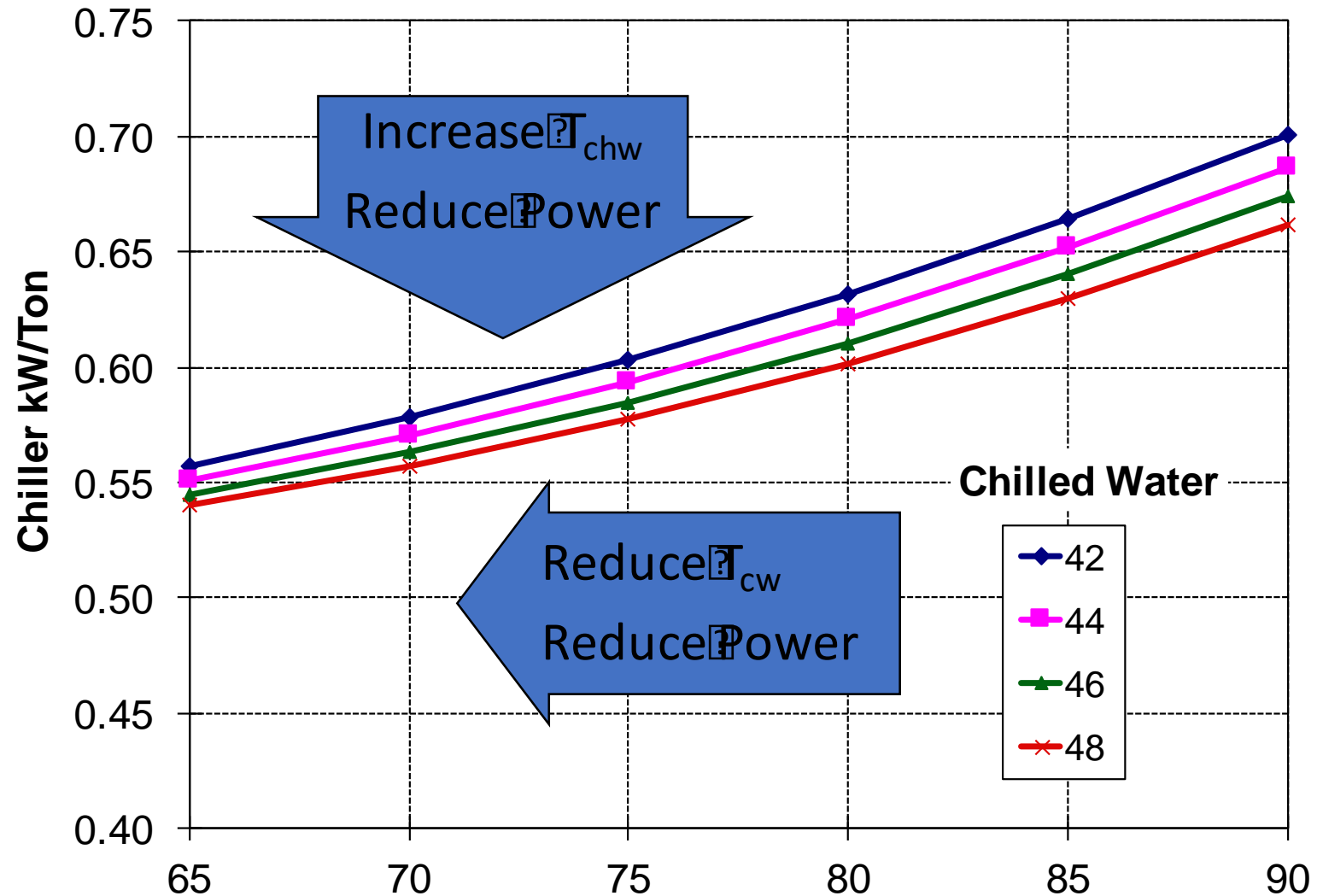
- Torre de resfriamento
 - Mais comum em edifícios grandes
- Condensador evaporativo
 - Água borrifada diretamente sobre a serpentine do condensador
- Pre-resfriamento evaporativo do ar
 - Uso de resfriadores evaporativos para pré-resfriar o ar que entra no condensador a ar

Torre de resfriamento

- Processo de evaporação promove rejeição de calor em temperaturas abaixo da temperatura de bulbo seco externa
- Água de retorno do condensador se aproxima da temperatura de bulbo úmido externa
- Temperaturas do condensador mais baixas reduzem o consume do resfriador



Desempenho do Resfriador



Exemplo:

- Condições de projeto : Temperatura de bulbo seco 33°C, Temperatura de bulbo úmido 23°C
- Redução de temperatura de bulbo úmido: 9,5°C
- Dados do resfriador mostram uma melhoria de ~0,9% na eficiência do resfriador para 0,6°C de redução na temperatura de condensação

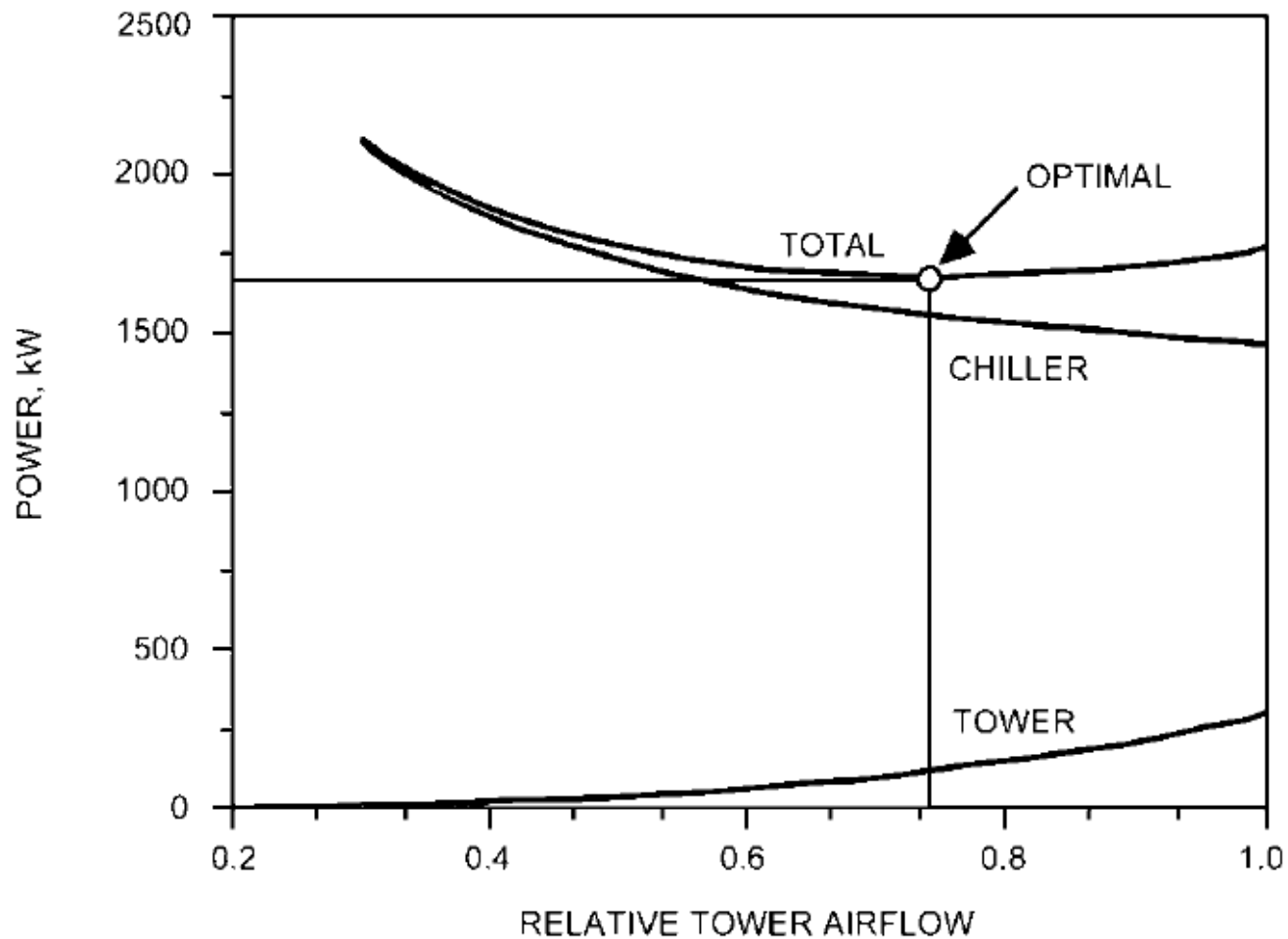
Outras considerações

- Manutenção adicional
 - Tratamento da água
 - Incrustação
 - Proteção contra congelamento
- Consumo de água por evaporação
 - Mais econômico em climas mais secos
- Custos adicionais
 - Custos iniciais com torre e bombas
 - Custos de energia para bombeamento

Bomba de vazão de água variável na água de condensação para a torre de resfriamento

- Uso de bombas de vazão constante nas torres de resfriamento
- Reduções de consume do ventilador e da bomba da torre que operam em carga parcial
- Aumento da eficiência do resfriador com temperaturas de condensação menores
- Aumento da vazão de ar na torre devido a menor temperature na água de condensação
- Aumento da potência no motor do ventilador da torre

Equilíbrio na regulação da vazão de ar na torre de resfriamento

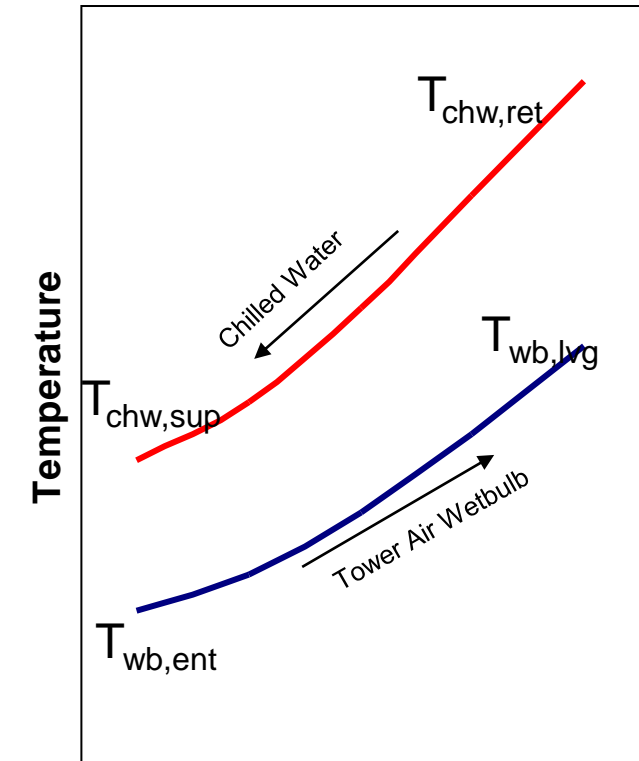
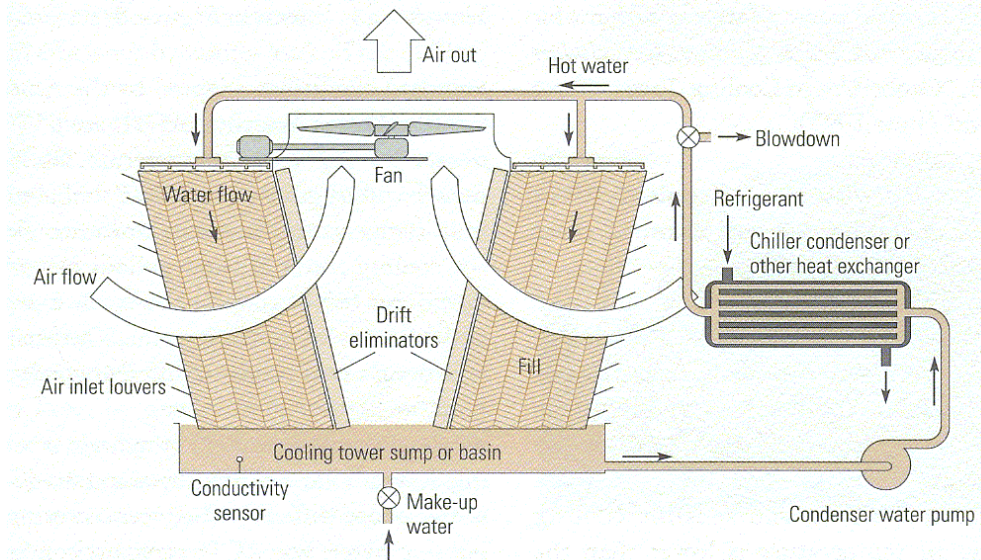


Controle da vazão de ar na torre

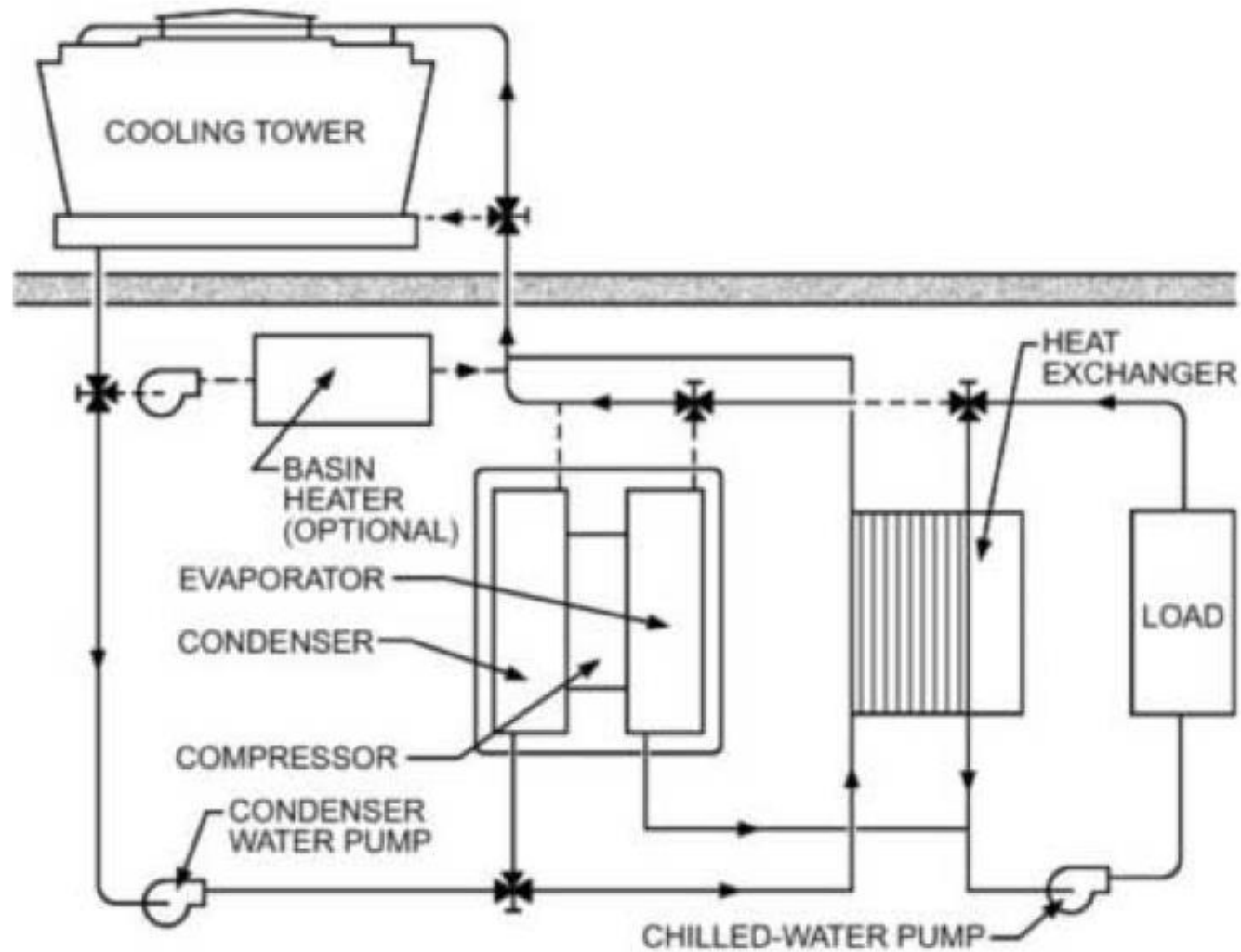
- Controle da temperatura ótima da água de condensação
- Otimização exige conhecimento detalhado do desempenho do resfriador e da torre de resfriamento
- Controle quase ótimo pode ser atingido pela análise da carga do resfriador

Economizador de Água de Resfriamento

- Temperatura externa de bulbo úmido pode promover água gelada diretamente na torre de resfriamento
- Resfriamento evaporativo indireto



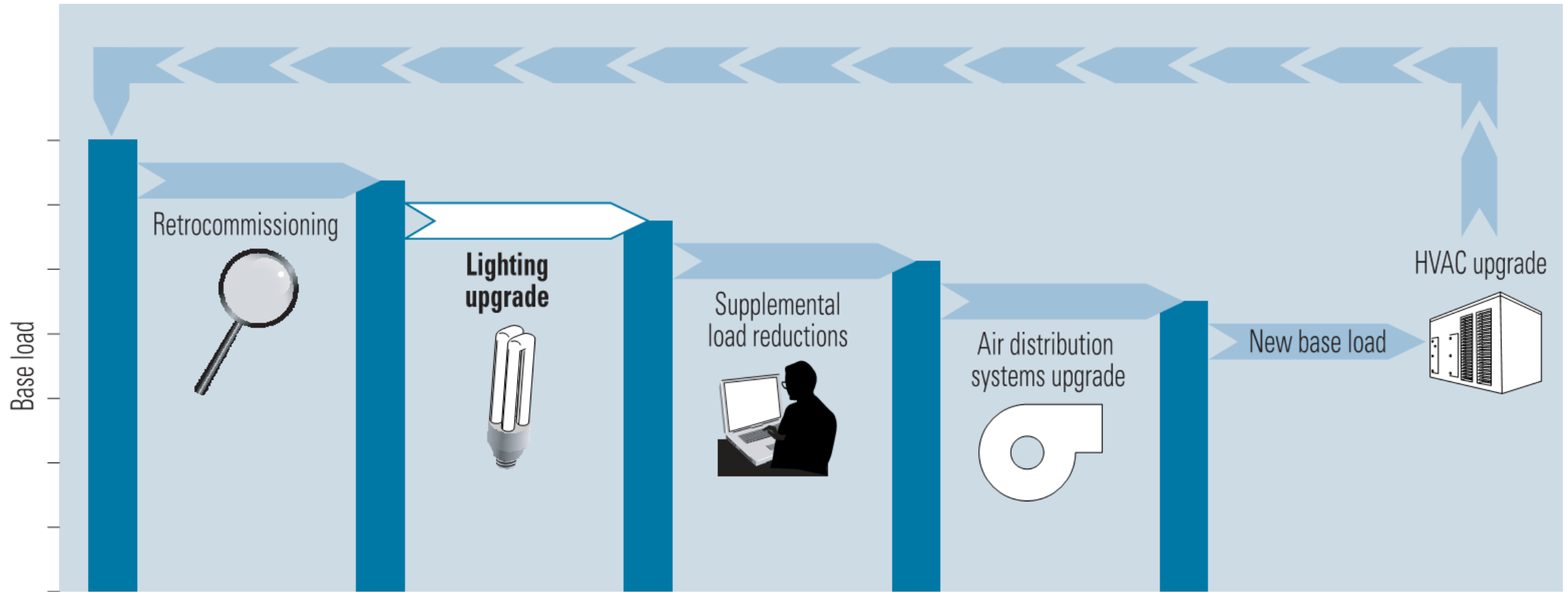
Economizador de água de condensação



Vantagens do Economizador de água de condensação

- Promove resfriamento sem alto consumo de energia (water free cooling)
- Usualmente separa a torre da água de condensação do edifício por um trocador de placa
- Pode ser muito utilizado em sistemas com operação constante ao longo do ano (datacenters)

Retrofits de iluminação

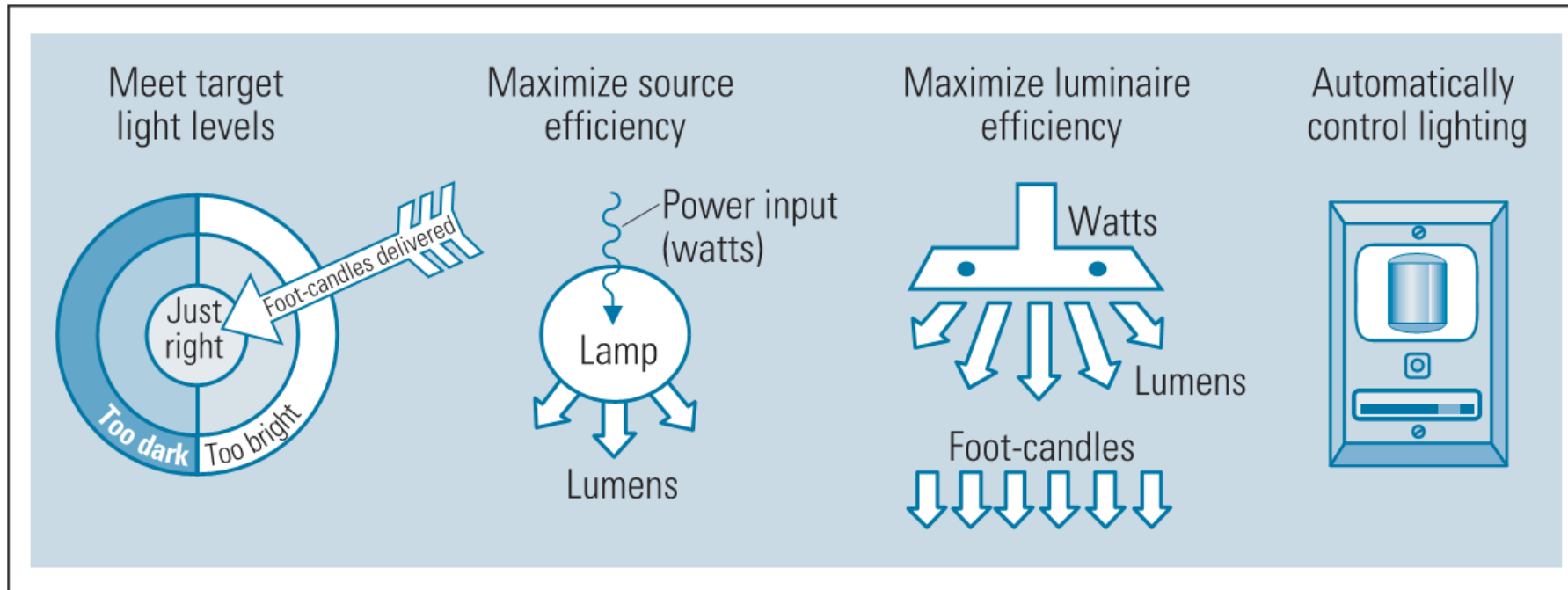


Stages of an integrated upgrade approach

Courtesy: E SOURCE

Ações básicas

Design



Operations and maintenance

Optimize for changing tasks and space



Source: EPA

Medidas de redução de consumo de energia

Iluminação

- Auditoria
 - Função dos espaços, localização, pé direito
 - Nível médio de iluminação X recomendações
 - Número, tipo, potência
 - Tipo de controle e horas de operação
- Ações
 - Redução da densidade de iluminação;
 - Redução do número de horas de operação
- Avaliação de custos de retrofit e de economia de energia
- Otimização da operação e manutenção
- Ajuste das vazões do sistema de climatização devido a redução de carga

Exemplo

- Redução do número de horas de operação:
 - ✓ $2 \text{ kW} \times 10 \text{ horas/dia} \times 365 \text{ dias/ano} \times \text{R}\$0,07/\text{kWh} = \text{R}\$511/\text{ano}$
 - ✓ $2 \text{ kW} \times 08 \text{ horas/dia} \times 365 \text{ dias/ano} \times \text{R}\$0,07/\text{kWh} = \text{R}\$409/\text{ano}$
- Mudança de potência de iluminação :
 - ✓ $(28-18) \text{ W} \times 4 \times 100 \text{ luminárias} \times 10 \text{ horas/dia} \times 365 \text{ dias/ano} \times \text{R}\$0,07/\text{kWh} / (1000) = \text{R}\$1,022/\text{ano}$



Exemplos de Retrofit

Retrofit option	Base case: Energy-saving T12 lamps with magnetic ballasts	Case 1: T8 lamps with electronic ballasts	Case 2: High-performance T8s with electronic ballasts	Case 3: Case 2 + specular reflector + lens + 50% delamping	Case 4: Case 3 + occupancy sensing and daylight dimming
Average maintained foot-candles	25	30	28	25	26
Power per fixture (W)	156	116	90	45	49
Annual energy use (kWh)	7,507	5,568	4,320	2,160	1,275
Energy savings (%)	NA	26	42	71	83
Annual operating cost (\$)	826	612	475	238	175
Upgrade cost (\$)	NA	1,165	1,320	1,560	2,150
Simple payback (years)	NA	5.5	3.8	2.7	3.3

Notes: kWh = kilowatt-hour; NA = not applicable; W = watt.

Courtesy: *E SOURCE Lighting Technology Atlas* (2005)

Assumptions:

1. Fixture cleaning occurs at end of the rated life, base case. Assuming burn hours of 4,000 hours per year and a 20,000-hour rated life, that works out to five years between cleanings and a total dirt loss of 30 percent.
2. The specular reflector retrofit kit is designed to maintain the same spacing ratio.
3. The existing diffuser has yellowed and gathered sufficient adhesive dirt (which isn't easily removed during routine cleaning) to reduce transmittance by another 10 percent.
4. Energy costs: demand = \$10 per kilowatt per month (all 12 months of the year); consumption = 7¢ per kWh (all times of day).