



GESTÃO TÉRMICA VISANDO MINIMIZAR PERDAS DE TEMPERATURA E MAXIMIZAR A EFICIÊNCIA NO CONSUMO DE ENERGIA PARA REFRIGERAR ALIMENTOS EM SUPERMERCADOS

THERMAL MANAGEMENT AIMED AT MINIMIZING TEMPERATURE LOSS AND MAXIMIZING ENERGY EFFICIENCY FOR REFRIGERATING FOOD IN SUPERMARKETS

GESTIÓN TÉRMICA DESTINADA A MINIMIZAR LA PÉRDIDA DE TEMPERATURA Y MAXIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA REFRIGERACIÓN DE ALIMENTOS EN SUPERMERCADOS

RICARDO FREGONESE | ricardo.fregonese@unitau.br | Universidade de Taubaté /SP

IVAIR ALVES DOS SANTOS | ivair.santos@unitau.br | Universidade de Taubaté /SP

ROQUE ANTÔNIO MOURA | roque.amoura@unitau.br | Universidade de Taubaté /SP

RESUMO

A conservação de produtos alimentícios por meio do resfriamento e congelamento em redes supermercadistas é indispensável para assegurar a qualidade e a segurança alimentar. Contudo, as oscilações térmicas nesses sistemas acarretam um consumo energético excedente, o que eleva as despesas operacionais e prejudica o rendimento dos equipamentos. Diante disso, esta pesquisa objetiva investigar a correlação entre as perdas térmicas e o incremento no gasto de energia em sistemas de refrigeração comercial. Em termos metodológicos, trata-se de uma pesquisa qualitativa, com caráter exploratório e descritivo, fundamentada em uma revisão de literatura focada em obras de engenharia térmica e gestão energética. Os achados demonstram que a frequência de abertura das portas, problemas de vedação, ausência de manutenção preventiva e o dimensionamento incorreto das máquinas são os principais causadores da dissipação de frio e do consequente desperdício elétrico. Observou-se também que a implementação de tecnologias modernas, atrelada a boas práticas operacionais, é capaz de mitigar tais perdas e aprimorar a performance do sistema. Conclui-se, que a gestão térmica rigorosa aliada ao uso racional da energia não apenas favorece a sustentabilidade, mas também aumenta a competitividade do setor, evidenciando a necessidade de investimentos em manutenção e no monitoramento ininterrupto dessas instalações.

Palavras-chave: Refrigeração comercial; Eficiência energética; Supermercados; Variação térmica; Consumo de energia.

ABSTRACT

The preservation of food products through refrigeration and freezing in supermarket chains is essential to ensure food quality and safety. However, thermal fluctuations in these systems lead to excess energy consumption, which increases operating expenses and impairs equipment performance. Therefore, this research aims to investigate the correlation between thermal losses and increased energy expenditure in commercial refrigeration systems. Methodologically, this is qualitative research, with an exploratory and descriptive character, based on a literature review focused on thermal engineering works and energy management. The findings demonstrate that the frequency of door openings, sealing problems, lack of preventive maintenance, and incorrect machine sizing are the main causes of cold dissipation and consequent electrical waste. It was also observed that the implementation of modern technologies, coupled with good operational practices, can mitigate such losses and improve system performance. In conclusion, rigorous thermal management combined with the rational use of energy not only promotes sustainability but also increases the sector's competitiveness, highlighting the need for investments in maintenance and continuous monitoring of these facilities.

Keywords: Commercial refrigeration; Energy efficiency; Supermarkets; Thermal variation; Energy consumption.

RESUMEN

La conservación de los productos alimentarios mediante refrigeración y congelación en las cadenas de supermercados es fundamental para garantizar la calidad y seguridad de los alimentos. Sin embargo, las fluctuaciones térmicas en estos sistemas resultan en un consumo excesivo de energía, lo que aumenta los gastos operativos y perjudica el rendimiento de los equipos. Por ello, esta investigación tiene como objetivo investigar la correlación entre las pérdidas térmicas y el aumento del gasto energético en sistemas de refrigeración comercial. En términos metodológicos, se trata de una investigación cualitativa, de carácter exploratorio y descriptivo, basada en una revisión de literatura enfocada en obras de ingeniería térmica y gestión energética. Los hallazgos demuestran que la frecuencia de apertura de puertas, los problemas de sellado, la falta de mantenimiento preventivo y el dimensionamiento incorrecto de las máquinas son las principales causas de la disipación de frío y el consiguiente desperdicio eléctrico. También se observó que la implementación de tecnologías modernas, vinculadas a buenas prácticas operativas, es capaz de mitigar dichas pérdidas y mejorar el desempeño del sistema. Se concluye que una gestión térmica rigurosa combinada con el uso racional de la energía no sólo favorece la sostenibilidad, sino que también aumenta la competitividad del sector, poniendo de relieve la necesidad de inversiones en mantenimiento y seguimiento ininterrumpido de estas instalaciones.

Palabras clave: Refrigeración comercial; Eficiencia energética; supermercados; Variación térmica; Consumo de energía.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Evangelista (2008), o correto resfriamento e o congelamento são processos fundamentais para inibir a proliferação de microrganismos e garantir a segurança sanitária e a qualidade dos produtos perecíveis oferecidos aos consumidores.

Em consonância com uma gestão térmica visando minimizar perdas de temperatura e maximizar a eficiência no consumo inteligente de energia para refrigerar alimentos em supermercados, esta pesquisa verificou que a conservação adequada de alimentos em redes supermercadistas depende intrinsecamente da eficiência e da continuidade dos sistemas de refrigeração.

No entanto, por operarem de maneira ininterrupta, esses sistemas representam a maior parcela da demanda elétrica desses estabelecimentos comerciais. A literatura aponta que a refrigeração comercial pode ser responsável por mais de 50% de toda a energia elétrica consumida em um supermercado médio (EPE, 2023).

Devido a esse alto impacto, o parque de refrigeração tornou-se o principal alvo de análises que buscam a redução de custos operacionais e a mitigação de impactos ambientais associados ao desperdício de energia. É neste cenário que as oscilações térmicas e as perdas de frio despontam como problemas críticos.

Dossat (2004) comenta que qualquer ineficiência na retenção do frio requer que os compressores trabalhem por períodos mais longos para estabilizar a temperatura, sobrecarregando o sistema mecânico e elevando drasticamente o consumo elétrico.

Diante desta problemática, o presente estudo é norteado na identificação de que forma a perda de temperatura em equipamentos de refrigeração destinados a produtos congelados e resfriados podem ser minimizados e impactar positivamente no consumo de energia no setor supermercadista.

Para esta investigação focou-se na urgência de se otimizar a eficiência energética no varejo considerando o encarecimento das tarifas de eletricidade e as exigências globais por práticas sustentáveis que obrigam o setor supermercadista a buscar soluções que minimizem o desperdício de recursos se comprometer a integridade dos alimentos ou gerar descartes onerosos e expondo a saúde pública a riscos (Stoecker; Jones, 1985).

Sob a ótica acadêmica, a pesquisa enriquece o debate técnico-científico ao integrar conceitos de termodinâmica e gestão energética voltados especificamente para a realidade varejista na análise da influência das perdas térmicas sobre o consumo de energia elétrica em máquinas de refrigeração de alimentos em supermercados.

Do ponto de vista metodológico, convém ressaltar que a pesquisa possui uma limitação delineada tratando-se de um estudo de natureza teórica, focado em revisão bibliográfica.

A análise está restrita à literatura existente sobre sistemas de refrigeração comercial, não contemplando, nesta etapa, ensaios empíricos ou medições de campo instrumentadas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Conforme Venturini e Pirani (2006), a eficiência energética, no contexto de sistemas de refrigeração, é definida como a capacidade de atingir as temperaturas de resfriamento necessárias utilizando a menor quantidade possível de energia elétrica. Em termos práticos (Figura 1) trata-se da otimização do equipamento para executar o mesmo trabalho de refrigeração, porém com uma redução significativa no consumo energético.

Figura 1 | Gestão térmica visando atender as regulamentações ambientais



Fonte: Adaptado pelos Autores (2026).

Tais normativas exercem um impacto direto e profundo em diversos setores industriais e comerciais, englobando a refrigeração comercial, a infraestrutura de supermercados, a cadeia do frio e os sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (Correia; Viagi; Moura, 2026).

A busca por eficiência está intrinsecamente ligada às regulamentações ambientais globais, destacando-se, nesse cenário, dois grandes acordos internacionais que estabelecem diretrizes rigorosas para a utilização de gases refrigerantes e outras substâncias amplamente empregadas em sistemas de ar-condicionado, refrigeração e aerossóis (Venturini; Pirani, 2006).

Entre os marcos regulatórios mencionados, o Protocolo de Montreal, firmado no ano de 1987 figura como um tratado ambiental internacional de suma importância e um segundo acordo em conjunto com Montreal foi a Emenda de Kigali ou o Protocolo de Kyoto, que tratam do aquecimento global e dos gases efeito estufa (Cetesb, 2023).

Seu principal objetivo é a proteção da camada de ozônio terrestre, estabelecendo a eliminação progressiva da produção e do consumo das chamadas substâncias destruidoras do ozônio ou SDO conforme regulamentação do ministério do meio ambiente. Historicamente, essas substâncias possuíam ampla aplicação técnica e comercial, sendo componentes fundamentais não apenas em equipamentos de refrigeração e ar-condicionado, mas também na fabricação de aerossóis, espumas de isolamento térmico e solventes industriais (Brasil, 2023).

2.1 O PROTOCOLO DE MONTREAL E O CONTROLE DE SDOS

O Protocolo de Montreal, estabelecido em 1987, configura-se como um dos mais bem-sucedidos tratados demandando que os países signatários adotem medidas rigorosas como:

- A eliminação gradual dos gases que destroem a camada de ozônio;
- Controle da produção, do consumo e da importação substâncias destruidoras do ozônio;
- A adoção e transição para tecnologias substitutas;
- Reportar periodicamente dados de consumo à Organização das Nações Unidas (ONU).

O tratado ainda conta com o suporte de fundos internacionais, cujo objetivo é fornecer apoio financeiro e tecnológico para viabilizar a transição industrial em países em desenvolvimento. O Quadro 1 mostra a situação das principais substâncias regulamentadas.

Quadro 1 | Gestão térmica: principais SDOs reguladas pelo Protocolo de Montreal e situação atual

Substância	Aplicação predominante	Situação Atual
CFCs	Refrigeradores antigos	Eliminados globalmente
Halons	Extintores de incêndio	Eliminados globalmente
HCFCs	Ar-condicionado e refrigeração	Até 2040 eliminar gradualmente
Brometo de metila	Setor agrícola	Sujeito a restrições severas

Fonte: Adaptado da Cetesb (2023).

O principal foco operacional do Protocolo, em sua vertente original, é a completa eliminação dos hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) até o ano de 2040.

2.2 A EMENDA DE KIGALI E A TRANSIÇÃO DE FLUIDOS FRIGORÍFICOS

Durante o processo de eliminação dos CFCs e HCFCs, os hidrofluorcarbonos foram amplamente adotados pela indústria como a principal alternativa tecnológica. Contudo, embora os HFCs não possuam potencial de destruição da camada de ozônio, constatou-se que eles apresentam um elevado potencial de aquecimento global. Para mitigar esse impacto secundário, foi aprovada, em 2016, na cidade de Kigali (Ruanda), a Emenda de Kigali. Esta atualização do Protocolo de Montreal incluiu os HFCs no rol de substâncias controladas pelo acordo (Protocolo de Montreal, 2023).

O principal objetivo da Emenda é promover a redução escalonada do consumo global de HFCs, auxiliando de forma direta no combate às mudanças climáticas, com um cronograma de

redução que se estende até aproximadamente 2045. Para o cumprimento da Emenda, exige-se dos países a aplicação das seguintes ações (Brasil, 2024).

- Consumo: estabelecer uma linha de base estatística de consumo de HFCs;
- Redução Gradual: Aplicar um cronograma obrigatório e escalonado de diminuição;
- Monitoramento contínuo das atividades de importação, produção e comercialização;
- Fomentar o uso de fluidos refrigerantes com baixo ou nulo GWP.

Como reflexo dessas exigências, o mercado global respondeu migrando para o uso de fluidos naturais e tecnologias de menor impacto climático, dentre os quais destacam-se, a substituição do Dióxido de Carbono (CO₂, R-744), o Propano (R-290), a Amônia (R-717), além do desenvolvimento de hidrofluorolefinas (HFOs) e outras misturas de baixo potencial de aquecimento global ou *Global Warming Potential* - GWP.

2.3 IMPACTO REGULATÓRIO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E NA CADEIA DO FRIO

No cenário global, o Protocolo de Montreal possui resultados práticos que incluem a recuperação gradual da camada de ozônio, a redução significativa da emissão de gases nocivos à atmosfera e a promoção de uma cooperação internacional sem precedentes entre governos e o setor industrial (Cetesb, 2023).

A aprovação da Emenda de Kigali ampliou esse escopo, estabelecendo uma conexão direta entre a transição de fluidos refrigerantes e a busca por maior eficiência energética. Ao focar na redução dos hidrofluorcarbonos (HFCs), gases com alto impacto climático, a Emenda acelerou o desenvolvimento de sistemas mais eficientes, a adoção de refrigerantes naturais e a concepção de arquiteturas de supermercados de baixo carbono (IBAMA, 2023; Brasil, 2024).

O Quadro 2 mostra o foco principal de cada acordo internacional.

Quadro 2 | Gestão térmica: foco principal de cada acordo internacional

Acordo Internacional	Objetivo principal
Protocolo de Montreal (1987)	Eliminar progressivamente os gases que destroem a camada de ozônio (SDOs).
Emenda de Kigali (2016)	Reduzir gradualmente o uso de gases refrigerantes com alto impacto climático (HFCs).

Fonte: Adaptado de Protocolo de Montreal (2023) e IBAMA (2023).

Na refrigeração comercial, esse movimento representa uma das maiores transformações tecnológicas da história recente da cadeia do frio. O setor supermercadista enfrenta desafios como o banimento progressivo de determinados fluidos até 2030, o que tem motivado uma forte migração para tecnologias baseadas em fluidos naturais (Correia; Viagi; Moura, 2026).

Em virtude do impacto da Emenda de Kigali no *design* das centrais frigoríficas, observa-se o crescimento expressivo de soluções como o uso de Dióxido de Carbono (CO₂) em ciclo transcrito, sistemas de propano (R-290) *plug-in*, circuitos secundários (*loop* secundário) e tecnologias de condensação evaporativa (IBAMA, 2023).

2.4 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

Segundo Stoecker e Jones (1985), os sistemas de refrigeração comercial desempenham um papel vital no setor varejista e de supermercados, sendo responsáveis por garantir a conservação de alimentos perecíveis, notadamente os produtos resfriados e congelados.

O funcionamento desses sistemas baseia-se fundamentalmente no ciclo termodinâmico de compressão de vapor, por meio do qual o fluido refrigerante absorve o calor do ambiente interno mantendo as temperaturas adequadas para a preservação dos produtos e o dissipa no ambiente externo. A eficiência energética e o desempenho adequado dessas instalações não dependem exclusivamente do ciclo termodinâmico (Dossat, 2004).

Dossat (2004) ainda destaca que a estabilidade e o rendimento do sistema estão condicionados a variáveis críticas, tais como a qualidade do isolamento térmico, a eficiência da vedação, as condições operacionais e, principalmente, o dimensionamento correto da carga térmica. A falha em qualquer um desses elementos compromete diretamente o consumo de energia e a integridade da conservação.

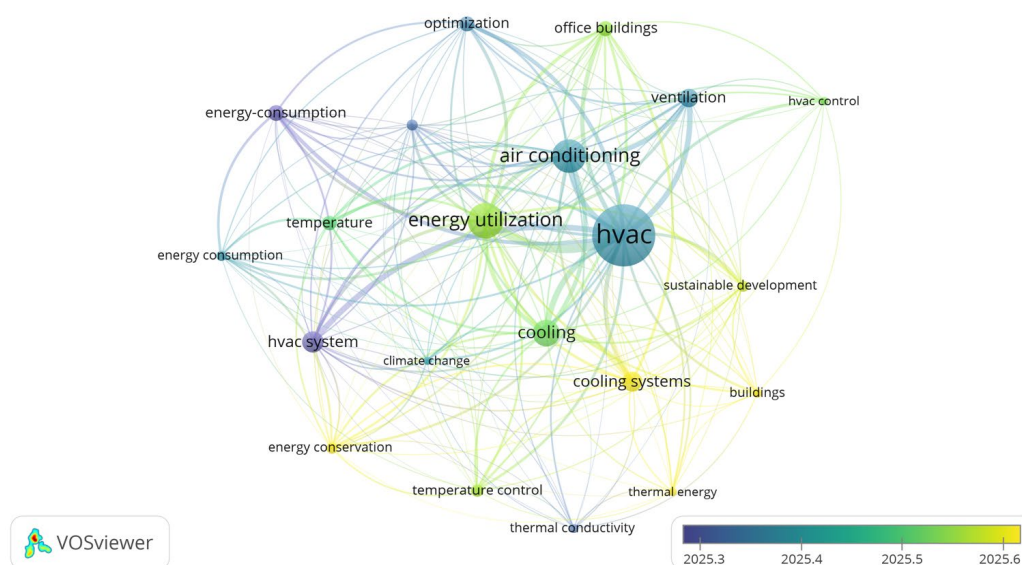
Corroborando essa visão técnica, Venturini e Pirani (2006) apontam que a compreensão dos conceitos básicos, dos ciclos de refrigeração e de suas variações é indispensável para a otimização energética. Os autores reforçam que, ao conhecer as fontes de carga térmica e os parâmetros de operação, o profissional é capaz de aprimorar a eficiência do sistema. Além disso, o domínio sobre a operação e manutenção de cada componente frigorífico é crucial para o dimensionamento adequado de medidas de melhoria e para a redução de desperdícios operacionais.

2.5 TENDÊNCIAS NA CADEIA DO FRIO

Os benefícios de custo a longo prazo foram projetados comparando o consumo de energia de sistemas HVAC convencionais destacando as vantagens econômicas da adoção de soluções de gerenciamento térmico de edifícios.

Conforme ilustra a Figura 2, os termos *hvac* (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), *cooling* (resfriamento) e *energy utilization* (utilização de energia) correlacionam-se intimamente em ecossistema dos supermercados, embora o foco operacional esteja concentrado na preservação de alimentos perecíveis, os fundamentos termodinâmicos compartilham exatamente a mesma base mecânica representada pelo macro conceito de *hvac* (Stoecker; Jones, 1985).

Figura 2 | Tendências científicas globais sobre eficiência energética e gestão térmica



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026).

A compreensão das tendências científicas globais sobre eficiência energética e gestão de sistemas de resfriamento identificou que as principais literaturas técnicas e suas respectivas conexões cronológicas estabeleceram um paralelo direto com os desafios da refrigeração comercial em supermercados. A sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável (*sustainable development*) atua como um vetor de integração, consolidando a visão de que a gestão térmica comercial superou os limites da mera redução de custos operacionais, consolidando-se como um pilar essencial para a descarbonização e mitigação de impactos climáticos no varejo alimentício (EPE, 2023).

Os sistemas de resfriamento (*cooling systems*) e consumo de energia (*energy consumption*) comprovam que o desperdício de eletricidade na refrigeração comercial está diretamente ligado ao rendimento termodinâmico do ciclo de compressão de vapor sob a premissa de que as perdas de temperatura nos balcões expositores, agravadas pela abertura de portas ou falhas de vedação, forçam os compressores a operar sob regimes de sobrecarga para mitigar o ganho de calor do ambiente externo, resultando em picos de consumo elétrico (Çengel; Boles, 2013).

A escala temporal, mostra uma transição nítida no foco das pesquisas científicas entre os anos de 2025 e 2026. Enquanto os tópicos azulados predominam no início de 2025, as otimizações sistêmicas generalistas (*hvac system* e *optimization*) na cor amarelada são pesquisas científica mais recente em meados de 2026. O alinhamento contínuo entre temperatura e resfriamento reflete com exatidão a dinâmica dos supermercados quanto a estabilização térmica interna dos expositores com mínima flutuação da carga térmica latente e sensível, reduzindo o imprevisto de degelo (*defrost*) os quais são altamente intensivos em consumo de energia.

2.6 CARGA TÉRMICA

De acordo com Tassou *et al.* (2011), sistemas submetidos a maiores cargas térmicas apresentam menor eficiência energética, impactando diretamente os custos operacionais. A redução das perdas térmicas contribui significativamente para a melhoria da eficiência energética e redução de impactos ambientais. A adoção de boas práticas operacionais e tecnologias eficientes podem reduzir o consumo de energia e aumentar a vida útil dos equipamentos.

No contexto da refrigeração comercial, a carga térmica é definida como a quantidade total de calor (energia térmica) que necessita ser removida de um ambiente ou equipamento refrigerado para que se atinja e se mantenha a temperatura de projeto desejada.

O cálculo da carga térmica configura-se como o ponto de partida de qualquer projeto de refrigeração. Trata-se de uma etapa determinante um dimensionamento preciso e bem calculado resulta em um sistema energeticamente eficiente e com menor custo operacional, enquanto estimativas mal executadas levam, invariavelmente, ao superdimensionamento dos equipamentos e ao desperdício garantido de energia elétrica (Venturini; Pirani, 2006).

3. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de revisão bibliográfica e descritiva, desenvolvida por meio de pesquisas em plataformas internacionais. A escolha dessa abordagem possibilitou compreender as relações entre perda de temperatura e o consumo energético em sistemas de refrigeração comercial.

De acordo com Gil (2008), a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema, enquanto a pesquisa descritiva busca detalhar as características do fenômeno estudado. Assim, este trabalho combina ambas as abordagens.

A coleta de dados foi realizada por meio de levantamento bibliográfico, últimos artigos científicos e publicações técnicas relacionadas à engenharia térmica e eficiência energética, pois, segundo Marconi e Lakatos (2017), a pesquisa bibliográfica possibilita a construção de uma base teórica consistente a partir de fontes já consolidadas.

A análise da literatura evidencia que a perda de temperatura em sistemas de refrigeração de supermercados está diretamente associada ao aumento do consumo de energia. Os resultados demonstram que fatores operacionais e estruturais influenciam significativamente o desempenho térmico dos equipamentos. Conforme Bardin (2011), a análise de conteúdo possibilita identificar padrões e relações entre os dados, contribuindo para a compreensão do fenômeno estudado.

4. RESULTADOS

4.1 PRINCIPAIS ACHADOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A otimização energética em sistemas de refrigeração comercial com o dimensionamento correto dos componentes e contenção ativa das cargas térmicas resultou em um menor esforço mecânico do compressor refletindo-se diretamente na diminuição do consumo de energia elétrica da instalação (ERC, 2022).

Além do benefício energético imediato, a estabilização térmica aumentou a vida útil dos equipamentos ao atenuar a frequência dos ciclos (liga/desliga), reduzindo substancialmente o desgaste mecânico prematuro dos componentes.

4.2 IMPACTO DA ABERTURA DE PORTAS

A abertura frequente de portas em freezers e câmaras frigoríficas possibilita a entrada de ar quente, aumentando a carga térmica do sistema. A infiltração de ar cria um diferencial de temperatura que representa uma oscilação impactante na carga térmica total, exigindo maior esforço do sistema de refrigeração. Segundo ASHRAE (2018) este é um dos principais fatores de ineficiência energética.

4.3 FALHAS DE VEDAÇÃO E ISOLAMENTO

Problemas de vedação e isolamento térmico frequentemente são apontados como causas relevantes de perda de temperatura, pois, a entrada contínua de calor reduz a eficiência do sistema e aumenta o consumo energético. Granryd *et al.* (2011) destacam que a qualidade do isolamento térmico é essencial para minimizar perdas e garantir estabilidade operacional.

A perda de temperatura resulta em maior tempo de funcionamento do compressor, elevando o consumo de energia elétrica (ASHRAE, 2018).

5. DISCUSSÕES

De acordo com a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers* (ASHRAE, 2018), a abertura intermitente de portas, os fluxos de infiltração de ar úmido, os defeitos nos elementos de vedação (gaxetas) e o desgaste do isolamento térmico constituem os vetores primários das oscilações de temperatura.

Granryd *et al.* (2011) asseveram que essas trocas térmicas indesejadas com o ambiente externo expandem a carga térmica do sistema, elevando o consumo de eletricidade e acelerando a fadiga estrutural dos componentes periféricos. Quanto maior a taxa de transferência de calor para o interior das zonas frias, maior será o consumo de potência elétrica no eixo dos compressores para manter o gradiente térmico desejado.

Segundo Tassou *et al.* (2011), as centrais de refrigeração respondem por uma fatia que oscila entre 40% e 60% do consumo consolidado de energia em um supermercado, posicionando-se como o custo operacional mais expressivo do setor. Conforme indicadores consolidados pela Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS, 2024), o encerramento do ano de 2024 registrou um parque industrial com mais de 424 mil lojas distribuídas tornando imperativas as políticas de otimização

energética no setor varejista. Uma reflexão importante é a relevância de investimentos contínuos em pesquisas que ampliam o alcance da acessibilidade no Brasil possibilitando se comunicar facilmente (Benevides *et al.*, 2024)

Dossat (2004) sustenta que a manutenção planejada constitui o instrumento de maior relevância para salvaguardar os índices de projeto dos sistemas frigoríficos. A incorporação programada de novas tecnologias detém o potencial de reduzir substancialmente a pegada energética do varejo de alimentos (Tassou *et al.*, 2011).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa de revisão possibilitou compreender que a gestão térmica em supermercados transcende a simples manutenção de baixas temperaturas, consolidando-se como um pilar estratégico para a sustentabilidade operacional e financeira do setor varejista.

A análise teórica demonstrou que a eficiência energética nos sistemas de refrigeração comercial está intrinsecamente ligada ao controle rigoroso das cargas térmicas e à minimização das oscilações de temperatura nos pontos de venda e armazenamento.

Identificou-se que a dissipação de frio, impulsionada por fatores como a frequência inadequada de abertura de portas em expositores, falhas na vedação de isolamentos térmicos e o dimensionamento impreciso dos equipamentos resulta em uma sobrecarga operacional severa sobre os compressores.

O regime de esforço forçado não só eleva o consumo de energia elétrica, que representa uma das maiores despesas do varejo alimentar, mas também compromete a vida útil dos componentes do ciclo termodinâmico elevando os custos com manutenção corretiva.

O cenário regulatório global, exemplificado pelo Protocolo de Montreal e pela Emenda de Kigali, impõe uma transição tecnológica irreversível com a substituição de fluidos refrigerantes de alto potencial de aquecimento global por alternativas naturais de menor impacto climático na busca pela eficiência energética.

Esta pesquisa ainda evidenciou que a modernização tecnológica, aliada a boas práticas de monitoramento contínuo, oferece um retorno imediato na redução de desperdícios e na preservação da integridade dos produtos perecíveis.

Conclui-se que o investimento em uma infraestrutura frigorífica eficiente e na capacitação das equipes operacionais para o uso racional da energia não constitui apenas uma medida de redução de custos, mas um diferencial competitivo fundamental, que se, aliado ao monitoramento ininterrupto e a manutenção preventiva se constituem em ações indispensáveis para assegurar que a cadeia do frio opere dentro dos parâmetros de sustentabilidade.

7. TRABALHO FUTURO

Visando a continuidade e o aprimoramento desta pesquisa recomenda-se a realização de análises da refrigeração de alimentos e gestão térmica em ambientes maiores nas diferentes estações do ano (verão e inverno).

REFERÊNCIAS

- ABRAS. (2024). Associação Brasileira de Supermercados. **Dados Gerais do Setor: Ranking ABRAS 2024**. São Paulo: ABRAS, 2024. Disponível em: <https://www.abras.com.br/economia-e-pesquisa/ranking/dados-gerais/>. Acesso em: 10 jun. 2026.
- ASHRAE. (2018). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook: Refrigeration**. Atlanta: ASHRAE, 2018.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BENEVIDES, M. P.; XAVIER, K. R. S. L.; SILVA, A. P. S.; ROSA JUNIOR, O.; VILLARTA, C. J. B.; RICHETTO, M. R. S.; MOURA, R. A. **Sign talk assistive technology: real-time recognition of the libras typical alphabet using artificial intelligence**. Revista de Gestão Social e Ambiental, São Paulo (SP), v. 18, n. 12, p. e010610, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n12-214. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n12-214>
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **O Protocolo de Montreal e a Proteção da Camada de Ozônio**. Brasília, DF: MMA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>. Acesso em: 9 jun. 2026.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **A Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal**. Brasília, DF: MMA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 9 jun. 2026.
- ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Linha do Tempo – PROZONESP: Programa Estadual de Prevenção à Destruição da Camada de Ozônio**. São Paulo: CETESB, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 9 jun. 2026.
- CORREIA, Fernando Elisiário; VIAGI, Arcione Ferreira; MOURA, Roque Antonio. ENGENHARIA DE SUPRIMENTOS MULTI-NÍVEL: um estudo sobre a padronização do AVAC-R em uma Instituição de Ensino. **Revista Ciências Exatas**, [S. l.], v. 32, n. 2, 2026. DOI: 10.69609/1516-2893.2026.v32.n2.a4027. Disponível em: <https://periodicos.unitau.br/exatas/article/view/4027>. Acesso em: 10 jun. 2026.
- DOSSAT, R. J. **Princípios de refrigeração**. 4. ed. São Paulo: Hemus, 2004.
- ERC. (2022). Eletrofrio Refrigeração Comercial. **Estudo de caso em campo: Avaliação comparativa de consumo energé-**

tico entre R744 e R404A. Curitiba: Eletrofrio, 2022.

(EPE). (2023). Empresa De Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2023**: ano base 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 10 jun. 2026.

EVANGELISTA, José. **Tecnologia de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRANRYD, Eric et al. **Refrigerating Engineering**. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2011.

IBAMA. (2023). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Ibama informa sobre Implementação da Emenda de Kigali para Controle dos HFCs no Brasil**. Brasília, DF: IBAMA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama>. Acesso em: 9 jun. 2026.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

PROTOCOLO DE MONTREAL. **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs**. Brasília, 2023. Disponível em: <http://www.protocolodemontreal.org.br>. Acesso em: 9 jun. 2026.

STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e ar-condicionado**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

TASSOU, Savvas A. et al. Energy demand and reduction opportunities in the UK food chain. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 147-156, 2011.

VENTURINI, Osvaldo José; PIRANI, Marcelo José. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial: Manual Prático**. Itajubá: UNIFEI, 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/EErefrigeracaocomercialeindustrialManualPraticoProcel.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2026.

