**Análise das opções de sistemas de climatização para um edifício público, otimizando o custo dos equipamentos e consumo de energia.**

***Analysis of air conditioning system options for a public building, optimizing equipment costs and energy consumption.***

**Belmiro Cardoso Oliveira, Doutorando em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais**

belmirocardoso@gmail.com

**Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais**

robertavgs@ufmg.br

**Camila Lemes Caputo Vivas, Graduanda em Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais**

camilalemescv@gmail.com

**Pedro Henrique Figueiredo Oliveira, Graduando em Estatística, Universidade Federal de São Carlos**

phfopedro4025@gmail.com

Número da sessão temática da submissão – [ 4 ]

**Resumo**

Os sistemas de ar-condicionado são essenciais para o conforto térmico em edifícios públicos, mas consomem grande quantidade de energia. Este estudo de caso teve como objetivo analisar seis sistemas de climatização (chillers a ar e a água com fancoils e cassetes, VRF e Split) para um edifício de 5 andares e 500 m² por andar, localizado em clima quente (ZB8), visando identificar a opção mais eficiente em termos de consumo de energia e custo de implantação. Os resultados mostram que os sistemas com chiller e fancoil têm maior consumo energético, enquanto os sistemas com chiller e evaporadoras cassetes oferecem o melhor custo-benefício, apesar do maior investimento inicial. Em síntese, a modernização, otimização e escolha do projeto de climatização adequado são fundamentais para reduzir o consumo energético.

**Palavras-chave:** Eficiência energética; Ar-condicionado; Custo-benefício.

***Abstract***

*Air conditioning systems are essential for thermal comfort in public buildings, but they consume a lot of energy. This study analyzed six air conditioning systems (air and water chillers with fancoils and cassettes, VRF and Split) for a 5-storey building with 500 m² per floor, located in a hot climate (ZB8), in order to identify the most efficient option in terms of energy consumption and implementation cost. The results show that chiller and fancoil systems have higher energy consumption, while chiller and cassette evaporator systems offer the best cost-benefit ratio, despite the higher initial investment. In summary, modernization, optimization and choosing the right air conditioning project are fundamental to reducing energy consumption.*

***Keywords:*** *Energy consumption;* Air conditioning*; Cost-benefit.*

1. **Introdução**

Os edifícios respondem por cerca de 40% do consumo global de energia, um volume superior ao requerido pelo setor de transportes. Por conseguinte, a melhoria da eficiência energética no setor da construção desempenha um papel importante na economia de energia e redução das emissões de gases de efeito estufa, GEE (PARK *et al.*, 2016; IEA, 2017). Essa elevada taxa justifica o interesse dos pesquisadores e a adoção de soluções para reduzir a utilização de energia nas edificações. Portanto, é muito importante o uso de sistemas eficientes, uma vez que o funcionamento desses impactará sobre o consumo de energia em todo o ciclo de vida do edifício (MIRABELLA *et al.*, 2018).

Os principais responsáveis pelo aumento do consumo de energia elétrica no setor comercial são refrigeradores, sistemas de iluminação e condicionadores de ar, com o consumo de ar-condicionado projetado para crescer mais rapidamente do que os outros. Equipamentos de ar-condicionado representam 47% do consumo total de energia em estabelecimentos comerciais, enquanto a iluminação consome 22% e outras cargas, 31% (PINHEIRO, SANTANA, 2025). Assim, reduzir o consumo energético nesses espaços é fundamental tanto para minimizar impactos ambientais quanto para reduzir os custos financeiros.

As intervenções técnicas são abordagens diretas para reduzir o consumo de energia, por meio da aplicação de soluções tecnológicas avançadas. Focadas na otimização de sistemas e equipamentos, visam aumentar a eficiência dos edifícios. Embora o custo inicial possa ser elevado, os ganhos em economia de energia frequentemente justificam o investimento (PAPADAKIS, KATSAPRAKAKIS, 2023).

Os indicadores mais comuns para medir a eficiência de sistemas de ar-condicionado são o Coeficiente de Performance (COP) e o Coeficiente de Eficiência Energética (EER). O COP é a razão entre o calor removido e a energia consumida, e quanto maior o COP, mais eficiente é o equipamento. O EER, que é a razão entre a capacidade de resfriamento (em W/h) e a energia consumida (em W/h), também indica a eficiência do aparelho, sendo que valores mais altos indicam maior eficiência (ASHRAE, 2016).

Este trabalho refere-se a um estudo de caso que permite avaliar propostas de projeto, cujo objetivo central é definir quais sistemas de refrigeração são mais adequados a um determinado edifício. O estudo busca alcançar o conforto ambiental, otimizando os custos de investimento e redução no consumo de energia e atendendo os pressupostos de ocupação e funcionamento do edifício.

1. **Referencial Teórico**

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) conceituam a eficiência energética como a obtenção de um mesmo serviço energético, utilizando menos energia durante o processo, buscando o uso racional e eficiente da energia em todas as etapas.

A melhoria dos sistemas visando atingir a eficiência energética constitui um esforço rentável para reduzir o uso de energia. Estudos baseados em engenharia preveem um grande potencial de poupança energética e econômica ao longo do tempo, a partir de investimentos modestos em eficiência em todo o parque imobiliário (MATHEW *et al*., 2015).

Os edifícios públicos de escritório geralmente têm altas taxas de ocupação, equipamentos que geram calor e iluminação artificial, resultando em uma carga significativa de calor interno. Além do aquecimento global, o calor dissipado por equipamentos aumentou na última década, tornando mais difícil manter temperaturas internas confortáveis. O alto consumo de energia nesses edifícios está, principalmente, relacionado ao funcionamento do sistema de ar-condicionado (FRANCO, MISEROCCHI, TESTI, 2021).

O valor da energia varia ao longo do dia e da semana. A Resolução normativa ANEEL Nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021 define horários diferenciados, conhecidos como postos tarifários: horário de ponta, três horas diárias consecutivas, das 18h às 21h no caso estudado, e fora de ponta, todas as demais horas. A distribuidora estabelece esses períodos com base na curva de carga do sistema elétrico, aprovada pela ANEEL, exceto em fins de semana e alguns feriados (ANEEL, 2021).

A demanda contratada é a quantidade de potência elétrica que a distribuidora se compromete a fornecer de forma obrigatória e contínua no ponto de conexão, de acordo com o valor e o período definidos no contrato, medida em kW (quilowatts) (ANEEL, 2021).

Embora os sistemas de iluminação tenham melhorado, reduzindo a potência instalada por metro quadrado, ambientes que antes usavam ventilação natural agora são climatizados artificialmente, fazendo com que os sistemas de ar-condicionado se tornem a maior fonte de consumo de energia nas edificações. Isso ressalta a necessidade urgente de inovar e aprimorar os processos de resfriamento (LI *et al.*, 2021). Em Belo Horizonte, uma pesquisa mostrou que prédios com ar-condicionado independente por sala ou sem ar-condicionado consomem até 58,7% menos energia que os com ar-condicionado central (VELOSO, 2017).

O período de retorno, tempo necessário para recuperar o investimento, é determinado pela economia anual na conta de eletricidade gerada pela combinação de diferentes tecnologias em comparação com a linha de base. Os principais parâmetros incluem taxas de margem, horas de uso, vida útil do sistema, preço e aumento anual da eletricidade, e a taxa de desconto. Um estudo chinês analisou o custo-benefício de melhorias na eficiência de condicionadores de ar, examinando 359 combinações de design com tecnologias eficientes. Como resultado, obtiveram que a economia líquida aumenta com a eficiência, até atingir um Fator de Desempenho Anual (APF) de 5.4, sugerindo que aumentar a eficiência do Padrão Mínimo de Desempenho Energético (MEPS) até esse valor oferece os maiores benefícios ao consumidor (KARALI *et al.*, 2020).

Os sistemas de ar-condicionado impactam significativamente a gestão de energia. Além de implantar um sistema eficiente, é essencial garantir sua operação para oferecer conforto e eficiência energética. Isso é alcançado por meio da otimização dos sistemas operacionais e estratégias de controle, focando nos componentes críticos, que são chave para gerenciar o consumo de energia. Também é importante maximizar o uso de ventilação e iluminação natural (ASHRAE, 2014).

Prédios de grande porte geralmente utilizam chillers em seus sistemas de resfriamento. O sistema funciona resfriando e bombeando água gelada por meio de tubulações para o interior dos prédios, onde essa água troca calor com o ambiente através das evaporadoras.

|  |  |
| --- | --- |
| Uma imagem contendo no interior, mesa, pequeno, balcão  O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.  **Figura 1: Chiller a ar. Fonte: Trane.** | **Figura 2: Chiller a água. Fonte: Trane.** |

Na operação de um sistema de refrigeração, o chiller, a bomba de água e a torre de resfriamento estão interligados, determinando o consumo de energia. Esse consumo também é influenciado por fatores como a temperatura interna do edifício, o fluxo de fornecimento e retorno da água gelada, além da temperatura e umidade externas, do fluxo de pessoas no ambiente e do uso do edifício (CHEN *et al*., 2022).

Os sistemas split utilizam uma unidade interna por externa, enquanto o VRF,  (*Variable Refrigerant Flow*), que significa "Fluxo de Refrigerante Variável" controla várias unidades internas com uma única externa. O VRF ajusta o fluxo de gás refrigerante conforme a necessidade de cada evaporadora, proporcionando maior flexibilidade, menor peso e menor demanda de espaço em comparação aos chillers. Além disso, apresenta bom desempenho em eficiência energética (PARK, YUN, KIM, 2017).

|  |  |
| --- | --- |
| Diagrama  O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto. | Uma imagem contendo monitor, ar condicionado, microondas, frente  O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto. |
| **Figura 3: Fluxo de Gás Refrigerante Variável VRF. Fonte: OBS.** | **Figura 4: Sistema Split com evaporadora cassete. Fonte: Carrier.** |

*Split system* é um modelo de ar-condicionado composto por duas unidades: a externa, chamada condensadora, e a interna, denominada evaporadora. A unidade interna troca calor com o ambiente e o transfere para a condensadora através do gás refrigerante promovendo o resfriamento. Diversos estudos têm sido conduzidos para aprimorar a eficiência desse sistema, que está entre os mais utilizados no mundo (THIANGCHANTA *et al.*, 2020).

1. **Procedimentos Metodológicos**

Esta seção apresenta a metodologia para otimizar o consumo de energia em edifícios com ar-condicionado, considerando layout celular e horário flexível. Foram analisados sistemas existentes e catálogos técnicos para avaliar o consumo e a eficiência de um sistema de 150 toneladas de refrigeração, ou seja, 1TR, variando de 10% a 100% da capacidade, em seis configurações: chiller com condensação a ar e fancoils com rede de dutos, chiller com condensação a ar e evaporadoras cassetes, chiller com condensação a água e fancoils com rede de dutos, chiller com condensação a água e evaporadoras cassetes, VRF (Fluxo de Gás Refrigerante Variável) com evaporadoras cassetes e sistemas splits com evaporadoras cassetes.

Em seguida, foram analisados os consumos de energia dos diferentes sistemas estudados para um andar de 500 m² em um edifício de 5 andares, totalizando 2500 m² em um horário de trabalho de efetivo variável das 7h às 21h. O consumo de energia foi verificado para diferentes sistemas de ar-condicionado, em carga total e parcial, conforme variação das capacidades. Nessa etapa foi utilizado o software Tracer da Trane, dados das edificações existentes e catálogos de fabricantes para levantamento dos consumos de energia.

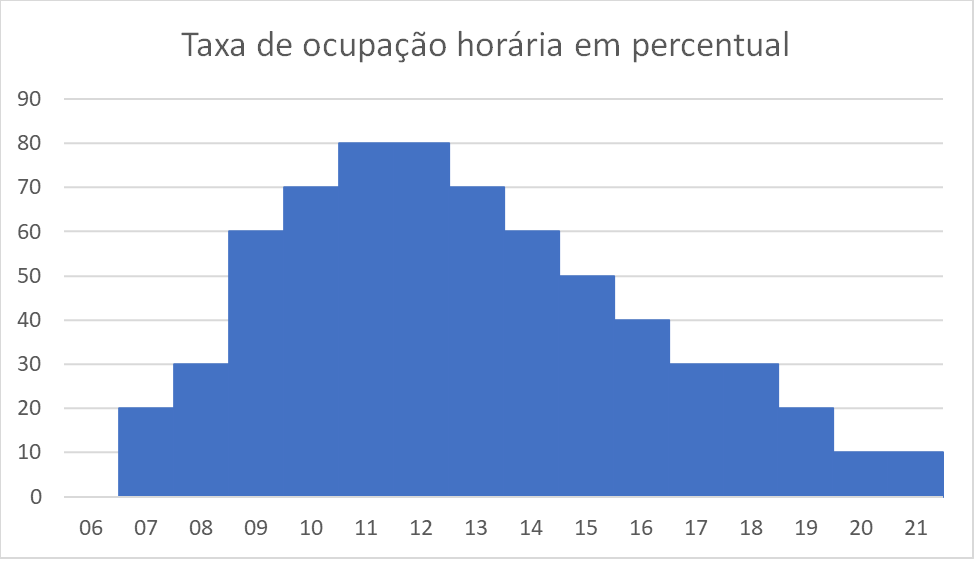
Após o levantamento do custo anual de energia e do custo de implantação do sistema, foi feito uma análise do custo de equipamentos e energia por um período de 15 anos, levando em consideração a vida útil de cada sistema proposto.

Por fim, será analisada, sob a ótica da eficiência energética, o melhor sistema a ser implantado levando em consideração o consumo de energia e o custo de implantação do sistema em um edifício de 5 andares e 500 metros quadrados por andar, com variação nos sistemas de ar-condicionado.

1. **Aplicações e Resultados**

Para a análise dos diferentes sistemas de ar-condicionado e otimização do consumo de energia em edifícios, a partir da modernização e uso de equipamentos mais eficientes energeticamente, foi projetado e analisado um edifício de 5 pavimentos, com 500 m² por andar, com 10 salas de escritório de dimensões 8 m x 5 m, totalizando 40 m² por sala com uma área de circulação central de 100 m².

Inicialmente, foram analisadas as taxas de ocupação e horários de funcionamento de prédios públicos semelhantes, por meio do levantamento dos sistemas de ponto e controles de catracas. Nesses prédios há uma flexibilidade de horário tanto para atendimento ao público quanto para as jornadas de trabalho dos servidores. O edifício permanece disponível para ocupação e com todos os seus sistemas operacionais em funcionamento, das 7h às 21h.

  
**Gráfico 1: Percentual de ocupação do prédio durante o dia. Fonte: elaborado pelos autores**

O Gráfico 1 mostra que a ocupação do prédio começa por volta das 7h, atingindo o pico entre 10h e 14h, período em que a carga térmica é maior devido à alta temperatura externa. À tarde, a desocupação ocorre até às 21h.

O estudo analisou o consumo de energia em carga total e parcial para sistemas de chiller com condensação a ar, chiller com condensação a água, VRF e Splits, considerando a localização em uma região de clima quente (zona bioclimática 8). Com os dados de ocupação, foi possível determinar o consumo de energia e eficiência energética dos diferentes sistemas. Além disso, foram testadas variações nas evaporadoras dos sistemas com chiller, usando distribuição com fancoletes (Figura 5) ou fancoil com rede de dutos por andar, que climatiza todos os ambientes simultaneamente (Figura 6).

|  |  |
| --- | --- |
| Figura 5: Planta tipo com layout escritório - sistema com cassete. Fonte: Elaborado pelos autores. | Figura 6: Planta tipo com layout escritório - sistema com fancoil. Fonte: Elaborado pelos autores. |

A partir das Tabelas 1 e 2, observa-se que, para os sistemas estudados, as melhores eficiências ocorrem em sistemas com chiller em carga parcial. Equipamentos como splits e VRF têm a mesma eficiência em todas as faixas de consumo. Os dados de consumo de energia foram levantados de edificações existentes, softwares e catálogos técnicos.

Tabela 1: Eficiências dos sistemas de chiller a ar e a água

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipos de sistema** |  |  | **Chiller a ar** |  | **Chiller a água** |  |
| Consumo percentual do sistema com 150 TRs | Potência de refrigeração em TR | Potência de refrigeração em kW | Potência consumida em kWh | Eficiência | Potência consumida em kW | Eficiência |
| 100% | 150 | 535 | 176 | 3,05 | 105 | 5,10 |
| 90% | 135 | 482 | 152 | 3,17 | 86 | 5,60 |
| 80% | 120 | 428 | 102 | 4,20 | 74 | 5,79 |
| 70% | 105 | 375 | 88 | 4,26 | 62 | 6,04 |
| 60% | 90 | 321 | 58 | 5,54 | 50 | 6,42 |
| 50% | 75 | 268 | 43 | 6,22 | 31 | 8,63 |
| 40% | 60 | 214 | 34 | 6,30 | 30 | 7,14 |
| 30% | 45 | 161 | 23 | 6,98 | 21 | 7,65 |
| 20% | 30 | 107 | 18 | 5,95 | 21 | 5,10 |
| 10% | 15 | 54 | 18 | 2,97 | 21 | 2,55 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2: Eficiências dos sistemas de VRF e Split

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipos de sistema** |  |  | **VRF** |  | **Split** |  |
| Consumo percentual do sistema com 150 TRs | Potência de refrigeração em TR | Potência de refrigeração em kW | Potência consumida em kW | Eficiência | Potência consumida em kW | Eficiência |
| 100% | 150 | 535 | 115,70 | 4,63 | 183,53 | 2,92 |
| 90% | 135 | 482 | 104,13 | 4,63 | 165,18 | 2,92 |
| 80% | 120 | 428 | 92,56 | 4,63 | 146,82 | 2,92 |
| 70% | 105 | 375 | 80,99 | 4,63 | 128,47 | 2,92 |
| 60% | 90 | 321 | 69,42 | 4,63 | 110,12 | 2,92 |
| 50% | 75 | 268 | 57,85 | 4,63 | 91,76 | 2,92 |
| 40% | 60 | 214 | 46,28 | 4,63 | 73,41 | 2,92 |
| 30% | 45 | 161 | 34,71 | 4,63 | 55,06 | 2,92 |
| 20% | 30 | 107 | 23,14 | 4,63 | 36,71 | 2,92 |
| 10% | 15 | 54 | 11,57 | 4,63 | 18,35 | 2,92 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram levantados também os consumos de energia para o sistema de ar-condicionado por um mês de funcionamento. Os consumos foram divididos em 2 faixas horárias: das 7 às 18 horas, conhecido como horário fora de ponta, e das 18 às 21 horas, conhecido como horário de ponta. Quando se utiliza contratação por demanda as concessionárias de energia utilizam tarifações diferentes de acordo com o horário.

Tabela 3: Consumo de energia de ponta e fora de ponta

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipo de Sistema** | **Chiler ar** | **Chiller ar** | **Chiller água** | **Chiller água** | **VRF** | **Split** |
| Evaporadoras | Fancoil | Cassetes | Fancoil | Cassetes | Cassetes | Cassetes |
| Consumo ponta | 5.760 | 1.140 | 3.446 | 1.220 | 1.620 | 2.519 |
| Consumo fora de ponta | 37.445 | 16.580 | 22.403 | 14.160 | 16.892 | 26.274 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os sistemas com chiller e fancoil são os que mais consomem energia, tanto no horário de ponta quanto fora de ponta, independentemente de o chiller ser a ar ou a água, conforme a Tabela 3. Isso ocorre porque, ao ser ligado, o sistema climatiza todo o prédio, independentemente da ocupação, e os fancoils distribuem ar por toda a rede de dutos, mesmo em salas desocupadas. Em contrapartida, os sistemas com chiller e cassetes têm baixo consumo no horário de ponta, pois são os mais eficientes para essa faixa de ocupação e horário.

Tabela 4: Custo mensal e anual de energia

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipo de Sistema** | **Chiler ar** | **Chiller ar** | **Chiller água** | **Chiller água** | **VRF** | **Split** |
| Descrição | Fancoil | Cassetes | Fancoil | Cassetes | Cassetes | Cassetes |
| Consumo Ponta (R$) | 17.718,95 | 3.507,03 | 10.601,08 | 3.753,13 | 4.983,06 | 7.750,63 |
| Consumo Fora Ponta (R$) | 20.161,55 | 8.927,30 | 12.062,47 | 7.624,28 | 9.095,40 | 14.146,96 |
| Demanda contratada (R$) | 9.220,17 | 9.220,17 | 9.220,17 | 9.220,17 | 9.220,17 | 9.220,17 |
| Custo mensal (R$) | 47.100,67 | 21.654,50 | 31.883,71 | 20.597,58 | 23.298,62 | 31.117,75 |
| Custo ano (R$) | 565.208,03 | 259.853,94 | 382.604,58 | 247.170,99 | 279.583,48 | 373.413,03 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os custos mensais e anuais de energia para cada sistema foram estimados e estão apresentados na Tabela 4. A tarifa aplicada ao consumo de ponta foi R$ 3,07634/kWh, e para o consumo fora de ponta, R$ 0,538438/kWh. A tarifa da demanda contratada foi R$ 35,191472 para 260 kWh. Os valores consideram as tarifas da Energisa, em Alagoas.

Observou-se o impacto das tarifas no custo da energia, especialmente no horário de ponta. O edifício opera 11 horas fora de ponta e 3 horas em ponta, com os custos durante o horário de ponta podendo representar até 45% do custo total da energia consumida.

Os sistemas com chiller e evaporadoras cassetes apresentaram os menores consumos de energia, seguidos pelos sistemas VRF. Já o sistema de chiller com fancoil tem maior consumo, pois não permite climatizar andares parcialmente; quando ligado, todo o prédio é climatizado.

Para análise de investimento, considera-se a vida útil dos equipamentos, estimada pelos fabricantes, conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Vida útil dos sistemas em anos

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipo de Sistema** | **Chiler ar** | **Chiller ar** | **Chiller água** | **Chiller água** | **VRF** | **Split** |
| Evaporadoras | Fancoil | Cassetes | Fancoil | Cassetes | Cassetes | Cassetes |
| Vida útil estimada | 15 | 15 | 15 | 15 | 9 | 5 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise do custo de investimento do sistema terá como base um período de 15 anos. Portando, será computado a compra de 3 sistemas splits com a duração de 5 anos para cada sistema. E de 1,66 vezes a aquisição de um sistema VRF para climatizar o prédio com 150 trs de carga térmica. Os valores foram levantados em sites de fabricantes, portais de licitação e consulta a instaladores.

Tabela 6: Custo total dos equipamentos e energia por 15 anos

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipo de Sistema** | **Chiler ar** | **Chiller ar** | **Chiller água** | **Chiller água** | **VRF** | **Split** |
| Evaporadoras | Fancoil | Cassetes | Fancoil | Cassetes | Cassetes | Cassetes |
| Custo total equipamento (R$) | 2.925.000 | 2.700.000 | 3.000.000 | 2.625.000 | 2.250.000 | 2.700.000 |
| Custo total de energia (R$) | 8.478.121 | 3.897.809 | 5.739.069 | 3.707.565 | 4.193.752 | 5.601.196 |
| Custo de energia e equipamentos (R$) | 11.403.121 | 6.597.809 | 8.739.069 | 6.332.565 | 6.443.752 | 8.301.196 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a tabela 6, os sistemas com chiller e cassetes terão o menor custo de aquisição e consumo de energia para os prédios estudados. Vale ressaltar que esse sistema terá um investimento inicial maior do que os Splits e VRFs, uma vez que o sistema de splits será trocado a cada 5 anos e o VRF após 9 anos.

A partir do estudo, foi possível identificar pontos positivos e negativos acerca de cada um dos sistemas estudados, conforme verificado no Quadro 1.

Quadro 1: Prós e contras dos sistemas de ar-condicionado

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Sistema** | **Prós** | **Contras** |
| **Chiller com fancoil** | - Altamente confiáveis. - Vida útil superior à 80.000 horas. - Climatização de grandes áreas. | - Alto investimento inicial. - Necessitam de centrais de água gelada e profissionais para operação. - Controle de temperatura por andar, sem ajuste individual por sala. - Climatizando todo o andar, sem considerar à ocupação, janlas sempre fechadas. |
| **Chiller com cassete** | - Altamente confiáveis.  -Vida útil superior à 80.000 horas. - Controle individual de temperatura por sala. - Acionamento seletivo das unidades. - Alto desempenho em diferentes faixas de demanda. | - Alto investimento inicial. - Necessitam de centrais de água gelada e profissionais para operação. |
| **VRF** | - Flexíveis. - Controle individual de temperatura por sala. - Consumo de energia eficiente em todas as faixas de carga. - Capacidade de interligar evaporadoras e condensadoras a grandes distâncias | - Assistência técnica especializada. - Obsolescência dos equipamentos. |
| **Split** | - Flexível e fácil instalação. - Controle individual de temperatura - Acionamento seletivo das unidades. - Adaptável a variações de carga térmica. | - Exige infraestrutura elétrica em cada sala. - Distância máxima entre evaporadoras e condensadoras limitada (20m linear e 8m de desnível). - Vida útil de aproximadamente de 5 anos |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto aos investimentos totais, é possível verificar que os equipamentos com maior custo de aquisição não irão garantir o menor consumo de energia, caso não estejam adaptados ao uso da edificação.

1. **Conclusão**

Na fase de projeto, é essencial adaptar os sistemas de um edifício ao seu uso para otimizar os custos de investimento e operação. Este estudo de caso identificou os melhores sistemas de refrigeração para um edifício em clima quente, com salas de escritório e horários de trabalho flexíveis, visando conforto ambiental, redução de custos de investimento e consumo de energia.

A pesquisa concluiu que a eficiência em cargas parciais é crucial para reduzir os custos de energia na climatização. Os resultados mostraram que sistemas com chillers podem ter desempenho variável em eficiência energética, dependendo da ocupação do edifício. Além disso, constatou-se que, nas 14 horas de operação, o custo das 3 horas de ponta representou 45% da energia consumida.

Quanto aos custos de investimento, observou-se que equipamentos mais caros nem sempre garantem maior eficiência energética. Como sugestão para estudos futuros, propõe-se avaliar edifícios com diferentes tipos de uso e ocupação, além de explorar sistemas de climatização mais eficientes que já estão disponíveis no mercado.

Este estudo é relevante pela busca contínua de projetistas para otimizar investimentos e reduzir o consumo de energia na operação de edifícios.

**Referências**

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL: **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL No 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021(\*)**. Disponível em: [ren20211000.pdf](https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf)

ASHRAE Design. Advanced energy design guide for small to medium office buildings. Book. Atlanta. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc**, 2014.

ASHRAE. 2016. Norma ANSI/ASHRAE/IES 90.1-2016. Atlanta: ASHRAE.

CHEN, Z. et al. A new energy consumption prediction method for chillers based on GraphSAGE by combining empirical knowledge and operating data. Applied Energy, v. 310, p. 118410, 2022.

FRANCO, A.; MISEROCCHI, L.; TESTI, D. HVAC energy saving strategies for public buildings based on heat pumps and demand-controlled ventilation. **Energies**, v. 14, n. 17, p. 5541, 2021.

IEA, International Energy Agency. Largest end-uses of energy by sector in selected IEA countries, 2017, Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/largest-end-uses-of-energy-by-sector-in-selected-iea-countries-2017>>. Acesso em: 06 mar. 2025

KARALI, N. et al. Improving the energy efficiency of room air conditioners in China: Costs and benefits. **Applied Energy**, v. 258, p. 114023, 15 jan. 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo, **Eletrobrás/Procel**, 2014, 3a edição.

LI, Q.; ZHANG, L.; ZHANG, L.; WU, X. Optimizing energy efficiency and thermal comfort in building green retrofit. **Energy**, v. 237, p. 121509, 2021.

MATHEW, P. A.; DUNN, L. N.; SOHN, M. D.; MERCADO, A.; CUSTUDIO, C.; WALTER, T. Big data for building energy performance: Lessons from assembling a very large national database of building energy use. **Applied Energy**, v. 140, p. 85-93, 2015.

MIRABELLA, N.; RÖCK, M.; SAADE, M. R. M.; SPIRINCKX, C.; BOSMANS, M.; ALLACKER, K.; PASSER, A. Strategies to improve the energy performance of buildings: A review of their life cycle impact. **Buildings**, v. 8, n. 8, p. 105, 2018.

PAPADAKIS, N.; KATSAPRAKAKIS, D. A. A Review of Energy Efficiency Interventions in Public Buildings. **Energies**, v. 16, n. 17, p. 6329, 1 jan. 2023.

PARK, D. Y.; YUN, G.; KIM, K. S. Experimental evaluation and simulation of a variable refrigerant-flow (VRF) air-conditioning system with outdoor air processing unit. Energy and Buildings, v. 146, p. 122-140, 2017.

PARK, H. S.; LEE, M.; KANG, H.; HONG, T.; JEONG, J. Development of a new energy benchmark for improving the operational rating system of office buildings using various data-mining techniques. **Applied Energy**, v. 173, p. 225-237, 2016

PINHEIRO, B. C.; SANTANA, P. H. de M. AHP-based decision making to selecting energy-efficient air conditioning equipaments in a commercial building. **Energy and Buildings**, v. 329, p. 115281–115281, 6 jan. 2025.

SAIDUR, R. et al. Chillers energy consumption, energy savings and emission analysis in an institutional building. Energy, v. 36, n. 8, p. 5233-5238, 2011.

THIANGCHANTA, Surasit et al. Energy reduction of split-type air conditioners using a pre-cooling system for the condenser. Energy Reports, v. 7, p. 1-6, 2021.

VELOSO, A. C.; SOUZA, R. V. G.; KOURY, R. N. N. Research of design features that influence energy consumption in office buildings in Belo Horizonte, Brazil. **Energy Procedia**, v. 111, p. 101-110, 2017.