

DOUGLAS PEREIRA BARBOSA

ESTUDO DE CASO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SUPERMERCADO

**SÃO PAULO
2018**

DOUGLAS PEREIRA BARBOSA

ESTUDO DE CASO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SUPERMERCADO

Trabalho de conclusão do curso de especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Msc. Eduardo Seiji Yamada.

**SÃO PAULO
2018**

AGRADECIMENTOS

A minha esposa Renata, que me incentivou a iniciar e apoiou durante todo o período do curso.

Ao Prof. Msc. Eduardo Seiji Yamada, por todo o suporte e atenção oferecidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os Professores do curso de Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência energética do PECE, que dedicaram esforço em nos passar os conhecimentos adquiridos em suas vidas.

Aos meus amigos e colegas deste curso, que viveram junto comigo esta experiência de aprendizado, as amizades que conquistamos durante as inúmeras horas convivas e as experiências compartilhadas.

“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia”

(William Edwards Deming)

RESUMO

A energia elétrica vem sendo tema dos mais variados grupos de conversas, sendo pelo preço, por como economizar ou por como gerar de forma autônoma.

Ser eficiente entra neste contexto pois sua aplicação diminui o consumo, consequentemente a geração e por fim o preço.

No Brasil, que tem por base a geração hidráulica, seus reservatórios vêm tendo capacidade decrescente, impactando na gestão nacional que necessita despachos de termoelétricas, custosas e muitas vezes poluidoras.

No seguinte trabalho será abordado o tema da eficiência energética aplicada a um supermercado em seus três sistemas mais consumidores de energia elétrica; ar condicionado, refrigeração e iluminação.

Nos sistemas de condicionamento do ar, tecnologias variadas são usadas. Sistemas evaporativos são de baixo custo, porém com limitações; sistemas com ciclos de vapor são grandes consumidores, porém permitem várias alternativas de economia.

Em refrigeração alimentar, novas tecnologias em equipamentos e automação vem para contornar altos consumos de energia e garantir o correto funcionamento evitando perdas.

Para iluminação a tecnologia LED só cresce e atinge todos os níveis da sociedade. A substituição das lâmpadas antigas tem rápido retorno e contribui para a economia de consumo. Quando usado com sistemas de uso da luz natural a economia aumenta em grande proporção.

A união de várias técnicas em diferentes áreas de um empreendimento traz ótima economia e sustentabilidade.

Palavras-chave: Supermercado, Iluminação natural, Refrigeração, Ar condicionado.

ABSTRACT

Electricity has been the subject of the most varied groups of conversations, being by price, by how to save or by how to generate autonomously.

Being efficient enters this context because its application reduces the consumption, consequently the generation and finally the price.

In Brazil, which is based on hydroelectric generation, its reservoirs are having a decreasing capacity, impacting on national management that requires expensive, often polluting, thermal power plant orders.

In the following work will be approached the topic of energy efficiency applied to a supermarket in its three most expenditure systems of electric energy; air conditioning, refrigeration and lighting.

In air conditioning systems, various technologies are used. Evaporative systems are low cost, but with limitations; systems with steam cycles are big consumers, but they allow several economical alternatives.

In food refrigeration, new technologies in equipment and automation come to bypass high energy consumption and ensure correct operation avoiding losses.

For lighting, LED technology only grows and reaches all levels of society. The replacement of old bulbs has a rapid return and contributes to the economy of consumption. When used with natural light use systems the economy increases in great proportion.

The combination of several techniques in different areas of an enterprise brings great economy and sustainability.

Keywords: Supermarket, Natural lighting, Refrigeration, Air conditioning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 - Consumo de energia elétrica no Brasil | 12 |
| Figura 1.2 – Consumo de energia elétrica per capta..... | 12 |
| Figura 1.3 – Oferta interna de energia elétrica por fonte..... | 13 |
| Figura 1.4 – Potencial hidrelétrico | 14 |
| Figura 1.5 – Investimentos em lojas | 16 |
| Figura 1.6 – Perfil de consumo de supermercados | 17 |
| Figura 3.1 – Potencial de redução da camada de ozônio | 19 |
| Figura 3.2 – potencial de contribuição para o efeito estufa | 20 |
| Figura 3.3 – Circuito de refrigeração | 21 |
| Figura 3.4 – Circuito simplificado de refrigeração | 22 |
| Figura 3.5 – Compressor alternativo semi-hermético | 24 |
| Figura 3.6 – Condensador a ar..... | 24 |
| Figura 3.7 – Válvula de expansão termostática..... | 25 |
| Figura 3.8 – Expositores refrigerados | 26 |
| Figura 3.9 – Câmara fria | 27 |
| Figura 3.10 – Solucoes “plug in”..... | 27 |
| Figura 3.11 – Sistema de refrigeração centralizado | 28 |
| Figura 3.12 – Válvula de expansão eletrônica | 29 |
| Figura 3.13 – Comparação ventiladores EC/AC..... | 30 |
| Figura 3.14 – Esquema de instalação de ar condicionado | 33 |
| Figura 3.15 – Princípio de resfriamento por calor latente | 35 |
| Figura 3.16 – Formação de gelo devido à umidade do ar | 35 |
| Figura 3.17 – Curva de distribuição luminosa | 37 |
| Figura 3.18 – Comparação entre conceitos luminotécnicos | 37 |
| Figura 3.19 – Temperatura de cor..... | 38 |
| Figura 3.20 – Gráfico de manutenção em iluminação | 40 |
| Figura 3.21 – Esquema de iluminação geral | 42 |
| Figura 3.22 – Esquema de iluminação de destaque | 43 |
| Figura 3.23 – Tipos de iluminação natural zenital | 45 |
| Figura 3.24 – Esquema interno de um LED | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.25 – Dissipação de calor nos LEDs..... | 47 |
| Figura 3.26 – Vida útil das lâmpadas | 47 |
| Figura 3.27 – Eficiência das lâmpadas..... | 48 |
| Figura 3.28 – Índice IRC das lâmpadas | 49 |
| Figura 4.1 – Perfil de consumo de energia elétrica do supermercado | 53 |
| Figura 4.2 – Projeto de sistema para frio alimentar do supermercado | 54 |
| Figura 4.3 – Racks de refrigeração do supermercado | 55 |
| Figura 4.4 – Condensadores do supermercado | 56 |
| Figura 4.5 – Expositores refrigerados do supermercado..... | 57 |
| Figura 4.6 – Gráfico do consumo dos condensadores X temperatura externa..... | 59 |
| Figura 4.7 – Variação de temperatura externa com as horas | 59 |
| Figura 4.8 – Variação do consumo do sistema de refrigeração no dia..... | 60 |
| Figura 4.9 – Temperatura média horária..... | 62 |
| Figura 4.10 – Iluminancia no plano de referência..... | 66 |
| Figura 4.11 – Componentes do duto de luz | 67 |
| Figura 4.12 – Disposição das claraboias na edificação..... | 68 |
| Figura 4.13 – Nebulosidade anual na cidade em questão | 70 |
| Figura 4.14 – Fluxo de caixa acumulado do ciclo economizador | 73 |
| Figura 4.15 - Fluxo de caixa acumulado das luminárias LED | 74 |
| Figura 4.16 - Fluxo de caixa acumulado da iluminação natural..... | 74 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1.1 – Participação do setor comercial no consumo de eletricidade..... | 15 |
| Tabela 3.1 – Referências para iluminação comercial..... | 43 |
| Tabela 4.1 – Perfil de funcionamento do supermercado | 52 |
| Tabela 4.2 – Especificações dos racks | 55 |
| Tabela 4.3 – Especificação dos condensadores | 56 |
| Tabela 4.4 – Especificação dos motores dos condensadores | 57 |
| Tabela 4.5 – Temperatura média mensal..... | 61 |
| Tabela 4.6 – Consumo anual do sistema de refrigeração | 61 |
| Tabela 4.7 – Especificação do equipamento evaporativo | 62 |
| Tabela 4.8 – Economia anual do ciclo economizador | 65 |
| Tabela 4.9 – Especificação duto de luz..... | 67 |
| Tabela 4.10 – Probabilidade do céu na cidade em questão..... | 70 |
| Tabela 4.11 – Percentual de aproveitamento da luz natural mensal..... | 71 |
| Tabela 4.12 – Economia mensal pela aplicação do projeto | 71 |
| Tabela 4.13 – Payback do sistema de refrigeração | 71 |
| Tabela 4.14 – Payback do ciclo economizador | 72 |
| Tabela 4.15 - Payback das luminárias LED | 73 |
| Tabela 4.16 - Payback das iluminação natural..... | 74 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introdução..... | 12 |
| 1.1 | A energia elétrica no Brasil | 12 |
| 1.2 | Eficiência energética | 14 |
| 1.3 | Setor comercial e Supermercados | 15 |
| 2 | Revisão bibliográfica..... | 18 |
| 2.1 | Eficiência energética | 18 |
| 2.2 | Refrigeração..... | 18 |
| 2.2.1 | Funcionamento do refrigerador..... | 20 |
| 2.2.2 | Estado da arte dos refrigeradores | 29 |
| 2.2.3 | Estratégias para eficiência energética nos refrigeradores | 30 |
| 2.3 | Ar condicionado | 32 |
| 2.3.1 | Funcionamento do ar condicionado..... | 32 |
| 2.3.2 | Estado da arte dos sistemas de ar condicionado | 33 |
| 2.3.3 | Estratégias para eficiência energética em ar condicionado | 34 |
| 2.4 | Iluminação..... | 36 |
| 2.4.1 | Funcionamento da iluminação | 36 |
| 2.4.2 | Estado da arte do sistema de iluminação | 50 |
| 2.4.3 | Estratégia para eficiência energética em iluminação | 51 |
| 3 | Estudo de caso | 52 |
| 3.1 | Apresentação | 52 |
| 3.2 | Consumo geral de energia | 52 |
| 3.3 | Sistema de refrigeração | 53 |
| 3.3.1 | Rack de compressores | 55 |
| 3.3.2 | Condensadores | 56 |
| 3.3.3 | Expositores refrigerados | 57 |
| 3.3.4 | Câmaras frias | 57 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3.5 | Hábitos de uso..... | 57 |
| 3.3.6 | Consumo dos ventiladores dos condensadores | 58 |
| 3.4 | Sistema de ar condicionado | 61 |
| 3.4.1 | Sistema evaporativo | 61 |
| 3.4.2 | Hábitos de uso..... | 62 |
| 3.4.3 | Consumo do sistema evaporativo..... | 62 |
| 3.5 | Sistema de iluminação | 63 |
| 3.5.1 | Luminárias e lâmpadas..... | 63 |
| 3.5.2 | Hábitos de uso..... | 63 |
| 3.5.3 | Consumo do sistema de iluminação | 63 |
| 3.6 | Estratégias de eficiência energética..... | 63 |
| 3.6.1 | Refrigeração | 63 |
| 3.6.2 | Ar condicionado | 64 |
| 3.6.3 | Iluminação | 65 |
| 3.7 | Análise econômica | 71 |
| 3.7.1 | Payback do sistema de refrigeração..... | 71 |
| 3.7.2 | Payback do sistema de ar condicionado | 72 |
| 3.7.3 | Payback do sistema de iluminação..... | 73 |
| 4 | Conclusão..... | 75 |
| 5 | Referências bibliográficas..... | 76 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

A energia elétrica é um assunto que passou a ser tema de conversas dos mais variados grupos de pessoas. Isso se deve a vários fatores, como o preço, o apelo por fontes renováveis, a dependência cada vez maior, o avanço dos veículos elétricos e a geração distribuída.

No gráfico abaixo pode-se ver o aumento do consumo de energia elétrica de acordo com os anos.

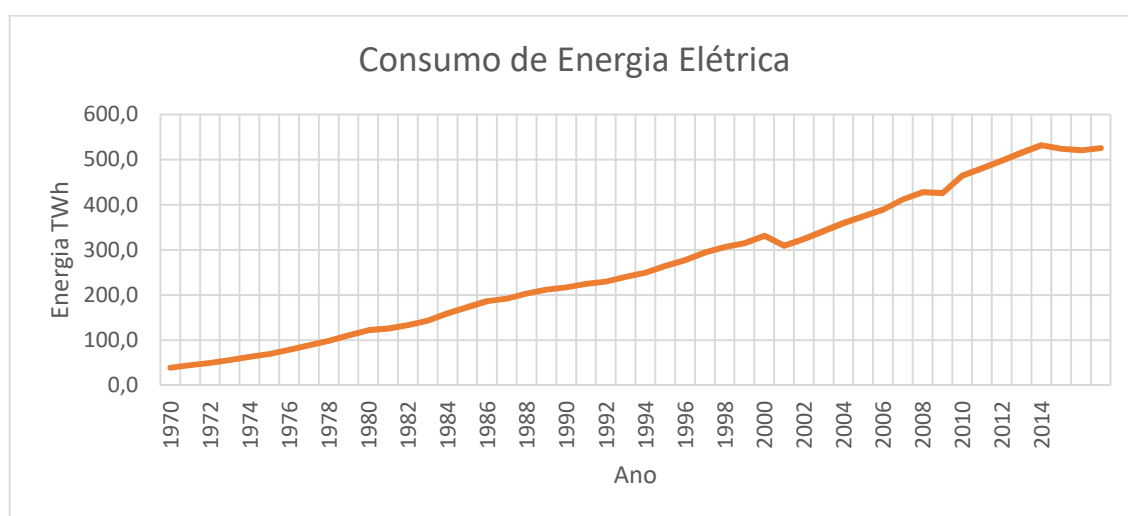


Figura 1.1 - Consumo de energia elétrica no Brasil
Fonte: EPE

Fazendo uma comparação com o aumento da população no mesmo período o consumo per capita saltou de 419,6 kWh em 1970 para 2533,5 kWh em 2017.

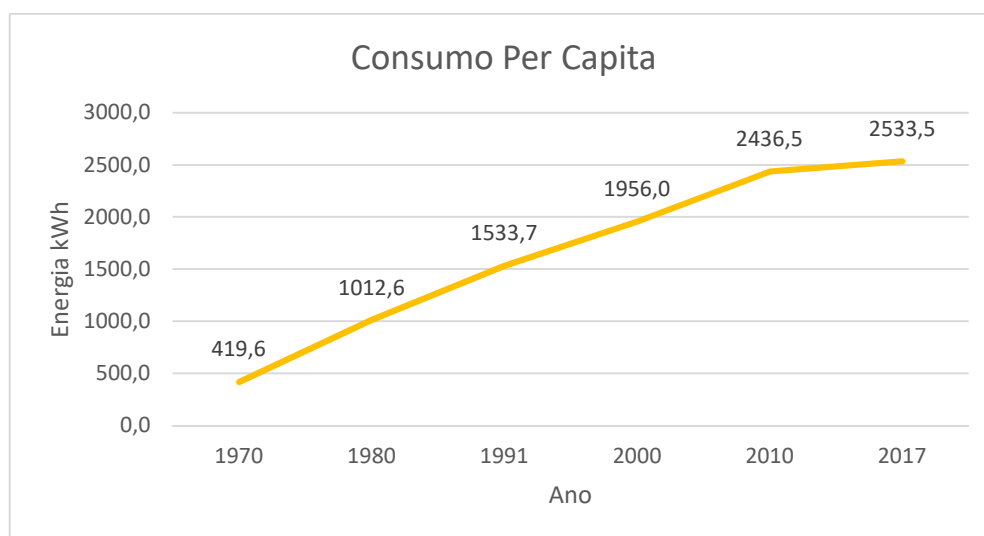


Figura 1.2 – Consumo de energia elétrica per capita
Fonte: EPE/IBGE

O equilíbrio entre geração e consumo é a base do sistema energético. Para isso os órgãos reguladores empenham esforços para manter essa relação.

No Brasil a geração de energia é em sua maior parte hidráulica e representa 65,2% de um total de 80,4% de energias renováveis com destaque para a fonte solar e eólica que cresceram 875,6% e 26,5% respectivamente de 2016 para 2017 (BEN, 2018, p.16).

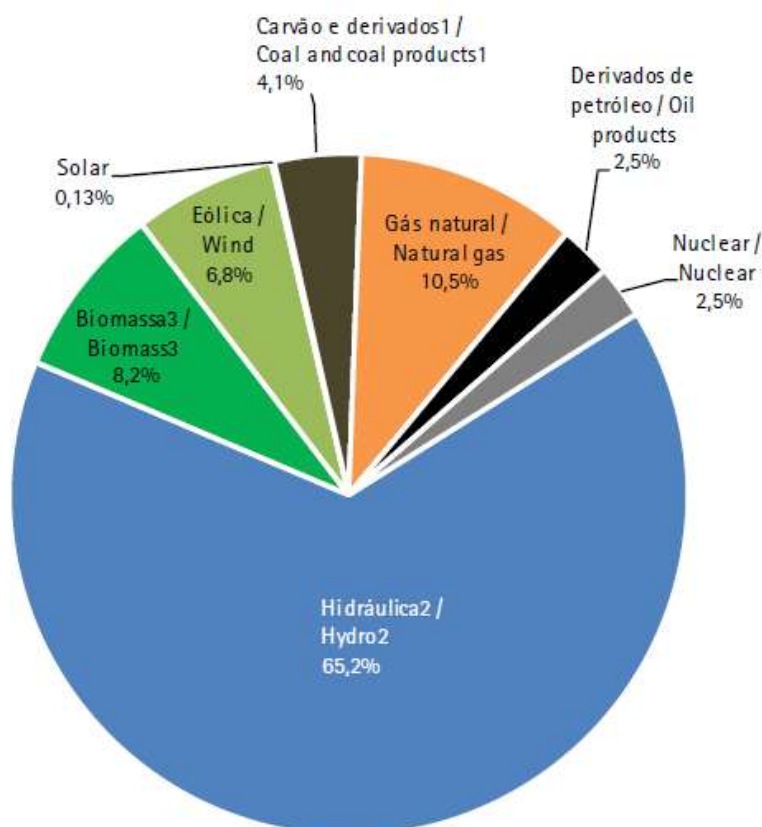


Figura 1.3 – Oferta interna de energia elétrica por fonte
Fonte: BEN, 2018, p.16

O fato é que o potencial hidrelétrico está estacionado. O potencial evolui desde 1970 como mostra o gráfico.

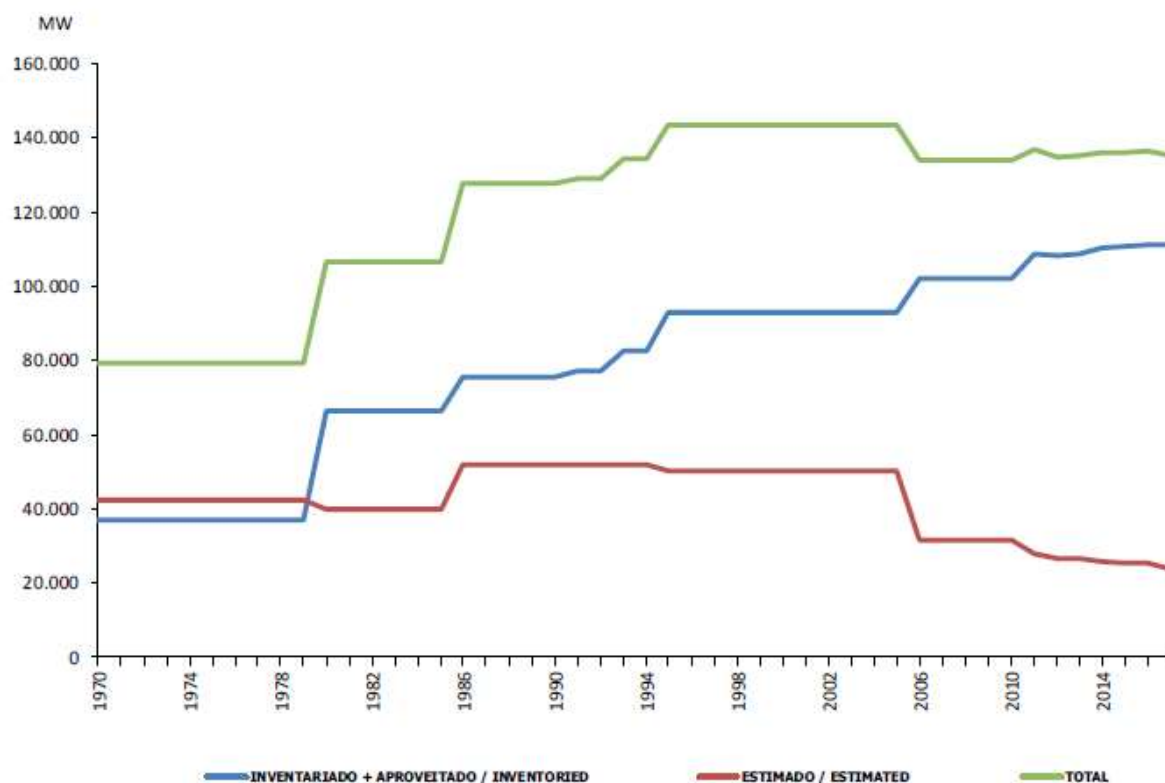


Figura 1.4 – Potencial hidrelétrico

Fonte: BEN, 2018, p.131

Como a base da geração brasileira é hidráulica, esse potencial decrescente se torna um problema, pois em geral essa falta é compensada com despacho de termelétricas e graças a outras fontes renováveis, que crescem bastante, a situação não está pior. Neste cenário projetos de eficiência energética vem muito a calhar.

1.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética começa a tomar corpo no mundo na década de 70 com o primeiro choque do petróleo, no Brasil começa na década de 80. Em 1984 foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), em 1985 o Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL) e em 1991 o Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados (CONPET).

Segundo dados do PROCEL, em 2017 foram economizados 21,2 bilhões de kWh, que representa 4,57% do consumo total de energia elétrica no Brasil e um aumento de 39,89% em relação ao ano anterior.

A projeção de conservação de energia elétrica em 2027 é de 41 TWh, correspondente a uma usina hidrelétrica com potência instalada de cerca de 10 GW, equivalente à

parte brasileira da UHE Itaipu. Essa economia seria aproximadamente 5% da demanda elétrica no ano referido (PDE 2027, 2018, p.205).

Hoje o Brasil ocupa a vigésima colocação dentre 25 países pesquisados em esforço na aplicação de eficiência energética, uma posição que nos coloca no final do ranking. Isso se deve ao baixo incentivo do governo comparado a outros países, como programas de financiamentos e impostos (The 2018 International Energy Efficiency Scorecard, 2018, p.9).

1.3 SETOR COMERCIAL E SUPERMERCADOS

O setor comercial consumiu 14,4% da eletricidade oferecida em 2017, ficando em terceiro lugar atrás do setor industrial e residencial.

Este setor é distribuído da seguinte forma:

| Setor | Participação no consumo de eletricidade (%) |
|----------------------------------|---|
| Outros (portos, hospitais, etc.) | 26,4 |
| Varejo | 22,4 |
| Hotéis e Restaurantes | 13,4 |
| Prédios Comerciais | 12,4 |
| Entidades Financeiras | 12,2 |
| Comunicações | 5,6 |
| Comércio atacadista | 4,0 |
| Transportes | 3,6 |
| Total | 100,0 |

Tabela 1.1 – Participação do setor comercial no consumo de eletricidade
Fonte: PNE 2030, 2007, p.45

Os supermercados fazem parte do setor de varejo que corresponde a 22,4% do consumo do setor.

De acordo com o relatório Análise Setorial Supermercados (2011) publicado pelo Centro de Excelência em Varejo (GVcev) da Faculdade Getúlio Vargas (FGV), os supermercados no Brasil vêm apresentando crescimento elevado e constante nos últimos anos, tornando possível a comparação desse mercado com as os maiores players do mundo. Em 2017 o faturamento do segmento foi de R\$ 327,4 bilhões, com 38.082 lojas correspondendo a 16,8 milhões de m² em área de venda, segundo o Ranking da Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS).

Em 2017 houve investimentos de R\$ 2,9 bilhões no setor, a maior parte desse investimento foi destinada à expansão, isto é, aumento de lojas, ampliação da área de vendas e aquisições de concorrentes, e a previsão para 2018 é de R\$ 3 bilhões.

Em 2017 mais de 48% dos investimentos foram feitos em construção e reforma de lojas e a previsão para 2018 é de mais de 65% (SuperHiper, 2017, p.43).

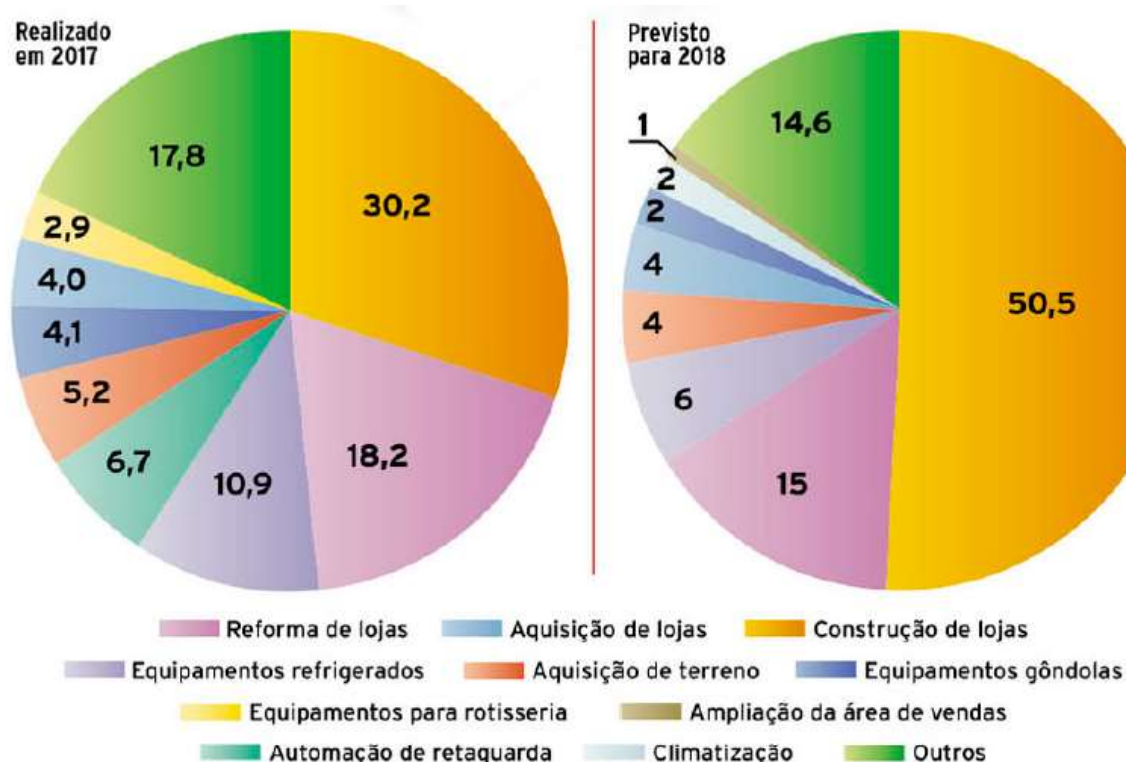


Figura 1.5 – Investimentos em lojas
 Fonte: revista SuperHiper, 2017, p.43

A GVcev mostra ainda que houve uma diminuição dos espaços das lojas, estimulada por uma nova característica do mercado de consumo, visto que as pessoas agora fazem compras mais frequentes, em menores quantidades e com mais repetições ao longo do mês. O reflexo disso é que houve um aumento no número de lojas de menor porte e uma diminuição dos formatos maiores.

A sustentabilidade também entra na conta do consumidor. Segundo dados da ABRAS, em 2009, 48,9% das empresas entrevistadas dizem ter participado de algum projeto socioambiental. Em 2010, houve um crescimento de 7% nesse número. As regiões onde se encontra os maiores índices nesse quesito são: Sudeste com 38,1% e Sul com 35,8%. A visão de sustentabilidade em uma empresa supermercadista oferece benefícios como redução de desperdício, menores custos, incentivo à inovação e aumento da produtividade relacionados à prática.

Estima-se que, por meio de medidas de eficiência energética, o potencial de redução de consumo de energia no setor comercial seja de até 30% em edificações antigas e

50% em edificações novas (Dicas de Economia de Energia por Setor de Consumo, 2016, p.8)

Segundo Panesi (2008), alguns fatores que contribuem para o desperdício são, equipamentos subdimensionados ou superdimensionados, edificação antiga, inexistência de controles automáticos, manutenção inadequada e também funcionários despreparados para o gerenciamento da energia.

Panesi também mostra que o perfil de consumo de um supermercado está concentrado no ar condicionado, refrigeração e iluminação. Os equipamentos de ar condicionado assim como os de refrigeração têm vida útil longa, porém a falta de manutenção e uso inadequado comprometem o consumo. Já com a iluminação, novas tecnologias pesam muito no quesito economia. Lâmpadas LED chegam a durar 4 vezes mais que as fluorescentes e são mais eficientes. (Inmetro)

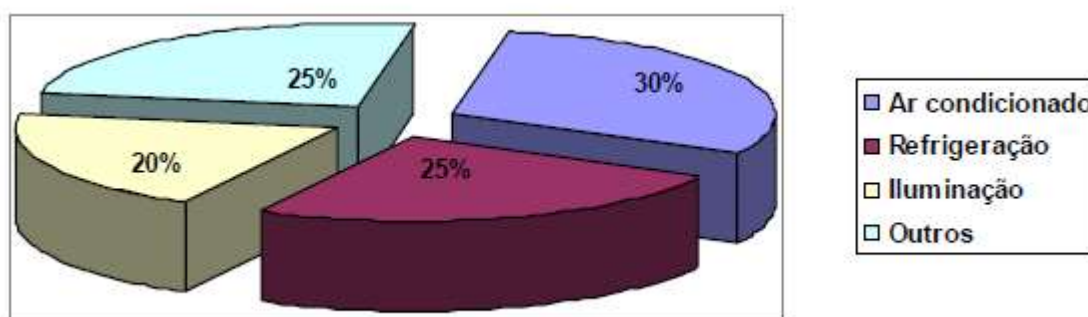


Figura 1.6 – Perfil de consumo de supermercados
Fonte: Panesi, 2008

Dados da ABESCO mostram que os gastos médios de energia nos supermercados são de 30% a 60% com ar condicionado, de 25% a 50% com refrigeradores e de 15% a 44% com iluminação (Revista Supermercado Moderno, 2015).

Um dado interessante é que para cada R\$ 1,00 gerado pela economia de energia do sistema de refrigeração equivale ao lucro líquido de R\$ 44,00 de vendas numa loja de Varejo e R\$ 66,00 numa loja de Atacado. (1)

Sabemos que o maior peso na hora da decisão do empreendedor é o preço. Neste cenário que reúne oferta de investimentos com oportunidades no ramo supermercadista e o apelo ambiental que o setor exige, a eficiência energética faz a diferença e cria um terreno fértil para as empresas de serviços de energia (ESCO).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência significa fazer mais ou, pelo menos, a mesma coisa com menos, mantendo o conforto e a qualidade. (EPE)

A eficiência energética quando pensada desde a fase de projeto pode ser uma excelente opção para economia operacional do empreendimento, trazendo menor investimento que um “retrofit” por exemplo. Traz, portanto, maior competitividade no mercado e um apelo ambiental que é cada vez mais considerado pela população em geral.

Ela se torna presente através do uso equipamentos tecnológicos, de leis e certificações, e dos hábitos de consumo.

Em 2001 o Brasil passou a ter um importante instrumento de estímulo da eficiência energética, a Lei nº 10.295, conhecida como Lei de Eficiência Energética. Foi introduzida com intuito de que a conservação de energia faça parte da Política Energética Nacional. Com a lei, naturalmente teremos maior desenvolvimento tecnológico junto com a preservação ambiental e assim novos produtos eficientes estarão disponíveis no mercado.

Na Lei de Eficiência Energética serão encontrados todos os requisitos necessários para produção de equipamentos e edificações eficientes, como níveis mínimos de eficiência. (2)

2.2 REFRIGERAÇÃO

Antes do século XIV o homem dependia da natureza para conseguir gelo e usá-lo para fins de refrigeração. Em 1834 foi inventado, nos Estados Unidos, o primeiro sistema mecânico de fabricação de gelo artificial e, que constituiu a base precursora dos atuais sistemas de compressão frigorífica.

No início do século XIX utilizava-se gases como a amônia, cloreto de metil e dióxido de enxofre, que são tóxicos e causavam muitos acidentes fatais. Na época criou-se o hábito de colocar os refrigeradores em ambiente externo devido aos acidentes.

Em 1926 surge o Freon, uma combinação de elementos que continham carbono, flúor cloro e hidrogênio. É o nascimento dos clorofluorcarbonetos (CFC), gases incolores,

inodoros, não corrosivos e não inflamáveis. Quem os formularam foram Thomas Midgley, Jr. e Charles Franklin Kettering.

No início não se sabia o quão danoso eram estes gases para a camada de ozônio e, portanto, não se tinha controle da liberação dos mesmos na atmosfera, até que em 1980 estudos apontaram este fato. (3)

Em 1987 foi instituído o protocolo de Montreal com o objetivo de reduzir em meio grau Celsius o aquecimento global até o fim do século, estabelecendo a eliminação gradual dos gases poluidores da camada de ozônio. Outros gases como os hidrofluorcarbonetos (HFCs) entraram no lugar dos CFCs com esse intuito, porém ainda sim contribuem para o efeito estufa.

Em 2016, foi assinado em Ruanda outro acordo global afim de também eliminar os HFCs. Países desenvolvidos e em desenvolvimento teriam datas limites para atingir reduções de produção e consumo destes gases. No Brasil terá início em 2024 com a meta de 10% até 2029 e 80% até 2045. (4)

Os gráficos a seguir mostram o potencial de redução da camada de ozônio e o potencial de contribuição para o efeito estufa dos vários gases.

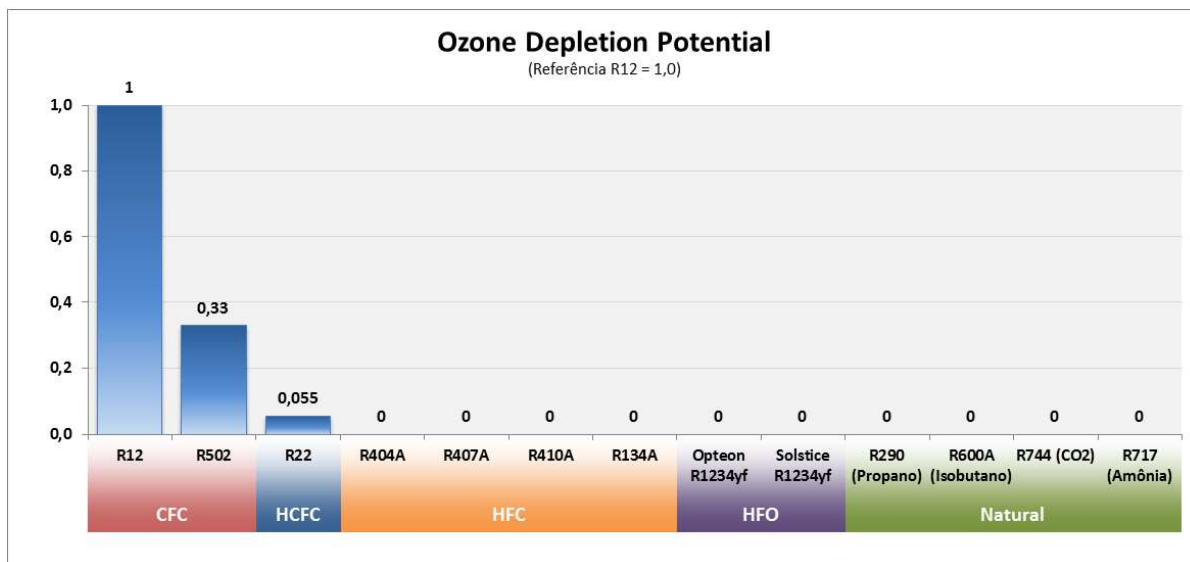


Figura 2.1 – Potencial de redução da camada de ozônio

Fonte: (4)

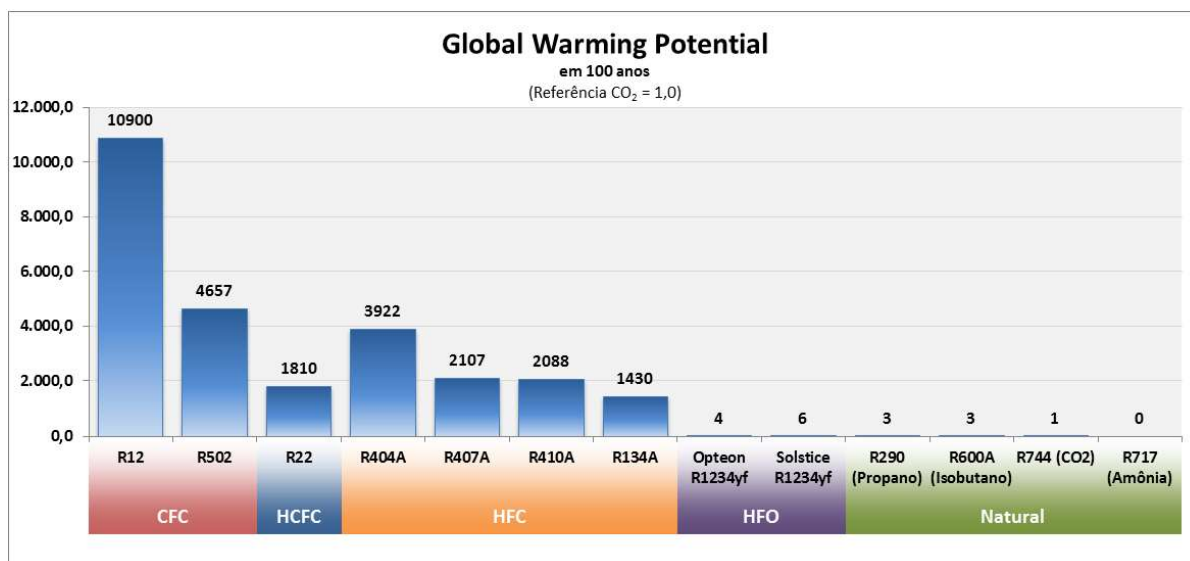


Figura 2.2 – potencial de contribuição para o efeito estufa
Fonte: (4)

De acordo com o Manual de Boas Práticas em Supermercados para Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado, os supermercados são os que mais emitem gases nocivos na atmosfera vindos dos seus sistemas de refrigeração, cerca de 40% do total de emissões do país.

Nos últimos anos tem havido um grande apelo ao uso dos gases refrigerantes naturais que oferecem muito menos riscos ao meio ambiente. Um exemplo é o gás carbônico (CO₂). A tecnologia de refrigeração através do gás carbônico tem sido um grande atrativo às redes supermercadistas por gerar uma economia média mensal de até 15% nos gastos com energia elétrica. (5)

2.2.1 Funcionamento do refrigerador

A refrigeração é o ato de resfriar um ambiente retirando calor de forma controlada sendo este para efetuar um processo, para conservação de alimentos ou para conforto térmico.

Para retirar calor de um ambiente é necessário um ciclo termodinâmico capaz de absorver o calor em um determinado ambiente e transportá-lo para outro onde será expelido.

Os métodos mais utilizados em equipamentos de ar condicionado são o ciclo de compressão de vapor e ciclo de absorção de vapor.

Estes ciclos envolvem compressão e expansão de fluidos através de dispositivos que são agregados em um único equipamento ou em equipamentos separados, mas que

funcionam em conjunto e, podem ainda, ser por expansão direta, o ar a ser refrigerado entra em contato direto com o evaporador onde ocorre a expansão do fluido refrigerante, ou indireta, onde existe um fluido intermediário que faz o transporte do calor entre as unidades do sistema.

2.2.1.1 Ciclo por compressão de vapor

O ciclo de refrigeração por compressão de vapor funciona basicamente com cinco componentes: compressor, condensador, válvula de expansão, evaporador e fluido refrigerante.

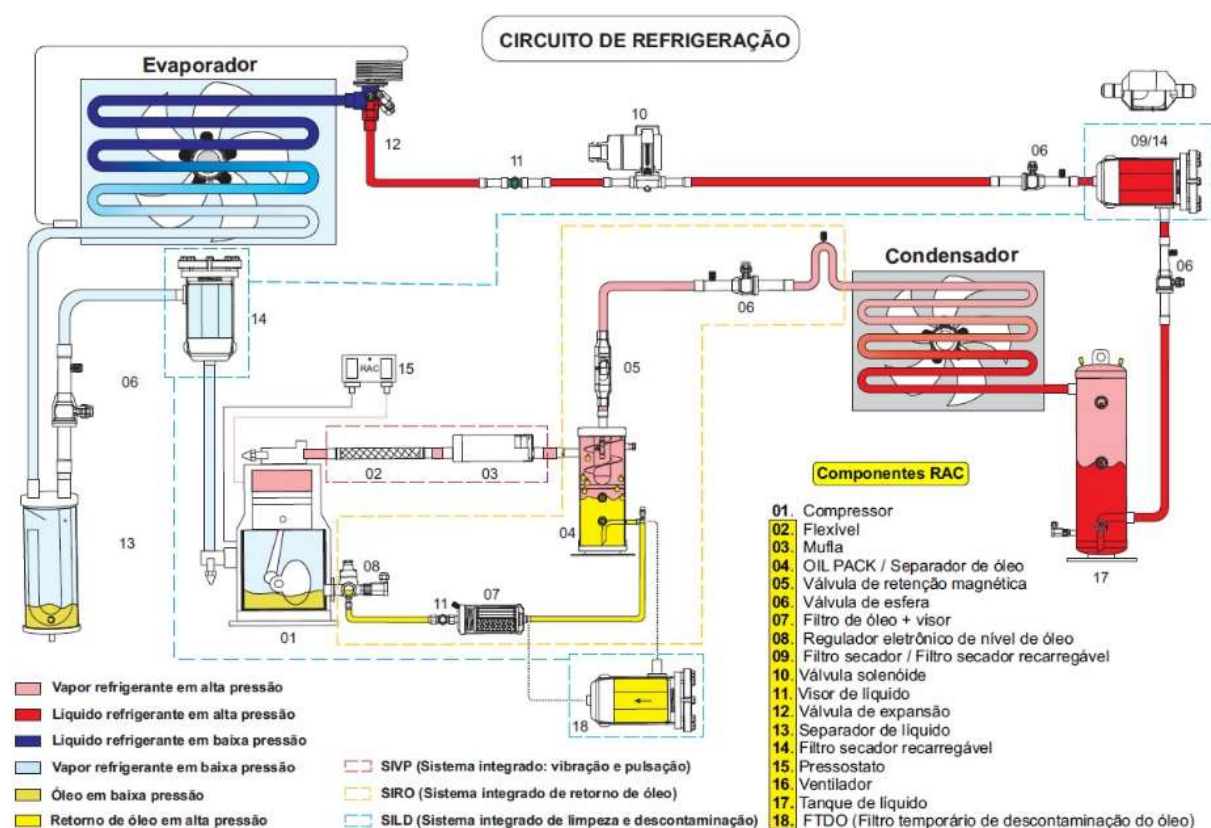


Figura 2.3 – Circuito de refrigeração

Fonte: website - racbrasil.com

O fluido refrigerante, em estado líquido saturado e alta pressão, passa pela válvula de expansão sofrendo uma brusca queda de pressão se transformando em uma mistura fria de líquido e vapor. Passa então pelo evaporador onde absorve calor resfriando assim o entorno e é sugado pelo compressor onde é comprimido. Nesta fase o vapor está quente pela compressão que sofreu, então passa pelo condensador onde esfria e se torna líquido novamente fechando o ciclo.

Em sistemas de refrigeração existe uma relação muito importante que trata da energia empregada para se obter o que se busca que é o frio. Essa relação adimensional é o coeficiente de performance (COP).

$$COP = \frac{\text{Taxa de refrigeração}}{\text{Taxa de fornecimento de energia}}$$

Existe também outro coeficiente, a razão de eficiência energética (EER) que fixa as unidades em BTU e Wh.

$$EER = \frac{\text{Energia de resfriamento (BTU)}}{\text{Energia elétrica (Wh)}}$$

A relação entre os dois coeficientes é:

$$COP = EER * 0,293$$

2.2.1.2 Expansão direta

São sistemas de refrigeração em que o fluido refrigerante expande-se em contato com o fluxo de ar do ambiente a resfriar. Esta expansão se refere ao processo de evaporação do fluido refrigerante no interior da serpentina do equipamento, o qual absorve para promover tal mudança de estado físico, o calor contido no fluxo de ar do ambiente que passa pelo equipamento forçado com uso de ventiladores. Este processo promove o resfriamento do ar daquele ambiente. O fluido refrigerante expande-se diretamente com o meio ao qual se deseja resfriar.

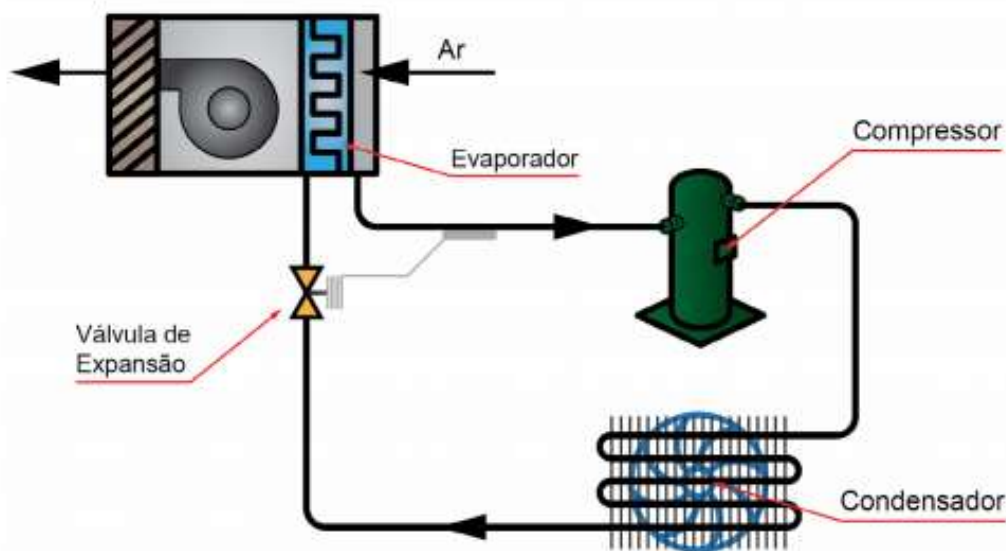


Figura 2.4 – Circuito simplificado de refrigeração
Fonte: Guia prático sobre sistemas de água gelada (MME, 2016)

2.2.1.3 Compressores

Existem vários tipos de compressores utilizados nos sistemas de refrigeração:

- **Alternativo:** Possui um pistão que se movimenta em um cilindro fazendo a compressão do gás. Consome mais energia e produz ruído maior em comparação com outros.
- **Centrífugo:** Há um propulsor que gira em alta rotação dentro de uma câmara com formato adequado.
- **Parafuso:** Tem dois rotores em forma de parafuso que são interligados e giram em sentido contrário.
- **Rotativo:** Possui um rotor excêntrico que gira dentro de um cilindro. É bem silencioso.
- **Scroll:** Duas espirais encaixadas, uma é fixa e outra se movimenta de forma excêntrica.

Existem ainda três concepções de montagem dos compressores:

- **Compressor hermético:** O compressor e o motor compartilham os componentes elétricos e mecânicos. Tudo é isolado do ambiente externo através de um corpo de aço, o que impossibilita a manutenção. O fluido refrigerante em estado de vapor entra neste espaço isolado tendo contato com o motor e o refrigera, o compressor então aspira o vapor.
- **Compressor semi-hermético:** Assim como no caso anterior, tudo fica isolado do exterior, porém existe a possibilidade de reparos através de acessos na carcaça.
- **Compressor aberto:** O motor e o compressor são interligados apenas por um eixo, não há comunicação entre as carcaças dos dois elementos. Tanto o motor quanto o compressor podem ser trocados sem interferir na outra parte.

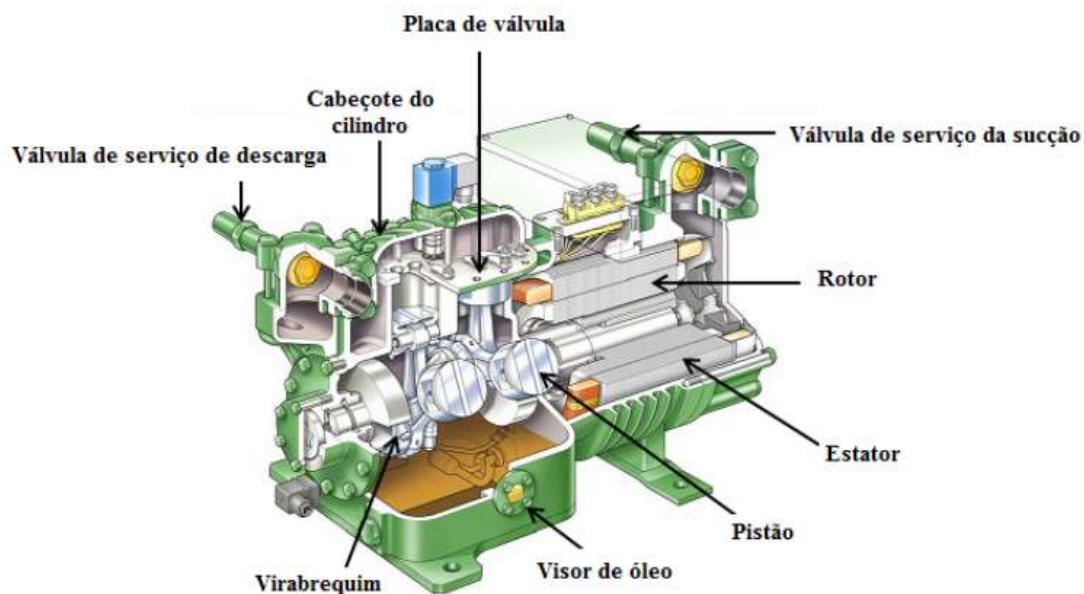


Figura 2.5 – Compressor alternativo semi-hermético

Fonte: website - www.bitzer.de

2.2.1.4 Condensadores

Condensador é um trocador de calor responsável por retirar o calor e condensar o fluido refrigerante que vem do compressor em alta pressão e quente.

Geralmente é constituído por uma estrutura que sustenta os trocadores de calor e os ventiladores que forçam a passagem de ar ambiente.



Figura 2.6 – Condensador a ar

Fonte: website – www.refrio.com

2.2.1.5 Evaporadores

Um evaporador também é um trocador de calor, mas desta vez ele recebe o fluido refrigerante em uma mistura de vapor e líquido proveniente da válvula de expansão. Essa mistura termina de se vaporizar, absorve calor do ar do ambiente em questão, e deixa o evaporador em forma de vapor saturado.

O ar do ambiente também é forçado a passar pelo trocador de calor com ventiladores.

2.2.1.6 Válvula de expansão

A válvula de expansão é responsável por controlar a quantidade de líquido refrigerante que vai para o evaporador.

Quando o líquido chega na válvula, encontra uma barreira que é regulada pela temperatura da saída do evaporador. Se esta temperatura for alta, a pressão dentro do bulbo aumenta e empurra o diafragma liberando o fluido que encontra um ambiente de baixa pressão onde se vaporiza e absorve calor.

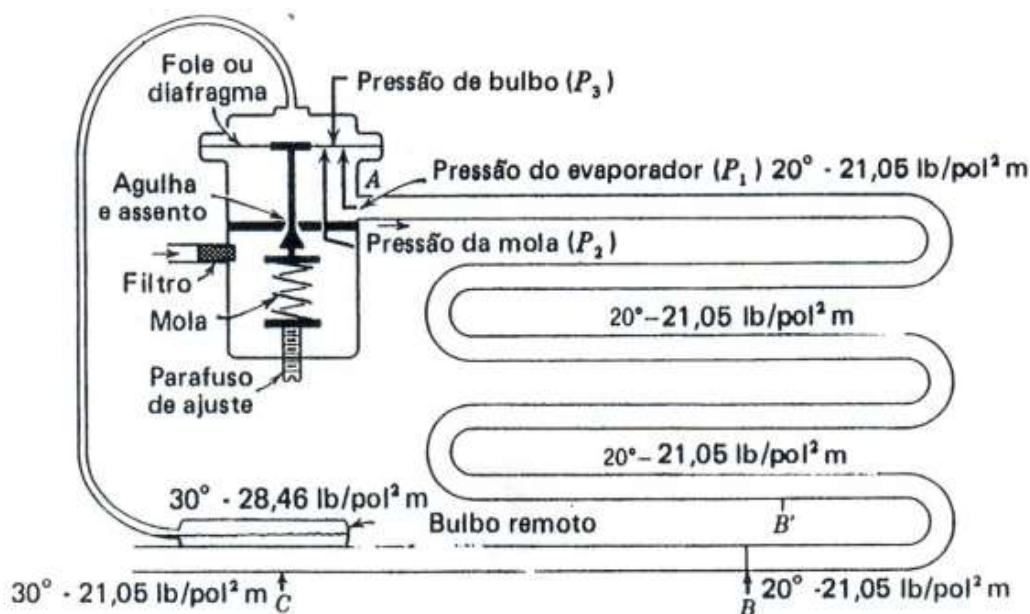


Figura 2.7 – Válvula de expansão termostática

Fonte: (6)

2.2.1.7 Expositores refrigerados

Os supermercados têm a necessidade deixar os produtos a vista do consumidor, mas quando estes produtos necessitam de ser refrigerados são utilizados os expositores refrigerados.

Existem dois formatos de expositores, os verticais, que são parecidos com uma geladeira doméstica, e os horizontais, que são chamados de ilhas.

Existem ainda os expositores tipo “plug in” e os sistemas de refrigeração centralizados. Estes sistemas serão apresentados adiante.

Estes expositores possuem prateleiras internas onde os alimentos ou bebidas são dispostos e podem mantê-los refrigerados ou congelados de acordo com a necessidade de cada produto.



Figura 2.8 – Expositores refrigerados
Fonte: website – www.dufrio.com.br

2.2.1.8 Câmaras frias

As câmaras frias executam a mesma função que os expositores refrigerados, porém são usadas na parte interna do supermercado para armazenar produtos que precisam ser refrigerados ou congelados.

São montados sob medida de acordo com cada necessidade utilizando painéis de poliestireno expandido (EPS) ou Poliuretano (PUR).



Figura 2.9 – Câmara fria

Fonte: website – www.gfrio.com.br

2.2.1.9 Sistema “plug in”

Os expositores “plug in” são equipamentos completos e prontos para uso, não requerem casa de máquinas. Utilizam o ciclo de refrigeração com expansão direta e condensação a ar, e rejeitam o calor para dentro do ambiente em que estão instalados, o que carrega o sistema de ar condicionado. Há algumas versões com condensação a água, porém se faz necessário uma torre de resfriamento.

Condensação a água



Condensação a ar



Figura 2.10 – Soluções “plug in”
Fonte: website – www.embraco.com

As vantagens dos sistemas “plug in” são:

- Facilidade de manutenção ou troca por novas tecnologias
- Evita vazamentos de gás por serem herméticos
- Flexibilidade no layout da loja
- Menor custo para instalação

2.2.1.10 Sistema centralizado

As centrais de refrigeração são grupos que podem ser instaladas no exterior da loja ou em uma casa de máquinas. Elas têm a capacidade manter vários expositores refrigerados em funcionamento. Em geral são projetadas e instaladas durante a fase de construção do prédio, pois necessitam que as tubulações sejam levadas até os pontos de instalação dos expositores.

Podem ser projetadas para expansão direta ou indireta, vários tipos de fluidos refrigerantes, condensação a água ou ar.



Figura 2.11 – Sistema de refrigeração centralizado
Fonte: website – www.perfilrefrigeracao.com

2.2.2 Estado da arte dos refrigeradores

2.2.2.1 Válvula de expansão eletrônica (VEE)

É a versão moderna da válvula de expansão analógica e que pode ser usada com sistemas programáveis para reduzir os gastos energéticos.

A válvula pode ser acionada por um motor de passo e permitir a passagem do líquido de acordo com indicadores eletrônicos, sendo assim apenas a quantidade necessária de líquido refrigerante prossegue.

Com essa possibilidade de precisão, o sistema é capaz de regular melhor a temperatura e trazer uma grande economia energética evitando o desperdício.

Existe também a possibilidade de que a VEE seja completamente integrada ao sistema automatizado da empresa, o que permitiria enormes vantagens com relação à manutenção, previsões estatísticas, entre outras.

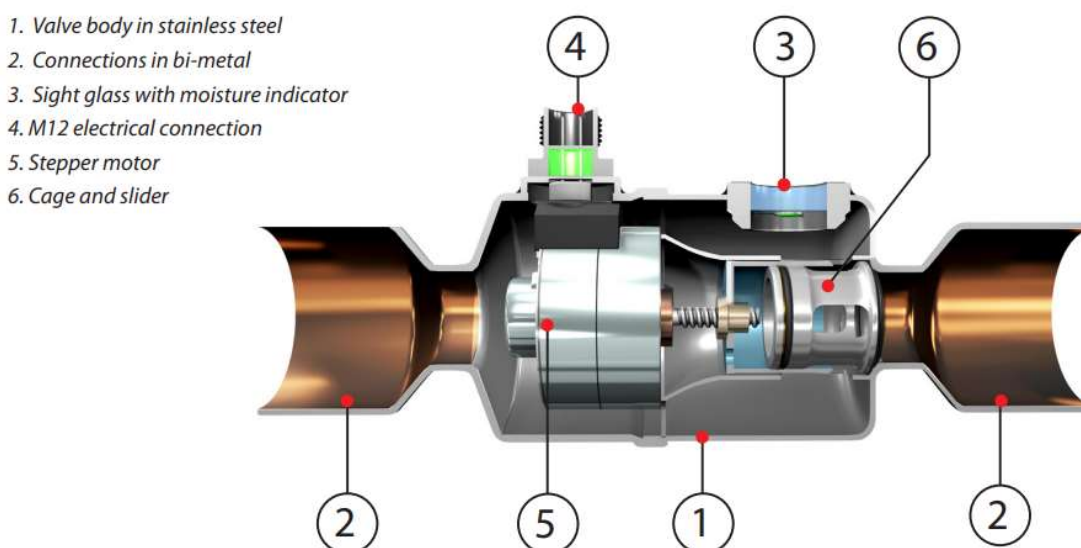


Figura 2.12 – Válvula de expansão eletrônica
 Fonte: website – www.danfoss.com

2.2.2.2 Ventiladores EC

Quando instalados em um condensador, os ventiladores convencionais AC funcionam em um sistema liga/desliga, ou seja, cada motor está em sua rotação nominal ou desligado. Este fato faz a vazão de ar mudar repentinamente baixando bruscamente a pressão do sistema e gerando maior desgaste nos demais componentes do sistema, além de gerar picos de consumo na rede elétrica.

A utilização de ventiladores com motores EC pode trazer grandes benefícios para o sistema. Como estes motores trabalham em várias rotações, é possível variá-las de

forma suave evitando picos de pressão e consequentemente teremos como resultado um funcionamento equilibrado do sistema em geral e com menor consumo de energia.

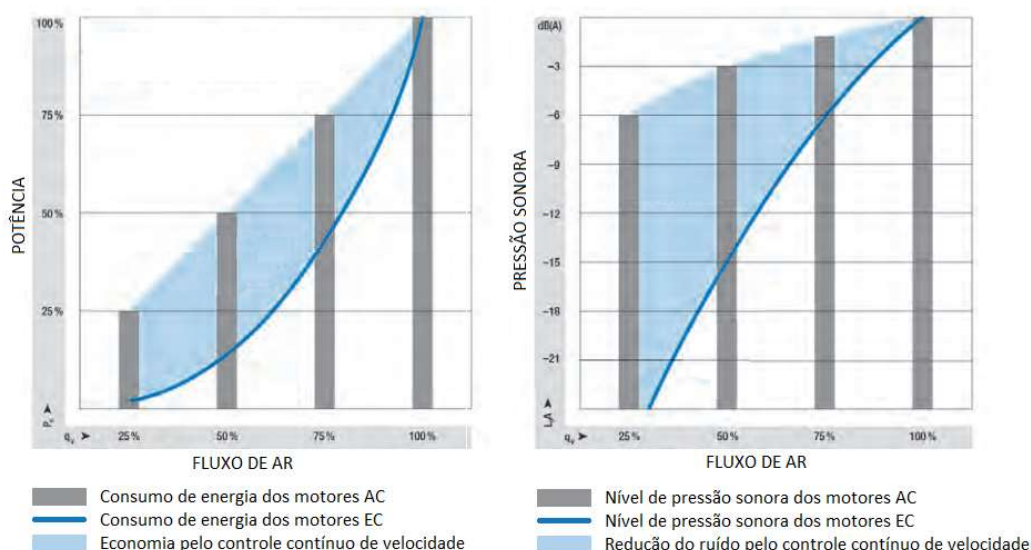


Figura 2.13 – Comparação ventiladores EC/AC

Fonte: www.ebmpapst.com.br

As vantagens dos ventiladores EC são:

- Filtro de harmônica incorporada, não gera ruído para a rede
- Proteções integradas ao motor (falta de fase e bloqueio do rotor)
- Baixo consumo de energia através do sistema de modulação constante;
- Melhora a estabilidade do sistema de refrigeração;
- Formas simples de controle;
- Não gera picos de partida;
- Melhor troca térmica, pois modula todos os ventiladores e não grupos separados. (7)

2.2.3 Estratégias para eficiência energética nos refrigeradores

2.2.3.1 Troca ou adaptação de equipamentos

A tecnologia nos sistemas de refrigeração está sempre em progresso, principalmente em busca de melhor eficiência energética, portanto, em alguns casos a troca do equipamento por inteiro pode ser a melhor estratégia, mais ainda se os componentes forem muito antigos.

Uma estratégia para melhorar o consumo dos expositores refrigerados é o fechamento com portas de vidro. Esta atitude pode reduzir o consumo em até 50% (8) além de

preservar melhor os alimentos devido a maior constância da temperatura e a proteção física que o vidro oferece contra agentes contaminantes.

2.2.3.2 Manutenção

Nos supermercados existem muitos sistemas que são importantes para o bom funcionamento do empreendimento e o sistema de refrigeração está entre os mais críticos, pois sua falha pode comprometer a integridade dos alimentos e trazer grandes prejuízos ao empreendedor e a natureza devido aos vazamentos de gás.

O funcionamento a longo prazo do sistema de refrigeração só é garantido se houver um correto plano de manutenção baseado nos seguintes pontos:

- **Garantir a vida útil dos equipamentos:** são ações que visam a durabilidade dos componentes evitando quebras antecipadas;
- **Evitar perdas dos produtos:** quando há uma parada não programada no sistema de refrigeração por quebra ou mal funcionamento de algum componente, pode acontecer de haver perda de mercadorias pela falta de refrigeração;
- **Melhorar a eficiência do sistema:** com o tempo de uso o sistema de refrigeração vai se desgastando, criando incrustações e começa a funcionar de forma inadequada e ineficiente, gerando consumo excessivo de energia elétrica.

As ações durante a manutenção podem ser agrupadas da seguinte forma:

- **Inspeção:** procurar por vazamentos, ventiladores com mal funcionamento, falta de isolamento nas linhas, quebras de componentes entre outros;
- **Limpeza:** principalmente dos trocadores de calor e dos filtros;
- **Calibração e testes:** verificação da carga de gás, calibração de pressostatos e proteções de sobre carga, ajuste de superaquecimento, verificação da correta operação dos controles, verificação da programação de degelos. (9)

2.2.3.3 Automação

A automação possibilita uma gama de benefícios no sistema de refrigeração em supermercados, sejam elas na conservação dos alimentos, na manutenção dos equipamentos ou na economia de energia.

Sensores, válvulas eletrônicas, inversores de frequência, ventiladores eletrônicos e sistemas supervisórios, todos interligados permitem um gerenciamento a distância

com visualização de relatórios e do funcionamento em tempo real garantindo ajustes e manutenção rápida e efetiva.

A automação em supermercados permite controlar e acompanhar o funcionamento de determinados equipamentos reduzindo custos, melhorando o rendimento e garantindo melhor qualidade dos produtos armazenados, o que reflete nos custos para o consumidor final. Um sistema de automação bem planejado aumenta a vida útil e a eficácia dos equipamentos, com ele é possível fazer o controle a distância evitando a presença de um técnico no local onde estão os equipamentos e evitando alguns custos. O gerenciamento é feito pela internet em qualquer lugar do mundo. (10)

2.3 AR CONDICIONADO

O funcionamento do equipamento de ar condicionado tem o mesmo princípio do equipamento para refrigeração já visto anteriormente, vamos aqui falar sobre os pontos específicos do tema em questão.

O sistema de ar condicionado se inicia em 1902, quando Willis Carrier tenta resolver o problema da umidade que atrapalhava a qualidade dos produtos de uma fábrica de Nova York. Foi o primeiro exemplo de condicionador de ar contínuo por processo mecânico.

2.3.1 Funcionamento do ar condicionado

O sistema de ar condicionado funciona de forma análoga ao sistema de refrigeração, a diferença é que a unidade evaporadora fica alocada em um ambiente que se deseja conforto térmico.

A figura a seguir demonstra um exemplo típico.

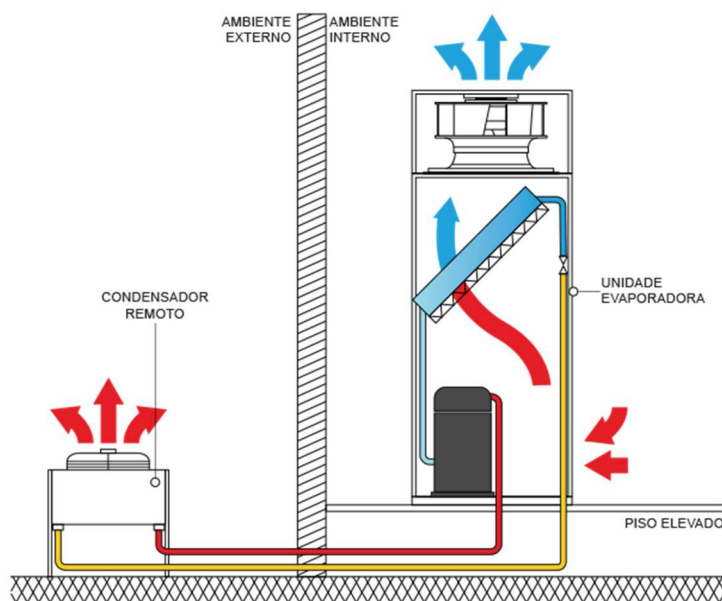


Figura 2.14 – Esquema de instalação de ar condicionado

Fonte: website – diamont.com.br

2.3.1.1 Unidade condensadora

É a unidade externa do sistema de ar condicionado, um conjunto de dispositivos que provoca a condensação do fluido refrigerante a temperatura ambiente.

Ela é composta por um compressor, um condensador e de uma linha de líquido que, muitas vezes, é acompanhada por um tanque reservatório. Também fazem parte da composição básica de uma unidade de condensação motor elétrico, hélice, filtro secador, visor de líquido, válvula de expansão e controles.

A função da unidade condensadora é aspirar o fluido refrigerante que está no evaporador, comprimi-lo e condensá-lo durante a passagem no condensador.

2.3.1.2 Unidade evaporadora

É a unidade interna do ar condicionado um conjunto de dispositivos formado por um trocador de calor e um ventilador. Sua principal função é transferir o calor do ambiente refrigerado para o fluido refrigerante que está circulando. Quando isso ocorre, o fluido refrigerante, que está no estado líquido, se transforma em vapor.

2.3.2 Estado da arte dos sistemas de ar condicionado

Existem alguns equipamentos que podem ser usados para complementar o sistema de ar condicionado ou simplesmente substituir as tecnologias antigas. Alguns deles são:

- **Roda entálpica:** utiliza o calor do ar de retorno do para retirar a umidade do ar aspirado do ambiente externo;
- **Recuperador de energia:** usa o ar de retorno para esfriar o ar aspirado do ambiente externo;
- **Sistemas “Variable Refrigerant Flow” (VRF):** utiliza um inversor de frequência para controlar a potência aplicada ao compressor, assim distribui apenas o necessário de fluido refrigerante para as unidades evaporadoras distribuídas no ambiente;
- **Ciclo economizador:** quando as condições estão favoráveis, o ar insuflado passa a ser o externo e não o de retorno.

2.3.3 Estratégias para eficiência energética em ar condicionado

As estratégias para eficiência energética em ar condicionados são baseadas em reduzir a carga térmica do sistema, podendo ser pelo tratamento do ar externo com pré-resfriamento e eliminação do calor latente ou modulando a entrada de ar exterior garantindo que somente o necessário seja aspirado.

2.3.3.1 Ciclo economizador

O ciclo economizador consiste em aproveitar as condições entálpicas externas quando elas são favoráveis. Os dampers são remanejados e o ar insuflado passa a ser o externo ao invés do ar de retorno do sistema. Desta forma há uma economia, pois, o ar a ser resfriado está em condições melhores. Segundo Bueno (17), em São Paulo, com temperaturas de retorno de 24°C e de insuflação de 12°C, cerca de 92% do ano pode-se operar com ar externo e cerca de 11% com os compressores desligados.

2.3.3.2 Sistema evaporativo

Consiste em resfriar o ar através do calor latente de evaporação da água. O ar é forçado a passar por um material poroso, o que aumenta a superfície de contato, impregnado com água, e desta forma a umidade do ar aumenta enquanto sua temperatura diminui.

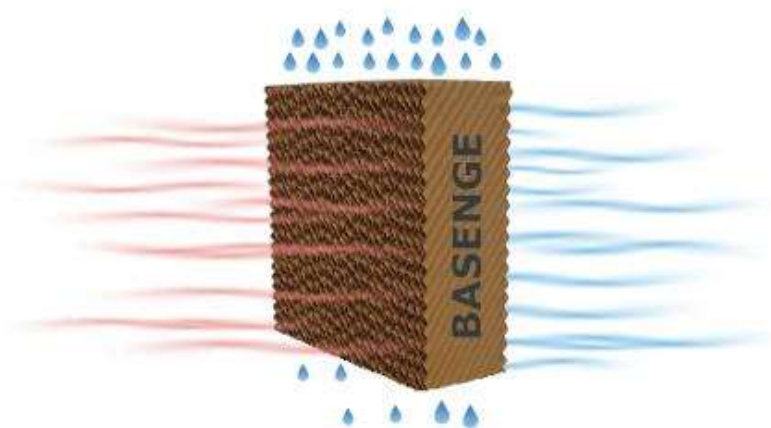


Figura 2.15 – Princípio de resfriamento por calor latente
Fonte: website – www.basenge.com.br

Este sistema consome menos energia que um com ciclo de compressão, porém tem algumas desvantagens.

A menor temperatura que se pode chegar é a temperatura de bulbo úmido, em dias com umidade do ar alta essa temperatura pode não ser suficiente.

A umidade que é introduzida no ar tem efeitos danosos no setor de frutas e verduras, pois aumenta a possibilidade de proliferação de microorganismos causadores de doenças.

O acúmulo de gelo nos expositores refrigerados faz com que o ciclo de degelo seja mais frequente, isso aquece os alimentos expostos e consome mais energia.



Figura 2.16 – Formação de gelo devido à umidade do ar
Fonte: website – www.munters.com

2.4 ILUMINAÇÃO

A luz em um supermercado, não é usada somente para permitir o trabalho dos funcionários e o fluxo de clientes com segurança, ela é também utilizada como forma de atrair olhares nos diversos setores deixando os produtos em evidência.

2.4.1 Funcionamento da iluminação

A primeira lâmpada comercial foi desenvolvida por Thomas Edison em 1879. Era a lâmpada incandescente que foi comercializada no Brasil até 30 de junho de 2016 quando ficou proibida. A extinção das lâmpadas incandescentes foi feita em etapas por uma portaria interministerial devido à baixa eficiência energética.

Desde a invenção da lâmpada, outras tecnologias foram desenvolvidas, como a lâmpada fluorescente, halógena, neon, indução, de vapores e a de LED.

A iluminação natural é algo de extrema importância para os seres vivos. É responsável por exemplo por regular nosso relógio biológico. Outro fator importante é que o contato com a luz natural e o clima proporcionam conforto psicológico.

Segundo Chou (2006, p. 23) “Inicialmente a luz natural era muito importante na concepção da arquitetura, pois não havia outra fonte de luz tão abundante e acessível. Após o surgimento da lâmpada incandescente, a iluminação natural passou a ser menos utilizada nos projetos arquitetônicos. ”

“A iluminação natural em qualquer ambiente requer o conhecimento do tipo de clima do local e é preciso avaliar a incidência solar sobre os ambientes, pois a luz em grandes quantidades também pode trazer problemas como o calor excessivo, a degradação dos pigmentos de tecidos, móveis, materiais diversos, ofuscamentos, brilhos e reflexos incômodos. ” (11, p. 4)

2.4.1.1 Conceitos importantes

Existem uma série de conceitos relacionados à iluminação que são importantes para um bom projeto. Vamos explorar cada um. (12)

FLUXO LUMINOSO (Φ)

É a radiação total emitida por uma fonte luminosa em todas as direções. Sua unidade é o lúmen (lm).

INTENSIDADE LUMINOSA (I)

É a quantidade de luz emitida por uma fonte em uma determinada direção. Sua unidade é a candela (cd).

ILUMINÂNCIA (E)

É o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície, ou seja, é a quantidade de luz dentro de um ambiente. Sua unidade é o lux (lx).

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

É um gráfico que indica a intensidade luminosa de uma fonte em um determinado plano em todas as direções.

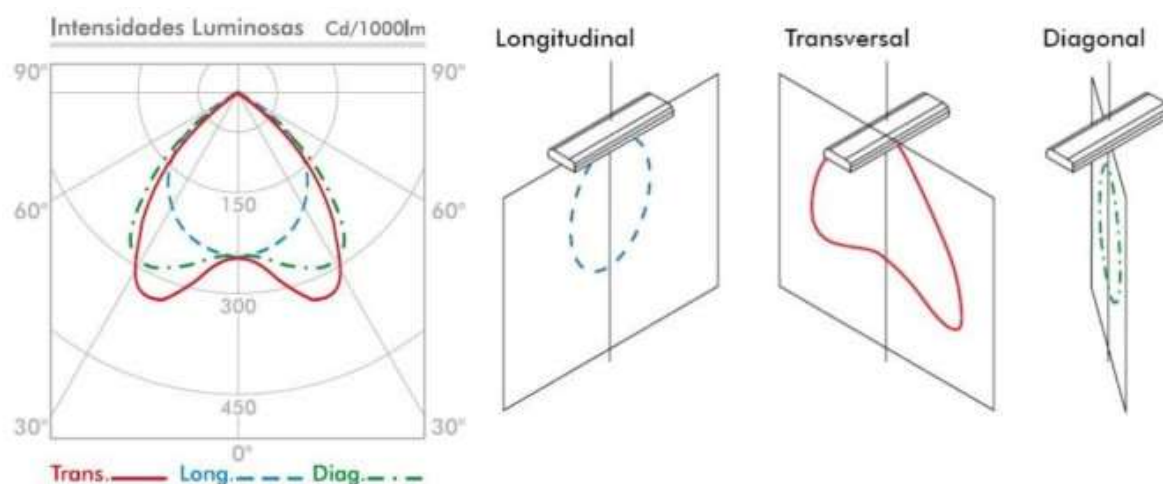


Figura 2.17 – Curva de distribuição luminosa

Fonte: (12)

A figura abaixo exemplifica a diferença entre os conceitos acima.

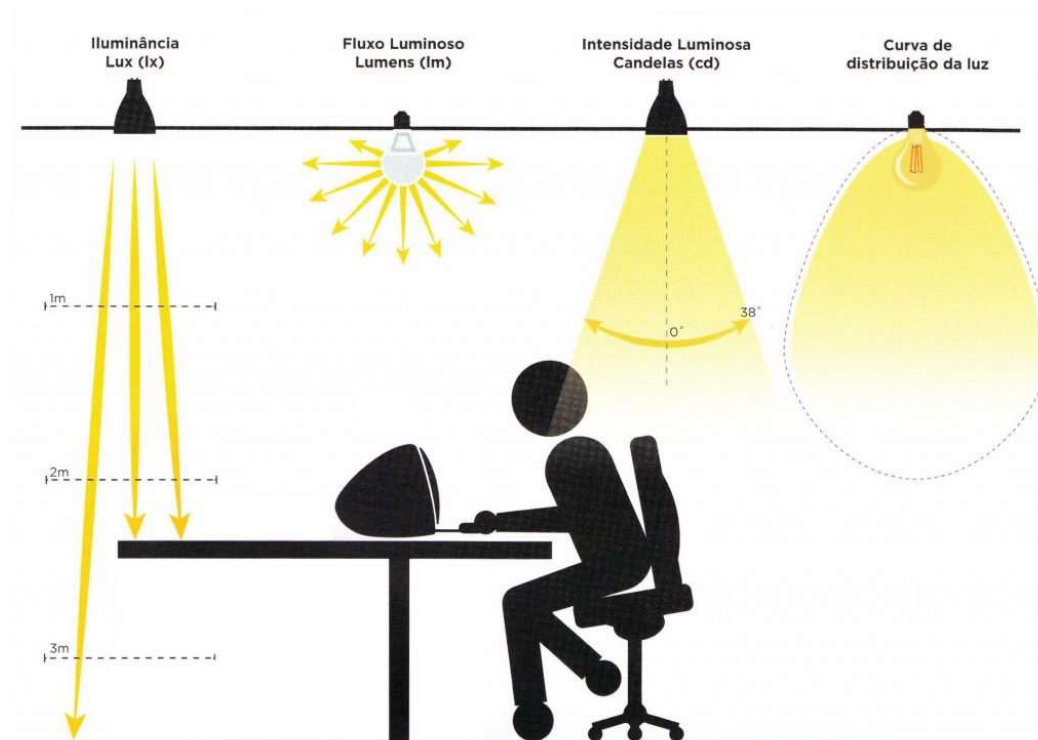


Figura 2.18 – Comparação entre conceitos luminotécnicos

Fonte: (13)

LUMINÂNCIA (L)

É a quantidade de luz emitida por metro quadrado de uma superfície, ou seja, é a intensidade luminosa refletida. Sua unidade é candela por metro quadrado (cd/m^2).

EFICIÊNCIA LUMINOSA

Avalia o rendimento da conversão de energia elétrica em luz por uma fonte luminosa. Sua unidade é lumens por watts (lm/w).

TEMPERATURA DE COR

A temperatura de cor expressa a aparência de cor da luz emitida pela fonte de luz. Sua unidade é o Kelvin (K).



*Figura 2.19 – Temperatura de cor
 Fonte: website – www.empalux.com.br*

ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE CORES (IRC)

É a relação entre a cor real de um objeto ou superfície e a aparência percebida diante de uma fonte luminosa. Esse índice varia de 0 a 100%, sendo que, quanto mais próximo de 100%, maior a fidelidade e precisão das cores dos objetos.

OFUSCAMENTO

É o resultado de luz indesejada no campo visual, e geralmente é causado pela presença de uma ou mais fontes luminosas excessivamente brilhantes. Causa desconforto, redução da capacidade ou ambos.

Para determinar um parâmetro de controle do desconforto causado pelo ofuscamento foi criado o índice de ofuscamento unificado (UGR).

GRAU DE PROTEÇÃO (IP)

É utilizado para classificar e avaliar o grau de proteção de produtos eletrônicos fornecidos contra intrusão, poeira, contato acidental e água.

VIDA ÚTIL

É a expectativa de durabilidade de uma fonte luminosa. A maior parte das normas internacionais atualmente considera que o término da vida útil de uma fonte luminosa ocorre quando a mesma atinge 70% do fluxo luminoso.

REFLETÂNCIA

É a proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido.

FATOR DE UTILIZAÇÃO (FU)

O Fator de Utilização é a razão entre o fluxo luminoso que atinge uma superfície e a soma dos fluxos luminosos das lâmpadas. Depende da distribuição da luz, do rendimento da luminária, dos coeficientes de reflexão das superfícies internas do ambiente e das dimensões do local.

EFICIÊNCIA DA LUMINÁRIA (LOR)

Refere-se ao fluxo luminoso total emitido pela luminária dividido pela soma do fluxo luminoso das lâmpadas. A quantidade de luz emitida pela luminária é sempre menor do que aquela emitida pelas lâmpadas que se encontram no seu interior. Essa quantidade de luz depende da ótica da luminária, ou seja, da absorção, reflexão e transmissão da luz pelos materiais com que é construída e também pela temperatura de operação das lâmpadas no interior da luminária.

A norma NBR 8995-1 estipula valores para alguns destes índices de acordo com o ambiente e a tarefa.

DEPRECIAÇÃO DO FLUXO LUMINOSO

Com o tempo o ambiente, paredes e teto, ficam sujos, as luminárias acumulam poeira e as lâmpadas terão um fluxo luminoso menor.

Um plano de manutenção é essencial para manter a iluminação eficiente. A figura a seguir demonstra um exemplo.

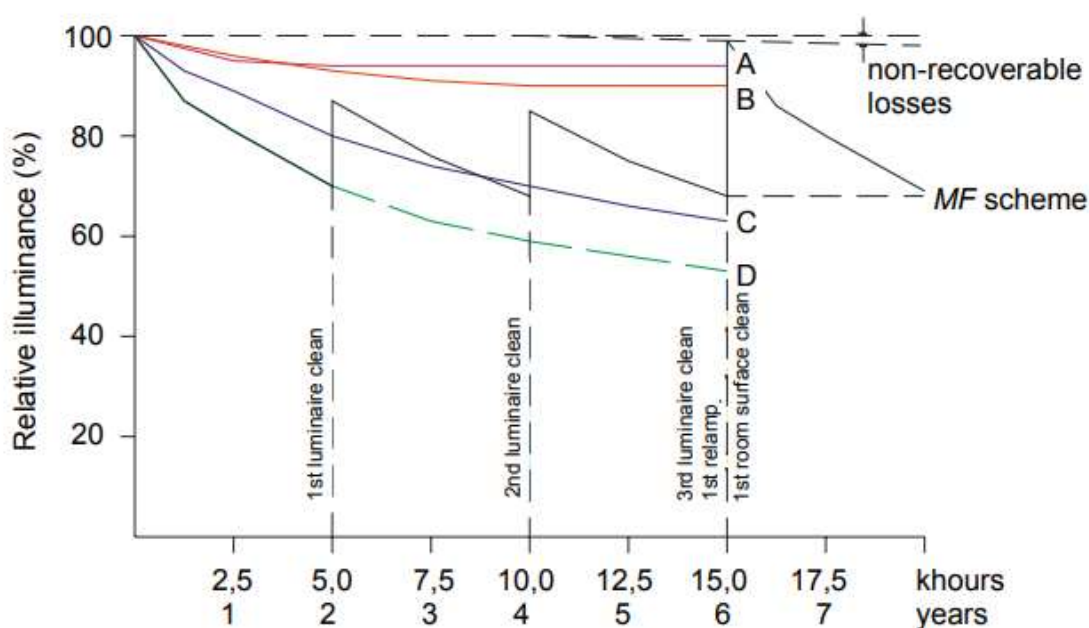


Figura 2.20 – Gráfico de manutenção em iluminação

Fonte: CIE 97, 2005

Perdas não recuperáveis estão relacionados com envelhecimento dos materiais, da instalação elétrica e outros que são economicamente inviáveis de serem recuperados.

A – Perda por sujeira nas paredes e teto;

B – Perda por depreciação da lâmpada;

C – Perda por sujeira da luminária;

D – Sistema sem manutenção;

MF scheme – Curva de manutenção do projeto. Indica a iluminância relativa mantida. (CIE 97, 2005)

DIMENSIONAMENTO

O método ponto por ponto também chamado de método das intensidades luminosas baseia-se nas leis de Lambert (relação empírica que, na Óptica, relaciona a absorção de luz com as propriedades do material atravessado por esta). Consiste em determinar a iluminância em qualquer ponto da superfície, individualmente, para cada projetor cujo fecho atinja o ponto considerado. O iluminamento total será a soma dos iluminamentos proporcionados pelas unidades individuais. É utilizado quando as dimensões da fonte luminosa são muito pequenas em relação ao plano que deve ser iluminado e não leva em consideração as refletâncias das superfícies.

O método dos Lumens, ou método do Fluxo Luminoso, consiste em determinar a quantidade de fluxo luminoso necessário para determinado recinto baseado no tipo

de atividade desenvolvida, cores das paredes e teto e do tipo de lâmpada/luminária escolhidos. (14)

Algumas limitações são:

- Torna-se complexo em ambientes com diferentes cômodos e luminárias.
- Não considera a interferência de outras zonas dentro de uma mesma área caso existam.
- Não contempla iluminação externa nem ganhos de iluminação natural.

Já os métodos computacionais são amplamente utilizados devido ao cálculo rápido em ambientes com diversos formatos e luminárias, a ampla base de dados fornecida pelos fabricantes, por considerar objetos no interior do ambiente como mobília e equipamentos, por serem capazes de dimensionar iluminação de áreas externas e considerar ganhos de iluminação externa como aberturas e janelas.

Existem normas que regulam vários fatores em um projeto luminotécnico. A norma NBR ISO 8995-1/2013 especifica requisitos para que as pessoas desempenham tarefas de maneira eficiente, com conforto e segurança dentro dos ambientes.

A norma ASHRAE Standard 90.1-2007 estabelece referências para empreendimentos de elevada eficiência baseados na densidade de potência de iluminação (w/m^2) em função da área específica de trabalho e da área total.

A boa iluminação deve englobar três elementos principais que são a primeira impressão, a transição e a tarefa. O primeiro corresponde a visão desde a entrada até o interior da loja, a segunda corresponde a circulação do espaço, e a última deve atender à utilização do espaço. A iluminação bem dimensionada tem várias vantagens: (11)

- **Fisiológicas:** ao facilitar a visão e minimizar a fadiga dos órgãos visuais.
- **Técnicas:** proporciona a execução de tarefas, melhora a qualidade e consequentemente a quantidade da produção, além de diminuir os riscos e prevenir acidentes.
- **Estéticas:** realça a aparência dos produtos e permite uma melhor visualização.
- **Psicológica:** um ambiente bem iluminado transmite segurança e sensação de bem-estar.

Alguns cuidados devem ser tomados com a iluminação, pois o excesso de iluminação pode causar inquietação e incômodo nas pessoas, e ambientes com pouca luz

transmitem a impressão de falta de cuidado com o ambiente, o que leva pode levar o consumidor a procurar outro estabelecimento.

Para que o consumidor seja atraído, o produto deve ter uma boa iluminação que destaque as cores mais próximas das reais.

A luz branca torna o ambiente frio e impessoal, enquanto que o uso de lâmpadas amareladas torna o ambiente abafado e desconfortável. O ideal é uma mistura equilibrada das tonalidades para tornar o ambiente eficiente e agradável. Os tons frios ficam melhores quando usados na iluminação geral, já para uma iluminação de destaque a melhor opção são as lâmpadas de tonalidade quente. A iluminação natural proporciona um ambiente sedutor e agradável. (11)

A iluminação geral promove uma luz difusa e uniforme, permitindo uma boa visualização dos produtos expostos, maior segurança e conforto no tráfego dos clientes e permite uma maior flexibilidade na disposição interna do ambiente, além de reduzir as sombras e fornecer uma atmosfera mais relaxante e menos estimulante.

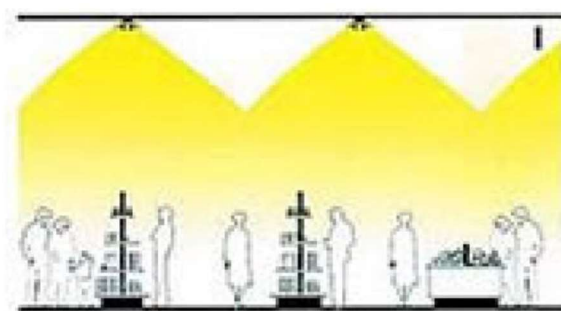


Figura 2.21 – Esquema de iluminação geral

Fonte: (11)

A iluminação de destaque é empregada para valorizar produtos expostos. A luz é direcionada e cria um foco no objeto. Pode ser usada também para destacar departamentos dentro do supermercado. Esse efeito pode ser obtido através de spots, criando uma diferença de 3,5 até 10 vezes maior em relação à luz geral ambiente.

(11)

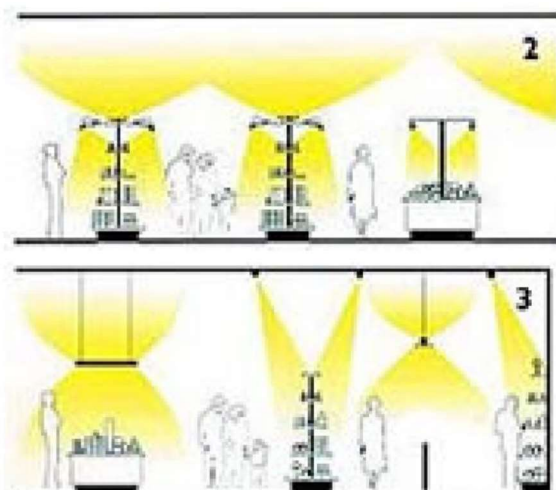


Figura 2.22 – Esquema de iluminação de destaque
Fonte: (11)

A NBR 8995-1 estabelece valores como parâmetro de iluminância, ofuscamento e qualidade de cor para o setor de varejo nas áreas de venda e caixa registradora, conforme quadro abaixo:

| Tipo de ambiente, tarefa ou atividade | \bar{E}_m lux | UGR_L | R_a | Observações |
|---------------------------------------|--------------------|---------|-------|-------------|
| 23. Varejo | | | | |
| Área de vendas pequena | 300 | 22 | 80 | |
| Área de vendas grande | 500 | 22 | 80 | |
| Área da caixa registradora | 500 | 19 | 80 | |

Tabela 2.1 – Referências para iluminação comercial
Fonte: NBR 8995-1

2.4.1.2 Iluminação natural lateral

A iluminação lateral para ser eficiente deve ser projetada levando em conta algumas características do posicionamento das janelas e o efeito que produzem na iluminação do interior da loja.

- **Janelas baixas:** proporcionam uma iluminação perto delas;
- **Janelas altas:** proporcionam um maior ingresso e distribuição da luz natural;
- **Janelas largas e horizontais:** proporcionam iluminação paralela bastante alargada à parede que as compõem;
- **Janelas em paredes opostas:** reduz os contrastes e permitem iluminar paredes opostas;
- **Janelas em paredes adjacentes:** diminui o contraste e consequentemente reduz o ofuscamento entre a janela e o fundo. (11)

2.4.1.3 Iluminação natural zenital

A iluminação zenital possui a característica de fornecer luz de forma mais uniforme no interior dos ambientes e conseqüentemente são maiores os níveis de iluminância. Deve-se tomar cuidado para que o excesso de área de aplicação da iluminação zenital não aumente a carga térmica no interior do ambiente, nesta hora, a escolha de equipamentos com materiais adequados é importante.

A luz é distribuída de forma diferente em um ambiente de acordo com a forma das aberturas no telhado. Abaixo alguns tipos convencionais de aberturas zenitais:

- **Sheds:** caracteriza-se por telhados com superfícies iluminantes a 90° ou pouco inclinadas;
- **Lanternins:** caracteriza-se por telhados com duas faces opostas e iluminantes;
- **Teto de dupla inclinação:** caracteriza-se por duas faces iluminantes inclinadas e juntas, possui eficiência equivalente de um teto horizontal com superfícies envidraçadas;
- **Domus, claraboia ou cúpulas:** caracteriza-se por uma superfície horizontal iluminante. São muito utilizados em galerias, museus, shoppings e grandes espaços de lazer;
- **Átrios:** espaços adjacentes às partes interiores de um ambiente combinando sistemas laterais e zenitais de captação da luz;
- **Dutos de luz:** a luz é coletada por lentes ou espelhos e direcionada através de várias reflexões ao longo dos dutos até os pavimentos inferiores. (11)

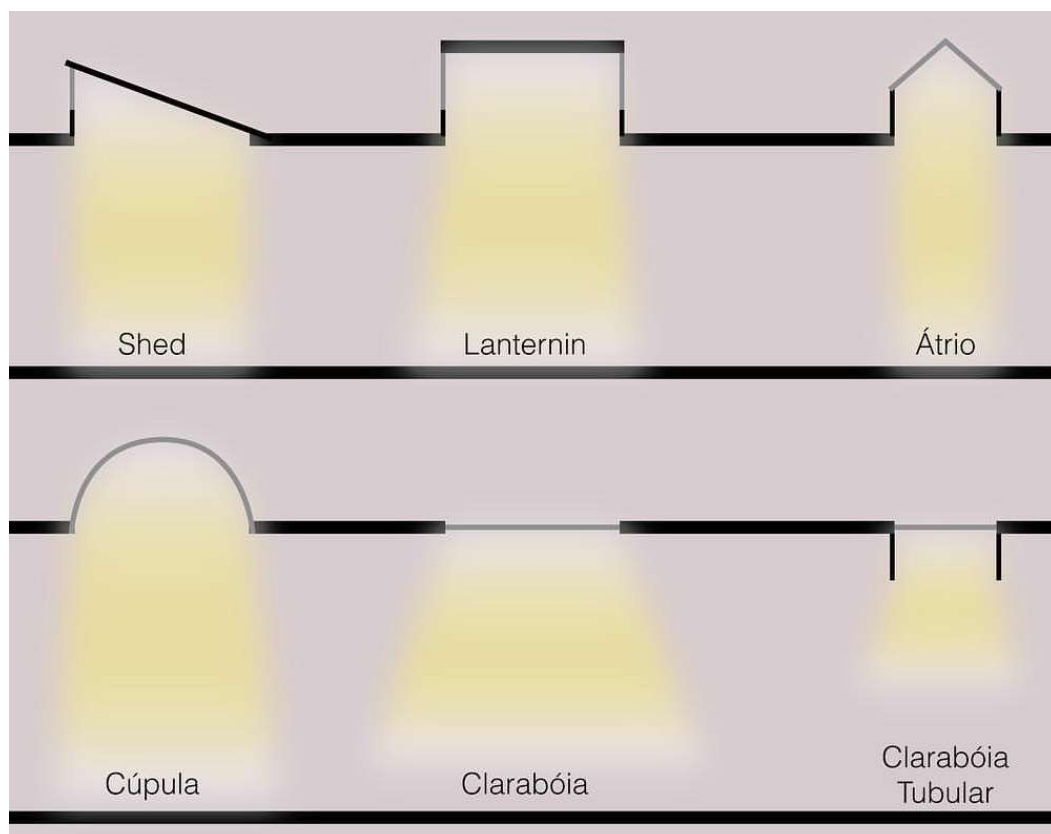


Figura 2.23 – Tipos de iluminação natural zenital

Fonte: website - deskgram.net/interactive.arch

2.4.1.4 Iluminação artificial

A grande diferença da luz artificial em relação a natural é a possibilidade de usá-la de acordo com a necessidade, podendo alterar a intensidade, cor e posição da forma que se preferir.

A aparência de um objeto pode ser alterada dependendo da iluminação que se aplica sobre ele, diferentes tonalidades de cores refletem de forma diferente as cores do objeto em questão.

Tonalidades frias de luz trazem impressões de frio enquanto tonalidades quentes, de calor. Estes detalhes podem também ser usados na hora de criar um ambiente onde se queira atrair olhares para diferentes tipos de produtos.

Essas características podem ser exploradas em projetos de iluminação para empreendimentos comerciais, além da quantidade e qualidade adequadas para a execução de tarefas e garantia da segurança.

2.4.1.5 LED

LED vem do inglês “Light Emitter Diode”, é um componente eletrônico semicondutor, ou seja, um diodo emissor de luz, que é capaz de transformar energia elétrica diretamente em luz. Nas lâmpadas convencionais esse processo acontece de forma diferente através do uso de filamentos metálicos, radiação ultravioleta e descarga de gases. Nos LEDs, a transformação de energia elétrica em luz é feita na matéria, sendo, por isso, chamada de Estado sólido.

Possui um terminal chamado anodo e outro chamado catodo e dependendo da forma como é ligado, permite ou não a passagem de corrente elétrica emitindo ou não luz. (15)

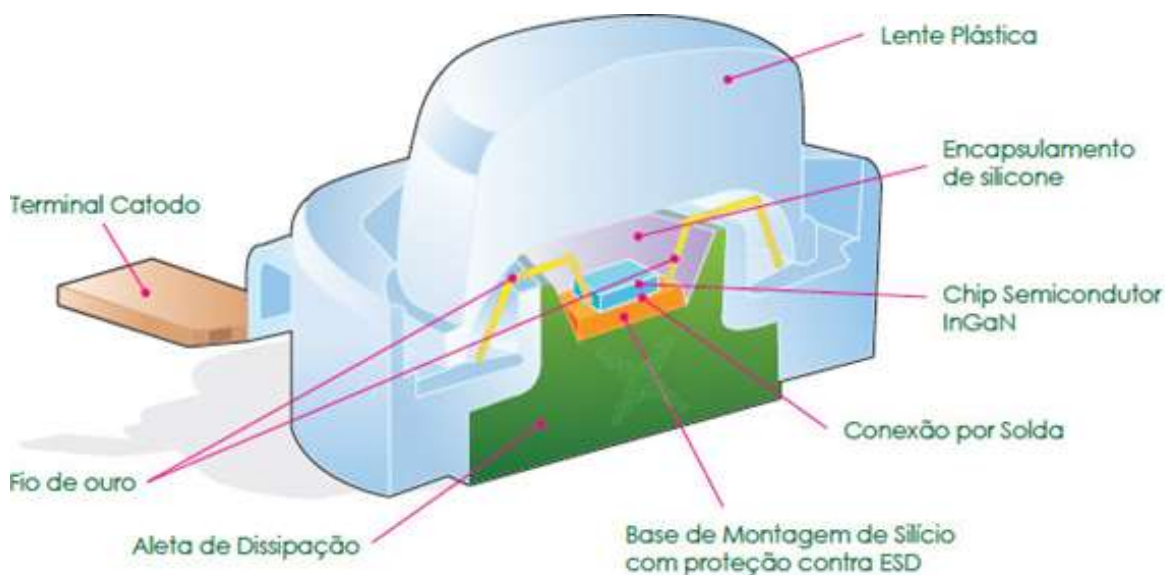


Figura 2.24 – Esquema interno de um LED
 Fonte: website – www.conexled.com.br

A invenção do LED foi em 1963, por Nick Holonyac, somente na cor vermelha e com baixa intensidade luminosa e foi muito, e somente, utilizado como indicação em aparelhos para sinalizar o funcionamento.

Durante os anos 80, os LEDs conseguiram atingir níveis de intensidade luminosa que possibilitaram iniciar a substituição de lâmpadas, principalmente na indústria automotiva. Mas somente no início da década de 90 obteve-se LEDs com cores de tons azul, verde e branco

Neste momento, os LEDs apresentavam intensidade de no máximo 8 candelas com ângulos de emissão bem pequenos. No final dos anos 90, surge o LED de potência que revoluciona a tecnologia apresentando fluxo luminoso de até 40 lumens e ângulo de emissão de 110 graus.

Hoje em dia, existem LEDs que atingem mais de 4000 lumens de fluxo luminoso, com potência de 29 W. (16)

O feixe luminoso dos LEDs não carrega a radiação infravermelho, porém, uma parte da potência que chega nos terminais do LED é dissipada na forma de calor. Para evitar que o semicondutor seja aquecido além dos limites estipulados, se faz o uso de dissipadores de calor, e se não for feito, o calor excessivo pode degradar o fluxo luminoso e a vida útil do componente. (15)

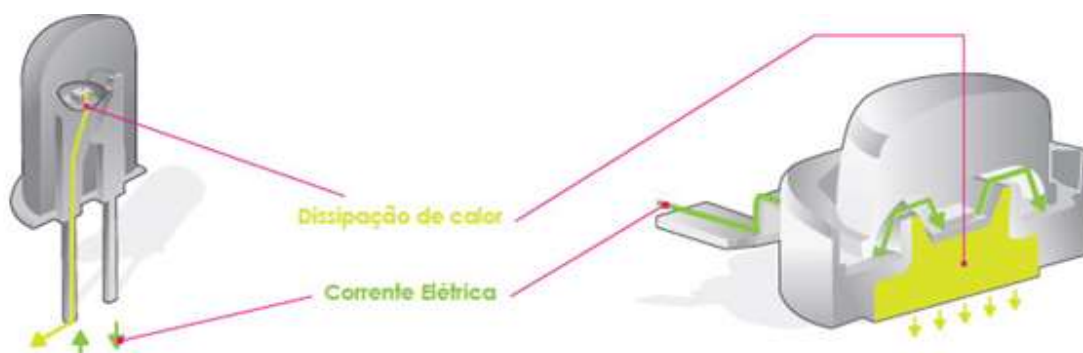


Figura 2.25 – Dissipação de calor nos LEDs
Fonte: website – www.conexled.com.br

Os benefícios do LED são: (15)

MAIOR VIDA ÚTIL

Dependendo da aplicação, a vida útil do equipamento é longa, sem necessidade de troca. O gráfico abaixo mostra a comparação da vida útil entre vários tipos de lâmpadas.

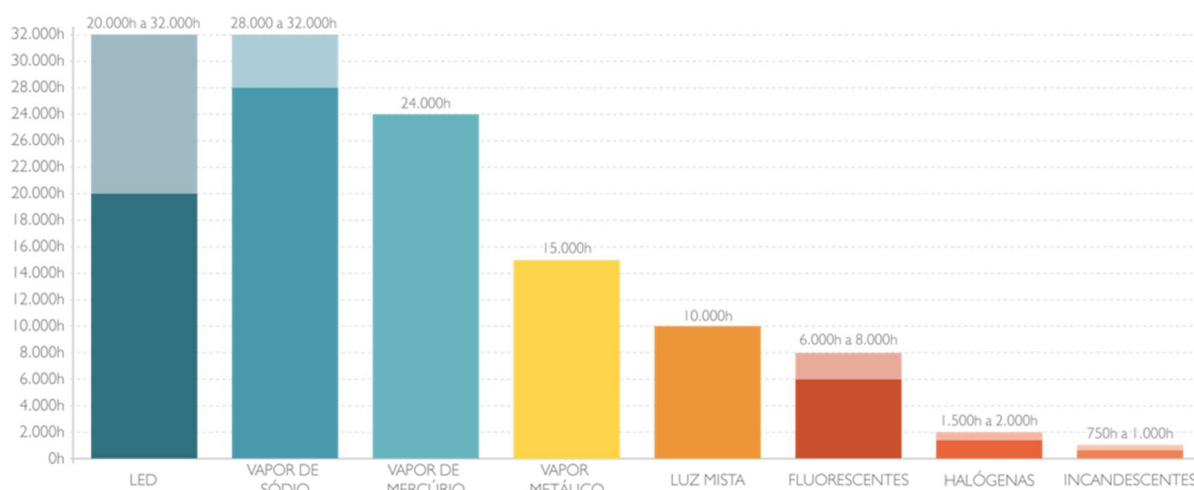


Figura 2.26 – Vida útil das lâmpadas
Fonte: website – www.empalux.com.br

CUSTOS DE MANUTENÇÃO REDUZIDOS

Em função de sua longa vida útil, a manutenção é bem menor, representando menores custos.

EFICIÊNCIA

Apresentam maior eficiência que outras lâmpadas. O gráfico abaixo mostra uma comparação com as outras.

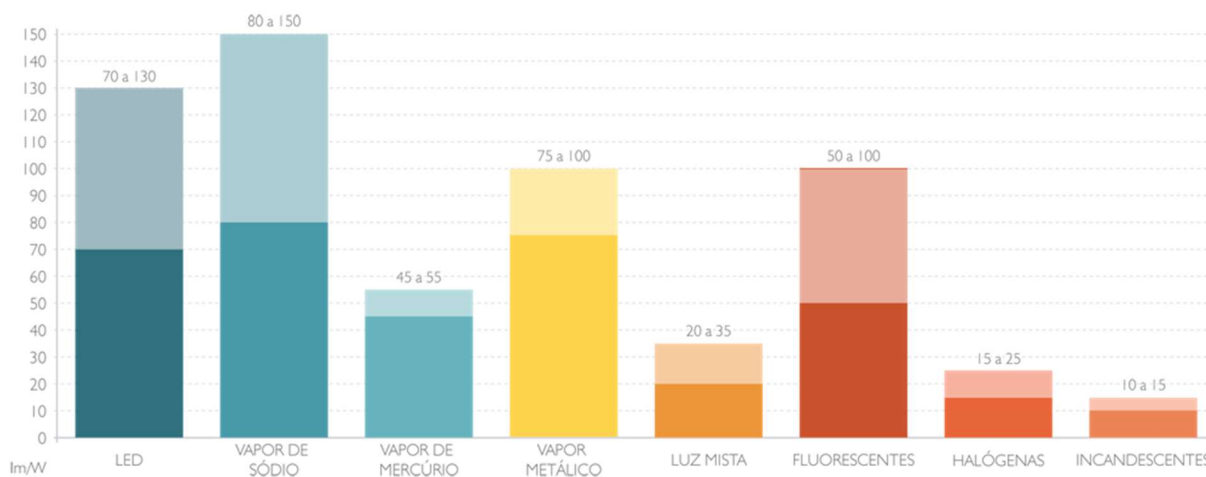


Figura 2.27 – Eficiência das lâmpadas

Fonte: website – www.empalux.com.br.

BAIXA TENSÃO DE OPERAÇÃO

Diminui o perigo de choques elétricos.

RESISTÊNCIA A IMPACTOS E VIBRAÇÕES

Utiliza tecnologia de estado sólido e não possui filamentos, vidros, entre outros, o que aumenta sua robustez.

CONTROLE DINÂMICO DA COR

Com a utilização adequada, pode-se obter um espectro variado de cores, incluindo várias tonalidades de branco, permitindo um ajuste perfeito da temperatura de cor desejada.

IRC

As lâmpadas LED possuem IRC acima de 80%, o que é um bom índice para a maioria das aplicações. A figura abaixo mostra a comparação com outras lâmpadas.



Figura 2.28 – Índice IRC das lâmpadas

Fonte: website – www.empalux.com.br

ACIONAMENTO INSTANTÂNEO

Tem acionamento instantâneo, mesmo quando está operando em temperaturas baixas.

CONTROLE DE INTENSIDADE VARIÁVEL

Seu fluxo luminoso é variável em função da variação da corrente elétrica aplicada a ele, possibilitando, com isto, um ajuste preciso da intensidade de luz da luminária.

CORES VIVAS E SATURADAS SEM FILTROS

Emite comprimento de onda monocromático, que significa emissão de luz na cor certa, tornando-a mais viva e saturada. Os LEDs coloridos dispensam a utilização de filtros que causam perda de intensidade e provocam uma alteração na cor, principalmente em luminárias externas, em função da ação da radiação ultravioleta do sol

ECOLOGICAMENTE CORRETO

Não utiliza mercúrio ou qualquer outro elemento que cause danos à natureza.

AUSÊNCIA DE ULTRAVIOLETA

Não emitem radiação ultravioleta sendo ideais para aplicações onde este tipo de radiação é indesejado.

AUSÊNCIA DE INFRAVERMELHO

Também não emitem radiação infravermelho, fazendo com que o feixe luminoso seja frio.

DIMERIZAÇÃO

Com tecnologia “Pulse Width Modulation” (PWM), é possível a dimerização entre 0% e 100% de sua intensidade.

QUANTIDADE DE MANOBRAS

Ao contrário das lâmpadas fluorescentes que tem um maior desgaste no momento em que são ligadas, nos LEDs é possível acender e apagar rapidamente sem detrimento da vida útil. (15)

2.4.1.6 Driver

Para que o LED funcione é necessário que a tensão e corrente fornecidas estejam dentro das especificações necessárias. Quem faz a conversão é o componente chamado driver. Ele também protege o LED contra surtos que possam ocorrer na rede elétrica.

O driver pode estar interno na lâmpada ou vir externamente de forma que possa ser trocado em caso de falha. Pode também ser dimerizável, o que significa que a intensidade da luz emitida pode ser regulada.

Os drivers dimerizáveis em geral usam o sistema PWM, pois eles não produzem efeito de cintilância, mantém as características de cor da luz e conseguem variar a intensidade e consequentemente o consumo de 0% a 100%.

2.4.2 *Estado da arte do sistema de iluminação*

2.4.2.1 Automação

A automação do sistema de iluminação permite economia de energia garantindo que somente o necessário está sendo consumido. Isto é possível com o desligamento ou dimerização dos LEDs de acordo com a ocupação do local e com as condições de iluminação natural.

Drivers dimerizáveis podem ser associados com sensores de iluminância e fazer com que as luminárias tenham sua potência reduzida automaticamente conforme a claridade do ambiente muda pela incidência solar.

Os drivers dimerizáveis utilizam o sistema PWM que faz a modulação da potência aplicada ao LED.

2.4.2.2 Iluminação natural

Com a tecnologia empregada na fabricação de materiais como o polietileno ou o acrílico, várias soluções estão no mercado para atender com eficiência o uso da luz solar como fonte para iluminação interna.

Essa alternativa quando aliada ao sistema de automação pode trazer grandes economias de energia elétrica para uso de iluminação. Pode-se até desligar as luminárias em determinados horários do dia.

2.4.3 Estratégia para eficiência energética em iluminação

2.4.3.1 Projeto eficiente

Um projeto eficiente com certeza é uma ótima estratégia para eficiência energética. Quando a eficiência é considerada desde a fase de projeto, a economia na fase de implantação é considerável, tendo em mente que tudo vai ser feito apenas uma vez. Desde a trajetória do Sol, assim como o uso de luminárias com alto LOR e posicionadas de forma correta, mais baixas por exemplo, o emprego de lâmpadas LED com acionamento automatizado e o uso de iluminação setorial, todos estes itens podem gerar enormes economias durante a operação do empreendimento.

2.4.3.2 Limpeza

A manutenção de qualquer equipamento é essencial para conseguir extrair o máximo de seu rendimento, com a iluminação não é diferente. Partículas em suspensão no ar vão se acumulando nas lâmpadas, luminárias, claraboias, entre outros e diminuem o rendimento destes equipamentos.

Planos de limpeza são necessários para reestabelecer as condições ótimas antes do tempo de troca.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 APRESENTAÇÃO

O seguinte estudo foi feito em um supermercado de 2688 m² destinados a venda de produtos situado na cidade de São José do Rio Pardo, São Paulo.

O enfoque do estudo foi nos 3 maiores consumos: refrigeração, ar condicionado e iluminação.

O fluxo de pessoas no interior da loja varia de acordo com os dias da semana. Conforme a Associação Paulista de Supermercados (APAS), o dia preferido dos clientes é o sábado com 27%, enquanto terça e quinta-feira são os dias com menos fluxo. Baseado nesse perfil e em entrevista com funcionários do supermercado, foi traçado uma curva de visitas exposto na tabela a seguir juntamente com o horário de funcionamento aberto ao público e o horário de funcionamento interno destinado a limpeza e reposição de produtos.

| | seg | ter | qua | qui | sex | sab | dom |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Horário público | 8:00 21:00 | 8:00 21:00 | 8:00 21:00 | 8:00 21:00 | 8:00 21:00 | 8:00 21:00 | 8:00 13:00 |
| Horário interno | 21:00 22:00 | 21:00 22:00 | 21:00 22:00 | 21:00 22:00 | 21:00 22:00 | 21:00 22:00 | 13:00 14:00 |
| Fluxo de pessoas ¹ | 15% | 7% | 15% | 7% | 15% | 27% | 14% |

Tabela 3.1 – Perfil de funcionamento do supermercado

Fonte: autoria própria

Apesar do fluxo de pessoas ser variável conforme o dia, o que mais interfere no consumo do sistema é a operação interna, pois como os expositores possuem aberturas pequenas e dotadas de portas, a fuga de ar frio nestes equipamentos é bem menor quando se compara ao período de recebimento de mercadorias que são armazenados em câmara fria e ao período de limpeza destas câmaras.

3.2 CONSUMO GERAL DE ENERGIA

O consumo de energia de cada sistema vai ser estimado pois não há registradores separados para tal fim.

¹ Fonte: Associação Paulista de Supermercados (APAS)

A loja está registrada na distribuidora CPFL como tarifa verde A4 comercial com demanda contratada de 340 kW e a tarifa paga pela energia (TE + TUSD) é R\$0,56. O perfil de consumo do supermercado é como mostrado abaixo.

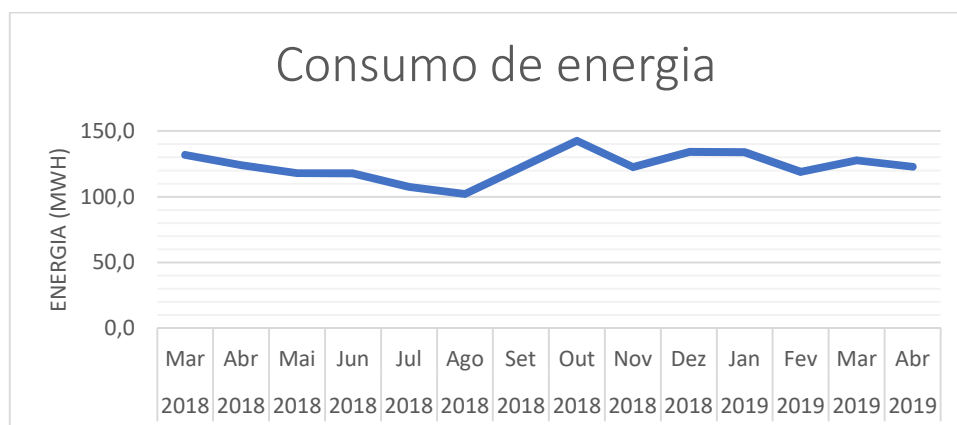


Figura 3.1 – Perfil de consumo de energia elétrica do supermercado
Fonte: faturas de energia CPFL

3.3 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

O sistema é composto por dois racks. Um dos racks é utilizado para atender a demanda de refrigeração e outro a demanda de congelados. No telhado estão dois condensadores com ventiladores AC convencionais, um para cada rack de compressores. O esquema a seguir mostra o projeto de instalação deste sistema.

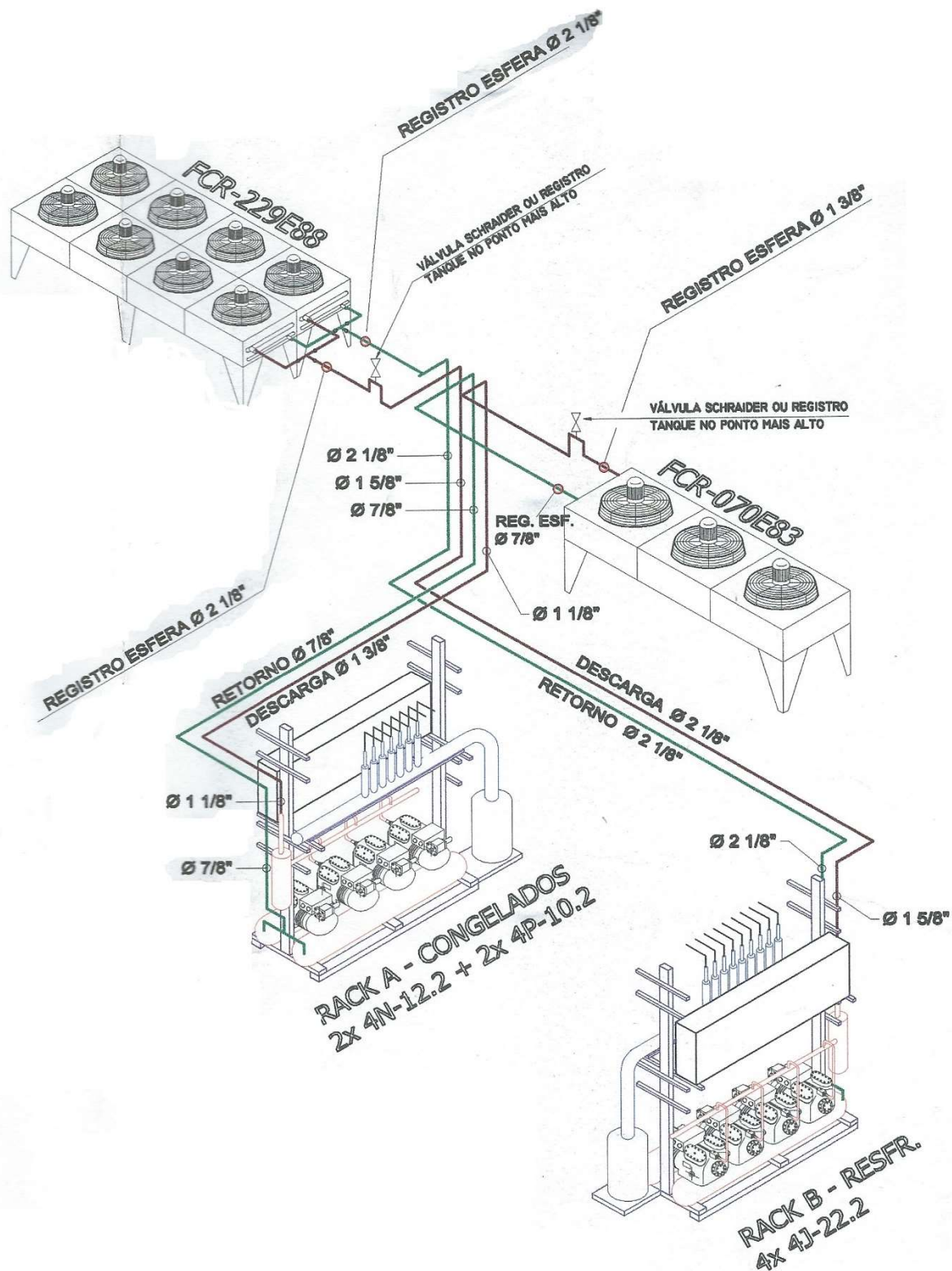


Figura 3.2 – Projeto de sistema para frio alimentar do supermercado
Fonte: Hussmann

3.3.1 Rack de compressores

Os dois racks possuem quatro compressores semi-hermético cada, especificados na tabela a seguir.

Rack Congelados

| Compressor | 1 | 2 | 3 | 4 | Total |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|---------|
| Modelo | 4N-12.2 BT | 4N-12.2 BT | 4P-10.2 BT | 4P-10.2 BT | |
| Refrigerante | R22 | R22 | R22 | R22 | |
| Pot. Trabalho (kW) | 7,96 | 7,96 | 6,47 | 6,47 | 28,86 |
| Capacidade (BTU/h) | 36.200 | 36.200 | 28.900 | 28.900 | 130.200 |

Rack Resfriados

| Compressor | 1 | 2 | 3 | 4 | Total |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Modelo | 4J-22.2 | 4J-22.2 | 4J-22.2 | 4J-22.2 | |
| Refrigerante | R22 | R22 | R22 | R22 | |
| Pot. Trabalho (kW) | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 59,48 |
| Capacidade (BTU/h) | 127.900 | 127.900 | 127.900 | 127.900 | 511.600 |

Tabela 3.2 – Especificações dos racks

Fonte: Hussmann

Os compressores ligam de forma sequencial de acordo com a carga de refrigeração exigida pelo sistema.



Figura 3.3 – Racks de refrigeração do supermercado

Fonte: autoria própria

3.3.2 Condensadores

Os condensadores do sistema de refrigerados e congelados são assim especificados:

| Condensador | Congelados | Resfriados |
|--------------------|------------|------------|
| Modelo | FCR070E83 | FCR229E88 |
| Tipo | a ar | a ar |
| Fluxo de ar | vertical | vertical |
| Cap. Cond. (BTU/h) | 278.221 | 910.511 |
| Nº Motores | 3 | 8 |

Tabela 3.3 – Especificação dos condensadores

Fonte: Hussmann



Figura 3.4 – Condensadores do supermercado

Fonte: autoria própria

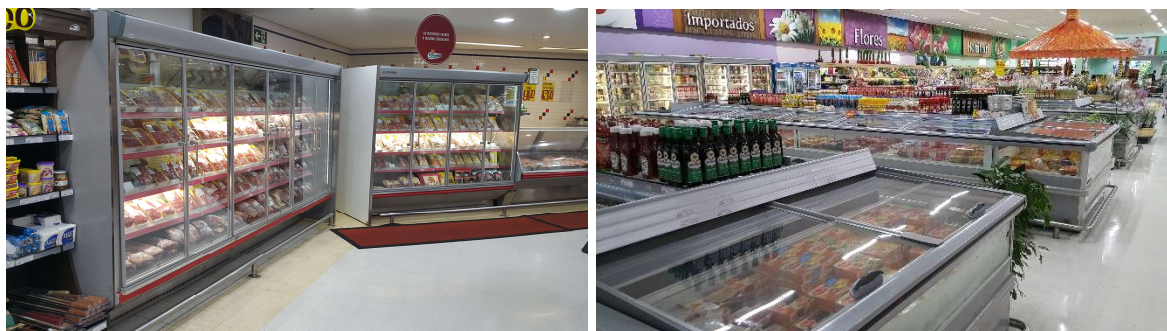
Apesar de o condensador do sistema de refrigerados dispor de espaço para oito ventiladores, somente seis estão instalados. A especificação dos motores segue na tabela abaixo.

| | |
|------------|----------------|
| Modelo | B 90 L12-E1757 |
| Tensão | 220 V |
| Rendimento | 64% |
| Fator Pot. | 0,53 |
| Polos | 8 |
| Potência | 0,37 kW |

*Tabela 3.4 – Especificação dos motores dos condensadores
Fonte: Hussmann*

3.3.3 Expositores refrigerados

A loja possui 96 m lineares de expositores refrigerados distribuídos pela área de vendas e 59 m de expositores de congelados. Todos contam com degelo automático por tempo; os de resfriamento de forma natural, e os de congelamento são elétricos.



*Figura 3.5 – Expositores refrigerados do supermercado
Fonte: autoria própria*

3.3.4 Câmaras frias

A loja conta com duas câmaras de resfriamento e uma de congelamento localizadas na retaguarda da loja onde somente os funcionários têm acesso. Estas câmaras são utilizadas para estoque dos produtos de reposição da loja e alimentos usados na cozinha.

Anexo às câmaras de resfriamento estão alocadas duas salas de preparo resfriadas utilizadas para produção de alimentos vendidos na loja.

3.3.5 Hábitos de uso

O sistema de refrigeração da loja fica permanentemente ligado, pois sempre há alimentos a serem refrigerados. Os expositores refrigerados são abertos e fechados conforme a vontade dos clientes que circulam na loja e após o encerramento do atendimento os funcionários da reposição entram em ação.

A câmara fria, como dito anteriormente, é acessada somente pelos funcionários para repor os alimentos na loja, repor alimentos na cozinha interna e para limpeza.

3.3.6 Consumo dos ventiladores dos condensadores

É difícil mensurar com exatidão o consumo do sistema, pois não há medidores específicos instalados. Uma estimativa foi feita a partir do funcionamento dos ventiladores instalados nos condensadores de cada sistema.

No painel de controle há contadores que ligam os ventiladores dos condensadores através de um sistema de controle.

A unidade condensadora dos refrigerados possui quatro contadores que inicialmente controlavam dois motores cada, porém dois motores foram retirados e o comando foi remanejado para funcionar com três ou seis ventiladores. Já a unidade dos congelados possui um contator para cada motor, ou seja, três.

Durante dois dias, em períodos diferentes, foi contado o tempo que estes contadores ficaram acionados, e posteriormente calculado a energia correspondente consumida em cada período. Com estes valores foi estimado a energia horária consumida por cada grupo de ventiladores.

Para estimar o consumo enquanto o sistema está sem interferência dos funcionários, foi estipulado três horários em comum acordo com os próprios, são eles: 8:00, 11:00 e 20:00. Nestas horas a temperatura externa estava respectivamente 17°C, 24°C e 29°C.

Com os valores foi possível traçar um gráfico de como os sistemas, refrigerados e congelados, se comportam.

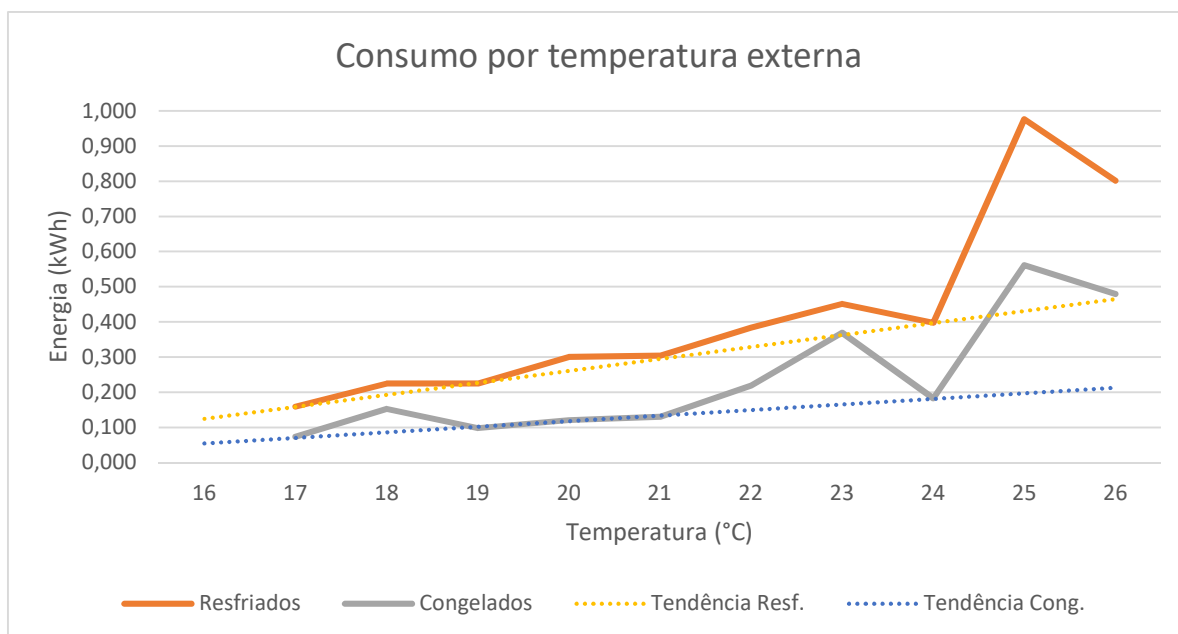


Figura 3.6 – Gráfico do consumo dos condensadores X temperatura externa
Fonte: autoria própria

No gráfico, as curvas pontilhadas são curvas de tendência baseadas nos pontos citados acima. Borges (2017) diz que existe uma forte relação linear entre a energia consumida nos ventiladores e a temperatura externa.

Ainda há a necessidade de saber como é o comportamento durante um dia inteiro, para isto no gráfico abaixo da variação da temperatura horária no local foi marcado pontos de medida real e traçado uma curva que acompanha os dados históricos.

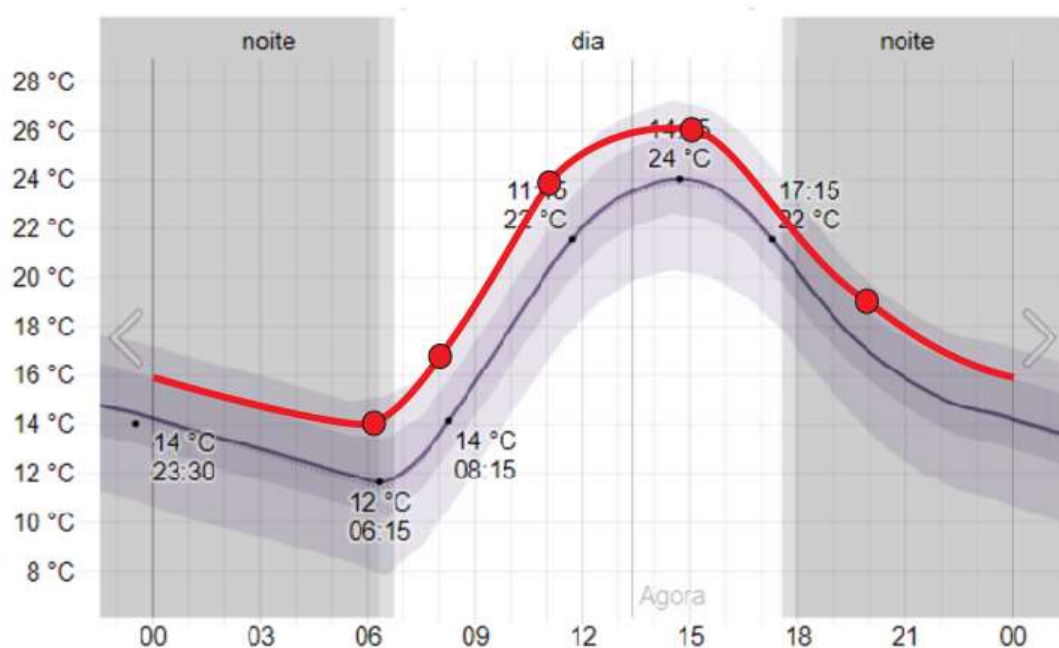


Figura 3.7 – Variação de temperatura externa com as horas
Fonte: website - pt.weatherspark.com (editado)

Com os gráficos da figura 4.6 e da figura 4.7, foi traçado o consumo de hora a hora dos sistemas.

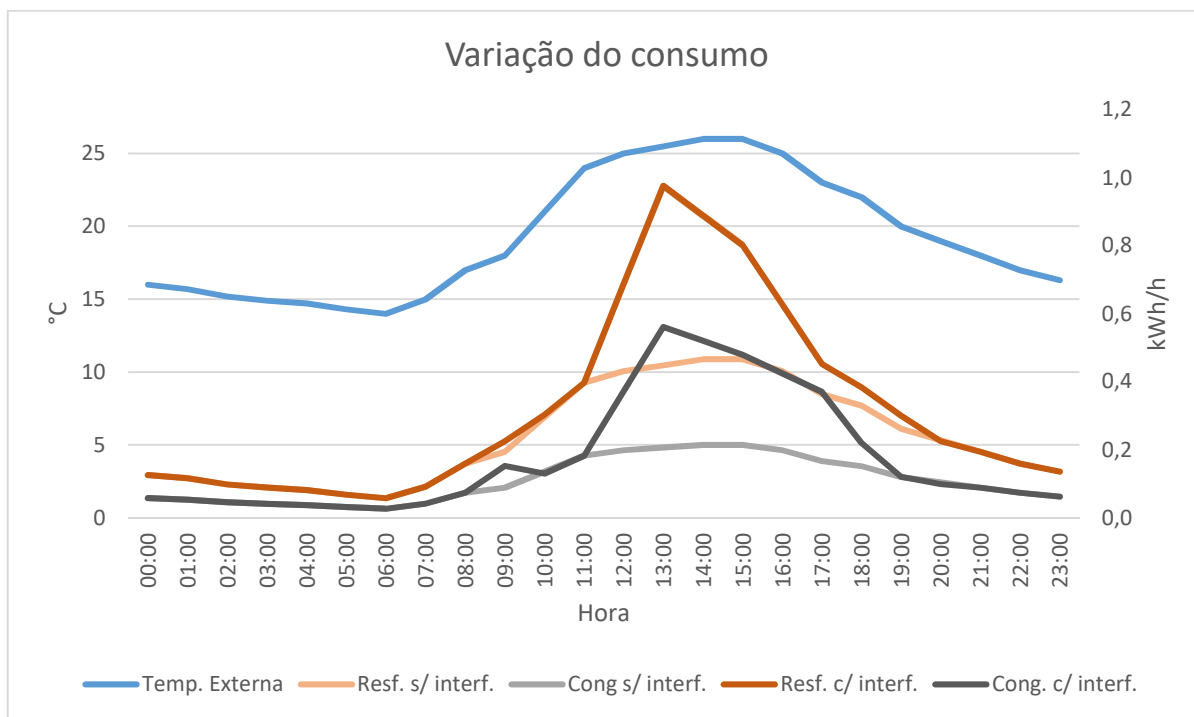


Figura 3.8 – Variação do consumo do sistema de refrigeração no dia
Fonte: autoria própria

As curvas “Resf. s/ interf.” e “Cong. s/ interf.” representam o consumo dos dois sistemas sem a interferência dos funcionários, enquanto as curvas “Resf. c/ interf.” e “Cong. c/ interf.” representam o consumo real durante a operação diária. O consumo fora do horário de expediente foi estimado conforme a temperatura externa, já que não há interferência neste período.

O consumo de energia do dia representado acima foi obtido pela integração horaria das curvas “Resf. c/ interf.” e “Cong. c/ interf.” e são respectivamente 7,65 kWh e 4,27 kWh.

A projeção anual do consumo será feita através da temperatura média mensal. Para o mês em questão, junho, a temperatura média é 16,9°C e varia conforme a tabela a seguir.

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura média (°C) | 22.8 | 23 | 22.5 | 20.8 | 18.4 | 16.9 | 16.7 | 18.6 | 20.5 | 21.6 | 22.2 | 22.5 |

Tabela 3.5 – Temperatura média mensal

Fonte: website – pt.climate-data.org

Pela variação do comportamento sem interferência dos sistemas, representados pelas curvas “Tendência Resf.” e “Tendência Cong.” do gráfico da figura 4.6, foi obtido a relação de consumo em referência ao mês de junho e está representado na tabela abaixo.

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temperatura média ² (°C) | 22,8 | 23,0 | 22,5 | 20,8 | 18,4 | 16,9 | 16,7 | 18,6 | 20,5 | 21,6 | 22,2 | 22,5 |
| Relação com junho | 135% | 136% | 133% | 123% | 109% | 100% | 99% | 110% | 121% | 128% | 131% | 133% |
| Consumo 1 dia resfriados kWh | 10,32 | 10,41 | 10,18 | 9,42 | 8,33 | 7,65 | 7,56 | 8,42 | 9,28 | 9,78 | 10,05 | 10,18 |
| Consumo 1 dia congelados kWh | 5,76 | 5,81 | 5,68 | 5,26 | 4,65 | 4,27 | 4,22 | 4,70 | 5,18 | 5,46 | 5,61 | 5,68 |
| Dias do mês | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 |
| Consumo mensal resfriados kWh | 319,9 | 291,5 | 315,7 | 282,5 | 258,2 | 229,5 | 234,3 | 261,0 | 278,4 | 303,1 | 301,5 | 315,7 |
| Consumo mensal congelados kWh | 178,6 | 162,7 | 176,2 | 157,7 | 144,1 | 128,1 | 130,8 | 145,7 | 155,4 | 169,2 | 168,3 | 176,2 |

Tabela 3.6 – Consumo anual do sistema de refrigeração

Fonte: autoria própria

A soma dos consumos (duas últimas linhas da tabela 4.6) nos dá o consumo anual dos ventiladores dos condensadores, 5284 kWh.

3.4 SISTEMA DE AR CONDICIONADO

3.4.1 Sistema evaporativo

O sistema de condicionamento de ar atual da loja conta com doze máquinas do tipo evaporativo especificado da seguinte forma:

² Fonte: website – pt.climate-data.org

| | |
|----------------|---------------|
| Modelo | Roto 150 Teto |
| Peso | 231 kg |
| Potência Total | 1,87 kW |

Tabela 3.7 – Especificação do equipamento evaporativo

Fonte: Rotoplast

3.4.2 Hábitos de uso

O funcionamento das máquinas é manual, ou seja, um funcionário fica responsável por ligar o sistema quando há a necessidade. Em conversa com alguns funcionários foi possível estipular uma temperatura externa média na qual ligam as máquinas e traçar um perfil de funcionamento. A temperatura foi fixada em 27°C.

3.4.3 Consumo do sistema evaporativo

Para calcular o consumo de energia, foi necessário estipular o tempo total que as máquinas ficam ligadas, para tal, foi usado um gráfico da temperatura média horária durante o ano na cidade em questão.

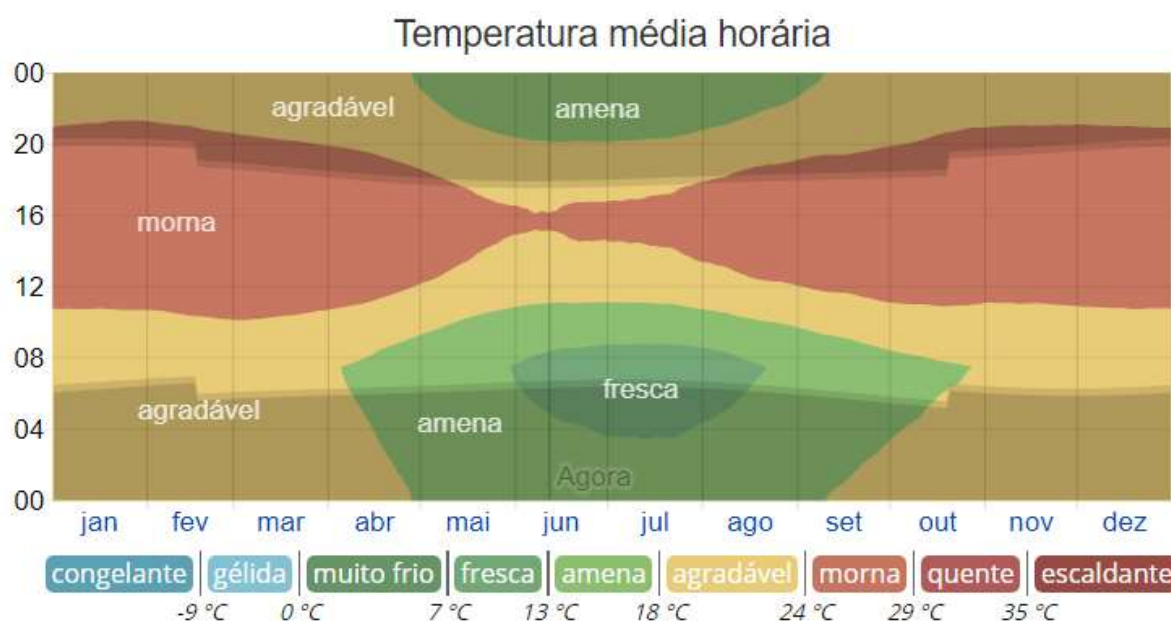


Figura 3.9 – Temperatura média horária

Fonte: website – pt.weatherspark.com

A partir do gráfico acima foi criada uma tabela com a quantidade de horas do dia (somente horas de funcionamento da loja) em que a temperatura fica acima de 27°C, e posteriormente extrapolada para o ano inteiro. Esta soma é de 1806 horas. Sendo assim a energia elétrica consumida pelo sistema de condicionamento evaporativo em um ano é a seguinte:

$$E_{EVAPORATIVO} = 1806 \text{ horas} * 1,87kW = 3377kWh$$

3.5 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

O sistema de iluminação do supermercado já conta com a tecnologia LED instalada. Anteriormente, as lâmpadas eram do tipo fluorescente. A opção da diretoria do supermercado foi aumentar o nível de iluminância para além da norma NBR 8995-1 por motivos de estratégia de vendas.

3.5.1 Luminárias e lâmpadas

O espaço destinado ao autosserviço contava com 187 luminárias com duas lâmpadas cada distribuídas de forma uniforme pelo espaço. As lâmpadas usadas inicialmente eram do tipo T5 fluorescentes com potência de 54 W.

3.5.2 Hábitos de uso

A iluminação da loja fica ligada durante todo o período de funcionamento, ou seja, 14 horas de segunda a sábado e 6 horas aos domingos, o que soma 90 horas semanais e 4693 horas em um ano.

3.5.3 Consumo do sistema de iluminação

De acordo com a ficha técnica do reator OSRAM QTP-DL na configuração de duas lâmpadas de 54 W, a potência de consumo é de 116 W, sendo assim o consumo de energia anual pelo sistema de iluminação era de:

$$E_{ILUMINAÇÃO} = 4693 \text{ horas} * 187 \text{ lâmpadas} * 116W = 101,8 \text{ MWh}$$

3.6 ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.6.1 Refrigeração

A proposta para a refrigeração gira em torno de três pontos: “retrofit” de equipamentos, hábitos de uso e conscientização dos clientes.

Como os expositores resfriados já foram atualizados com as portas de vidro, esta questão pode ser melhorada com a conscientização dos clientes. Foi sugerido a colocação de plaquetas nas portas dizendo para que se escolha o produto antes e só abra a porta quando for pegá-lo.

Desta forma o tempo que as portas ficam abertas fazendo com que um grande volume de ar quente entre no espaço refrigerado diminui e consequentemente a carga térmica diminui também.

Em conversa com o técnico de manutenção da loja, foi comentado que alguns funcionários deixam as portas das câmaras frias abertas durante um longo período. Esta atitude colabora para o desperdício de energia e pode ser melhorada com melhores instruções e treinamentos aos funcionários e com a instalação de um aviso sonoro temporizado nas portas, indicando que a porta deve ser fechada.

Outra sugestão foi verificar constantemente a vedação das portas tanto dos equipamentos internos quanto dos da área de vendas. São equipamentos os quais o uso é constante e essas vedações podem se deteriorar facilmente ao passo que a substituição não é cara.

Na casa de máquinas foi sugerido a instalação de soft-starters nos compressores trazendo o benefício da qualidade da energia, pois as partidas recorrentes destes equipamentos geram distúrbios na rede elétrica que podem ser danosos aos outros equipamentos nela conectados.

Nos condensadores, a troca dos ventiladores com motores AC convencionais por ventiladores EC traz boa economia.

Conforme Borges (2017), esta troca pode trazer uma redução de 78% no consumo de energia no condensador. Aplicando esse fator de redução ao consumo calculado no capítulo 3.3.6, o consumo anual cai para 1162 kWh.

3.6.2 Ar condicionado

No caso do sistema de condicionamento de ar, será feito um estudo de aplicação de máquinas de expansão direta do tipo “rooftop” com ciclo economizador, a aspiração para este estudo é baseada nos pontos negativos do sistema evaporativo.

Foi feito um levantamento por uma empresa especializada (18) com as seguintes premissas:

- **Temperatura do ar de retorno:** 25°C;
- **Umidade relativa do ar de retorno:** 50% (entalpia: 52,448 kJ/kg);
- **Número máximo de pessoas:** 500.

O projeto forneceu a capacidade de 160 TR para o ar condicionado.

A direção do supermercado indicou que são registrados em média 90.000 bilhetes por mês e que a média de permanência dos clientes na loja é de 15 minutos. Temos, portanto, uma média de 250 clientes dentro da loja durante todo o período de funcionamento.

Com esse número de pessoas, e considerando que as outras cargas térmicas internas continuam iguais, como a iluminação por exemplo, a vazão mássica de ar que sai do evaporador seria 92.000 kg/h. (18)

Para avaliar a possível economia pelo ciclo economizador, é necessário calcular a entalpia do ar externo e comparar com a entalpia do ar de retorno do sistema. Na tabela a seguir estão os dados necessários para este cálculo assim como os valores de energia poupada para cada mês.

| Mês | Dias | Horas ³ | Temp. média ⁴ (°C) | UR médio ⁵ (%) | Entalpia média (kJ/kg) | Pot. (kJ/h) | Pot. ⁶ (kWe) | Pot. ⁷ Vent. | Energia poupada (kWh) |
|-----|------|--------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Jan | 31 | 398,6 | 22,8 | 80,8 | 61,81 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Fev | 28 | 360,0 | 23 | 78,6 | 61,40 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Mar | 31 | 398,6 | 22,5 | 74 | 57,50 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Abr | 30 | 385,7 | 20,8 | 74,9 | 52,63 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Mai | 31 | 398,6 | 18,4 | 72,8 | 44,93 | 691748 | 68,3 | 8768,6 | 18452,7 |
| Jun | 30 | 385,7 | 16,9 | 74,3 | 41,48 | 1009332 | 99,7 | 8485,7 | 29951,6 |
| Jul | 31 | 398,6 | 16,7 | 65,5 | 38,06 | 1323696 | 130,7 | 8768,6 | 43320,7 |
| Ago | 31 | 398,6 | 18,6 | 71,5 | 44,99 | 686412 | 67,8 | 8768,6 | 18242,7 |
| Set | 30 | 385,7 | 20,5 | 68 | 48,81 | 334420 | 33,0 | 8485,7 | 4249,7 |
| Out | 31 | 398,6 | 21,6 | 78,6 | 56,77 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Nov | 30 | 385,7 | 22,2 | 80 | 59,39 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Dez | 31 | 398,6 | 22,5 | 75,3 | 58,13 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tabela 3.8 – Economia anual do ciclo economizador

Fonte: autoria própria

A economia anual seria de 114,2 MWh.

3.6.3 Iluminação

Foram instaladas 374 luminárias LED com potência 32 W, o que resulta em uma potência total de 11,9 kW e um consumo anual de 56,2 MWh.

A estratégia de utilizar a iluminação natural se adequa muito bem neste caso, pois será possível diminuir o consumo das luminárias ou até desligá-las.

Inicialmente foi feito uma simulação no software Relux com as seguintes premissas:

- **Largura, comprimento, altura do ambiente:** 56m, 48m, 4,3m;

³ Horas de funcionamento do ar condicionado.

⁴ Fonte: website – <http://pt.climate-data.org>

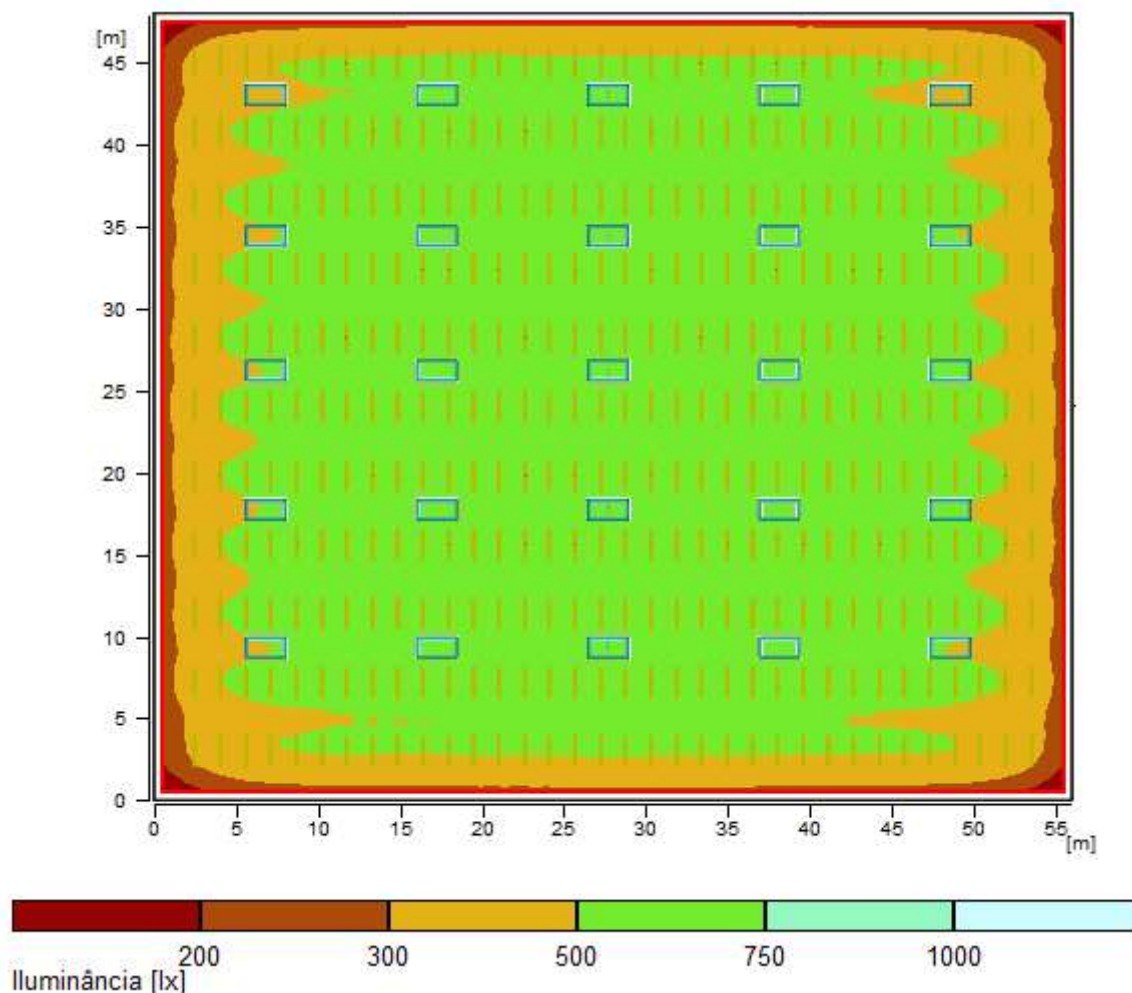
⁵ Fonte: website – <http://sismet.cooxupe.com.br:9000>

⁶ Potência elétrica do equipamento de ar condicionado.

⁷ Potência somente dos ventiladores (3 CV a cada 15 TR).

- **Altura do plano de referência para o cálculo:** 1,5 m;
- **Luminárias:** 374 luminárias LED de 32 W distribuídas de forma uniforme.

O resultado do software é mostrado na figura abaixo.



*Figura 3.10 – Iluminância no plano de referência
Fonte: software Relux*

A iluminância obtida está conforme a norma NBR 8995-1 e também com a vontade da diretoria da loja, pois como dito no capítulo 4.5, queriam mais luz no ambiente.

Com o resultado da simulação, podemos usar como iluminância de projeto $E_p = 700$ lux.

Para esta proposta foi utilizado o sistema de iluminação natural com lentes prismáticas em policarbonato. Este sistema é composto por uma lente superior que fica sobre o telhado e recebe a luz solar, um duto refletivo e uma lente inferior que é fixada no forro e permite a passagem da luz para o ambiente interno.

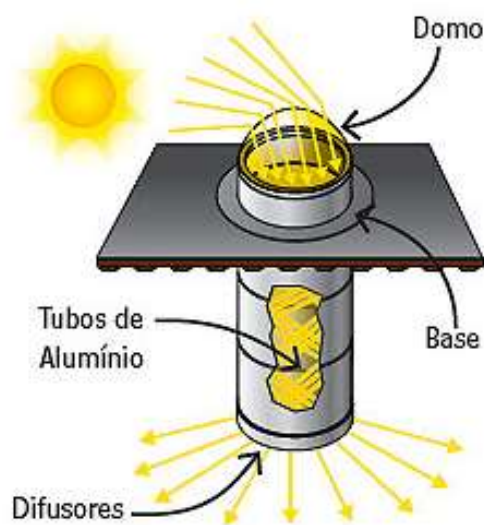


Figura 3.11 – Componentes do duto de luz

Fonte: website - techne17.pini.com.br

Abaixo estão as especificações do equipamento:

| | |
|------------------------|-----------|
| Modelo | CD 4x8 |
| Garantia | 10 Anos |
| Filtros | UV e IR |
| Transmitância Luminosa | 90% |
| Condutividade Térmica | 0,177 BTU |

Tabela 3.9 – Especificação duto de luz

Fonte: website – www.confortlux.eco.br

A teoria por trás da simulação de uso da luz solar é complexa, para tal fim utilizaremos o software TropLux desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Iluminação (GRILU) do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

O software gera um arquivo com as iluminâncias no plano de referência estipulado para vários tipos de céu, dias e horas.

Os dados de entrada foram os seguintes:

- Latitude e longitude da cidade em questão;
- Geometria do ambiente;
- Tipos de céu;
- Dias específicos para a simulação;
- Plano de referência;
- Azimute.

Foram inseridas 16 claraboias espaçadas de forma uniforme como mostra a figura.

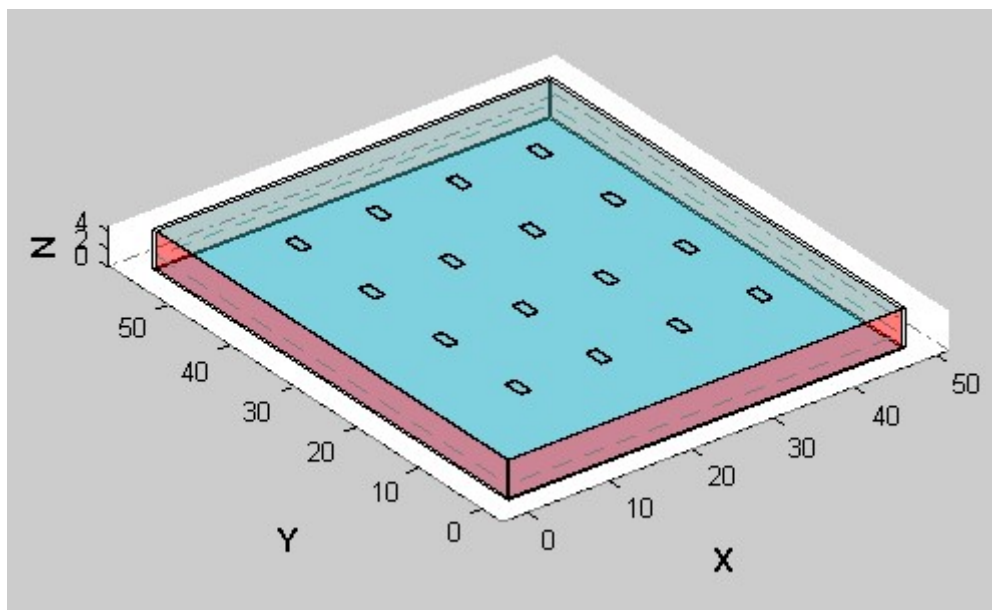


Figura 3.12 – Disposição das claraboias na edificação
Fonte: software TropLux

Souza (2003), indica sete datas específicas que definem dias típicos do percurso anual do sol, mês a mês:

- 22 de dezembro;
- 28 de janeiro (15 de novembro);
- 28 de fevereiro (15 de outubro);
- 21 de março (23 de setembro);
- 15 de abril (30 de agosto);
- 15 de maio (30 de julho);
- 22 de junho.

Ainda no mesmo trabalho, Souza também indica a modelagem de cálculo para o percentual de aproveitamento da luz natural por complementação (PALN_c). Complementação essa vinda das luminárias com sistema de dimerização.

As fórmulas abaixo foram usadas com os dados de saída do software TropLux para o cálculo mencionado.

$$FE = 1 - \frac{P_{min}}{P_{max}} - \frac{(P_{max} - P_{min})}{(E_{max} - E_{min})} * \left(\frac{E_P - E_{LN} - E_{min}}{P_{max}} \right)$$

FE - Fator de economia;

E_P – Iluminância de projeto;

E_{LN} – Iluminância da luz natural.

$P_{mín}$ - Potência mínima consumida pelo sistema;

$P_{máx}$ - Potência máxima consumida pelo sistema;

$E_{mín}$ - Iluminância mínima fornecida pelo sistema;

$E_{máx}$ - Iluminância máxima fornecida pelo sistema.

$$PALN_C = \frac{\sum_0^n FE_n}{n}$$

$PALN_C$ - Percentual de aproveitamento da luz natural por complementação;

FE_n - Fator de economia da hora analisada;

n - Número de horas do período analisado.

$$PALN_P = PALN_{CC} * r_{CC} + PALN_{CP} * r_{CP} + PALN_{CE} * r_{CE}$$

$PALN_P$ - Percentual de aproveitamento da luz natural ponderado;

$PALN_{CC}$ - Percentual de aproveitamento da luz natural com céu claro;

$PALN_{CP}$ - Percentual de aproveitamento da luz natural com céu parcial;

$PALN_{CE}$ - Percentual de aproveitamento da luz natural com céu encoberto;

r_{CC} - Probabilidade de ocorrência de céu claro;

r_{CP} - Probabilidade de ocorrência de céu parcial;

r_{CE} - Probabilidade de ocorrência de céu encoberto.

A probabilidade de cada tipo de céu para a cidade em questão foi calculada pelo seguinte gráfico.

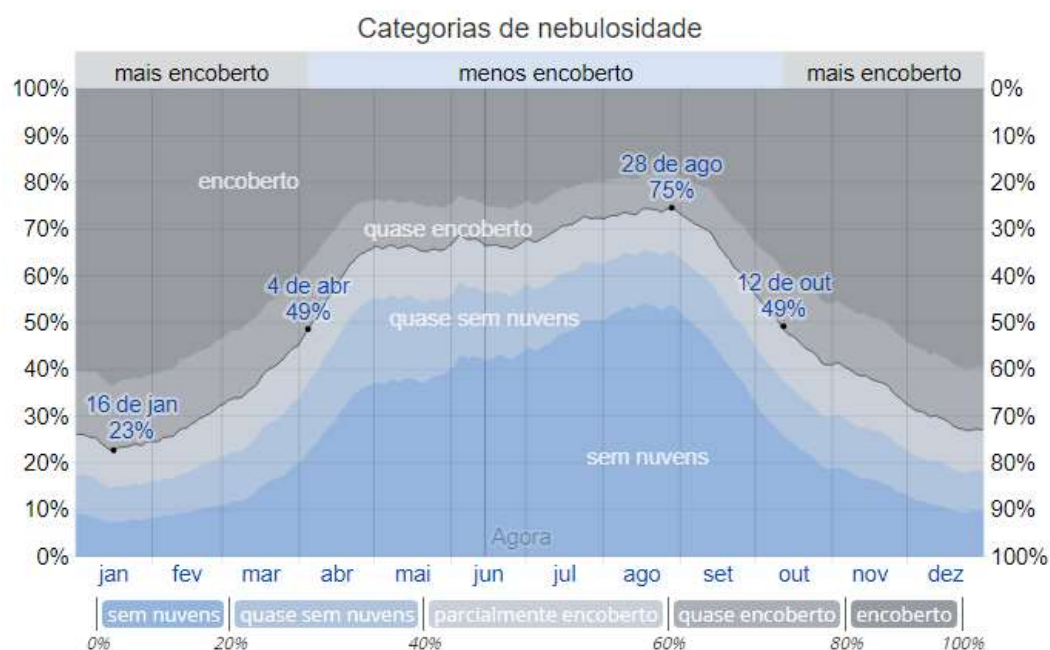


Figura 3.13 – Nebulosidade anual na cidade em questão

Fonte: website - pt.weatherspark.com

| Mês | Claro | Parcial | Encoberto |
|-----|-------|---------|-----------|
| jan | 15% | 23% | 62% |
| fev | 17% | 25% | 58% |
| mar | 25% | 29% | 46% |
| abr | 38% | 32% | 30% |
| mai | 55% | 21% | 24% |
| jun | 58% | 18% | 24% |
| jul | 60% | 18% | 22% |
| ago | 63% | 18% | 19% |
| set | 55% | 20% | 25% |
| out | 35% | 25% | 40% |
| nov | 25% | 25% | 50% |
| dez | 20% | 42% | 38% |

Tabela 3.10 – Probabilidade do céu na cidade em questão

Fonte: website - pt.weatherspark.com

Com todos os dados e equações alocados em uma planilha o resultado para PALN_p mensal foi:

| Mês | jan | fev | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out | nov | dez |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PALN _p | 80% | 79% | 73% | 65% | 53% | 49% | 52% | 57% | 64% | 74% | 77% | 81% |

Tabela 3.11 – Percentual de aproveitamento da luz natural mensal

Fonte: autoria própria

Os resultados para economia mensal são:

| Mês | jan | fev | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out | nov | dez |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Consumo (kW) | 4770 | 4308 | 4770 | 4616 | 4770 | 4616 | 4770 | 4770 | 4616 | 4770 | 4616 | 4770 |
| PALN _p | 80% | 79% | 73% | 65% | 53% | 49% | 52% | 57% | 64% | 74% | 77% | 81% |
| Energia economizada (kW) | 3802 | 3404 | 3464 | 2995 | 2543 | 2265 | 2469 | 2725 | 2956 | 3548 | 3573 | 3880 |

Tabela 3.12 – Economia mensal pela aplicação do projeto

Fonte: autoria própria

A economia anual chega a 37,6 MWh, 67%.

3.7 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica será feita por sistema e levando em consideração os seguintes números:

- **Preço da energia:** R\$ 0,56
- **Taxa de desconto anual:** 10%

3.7.1 Payback do sistema de refrigeração

Para a seguinte análise algumas premissas são tomadas:

- **Vida útil do sistema:** 8 anos
- **Valor total do investimento:** R\$ 38.800
- **Economia pela técnica aplicada:** 78%
- **Benefício anual:** $5284 \text{ kWh} * 0,78 * R\$ 0,56 = R\$ 2308,00$

| Parâmetros Financeiros | |
|------------------------|------------|
| Investimento Inicial | R\$ 38.800 |
| Fluxo de Caixa | R\$ 2.308 |
| Payback simples | 16,8 Anos |

Tabela 3.13 – Payback do sistema de refrigeração

Fonte: autoria própria

O projeto não se viabiliza devido ao longo período para o retorno do investimento.

Algumas hipóteses podem ser enunciadas para justificar esse resultado, já que a tecnologia empregada é conhecida e fornece bons resultados.

O primeiro é a precisão das medidas feitas, já que não há medidores para tal fim. O segundo e mais provável é que houve uma reforma no supermercado, alguns expositores foram remanejados e foi instalado outro sistema de refrigeração para atender alguns deles. Esta reforma fez com que o sistema antigo ficasse superestimado e conseqüentemente o condensador é pouco exigido.

3.7.2 Payback do sistema de ar condicionado

Como o supermercado não tem sistema de ar condicionado, esta análise será feita sobre a economia que o ciclo economizador traria se o projeto citado no capítulo 4.6.2 já estivesse implementado.

As premissas para tal são:

- **Investimento para o ciclo economizador:** R\$ 222.400,00
- **Economia anual:** $114,2 \text{ MWh} * R\$ 0,56 = R\$ 63.950$

| Parâmetros Financeiros | |
|-------------------------------|--------------|
| Investimento Inicial | -R\$ 222.400 |
| Fluxo de Caixa | R\$ 63.950 |
| Taxa de desconto | 10% |
| Payback simples | 3,5 Anos |
| Payback Descontado | 4,5 Anos |
| VPL | R\$ 264.009 |
| TIR | 23% |

Tabela 3.14 – Payback do ciclo economizador
Fonte: autoria própria

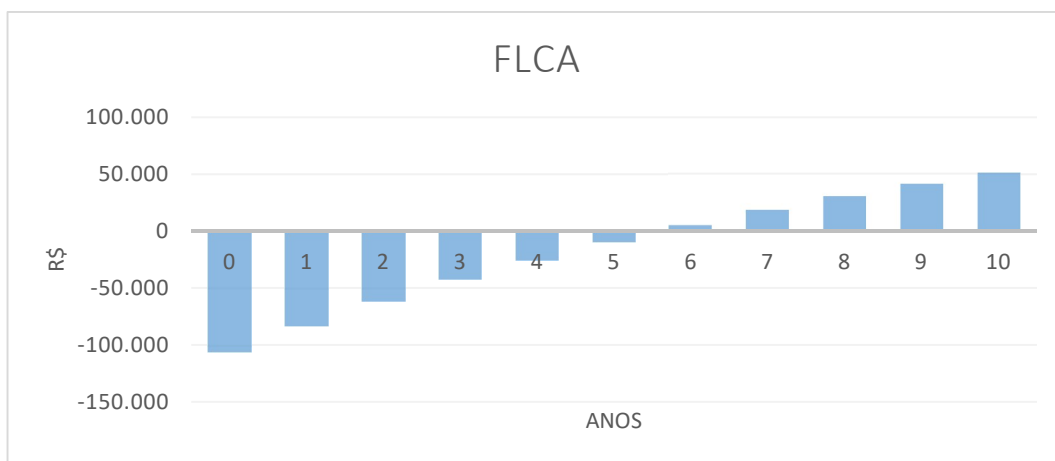


Figura 3.14 – Fluxo de caixa acumulado do ciclo economizador
Fonte: autoria própria

3.7.3 Payback do sistema de iluminação

Para o sistema de iluminação, será feita a análise sobre a implantação das luminárias LED já implantadas e posteriormente sobre a economia possível com a implantação de iluminação natural.

Para as luminárias LED as premissas são:

- **Investimento:** R\$ 106.000
- **Economia anual:** $(101,8 \text{ MWh} - 56,2 \text{ MWh}) * R\$ 0,56 = R\$ 25.536$

| Parâmetros Financeiros | |
|------------------------|--------------|
| Investimento Inicial | -R\$ 106.000 |
| Fluxo de Caixa | R\$ 25.536 |
| Taxa de desconto | 10% |
| Payback simples | 4,2 Anos |
| Payback Descontado | 5,6 Anos |
| VPL | R\$ 88.229 |
| TIR | 17% |

Tabela 3.15 - Payback das luminárias LED
Fonte: autoria própria

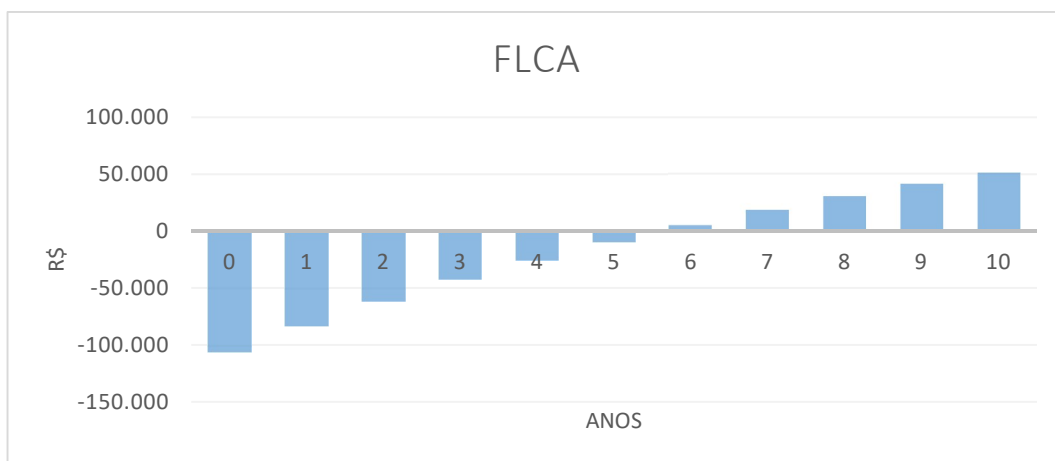


Figura 3.15 - Fluxo de caixa acumulado das luminárias LED
Fonte: autoria própria

Para a iluminação natural as premissas são:

- **Investimento:** R\$ 90.000
- **Economia anual:** $37,6 \text{ MWh} * \text{R\$ } 0,56 = \text{R\$ } 21.056$

| Parâmetros Financeiros | |
|------------------------|-------------|
| Investimento Inicial | -R\$ 90.000 |
| Fluxo de Caixa | R\$ 21.056 |
| Taxa de desconto | 10% |
| Payback simples | 4,3 Anos |
| Payback Descontado | 5,9 Anos |
| VPL | R\$ 70.154 |
| TIR | 17% |

Tabela 3.16 - Payback das iluminação natural
Fonte: autoria própria

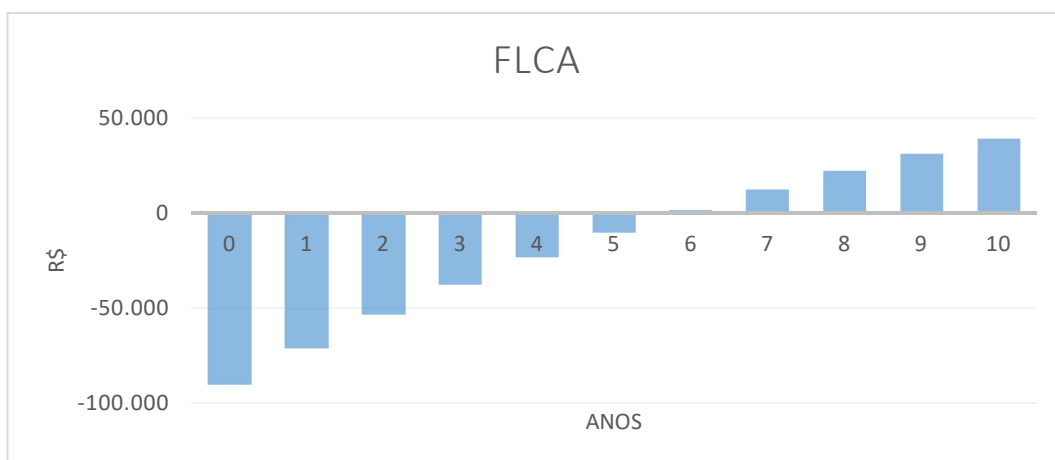


Figura 3.16 - Fluxo de caixa acumulado da iluminação natural
Fonte: autoria própria

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi estudado três sistemas típicos de supermercados e que são grandes consumidores de energia, refrigeração, ar condicionado e iluminação.

A importância da aplicação de medidas de eficiência energética é de grande importância em qualquer projeto e ficou claro no decorrer do trabalho que com medições e simulações é possível estimar a economia de energia e a viabilidade de aplicação.

Alguns problemas surgiram e foram contornados ou referenciados, como por exemplo a viabilidade no sistema de refrigeração que não se concretizou. Neste caso as falhas de medição do consumo de energia podem ter contribuído para tal, pois não se dispunha de equipamentos de aferição continua e o método utilizado pode não ter sido preciso.

No sistema de ar condicionado foi explicito a enorme economia que é possível ser feita com uma simples mudança no funcionamento do equipamento que teoricamente já existe. O ciclo economizador se mostrou muito capaz e se for ainda combinado com outros métodos como a recuperação de calor e a desumidificação do ar de entrada pode trazer economias ainda maiores.

A iluminação é outro ponto muito fácil de se obter vantagens de tecnologias novas como o LED e principalmente da luz natural. O estudo do potencial de economia com a luz natural é complexo e trabalhoso, os softwares de simulação são ferramentas imprescindíveis para quem deseja rapidez. Houve certa dificuldade para encontrar um software que faz tudo de forma integrada, no estudo, foram utilizados três diferentes, cada um abordando uma característica, para que um resultado satisfatório fosse alcançado.

Certamente levo adiante um grande conhecimento posto em prática neste trabalho que me permitiu boas descobertas e interesses.

Como sugestão de evolução da pesquisa, sugiro fazer medidas por mais tempo e com equipamentos adequados nos ventiladores dos condensadores, estimar a economia com a aplicação de outras estratégias somadas no sistema de ar condicionado e a busca por um software que tenha todas as ferramentas de cálculo do potencial de economia da luz natural de integradas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ESTECH ENGENHARIA. **Varejo e atacado.** Disponível em: <<http://estechengenharia.com.br>>. Acesso em: 28 maio 2019.

PROCELINFO. **Lei de eficiência energética.** Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2019.

IFRGS. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/clorodif.htm>>. Acesso em: 28 maio 2019.

RESFRIANDO. Disponível em: <<http://www.resfriando.com.br/fluidos-naturais-na-refrigeracao/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

ABRAS – Associação Brasileira de Supermercados. **Supermercado sustentável.** Disponível em: <<http://www.abras.com.br/supermercadosustentavel/noticias/supermercados-aderem-a-refrigeradores-ecologicos/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

EDISCIPLINAS USP. **Aula válvulas.** Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4473622/mod_resource/content/1/Aula7valvulas2018.pdf>. Acesso em: 28 maio 2019.

EBMPAPST. **Boletim técnico 04-11.** Disponível em: <https://www.ebmpapst.com.br/media/content/technical_support/technical_data/Boletim_Tecnico-ebm-papst_04-11.pdf>. Acesso em: 28 maio 2019.

SCHOTT. Disponível em: <<https://www.schott.com/brazil/portuguese/news/press.html?NID=com4682&freturl=%2Fbrazil%2Fportuguese%2Findex.html>>. Acesso em: 28 maio 2019.

RESFRIANDO. Disponível em: <<http://www.resfriando.com.br/manutencao-sistema-de-refrigeracao-cuidados-durante-instalacao-frio-alimentar/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

FULLGAUGE. Disponível em: <<https://www.fullgauge.com.br/noticia/29>>. Acesso em: 28 maio 2019.

IPOG. **Revista Especialize On-line IPOG.** 14ª Edição. Volume 1, 2017. Disponível em: <<https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

ITAIM ILUMINAÇÃO. **Catálogo 2008.** Disponível em: <http://www.itaimiluminacao.com.br/downloads/itaim_catalogo_2008.pdf>. Acesso em: 28 maio 2019.

VIVADECOR. Disponível em: <<https://www.vivadecora.com.br/pro/iluminacao/conceitos-luminotecnicos/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

IAR - Instituto de Artes. **Luminotécnica**. UNICAMP. Disponível em: <<https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2019.

IAR - Instituto de Artes. UNICAMP. Disponível em: <<https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/dicasemail/led/dica36.htm>>. Acesso em: 28 maio 2019.

CREE. Disponível em: <<https://www.cree.com/led-components/products/xlamp-leds-arrays/xlamp-xhp70-2/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

ENGENHARIA E ARQUITETURA. Disponível em: <<http://www.engenhariae arquitetura.com.br/2018/09/eficiencia-energetica-comeca-com-reducao-da-carga-termica>>. Acesso em: 28 maio 2019.

FELBECK – engenharia térmica. Orçamento executado em maio, 2019.

EMPALUX. Disponível em: <www.empalux.com.br>. Acesso em: 28 maio 2019.

CONEXLED. Disponível em: <<https://conexled.com.br/sobre/led/historia/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

COOXUPE. **Sismet**. Disponível em: <<http://sismet.cooxupe.com.br:9000/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

ACCEEE – American Council for an Energi-Efficient Economy. **The 2018 International Energy Efficiency Scorecard**. Disponível em: <<https://aceee.org/research-report/i1801>>. Acesso em: 28 maio 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **BEN 2018 – Balanço Energetico Nacional, 2018**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 28 maio 2019.

PROCELINFO. **Revista supermercado moderno**, fevereiro 2015. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D¶ms=itemID=%7B86A2C3BC-9A3F-4C9B-AE59-D1E211D78F9D%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>>. Acesso em: 28 maio 2019.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Manual de Boas Práticas em Supermercados para Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado**. Disponível em: <<http://www.abras.com.br/pdf/manual-refrigeracao.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2019.

EMBRACO. Disponível em: <<http://plugncool.embraco.com/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

PERFIL REFRIGERACAO. Disponível em: <<http://www.perfilrefrigeracao.com>>. Acesso em: 28 maio 2019.

DANFOSS. Disponível em: <<http://www.danfoss.com>>. Acesso em: 28 maio 2019.

CHOU, Ivone. **A Iluminação de Supermercados: Um Elemento de Diferenciação dos Produtos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp019402.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2019.

APAS – Associação Paulista de Supermercados. **Destaques da Pesquisa Tendência do Consumidor**. Disponível em: <<https://portalapas.org.br/wp-content/uploads/2018/05/Pesquisa-Tend%C3%A2ncias-do-consumidor-2018.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br>>. Acesso em: 28 maio 2019.

ABESCO - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br>>. Acesso em: 28 maio 2019.

CIE – International Commission on Illumination. **CIE 97:2005 - Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems**. Disponível em: <https://kupdf.net/download/cie-97-65306-2005_5911ec21dc0d60f845959e86_pdf>. Acesso em: 28 maio 2019.

BORGES, ALYSSON. **Projeto de Eficiência Energética em um Sistema de Refrigeração Comercial com aplicação de Ventiladores Eletronicamente Comutados (EC)**. Disponível em: <<https://pecepoli.com.br/PT/Monografias.aspx>>. Acesso em: 28 maio 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **PDE 2027 - Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2027>>. Acesso em: 28 maio 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **PNE 2030 - Plano Nacional de Energia – 2030**. 2007. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>>. Acesso em: 28 maio 2019.

FGV – Faculdade Getúlio Vargas. **ANÁLISE SETORIAL SUPERMERCADOS 2011**. Disponível em: <https://cev.fgv.br/sites/cev.fgv.br/files/Analise%20Setorial_Supermercados_2011.pdf>. Acesso em: 28 maio 2019.

PANESI, A. R. Q. **Eficiência Energética em Supermercados**. 2º Encontro de Engenharia e tecnologia dos Campos Gerais, 14 e 15 de agosto de 2008.

SOUZA, Marcos Barros de. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. Florianópolis, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2003.