

PROJETO 3E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES
WWW.MMA.GOV.BR/CLIMA/ENERGIA/PROJETOS

BENCHMARKING DE PRÉDIOS PÚBLICOS

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Edward Borgstein
Brasília, 19/04/2017



Conselho Brasileiro de
Construção Sustentável



Critérios usados para seleção dos 20 prédios:

- Edifícios representativos do Brasil
- Pelo menos 1 de cada região do País
- Selecionados do menor ao maior consumo anual para representar toda a faixa de consumo

INTRODUÇÃO: PROJETO 3E

PROJETO 3E – Benchmarking de Prédios Públicos

Características Gerais

- Prédios públicos de uso administrativo
- Aprox. 300 prédios enviaram informações
- Através de critérios técnicos foram selecionados **20 edifícios**
 - 678 a 28.332 m² de área útil condicionada ocupada;
 - numerados de 1 a 20 em ordem crescente de consumo anual.
- **Objetivo primário:** criação de um benchmark energético para edifícios públicos administrativos
- **Objetivo secundário:** auxiliar os 20 edifícios selecionados a encontrar oportunidades de eficiência energética através de diagnósticos energéticos e sistemas de medição de energia

ENTREGA FINAL

Produtos do projeto

1. Avaliação estatística
2. Seleção dos edifícios para auditorias
3. Capacitação no uso dos medidores
4. **Auditorias energéticas**
5. **Desenvolvimento do benchmark**
6. Oficinas para utilização dos benchmarks
7. Ferramenta web operacional (versão beta)
8. Ferramenta web final com manual
9. Relatório após 12 meses de medição



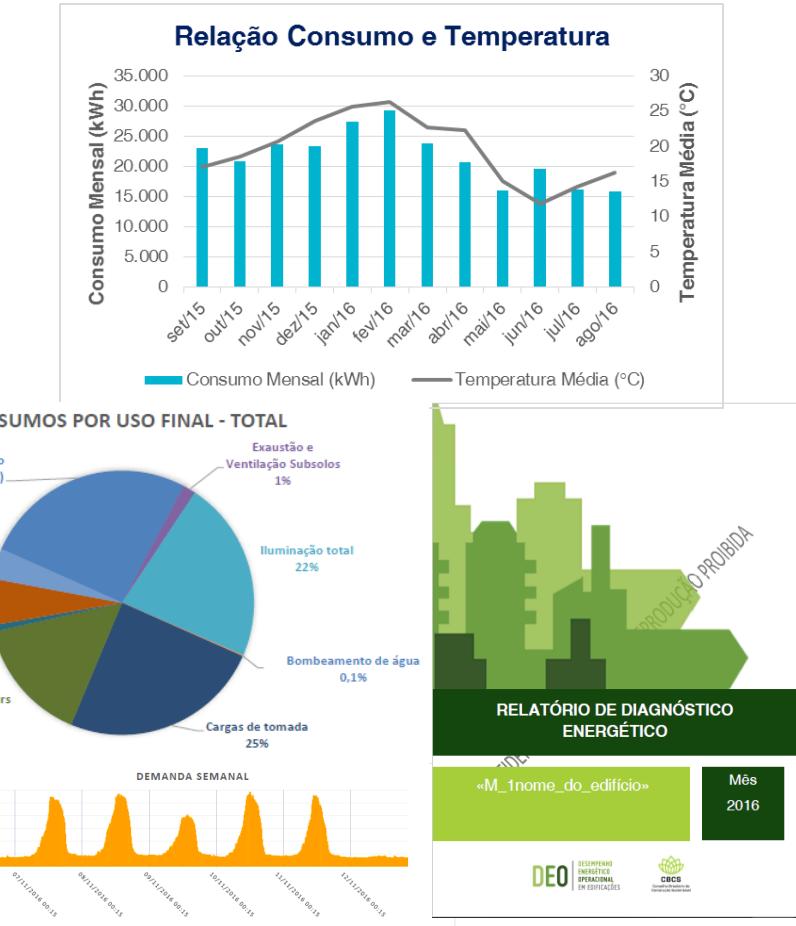
DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS

Procedimentos e resultados

DIAGNÓSTICOS

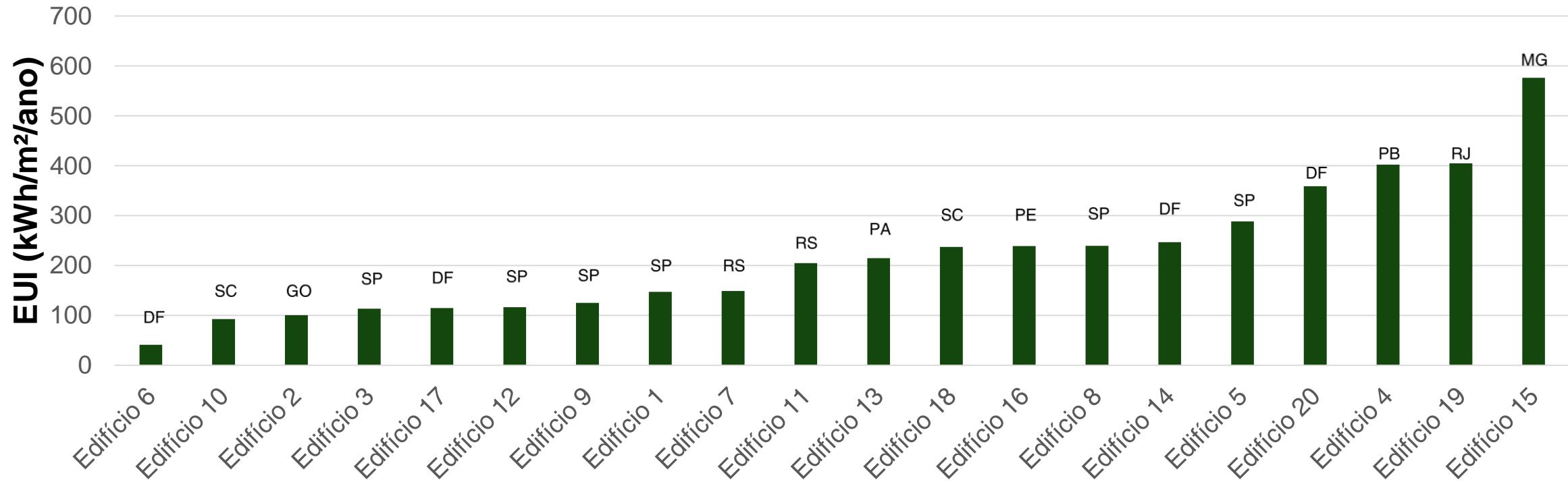
Cada edifício selecionado recebeu:

1. Um sistema de medição de energia elétrica com dois pontos de medição, que será doado ao edifício após 1 ano
2. Um Diagnóstico Energético completo, incluindo visita técnica visando buscar oportunidades de eficiência energética
3. Um Relatório de Diagnóstico Energético, contendo:
 1. Análise de histórico de consumo e relação com a temperatura local
 2. Separação do consumo por uso final
 3. Análise das curvas de carga fornecidas pelos sistemas de medição
 4. Resumo e detalhamento de Medidas de Eficiência Energética, com descrição detalhada, recomendações técnicas para ação imediata, e estimativas de custo, economia anual e payback.



CONSUMO ESPECÍFICO

EUI* por Edifício



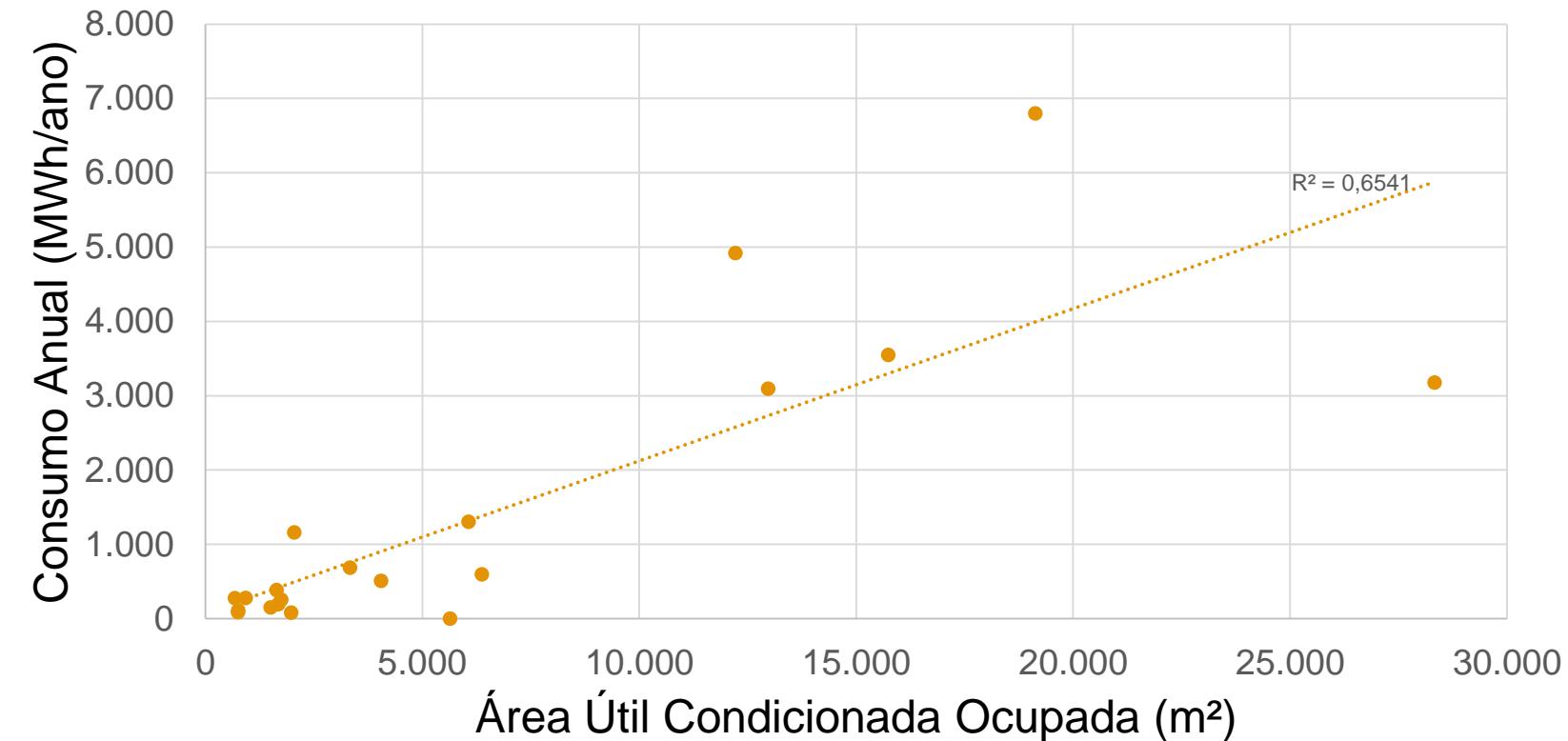
*EUI = *Energy Use Intensity* (Intensidade de Uso Energético), medido em kWh/(m².ano).

TAMANHO E CONSUMO

Consumo Anual x Área

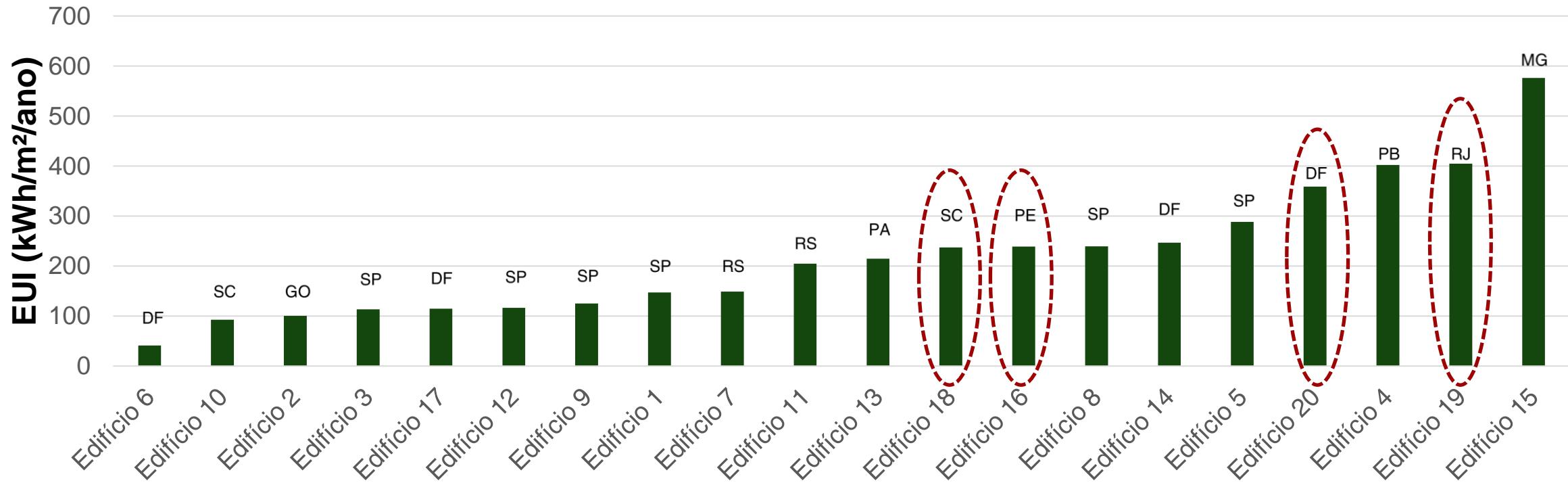
- Consumo de energia aumenta com a área, como esperado
- No entanto, o crescimento não é linear, evidenciando que há outros fatores que influenciam significativamente o consumo.

Consumo x Área



EXEMPLOS

EUI* por Edifício



*EUI = *Energy Use Intensity* (Intensidade de Uso Energético), medido em kWh/(m².ano).

EDIFÍCIO 18 – Florianópolis, SC

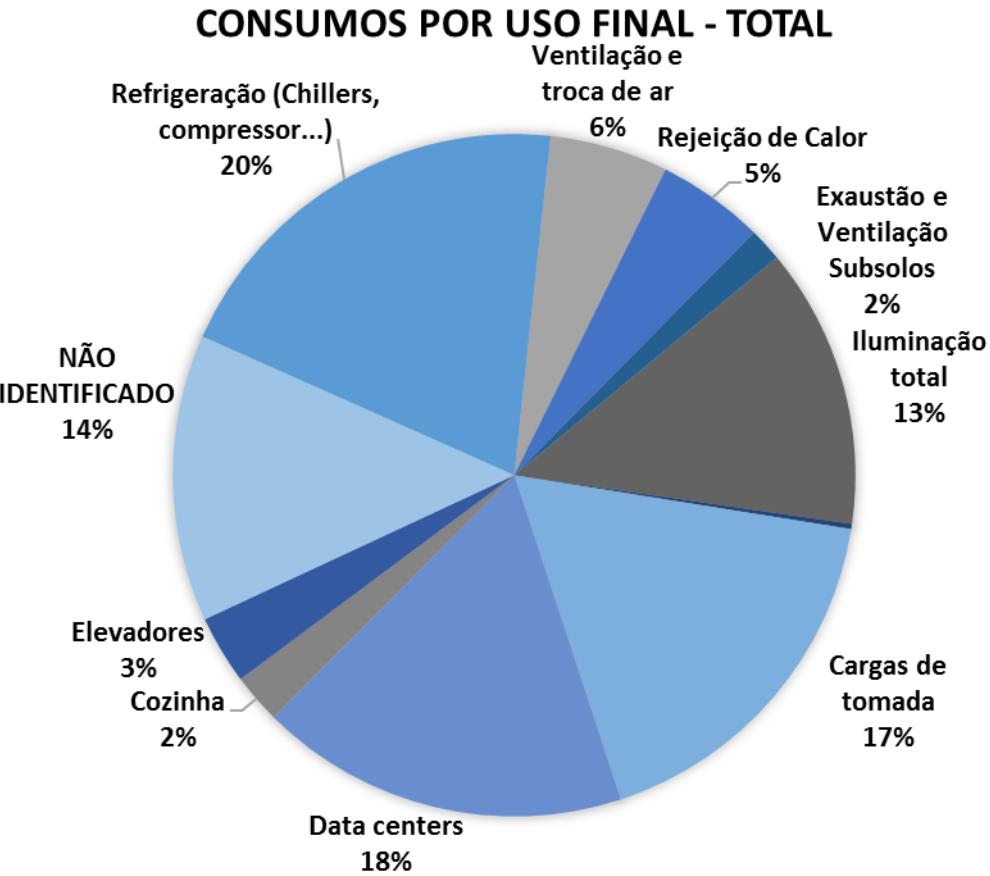
- Ranking de Consumo:
9º lugar
- EUI: 237 kWh/m²/ano



EDIFÍCIO 18 – Florianópolis, SC

FICHA TÉCNICA

Ano de Construção	Aprox. 1970
Pavimentos	3
Subsolos (garagem)	2
Área Útil (m ²)	20.430
Administração	Federal
Uso principal	Escritórios
Usos secundários	-
População fixa	1.476
Taxa de Ocupação (%)	100%
Tipo de Ar Condicionado	CAG
Características importantes	O edifício passou por várias reformas. Possui central FV.
Local dos Medidores	Entrada Geral e CAG
% de economia de zero ou baixo custo	12 a 18%



EDIFÍCIO 18 – Florianópolis, SC

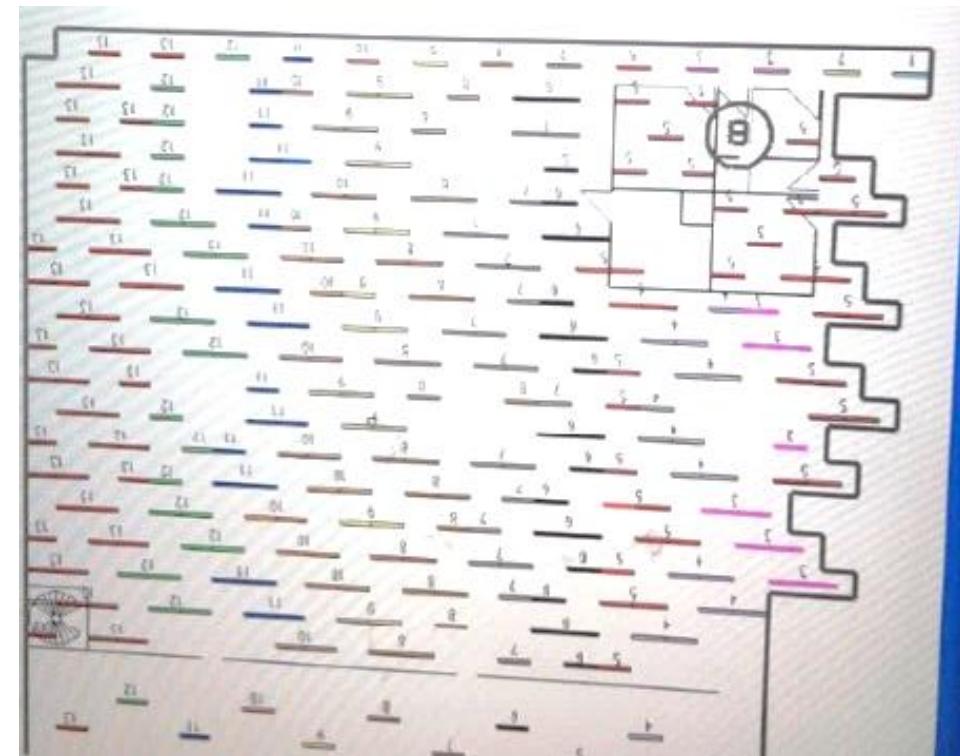
- O edifício possui vários componentes que deveriam facilitar uma operação eficiente:
 - VFDs nas bombas da CAG e nas torres de resfriamento
 - Válvulas de 2-vias operando
 - Sistema central de controle de iluminação

Sistemas Eficientes

Variador de frequência



BMS de iluminação



EDIFÍCIO 18 – Florianópolis, SC

- Os VFDs estavam programados erradamente, ou não programados, e a maioria das lâmpadas estavam programadas em modo manual ao invés de utilizar o sistema central.
- Isso mostra falta de conhecimento na operação de sistemas de eficiência energética.

Sistemas eficientes mal programados

Variador de frequência



32,5Hz é baixo demais para as bombas operarem eficientemente.

BMS de iluminação

	Forçar	
1	DESLIGADO	Desligado
2	LIGADO	Ligado Manual
3	LIGADO	Ligado Manual
4	LIGADO	Ligado Manual
5	LIGADO	Ligado Manual
6	LIGADO	Ligado Manual
7	LIGADO	Ligado Manual
8	LIGADO	Ligado Manual
9	LIGADO	Ligado Manual
10	LIGADO	Ligado Manual
11	LIGADO	Desligado
12	LIGADO	Desligado
13	LIGADO	Desligado

O sistema de controle só pode trazer eficiência se todas as lâmpadas forem ligadas a ele.

EDIFÍCIO 16 – Recife, PE

- Ranking de Consumo:
8º lugar
- EUI: 239 kWh/m²/ano

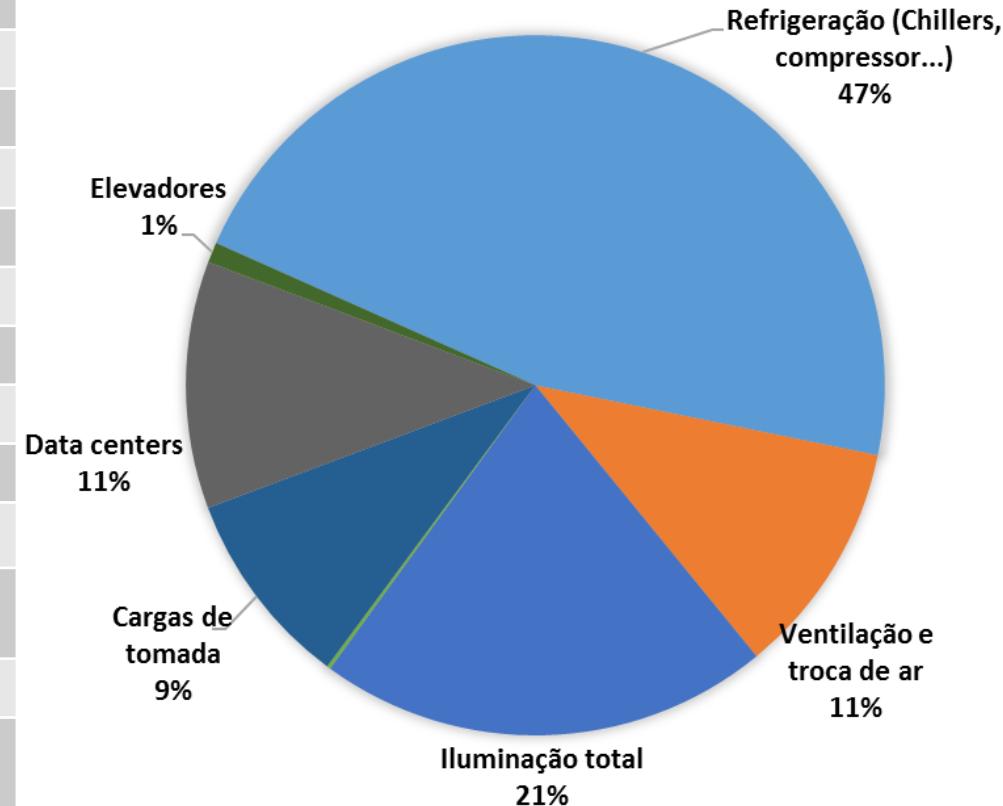


EDIFÍCIO 16 – Recife, PE

FICHA TÉCNICA

Ano de Construção	1964
Pavimentos	11
Subsolos (garagem)	1
Área Útil (m ²)	19.918 m ²
Administração	Federal
Uso principal	Escritórios
Usos secundários	Bancos
População fixa	900
Taxa de Ocupação (%)	100%
Tipo de Ar Condicionado	CAG e Splits
Características importantes	Chiller a ar
Local dos Medidores	Entrada Geral e CAG
% de economia de zero ou baixo custo	1 a 2 %

CONSUMOS POR USO FINAL - TOTAL



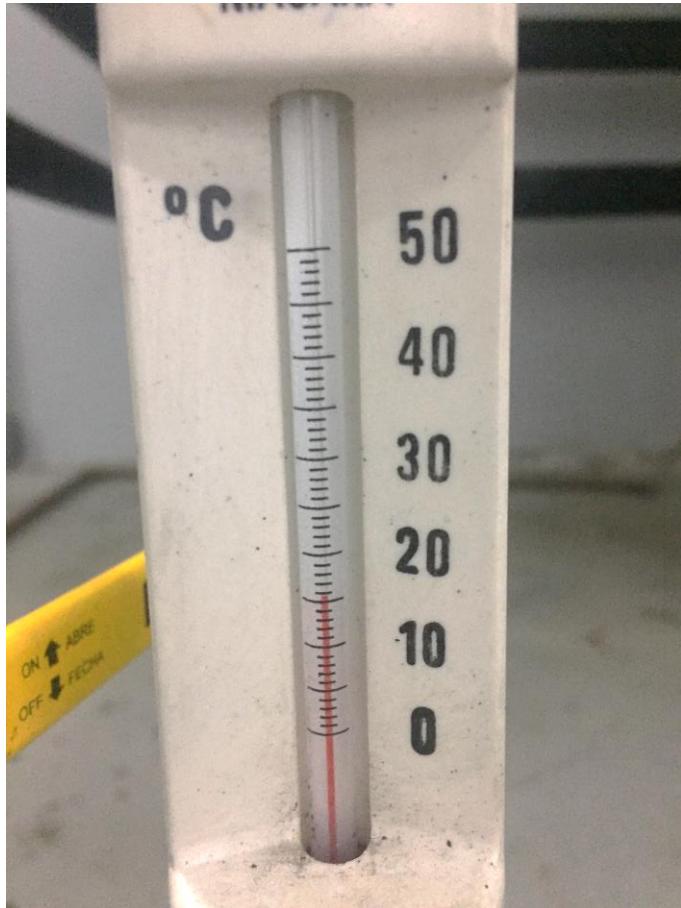
EDIFÍCIO 16 – Recife, PE

58% do consumo de energia ocorre para o condicionamento do ar

- Na época da visita o edifício não possuía equipe de manutenção. Os componentes do sistema de Ar Condicionado central apresentavam alto nível de degradação. Apenas 4 de 10 compressores estavam funcionando.

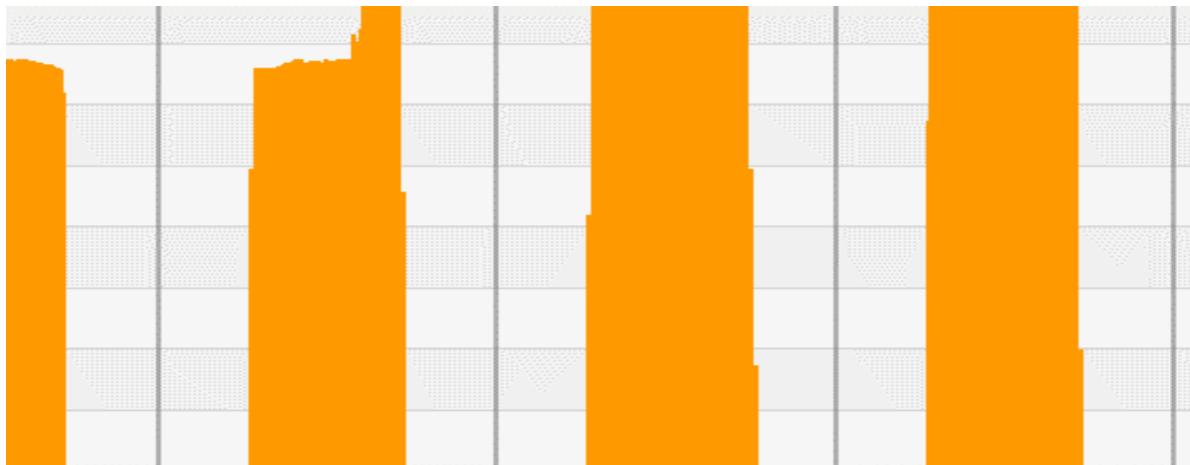


EDIFÍCIO 16 – Recife, PE



- A entrada de água nos fancoils está ocorrendo a 16°C, indicando que os chillers não estão resfriando adequadamente. O setpoint original é 13°C.
- Os ocupantes reclamam de calor, e existem muitos splits instalados para melhorar as condições de conforto em vários locais do edifício, como salas de reunião e locais não atendidos pelos dutos do sistema central.
- Ocorrem muitas mudanças de layout nos andares sem adequação dos sistemas. Algumas salas são condicionadas sem ocupação por terem dutos conectados a locais ocupados.

Reforma ou troca da CAG



- A troca da CAG para sistema com COP 4,1: economia de 32% no consumo de AC.
- A automatização do sistema é necessária para uma operação eficiente. O sistema atual opera em modo liga/desliga utilizando toda a capacidade dos compressores disponíveis.
- A maior dificuldade encontrada está na operação e manutenção do edifício. Atualmente, não existe autonomia e as decisões, ações e acompanhamento de dados estão centralizados em outro edifício.
- Ao lado, gráficos gerados pelos medidores instalados na CAG. O acompanhamento de medições é fundamental para identificar falhas no sistema, como o mau funcionamento de compressores, variadores de frequência e automação.

EDIFÍCIO 20 – Brasília, DF

- Ranking de Consumo:
4º lugar
- EUI: 359 kWh/m²/ano

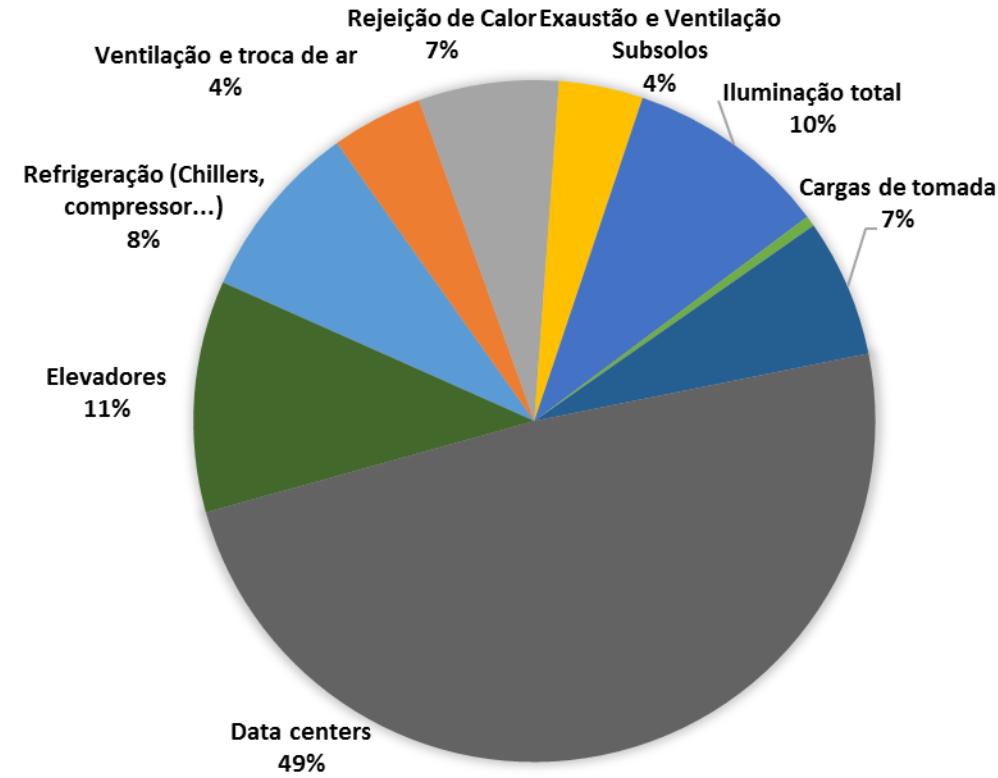


EDIFÍCIO 20 – Brasília, DF

FICHA TÉCNICA

Ano de Construção	1978
Pavimentos	21
Subsolos (garagem)	4
Área Útil (m ²)	24.379
Administração	Federal
Uso principal	Escritórios
Usos secundários	-
População fixa	2.000
Taxa de Ocupação (%)	100%
Tipo de Ar Condicionado	CAG
Características importantes	Nenhum VFD
Local dos Medidores	Nas duas Entradas Gerais
% de economia de zero ou baixo custo	4 a 5%

CONSUMOS POR USO FINAL - TOTAL



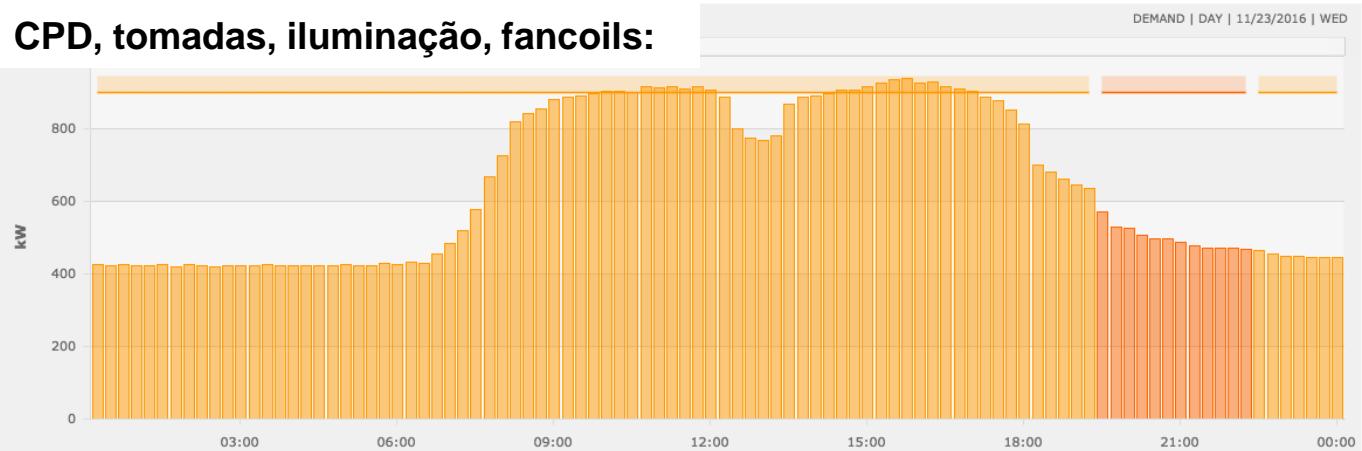
EDIFÍCIO 20 – Brasília, DF

Análise pré-auditória dos dados dos medidores instalados:

Ocorre pequena ultrapassagem da demanda contratada



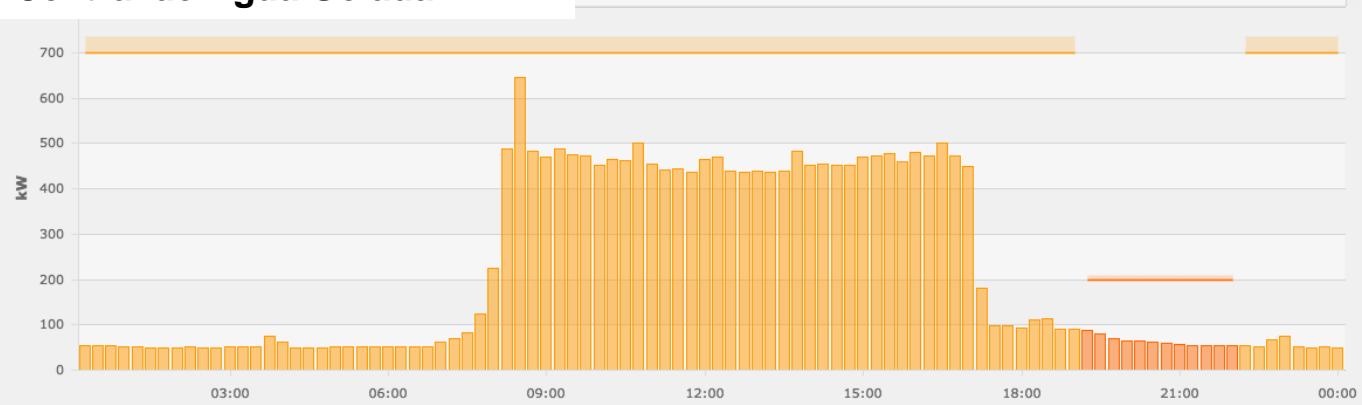
CPD, tomadas, iluminação, fancoils:



O consumo noturno é extremamente alto (> 400 kW)



Central de Água Gelada:



Os chillers estão ligados o dia todo sem modulação



A demanda contratada na hora da ponta é alta



EDIFÍCIO 20 – Brasília, DF

Sistema CAG:

- O sistema de ar condicionado não possui nenhum controle de capacidade.
- A maioria das válvulas de 2-vias controlando o fluxo de água gelada aos fancoils estavam quebradas.

Objetivo da auditoria: por que o consumo é tão alto?

Válvula de 2-vias arrancada:



Bombas sem VFD:



O sistema de ar condicionado funciona de maneira ineficiente, e é sujeito a muitas reclamações de frio e calor devido à distribuição do ar inadequada.

EDIFÍCIO 20 – Brasília, DF

CPD

- A potência instalada de servidores no edifício é muito alta.
- A existência de um CPD desse porte é uma demanda necessária do edifício, e reflete no alto consumo energético.

Objetivo da auditoria: por que o consumo é tão alto?

- Potência instalada de servidores = 215 kW
- Responsável por 167 kWh/m²/ano de consumo (49% do total)
- Foi calculado o PUE (Power Usage Effectiveness) que avalia a eficiência do sistema, levando em conta o sistema de ar condicionado do CPD.
 - PUE do edifício nº 20 = 1,7 (eficiente)
- **Porém, o alto consumo do CPD é devido ao tamanho do sistema e não a uma ineficiência crítica nos processos.**

EDIFÍCIO 19 – Rio de Janeiro, RJ

- Ranking de Consumo:
2º lugar
- EUI: 405 kWh/m²/ano

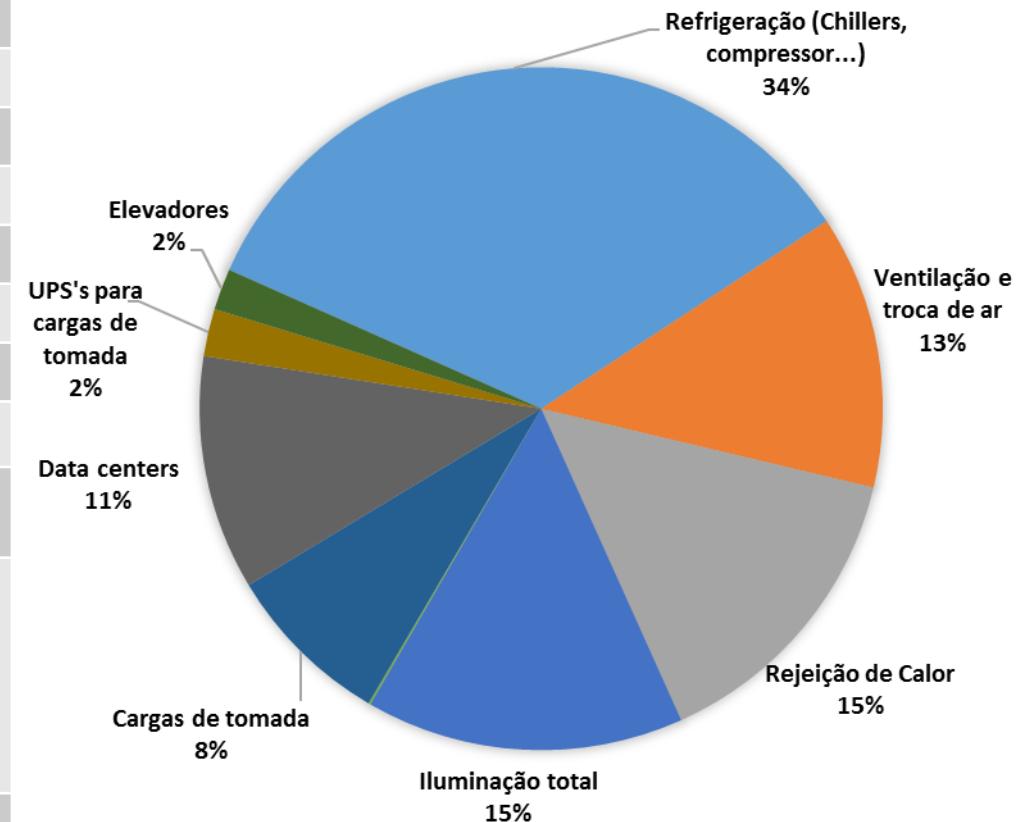


EDIFÍCIO 19 – Rio de Janeiro, RJ

FICHA TÉCNICA

Ano de Construção	1954
Pavimentos	23
Subsolos (garagem)	0
Área Útil (m ²)	12.214 m ²
Administração	Estadual
Uso principal	Escritórios
Usos secundários	CPD, Auditório
População fixa	1.200
Taxa de Ocupação (%)	100%
Tipo de Ar Condicionado	CAG
Características importantes	---
Local dos Medidores	Medidores não puderam ser instalados devido à falta de manutenção do gerador do CPD do edifício
% de economia de zero ou baixo custo	2 a 3%

CONSUMOS POR USO FINAL - TOTAL



EDIFÍCIO 19 – Rio de Janeiro, RJ

Medida de EE em Ar Condicionado: Instalar sistema de ar condicionado exclusivo para atender plantonistas do CPD e restringir horário de operação da CAG ao período diurno

CAG 24h/7 para atender plantonistas do CPD, que representam apenas **1/3 do 14º pavimento**



Isso gera aumento do consumo CAG em 52%!

Instalar split 64 kBtu/h no 14º pav. A condensadora pode ficar junto às do A/C do UPS, por exemplo.

Alterar horário operação CAG para deligar até 19h e ligar 7h de seg a sex, para que a CAG e fancoils fiquem desligados à noite e nos finais de semana, e não operem mais 24h/dia.



Economia equivalente ao consumo anual inteiro do Edifício 14 ou 15!

Custo estimado do investimento (R\$) R\$ 9.644

Economia anual estimada (kWh/ano) 1.233.926

Economia anual estimada (R\$/ano) R\$ 709.812

Payback 5 dias

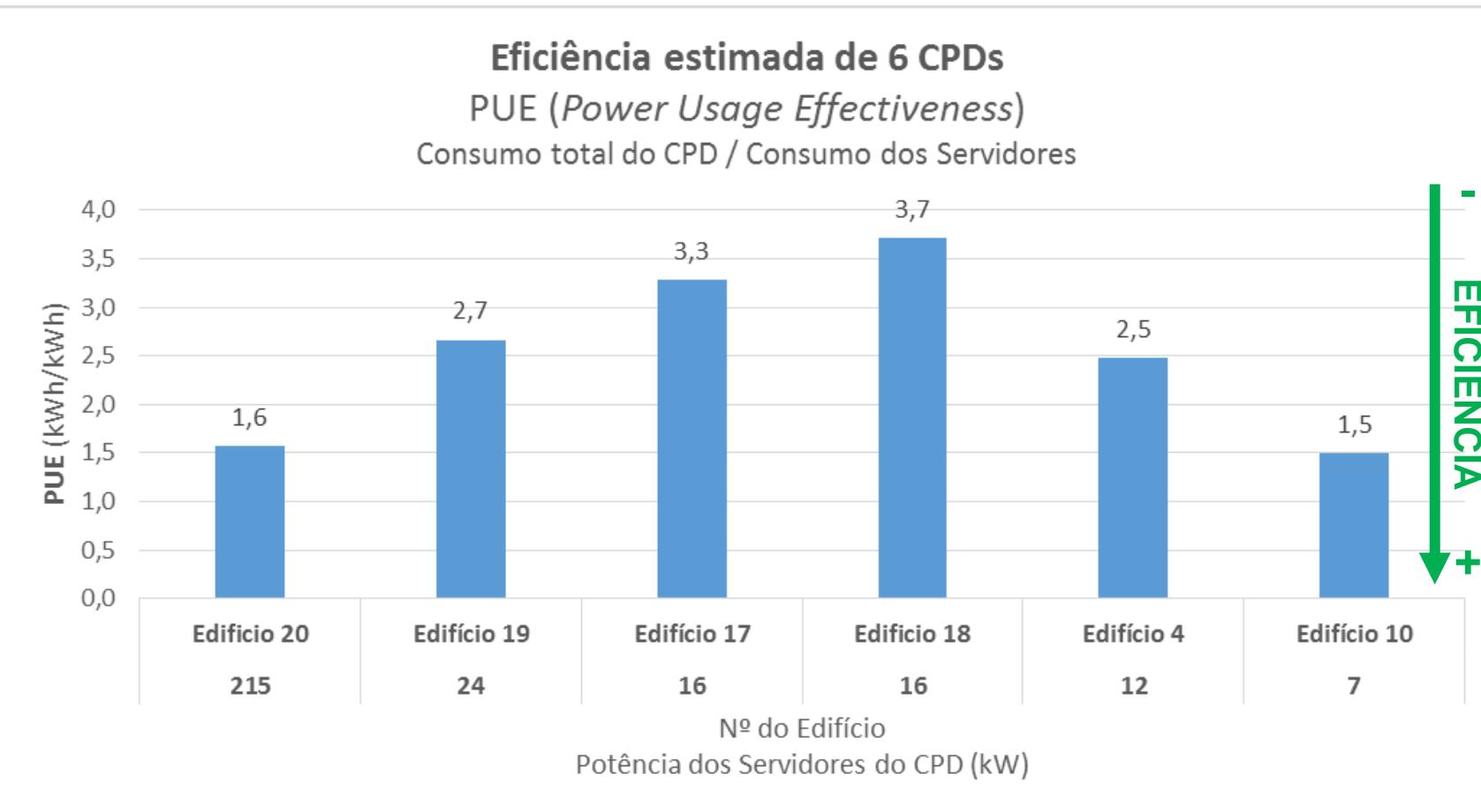
Só Ar Condicionado: EUI = 137 (1.676.422 kWh/ano)

Conclusões preliminares:

- Edifício 20: CPD muito grande (215 kW), com layout bem planejado, e PUE bom de 1,6.
- CPDs muito pequenos possuem apenas Splits, que não consomem tanto e acabam sendo eficientes.
- CPDs intermediários já usam sistemas de AC mais complexos, porém não têm o mesmo cuidado sobre layout e eficiência quanto CPDs grandes, resultando em PUEs piores.

COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE CPDs

PUE estimado em 6 edifícios com CPDs

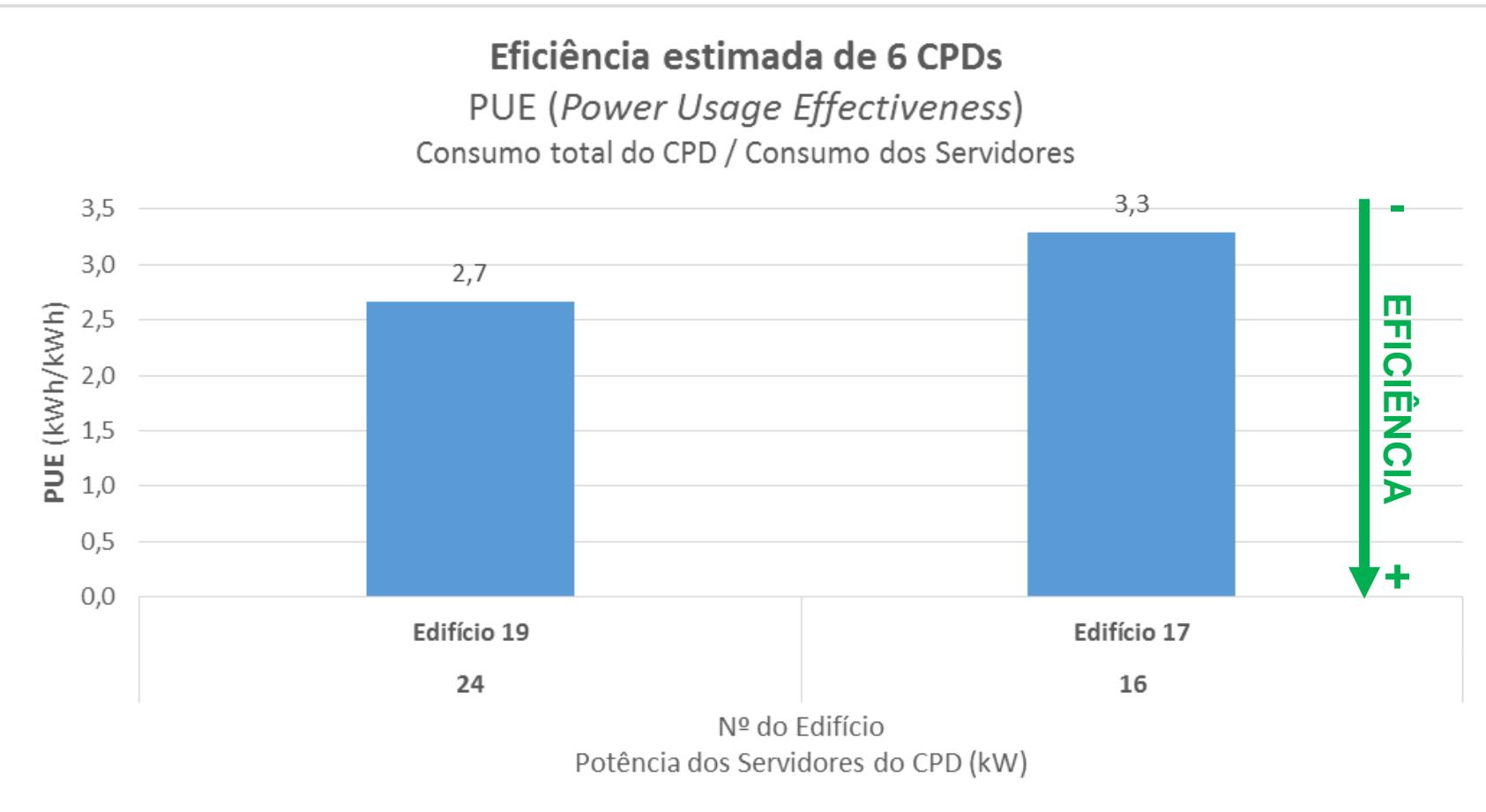


Comparação entre CPDs dos edifícios 17 e 19:

- Ambos são “Salas Cofre” e utilizam a mesma tecnologia e modelo de servidores e de ar condicionado (AC).
- Edifício 19 tem layout planejado, com corredores quentes e frios bem isolados.
- Edifício 17 tem mistura total de ar quente e frio, sem isolamento.
- Resultado: Edifício 19 usa menos AC apesar de ter mais potência de servidores. Por isso, o seu PUE é mais eficiente.

COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE CPDs

PUE estimado em 6 edifícios com CPDs

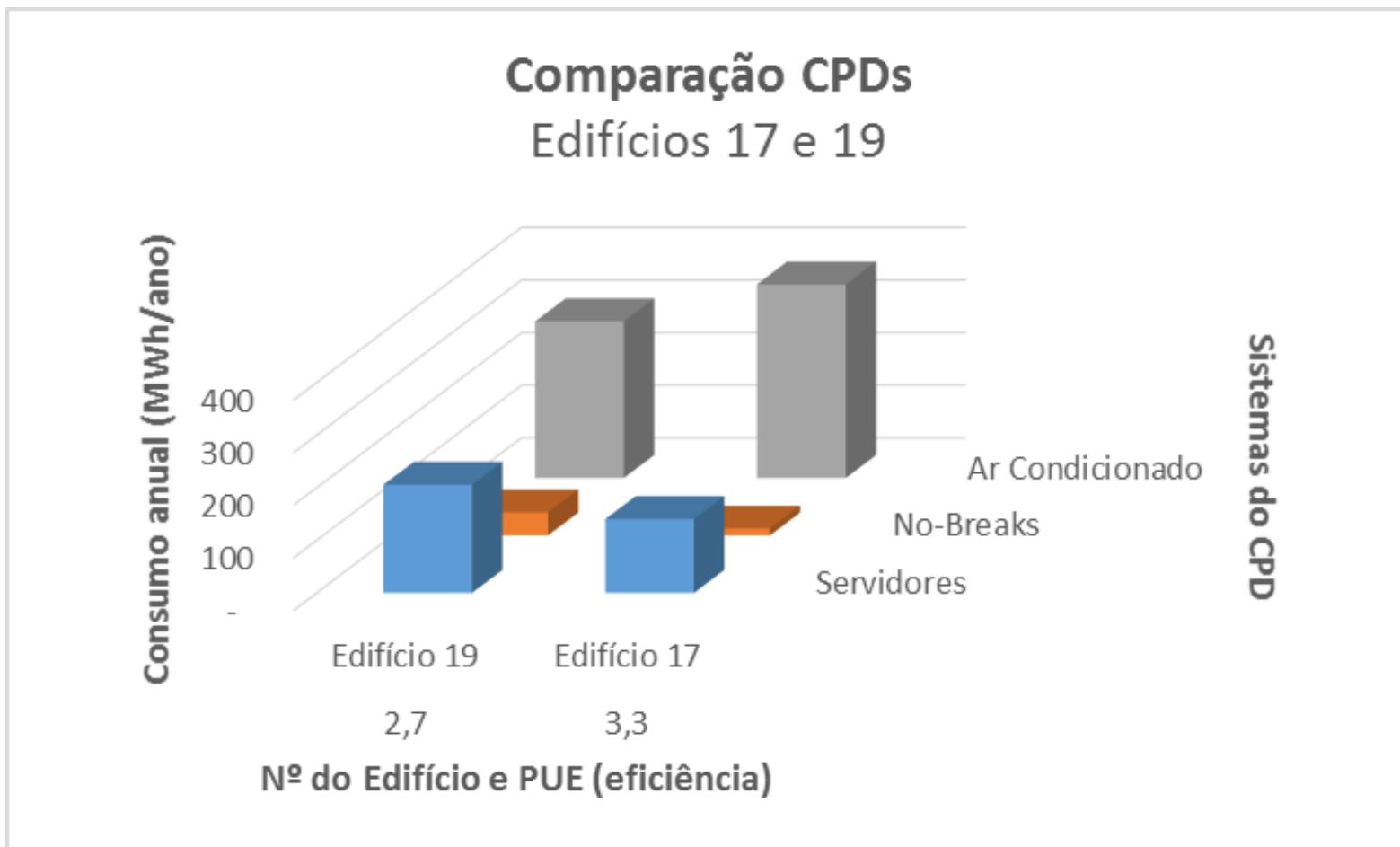


Comparação entre CPDs dos edifícios 17 e 19:

- Ambos são “Salas Cofre” e utilizam a mesma tecnologia e modelo de servidores e de ar condicionado (AC).
- Edifício 19 tem layout planejado, com corredores quentes e frios bem isolados.
- Edifício 17 tem mistura total de ar quente e frio, sem isolamento.
- Resultado: Edifício 19 usa menos AC apesar de ter mais potência de servidores. Por isso, o seu PUE é mais eficiente.

COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE CPDs

PUE estimado em 2 edifícios com CPDs semelhantes



EDIFÍCIOS COM MAIOR POTENCIAL PARA PROJETOS DEMONSTRATIVOS DE EE

Edifício	Cidade	Justificativa
Edifício 16	Recife - PE	Muitas oportunidades no sistema de Ar Condicionado, atualmente degradado devido às péssimas condições de manutenção e operando parcialmente, sem funcionamento de automação ou controle. Aproveitando-se da notícia de que o Governo de Pernambuco planeja um leilão de EE para 2017, poderia ser uma boa oportunidade para buscar incentivos financeiros e tributários.
Edifício 13	Belém - PA	Antigo sistema de CAG foi desativado, dando lugar a Splits mal distribuídos e com problemas de manutenção. Atualmente, o sistema de Ar Condicionado é responsável por 69% do consumo do edifício. Passará por retrofit previsto para 2017. Portanto, o momento deve ser aproveitado para estudar a opção por CAG ou VRF, elaborar um projeto integrado e implantar o sistema mais interessante. Existe potencial para aproveitar os espaços existentes da CAG desativada.
Edifício 19	Rio de Janeiro - RJ	Graves problemas de operação e manutenção do sistema de Ar Condicionado, como válvulas quebradas, automação não funcionando, equipamentos oxidados.

EDIFÍCIOS COM MAIOR POTENCIAL PARA PROJETOS DEMONSTRATIVOS DE EE

Edifício	Cidade	Justificativa
Edifício 17	Brasília - DF	<p>Oportunidade para tornar o CPD (Sala Cofre) mais eficiente; sistema que representa 15% do consumo do edifício. Também apresenta potencial para melhorias no Bloco construído em 1998 (1ª Etapa), que possui uma CAG, por meio da instalação de VAV.</p> <p>Para interesses científicos, existe uma possibilidade interessante de comparação do consumo dos dois Blocos do conjunto que, embora sejam semelhantes, possuem sistemas de Ar Condicionado distintos (CAG e VRV).</p>
Edifício 6	Brasília - DF	<p>O aumento da capacidade elétrica do Bloco B é necessário para que todos os equipamentos de ar condicionado Splits possam ser acionados simultaneamente. Atualmente, a rede elétrica não comporta a demanda instalada. A resolução deste problema poderia melhorar substancialmente o conforto dos usuários. O aumento do consumo de energia não seria necessariamente caracterizado como perda de eficiência. O desafio seria proporcionar melhorias no conforto térmico com o mínimo de aumento no consumo elétrico.</p>

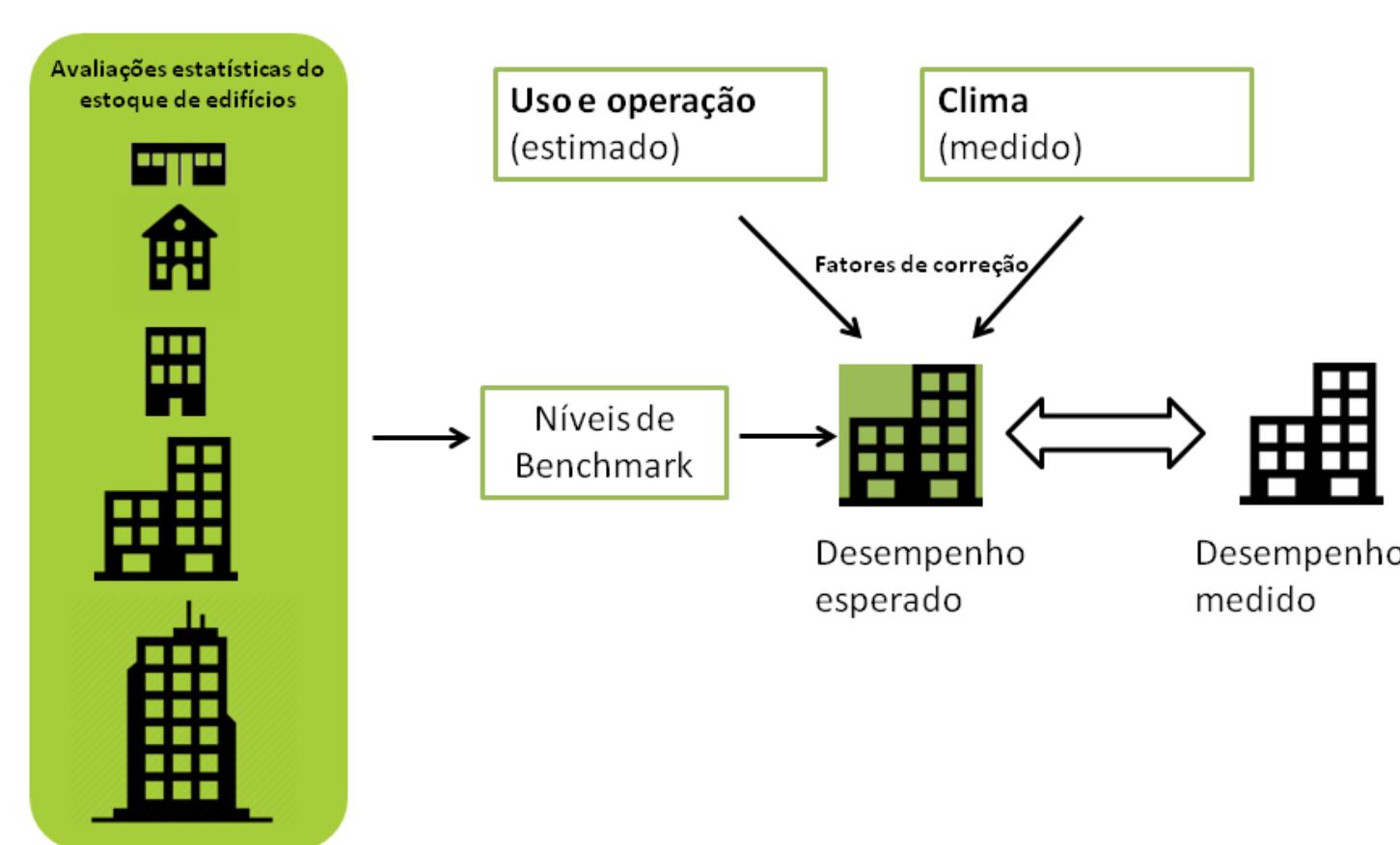
BENCHMARK

Desenvolvimento e publicação

BENCHMARKS

Necessário considerar:

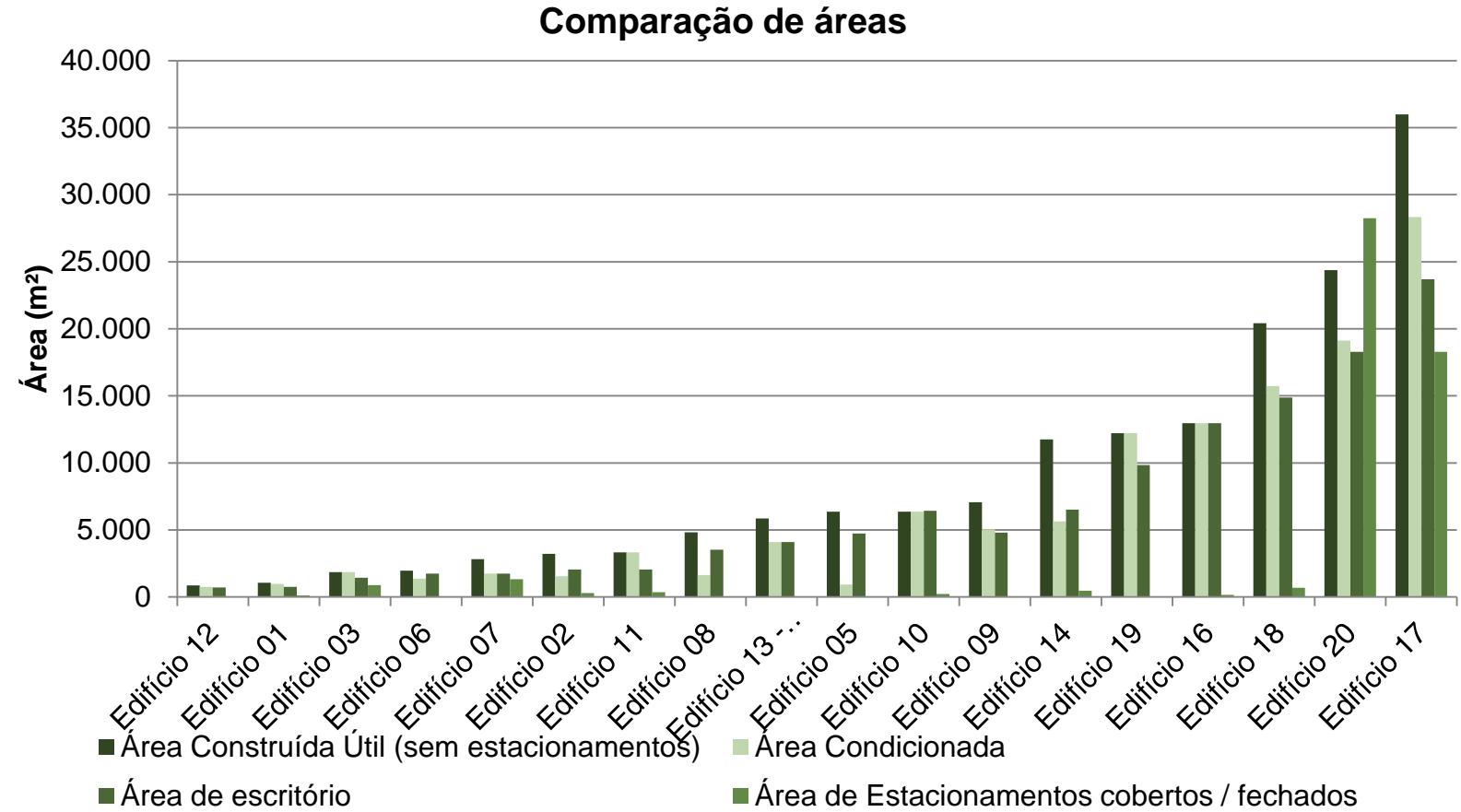
- Clima
- Ocupação
- Usos especiais
- Forma do edifício
- Sistema de condicionamento
- Outros fatores?



AVALIAÇÃO DO ESTOQUE

- Não todos os edifícios são totalmente condicionados.
- Estacionamento é um variável independente.
- Variável para normalização é essencial.

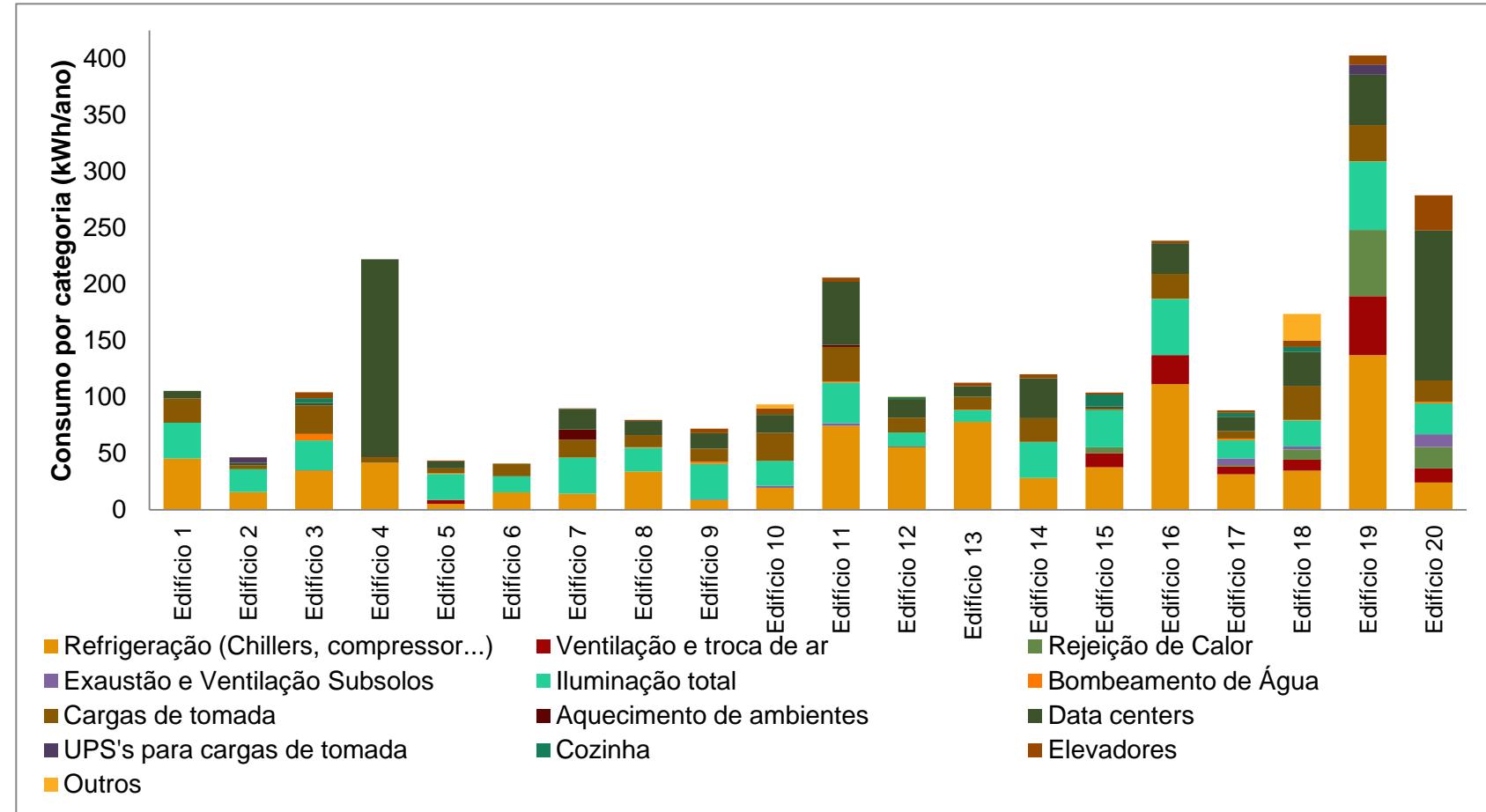
Definições necessárias



AVALIAÇÃO DO ESTOQUE

- Grande variação em eficiência.
- Datacenters podem distorcer consumo.

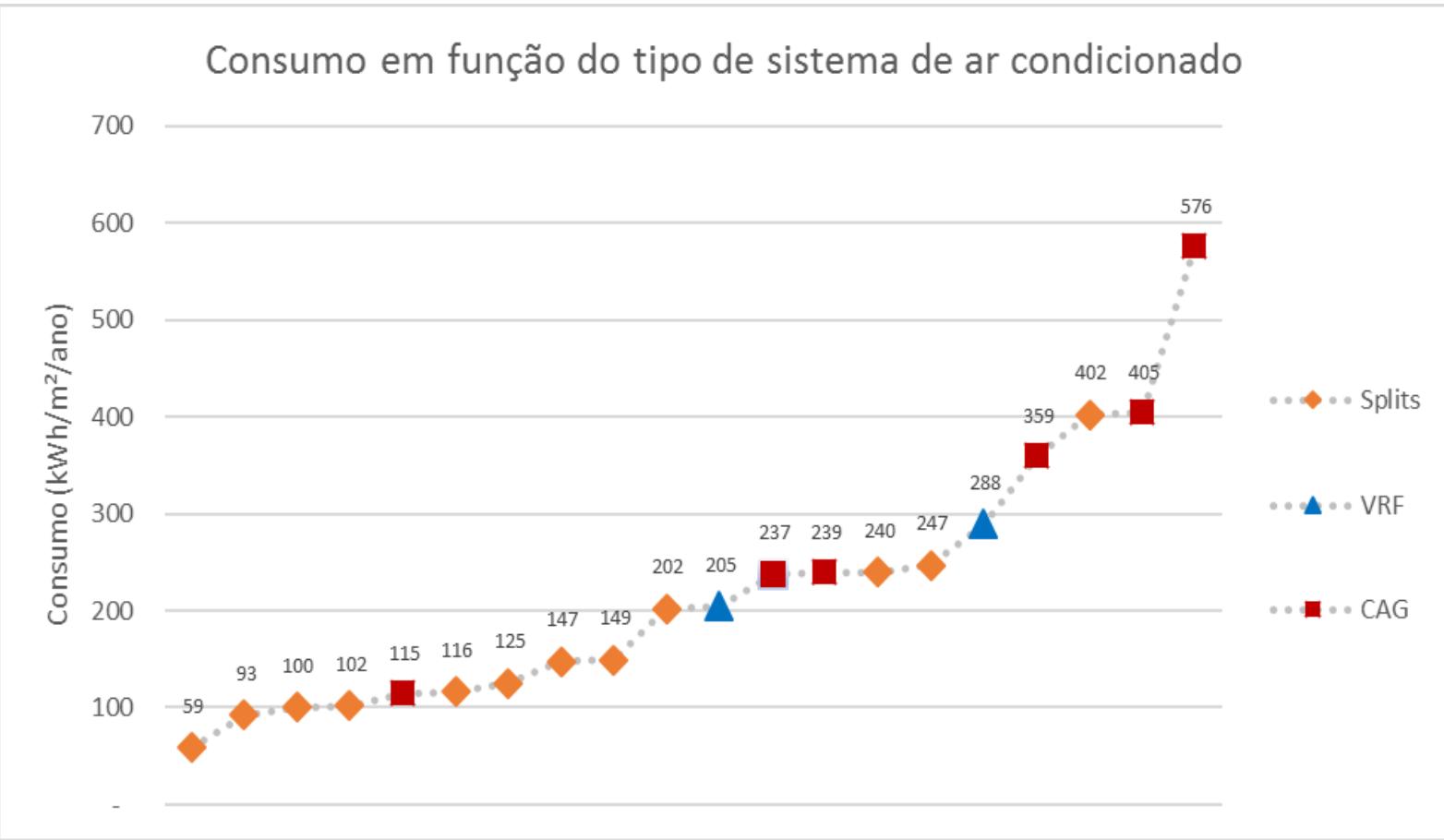
Separação do consumo por uso final



AVALIAÇÃO DO ESTOQUE

- Sistema de ar condicionado não prevê desempenho.

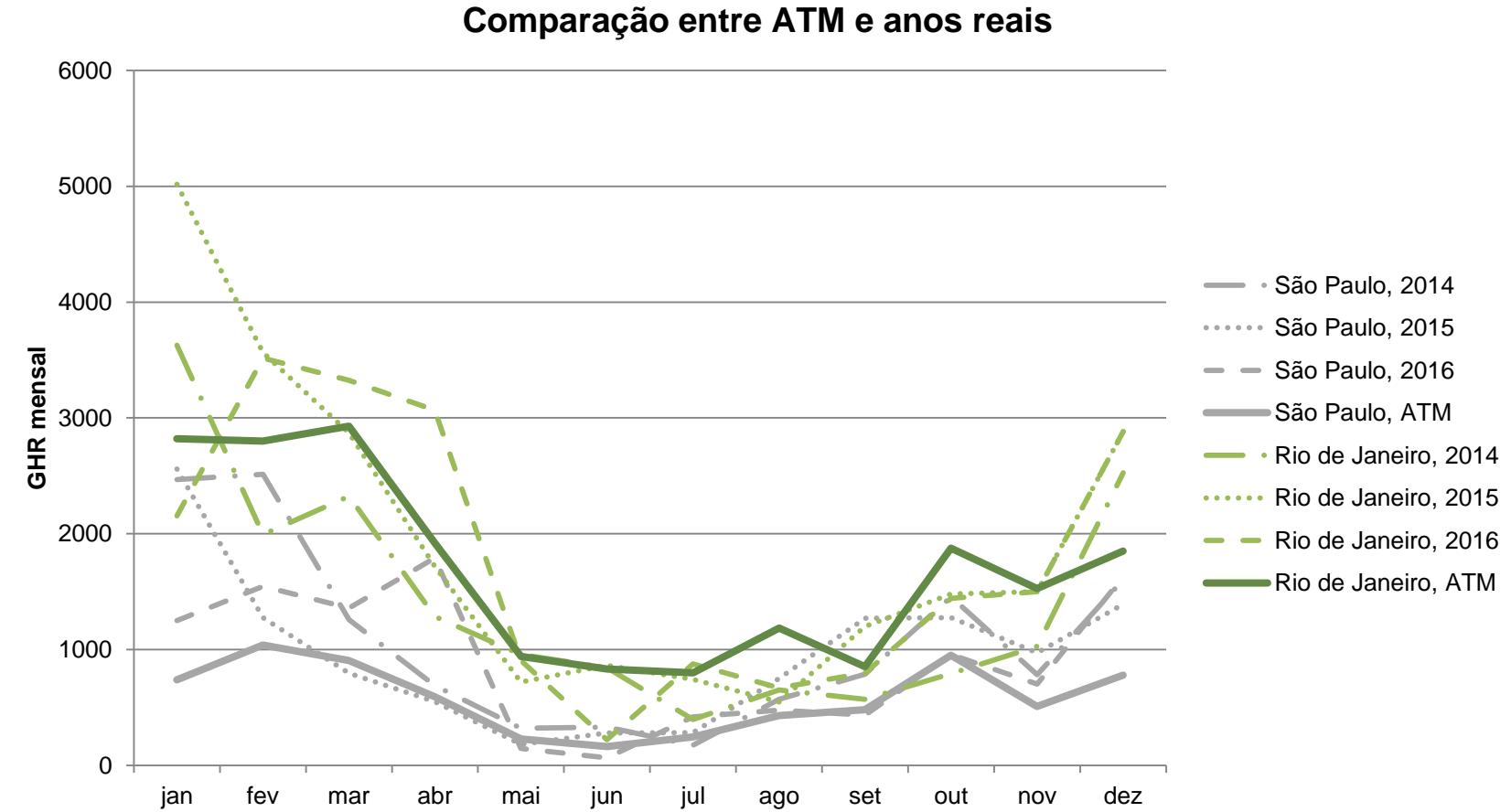
Comparação de sistemas de A/C



AVALIAÇÃO CLIMÁTICA

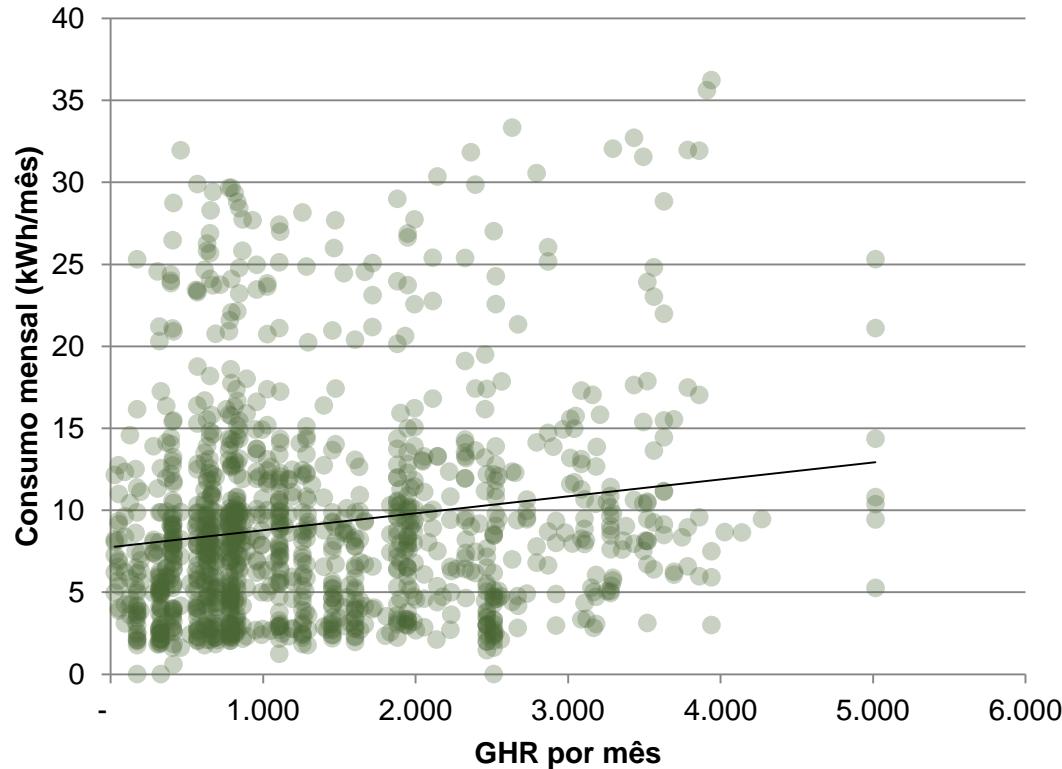
- GHR adotado como o indicador de clima
- É necessário utilizar dados reais de temperatura

Avaliação de dados históricos

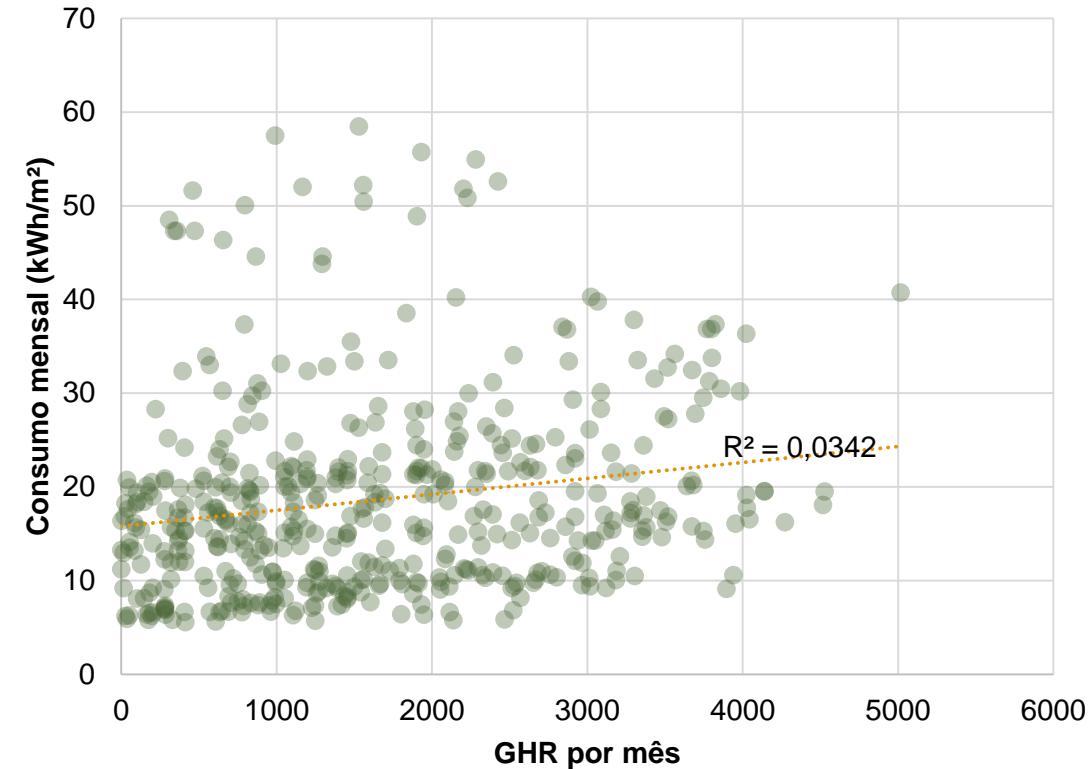


AVALIAÇÃO CLIMÁTICA

Consumo de energia mensal comparado com GHR para 98 edifícios



Consumo mensal comparado com GHR para 20 edifícios



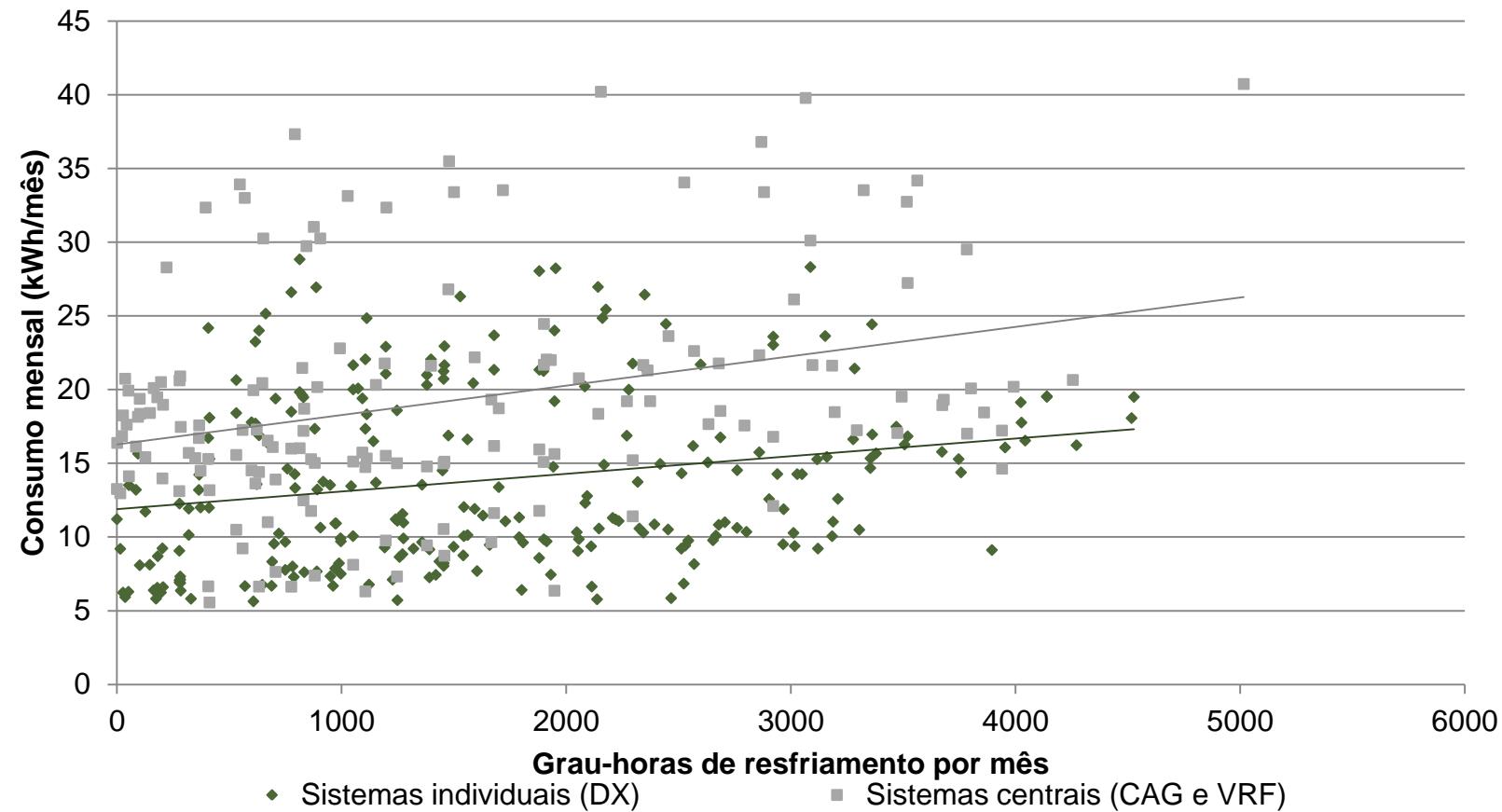
AVALIAÇÃO CLIMÁTICA

Considerar diferença fundamental no funcionamento de edifícios:

100% condicionado:
a/c central, janelas não abrem, maior

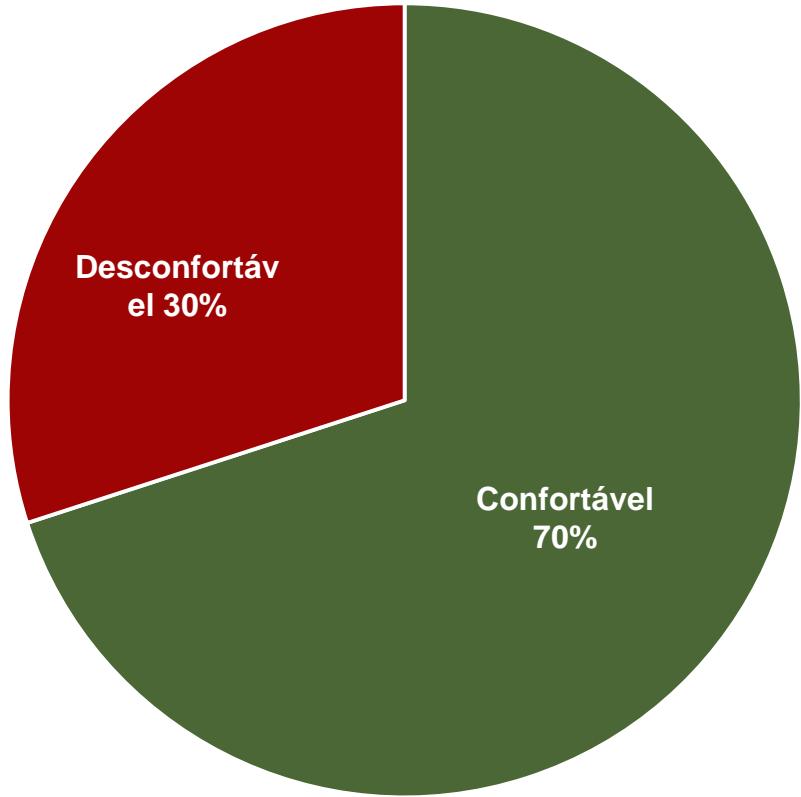
Modo misto:
condicionamento DX,
janelas abrem, menor

Ar condicionado central versus individual

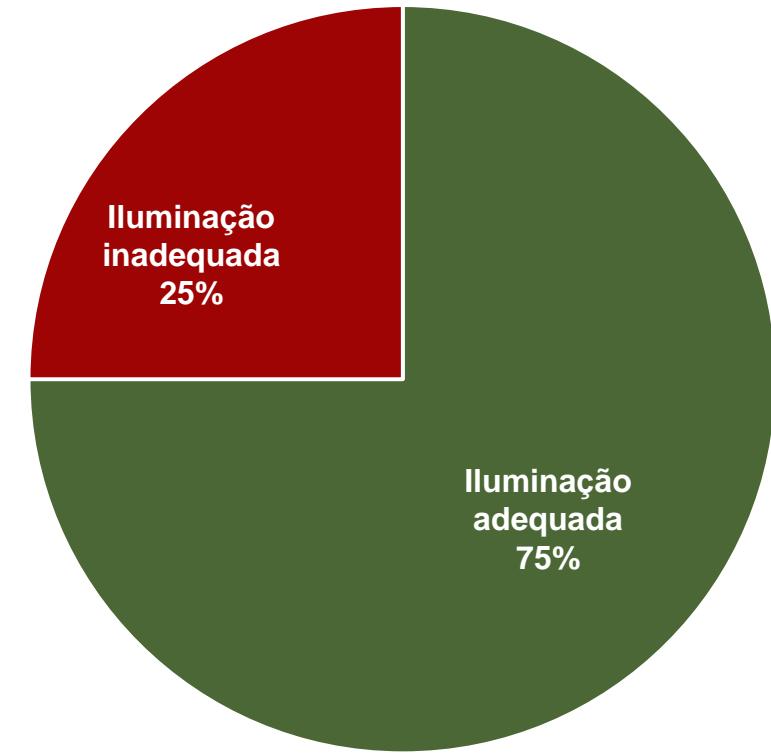


AVALIAÇÃO DE CONFORTO

Nível de Conforto nos 20 edifícios



Nível de Iluminação nos 20 edifícios

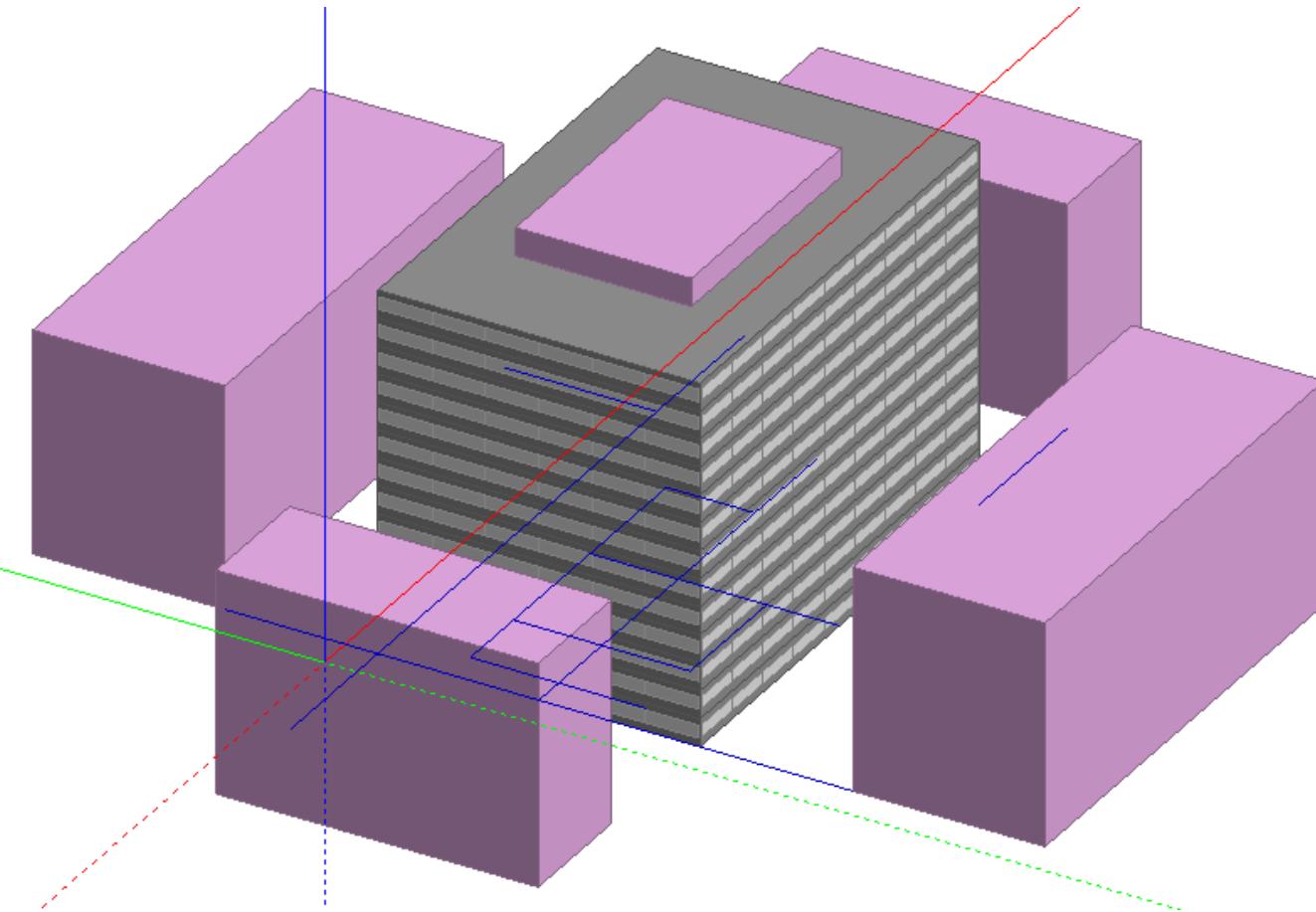


MODELOS ARQUÉTIPOS

Cenários estudados:

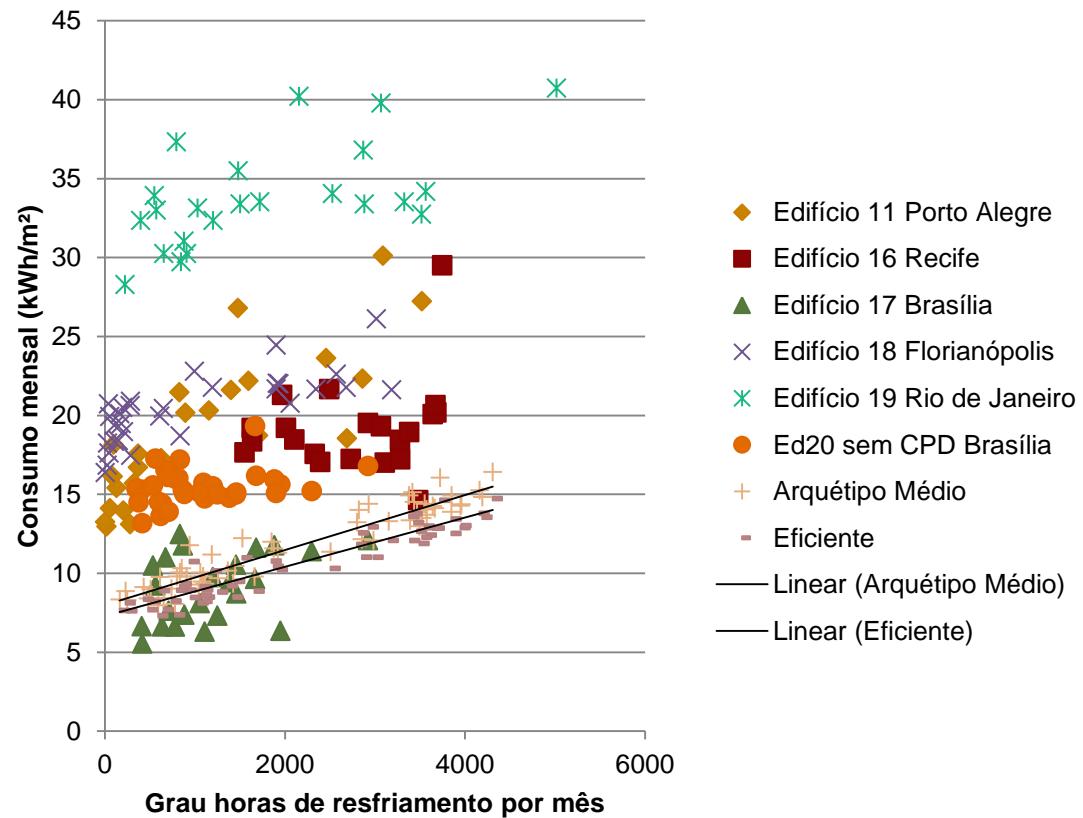
- Modelo de Edifício **Grande** – ar condicionado central
- Modelo de Edifício **Médio** – expansão direta
- Simular nível **eficiente** e nível **típico**

Simulação de edifícios típicos

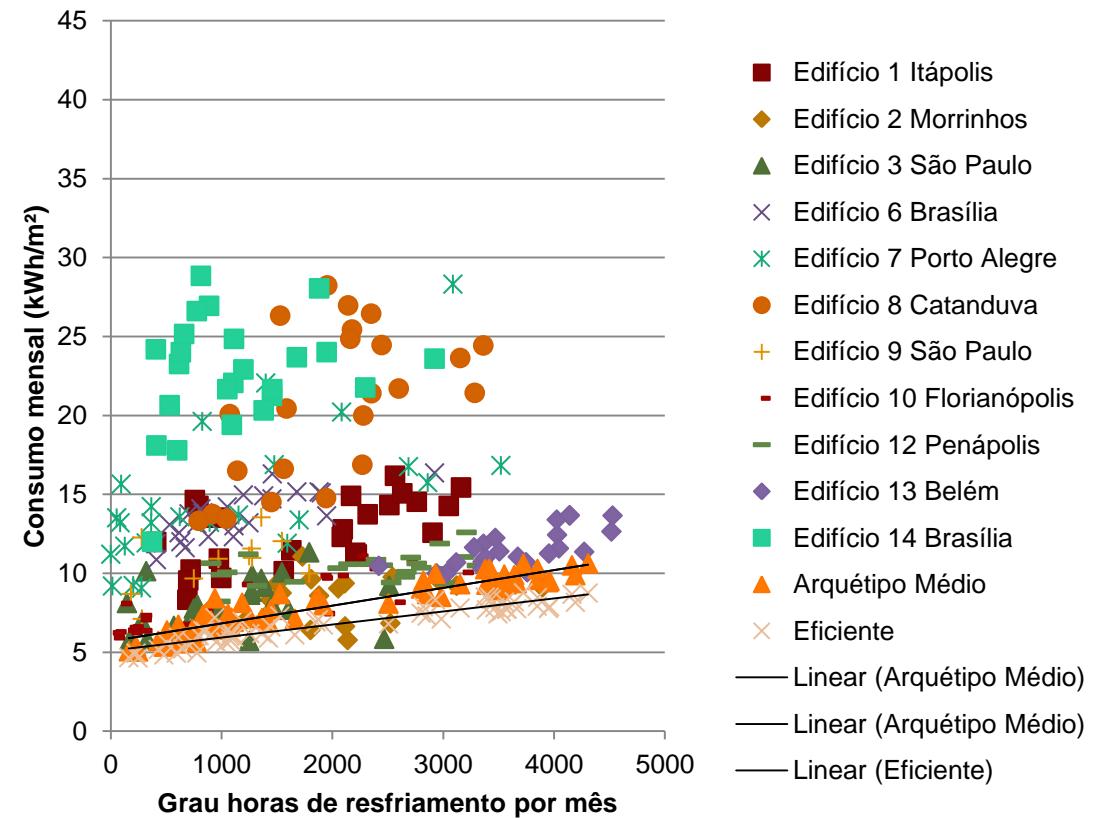


SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO

Edifícios com sistemas centrais ou VRF

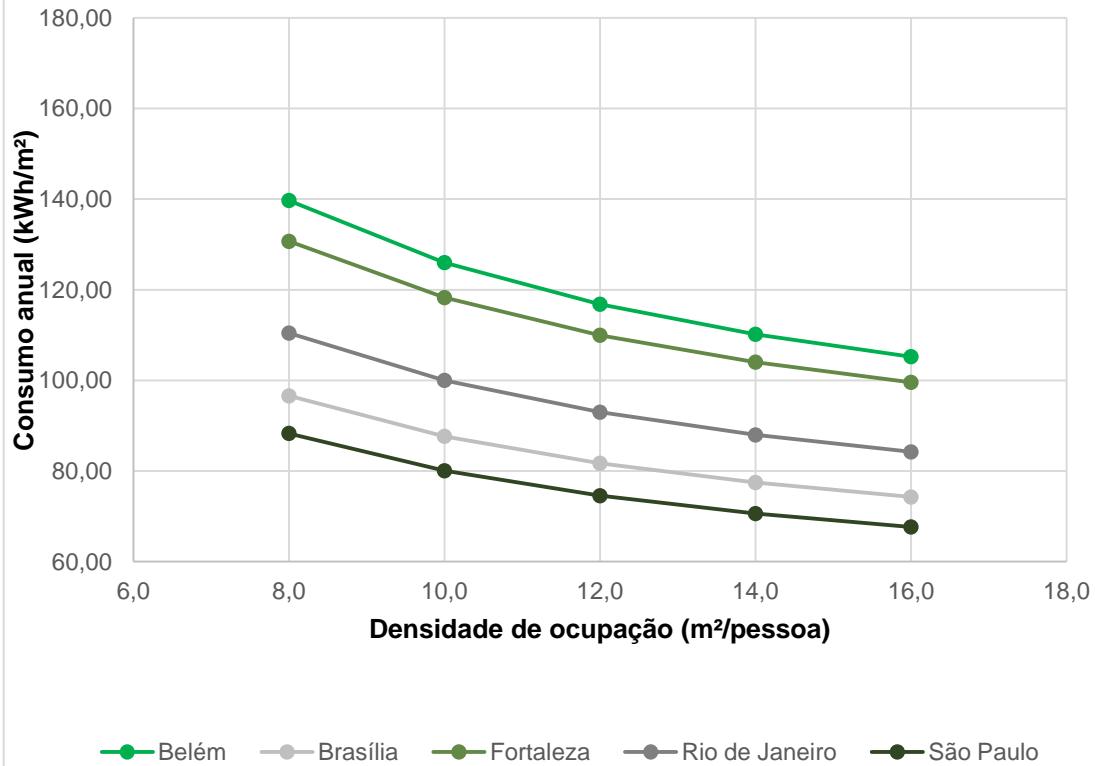


Edifícios com sistemas individuais

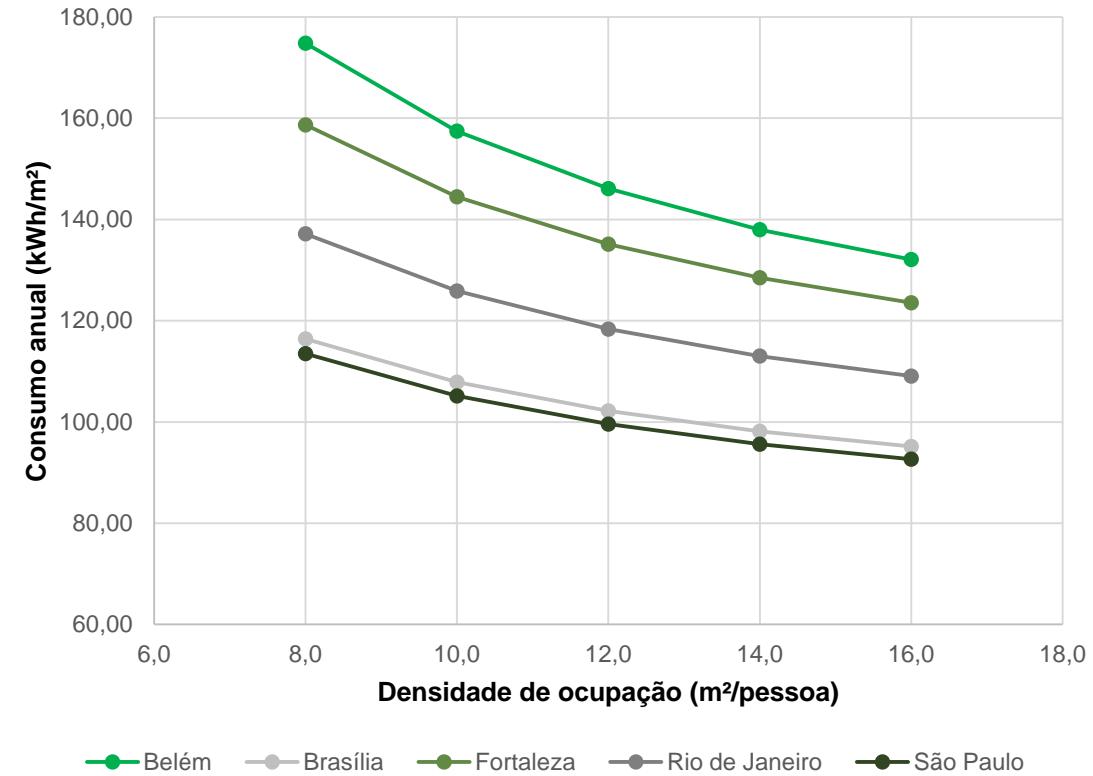


SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO

Consumo energético e densidade de ocupação
Edifícios Médios por cidade



Consumo energético e densidade de ocupação
Edifícios Grandes por cidade



DEFINIÇÃO DO BENCHMARK

- É vital ter concordância sobre as definições de área utilizadas

Definição de áreas

A_Tot

Área construída útil, excluindo estacionamentos e andares técnicos

A_CPD

Área construída útil condicionada ($A_{Cpd} \leq A_{Tot}$)

Datacenter

A_Est

Área de estacionamento coberto (subsolo)

A_Ilu

Área externa com iluminação noturna

DEFINIÇÃO DO BENCHMARK

- Consumo por área total
- Consumo por área condicionada
- Impacto de densidade de ocupação
- CPDs, estacionamentos, iluminação externa
- Grupo gerador

Equação do benchmark

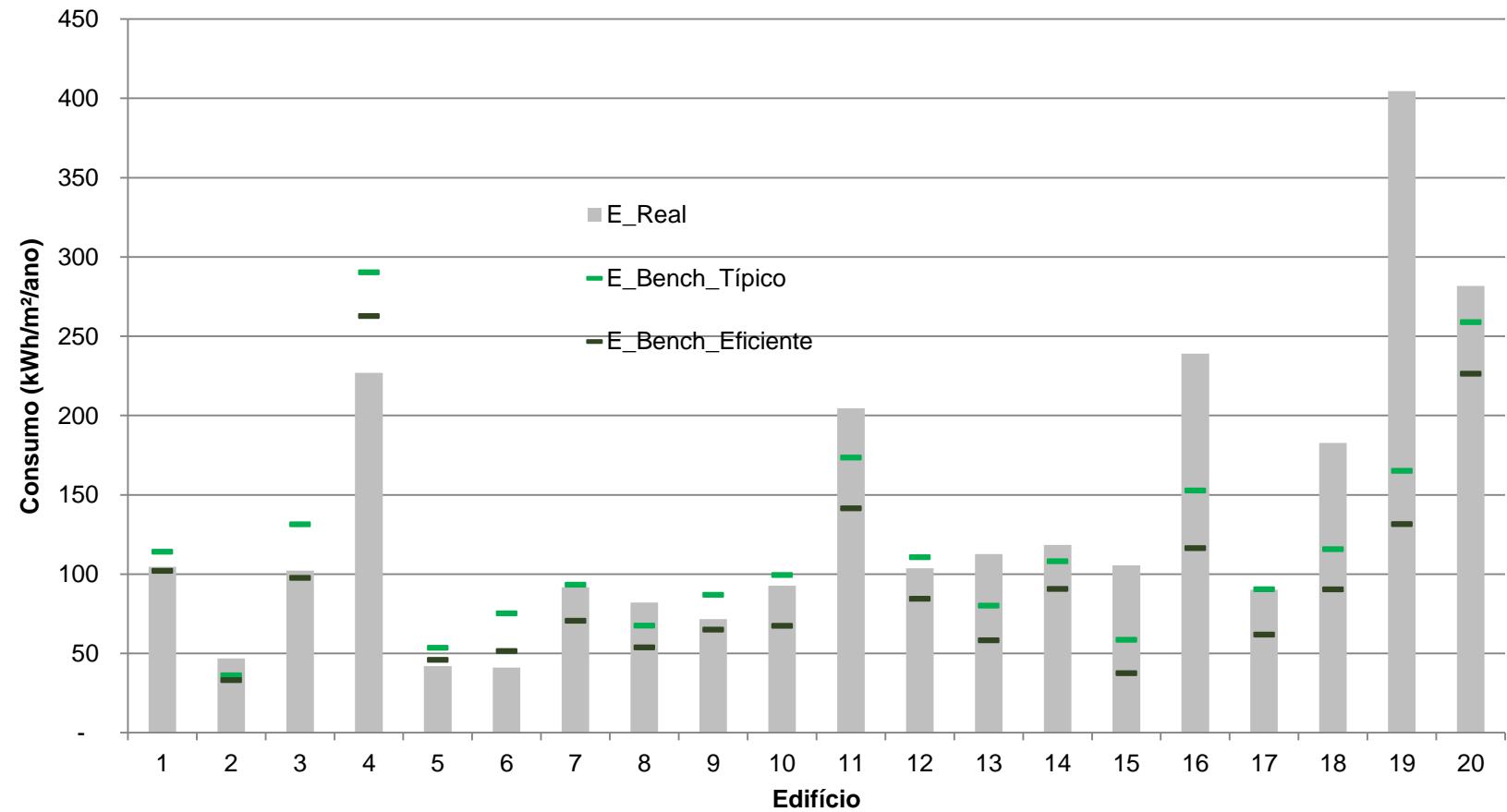
$$E_{Ben} = \left[\left(A + \left(G + \sum_i^{i+11} (GHR_i \cdot B) \right) \cdot \left(\frac{A_{Cond}}{A_{Tot}} \right) + \left(\frac{N}{T \cdot A_{Tot}} - \rho \right) \cdot C \right) \cdot T \right] \cdot (1 - F_{Gerador}) \\ + \left(\frac{Q_{CPD}}{A_{Tot}} \right) + \left(\frac{A_{Est}}{A_{Tot}} \cdot D \right) + \left(\frac{A_{Ilu}}{A_{Tot}} \cdot E \right)$$

$$E_{Real} = \frac{\sum_i^{i+11}(Q_i)}{A_{Tot}}$$

DEFINIÇÃO DO BENCHMARK

- Validação da equação realizada utilizando os dados dos 17 edifícios

Teste dos benchmarks

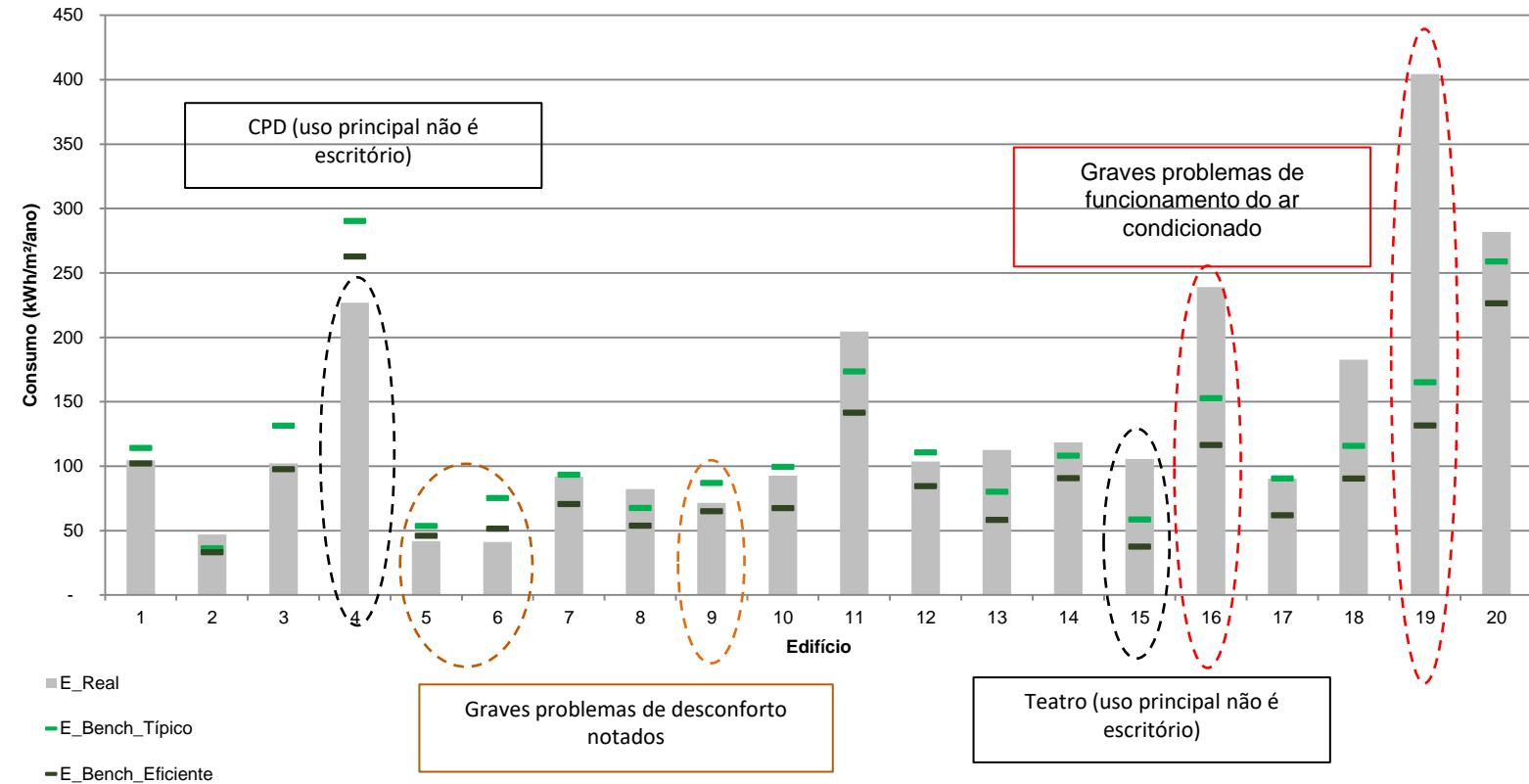


DEFINIÇÃO DO BENCHMARK

Corrigindo para os erros grandes:

- CV (RMSE) = 19%
- MBE = 8%

Teste dos benchmarks



PRODUTOS

Resultados e entregas do projeto

Abstracto aceito para publicação

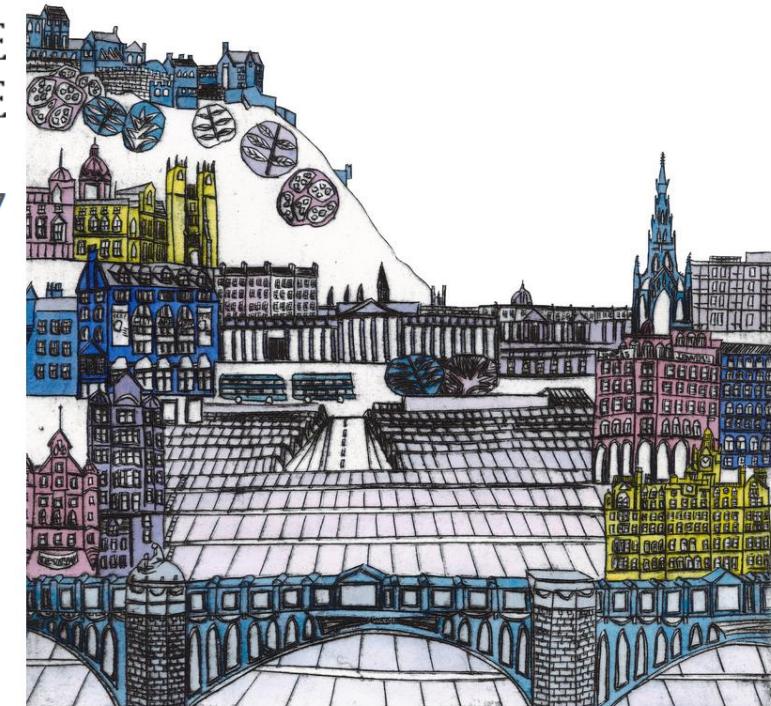
“Towards benchmarking of HVAC energy in commercial buildings in warm climates” – Borgstein, Lamberts & Hensen

www.plea2017.net

PLEA 2017 EDINBURGH

PASSIVE LOW ENERGY ARCHITECTURE
DESIGN TO THRIVE

Edinburgh conference 3rd to 5th July 2017



PLATAFORMA ONLINE

- Em fase de teste (80 pessoas)
- Versão beta disponível [aqui](#)
- Inserção de dados climáticos por administrador



ENTREGA FINAL

Produtos do projeto

1. Avaliação estatística
2. Seleção dos edifícios para auditorias
3. Capacitação no uso dos medidores
4. Auditorias energéticas
5. **Desenvolvimento do benchmark**
6. Oficinas para utilização dos benchmarks
7. Ferramenta web operacional (versão beta)
8. Ferramenta web final com manual
9. Relatório após 12 meses de medição



ENTREGA FINAL

Produtos do projeto

1. Avaliação estatística - *Completo*
2. Seleção dos edifícios para auditorias - *Completo*
3. Capacitação no uso dos medidores - *Completo*
4. Auditorias energéticas - *Completo*
5. Desenvolvimento do benchmark - *Completo*
6. **Oficinas para utilização dos benchmarks – Agendar**
7. Ferramenta web operacional (versão beta) – *Completo*
8. **Ferramenta web final com manual – 20/6**
9. **Relatório após 12 meses de medição**



Comitê Temático de Energia – CBCS

energia.benchmarking@cbcso.org.br

Coordenação:

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE



Implementação:



*Empoderando vidas.
Fortalecendo nações.*

Realização do estudo:



Conselho Brasileiro de
Construção Sustentável



Financiamento:

