



Tiago Andriel Franken

**ANÁLISE SITUACIONAL E PROPOSTA DE UM NOVO
SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO**

Horizontina

2015

Tiago Andriel Franken

**ANÁLISE SITUACIONAL E PROPOSTA DE UM NOVO SISTEMA DE
CLIMATIZAÇÃO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Anderson Dal Molin, MsC.

Horizontina

2015

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Análise situacional e proposta de um novo sistema de climatização”

Elaborada por:

Tiago Andriel Franken

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 05/11/2015
Pela Comissão Examinadora**

**MsC. Anderson Dal Molin
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Dr. Adriano Roberto da Silva Carotenuto
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Esp. Valmir Vilson Beck
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2015**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, em especial aos meus pais, Luis Carlos e Vanderli, que sempre me deram total apoio e orientação para que esse sonho pudesse se tornar realidade.

Agradeço ao orientador deste trabalho, professor Anderson Dal Molin, pelo desprendimento ao aceitar me dar apoio.

Agradeço a FAHOR, funcionários e professores pelo embasamento científico e prático adquirido.

É difícil agradecer a todas as pessoas que de algum modo me auxiliaram, fizeram ou fazem parte desta caminhada, por isso minha eterna gratidão a todos que de alguma forma contribuíram para que esse sonho pudesse ser concretizado.

RESUMO

A sustentabilidade ambiental aliada à produtividade e à redução de custos é uma das metas mais perseguidas no ambiente empresarial, assim como, o atendimento às normas e leis cada vez mais específicas e detalhadas. Atualmente, existem diferentes possibilidades de tratamento de resíduos, reaproveitamento de água e até mesmo, buscam-se constantes soluções para reduzir os gastos com energia elétrica. Contudo, neste trabalho realizou-se o estudo da climatização de determinado ambiente de uma empresa do setor agrícola, a fim de identificar as desconformidades do atual sistema, para a partir daí, oferecer uma sugestão de um sistema que forneça não apenas economia de energia, como também, redução dos gastos em manutenção, maior conforto térmico e conseqüentemente, aumento considerável da produtividade dos funcionários. Realizou-se, para tanto, um estudo bibliográfico do tema, seguido de um levantamento de dados para análise do sistema de climatização existente. Por fim, são apresentados os resultados seguidos de uma proposta de um novo sistema de climatização, mais moderno e que atenda aos requisitos e normas da sustentabilidade e eficiência.

Palavras-chaves: Climatização, Conforto térmico, Eficiência energética.

ABSTRACT

The environmental sustainability allied with productivity and cost reduction is one of the most pursued goals in the business segment, as well as, conformity with regulations and laws, more and more specific and detailed. Nowadays, there are different possibilities for residue treatment, reutilization of water and even, seeking for constant solutions to reduce the expenses with electricity. However, this project proposes a climate study of a company's specific department from the agricultural sector, in order to identify the current system noncompliance, and based on these results search for a suggestion of a system that supplies not only energy but also, cost reduction in maintenance, more thermal comfort and consequently, a considerable increase in the employees productivity. It was carried out for this purpose, a bibliographic study of the topic, followed by a data collection to analyze the climate system existing. Finally, the results are presented, followed by a proposal of a new climate system, more modern and in compliance with sustainability and efficiency requirements and rules.

Key words: Climate, Thermal comfort, Energy Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Carta Psicrométrica. Fonte: Waldri, 2013..... | 14 |
| Figura 2: Ar condicionado tipo janela. Fonte: Antonovicz e Weber, 2013. | 20 |
| Figura 3: Tipos de ar condicionado modelos <i>splits</i> . Fonte: Antonovicz e Weber, 2013. | 21 |
| Figura 4: Aparelho <i>Self Contained</i> . Fonte: Springer Carrier, 2015..... | 22 |
| Figura 5: Aparelho <i>Chiller</i> . Fonte: Springer Carrier, 2015. | 23 |
| Figura 6: Planta baixa do ambiente analisado..... | 30 |
| Figura 7: Disposição dos aparelhos de ar condicionado. | 31 |
| Figura 8: Gráfico de corrente elétrica do aparelho <i>Chiller</i> | 32 |
| Figura 9: Gráfico de potência dos equipamentos..... | 33 |
| Figura 10: Gráfico dos gastos com manutenção..... | 34 |
| Figura 11: Gráfico das medições de CO ₂ | 35 |
| Figura 12: Cálculo da carga térmica (transmissão). | 36 |
| Figura 13: Cálculo da carga térmica (paredes). | 36 |
| Figura 14: Cálculo da carga térmica (teto). | 36 |
| Figura 15: Cálculo da carga térmica (pisos). | 36 |
| Figura 16: Cálculo da carga térmica (pessoas). | 37 |
| Figura 17: Cálculo da carga térmica (outras fontes). | 38 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA..... | 8 |
| 1.2 OBJETIVOS | 9 |
| 1.2.1 OBJETIVO GERAL: | 9 |
| 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: | 10 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA..... | 11 |
| 2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR | 11 |
| 2.2 CLIMATIZAÇÃO | 12 |
| 2.2.1 UMIDADE RELATIVA DO AR..... | 13 |
| 2.2.2 TEMPERATURA..... | 13 |
| 2.2.3 CARTA PSICROMÉTRICA..... | 13 |
| 2.3 CARGA TÉRMICA EM CLIMATIZAÇÃO | 14 |
| 2.3.1 CARGAS EXTERNAS | 16 |
| 2.3.2 CARGAS INTERNAS | 18 |
| 2.3.3 CARGAS DE VENTILAÇÃO E INFILTRAÇÃO | 19 |
| 2.4 CONDICIONADORES DE AR | 19 |
| 2.4.1 SISTEMAS DE EXPANSÃO DIRETA | 20 |
| 2.4.2 SISTEMAS DE EXPANSÃO INDIRETA | 23 |
| 2.5 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL | 24 |
| 2.5.1 PROTOCOLO DE MONTREAL..... | 24 |
| 2.5.2 RE N° 9, DE 16 DE JANEIRO DE 2003 | 24 |
| 2.5.3 ABNT 16401 | 25 |
| 2.5.4 PORTARIA 3523/98 | 26 |
| 3 METODOLOGIA..... | 27 |
| 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS..... | 27 |
| 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS..... | 28 |
| 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 29 |
| 4.1 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE | 29 |
| 4.2 SISTEMA ATUAL..... | 31 |
| 4.2.1 CAPACIDADE INSTALADA | 31 |
| 4.2.2 MANUTENÇÃO: CUSTOS E QUALIDADE DO AR INTERIOR | 34 |
| 4.3 ESTIMATIVA DA CARGA TÉRMICA | 35 |
| 4.4 SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS..... | 38 |
| 4.4.1 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO MODELO | 38 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 40 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 42 |

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a análise e estudo da climatização têm se tornando cada vez mais essencial, uma vez que os grandes pilares da civilização moderna que se presencia são os que se referem à sustentabilidade ambiental, eficiência energética e conforto da humanidade. Sendo assim, um bom sistema de climatização se faz indispensável, pois promove inúmeros benefícios e conforto para os ambientes de trabalho, gerando, ao mesmo tempo, eficiência, tanto da força de trabalho quanto dos insumos utilizados para a produção, como a energia elétrica.

O projeto de um sistema de climatização deve ser precedido de estudos específicos de viabilidade técnica e econômica. Estima-se que o sistema de climatização em um escritório é responsável por aproximadamente 50% do consumo total com energia elétrica. Desta forma, o presente estudo surge da necessidade de adequação da climatização de uma sala de engenharia, devido à defasagem do sistema atual, projetado há aproximadamente 25 anos, sendo seu leiaute, ocupação e resoluções vigentes, totalmente diferentes da atualidade.

Portanto, este trabalho procura fazer um estudo da climatização atual da sala, bem como da potência total instalada em equipamentos de climatização no recinto, para em seguida, analisar todos os dados necessários e estimar a carga térmica total necessária para climatizar o ambiente com maior eficiência. Para isso, foi utilizada uma planilha de estimativa de carga térmica de um fornecedor de equipamentos de climatização. Posteriormente, buscou-se propor um novo sistema de climatização, sempre analisando as bibliografias pertinentes ao assunto e definindo os parâmetros que devem ser considerados, assim como as resoluções e normas vigentes, para o tratamento e condicionamento do ar em ambientes de trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

A importância de um ambiente de trabalho confortável para maior rendimento dos colaboradores de uma empresa não é segredo e nem novidade no âmbito empresarial e industrial. Entretanto, um dos fatores mais importantes para esse conforto ambiental é a temperatura de conforto térmico e a climatização do recinto.

Afinal, um local “muito frio” ou “muito quente” pode causar desconforto às pessoas e afetar o ritmo e o rendimento de trabalho. Um ambiente climatizado, com taxas de renovação de ar e filtragem corretamente ajustadas e mantidas, produz aumento no desempenho, resultando em maior produtividade e satisfação dos colaboradores de uma empresa.

Adotando-se para o presente estudo uma sala onde funciona um escritório, pode-se afirmar que o sistema de climatização atual possui suas particularidades, pois o mesmo foi projetado para atender alguns requisitos da época da construção da sala, período no qual tanto o número de pessoas, quanto a quantidade de equipamentos e leiaute eram totalmente diferentes dos padrões atuais. Todavia, levando em consideração as condições atuais, observa-se que, além da má distribuição dos condicionadores de ar, existem equipamentos antigos, bem como inúmeros gastos com manutenção e reparos dos equipamentos, inclusive com alguns pontos em desconformidade com as resoluções vigentes.

Devido a esses e outros fatores, esta pesquisa justifica-se, pois, através da mesma, busca-se propor um novo sistema de climatização para o escritório, que atenda às normas e resoluções vigentes, apresentando taxas de renovação de ar e fluidos refrigerantes ecologicamente corretos, bem como uma melhora na distribuição de ar, temperaturas constantes em todos os pontos do escritório, e conseqüentemente, aparelhos de climatização com maior eficiência energética e redução de gastos com manutenção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral:

Realizar um estudo situacional da climatização atual do ambiente, estimar a carga térmica total necessária e propor um novo sistema de climatização com taxas de renovação de ar e climatização conforme resoluções vigentes.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Estudar na bibliografia existente, as características e o que se deve considerar no dimensionamento de um sistema de climatização;
- Definir as principais normas e resoluções no que se refere à climatização;
- Fazer um estudo da situação atual da climatização da sala, gastos com manutenção e consumo de energia do sistema instalado;
- Estimar a carga térmica total necessária para climatizar o ambiente;
- Definir a quantidade de renovação de ar necessária e estabelecida nas normas ou resoluções;
- Selecionar um sistema de climatização que atenda com eficiência os requisitos do projeto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor é definida como a transmissão de energia de uma região a outra, sendo resultado de uma diferença de temperatura entre elas. A temperatura da substância mais quente irá diminuir e a temperatura da substância mais fria, vai elevar-se (se não houver mudança de fase) e, em um determinado período, os corpos passam a ter a mesma temperatura, atingindo o equilíbrio térmico. O corpo que apresentava maior temperatura perde energia térmica, enquanto o outro ganha energia e tem a temperatura elevada. (INCROPERA, 2003; KREITH E BOHN, 2001).

De acordo com Schmidt et al. (1996), quando a transferência de energia resulta apenas da diferença de temperatura, sem a realização de trabalho, então esta transferência de energia recebe o nome de transferência de calor.

Conforme Alberico (2003) o calor é uma forma de energia, pois pode ser convertido em qualquer outra das formas de energia e estas também podem ser convertidas em calor.

Termodinamicamente o calor é definido como a energia em trânsito devido à diferença de temperaturas e que não está associada com a transferência de massa e sem a realização de trabalho. (SCHIMDT, 1996; TAVEIRA, 2008).

Os processos pelos quais ocorre a transferência de calor são: Condução, Convecção e Radiação.

A condução é a transferência de energia através de uma substância, um sólido ou um fluido, como resultado da presença de uma diferença de temperatura dentro da substância ou entre corpos em contato térmico. Na região mais quente as partículas têm mais energia e vibram com mais intensidade e essa vibração se transmite de molécula a molécula até o extremo oposto, espalhando calor pelo corpo inteiro (SCHIMDT et al., 1996; TAVEIRA, 2008).

Para Incropera (2003) e Schmidt (1996), a condução de calor é um processo que exige a presença de um meio material para se propagar e depende da área do corpo e da resistência térmica oferecida pelo material.

Já a convecção é a transferência de energia dentro do fluido devido ao movimento do mesmo de uma posição para outra. Portanto, convecção é um movimento de massas de fluido, trocando de posição entre si (SCHIMDT, 1996; TAVEIRA, 2008). Todavia, a convecção refere-se ao movimento do fluido originado a partir da diferença de densidade e causada por variações de temperatura deste fluido.

A radiação ocorre quando dois corpos são mantidos a diferentes temperaturas e estão separados entre si por um vácuo perfeito, sem intervenção da matéria, sendo a troca de calor feita por radiação térmica (FILHO, 2012).

Por outro lado, o ganho de calor é a medida que demonstra a quantidade de calor trocado, e se houve “ganho” ou não de calor. Conforme Pena (2002) a quantidade de calor é resultado de grandezas físicas como o calor sensível e calor latente.

De acordo com Pena (2002), toda vez que alteramos o calor (introduzimos ou removemos) num corpo, variando sua temperatura sem alterar seu estado, alteramos o calor sensível desse corpo. Portanto, calor sensível pode ser entendido como o calor que provoca alteração na temperatura sem que haja mudança de fase. (INCROPERA, 2003, SCHMIDT et al., 1996).

Pena (2002), descreve o calor latente de um corpo como o calor que alteramos em um corpo que causa o início da mudança de fase desse corpo. Ou seja:

Toda vez que há troca de calor com mudança de temperatura, sem mudança de estado físico, o calor cedido ou removido é dito Sensível. No momento em que a troca de calor acarreta mudança de estado físico, sem ser acompanhado por mudança de temperatura, dizemos que houve troca de Calor Latente (PENA, 2002, pg. 14).

2.2 CLIMATIZAÇÃO

De acordo com Pena (2002) e Bryant (2001), a climatização ou condicionamento do ar refere-se ao tratamento do ar em um recinto, com ajuste de temperatura, pressão interna, pureza, movimentação e umidade relativa. A finalidade da climatização e a aplicação do condicionamento de ar é o conforto térmico, que pode ser ambiental ou industrial.

A transmissão do calor é o fenômeno, conforme Alberico (2003), que permite o condicionamento do ar de fora para dentro ou de dentro para fora de ambientes fechados.

2.2.1 Umidade Relativa do Ar

Para Kuwakino (2009), a umidade absoluta do ar é muito importante para a climatização dos ambientes. A umidade relativa é a relação aproximada entre as massas do vapor d'água presentes em um volume e a massa de vapor que saturaria aquele volume, com a mesma temperatura e pressão total (PENA, 2002). A umidade do ar é medida com psicrômetros, com termômetros, um de bulbo seco e outro úmido, cujas medidas resultam na Carta Psicrométrica.

2.2.2 Temperatura

De acordo com Pena (2002), a temperatura é uma propriedade da matéria, a medida do nível energético de um corpo. Dessa forma, um corpo com alto índice energético tem uma alta temperatura, e dizemos que ele está quente. Ela é expressa em graus Celsius (°C) no Sistema Internacional de Unidade.

Temperatura de bulbo seco do ar. É a temperatura indicada por um termômetro para uma mistura ar-vapor com a mesma temperatura (PENA, 2002).

Temperatura de bulbo úmido do ar. É a temperatura indicada por um termômetro com seu bulbo envolto em uma gaze molhada, quando exposto a uma corrente de ar até que ocorra o equilíbrio da temperatura ar-vapor, quando a temperatura para de baixar. Segundo Pena (2002), é inferior à temperatura de bulbo seco.

2.2.3 Carta Psicrométrica

A Carta Psicrométrica consiste em um diagrama onde são representadas as propriedades termodinâmicas do ar, apresentando grandezas como: temperatura de bulbo seco (BS), temperatura de bulbo úmido (BU), umidade relativa do ar (UR), umidade absoluta do ar (W), volume específico e entalpia.

Podemos dizer que a carta é um importante instrumento para se obter as propriedades físicas do ar, onde através de apenas duas propriedades físicas conhecidas, consegue-se através do diagrama psicrométrico, determinar as demais propriedades. Vale salientar que cada carta psicrométrica é específica para determinada pressão atmosférica.

Na Figura 1 descreve-se um modelo de carta psicrométrica.

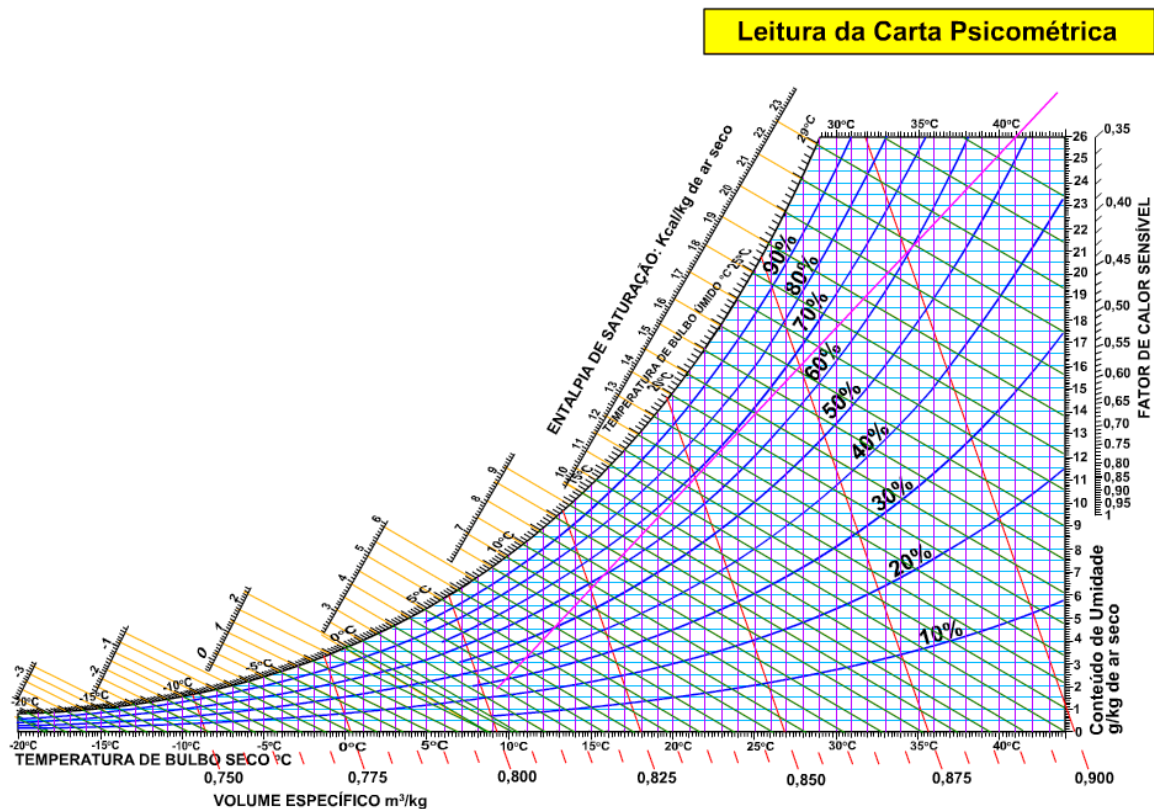


Figura 1: Carta Psicométrica. Fonte: Waldri, 2013.

2.3 CARGA TÉRMICA EM CLIMATIZAÇÃO

De acordo com Bryant (2001) e Pena (2002), é a primeira etapa para o dimensionamento de um sistema de ar condicionado, sendo definida como o “fluxo de calor que deve ser continuamente transferido de/ou para o ambiente, por um equipamento, de modo atender as condições de conforto ou de processo”.

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada (resfriamento) ou colocada (aquecimento) no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas ou manter as condições ambientes adequadas para a conservação de um produto ou para realização de um processo de fabricação. O conhecimento da carga térmica é básico para: - dimensionar a instalação; - selecionar equipamentos; - avaliar o funcionamento de equipamentos existentes ou a serem adquiridos; - avaliar as alterações necessárias ao sistema que beneficia ambientes, cuja finalidade venha ser alterada (MATOS, 2015, pg. 48).

A temperatura interna de conforto é considerada na NB 10 – Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto ABNT (1978), apresentadas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1

Condições internas de conforto para residências e escritórios

| | Temp. de Bulbo Seco (°C) | Umidade Relativa (%) |
|----------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Verão | 23 a 25 | 40 a 60 |
| Inverno | 20 a 22 | 35 a 65 |

Fonte: Bryant, 2001.

Conforme a descrição de Matos (2015), a carga térmica de uma edificação varia de acordo com os fatores que a influenciam e que se modificam ao longo do dia (temperatura externa, insolação, número de pessoas, etc.). Sendo que, o calor resultante em um ambiente deve-se aos seguintes fatores:

- Radiação solar através de superfícies transparentes (vidros de janelas);
- Condução de calor através de paredes externas e telhados;
- Calor gerado dentro do ambiente (pessoas, iluminação, equipamentos);
- Calor proveniente da ventilação e infiltração (ar exterior);
- Calor gerado por outras fontes.

Matos (2015) descreve um resumo dos conceitos e sistemas abordados, afirmando que a correta seleção do equipamento de controle térmico é feita considerando-se os valores de calor sensível e latente.

O ganho de calor sensível é o ganho de calor de um determinado ambiente devido a transmissão por radiação, condução ou convecção, ou devido ainda a estas formas simultaneamente. Quando a umidade é adicionada ao ambiente, como por exemplo, pelo vapor d'água liberado pelas pessoas, há uma quantidade de energia associada com esta umidade, que precisa ser considerada. Neste caso se a umidade precisa ser mantida constante no ambiente, então o vapor d'água que precisa ser condensado no equipamento

é igual ao valor que é produzido no ambiente. A quantidade de energia necessária para fazer isto é essencialmente igual ao produto da taxa de condensação por hora e o calor latente de condensação. Este produto é chamado ganho de calor latente. A carga de calor sensível de resfriamento é definida como a quantidade de calor que precisa ser removida do ambiente para que a temperatura do recinto seja constante. O projeto do sistema de ar condicionado requer a determinação do ganho de calor sensível e latente do ambiente e o ganho de calor total, sensível mais latente e do ar exterior usado para ventilação (renovação de ar). A soma de todos os ganhos de calor sensível instantâneo, em um determinado momento não é necessariamente igual a carga de calor sensível de resfriamento do ambiente para aquele momento. [...]. A determinação da carga térmica de pico ou carga de pico será função do ganho de calor através das paredes externas, vidros e telhados. A maioria das edificações com uma ou mais faces expostas ao exterior apresentam a carga de pico entre 13 h e 18 h (MATOS, 2015, pg. 49).

As parcelas que compõem o cálculo da carga térmica são:

- cargas externas;
- cargas internas;
- carga de ventilação e infiltração.

2.3.1 Cargas externas

As cargas externas são aquelas geradas no exterior do prédio, por insolação através de uma janela, pela diferença de temperatura exterior/interior através de parede externa e pela admissão ou infiltração de ar externo (PENA, 2002).

A carga de calor sensível devido às condições externas são:

- o efeito combinado da temperatura do ar exterior e a incidência da radiação solar que causa um fluxo de calor através das paredes externas e coberturas;
- a temperatura dos espaços adjacentes ocasionando um fluxo de calor para o espaço condicionado ou dele retirando calor;
- ganho de calor solar, devido à radiação direta ou indireta (difusa), através dos vidros e portas.

Para o cálculo da carga externa, as seguintes informações são necessárias:

- orientação e dimensões dos ambientes da edificação;
- características dos materiais do piso, paredes, teto, forro falso e vidros das janelas e portas;
- tamanho e utilização do espaço a ser condicionado;
- condições externas do meio ambiente e condições dos ambientes adjacentes (MATOS, 2015, pg. 50).

a) Radiação solar: janelas

Pena (2002) afirma que devido à inclinação da terra e sua órbita em torno do sol, “a incidência de energia solar varia de acordo com a latitude, orientação da edificação e horário, ao longo do dia”.

Para Matos (2015), a quantidade de energia solar recebida “depende das variações sazonais, da constante de umidade, da distância sol/terra, da variação angular com as vizinhanças e das superfícies refletoras mais relevantes”.

Para o cálculo da energia solar se consideram principalmente as janelas e fachadas de vidros, sendo os valores e fórmulas descritos pela ABNT e normas como a NBR 16401, e também fornecidos em tabelas e manuais pelos fabricantes de ar condicionado, como a Springer Carrier.

Para a estimativa da carga térmica de insolação, é importante saber o horário de utilização da dependência e fazer o cálculo para a incidência máxima do horário de utilização da dependência e fazer o cálculo para a incidência máxima do sol. Embora se conheça com certa precisão a quantidade de calor por radiação e convecção oriundos do sol, a parcela que penetra nos recintos não é bem conhecida, todas as tabelas existentes dão uma estimativa para os cálculos satisfatória na prática do ar condicionado (MATOS, 2015, pg. 51).

A energia solar não é instantânea e integralmente transmitida ao ambiente, apresentando picos e tendo como variáveis:

- a área de vidro;
- latitude, fachadas e horário do dia;
- elementos de sombreamento (venezianas, toldos, etc.).

Alguns fatores reduzem essa energia, que é a maior parcela da carga térmica em ambientes. São alguns deles:

- vidros duplos (- 50%);
- vidros especiais em cor (-60%);
- pintura na parte externa em branco ou vidro espelhado (-50%);
- elementos de sombra na face externa (-75%). (MATOS, 2015; PENA, 2002).

A transmissão de calor do sol através de vidro subdivide-se em três partes: uma refletida, uma absorvida e uma que atravessa o vidro e que penetra no recinto, sendo esta a que interessa nos cálculos de carga térmica.

b) Condução: paredes externas e telhados

O ganho de temperatura por condução é influenciado pelas temperaturas de paredes e telhados, seus coeficientes de transmissão global de calor e a área da

superfície. A localização geográfica da cidade influencia nas temperaturas externas e, conseqüentemente, no ganho de calor por condução (PENA, 2002).

2.3.2 Cargas Internas

As cargas internas são aquelas geradas no interior do prédio, por condução através de divisórias, vidros, paredes internas, forros e pisos, e por pessoas, equipamentos, luzes, etc (PENA, 2002).

a) Condução: paredes internas e piso

Pena (2002) descreve este ganho “como proporcional a área, ao coeficiente de transmissão global de calor do elemento construtivo e ao diferencial de temperaturas”, porém, para o caso de vidros e janelas externas em paredes não isoladas, utiliza-se o diferencial de temperatura externa/interna; e, no caso de paredes internas, como divisórias, forros e pisos, utiliza-se o diferencial de temperatura dos ambientes (MATOS, 2015).

b) Devido às pessoas

Também chamada de carga de ocupação, considera que todo ser humano emite calor latente e sensível, proveniente do metabolismo e que varia conforme a temperatura interna do ambiente, o sexo da pessoa e o nível de atividade. Esses valores são calculados de forma aproximada e com variáveis tabeladas por normas, como os valores apresentados na tabela 12 da NBR 1640, que estabelece os valores do calor liberado pelas pessoas em função da temperatura e da atividade (PENA, 2002; MATOS, 2015).

c) Devido aos equipamentos

De acordo com Matos (2015) e Pena (2002), os motores elétricos e equipamentos adicionam carga térmica sensível diretamente para os ambientes condicionados e, portanto, devem ser contabilizados, quer estejam dentro do ambiente ou qualquer ponto do fluxo de ar. É preciso levar em conta se o motor está sempre em funcionamento ou se a sua utilização é apenas esporádica.

d) Devido à iluminação

Todo o calor consumido pelas lâmpadas é convertido em carga térmica no sistema térmico do recinto. Para a iluminação incandescente o ganho de calor sensível é igual à potência das lâmpadas e, quando iluminação é fluorescente, necessita-se de reatores, adiciona-se cerca de 20% de carga.

2.3.3 Cargas de ventilação e infiltração

Pena (2002) descreve o ar de ventilação como o utilizado para renovar o ambiente interno, que está sempre sendo depreciado pela queima no metabolismo humano e pela agregação dos poluentes internos. Esse ar, que vem da parte externa do ambiente, é fundamental para diluir os odores produzidos nos recintos.

Ambientes fechados são obrigados a garantir adequada renovação do ar de interior dos ambientes climatizados, ou seja, no mínimo de 27 m³/h/pessoa e no caso de sistemas com capacidade acima de 5 TR (15.000 kcal/h = 60.000 Btu/h), deverão manter um responsável técnico habilitado. Cabe registrar que profissionais autônomos podem assinar ART e PMOC dentro de suas especificidades, isto é não precisam, necessariamente, ter vínculo com uma empresa. Conforme estudos, ambientes fechados são até 10 vezes mais poluídos que o ar externo, podendo chegar até 100 vezes (ANTONOVICZ E WEBER, 2013, pg. 26).

Há também o ar que penetra no ambiente através de frestas, chamado de ar de infiltração. Deve-se considerar ainda que quando a pressão do ar no ambiente é superior à pressão do ar externo, não há penetração do ar de fora, podendo-se desprezar a carga gerada por este (MATOS, 2015; PENA, 2002).

2.4 CONDICIONADORES DE AR

De acordo com Alberico (2003), o condicionador de ar é um aparelho projetado com o objetivo de tratar o ar de um ambiente, proporcionando condições de temperatura e umidade confortáveis para o ser humano. Eles usam a evaporação de um fluido refrigerante para fornecer refrigeração e desumidificação com circulação e filtragem do ar. Podem também incluir renovação do ar e aquecimento. Os condicionadores de ar podem ser de expansão direta e indireta.

2.4.1 Sistemas de expansão direta

Conforme Alberico (2003) e Pena (2002), um sistema é considerado de expansão direta quando o ar é refrigerado pelo fluido refrigerante (“freon”), ou seja, o fluido troca calor diretamente com o ar insuflado no ambiente. São os aparelhos dos tipos: aparelhos de janela, *Splits*, *Self Contained* ou *Package*.

a) Aparelhos de janela:

Os aparelhos de ar condicionado janela (Figura 2) também são conhecidos como modelo de parede ou individual, sendo utilizados para baixas capacidades.



Figura 2: Ar condicionado tipo janela. Fonte: Antonovicz e Weber, 2013.

O aparelho de Ar condicionado de janela incorpora a unidade evaporadora (onde há a sucção do ar quente do ambiente e devolução do ar refrigerado) e a unidade condensadora (onde se localiza o compressor, onde o ar quente do condensador é eliminado para o ambiente externo) em um único gabinete (BRYANT, 2001; ANTONOVICZ e WEBER, 2013).

Conforme Antonovicz e Weber (2013), é “possível encontrar no mercado modelos de baixa potência, de 7000 Btu/h, até os mais potentes, no máximo a 30000 Btu/h”, sendo as principais vantagens desse aparelho o valor mais baixo, o modelo mais compacto, e a facilidade de instalação, e a desvantagem de maior nível de ruído.

b) Aparelhos Splits:

Os aparelhos Splits são versáteis e projetados para pequenos, médios e grandes ambientes, apresentando grande eficiência e baixo consumo de energia. Segundo Bryant (2001) a principal característica desse modelo é a instalação das partes ruidosas em áreas externas, deixando apenas a unidade evaporadora no interior do ambiente. São de diversos tipos, sendo os mais citados (Figura 3):

- *Hi-Wall* (X): permite a instalação na parede, por isso ele também é chamado de “parede”.

- Cassete (Y): modelo de ar-condicionado que possui até quatro vias para a saída do ar e pode ser instalado no teto ou no forro. O cassete é indicado para ambientes de médio porte, residenciais ou comerciais. Uma das principais vantagens desse tipo de split é que ele fica embutido no teto, sem contar que é possível controlar o fluxo de ar em cada aleta, individualmente (dependendo do fabricante).

- Piso-teto (Z): esse modelo que traz a possibilidade de ser instalado no piso ou no teto e conta com um forte desempenho para refrigeração. A capacidade de refrigeração do ar condicionado piso teto pode variar de 18.000 Btu/h a 80.000 Btu/h. Sua principal característica é o bom aproveitamento de espaço e permite que a instalação seja versátil, ou seja, instalado nas posições: sobre o piso (também chamado de console), na parede e no teto, liberando um espaço maior para o tráfego de pessoas ou objetos (ANTONOVICZ e WEBER, 2013).



Figura 3: Tipos de ar condicionado modelos *splits*. Fonte: Antonovicz e Weber, 2013.

c) *Aparelhos Self Contained:*

Os aparelhos de ar condicionado dessa configuração têm como característica básica a operação de todos os componentes do ciclo de refrigeração dentro de um único gabinete (BRYANT, 2001). Eles podem ser de insuflação direta, que ficam dentro do próprio ambiente, ou dutados, ficam instalados em salas de máquinas e fazem o transporte do ar gelado através de uma rede de dutos, sendo acionado manualmente ou por controle remoto, conforme (Figura 4).



Figura 4: Aparelho *Self Contained*. Fonte: Springer Carrier, 2015.

Segundo Filho (2012), o sistema *Self Contained* é um modelo que reúne todas as unidades dentro de um aparelho apenas, sendo o mais eficaz dos modelos e podendo resfriar um andar inteiro. “É possível encontrar aparelhos *self contained* a partir de 3 TRs (equivalente a 36 mil BTUs), podendo atingir até 60 TRs” (FILHO, 2012). Também podem ser encontrados *Selfs* com dois tipos de gases refrigerantes: o R22 ou R407C (gás ecológico). Além disso, existem dois tipos de *Self Contained*: com condensador à água que requer uma torre de resfriamento e com condensador a ar, podendo esse último ainda ser na própria *Self* ou ser um condensador remoto. Esses aparelhos não possuem ciclo reverso, ou seja, só resfriam.

2.4.2 Sistemas de expansão indireta

De acordo com Alberico (2003) e Pena (2002), um sistema é considerado de expansão indireta quando o ar é refrigerado por água, sendo esta resfriada em um circuito de compressão por um “*chiller*”. Ou seja, nesse sistema utiliza-se resfriadores de líquidos.

a) Chiller

Os *Chillers* (Figura 5) são resfriadores de água, ou seja, produzem água gelada com o objetivo de resfriar o ar, produtos ou equipamentos. Também conhecidos como Central de Água Gelada, esse sistema de condicionamento de ar tem uma unidade do tipo *fancoil* em cada ambiente a ser condicionado. Esses ambientes possuem sensores de temperatura que transmitem um sinal elétrico para o atuador da válvula instalada na tubulação de retorno da unidade condicionadora de ar (ALBERICO, 2003).



Figura 5: Aparelho *Chiller*. Fonte: Springer Carrier, 2015.

Conforme o Alberico (2003) e Filho (2012), *fancoil* é o componente do sistema provido de serpentina e ventilador, em que o ventilador força a passagem do ar através da serpentina, onde acontece a refrigeração do ar, sendo então encaminhado aos ambientes através das redes de dutos.

2.5 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

São muitas as Normas e Leis que podem e devem ser consideradas para o estudo de sistemas de climatização, sendo as mais relevantes e seus pontos principais citados nos tópicos seguintes.

2.5.1 Protocolo de Montreal

Este tratado internacional tem o objetivo de comprometer os países a acabar e substituir os chamados gases CFCs e outras substâncias que contribuem para a destruição da camada de ozônio, gases esses, presentes na maioria dos equipamentos de climatização e refrigeração.

O Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, adotado em Montreal, em 1987, promulgado no Brasil pelo Decreto n. 99.280, de 6 de junho de 1990; traça um cronograma para as reduções de emissões, com obrigações diferenciadas para os países industrializados (Denominados países do Anexo I) e outros, e um programa gradual de substituições daquelas substâncias por outras, dentro de um programa de cooperação internacional mínimo. Foi no Protocolo de Montreal que pela primeira vez os Estados consagraram a regra da “responsabilidade comum porém diferenciada” entre os Estados, no que respeita às obrigações de preservação do meio ambiente (SOARES, 2003, pg.149).

Este Tratado ficou aberto para a adesão a partir de 16 de setembro de 1987 e entrou em vigor no dia 1º de janeiro de 1989, com adesão de 150 países.

2.5.2 RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), essa resolução determina padrões de Qualidade do Ar Interior (QAI) em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Os pontos mais importantes são:

2 – Os Valores Máximos Recomendáveis para contaminação química são:
[...]

2.1 - 1000 ppm de dióxido de carbono - (CO₂) , como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar.[...]

3.1 - a faixa recomendável de operação das Temperaturas de Bulbo Seco, nas condições internas para verão, deverá variar de 23°C a 26°C [...]. A seleção da faixa depende da finalidade e do local da instalação. Para

condições internas para inverno, a faixa recomendável de operação deverá variar de 20°C a 22°C.

3.2 - a faixa recomendável de operação da Umidade Relativa, nas condições internas para verão, deverá variar de 40% a 65% [...]. A seleção da faixa depende da finalidade e do local da instalação. Para condições internas para inverno, a faixa recomendável de operação deverá variar de 35% a 65%.

3.3 - o Valor Máximo Recomendável - VMR de operação da Velocidade do Ar, no nível de 1,5m do piso, na região de influência da distribuição do ar é de menos 0,25 m/s.

3.4 - a Taxa de Renovação do Ar adequada de ambientes climatizados será, no mínimo, de 27 m³/hora/pessoa, exceto no caso específico de ambientes com alta rotatividade de pessoas (ANVISA, 2003).

Portanto, é dessa Resolução que resulta o padrão exigido de renovação de ar, com a taxa de 27 m³ a cada hora para cada pessoa, assim como a Umidade Relativa para ambientes internos (40 a 65% no verão e 35 a 65% no inverno). Também nessa resolução é estabelecido o limite de Dióxido de carbono como indicador da renovação do ar interno.

2.5.3 ABNT 16401

Esta é uma norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas que trata das instalações de ar condicionado e possui três partes:

1 - Projeto das instalações: estabelece parâmetros básicos e requisitos mínimos para sistemas de ar condicionado centrais e unitários, acima de 10 kW.

2 - Parâmetros de conforto térmico: especifica parâmetros do ambiente interno que proporcionem conforto aos ocupantes do recinto (uma maioria de 80% das pessoas de um grupo homogêneo em termos de atividade física e tipo de roupa usada).

3 - Qualidade do ar interior: especifica parâmetros básicos e requisitos mínimos para a obtenção da qualidade aceitável de ar interior para conforto.

É uma atualização da ABNT 6401 e apresenta tabelas de todo o planejamento e estudo do sistema de climatização, resultantes de experimentos e cálculos. As principais tabelas são:

- TABELA 1. Condições internas para verão;
- TABELA 2. Condições internas para inverno;
- TABELA 3. Recomendações para aplicações de filtros de ar;
- TABELA 4. Ar exterior para renovação;

- TABELA 5. Níveis de ruído permissíveis;
- TABELA 6. Condições externas para verão;
- TABELA 7. Condições externas para inverno;
- TABELA 8. Infiltração de ar;
- TABELA 9. Valores para ocupação dos recintos;
- TABELA 10. Energia dissipada pelas luminárias;
- TABELA 11. Calor liberado por fonte diversas;
- TABELA 12. Calor liberado por pessoas;
- TABELA 13. Velocidades recomendadas e máximas para dutos de ar e equipamentos de sistema de baixa pressão;
- TABELA 14. Bitolas de chapas para a fabricação de dutos rígidos e sistemas de baixa pressão;
- TABELA 15. Parâmetros máximos para seleção da tubulação de água.

Esta norma engloba talvez todas as demais resoluções, a mais importante dentre as normas que se referem a sistemas de ar condicionado e climatização de ambientes.

2.5.4 Portaria 3523/98

Do Ministério da Saúde, regulamenta medidas específicas para o padrão de qualidade do ar em ambientes climatizados (parâmetros físicos e composição química).

Art 5º Todos os sistemas de climatização devem estar em condições adequadas de limpeza, manutenção, operação e controle, observadas as determinações, abaixo relacionados, visando a prevenção de riscos à saúde dos ocupantes: [...]
f. garantir a adequada renovação do ar de interior dos ambientes climatizados, ou seja no mínimo de 27 m³/h/pessoa (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998).

Portanto, entre outras medidas, essa Portaria reafirma a Taxa de Renovação de Ar Interno em 27 m³ por hora para cada pessoa.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Conforme Lakatos e Marconi (2006), quando submetemos o conhecimento empírico a algum método científico o transformamos em conhecimento científico. Portanto, é fundamental a descrição do método de realização da pesquisa para a validação da mesma. A presente pesquisa apresenta investigações de natureza aplicada, sendo esta considerada uma pesquisa exploratória, com realização de um estudo de caso em um escritório de empresa do setor agrícola.

Pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar familiaridade com o problema, com vista a torná-lo mais explícito e seu objetivo principal é o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. (GIL 2002, p. 41)

De acordo com Steffenello (2012), a pesquisa aplicada tem como motivação a necessidade de buscar conhecimentos para aplicação de seus resultados, com objetivo de construir para fins práticos e visando a solução imediata do problema encontrado na realidade.

Primeiramente foi realizado um estudo utilizando a técnica de pesquisa bibliográfica que, de acordo com Lakatos e Marconi (2007), é feita através de dados secundários, ou seja, através de conteúdos já publicados, com objetivo de obter informações quanto aos requisitos mínimos de projeto, normas, portarias e resoluções vigentes no que se refere à climatização e conforto térmico para ocupação humana, com posterior levantamento de dados, visando o conhecimento do atual sistema de climatização do layout analisado.

Todavia, a primeira etapa do levantamento de dados, realizou-se pela conceituação e definição do referencial teórico, buscando caracterizar os equipamentos de climatização instalados no escritório em estudo, apresentando assim, a capacidade de climatização de cada equipamento, para posteriormente, desenhar e detalhar o ambiente através de planta baixa mostrando a distribuição dos mesmos dentro da sala.

Dando seguimento a parte prática do estudo, foi realizado levantamento de dados, visando o conhecimento do atual sistema de climatização da sala em termos

de carga térmica. Para isso, levou-se em consideração alguns dados necessários para tal estimativa, como por exemplo: ocupação, potência dos equipamentos, iluminação, distribuição e orientação da sala.

Após a referida coleta de dados, foram descritos todos os dados em uma planilha de estimativa de carga térmica de um fornecedor de equipamentos de climatização, obtendo através desta, o valor total necessário para climatizar o ambiente. Posteriormente definiu-se a renovação de ar necessária ao ambiente, levando em consideração os requisitos legais de acordo com normas e resoluções vigentes.

Por fim, foram definidos os principais requisitos desejáveis ao novo sistema de climatização e posteriormente elaborou-se a proposta de um novo sistema de climatização que atenda a esses requisitos.

Portanto, o procedimento utilizado foi o estudo de caso, que, de acordo com Yin (2005), é o tipo de estratégia de pesquisa que visa contribuir com o conhecimento dos fenômenos individuais, onde o pesquisador não controla os fenômenos, sendo estes da vida real.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Entre os materiais e equipamentos usados nesta pesquisa, pode-se destacar os seguintes:

- a) Analisador de energia modelo MARH-21, marca RMS. O equipamento foi utilizado para medir os principais parâmetros de energia do Chiller.
- b) Planilha para estimativa de carga térmica, OTIMOAR. Foi utilizada para lançamento dos dados necessários para estimativa da carga térmica do ambiente analisado.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, estão apresentados os resultados da aplicação da metodologia estabelecida para este trabalho, o estudo tanto do sistema de climatização atual do leiaute, quanto do sistema proposto, a estimativa de carga térmica e renovação de ar necessário ao ambiente, bem como, a proposta de um equipamento que supra as necessidades de climatização do ambiente, respeitando a carga térmica e as principais resoluções vigentes no ramo de climatização para conforto térmico.

4.1 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE

O ambiente onde se realizou o estudo da climatização consiste em uma sala de engenharia ocupada por 110 pessoas em atividade moderada, o qual fica alocado dentro da área fabril, protegido por telhado. A área é representada pela parte hachurrada da planta baixa da Figura 6.

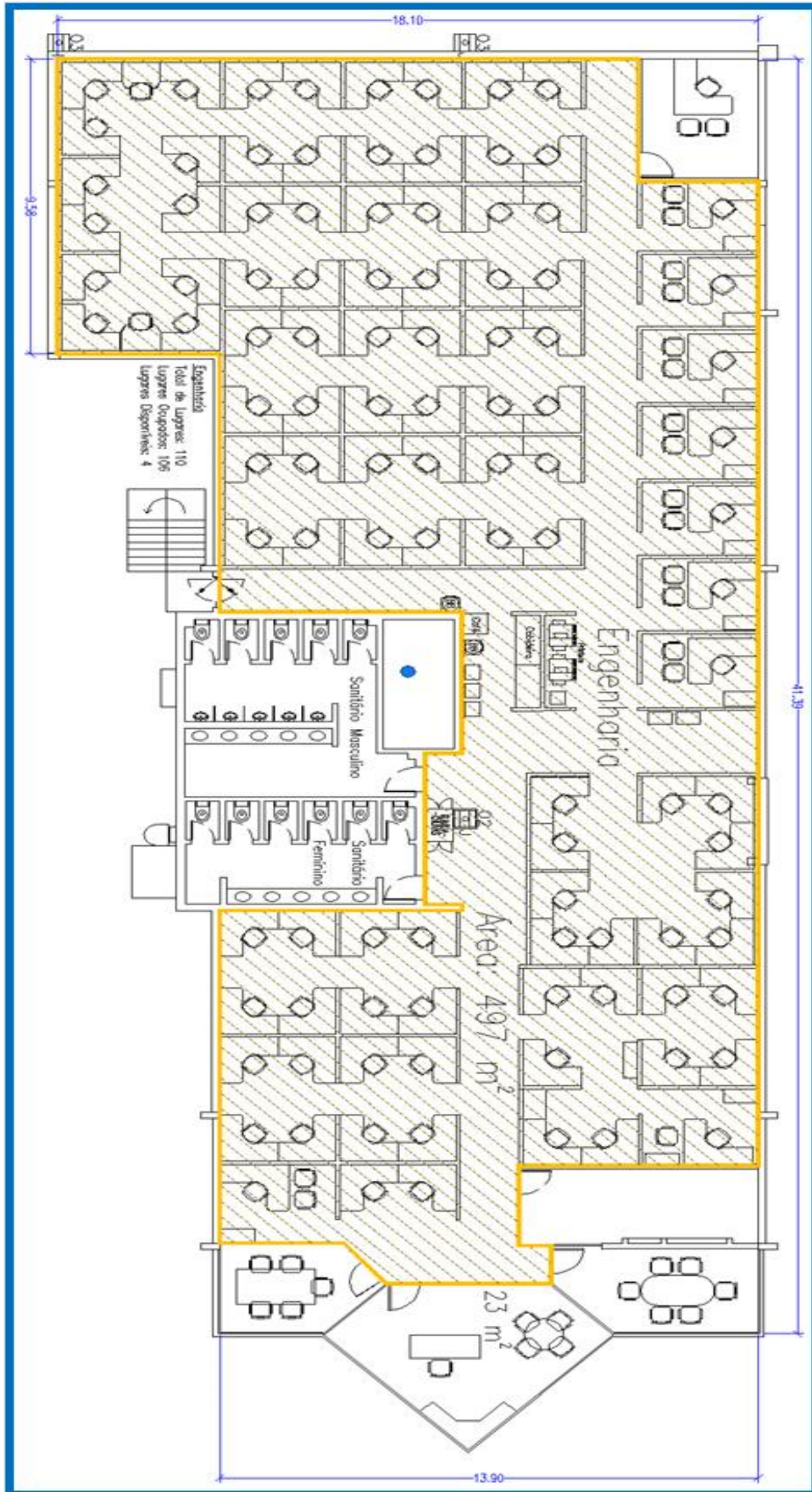


Figura 6: Planta baixa do ambiente analisado.

4.2 SISTEMA ATUAL

Atualmente, estão instalados no ambiente 12 aparelhos de climatização, 9 aparelhos de expansão direta do tipo Split, e 3 equipamentos de expansão indireta tipo *fancoil*, (que ficam alocados dentro de uma sala de maquinas fazendo a distribuição do ar para dentro da sala através de dutos), e alimentados por água gelada que é resfriada por dois chillers, modelo 30HK040-A731 com capacidade de 40TR cada, conforme demonstrado na Figura 7.

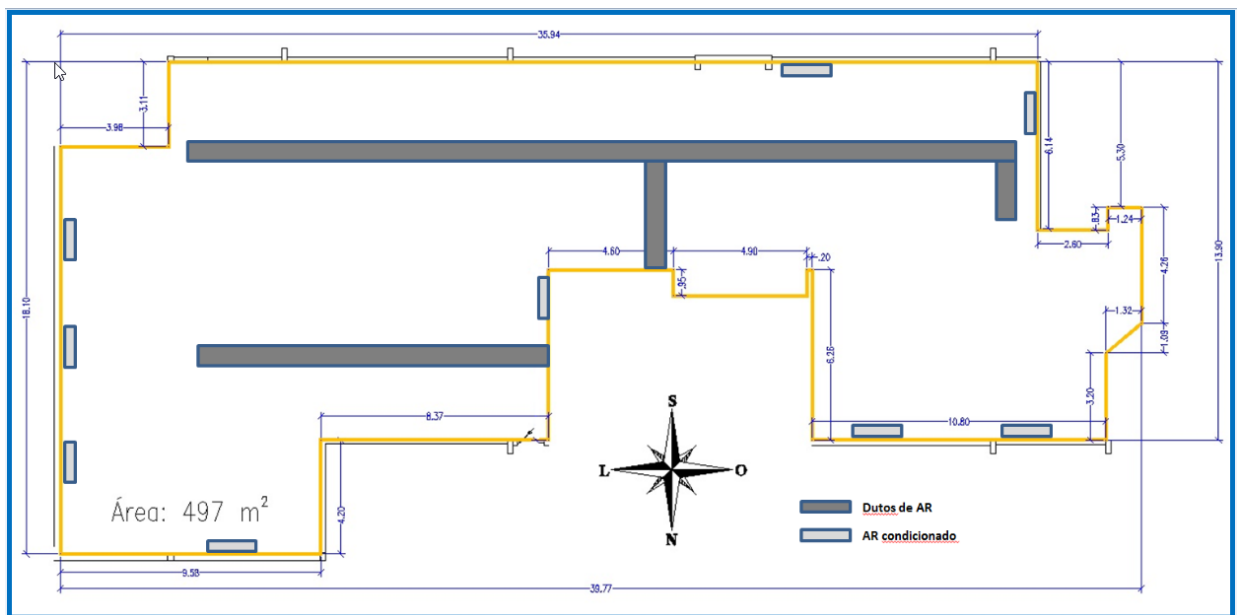


Figura 7: Disposição dos aparelhos de ar condicionado.

4.2.1 Capacidade instalada

Na Tabela 3 estão listados os equipamentos instalados e a capacidade de refrigeração de cada equipamento, somando de carga térmica de climatização um total de 510.000 BTU/h, ou transformando para TR uma capacidade de aproximadamente 43TR.

Tabela 3
Capacidade atual instalada no ambiente

| Equipamento | Capacidade BTU/h | Tipo |
|----------------|------------------|--------------------|
| 420QB12226 | 12.000 | Split |
| 420QB12226 | 12.000 | Split |
| 42MQA018515LC | 18.000 | Split |
| 42MQA018515LC | 18.000 | Split |
| 42LSA30226QLB | 30.000 | Split |
| 42LSA30226QLB | 30.000 | Split |
| 42LSA30226QLB | 30.000 | Split |
| 42LSA30226QLB | 30.000 | Split |
| 42LSE30226QLB | 30.000 | Split |
| 40RP0106408D09 | 120.000 | Fan Coil (Chiller) |
| 40RP0104H08E10 | 120.000 | Fan Coil (Chiller) |
| 40RP0056408E06 | 60.000 | Fan Coil (Chiller) |
| TOTAL | 510.000 | |

Na Figura 8, apresenta-se um gráfico da corrente elétrica consumida pelo *chiller* em funcionamento. Essa representação foi adquirida através de uma medição dos parâmetros de energia elétrica, por meio do software de leitura dos parâmetros do analisador. Para isso utilizou-se um analisador de energia modelo MARH-21.

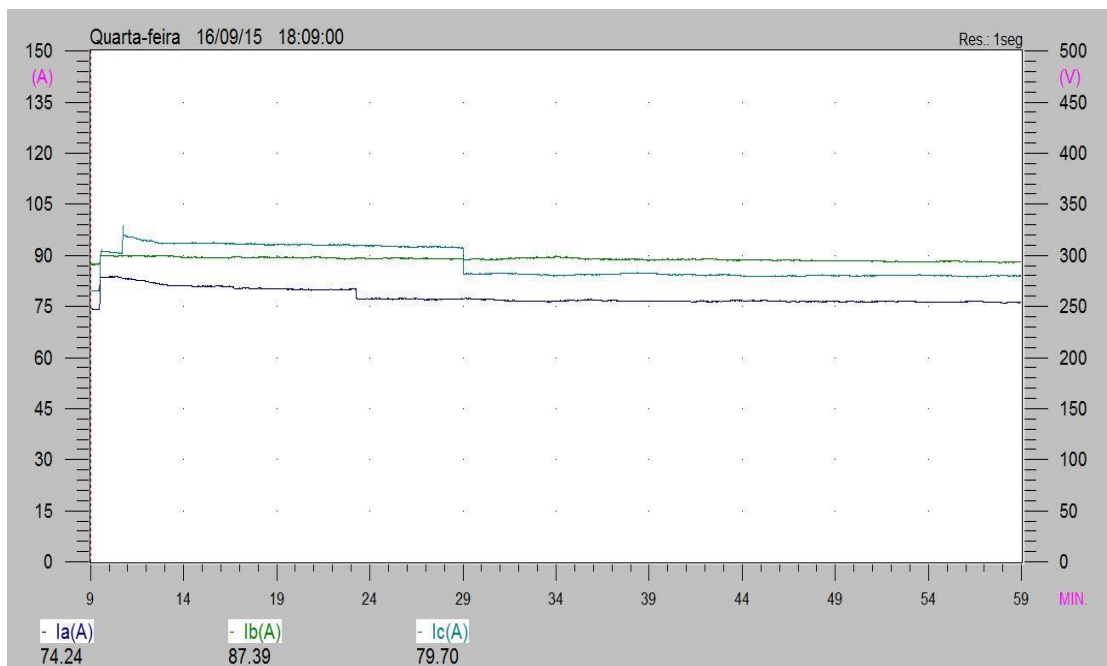


Figura 8: Gráfico de corrente elétrica do aparelho *Chiller*.

Foram feitas medições dos principais parâmetros de funcionamento do *chiller*, como tensão e corrente elétrica em um intervalo de tempo de 24 horas, a fim de conseguir uma estimativa do consumo de energia elétrica do mesmo.

Através do gráfico, pode-se notar que o *chiller* trabalha em uma corrente média perto dos 80 Amperes. Como o *chiller* é trifásico tem-se essa corrente circulando pelas três fases Ia, Ib e Ic, em seu pleno funcionamento. O mesmo funciona, em média, 22 horas por dia, durante ao menos 8 meses por ano. Levando-se em conta esses aspectos, pode-se perceber o quanto de energia elétrica o mesmo consome para climatizar os ambientes. Cabe ressaltar que a sala é ocupada entre 06:00 e 18:00 horas.

Na Figura 9 é demonstrado o somatório da potência dos equipamentos que climatizam o ambiente, sendo que, somando-se todas as potências dos equipamentos tipo Split, temos uma potência de aproximadamente 23.000W, dados estes retirados dos próprios equipamentos.

A potência do *chiller* em pleno funcionamento foi obtida através do produto da corrente elétrica e tensão do *chiller*, pela medição do gráfico apresentado, conforme Figura 8, onde temos aproximadamente 80 Amperes por fase de corrente elétrica e 220 Volts em cada fase do equipamento. Cabe ressaltar que o *chiller* não refrigera somente o ambiente estudado, atendendo também a outras duas áreas da empresa, estima-se que um terço da carga total do *chiller* é destinada ao ambiente estudado.

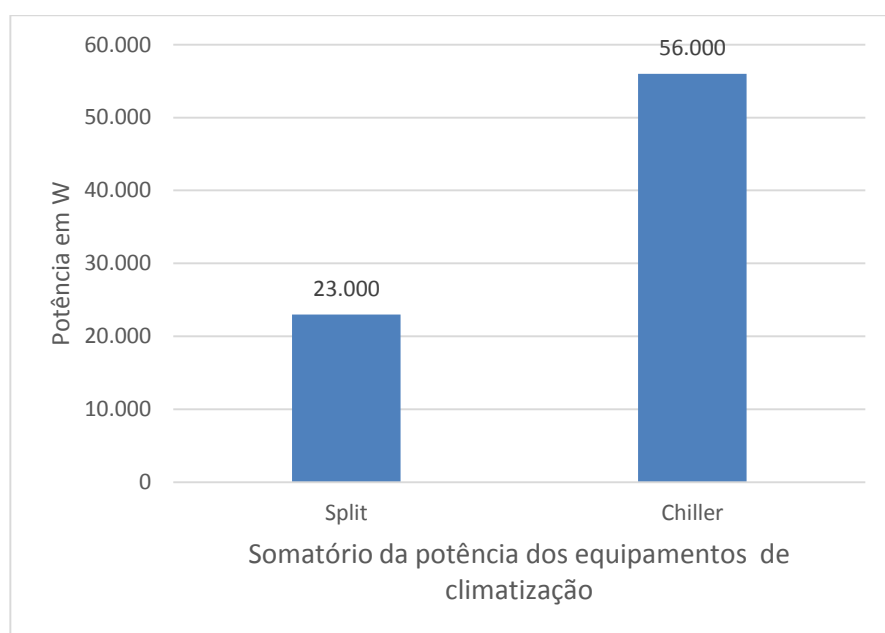


Figura 9: Gráfico de potência dos equipamentos.

4.2.2 Manutenção: custos e qualidade do ar interior

A manutenção do sistema de climatização da sala chegou a R\$ 65.204,7 em 2010, R\$ 37.697,43 em 2013, e está em R\$ 30.500,00 até a data deste trabalho, em 2015. O custo acumulado é de aproximadamente R\$ 200.000,00 em 5 anos, com gastos em manutenção dos aparelhos de climatização (Figura 10).

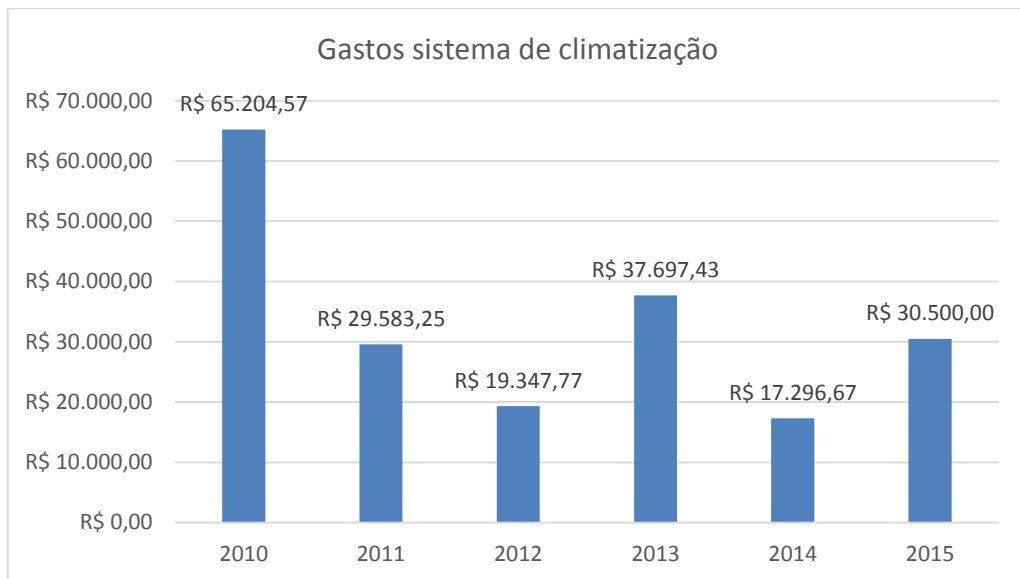


Figura 10: Gráfico dos gastos com manutenção.

Semestralmente, para atendimento da RE n° 9 da ANVISA, de 16 de janeiro de 2003, conforme mencionado na revisão de literatura, é realizada uma análise do ar ambiente, buscando o atendimento dos parâmetros de Qualidade de Ar Interior (QAI) no local. Conforme o gráfico da Figura 11, a taxa de CO₂ no ambiente entre 2013 e 2014 está bem próxima do limite exigido segundo a resolução (1000ppm de CO₂), e até ultrapassou esse limite em uma das medições de 2014, e constatou-se que essa taxa tem se elevado a cada ano, dados estes retirados do laudo de análise de ar ambiente.

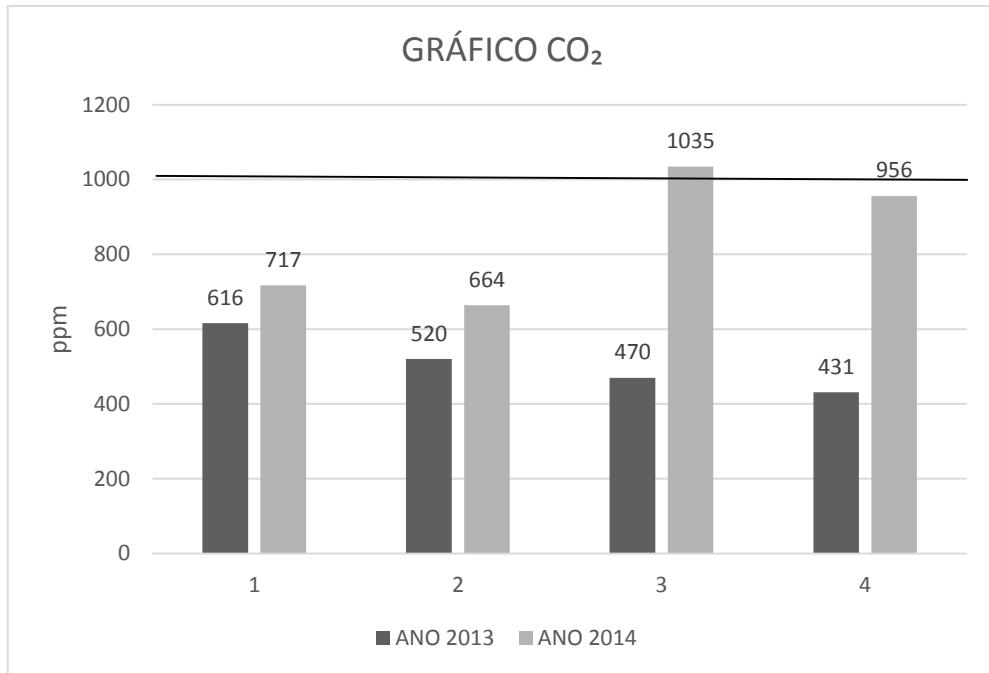


Figura 11: Gráfico das medições de CO₂.

4.3 ESTIMATIVA DA CARGA TÉRMICA

São inúmeros os Softwares e aplicativos utilizados na atualidade para fazer a estimativa da carga térmica de um ambiente, podendo-se citar alguns, como Energy-Plus, Acterm e o E-20 da Springer Carrier.

No entanto, a fim de obter uma estimativa da carga térmica do espaço estudado, foi utilizada uma planilha de um fornecedor de projetos de climatização, conforme detalhado nas Figuras 12 a 18. Neste procedimento, não foram consideradas áreas de insolação através das paredes, pois o ambiente fica alocado dentro da área fabril, protegido por telhado.

Portanto, nesse caso não houve nenhum acréscimo de carga térmica devido à insolação no ambiente. Cabe salientar, que a “Planilha de Cálculo Simplificado da Carga” é fornecida pelos fabricantes de ar condicionado e baseada na Norma NBR 16401.

Posteriormente, para o cálculo da carga térmica de transmissão, foram medidas todas as áreas internas do ambiente que possuem vidro, sendo as duas últimas colunas da Figura 12 os resultados da carga térmica de transmissão, uma expressa em kcal/h e a outra em BTU, conforme detalhado nesta mesma figura.

| 2 Janelas: Transmissão (Deve-se somar todas as áreas de mesmo material) | | | | |
|---|------------------------|-------|----------|-----------|
| | Área (m ²) | Fator | | |
| Vidro Comum | 100,00 | 50 | 5.000,00 | 19.840,00 |
| Tijolo de Vidro | - | 25 | | - |

Figura 12: Cálculo da carga térmica (transmissão).

Para a transmissão de calor através das paredes, foram somadas todas as áreas das paredes e descontado as áreas que possuem vidro (já consideradas no item anterior), conforme ilustrado na Figura 13.

| 3 Paredes: | | | | | | |
|----------------------|------------------------|------------|-------------------|-------|----------|----------|
| Paredes externas | Área (m ²) | Construção | | Fator | | |
| | | Leve | Construção Pesada | | | |
| orientação Sul | 44,00 | 13 | 10 | 13,00 | 572,00 | 2.269,70 |
| outra orientação | 103,00 | 20 | 12 | 20,00 | 2.060,00 | 8.174,08 |
| Paredes internas | | | | Fator | | |
| Paredes (amb.ñ.ref.) | 47,00 | | | 13 | 611,00 | 2.424,45 |

Figura 13: Cálculo da carga térmica (paredes).

Devido ao fato do teto do ambiente ser composto por forro em alumínio revestido com manta térmica e protegido por telhado, recebendo assim insolação, considerou-se toda a área do ambiente na realização do cálculo (Figura 14).

| 4 Teto: | | | | |
|---|------------------------|-------|-----------|-----------|
| | Área (m ²) | Fator | | |
| Em lage exposta ao Sol sem isolamento | - | 75 | - | - |
| Em lage com 2,5cm de isolamento ou mais | - | 30 | - | - |
| Entre andares | - | 13 | - | - |
| Sob telhado com isolamento | 497,00 | 50 | 24.850,00 | 98.604,80 |
| Sob telhado sem isolamento | | 50 | - | - |

Figura 14: Cálculo da carga térmica (teto).

Quanto ao piso, foi considerada a área total do ambiente, pois o mesmo fica alocado no primeiro andar, e abaixo dele funciona outro escritório climatizado, considerando-se nesse caso também a área total do ambiente (497 m²), figura 15.

| 5 Piso: (exceto os diretamente sobre o solo) | | | | |
|--|------------------------|-------|----------|-----------|
| | Área (m ²) | Fator | | |
| Piso | 497,00 | 13 | 6.461,00 | 25.637,25 |

Figura 15: Cálculo da carga térmica (piso).

A ocupação total do ambiente é de 110 pessoas, sendo considerado para estimativa de carga térmica, o total de ocupantes da sala (Figura 16).

| 6 Número de Pessoas | | | | |
|---------------------|--------|-------|-----------|-----------|
| | Número | Fator | | |
| Em atividade normal | 110,00 | 150 | 16.500,00 | 65.472,00 |
| Em repouso | | 75 | - | - |
| Em forte atividade | | 750 | - | - |

Figura 16: Cálculo da carga térmica (pessoas).

Com relação a outras fontes de calor que contribuem para acréscimo de carga térmica dentro do recinto, tem-se 110 computadores com potência de 400W, 02 bebedouros com potência de 120W, 01 estufa de papel de 200W, 02 impressoras de 2500W e 126 luminárias fluorescentes de 32W, cada uma contendo duas lâmpadas, o que dá um total de 8064W de potência em iluminação.

Além dos equipamentos elétricos, também foi contabilizada a área das duas portas do recinto, que são continuamente abertas e influenciam na climatização do interior do ambiente, tudo isso conforme descrito na Figura 17.

Na tabela 4, apresentam-se os valores de área distribuídos por orientação e potência de equipamentos, que foram coletados no layout para estimativa da carga térmica. A altura do pé direito do recinto é de 2,8 metros.

Tabela 4

Valores para estimativa da carga térmica

| Descrição | | Total | Descrição dos Valores | | |
|--------------|-------|--------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Áreas | Norte | 106 m ² | 36 m ² janelas | 2 m ² portas | 68 m ² paredes |
| | Sul | 93 m ² | 45 m ² janelas | 4 m ² portas | 44 m ² paredes |
| | Leste | 42 m ² | 15 m ² janelas | 0 | 27 m ² paredes |
| | Oeste | 12 m ² | 4 m ² janelas | 0 | 8 m ² paredes |
| Pessoas | | 110 | | | |
| Iluminação | | 8064 W | 252 x 32 W | | |
| Computadores | | 44000 W | 110 x 400 W | | |
| Bebedouros | | 240 W | 2 x 120 W | | |
| Cafeteira | | 1700 W | 1700 W | | |
| Estufa papel | | 200 W | 200 W | | |
| Impressoras | | 5000 W | 2 x 2500 W | | |

| 7 Outras fontes de Calor: | | | Energia (kcal/h) | Energia (BTU) |
|--|-----------------------------|--------------------------------------|------------------|-------------------|
| | Potência (W) | Fator | | |
| Aparelhos Elétricos | 50.000,00 | 0,86 | 43.000,00 | 170.624,00 |
| Forno Elétrico | - | 0,86 | - | - |
| Aparelhos de Grelhar | - | 0,86 | - | - |
| Mesa Quente | - | 0,86 | - | - |
| Cafeteiras | 1.700,00 | 0,86 | 1.462,00 | 5.801,22 |
| | Potência (HP) | Fator | | |
| Motores | - | 645 | - | - |
| | Nº Refeições | Fator | | |
| Alimentos por pessoa | - | 16 | - | - |
| | Potência (W) | Fator | | |
| Iluminação | - | 1 | - | - |
| Incandescente | - | 1 | - | - |
| Fluorescente | 8.064,00 | 0,5 | 4.032,00 | 15.998,98 |
| 8 Portas ou vãos continuamente abertos para áreas não condicionadas | | | | |
| | Área (m²) | Fator | | |
| Portas | 6,00 | 150 | 900,00 | 3.571,20 |
| 9 Sub - Total | | | em (kcal/h) | 105.448,00 |
| 10 Fator Geográfico: | | | | |
| | 0,9 | Referente ao índice da Região (MAPA) | em (kcal/h) | 94.903,20 |
| 11 Carga térmica Total e Observações: | | | | |
| | | | em (kcal/h) | 94.903,20 |
| | | | em (BTU/h) | 376.575,90 |
| | | | em TR | 31,38 |
| | | | em kW | 110,35 |

Figura 17: Cálculo da carga térmica (outras fontes).

Como podemos perceber na Figura 17, após lançados os valores, obtém-se como resultado final aproximadamente 31TR de estimativa de carga térmica necessária para climatizar o ambiente com o atual cenário da sala, contabilizando-se a ocupação total do recinto.

Conforme mencionado na revisão de literatura, segundo a Portaria 3523/98 do ministério da saúde, o ambiente deve ter como taxas de renovação de ar um mínimo 27m³/h por pessoa. Portanto, se na sala tem-se uma ocupação total de 110 pessoas, o ambiente deve ter no mínimo 2970m³/h de taxas de renovação de ar.

4.4 SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS

4.4.1 Especificações técnicas do modelo

Após estimada a carga térmica e determinado, através de referencial teórico, os principais requisitos legais para definir o equipamento, buscou-se no mercado um aparelho que atenda com eficiência a todos esses parâmetros. Entre estes parâmetros podemos citar os seguintes:

- Melhor eficiência energética;
- Renovação de ar integrado ao sistema;
- Fluidos ecologicamente corretos;
- Sistema de climatização unificado;
- Melhor distribuição de ar dentro do recinto;
- Temperaturas constantes ao longo da sala;
- Filtragem de ar de acordo com as normas/resoluções.

Levando em consideração esses aspectos, a proposta foi a instalação de dois equipamentos tipo *SELF CONTAINED* da Springer Carrier, um com capacidade de 22TR e outro com capacidade de 15TR, de uma linha de equipamentos que foi desenvolvida para oferecer maior eficiência com menor consumo de energia.

Nesse sistema, as unidades são distribuídas normalmente com dois ou três compressores, de acordo com a capacidade de cada unidade, sendo os compressores ligados de forma intermitente, funcionando de acordo com a capacidade instantânea de climatização do ambiente, obtendo-se uma economia de energia elétrica, pois o equipamento, através de termostatos ditos “inteligentes”, controla e intercala os compressores, funcionando somente a quantidade necessária para atender à demanda de temperatura ajustada no termostato.

A linha *SELF CONTAINED* é uma linha que foi desenvolvida para instalação dentro de casas de máquinas, fazendo a distribuição do ar através de dutos para dentro do ambiente que se pretende climatizar, proporcionando conforto e bem-estar aos usuários, pois distribui o ar de forma homogênea a todos os pontos do ambiente.

Essa linha de climatizadores já possui fluidos ecologicamente corretos (R407C), atendendo dessa forma os requisitos legais conforme mencionados no protocolo de Montreal. Também possui filtros classe G3 e G4 atendendo os requisitos de filtragem estabelecidos na NBR16401.

É importante salientar que, como a unidade evaporadora fica enclausurada dentro de uma casa de máquina, a renovação de ar é distribuída para dentro da casa de máquinas; assim o ar de retorno do ambiente se mistura com o ar de renovação e é novamente distribuído para dentro do escritório, mantendo em todos os pontos da sala o ar devidamente renovado e com taxas de CO₂ constantes em todos os pontos do ambiente.

5 CONCLUSÕES

A proposta desse trabalho foi a análise situacional de um sistema de climatização de uma sala de engenharia, o qual, devido ao tempo de sua instalação, sofreu degradação e, conseqüentemente, apresentou um aumento considerável de custos, principalmente em manutenção e energia elétrica. Ainda, por se tratar de um sistema projetado há aproximadamente 25 anos, apresenta algumas desconformidades com relação às normas e resoluções vigentes, visto que, através do referencial teórico, percebeu-se uma grande evolução tecnológica em equipamentos de climatização.

Posterior a pesquisa bibliográfica e a aquisição de dados, partiu-se para a estimativa da carga térmica necessária para climatizar o ambiente. Nesta etapa pode-se confirmar a discrepância técnica e econômica do atual sistema de climatização, o qual apresentou uma capacidade atual de climatização instalada superior em 30% da capacidade necessária, comprovando assim, um equívoco no dimensionamento do sistema.

A partir disso, buscou-se uma proposta alternativa para um sistema de climatização, que além de atender com eficiência a carga térmica, estivesse de acordo com os principais requisitos legais, no que se refere ao sistema de climatização de conforto térmico para ocupação humana.

Como conclusão da pesquisa, recomenda-se a substituição de todos os aparelhos de climatização da sala, por dois equipamentos tipo Self, os quais, devido as suas características e especificidades, deverão proporcionar: melhor eficiência energética e distribuição de ar; temperaturas dentro dos padrões de conforto térmico em todos os pontos da sala; taxas de renovação de ar constantes; atendimento a resoluções (no que se refere a fluidos ecológicos e sistemas de filtragem); diminuição de gastos com manutenção, e conseqüente satisfação e bem-estar aos ocupantes do escritório.

Por fim, pode-se dizer que este trabalho contribuiu para o aperfeiçoamento profissional e para uma proposta de melhoria do sistema de climatização de um ambiente. Também permitiu a reflexão sobre o quanto a análise e a busca detalhada de informações, juntamente com a pesquisa acadêmica, pode alcançar e apontar melhorias no cotidiano de uma empresa, atingindo e melhorando não apenas quesitos técnicos e financeiros, como também a integridade física e mental de seus ocupantes.

Pois o conforto térmico é condição essencial para a saúde, segurança e produtividade dos trabalhadores.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16401:2008**. Instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ALBERICO, A. **Visão geral do condicionamento de ar**. Apostila Ansett Tecnologia e Engenharia. São Paulo: 2003.

ANTONOVICZ, D; WEBER, R. G. B. **Inventário e PMOC: plano de manutenção operação e controle nos condicionadores de ar do campus medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira: 2013.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RE/ANVISA n ° 9, de 16 de janeiro de 2003**. Dispõe sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior, em ambientes de uso público e coletivo. Brasília: Diário Oficial da União, 2003.

BRYANT, A. **O ar condicionado na climatização de ambientes**. Apostila Bryant A United Technologies Company. São Paulo: 2001.

FILHO, J. E. **Tudo sobre ar condicionado Self Contained**. Disponível em: < <http://www.webarcondicionado.com.br/ar-condicionado-self-contained>>. Acesso em: 15/07/2015.

GIL, A. C.. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INCROPERA, Frank P.; Dewitt, David P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

KREITH, F.; BOHN, M. S. **Princípios de transferência de calor**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

KUWAKINO, R. Y. **Estratégias para climatização de restaurantes utilizando água**. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Civil. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo: 2009.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**. 4 ed. 3. Reimpr. São Paulo: Atlas, 2006.

_____. **Fundamentos de metodologia científica**. 6 ed. 5. Reimpr. São Paulo: Atlas, 2007.

MATOS, R. S. **Climatização**. Refrigeração e Climatização. Setor de Tecnologia. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Paraná.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria n° 3.523, de 28 de agosto de 1998**. Dispõe sobre Ar Condicionado. Brasília: Diário Oficial da União, 1998, Seção I, P40-42.

OTIMOAR AR ACONDICIONADO. **Cálculo simplificado de carga térmica**. Disponível: <<http://docslide.com.br/documents/planilha-para-calculo-de-carga-termica-559ca2ecbe17c.html>>. Acesso em: 15/07/2015.

PENA, S. M. **Sistemas de ar condicionado e refrigeração**. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Eletrobrás/Procel: CEPEL, 2002

SCHMIDT, F. W.; HENDERSON, R. E.; WOLGEMUTH C. H. **Introdução às ciências térmicas**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

SOARES, G. F. Silva. **Proteção internacional do meio ambiente**. São Paulo: Manole, 2003. p. 149:

SPRINGER CARRIER. **Produtos**. Disponível em: <<http://www.springer.com.br/pt/produtos>>. Acesso em: 15/07/2015.

STEFENELLO, M. **Análise situacional, dimensionamento e proposta alternativa de novo sistema de refrigeração**. Trabalho final de curso. Curso de Engenharia Mecânica. Faculdade Horizontina – FAHOR. Horizontina, 2012.

TAVEIRA, S. B. **Sistema de ventilação com resfriador de ar experimental**. Monografia de conclusão do curso de engenharia de computação. Brasília: UniCEUB, 2008.

WALDRI. **Tabela psicométrica**. Mecatronica – FASB, 2013. Disponível em: <<http://mecatronica-fasb.blogspot.com.br/2012/12/tabela-psicrometrica.html>>. Acesso em: 15/07/2015.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. Ed. São Paulo: Bookman, 2005.