

MILENA THIEMI INOUE

Estudo de caso de sustentabilidade e eficiência energética
em um escritório corporativo

São Paulo
2019

MILENA THIEMI INOUE

Estudo de caso de sustentabilidade e eficiência energética
em um escritório corporativo

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada de Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Energia Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética

Tema: Eficiência Energética

Orientador: Prof. Msc. Eduardo Yamada

São Paulo
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço sobretudo a Deus, por estar presente em minha vida.

Aos meus pais, Masao e Marilene, e meus irmãos, Natália e Raphael, minha fonte de inspiração de disciplina, dedicação e generosidade.

Ao Rodrigo, pelo amor e apoio em todos os momentos.

Ao professor Eduardo Yamada, pela paciência e suporte.

RESUMO

A energia se tornou uma das principais mercadorias do mundo moderno, e, embora a utilização de fontes renováveis para geração de energia esteja crescendo, também é necessário que sua utilização seja cada vez mais eficiente. Assim, a gestão da energia tem sido foco de diversos mercados.

No mundo corporativo, as empresas tem buscado ter escritórios cada vez mais eficientes, para economia de custos operacionais e para que o mesmo esteja alinhado com sua missão e visão com o meio ambiente.

Os maiores consumidores de energia neste tipo de empreendimento são os sistemas de ar condicionado e ventilação e iluminação. Optou-se, então, em abordar os sistemas e recursos que ajudam a torná-los mais eficientes.

A abordagem do estudo de caso, um escritório de uma empresa em São Paulo, traz algumas destas soluções: sistema de controle de iluminação, sistema de persianas automáticas, controle por demanda de ventilação e sistema de ar condicionado por VRFs.

Palavras-chave: eficiência energética; sustentabilidade; escritórios corporativos

ABSTRACT

Energy has become one of the main products of the modern world and, although the use of renewable sources for energy generation is increasing utilization needs to become more efficient. Energy management is the focus for various markets.

In the corporate world, companies are searching for efficient offices, to lower their operational costs and to be aligned with their mission and values with environment.

The largest energy consumptions in corporate offices are HVAC and lighting systems. Then, the systems that best contribute to make them more efficient were discussed in this paper.

The study brought up some of the solutions installed in a corporate office in São Paulo: lighting control system, automatic blind controls, demand control ventilation and VRF for HVAC system.

Key words: energy efficient; sustentability; corporate offices

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Benefícios de produtividade e na saúde de edifícios certificados.....	3
Figura 2: Consumo anual específico por uso final.....	5
Figura 3: Equilíbrio de CO ₂ em várias taxas de ventilação por pessoa	12
Figura 4: Taxa de ventilação pelo método de controle de ventilação por demanda	13
Figura 5: Recepção/Espera do escritório.....	20
Figura 6: Planta baixa do pavimento	22
Figura 7: Área de janela da fachada.....	23
Figura 8: Área de trabalho próxima à fachada.....	23
Figura 9: Sensores de luminosidade posicionados próximos à fachada	24
Figura 10: Sensor de presença na área de trabalho	25
Figura 11: Sensor de presença no teto de uma sala de reunião média com dimerização.....	26
Figura 12: Sensor de presença no teto de uma sala de reunião pequena	27
Figura 13: Sensor de presença no teto de um banheiro.....	28
Figura 14: Antes de radiofrequência.....	29
Figura 15: Ponto de controle de iluminação	30
Figura 16: Controle para luminária dimerizável	31
Figura 17: Painel elétrico para automação de iluminação	32
Figura 18: Central de controle de iluminação	33
Figura 19: Fachada com persianas fechadas devido à incidência solar.....	34
Figura 20: Fachada com persianas abertas sem incidência solar	34
Figura 21: Software que possibilita controle local com <i>smartphone</i>	35
Figura 22: Medidor de CO ₂ instalado em área aberta	36
Figura 23: Medidor de CO ₂	37
Figura 24: Medidor de CO ₂ instalado em uma sala de reunião pequena	37
Figura 25: Termostato em uma sala de reunião	39
Figura 26: Leitura de um termostato.....	40
Figura 27: Unidades externas instaladas na área técnica	41
Figura 28: Ecoquest instalada no duto de ar-condicionado	42

Figura 29: Gráfico gerado no site de Benchmarking para Escritórios Corporativos.....48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo de energia elétrica por classe de consumo (GWh)	1
Tabela 2: Consumo de energia de escritórios por utilização final	4
Tabela 3: Densidade de potência luminosa em ambientes de escritórios corporativos	18
Tabela 4: Densidade de potência luminosa no projeto	19
Tabela 5: Consumo mensal de iluminação com demanda 80%	43
Tabela 6: Consumo de energia sem e com sistema de automação de iluminação	43
Tabela 7: Potência elétrica dos equipamentos de ar condicionado	44
Tabela 8: Potência elétrica de sistema de chiller à água	44
Tabela 9: Potências elétricas de sistema VRF e sistema de chiller à água	45
Tabela 10: Consumo de energia com ar condicionado com a utilização de sistema de persianas automatizadas	45
Tabela 11: Consumo de energia com ar condicionado com a utilização de sistema de controle de ventilação por demanda	46
Tabela 12: Consumos totais sem tecnologias de eficiência energética	46
Tabela 13: Consumos totais com tecnologias de eficiência energética	47
Tabela 14: Consumo anual por m ²	47

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. <i>Justificativa</i>	2
1.2. <i>Objetivos</i>	5
1.3. <i>Metodologia</i>	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. <i>Iluminação e controle</i>	7
2.1.1. Iluminação LED	7
2.1.2. Sistema de automação de iluminação	7
2.2. <i>Sistema de persianas automatizadas</i>	8
2.2.1. Utilização de persianas versus conforto visual e bem-estar	10
2.3. <i>Controle de ventilação por demanda</i>	10
2.4. <i>Sistemas de ar condicionado</i>	14
1.1.1. Central de Água Gelada (CAG)	14
1.1.2. Selfs	14
1.1.3. Splits	15
1.1.4. Sistema VRF	15
1.1.5. Vantagens do sistema VRF	15
1.1.6. Cálculo da carga térmica	16
3. ESTUDO DE CASO	18
3.1. <i>Iluminação e controle</i>	18
3.1.1. Iluminação em LED	18
3.1.2. Controles de iluminação	20
3.2. <i>Sistema de persianas automatizadas com estação meteorológica</i>	33
3.3. <i>Controle de ventilação por demanda – medição de CO₂</i>	36
3.4. <i>Sistema de ar condicionado VRF</i>	38
4. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	43
4.1. <i>Iluminação e controle</i>	43

	x
4.2. <i>Sistema de ar condicionado por VRF</i>	44
4.3. <i>Sistema de persianas automatizadas</i>	45
4.4. <i>Controle de ventilação por demanda</i>	46
4.5. <i>Resumo de consumos de energia elétrica</i>	46
5. CONCLUSÃO	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

Segundo Lamberts et al. (1997), um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com um menor custo de energia. Nos edifícios, a energia é usada na forma de eletricidade para operar equipamentos destinados a segurança, eficiência e conforto de seus ocupantes e usuários. Tais equipamentos incluem sistemas de refrigeração, iluminação, transporte vertical, operação dos escritórios e outros dispositivos. (SHAFA e KRUGER, 2004)

Em 2017, a classe comercial representou 18,9% do consumo de energia do Brasil, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Consumo de energia elétrica por classe de consumo (GWh)

	Consumo (GWh)	%
Brasil	467.161	100
Industrial	167.398	35,8
Residencial	134.368	28,8
Comercial	88.292	18,9
Rural	28.136	6,0
Iluminação pública	15.443	3,3
Serviço público	15.196	3,3
Poder público	15.052	3,2
Próprio	3.277	0,7

Fonte: (EPE, 2018)

Um unidade consumidora pertencente à classe comercial caracteriza-se por exercer atividade comercial ou prestação de serviços, exceto dos serviços públicos ou outras atividades não previstas nas demais classes.

1.1. Justificativa

Um escritório corporativo, em geral, é localizado em um edifício comercial grande, com muitos andares e áreas de laje que podem chegar a mais de 2000 m². Em muitos casos, os edifícios são multiusuários, ou seja, possui vários proprietários e locatários. Embora, em edifícios mais antigos, a medição de energia e água seja única, nos mais recentes e modernos, as contas são divididas entre os consumos das áreas comuns e consumo das áreas privativas.

Áreas comuns são as áreas abertas aos usuários, por exemplo, garagens, recepção e hall de elevadores. O consumo destas áreas normalmente vem embutidas no valor do condomínio, que também inclui o consumo de elevadores, sistemas centrais de ar condicionado (quando é o caso), bombas hidráulicas, etc. As áreas privativas podem ainda possuir medidores individuais, da concessionária ou do condomínio (neste caso, este faz o rateio das contas).

Escritórios corporativos tem altas densidades de consumo energético, devido ao uso intenso de computadores e centrais de processamento de dados (CBCS, 2015). Também são áreas quase 100% condicionadas para proporcionar conforto térmico aos usuários. Ou seja, seu consumo de energia por área é elevado.

Assim, para que seus escritórios estejam cada vez mais em harmonia com as novas práticas empresariais, as corporações estão buscando soluções visando a eficiência energética e sustentabilidade.

Com a crise econômica pela qual o país vem passando, muitos espaços corporativos foram sendo desocupados. Isto está gerando uma movimentação do mercado mobiliário, chamado de *"flight to quality"*. Prédios antigos, sem sistemas de ar condicional central, lajes pequenas e ineficientes, além de ausência de tecnologias como controle de acesso e elevadores inteligentes vem perdendo lugar para edifícios mais novos e modernos. Estes últimos oferecem menores taxas (aluguel e condomínio) e soluções de instalações que proporcionam economia de água e energia. As corporações também veem a oportunidade de redução de custo operacional.

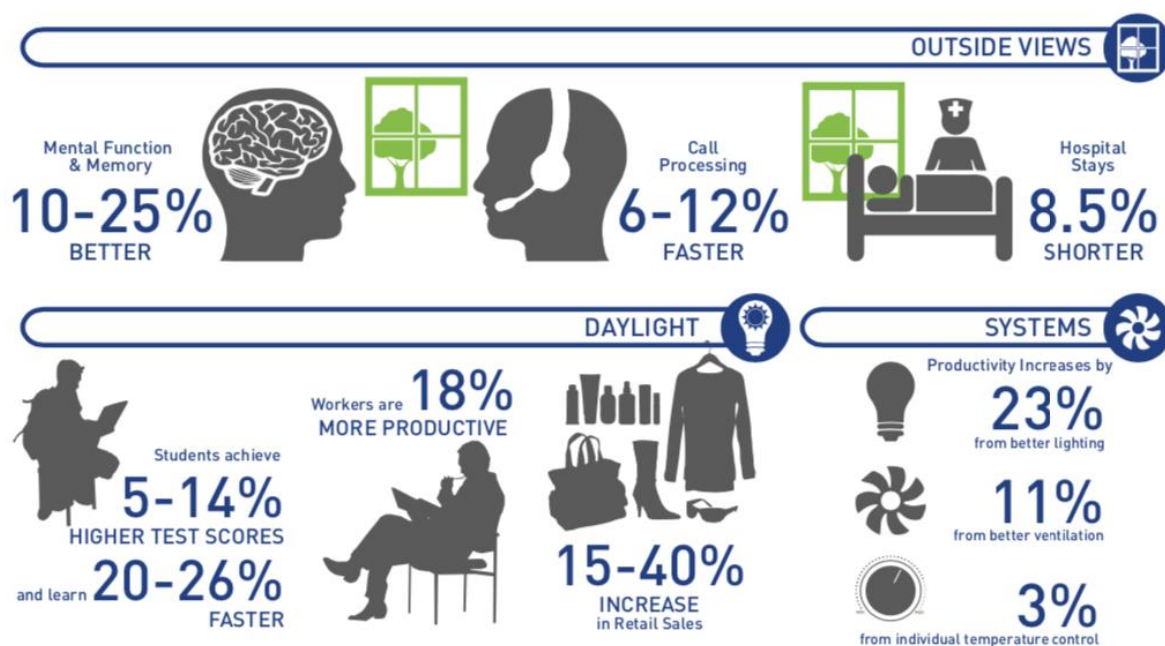
A mudança para um edifício mais moderno também gera vantagens competitivas que diferenciam o ambiente de trabalho interno da corporação. A qualidade do espaço e o bem-estar dos funcionários são, comprovadamente, fatores

que influenciam na retenção e atração de novos talentos. (Escritórios de advocacia buscam o "fligh to quality", 2017)

Nestes edifícios mais modernos, onde há a busca por sistemas com alta eficiência para redução de consumo de energia, a solução para as fachadas vem na contramão: sistemas de fechamento em vidro. Assim, há o desafio para manter o conforto térmico e visual de seus ocupantes com baixo consumo de energia.

As grandes corporações também compreenderam que investir em pequenas melhorias no ambiente de trabalho resulta em melhor produtividade, bem estar e saúde de seus funcionários. O negócio tem ganhos financeiros maiores do que em ambientes convencionais. (WORLD GREEN BUILDING COUNCIL, 2013) **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra os benefícios de produtividade e na saúde de trabalhadores e estudantes em edifícios certificados LEED.

Figura 1: Benefícios de produtividade e na saúde de edifícios certificados



Fonte: The business case for green building, 2013

Muitos estudos tem focado na relação entre a luz natural, bem estar psicológico e a produtividade de trabalhadores e estudantes. O impacto da luz natural no ambiente de trabalho no sono, na qualidade de vida e na saúde também depende da qualidade da luz natural. (EUROPEAN SOLAR-SHADING ORGANIZATION, 2018)

Escritórios nos Estados Unidos são responsáveis por 17% de áreas não residenciais e 18% de toda utilização de energia, equivalente a 3,2% de todo consumo. Na Espanha, são responsáveis por um terço do consumo de energia comercial e quase 2,7% do total de energia consumida e no Reino Unido por 17% de consumo de energia e 2% de utilização de energia. (PÉREZ-LOMBARD, ORTIZ e POUT, 2007)

A Tabela 2 mostra o consumo de energia destes países divididos pelo consumo final.

Tabela 2: Consumo de energia de escritórios por utilização final

	EUA (%)	Reino Unido (%)	Espanha (%)
Ar condicionado e ventilação	48	55	52
Iluminação	22	17	33
Equipamentos	13	5	10
Aquecimento de água	4	10	-
Preparação de comida	1	5	-
Refrigeração	3	5	-
Outros	10	4	5

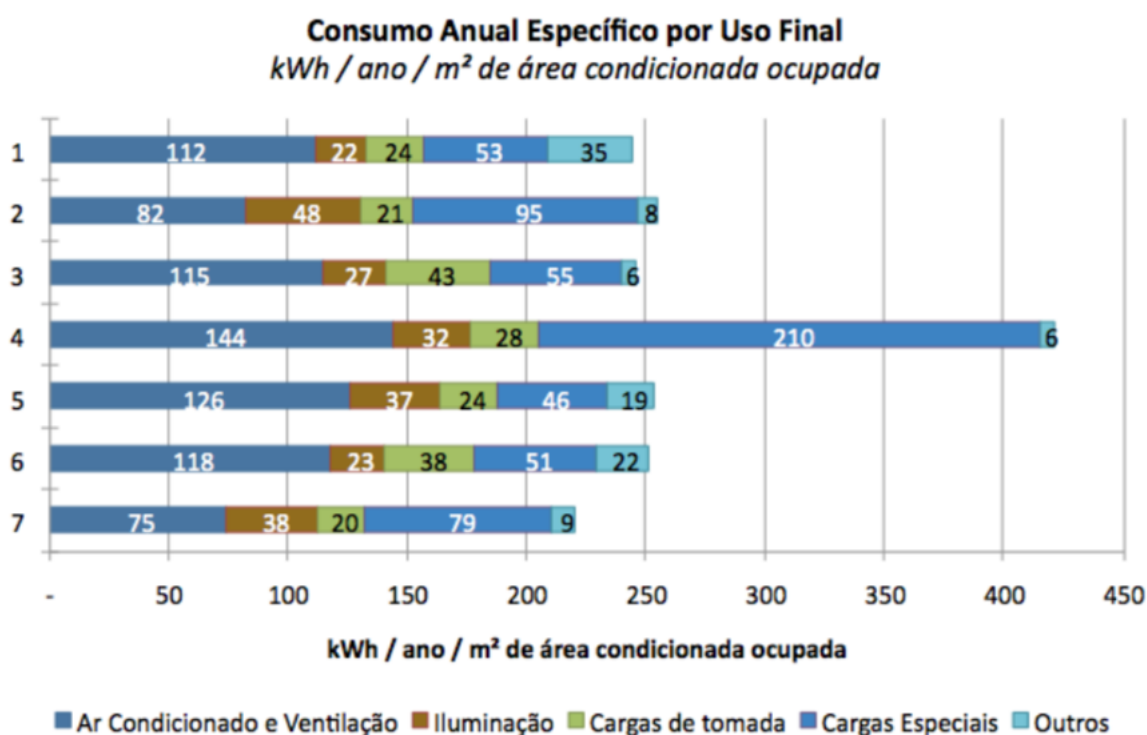
Fonte: (PÉREZ-LOMBARD, ORTIZ e POUT, 2007)

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra o consumo elétrico dividido pelo uso final de uma pesquisa com edifícios corporativo. No gráfico é possível verificar que os maiores consumidores são os sistemas de ar condicionado e ventilação, seguido de iluminação. Estes são alguns dos itens que serão abordados neste trabalho, dividido em 4 itens:

- Sistemas de ar condicionado
- Iluminação e controle
- Sistemas de persianas automáticas
- Controle de demanda de ventilação

Os dois últimos itens não são grandes consumidores de energia elétrica diretamente, porém seu correto funcionamento traz benefícios nos sistemas de ar condicionado e iluminação, no caso das persianas, e para ar condicionado, no caso da controle de demanda de ventilação.

Figura 2: Consumo anual específico por uso final



Fonte: (CBCS, 2015)

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é a abordagem das soluções que foram aplicadas no estudo de caso para trazer eficiência energética a um escritório corporativo, destacando as instalações de iluminação, sistemas de persianas, controle de demanda de ventilação e ar condicionado.

1.3. Metodologia

A metodologia consiste na revisão bibliográfica dos maiores consumidores de energia de um escritório corporativo, indicando quais soluções estão sendo adotadas para que o impacto no meio ambiente seja cada vez menor.

Neste trabalho foi escolhido como estudo de caso um escritório de uma empresa de consultoria na área de eficiência energética e sustentabilidade. Para que sua nova sede esteja alinhada com sua visão e missão, durante o desenvolvimento do seu projeto, foram adotadas diversas soluções para a redução de consumo de energia elétrica e tornar o escritório mais sustentável.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Iluminação e controle

Atualmente, o consumo de energia proveniente da iluminação é bem menor do que no século passado, devido à substituição da iluminação convencional (lâmpadas incandescentes, fluorescentes, halógenas, etc) por iluminação do tipo LED. Houve uma redução expressiva no consumo de energia vindo da iluminação. Ainda sim, como é possível analisar na Tabela 2, iluminação é a segunda maior consumidora de energia dentro de escritórios.

2.1.1. Iluminação LED

A redução do custo de implantação desta tecnologia impulsionou as substituições nos ambientes corporativos e indústrias e, depois, nas residências.

Além de possuírem baixo consumo de energia, chegando à 20% das lâmpadas convencionais, o LED tem maior tempo de vida. Ou seja, sua substituição é bem menor, gerando menos lixo a ser descartado no meio ambiente.

Tudo isso, vale ressaltar, sem prejudicar o conforto visual para os usuários.

A iluminação em LED também apresenta menor dissipação térmica, reduzindo a carga térmica no dimensionamento do sistema de ar condicionado.

Atualmente, várias certificações de eficiência energética e sustentabilidade como o LEED, AQUA e PBE Edifica, delimitam limites para a densidade de potência luminosa (DPL) de acordo com o ambiente. Garantindo, assim, que o mercado continue na busca por soluções de iluminação cada vez mais eficientes.

2.1.2. Sistema de automação de iluminação

Quando comparado a um sistema manual de controle (interruptores), é possível uma economia de até 60% de energia com a utilização de diversas estratégias de controle de iluminação. A porcentagem de economia depende da taxa de ocupação, e outros fatores.

A utilização de sistemas de automação de iluminação como o do fabricante Lutron, pode reduzir o consumo de energia total até 23%. Economias maiores podem ser obtidas com a integração de sistemas de controle de ar condicionado e persianas.

A simples programação horária para desligamento de 50% da iluminação após o horário de trabalho já resulta em uma redução de 10 a 20% do consumo.

Uma outra estratégia bastante utilizada e de simples implementação é a adoção de sensores de presença nos ambientes de trabalho. A economia com o desligamento das luminárias depende dos períodos de ausência de trabalhadores.

A adoção de luminárias dimerizáveis aumenta as possibilidades de economia de energia. Sua utilização com controle local (dimmer) já proporciona redução de consumo pois este é proporcional ao seu nível de dimerização.

Sua utilização em conjunto a sensores de luminosidade permitem que o nível de iluminamento do ambiente seja adequado e usufrua da contribuição de iluminação externa. Por exemplo, em uma área de trabalho próxima à fachada, em um dia ensolarado, as luminárias podem ser dimerizadas para que o nível de iluminamento final seja de 500 lux (exigido pela norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 Iluminação em ambientes de trabalho). Há casos em que as fileiras de luminárias mais próximas à fachada chegam a ser desligadas.

Este tipo de aplicação evita o ofuscamento, que, segundo estudo conduzido pela Heschong Mahone Group, reduz a produtividade em até 25%.

A interligação entre os sistemas de automação de iluminação e o de controle de persianas (ou até mesmo utilizar o mesmo sistema) será visto no próximo item.

2.2. Sistema de persianas automatizadas

Sombreamento solar é um termo utilizado para as medidas passivas para limitar a entrada excessiva de calor do sol, desde sombra de árvores, toldos fixos, até persianas automatizadas. É um elemento chave no melhoramento da eficiência energética e na gestão de iluminação natural de edifícios existentes e na otimização de construções com design de baixo consumo energético.

Nos países localizados em baixas latitudes (como Estados Unidos e países da Europa), o sombreamento solar tem grande importância, já que os sistemas de fachadas e janelas devem rejeitar o calor em períodos de verão e reter o calor no inverno, para melhor aproveitamento dos sistemas de aquecimento e climatização.

Embora quase toda extensão brasileira não se encontra em regiões de invernos rigorosos e não há preocupação com retenção de calor no inverno, o

sombreamento solar é importante devido à alta insolação que sofre na maior parte do ano.

Neste caso, em ambientes corporativos, a solução que vem sendo adotada é a utilização de sistemas de persianas internas automatizadas.

O mercado de persianas tem buscado inovação em tecidos e materiais para controlar a entrada de luz natural durante o dia e otimizar o controle do brilho para evitar ofuscamento. Porém, a utilização de persianas manuais (cujos ajustes são pouco frequentes pelos usuários) resulta em pouco aproveitamento de iluminação natural e um controle não otimizado para as cargas mecânicas do prédio. (WANKANAPON e MISTRICK, 2011)

Esta tecnologia, ainda subutilizada, tem grandes impactos na redução do consumo de energia de empreendimentos ao mesmo tempo que melhora o conforto térmico e visual de seus ocupantes.

Estudo desenvolvido por Lillefair, Ortiz e Bhaumik mostram que no Reino Unido, a redução média de emissão de gás carbônico com um sistema automático de persianas é de 3%, quando comparado a um sistema manual. Este resultado depende do clima local.

Para fazer a escolha certa em termos de produtos e gerenciamento de fachadas ao projetar um novo edifício ou preparar trabalhos para um existente, é necessário levar em consideração as características dos dispositivos de proteção solar. De fato, esses produtos afetam o nível de isolamento da fachada, sua transmissão solar e sua transmitância visual. Como consequência, é necessário encontrar o melhor equilíbrio entre todas essas características, dependendo das propriedades do edifício, sua localização e orientação. (EUROPEAN SOLAR-SHADING ORGANIZATION, 2018)

Quanto maior o aproveitamento de iluminação natural, menor a necessidade de iluminação artificial durante o dia, o que, por sua vez, reduz o consumo energético de iluminação artificial, climatização e aquecimento e reduz os custos de manutenção por menor tempo de atuação.

A utilização de um sistema de controle de persianas, combinado a vidros transparentes e isolados garantem o aproveitamento da luz natural reduzindo sua intensidade mas sem alterar seu espectro. Assim, o sombreamento é apenas utilizado nas horas de sol incidente na fachada específica. Dependendo do clima e

região, a proteção solar é necessária entre 10 e 20% das 4500 horas de luz do dia. (EUROPEAN SOLAR-SHADING ORGANIZATION, 2018)

O sistema de persianas internas é posicionado para maximizar o aproveitamento de luz natural mas evitar o ofuscamento e aquecimento. Sua utilização reduz o consumo de energia dos sistemas de climatização entre 2 a 16%. (SUSTENTECH, 2016)

Há ainda a possibilidade de integração do sistema com a automação de iluminação: sensores de presença detectam a ausência de usuários (*Eco mode*) e baixam as persianas e quando detectam presença, entram no modo automático (*Comfort Mode*). Neste caso, a redução pode chegar a 30%. (SUSTENTECH, 2016)

Um estudo realizado por Wankanapon e Mistrick, 2011, nos Estados Unidos mostrou os resultados de simulação no software EnergyPlus considerando a utilização de persianas automatizadas com sistemas de iluminação dimerizável em dois locais: Minneapolis, MN e Houston, TX. Minneapolis está localizada em um região fria, como predominância na utilização de sistemas de aquecimento e Houston, em uma região mais quente, com utilização de sistemas de ar condicionado na parte do ano. No clima frio, a economia de energia no total pode chegar a 11% e, no clima quente, 36%. Concluiu-se, também, que a economia de energia é diferente de acordo com a orientação da fachada.

2.2.1. Utilização de persianas versus conforto visual e bem-estar

Resultados de diversos estudos sugerem que tanto a iluminação natural quanto a luz brilhante artificial (muito maior que a mínima requerida entre 300 e 500 lux), particularmente nas manhãs, traz melhoras significativas em diversos aspectos na saúde, como depressão, agitação, sono, atividade de sono circadiana e transtorno afetivo sazonal. (EUROPEAN SOLAR-SHADING ORGANIZATION, 2018)

Os efeitos da exposição à luz, ou a falta dela, ilustram sua importância no bem estar físico e mental.

2.3. Controle de ventilação por demanda

A Resolução nº 9 da ANVISA (2003) estabelece que a concentração máxima permitida de dióxido de carbono no ambiente seja de 1000 ppm (partes por milhão), isto é, 0,1% da composição do ar. A exposição prolongada às más condições do ar

interno pode causar riscos à saúde, devido tanto aos agentes patológicos quanto ao estresse térmico.

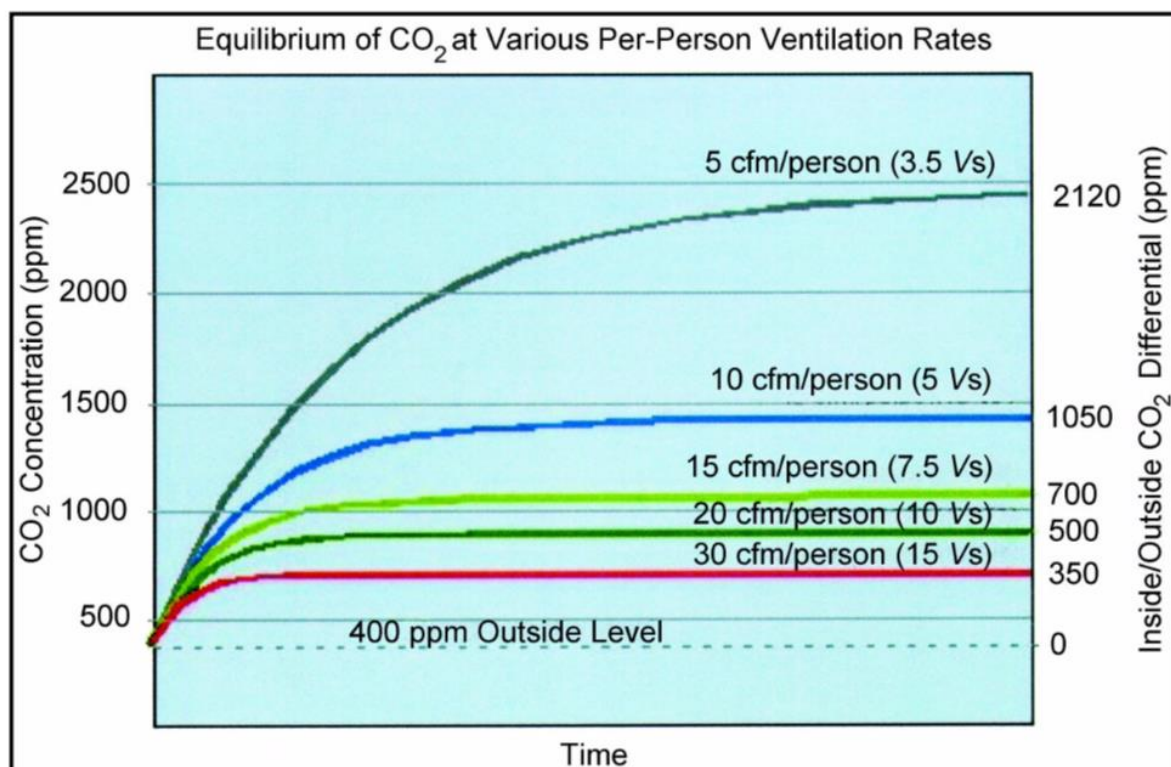
O dióxido de carbono também está presente no ambiente interno, resultado do processo respiratório das pessoas e das máquinas em que ocorre combustão, quando se aplica. Em níveis altos, pode causar sonolência e até asfixia. Embora não seja tão prejudicial quanto os outros gases, é comumente utilizado como um indicador da qualidade do ar e eficiência de ventilação; em salas ocupadas o nível de CO₂ aumenta se a taxa de renovação de ar por pessoa for menor do que a recomendada por normas, por isso, é considerado um bom indicador para verificar a adequação quanto à tomada de ar externo (SUZUKI, 2010)

Quando não é possível a prevenção, torna-se necessária a detecção destes problemas para que haja uma manutenção corretiva, a fim de garantir o conforto e saúde dos ocupantes de edifícios, uma vez que a maioria das pessoas passa cerca de 90% do tempo em ambientes fechados (ISAIQ-CIB TG 42, 2004)

Quando não há controle, o ventilador de ar externo trabalha no máximo, ou seja, considerando ocupação máxima do ambiente. Assim, o controle de ventilação por demanda é um modo de modular a ventilação de ar externo baseado na ocupação real. (SCHELL e INTROUT, 2001)

A Figura 3 do artigo de Schell e Inhout (2001) mostra como a concentração de CO₂ se comporta em um ambiente de escritório com concentração de CO₂ externa de 400 ppm. Cada linha representa como o CO₂ aumenta dependendo da velocidade de ventilação por pessoa. O ponto onde a concentração para de subir é onde a produção de CO₂ pelas pessoas entra em equilíbrio com a taxa de diluição no espaço. Estes pontos de equilíbrio são universais por espaço ocupado por adulto em um ambiente de escritório, no entanto, o ponto varia em função da concentração externa.

Figura 3: Equilíbrio de CO₂ em várias taxas de ventilação por pessoa



Fonte: (SCHELL e INTHOUT, 2001)

Muito ambientes tem sua taxa de reposição de ar externo calculada para seu pico de ocupação, que é o pior caso de dimensionamento. Porém, este pico de ocupação pode ocorrer com baixa frequência e seu sistema permanecer em seu funcionamento máximo. Esta ventilação pode diminuir durante períodos noturnos, vazios ou de baixa ocupação.

Quando a ventilação é reduzida, o usuário economiza energia pois não é necessário refrigerar ou aquecer o ar externo.

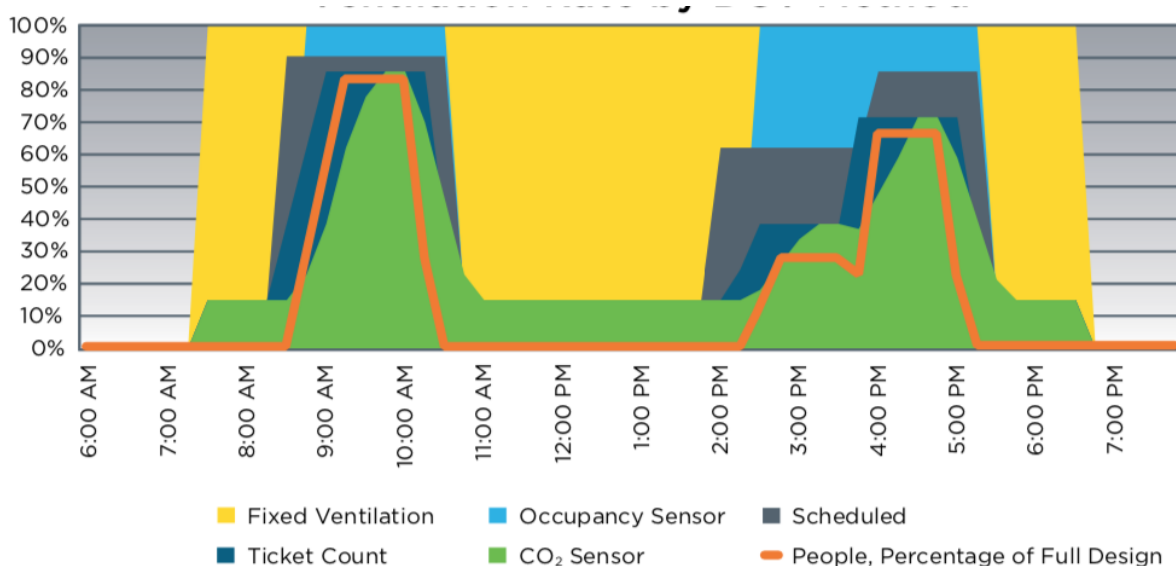
A ocupação pode ser medida de muitas formas:

- Medidores de CO₂: sensores em cada ambiente ou no ar de retorno e ajusta a ventilação baseada na concentração de CO₂, partindo do princípio que as pessoas exalam este gás e quanto maior sua concentração, maior deve ser a velocidade do ventilador;
- Contagem de ocupação utilizando catracas, vendas de ingressos, vídeo de reconhecimento, e outros métodos para obter um número aproximado de ocupação no ambiente;

- Sensor de ocupação utilizado em sistemas de iluminação para detectar se o espaço está ocupado. Neste caso, se está ocupado, a ventilação funcionará na velocidade máxima, não sendo diferenciado se há uma pessoa ou várias;
- Programação de ventilação pode ser utilizada em ambientes como salas de aula ou salas de reunião. Neste sistema, a ocupação é baseada na programação de horário de locação ou aulas. Para ser mais efetivo, o sistema pode ter uma entrada de dados de horários com um calendário de ocupação;
- Manutenção de concentração de CO₂ aplicado ao sistema de VAV: a velocidade de ventilação requerida é calculada pelas condições de cada zona.

Qualquer um dos métodos listados acima atendem ao controle de ventilação por demanda (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2012), porém o sensor CO₂ de é a opção que mais aproxima o funcionamento do sistema com a real necessidade, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4: Taxa de ventilação pelo método de controle de ventilação por demanda



Fonte: (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2012)

Assim Brambley, Haves, et al., 2005 sugerem que o controle de ventilação por demanda gere uma redução de consumo de energia de 10 a 15% em prédios comerciais.

2.4. Sistemas de ar condicionado

Os sistemas de ar condicionado e ventilação de um escritório corporativo podem representar até 60% do consumo de energia elétrica, dependendo do clima local. Tal dado tem levado à busca de solução cada vez mais eficazes, ou seja, que consumam cada vez menos energia, mas trazendo conforto térmico ao usuário.

Independente do sistema de ar condicionado implantado, este é sempre o maior consumidor de energia em edifícios de escritórios corporativos. Abaixo estão listada algumas das tecnologias mais utilizadas:

1.1.1. Central de Água Gelada (CAG)

Este sistema dispõe de uma central de água gelada, que contém *chillers* e bombas. A central distribui água gelada para o *fancoils* localizados nos pavimentos. Nos *fancoils*, a água gelada resfria o ar, que é insuflado nos ambientes através de difusores e grelhas.

Para o insuflamento de ar, há dois tipos de distribuição.

- Sistemas de VAVs (Volume de Ar Variável): a distribuição de ar é controlada para reduzir o consumo. Cada zona tem seu próprio sensor de temperatura e *setpoint*. De acordo com a leitura do sensor, o difusor da VAV abre ou fecha para passagem de mais ou menos ar. O *fancoil* modula sua velocidade para manter a pressão dos dutos conforme as aberturas e fechamentos das VAVs.
- Sistemas de VAC (Volume de Ar Constante): a distribuição de ar é constante.

Nos dois casos, a rejeição de calor da CAG pode ser por condensação a ar ou a água.

1.1.2. Selfs

Composto por máquinas *self-contained* localizadas nas salas de máquinas dos pavimentos, que fazem o ciclo completo de refrigeração. O ar resfriado é insuflado nos ambientes através de dutos e difusores. Presentes em edifícios comerciais mais antigos, apresentam alto consumo elétrico.

Neste caso, a rejeição de calor pode ser feita por condensação a água ou a ar.

1.1.3. Splits

Composto por equipamentos *splis* ou *multisplits*, e ar condicionado de janelas individuais. Também apresentam em edifícios comerciais mais antigos.

Raramente possuem sistema de automação e seus níveis de eficiência são baixíssimos.

1.1.4. Sistema VRF

Nesta busca de soluções mais eficazes, vem se destacando os equipamentos VRFs (do inglês *variable refrigerant flow*), ou, em tradução livre, fluxo de refrigerante variável.

O sistema VRF é um sistema inteligente de ar condicionado, que possui uma unidade externa (unidade condensadora) que pode controlar individualmente várias unidades internas (unidades evaporadoras).

Esse sistema de controle que proporciona maior economia de energia. Com a leitura via termostato individual de cada ambiente, se a temperatura encontra-se na mesma definida como *setpoint*, a vazão de ar é reduzida, diminuindo o esforço (ou velocidade) que a unidade condensadora deve operar. Esta controlabilidade por ambiente é outro diferencial do sistema VRF, pois aumenta a eficácia do sistema e traz maior conforto térmico ao usuário.

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis (CBCS), há uma tendência no mercado para aumento de utilização de VRFs em novas edificações.

1.1.5. Vantagens do sistema VRF

Este sistema é modular, o que permite uma maior flexibilidade na instalação e expansão. Utiliza gases refrigerantes livres de cloro, não agredindo a camada de ozônio.

Não necessita grandes dutos para sua distribuição e pelos seus compressores serem de alta capacidade, há a facilidade de adaptação em estruturas existentes e percorrer longas distâncias (horizontais até 1000 m e verticais até 100 m). Sua instalação também é simples, muito parecida com o convencional sistema *split*.

Pela natureza dos sistemas, a utilização de condensação a água (com torres de resfriamento) tem um maior nível de eficiência quando comparado a

condensação a ar. Porém, há um consumo elevado de água no sistema, que deve ser considerado numa avaliação global.

Outros fatores que tem grande impacto no consumo de energia do sistema de ar condicionado é a temperatura de operação. A alteração de 1 grau pode reduzir o consumo energético em 8%, do acordo com dados do Relatório Final do Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação DEO no Brasil.

O sistema VRF possui compressor com variador de frequência, que modula a vazão de compressão em função da demanda térmica, trazendo uma maior economia de energia.

Seu sistema de controle e monitoramento eletrônico e motorizado otimiza a operação e facilita a manutenção e integração com outros sistemas.

1.1.6. Cálculo da carga térmica

Construções mais recentes buscam soluções com maior isolamento térmico para diminuição da carga térmica a ser considerada no dimensionamento do sistema de ar condicionado.

No entanto, empreendimentos comerciais veem aumentando a área envidraçada e essa pode ultrapassar 30% da fachada, dependendo do projeto de arquitetura. Nestes casos, a posição do edifício e o fator solar do vidro tem alta importância no cálculo da carga térmica. Um vidro de alta performance pode reduzir os equipamentos do sistema de ar condicionado a serem instalados. A ASHRAE 90.1 recomenda uma relação de áreas entre janelas (window) e paredes (wall) (WWR) máxima de 0,40 e o coeficiente de sombreamento do vidro 0,26.

Outro fator importante é a carga térmica proveniente da iluminação. Grande parte dos sistemas de iluminação dos novos empreendimentos ou em *retrofit* estão utilizando o LED, que tem menor dissipação térmica que seus predecessores (lâmpadas fluorescentes, incandescentes).

A norma NBR 16401:2008 Instalações de ar condicionado – Sistemas e centrais unitários Parte 1: Projeto de instalações, sugere uma potência típica de dissipação de calor pela iluminação de escritórios de 16 W/m². Como a sua última versão é de 2008, é importante levar em consideração a densidade de potência luminosa (DPL) específica para o projeto, visto que este dado já não reflete mais a realidade. Na ASHRAE 90.1, norma americana utilizada como base para obtenção

da Certificação LEED, indica que a densidade de potência máxima em escritórios deve ser 10,5 W/m².

Há casos, ainda, em que a especificação do vidro da fachada permite o conforto dos funcionários com as persianas abertas, possibilitando a entrada de luz natural. Assim, nos casos em que há sistema de controle de iluminação com dimerização das luminárias, há uma menor dissipação de calor enquanto há o pico de carga térmica. Este fator também deve ser levado em consideração quando do dimensionamento do sistema de ar condicionado.

O correto dimensionamento dos sistemas de ar condicionado no momento do desenvolvimento do projeto também é importante e os itens listados acima não devem ser ignorados. Os equipamentos apresentam menor rendimento quando trabalham com cargas muito menores que suas potências nominais, o que leva a um desperdício de energia elétrica, além do investimento na implantação ser maior do que o necessário.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é um escritório de uma empresa de consultoria na área de eficiência energética e sustentabilidade.

Para sua nova sede, foi escolhido um andar inteiro de um edifício na região sul da cidade de São Paulo. Por se tratar de um edifício que já tem a Certificação LEED, diversas premissas e boas práticas de sustentabilidade e eficiência energética foram exigidas nos projetos de arquitetura e instalações das áreas privativas.

No desenvolvimento do projeto, somadas às exigências do condomínio, adotaram-se algumas premissas da certificação LEED para Interiores Comerciais, algumas das quais serão listadas a seguir.

3.1. Iluminação e controle

3.1.1. Iluminação em LED

O projeto luminotécnico foi concebido utilizando somente iluminação LED, visando a eficiência energética desta solução. Todo o cálculo foi realizado a fim de garantir o atendimento à norma NBR ISO/ 8995-1:2013 Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior com relação aos níveis mínimos de iluminâncias (em lux).

O cálculo luminotécnico levou em consideração o limite de densidade de potência luminosa (DPL) para os ambientes do escritório definidos pela Norma da ASHRAE 90.1:2010

Tabela 3: Densidade de potência luminosa em ambientes de escritórios corporativos

	DPL máxima (W/m²)
Escritório (plano aberto)	10,54
Escritório (plano fechado)	11,94
Salas de conferência/reunião/multiuso	13,24
Corredores	7,10
Sanitários	10,55

Fonte: ASHRAE 90.1, 2010

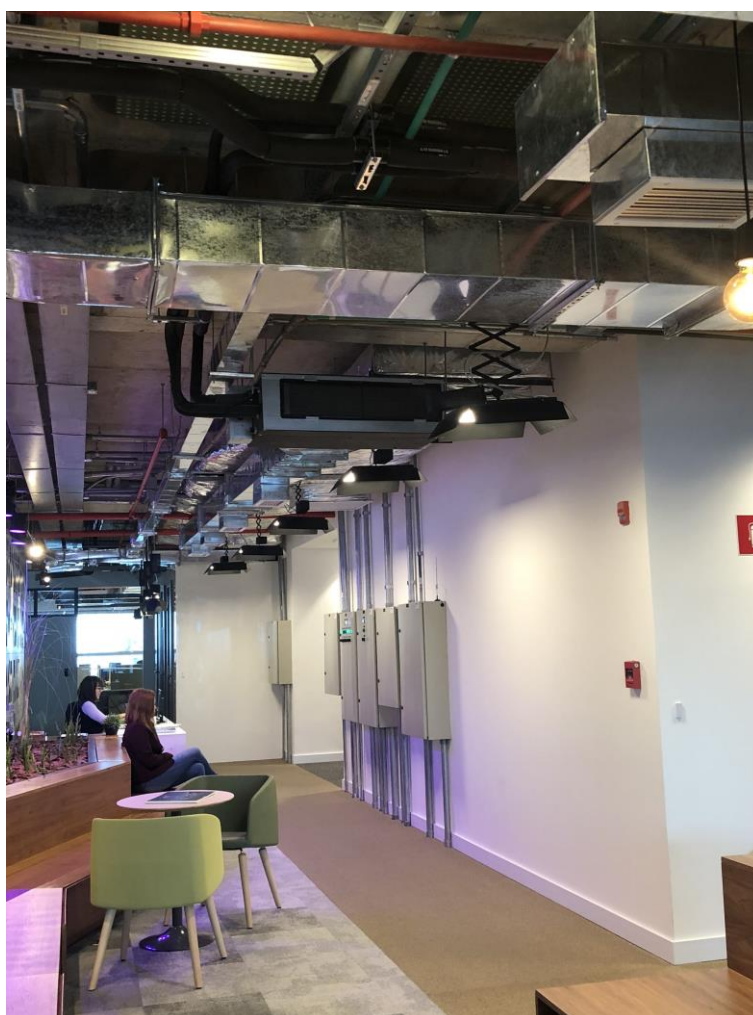
Tabela 4: Densidade de potência luminosa no projeto

ÁREA	W/m ²
SALA DE REUNIÃO 6	10,88
ÁREAS DE TRABALHO	7,51
WC MASCULINO	21,89
WC FEMININO	19,45
CPD	12,46
ALMOXARIFADO	6,02
SALA DE REUNIÃO 5	9,23
SALA DE REUNIÃO EQUIPE	6,42
BOOTH	14,80
SALA DE REUNIÃO ABERTA	18,50
CAFÉ	6,12
IMPRESSÃO	6,24
DEPÓSITO TI	5,18
ROBERTO	5,55
SALA DE REUNIÃO RÁPIDA	17,90
TI	7,93
ADMINISTRAÇÃO	9,15
SALA DE REUNIÃO 4	11,21
SALA DE REUNIÃO 3	11,21
COPA	4,29
WC PNE	17,03
SALA DE REUNIÃO 2	6,95
SALA DE REUNIÃO 1	6,30
CIRCULAÇÃO	7,57
MICROKITCHEN	2,81
MULTIUSO	5,71
COWORKING	8,53
RECEPÇÃO/ESPERA	5,63
DEPÓSITO	4,00
SALA DE REUNIÃO ABERTA	15,23
TOTAL	7,61

Conforme demonstra a Tabela 4, a densidade de potência luminosa no projeto foi de $7,61 \text{ W/m}^2$. Para a área de trabalho, chegou a $7,51 \text{ W/m}^2$, ou seja, 71% do exigido pela ASHRAE.

Observa-se que, mesmo em áreas cuja DPL resultante foi baixa, como na recepção, o conforto lumínico não foi prejudicado, como registrado na Figura 5. Isso se dá pela escolha inteligente de tipos de iluminação e luminárias com alta eficiência.

Figura 5: Recepção/Espera do escritório



3.1.2. Controles de iluminação

Na concepção do projeto de arquitetura, utilizou-se um conceito que vem sendo muito utilizado nos escritórios corporativos, chamado *open office*, ou *open space*. Caracteriza-se por escritórios com menos paredes divisórias, para incentivar

a integração entre as equipes. A maior parte das mesas de trabalho localizadas em um grande ambiente aberto.

A fim de maximizar o aproveitamento da luz natural nas áreas de trabalho, optou-se por localizá-las próximas às fachadas e, as salas fechadas (salas de reunião, depósitos) ficaram nas áreas mais internas, como pode ser visto na Figura 6.

O edifício possui, nas 4 fachadas, fechamento em vidro quase de piso a teto como pode ser observado na Figura 7**Erro! Fonte de referência não encontrada..** Assim, em todas as áreas próximas às fachadas, foram posicionados sensores de luminosidade e luminárias dimerizáveis.

A Figura 8 ilustra as estações de trabalho próximas à fachada e a Figura 9, os sensores de luminosidade posicionados próximos à fachada.

Figura 6: Planta baixa do pavimento

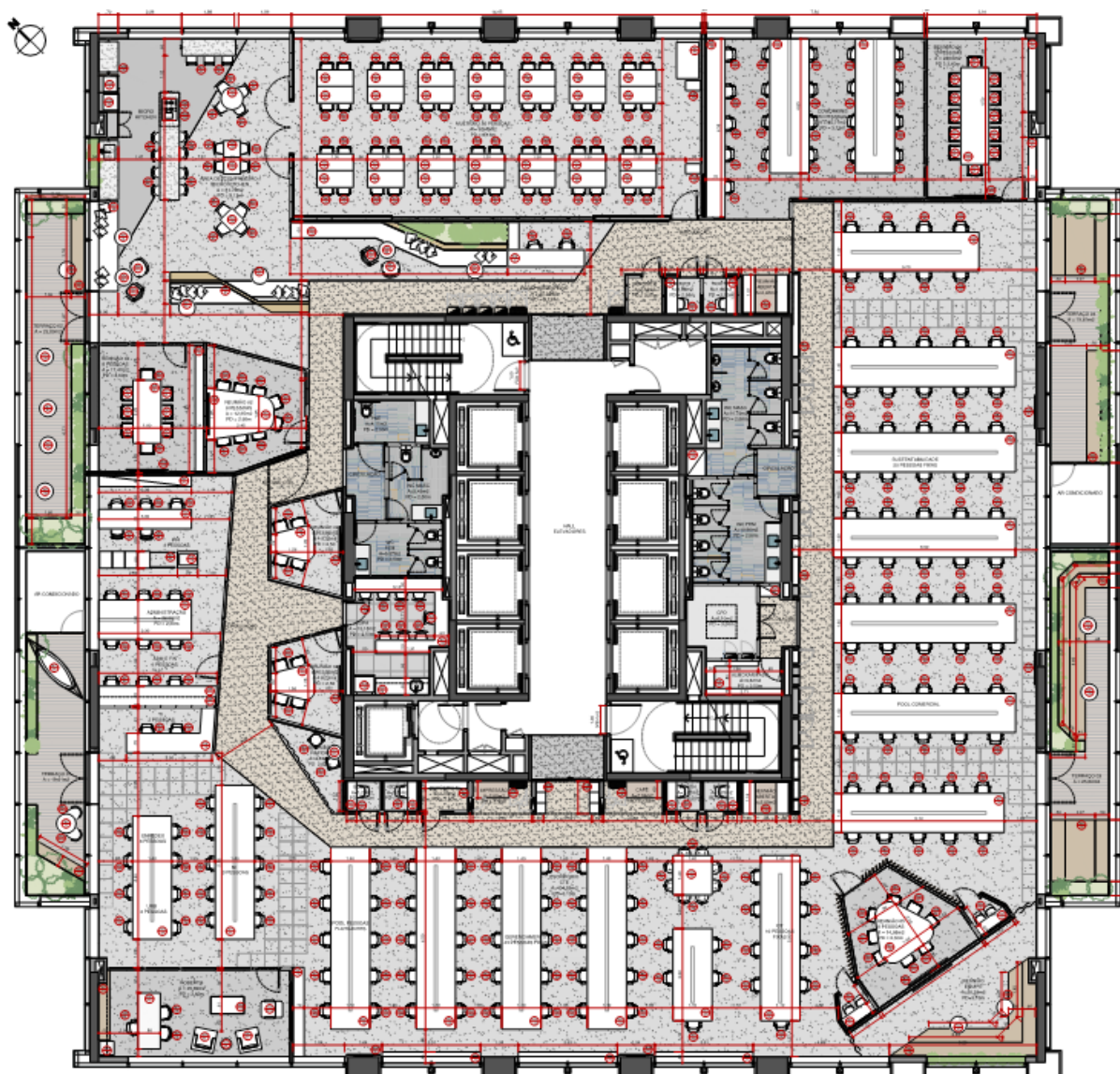


Figura 7: Área de janela da fachada



Figura 8: Área de trabalho próxima à fachada

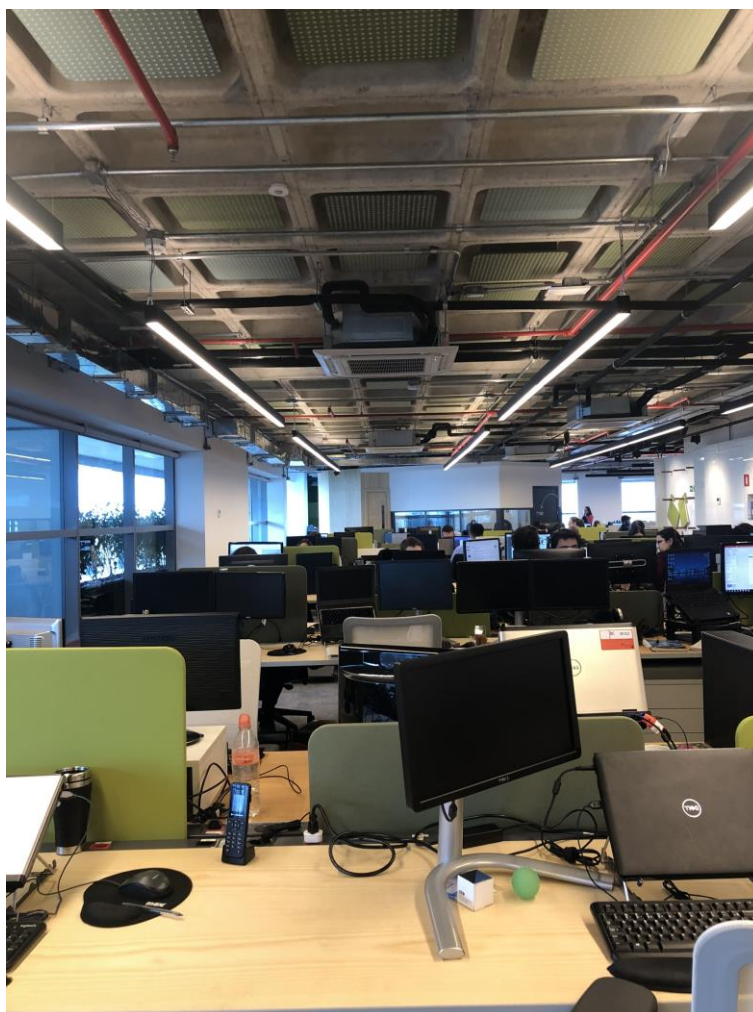


Figura 9: Sensores de luminosidade posicionados próximos à fachada



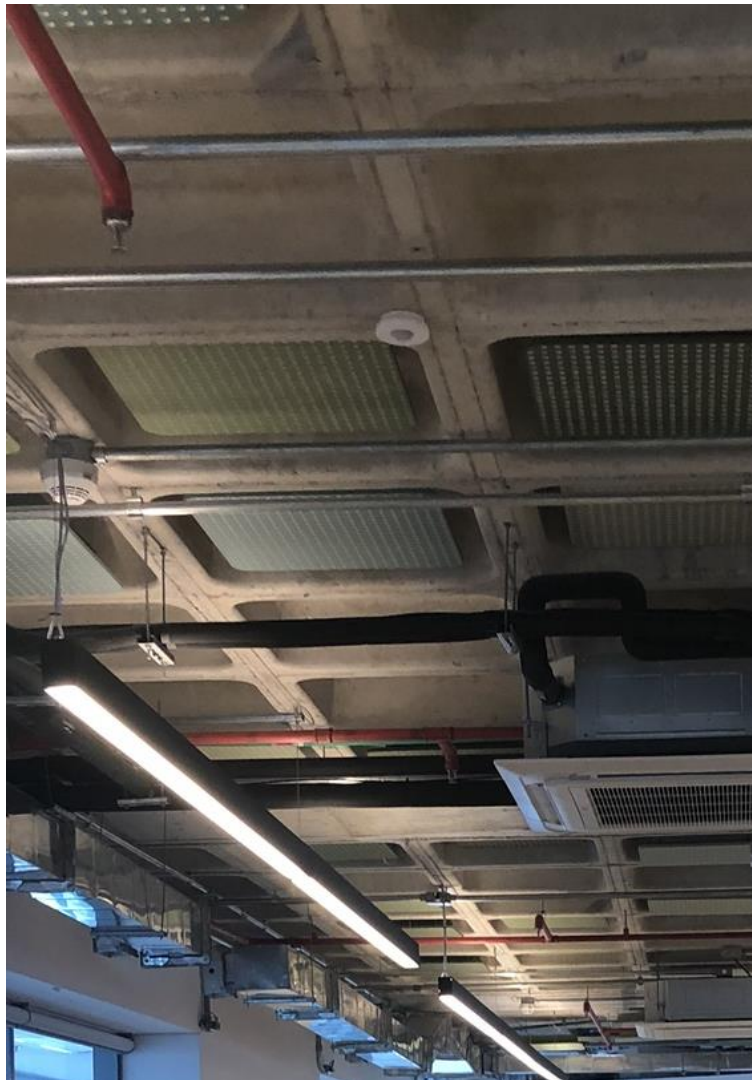
Toda a programação de dimerização das luminárias das áreas de trabalho foi realizada para que, considerando a contribuição de iluminação externa mais a das luminárias, tenha resultante 500 lux no plano de trabalho, conforme exigido por norma. O mesmo nível de iluminamento deve ser atingido quando não dá contribuição externa (em períodos noturnos ou dias nublados).

Esta dimerização, além da economia de energia, evita o desconforto visual causado pelo ofuscamento que ocorre quando a contribuição externa é alta (dias ensolarados).

Nas áreas de trabalho, além dos sensores de luminosidade, também foram adotados sensores de presença para desligamento das luminárias. Com o sistema de automação, é possível programar o desligamento das luminárias caso os sensores não detectem presença de funcionários a qualquer momento ou a partir de

um horário determinado. A Figura 10 mostra um sensor de presença na área de trabalho.

Figura 10: Sensor de presença na área de trabalho



Nas salas fechadas próximas às fachadas, o mesmo conceito das áreas de trabalho foi adotado, com a utilização dos sensores de presença e de luminosidade.

Nas salas fechadas localizadas nas áreas mais internas do edifício, que não contam com a contribuição de iluminação natural, utilizou-se somente os sensores de presença.

Nas salas de reunião maiores (Figura 11) optou-se pela utilização de dimerização, com o objetivo de proporcionar diversos níveis de iluminamento, para diferentes utilizações do ambiente. Por exemplo, para a realização de uma reunião formal, ou com atividades de precisão (verificação de desenhos, inspeção), é ideal que haja o mesmo nível de iluminamento de uma estação de trabalho, ou seja, no

mínimo 500 lux (luminárias ligadas 100%). No caso de uma apresentação, pode-se reduzir a iluminação para valorizar o que está sendo apresentado (iluminação dimerizadas). Para uma reunião informal, outro nível de iluminamento pode ser desejado.

Figura 11: Sensor de presença no teto de uma sala de reunião média com dimerização



Em todos os casos em que há utilização de luminária dimerizada deve-se entender que há economia de energia pois a mesma não consome sua potência nominal e apenas uma porcentagem dela.

Nas salas de reunião menores (para 2 pessoas) e banheiros, os sensores de presença foram configurados para funcionarem como sensores de vacância (Figura 12 e Figura 13). Ou seja, ao detectar a ausência de pessoas, ele comanda o desligamento da iluminação. É possível configurar o tempo de ausência para que o desligamento seja feito.

Figura 12: Sensor de presença no teto de uma sala de reunião pequena



Figura 13: Sensor de presença no teto de um banheiro



Os sensores de luminosidade e de presença/vacância adotados neste caso, não são cabeados e tem funcionamento por radiofrequência. Foram posicionadas antenas cabeadas de captação de radiofrequência (Figura 14) para interligação com o quadro de automação de iluminação único.

A utilização de um sistema por radiofrequência simplifica a instalação do sistema pois exige menos cabeamento e infraestrutura e aumenta a flexibilidade para reconfiguração do sistema.

Figura 14: Antes de radiofrequência



Todos os ambientes contam também com um ponto de controle de iluminação localizado nas paredes e próximos às entradas dos ambientes. Este tipo de controle possibilita a criação de cenas, ou seja, níveis e tipos de iluminação previamente definidos (Figura 15Figura 16). A Figura 16 mostra um controle para luminárias dimerizáveis.

Todos os módulos para a automação de iluminação foi concentrada em um único painel elétrico, de modo a otimizar a infraestrutura necessária. O painel instalado é mostrado na Figura 17.

A central de monitoramento da Figura 18 faz todo o controle dos dispositivos de leitura (sensores de luminosidade, de presença) e luminárias.

Com esta central, é possível informar ao usuário a performance do sistema, consumos e economias do sistema e para o meio ambiente.

Figura 15: Ponto de controle de iluminação



Figura 16: Controle para luminária dimerizável



Figura 17: Painel elétrico para automação de iluminação



Figura 18: Central de controle de iluminação



3.2. Sistema de persianas automatizadas com estação meteorológica

Neste edifício, conforme mencionado anteriormente, as fachadas são compostas, em boa parte, por vidros. Possui $WWR=0,68$

Com o objetivo de evitar o ofuscamento e desconforto térmico provocados pela incidência de sol nas áreas internas do escritório, adotou-se persianas internas em todas as janelas.

O condomínio já é equipado com um sistema de estação meteorológica que faz a captação da incidência de sol em cada fachada para controle de sistemas de persianas de todos os seus andares. O sistema de controle de persianas instalado no escritório foi interligado ao sistema de estação meteorológica.

Figura 19: Fachada com persianas fechadas devido à incidência solar

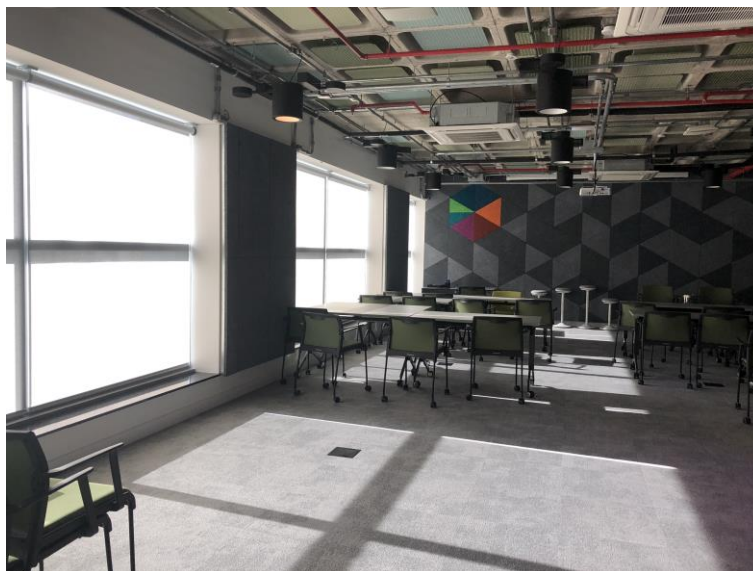


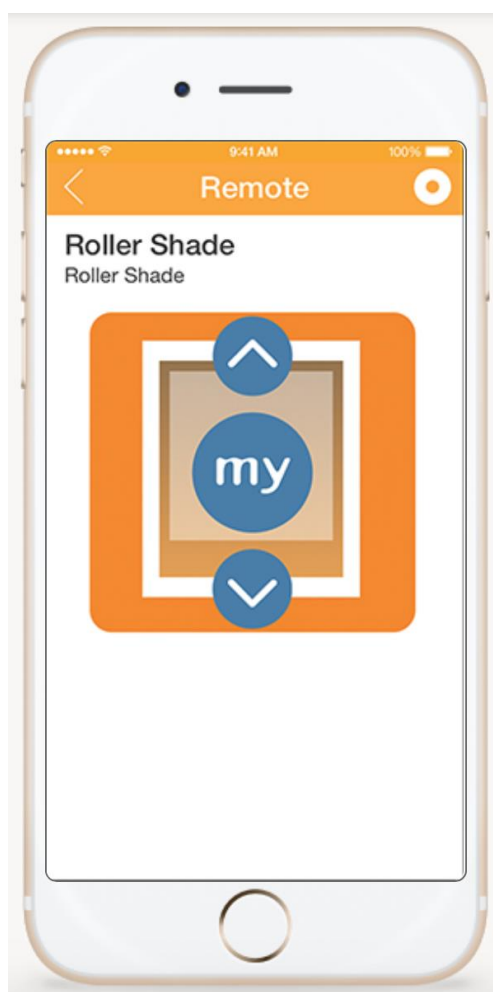
Figura 20: Fachada com persianas abertas sem incidência solar



A Figura 19 mostra as persianas fechadas em uma fachada devido à incidência solar. A Figura 20 mostra outra fachada do prédio, cujas persianas se encontram abertas pois não está recebendo incidência solar.

O sistema possui, ainda, possibilidade de controle via *smartphone* como mostrado na Figura 21. O comando local pode se sobrepor ao controle central por tempo pré-determinado. Esta facilidade foi aplicada à uma sala de eventos onde há projeção de imagens e possui janelas de fachada.

Figura 21: Software que possibilita controle local com *smartphone*



O sistema utilizado no estudo de caso é do fabricante Somfy, cujo sistema é dinâmico e atua a partir das condições climáticas externas e da posição do sol ao longo do dia para trazer redução do consumo de energia e conforto ao usuário.

3.3. Controle de ventilação por demanda – medição de CO₂

No desenvolvimento do projeto, optou-se pela implementação de um sistema de controle por demanda com medição de CO₂.

Foram previstos medidores locais para todos os ambientes, para que a medição fosse precisa e atendesse a necessidade de cada ambiente independentemente.

As Figuras Figura 22, Figura 23 e Figura 24 ilustram os medidores instalados no escritório.

Figura 22: Medidor de CO₂ instalado em área aberta



Figura 23: Medidor de CO₂



Figura 24: Medidor de CO₂ instalado em uma sala de reunião pequena



3.4. Sistema de ar condicionado VRF

O projeto de instalações do condomínio foi concebido para utilização de sistema de ar condicionado VRF para as áreas privativas.

Cada andar foi originalmente dividido para a possibilidade de 4 unidades independentes e para cada uma delas foi prevista uma área técnica para as unidades externas (unidades condensadoras). Neste caso, as 4 unidades foram consideradas uma única.

Foi realizado o levantamento de carga térmica de todas as áreas do escritório, levando-se em consideração a ocupação das áreas, a posição do condomínio para incidência solar, as taxas de renovação de ar mínimas exigidas pelas normas, o tipo de vidro da fachada,

Também levou-se em consideração os itens levantados anteriormente e que influenciam no levantamento da carga térmica para o sistema de ar condicionado: tipo de iluminação, a utilização de persianas nas fachadas e adoção de sistema de medição de CO₂.

Foram considerados equipamentos (unidades evaporadoras) dedicados para cada ambiente, para permitir controle individual e evitar desconforto térmico.

Para cada equipamento, foi previsto um termostato para leitura e processamento da necessidade de abertura/fechamento dos difusores para obter o *setpoint* de temperatura. As Figura 25 e Figura 26 mostram um termostato de uma sala de reunião e sua leitura.

A Figura 27 mostra unidades externas do sistema VRF instalados na área técnica do pavimento.

Figura 25: Termostato em uma sala de reunião



Figura 26: Leitura de um termostato



Figura 27: Unidades externas instaladas na área técnica



Com o objetivo de evitar odores e manter a qualidade do ar nas áreas da copa e cozinha, instalou-se equipamentos para neutralização de odores. Estes equipamentos consistem em uma luz UV especial e alvo fotocatalizador, criando um processo de oxidação avançada composto de vários oxidantes naturais (ECOQUEST, 2019). A Figura 28 mostra um equipamento instalado no duto de ar condicionado que atende a cozinha do escritório.

Figura 28: Ecoquest instalada no duto de ar-condicionado



4. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para os cálculos de consumo de energia elétrica mensal, considerou-se que o escritório funciona das 6 da manhã até as 10 horas da noite, 20 dias úteis no mês.

4.1. Iluminação e controle

Sabendo-se que a potência instalada de iluminação de 7536 W, adotou-se demanda de 80% para iluminação geral e 90% para a área de trabalho. A Tabela 5 mostra o consumo de energia mensal pela iluminação, considerando estas duas áreas.

Tabela 5: Consumo mensal de iluminação com demanda 80%

Ambientes	Demanda	Consumo mensal (kWh)
Iluminação geral	80%	1688
Iluminação na área de trabalho	90%	823

Como mencionado no Capítulo 2, um sistema de automação pode reduzir em até 23% o consumo de energia com utilização de sensores de luminosidade, de presença e luminárias dimerizadas. Todos estes itens foram aplicados no estudo em caso, especialmente na área de trabalho, então podemos considerar que o consumo será menor do que o indicado na anteriormente. Considerando uma redução de 20%, obtém-se 658 kWh de consumo mensal pela iluminação.

Tabela 6: Consumo de energia sem e com sistema de automação de iluminação

Iluminação na área de trabalho	Consumo mensal (kWh)
Sem automação de iluminação	823
Com automação de iluminação	658

4.2. Sistema de ar condicionado por VRF

Para o sistema de ar condicionado de VRF, foram instaladas 4 unidades condensadoras (unidades externas) na área técnica do andar, e diversas unidades evaporadoras (unidades internas) no teto do escritório.

As cargas elétricas totais estão indicadas na Tabela 7.

Tabela 7: Potência elétrica dos equipamentos de ar condicionado

Equipamento	Potência elétrica (kW)
Unidades condensadoras	77,60
Unidades evaporadoras	4,34

Um estudo foi realizado a fim de comparar um outro sistema de ar condicionado, mas mantendo todos os parâmetros de cargas térmicas. Foi escolhido então um sistema de *chiller* à água com VAVs. As potências elétricas dos equipamentos estão listadas na Tabela 8.

Tabela 8: Potência elétrica de sistema de chiller à água

Equipamento	Potência elétrica (kW)
<i>Chiller</i>	84,00
Fancoil	22,00
Bomba	2,70

Na Tabela 9 estão indicadas as potências instaladas totais dos dois sistemas e pode-se verificar que o sistema VRF possui uma potência instalada 75% menor do que o sistema *chiller* à água.

Esta diferença de potência instalada é refletida no consumo energético dos dois sistemas. Levando-se em consideração as vantagens do sistema VRF descritas no Capítulo 2 (possui compressor com variador de frequência, controle por ambiente, etc), conclui-se que o sistema VRF é mais eficiente.

Tabela 9: Potências elétricas de sistema VRF e sistema de chiller à água

Sistema	Potência elétrica (kW)
Sistema VRF	81,94
Sistema <i>chiller</i> à água	108,70

Deve-se levar em conta, ainda, que o sistema de chiller à água consome água para seu funcionamento, e sua instalação requer uma área externa maior do que as condensadoras do sistema VRF.

4.3. Sistema de persianas automatizadas

No Capítulo 2 foi mencionado que a adoção de um sistema de persianas motorizado pode reduzir de 2 a 16% o consumo de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado.

Assim, levando-se em consideração a potência instalada de ar condicionado indicada na Tabela 7, o funcionamento do sistema das 8 horas da manhã até às 18 horas da noite, a 100% de operação, tem-se o consumo de 16388 kWh/mês.

Considerando que o sistema VRF não funcione a 100% em vários ambientes ao longo do dia, foi utilizada uma demanda de 70%. A Tabela 10 mostra o consumo mensal sem o sistema de persianas automatizadas e uma redução de 10% com a instalação do sistema de persianas motorizadas conectada à estação meteorológica.

Tabela 10: Consumo de energia com ar condicionado com a utilização de sistema de persianas automatizadas

	Consumo mensal (kWh)
Sem sistema de persianas automatizadas	11472
Com sistema de persianas automatizadas	10325

4.4. Controle de ventilação por demanda

O sistema de controle de ventilação por demanda também traz benefícios com a redução do consumo de energia pelo sistema de ar condicionado e ventilação de ar externo.

Esta redução é variável em função da ocupação dos diversos ambientes, porém Brambley, Haves, et al., 2005 sugerem uma redução de consumo de energia de 10 a 15% em prédios comerciais. Considerando 10% de redução de energia, o consumo é indicado na Tabela 11

Tabela 11: Consumo de energia com ar condicionado com a utilização de sistema de controle de ventilação por demanda

	Consumo mensal (kWh)
Sem sistema de persianas automatizadas	11472
Com sistema de persianas automatizadas	10325

4.5. Resumo de consumos de energia elétrica

Foram agrupadas as estimativas de consumos de energia do escritório sem as tecnologias de eficiência na Tabela 12.

Tabela 12: Consumos totais sem tecnologias de eficiência energética

Sistemas	Consumo mensal (kWh)
Iluminação sem automação	1688
Ar condicionado com sistema à <i>chiller</i>	21740
TOTAL	23428

Na Tabela 13, foram consideradas as estimativas de consumo de iluminação e ar condicionado considerando as tecnologias de eficiência energética abordadas no Capítulo anterior.

Como o sistema de persianas automatizadas e o controle de ventilação por demanda (DCV) trazem benefícios para o sistema de ar condicionado, com redução de 10% de consumo em cada um deles isoladamente, considerou-se ambos no cálculo.

Tabela 13: Consumos totais com tecnologias de eficiência energética

Sistemas	Consumo mensal (kWh)
Iluminação com automação	1351
Ar condicionado (Sistema VRF) com persianas automáticas e DCV	9292
TOTAL	10643

O consumo anual sem e com sistemas de eficiência energética, por m², é dado na Tabela 14.

Tabela 14: Consumo anual por m²

Sistemas	Consumo anual (kWh/m ²)
Iluminação sem automação e ar condicionado (sistema à <i>chiller</i>)	284
Iluminação com automação e ar condicionado (Sistema VRF) com persianas automáticas e DCV	129,00

Observa-se que, contando com a adoção das tecnologias de automação de iluminação, o sistema de ar condicionado VRF, automação de persianas e controle de ventilação por demanda, o consumo é reduzido em mais de 50%.

Os dados acima foram inseridos no site de Benchmarking para Escritórios Corporativos do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), obtendo-se

a Figura 29. Embora a ferramenta seja para aplicação de edifícios corporativos, pequenas considerações foram feitas para realização do cálculo para área privativa. Obteve-se um indicador de escritório muito eficiente.

Figura 29: Gráfico gerado no site de Benchmarking para Escritórios Corporativos

Dados do edifício

RM Square

São Paulo

São Paulo

+ TIPO DE EDIFÍCIO **MULTIUSUÁRIO / MONOUSUÁRIO**

Dados de consumo

+ Período do cálculo

06/2018

05/2019

127.710,00

+ Área útil condicionada m² 990,00

+ Área de escritório m² 990,00

+ Taxa de ocupação de 0 a 100% 100%

+ N° de funcionários 175

+ Área de estacionamentos m² m²

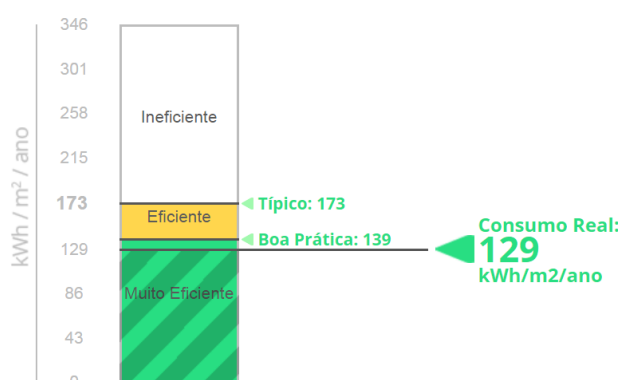
+ N° de andares 1

+ N° de elevadores 0

+ Consumo de energia de CPDs kWh/ano 43

+ Consumo de energia de Cargas Especiais kWh/ano 57,60

Indicador



IMPRIMIR

SALVAR

Fonte: (CBCS, 2016)

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo de caso abordou as soluções implementadas em um escritório localizado na cidade de São Paulo.

Para redução de consumo de energia e menor carga térmica, foram utilizadas luminárias LED com sistema de controle de automação de iluminação. Este sistema conta com sensores de presença para desligamento da iluminação quando na ausência de pessoas. Conta também com sensores de luminosidade para dimerização das luminárias da fachada quando há contribuição de iluminação natural externa.

Para redução do volume de ar externo no ambiente condicionado, foi instalado um sistema de controle de demanda com medidores de CO₂, que modulam o funcionamento do ventilador de ar externo.

Também foi adotado um sistema de persianas automáticas interligado à estação meteorológica disponível pelo condomínio. Este sistema reduz a contribuição de carga térmica causada pela insolação nas fachadas, reduzindo o esforço do sistema de ar condicionado.

Por fim, foi abordada a solução para o sistema de ar condicionado para o escritório, VRF. Este sistema, que conta com um termostato para cada ambiente, aumenta a controlabilidade da temperatura desejada e seus equipamentos possuem alta eficiência. Além disso, na etapa de desenvolvimento do projeto e dimensionamento do sistema, as soluções anteriores foram levadas em consideração, o que levou a equipamentos menores em termos de capacidade e consumo elétrico.

Estas soluções foram adotadas para obter um escritório sustentável e eficiente, com baixo consumo de energia, conforme mostrado no Capítulo 4.

Devido à recém implantação dos escritório utilizado como estudo neste trabalho, não foi possível coletar dados de consumo de energia e central de controle de automação de iluminação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMINISTRADORES. Trabalho em escritório integrado aumenta a produtividade de contratados. **Administradores**, 01 Junho 2012. Disponível em: <<https://administradores.com.br/noticias/trabalho-em-escritorio-integrado-aumenta-a-produtividade-de-contratados>>. Acesso em: 2019 Maio 2019.

ASHRAE. **ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1 Energy standard for buildings except low-rise residential buildings**. ASHRAE. [S.l.]. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410 Instalações elétricas de baixa tensão**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro. 2013.

BRAMBLEY, M. R. et al. **Advanced Sensors and Controls for Building Applications: Market Assessment and Potential R&D Pathways**. U. S. Department of Energy. Washington, E.U.A., p. 163. 2005.

CBCS. **Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação DEO no Brasil**. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. São Paulo. 2015.

CBCS. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Plataforma de Cálculo Benchmarking**, 2016. Disponível em: <<http://benchmarkingenergia.cbcs.org.br/>>. Acesso em: 07 Junho 2019.

DANTAS, F. Recomendações para alcançar edificações eficientes. **Engenharia Arquitetura**, 21 Setembro 2018. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitectura.com.br/2018/09/recomendacoes-para-alcancar-edificacoes-eficientes>>. Acesso em: 19 Maio 2019.

ECOQUEST. Ecoquest. **ECOQUEST**, 2019. Disponível em: <<http://www.ecoquest.com.br/ac250>>. Acesso em: 31 Maio 2019.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 2018.

ESCRITÓRIOS de advocacia buscam o "fligh to quality". **CBRE**, 6 Nov. 2017. Disponível em: <<http://www.cbre.com.br/noticias/escritorios-de-advocacia-buscam-o-flight-quality/>>. Acesso em: 30 May 2019.

EUROPEAN SOLAR-SHADING ORGANIZATION. **Solar shading for low energy and healthy buildings**. European Solar-Shading Organization. Zaventem, Bélgica. 2018. (Edition 2).

FALCÃO, R. Fórum Eficiência Energética e Geração Distribuída. **ANEEL**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Forum_EE_e_GD_da_Aneel_28_05_Renata_Falcao.pdf>.

FERNANDES, P. S. **Estudo dos sistemas de iluminação artificial em edifícios corporativos**. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo. 2016.

GALERIA DA ARQUITETURA. PROJETOS / EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Galeria da arquitetura**. Disponível em: <<https://www.galeriadaarquitetura.com.br/id/projetos/com-eficiencia-energetica/7/>>. Acesso em: 5 Maio 2019.

GALERIA DA ARQUITETURA. REFERÊNCIAS / ESCRITÓRIOS CORPORATIVOS. **Galeria da arquitetura**. Disponível em: <<https://www.galeriadaarquitetura.com.br/projetos/referencias-ambientes-c/102/escritorios-corporativos/>>. Acesso em: 12 Maio 2019.

GBC BRASIL. Instalações de Sistemas de Ar Condicionado Central, VRF, Ventilação, Exaustão. **GBC Brasil**. Disponível em: <<http://gbcbrasil.org.br/sistema/docsMembros/1409161109150000009495.pdf>>. Acesso em: 19 Maio 2019.

ISAIQ-CIB TG 42. **Performance criteria of buildings for health and comfort**. CIB number 292, 2004. [S.l.], p. 68. 2004.

JOSSI, F. LEED interior certification slow to catch on. **Finance&Commerce**, 19 Março 2014. Disponível em: <<https://finance-commerce.com/2014/03/leed-interior-certification-slow-to-catch-on/>>. Acesso em: 31 Março 2019.

LITTLEFAIR, P.; ORTIZ, ; BHAUMIK, C. D. **A simulation of solar shading control on UK office energy use**. Building Research & Information. [S.l.], p. 38. 2010.

LUTRON SYSTEMS. Lutron. **Lutron**, 2019. Disponível em: <<http://www.lutron.com/en-US/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 31 Maio 2019.

MARCONDES CAVALERI, M. P.; CUNHA, G. R. M.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação natural em edifícios de escritórios: avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção. Campinas, SP. 2018.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. **A review on buildings energy consumption information**. Elsevier. [S.l.]. 2007.

PINHEIRO, A. P. B. A eficiência energética começa com a redução da carga térmica. **Engenharia Arquitetura**, 21 Setembro 2018. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitectura.com.br/2018/09/eficiencia-energetica-comeca-com-reducao-da-carga-termica>>. Acesso em: 19 Maio 2019.

REVISTA DO FRIO. Climatização de edifícios comerciais puxa expansão do mercado de VRF. **Revista do frio**, 24 Maio 2018. Disponível em: <<http://revistadofrio.com.br/2018/05/climatizacao-puxa-expansao-do-mercado-de-vrf/>>. Acesso em: 21 Maio 2019.

RM SQUARE. Ficha Técnica. **RM Square**. Disponível em: <<http://rmsquare.com.br/ficha-tecnica/>>. Acesso em: 19 Maio 2019.

SCHELL, M.; INTHOUT, D. Demand control ventilation using CO2. **ASHRAE Journal**, Fevereiro 2001. 6.

SHAFA, M.; KRUGER, E. Consumo de energia em edifícios comerciais de Curitiba: medidas aplicadas em conservação de energia e monitoramento de consumo. **Revista Educação & Tecnologia**, Setembro 2004.

SKANSKA. Skanska achieves first LEED Commercial Interior Platinum certificate in Poland. **Skanska**, 23 Abril 2015. Disponível em: <<https://www.skanska.pl/en-us/about-skanska/media/press-releases/123719/Skanska-achieves-first-LEED-Commercial-Interior-Platinum-certificate-in-Poland>>. Acesso em: 31 Março 2019.

SOMFY. Somfy. **Somfy**, 2019. Disponível em: <<https://www.somfysystems.com/en-us/products/interior-products/motorized-shades>>. Acesso em: 29 Maio 2019.

SOMFY. Somfy Brasil. **Somfy Brasil**, 2019. Disponível em: <<https://www.somfy.com.br/>>. Acesso em: 29 Maio 2019.

SUSTENTECH. **Energy efficiency, thermal and visual comfort study**. Sustentech. São Paulo. 2016. (V.3.6).

SUZUKI, E. H. **Avaliação do conforto térmico e do nível de CO2 em edifícios de escritório com climatização artificial na cidade de São Paulo.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 147. 2010.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Demand control ventilation.** U.S. Department of Energy. [S.l.], p. 9. 2012.

WANKANAPON, P.; MISTRICK, R. G. **Roller Shades and Automatic Lighting Control with Solar Radiation Control Strategies.** Thammasat University e The Pennsylvania State University. [S.l.], p. 8. 2011.

WEB ARCONDICIONADO. VRF: O que é e Como Funciona essa Tecnologia. **Web arcondicionado**, 7 Março 2012. Disponível em: <<https://www.webarcondicionado.com.br/saiba-tudo-sobre-vrv>>. Acesso em: 19 Maio 2019.

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL. **The business case for green building.** World Green Building Council. [S.l.]. 2013.