

THIAGO TOLEDO VIANA RODRIGUES

***BENCHMARK ENERGÉTICO PARA SUPERMERCADOS DE MÉDIO PORTE
NATURALMENTE VENTILADOS***

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientadora: Joyce Correna Carlo

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R696b
2023

Rodrigues, Thiago Toledo Viana, 1990-
Benchmark energético para supermercados de médio porte
naturalmente ventilados / Thiago Toledo Viana Rodrigues. –
Viçosa, MG, 2023.

1 tese eletrônica (149 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Joyce Correna Carlo.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2023.

Referências bibliográficas: f. 131-138.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.247>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Energia elétrica - Consumo. 2. Benchmarking
(Administração). 3. Supermercados. I. Carlo, Joyce Correna,
1973-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDD 22. ed. 720.472

THIAGO TOLEDO VIANA RODRIGUES

**BENCHMARK ENERGÉTICO PARA SUPERMERCADOS DE MÉDIO PORTE
NATURALMENTE VENTILADOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 17 de março de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 THIAGO TOLEDO VIANA RODRIGUES
Data: 05/05/2023 19:13:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thiago Toledo Viana Rodrigues
Autor

Documento assinado digitalmente
 JOYCE CORRENA CARLO
Data: 06/05/2023 14:21:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Joyce Correna Carlo
Orientadora

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo apoio ao longo dos anos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao Latecae, ao PPG.au/UFV, ao DAU/UFV, aos professores e aos funcionários, por todas oportunidades e ensinamentos que me foram concedidos.

Aos familiares e amigos, pela paciência e ouvidos, que ajudaram a aliviar a pressão desses últimos anos.

À minha orientadora Joyce, por ser presente e contribuir continuamente para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Supermercado Escola e ao Supermercado Viçosense, assim como à FUNARBE, que permitiram o acesso as suas instalações e documentações de projeto para a realização dos estudos de caso.

Ao departamento de engenharia elétrica, representado pelo professor Mauro Prates, por ceder os equipamentos necessários para medições de monitoramento nos estudos de caso. Ao Heitor Guimarães, funcionário da diretoria de projetos e obras da UFV, que auxiliou no monitoramento e instalação dos equipamentos. E ao Gabriel Lemos, que ajudou no levantamento dos sistemas de iluminação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos, por meio dos projetos FAPEMIG/TCT 10.254/2014 FORTIS e ao Convênio para PD&I de Concessão de Cota de Bolsas nº 5.12/2022.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Esse trabalho foi financiado pela Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig-D) e pelo Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico - P&D regulado pela ANEEL, no âmbito do projeto "D0638 - Análise da Viabilidade da Energia Fotovoltaica no Brasil em Face do Marco Regulatório da Geração Distribuída no Setor Elétrico Brasileiro - Aneel RN 482/12".

RESUMO

RODRIGUES, Thiago Toledo Viana, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2023. **Benchmark energético para supermercados de médio porte naturalmente ventilados**. Orientadora: Joyce Correna Carlo.

As pesquisas em eficiência energética, geralmente, concentram-se em abordar edifícios residenciais e de escritórios, deixando para segundo plano outros tipos de edificações, como os supermercados. O desenvolvimento de *benchmarks* energéticos para a tipologia pode ajudar a suprir esta lacuna. Geralmente, são utilizadas duas abordagens para a elaboração de *benchmarks*: a *top-down* ou a *bottom-up*. Nenhuma está isenta de críticas e a hipótese é que a sua combinação torne a metodologia mais robusta. O objetivo deste trabalho consistiu em comparar diferentes abordagens na elaboração de um *benchmark* energético para a tipologia de supermercados de médio porte ventilados naturalmente e localizados na região Sudeste do Brasil. O método adotado envolveu dois estudos de caso, a criação de um modelo representativo, a criação de um banco de dados paramétricos de consumo de energia e a comparação entre as duas abordagens. O sistema de refrigeração representou a maior parcela dos usos finais de energia nos estudos de caso, cerca de 74% e 82% nos supermercados avaliados. As simulações paramétricas geraram um banco de dados com 1536 modelos, cuja análise de sensibilidade identificou os parâmetros mais influentes no consumo na abordagem *bottom-up* e uma análise de percentil foi executada na abordagem *top-down*. A *bottom-up* mostrou que as variáveis construtivas e o clima tiveram pequena influência sobre o consumo, que pode ser explicada pela configuração especial da tipologia, a regressão linear múltipla obteve um coeficiente de determinação de 0,97, *CVRMSE* de 2,47% e *NMBE* de 1,14% na validação entre o equacionado e o simulado. Os limites para o EUI típico (*benchmark*) foram próximos para as duas abordagens, levando-se à rejeição da hipótese. Assim, confirmou-se que a abordagem *bottom-up* para supermercados é mais onerosa, mas permite estudos e inferências sobre o desempenho ambiental e singularidades da tipologia focados nos sistemas da edificação, enquanto a *top-down* não gera informações detalhadas. A escolha sobre qual abordagem utilizar deve levar em conta os objetivos do *benchmark*.

Palavras-chave: Eficiência Energética. *Benchmarking*. Supermercado.

ABSTRACT

RODRIGUES, Thiago Toledo Viana, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2023. **Energy benchmark for naturally ventilated medium-sized supermarkets.** Adviser: Joyce Correna Carlo.

Energy efficiency research is usually focused on residential and office buildings, overlooking other typologies such as supermarkets. This research gap can be filled with the development of energy benchmarks for the supermarket typology. Two approaches to create benchmarks are usually used: top-down and bottom-up. None of them are free of criticism and the hypothesis is that their combination can lead to a more robust methodology. The aim of this research was to compare distinct approaches to create an energy benchmark for the typology of medium sized and naturally ventilated supermarkets located in the Southeast region of Brazil. The methodology comprised two case studies, the development of a representative model, the development of a parametric database containing energy consumption data and the comparison between the two approaches. The refrigeration system represented the biggest part of the end-use, around 74% and 82% in the analyzed supermarkets. The parametric simulations generated a database with 1536 models from which the most influential parameters in the bottom-up approach were identified through a sensitivity analysis, and a percentile analysis were performed for the top-down approach. The bottom-up approach showed that the construction variables and the weather have a small influence on the energy consumption, that can be explained by the special setting of the typology. The multiple linear regression obtained a coefficient of determination 0.97, CVRMSE 2.47%, and NMBE 1.14% in the validation between measured and simulated. The limits for the typical EUI (benchmark) were similar for both approaches, leading to the hypothesis rejection. Thus, it was confirmed that the bottom-up approach is more costly but allows studies and conclusions about the building performance and the singularities of the typology focused on the building systems, while the top-down approach do not create detailed information. The choice of the approach should consider the goals of the benchmark.

Keywords: Energy Efficiency. Benchmarking. Supermarket.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Resumo gráfico do método	41
Figura 2 - Disposição dos módulos FV na cobertura do Supermercado Escola	47
Figura 3 - Imagem aérea do Supermercado Escola	48
Figura 4 - Perspectiva noroeste Supermercado Escola	49
Figura 5 - Plantas baixas e setorização do Supermercado Escola: a) Térreo e b) Pavimento 1	50
Figura 6 - Perspectiva nordeste do modelo do Supermercado Escola.....	51
Figura 7 - Zonas térmicas do Pavimento Térreo do Supermercado Escola: a) Térreo e b) forros	52
Figura 8 - Zonas térmicas do Pavimento 1 e do ático do Supermercado escola: a) Pavimento 1 e b) ático.....	52
Figura 9 - Imagem aérea do Supermercado Viçosense	55
Figura 10 - Imagens da fachada sul do Supermercado Viçosense: a) acesso de clientes; b) prédio anexo de apoio (prédio azul) onde estão localizados os depósitos, a área de apoio para funcionários, as salas de compras, a sala da gerência e o CPD	56
Figura 11 - Plantas baixas e setorização: a) Térreo; b) Pavimento 1; c) terraço.....	57
Figura 12 - Perspectiva noroeste do modelo com o entorno imediato	59
Figura 13 - Zonas térmicas do Supermercado Viçosense: a) Térreo e b) Pavimento 1	60
Figura 14 – Distribuição dos supermercados da amostra na região Sudeste	64
Figura 15 – Exemplo dos registros de imagem para um dos supermercados levantados: vista aérea com demarcação da projeção da cobertura (à esquerda); fachada frontal (ao centro); e unidades de condensação (à direita).....	65
Figura 16 – Distribuição geográfica das cidades selecionadas	68
Figura 17 - Graus-dia de resfriamento e graus-dia de aquecimento das 8 cidades adotadas para as simulações paramétricas.	72
Figura 18 - Modelo representativo.....	106
Figura 19 - Matriz de correlação das variáveis mais influentes	114
Figura 20 - Análise de Componentes Principais (PCA): a) agrupamento por área; b) contribuição (Ctr) por variável	115

Figura 21 - Escala de consumo para a abordagem <i>bottom-up</i> (kWh/m ² /ano).....	117
Figura 22 - Escala de consumo para a abordagem <i>top-down</i> (kWh/m ² /ano)	117
Figura 23 – Comparação entre os diferentes EUIs	119
Figura 24 – Classificação do Supermercado Viçosense segundo o <i>benchmark</i> do CBCS	123
Figura 25 - Classificação do Supermercado Escola segundo o <i>benchmark</i> do CBCS	124

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo de energia elétrica anual do Supermercado Escola (set. 2018 – ago. 2019)	50
Gráfico 2 - Consumo de energia elétrica anual do Supermercado Viçosense (maio 2020 – abril 2021)	58
Gráfico 3 - Localização dos supermercados da amostra por estado.....	64
Gráfico 4 - Comparação do consumo mensal de energia simulado (CB – sem calibração) com o consumo registrado em faturas de energia do Supermercado Escola	75
Gráfico 5 - Consumo de energia por usos finais do modelo simulado do Supermercado Escola (CB sem calibração)	76
Gráfico 6 - Consumo de energia medido do Supermercado Escola.....	77
Gráfico 7 - Comparação entre o consumo de energia diário medido com o consumo simulado do Caso Base (CB) do Supermercado Escola	78
Gráfico 8 - Comparação entre o consumo de energia diário medido com o consumo simulado na Versão 1 do modelo (V1) do Supermercado Escola	79
Gráfico 9 - Comparação entre o consumo de energia diário medido com o consumo simulado na Versão 2 do modelo (V2) do Supermercado Escola	80
Gráfico 10 - Comparação entre a variação mensal do consumo de energia das diferentes versões do modelo simulado e das faturas de energia do Supermercado Escola	81
Gráfico 11 - Comparação entre o consumo de energia diário medido com o consumo simulado na Versão 3 do modelo (V3) do Supermercado Escola	82
Gráfico 12 - Comparação entre os usos finais de energia das diferentes versões do modelo simulado do Supermercado Escola: a) CB; b) V1; c) V2; d) V3.....	83
Gráfico 13 - Intensidade de consumo (área total) por usos finais do Supermercado Escola	84
Gráfico 14 - Comparação do consumo mensal de energia simulado (CB) com o consumo registrado em faturas de energia do Supermercado Viçosense.	87
Gráfico 15- Consumo de energia por usos finais do modelo simulado do Supermercado Viçosense (CB).	88
Gráfico 16 - Comparação entre a variação mensal do consumo de energia das diferentes versões do modelo simulado e as faturas de energia do Supermercado Viçosense.....	90

Gráfico 17 - Comparação entre a curva de carga do Supermercado Escola e do Supermercado Viçosense	91
Gráfico 18 - Comparação entre os usos finais de energia dos supermercados: a) Supermercado Viçosense; b) Supermercado Escola	92
Gráfico 19- Número de <i>checkouts</i> por loja	94
Gráfico 20 - Área de vendas por loja	95
Gráfico 21 - Número de funcionários por loja	95
Gráfico 22 - Área de projeção da cobertura por loja	96
Gráfico 23 - Altura do pé-direito por loja	96
Gráfico 24 - PAF para iluminação natural na fachada frontal	97
Gráfico 25 - PAF para ventilação natural na fachada frontal	97
Gráfico 26 - PAF para iluminação e ventilação nas demais fachadas	98
Gráfico 27 - Tipo de cobertura	99
Gráfico 28 - Absortância da cobertura	100
Gráfico 29 - Sistema construtivo	100
Gráfico 30 - Absortância da fachada frontal	101
Gráfico 31 - Absortância das demais fachadas	101
Gráfico 32 - Tipo de estacionamento	102
Gráfico 33 - Número de fachadas sombreadas	103
Gráfico 34 - Tamanho das unidades de condensação	104
Gráfico 35 - Presença de sistema solar na cobertura	104
Gráfico 36 - Distribuição da intensidade de consumo (EUI) dos casos simulados ..	106
Gráfico 37 - Relação das variáveis climáticas com a intensidade de consumo (EUI): a) zona bioclimática; b) graus-dia de resfriamento; c) graus-dia de aquecimento	107
Gráfico 38 - Relação entre os graus-dia de resfriamento e a intensidade de consumo do sistema de refrigeração (EUI_refrigeração)	108
Gráfico 39 - Relação da área e do sistema de refrigeração com a intensidade de consumo (EUI): a) área total; b) carga de refrigeração; c) modelo de refrigerador ..	110
Gráfico 40 - Relação do sistema de iluminação e dos equipamentos com a intensidade de consumo (EUI): a) sistema de iluminação; b) equipamentos	111

Gráfico 41 - Relação das variáveis construtivas com a intensidade de consumo (EUI):
a) tipo de parede; b) tipo de cobertura; c) sombreamento 112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Informações levantadas	65
Quadro 2 – Parâmetros selecionados para simulação	66
Quadro 3 – Variações dos parâmetros construtivos.....	67
Quadro 4 – Parâmetros construtivos selecionados para modelo representativo.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de porte de empresas pelo número de funcionários segundo o IBGE.....	26
Tabela 2 – Tipificação dos estabelecimentos de autosserviço.....	27
Tabela 3 – Valores de intensidade de consumo de energia para supermercados	29
Tabela 4 – Média das características dos supermercados	42
Tabela 5 - Limites para o <i>NMBE</i> e para o <i>CVRMSE</i> estabelecidos pela ASHRAE Guidelines 14	46
Tabela 6 - Dados climáticos da cidade de Viçosa, MG.	47
Tabela 7 - Especificação dos materiais construtivos utilizados no Supermercado Escola	53
Tabela 8 - Atividade metabólica (Watts/pessoa), com base na ASHRAE 55 (2013).54	
Tabela 9 - Especificação dos materiais construtivos utilizados no Supermercado Viçosense.....	61
Tabela 10 – Localização das lojas respondentes.....	63
Tabela 11 – Características das cidades selecionadas.....	68
Tabela 12 – Densidade de carga interna instalada de equipamentos.....	69
Tabela 13 – Densidade de potência de iluminação (DPIL)	70
Tabela 14 - Diferenças entre os consumos referenciais e os consumos do modelo calibrado (V3) do Supermercado Escola.....	82
Tabela 15 - Geração fotovoltaica (c-Si / EOD) na cobertura do Supermercado Escola	84
Tabela 16 - Diferenças entre os consumos referenciais e os consumos do modelo calibrado (V3) do supermercado Viçosense.....	90
Tabela 17 - Modelos dos testes criados para a amostra de treino	113
Tabela 18 - Variáveis utilizadas na equação de regressão linear múltipla e os diferentes EUIs estipulados por métodos distintos para cada estudo de caso.....	118
Tabela 19 - Níveis de eficiência atingidos pelos diferentes valores de EUI encontrado para os estudos de caso (abordagens <i>bottom-up</i> e <i>top-down</i>)	120
Tabela 22 - Especificação dos equipamentos por Zona e suas respectivas potências em uso no Supermercado Escola	139

Tabela 23 - Especificação dos refrigeradores do Supermercado Escola	141
Tabela 24 - Especificação das câmaras frias do Supermercado Escola	142
Tabela 25 - Especificação das luminárias e respectivas potências de iluminação em uso por Zona no Supermercado Escola	143
Tabela 26 - Uso e ocupação (horas/dia) do Supermercado Escola	144
Tabela 27 - Especificação dos equipamentos por Zona e suas respectivas potências em uso no Supermercado Viçosense.....	145
Tabela 28 - Especificação dos refrigeradores do Supermercado Viçosense	147
Tabela 29 - Especificação das câmaras frias do Supermercado Viçosense	147
Tabela 30 - Especificação das luminárias e respectivas potências de iluminação em uso por Zona no Supermercado Viçosense	148
Tabela 31 - Uso e ocupação (horas/dia) do Supermercado Viçosene	148

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Objetivo	23
1.1.1. Objetivo geral	23
1.1.2. Objetivos específicos	24
1.2. Estrutura da Tese	24
2. REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1. Classificação de supermercados quanto ao porte	26
2.2. Indicadores energéticos para supermercados	28
2.3. Usos finais de energia em supermercados	31
2.4. Métodos de desenvolvimento de <i>benchmarks</i>	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1. Estudos de caso	41
3.1.1. Supermercado Escola	47
3.1.2. Supermercado Viçosense	54
3.2. Modelo representativo	62
3.3. Simulações paramétricas	66
3.3.1. Banco de dados de consumo de energia	70
3.4. Abordagem <i>bottom-up</i> (regressão linear múltipla)	70
3.5. Abordagem <i>top-down</i> (análise de percentil)	73
3.6. Comparação entre as abordagens	74
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.1. Estudos de caso	75
4.1.1. Supermercado Escola	75
4.1.2. Supermercado Viçosense	86
4.2. Modelo representativo	94
4.3. Simulações paramétricas	106
4.4. Abordagem <i>bottom-up</i> (regressão linear múltipla)	107
4.4.1. Modelos lineares (histogramas)	107
4.4.2. ANOVA	112
4.4.3. Matriz de correlação	113
4.4.4. Análise de componentes principais (PCA)	114
4.4.5. Regressão linear múltipla	116
4.4.6. Validação	116

4.4.7. <i>Benchmark</i> (escala de consumo – abordagem <i>bottom-up</i>)	116
4.5. Abordagem <i>top-down</i> (análise de percentil).....	117
4.6. Comparação entre as abordagens.....	117
5. CONCLUSÕES	126
5.1. Limitações da tese e indicações para trabalhos futuros.....	129
REFERÊNCIAS	131
APÊNDICE A - Características de uso e ocupação do Supermercado Escola	139
APÊNDICE B - Características de uso e ocupação do Supermercado Viçosense..	145
APÊNDICE C – Eliminação da variável refrigeração.....	149

1. INTRODUÇÃO

As edificações brasileiras são responsáveis por cerca de 49,5% do consumo de energia elétrica no país (BEN, 2022). Com o aumento desse consumo ao longo dos últimos anos e a eventual escassez de chuvas, a demanda energética tem sido complementada por uso de centrais térmicas, que foram responsáveis por 31,1% da geração de energia elétrica em 2021, enquanto em 2020 foram responsáveis por 26,2% (BEN, 2022). Esse aumento de 24% em um ano mostra o drástico aumento do custo de produção da energia elétrica e das emissões de CO₂ na geração de energia.

As pesquisas em eficiência energética das décadas de 2000 e 2010 concentraram-se em edifícios residenciais e de escritórios. Algumas tipologias específicas, como os supermercados, por exemplo, ainda são pouco estudadas na literatura, apesar do grande número de unidades existentes no país e do elevado consumo energético que apresentam (BARBOSA; LABAKI, 2013).

Segundo a Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS, 2020) em 2019 o país tinha cerca de 89,8 mil lojas de varejo em operação, dessas, 38,4 mil unidades apresentam dois ou mais *checkouts* (caixas registradoras) abrangendo supermercados e hipermercados. O restante (51,4 mil unidades), que têm apenas um *checkout*, compreende o grupo formado pelas mercearias e lojas de conveniência. Grande parte desses edifícios localizam-se na região Sudeste, cerca de 50% das lojas respondentes do relatório da ABRAS (2021) pertenciam a esta região. Além disso, a mesma ocupa posição de destaque frente ao território nacional concentrando 42% da população do país e 52% do PIB (IBGE, 2021), é possível citar ainda a diversidade climática, pois a região Sudeste contém em sua extensão territorial cidades representantes das 8 zonas bioclimáticas existente no Brasil segundo a ANBT (2005).

Os supermercados estão entre as tipologias de edifícios com maior densidade de consumo de energia, seu valor chega a ser mais do que o dobro da energia consumida por um hotel ou um escritório do mesmo tamanho (IYER et al., 2015). Na Europa, eles são responsáveis por 9% do consumo de energia em edifícios (BUILDING PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE, 2011), com valor entre 500 e 1.000 kWh/m²/ano, o que corresponde a três vezes o consumo dos edifícios

residenciais e cinco vezes o consumo dos edifícios de escritórios (MARTOS; STYLES; SCHOENBERGER, 2013).

Edificações de supermercados consomem cerca de 4% da energia elétrica nos países industrializados (EURELECTRIC, 2011). Se os supermercados pudessem economizar 50% de seu uso total de energia, por meio de soluções mais eficientes, o resultado seria uma economia de 64 TWh no consumo da União Europeia (LINDBERG; AXELL; ROLFSMAN, 2011).

Diversos fatores contribuem para o aumento do consumo de energia em supermercados, tais como: o uso e o dimensionamento inadequado dos equipamentos, edificação antiga, inexistência de controle automático, manutenção inadequada, e funcionários despreparados para o gerenciamento de energia (PANESI, 2009).

Entretanto, ainda faltam estudos para estabelecer o consumo típico nessa tipologia de edificação comercial e propor medidas que ampliem sua eficiência energética, principalmente para climas quentes. Nestes climas, o número de trabalhos se restringe ainda mais, pois a maior parte dos estudos encontrados na literatura são para climas predominantemente frios (BRAUN; ALTAN; BECK, 2014; CZAJKOWSKI et al., 2004; KOLOKOTRONI et al., 2019).

O setor supermercadista brasileiro chegou a buscar soluções na área de eficiência energética após um período com altas despesas com energia elétrica, uma vez que o mesmo não absorveu os reajustes tarifários ocorridos no ano de 2015 (REIS, 2016). O setor tem buscado e implementado soluções de controle no consumo de energia, mesmo que somente com o olhar voltado à redução de custos, e sem foco nos benefícios ambientais. A capacidade de analisar e prever com precisão o desempenho térmico e energético das lojas de varejo de alimentos está se tornando cada vez mais importante para as empresas, pois fornece informações para a tomada de decisão em relação às estratégias sustentáveis e energeticamente eficientes (MYLONA; KOLOKOTRONI; TASSOU, 2018).

No Brasil, normas como a NBR 15.575 (ABNT, 2013) e o programa PBE Edifica por meio da ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) definem níveis de desempenho para edificações, entretanto, ainda existe a necessidade de melhor entender o consumo energético de edificações em operação, a fim de permitir

uma gestão de consumo e uma operação mais eficiente. Nesse cenário, surge a necessidade do desenvolvimento de *benchmarks*. O *benchmarking* é o processo contínuo de avaliação de produtos, processos ou serviços em relação aos mais fortes competidores ou às práticas habituais de mercado (CBCS, 2014). *Benchmark* é uma linha de base ou ponto de referência, que pode ser utilizado para avaliar, por comparação, elementos de uma mesma categoria. Isso possibilita analisar indicadores de desempenho e verificar se estão superiores ou inferiores à média do mercado (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009).

O *benchmarking* energético de edificações é composto por indicadores que definem um nível típico de intensidade de consumo de energia por tipologia de edificação, com base em dados medidos de consumo (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009). Dessa forma, é possível comparar, avaliar e identificar de maneira rápida o potencial para melhoria, em caso de reforma ou construção. Também permitem a valorização de imóveis que se comprovem mais eficientes. Assim, o termo *benchmark* é utilizado neste trabalho para descrever o desempenho energético que representa a média do mercado em uma tipologia construtiva específica (CBCS, 2014).

O Brasil não tem dados suficientes sobre o uso de energia em edifícios, tanto por exigências de confidencialidade provenientes de legislações, quanto por falta de interesse dos proprietários em compartilhar dados (CBCS, 2014), o que prejudica os esforços para desenvolver referências no país. Tal fato gera uma lacuna na literatura e mostra a necessidade de criação de modelos de *benchmarking* desenvolvidos a partir de indicadores de eficiência energética. Estes podem se tornar ferramentas valiosas para o setor privado e para o poder público, na gestão do consumo de energia e na formulação de políticas para o uso eficiente de energia no setor da construção civil (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009).

O CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável) vem atuando na criação de *benchmarks* energéticos para edifícios desde 2013, quando foram desenvolvidos *benchmarks* para edifícios corporativos e prédios públicos. Nos anos de 2018 a 2021 foi estabelecido um convênio entre o CBCS e a ELETROBRAS, no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, onde foi proposta a criação de *benchmarks* para 15 diferentes tipologias, dentre elas a tipologia de supermercados. Entretanto, como este foi o primeiro movimento no

sentido de estudos em escala nacional referentes ao consumo energético de edifícios em uso no país, a criação dos benchmarks ainda é muito generalizada.

A descrição do material técnico sobre o *benchmark* para supermercados (CBCS; PROCEL; ELETROBRAS, 2021) informa que o recorte é para supermercados ou mercearias em edifício independente ou ocupando parte de uma edificação maior (uso misto), de apenas um pavimento. No entanto, é importante considerar e separar por porte as edificações avaliadas na hora de criar um *benchmark* para que as comparações não sejam muito abrangentes. Outro ponto em questão é que o arquétipo utilizado nas simulações é um modelo de referência disponível no *EnergyPlus*, modelo este para Chicago (EUA), ou seja, este pode não ser representativo para o setor no Brasil, sendo necessário criar um arquétipo para a realidade brasileira. Algumas características do arquétipo utilizado, como por exemplo a área de 4181 m², pode ser mais representativa para supermercados de grande porte e não o ser para mercearias e supermercados de médio e pequeno porte. Outras questões, como a utilização de apenas uma auditoria energética e o uso da ASHRAE, que é uma referência internacional, para criar o perfil de ocupação horária ao longo do dia também pode não ser recorrente no nosso país. Acredita-se que estes pontos devam ser considerados em trabalhos subsequentes ao realizado pelo CBCS, como forma de especificar e delinear o alcance do *benchmark* para supermercados.

Além disso, o *benchmark* para supermercados do CBCS abarca apenas edifícios condicionados artificialmente, e acredita-se que esta não seja a realidade de grande parte dos edifícios da tipologia no Brasil, impossibilitando aqueles que fazem uso de ventilação natural de utilizar esta referência para comparação. Assim, na falta de informações que orientem a adoção de intervenções de eficiência energética em supermercados ventilados naturalmente no Brasil, pretende-se desenvolver um *benchmark* que abarque este recorte.

Mesmo com este recorte que exclui edificações 100% condicionadas, é preciso entender como os supermercados disponíveis na literatura usam a energia. A maior parcela do consumo de energia se dá pelos sistemas de refrigeração (grande diferencial da tipologia) e de iluminação (SUZUKI et al., 2011), diferentemente de outras edificações como prédios de escritórios, onde o consumo de sistemas de condicionamento artificial de ar representa uma parcela significativa e é claramente

afetada pelas diferenças climáticas. Sabe-se que o sistema de iluminação dos supermercados não é afetado pelo ambiente exterior, visto que estes sistemas não costumam usar recursos de dimerização cujo consumo pode ser função das condições que afetam a luz natural, como a nebulosidade. Assim, o consumo por iluminação tende a ser constante ao longo do dia pois ele só é modificado por acionamento manual. Ao contrário da iluminação, não é conhecido se as diferenças meteorológicas diárias ou sazonais afetam de maneira significativa o consumo do sistema de refrigeração de alimentos em supermercados. Assim, mesmo que as condições do tempo, como temperatura e radiação, influenciem o sistema de refrigeração de alimentos em supermercados, estas podem não ter efeito equivalente à influência no condicionamento de ar em edifícios de escritórios, por exemplo. Afinal, a refrigeração de alimentos costuma estar contida em invólucros próprios, sejam eles câmaras frias ou equipamentos, enquanto os ambientes com condicionador de ar costumam estar separados do exterior somente pela envoltória.

Outro fator que determina o consumo é a ocupação. Os supermercados lidam com um público transitório ao longo de seu funcionamento e, geralmente, funcionam durante todo o horário comercial, entre 08:00h e 20:00h, alguns com horários estendidos, além de funcionar também durante os finais de semana, podendo ter horário reduzido aos domingos e feriados. O sistema de refrigeração é o diferencial da tipologia, pois este permanece em funcionamento mesmo após o fim do expediente, para que sejam mantidas as condições de qualidade dos produtos refrigerados, sendo necessário inclusive geradores independentes para momentos de queda no fornecimento de energia pela concessionária. Por esta razão, o consumo de energia pelo sistema de refrigeração representa o maior percentual dos usos finais na tipologia de supermercados (SUZUKI et al., 2011), enquanto o de condicionamento de ar assim o é em edifícios de escritórios.

Além das especificidades da tipologia, encontrou-se na literatura duas linhas de processos para a elaboração de *benchmarks*: a abordagem *top-down* e a abordagem *bottom-up*. *Top-down* e *bottom-up* são estratégias de processamento de informação e ordenação do conhecimento. *Top-down* sugere uma orientação descendente do fluxo de informação ou do “macro” para o “micro” e o *bottom-up* uma orientação ascendente ou do “micro” para o “macro” (Ó BROIN et al., 2013). O “macro”

neste contexto significa o cenário de consumo típico de energia para a tipologia, a partir de então, começa-se a olhar para o “micro” que seriam as peculiaridades de cada edificação pertencente a essa tipologia. Dessa forma, para criar um *benchmark* energético, a abordagem *top-down* irá utilizar da análise estatística de dados de consumo por meio da amostragem de edificações da tipologia de interesse; e a abordagem *bottom-up* irá realizar análises buscando identificar assimetrias e padrões de demanda entre os edifícios amostrados, geralmente por simulação.

A abordagem *top-down* é utilizada na maioria dos estudos por ser mais rápida e mais indicada para caracterizar a intensidade de consumo geral do setor (LEE; PRIYADARSINI, 2008; BOHDANOWICZ; MART, 2007; CHUNG; HUI, 2009; BUCK; YOUNG, 2007). Entretanto, nesta abordagem, a simples normalização de consumo pela área pode negligenciar a influência de diversos outros parâmetros que não sejam proporcionais à variação das dimensões da edificação. Por exemplo, o consumo por iluminação de um supermercado pode ser proporcional à área, mas o peso dessa influência pode ser variável se a eficiência do sistema for alterada, assim como outros usos finais, seja o sistema de refrigeração ou as condições climáticas que não se sabe se são proporcionais às mudanças nas dimensões. Acredita-se que a abordagem *bottom-up* seja mais indicada para identificar tais influências.

Na abordagem *bottom-up* é feita uma análise detalhada e realista de um caso específico (modelo representativo). Este modelo está mais sujeito a erros e conflitos, e às vezes não é satisfatoriamente representativo para todos os casos. Ele busca identificar as unidades fundamentais em primeiro lugar, e, em seguida, inferir estruturas de ordem superior a partir dele.

Na aplicabilidade do *benchmark*, os gestores dos supermercados poderão identificar em que faixa de intensidade de consumo seus estabelecimentos se encontram. Para os casos que se encontrem entre as piores práticas, estes poderão ter acesso às informações que serão geradas pela abordagem *bottom-up*, e identificar possíveis parâmetros que possam ser melhorados para se tornarem mais eficientes.

A originalidade da pesquisa se refere à abordagem do processo de criação do *benchmark*. A maioria das pesquisas em diversas partes do mundo utiliza de uma abordagem *top-down* por meio da análise de dados estatísticos de consumo de energia para estabelecer os valores de consumo padrão para as mais variadas

tipologias: Lee e Priyadarsini (2008) para edifício de escritórios em Singapura; Bohdanowicz e Mart (2007) para hotéis na Europa; Chung e Hui (2009) para edifícios de escritórios em Hong Kong; Buck e Young (2007) para edifícios comerciais no Canadá. Apesar dessa abordagem ser considerada representativa para estabelecer padrões para tipologias de consumo, ela não leva em consideração as individualidades e peculiaridades dentro da amostra, o que só é conseguido em análises *bottom-up*, como as utilizadas pelo método de simulação: Hernandez et al. (2008) para edifícios escolares na Irlanda; ou Lee e Burnett (2008) para edifícios de escritórios em Hong Kong. Entretanto, o método de simulação apresenta limitações na extrapolação dos resultados em dados gerais para a tipologia, principalmente, pelo número necessário de modelos a serem simulados para tornar a amostra significativa (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009).

Assim, a contribuição científica da tese vai além da criação de um *benchmark* propriamente dito, ela se baseia na investigação metodológica que envolve os processos e os desdobramentos durante a criação do *benchmark*, pautada na comparação entre as abordagens *top-down* e *bottom-up*.

A pesquisa adota, portanto, a seguinte hipótese: a combinação das abordagens *top-down* e *bottom-up* em um método híbrido é mais robusta para o desenvolvimento de um *benchmark* para supermercados de médio porte do que optar por apenas uma das duas abordagens. Parte-se da premissa que ela integra aspectos de amostragem estatística e, ao mesmo tempo, identifica as singularidades dos parâmetros que influenciam no consumo final da tipologia no clima brasileiro, com a região Sudeste como foco.

1.1. Objetivo

1.1.1. Objetivo geral

Aplicar e comparar diferentes abordagens na elaboração de um *benchmark* energético para a tipologia de supermercados de médio porte ventilados naturalmente para a região Sudeste do Brasil.

1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar os principais usos finais de energia elétrica em supermercados de médio porte no Sudeste do Brasil e identificar as variáveis mais influentes neste consumo;
- Parametrizar o consumo de energia elétrica em supermercados no Sudeste do Brasil;
- Comparar as abordagens *top-down* e *bottom-up* para elaboração de *benchmarks* para o setor supermercadista;
- Criar um *benchmark* de energia elétrica para supermercados de médio porte ventilados naturalmente para a região Sudeste do Brasil.

1.2. Estrutura da Tese

A tese foi organizada em cinco capítulos: introdução; revisão de literatura; materiais e métodos; resultados e discussão; e conclusão. O primeiro capítulo apresenta a introdução geral do tema, os objetivos gerais e específicos, a justificativa, a relevância e o ineditismo da pesquisa. O segundo capítulo discute a fundamentação teórica, que irá basear as escolhas e decisões apresentadas no terceiro capítulo. Este contém o método e os procedimentos adotados ao longo da pesquisa, que se resumem em: dois estudos de caso; criação de um modelo representativo; criação de um banco de dados de consumo de energia; e criação de duas escalas de consumo (benchmarks) por diferentes abordagens. Nos estudos de caso foram realizadas as análises das faturas de energia e simulações computacionais, com levantamento *in loco* dos sistemas e equipamentos consumidores de energia, das características arquitetônicas e dos aspectos de uso interno, e foi feito um monitoramento do consumo de energia em um dos estudos de caso. O modelo representativo para a tipologia de supermercados de médio porte na região Sudeste do Brasil, foi feito por meio de um levantamento remoto das características arquitetônicas mais frequentes para uma amostra de 229 supermercados. Já a criação do banco de dados simulados de consumo de energia para supermercados de médio porte foi feita por meio de simulações paramétricas do modelo representativo. O desenvolvimento das escalas

de consumo de energia para a tipologia de supermercados de médio porte, foram feitas por meio da abordagem top-down (análise de percentil) e da abordagem bottom-up (regressão linear múltipla).

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussão, começando pela apresentação dos estudos de caso, com um supermercado localizado no limite superior da classificação de médio porte (91 funcionários) e outro localizado no limite inferior (50 funcionários), ambos com o objetivo de realizar a caracterização dos usos finais de energia elétrica para a tipologia, identificar os principais sistemas e o seu funcionamento. Eles também serviram de base para selecionar parâmetros para a análise de sensibilidade, e serviram de treinamento na parte de simulação computacional para a criação dos modelos paramétricos. Em seguida é discutida a criação de um modelo representativo de supermercado de médio porte para a região Sudeste do Brasil. Após a criação do modelo, foram realizadas simulações paramétricas variando características construtivas e de demandas de sistemas internos para três tamanhos de planta para supermercados de médio porte, com o objetivo de criar um banco de dados simulados de consumo de energia elétrica.

Ainda no capítulo quatro o banco de dados simulados é utilizado para a criação dos *benchmarks* propriamente ditos, realizando uma análise de percentil (abordagem *top-down*) e uma análise de sensibilidade para a escolha das variáveis mais influentes no consumo de energia, com a utilização das mesmas para desenvolver uma equação de *benchmark* baseada em regressão linear múltipla (abordagem *bottom-up*). Por fim, é realizada a comparação entre as duas abordagens.

O quinto capítulo é uma conclusão geral da tese, retomando as discussões sobre os problemas e perguntas de pesquisa levantados, discutidos com base nos resultados alcançados e na revisão de literatura. Além de apontar as limitações da pesquisa e recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Classificação de supermercados quanto ao porte

No Brasil, não existe uma classificação específica quanto ao porte para a tipologia de supermercados, mas existem algumas classificações para empresas que podem ser utilizadas, que têm dois critérios principais. O primeiro critério é baseado na receita bruta anual, e está mais relacionado às questões econômicas servindo de base para a concessão de linhas de crédito e de financiamentos, o mais utilizado é definido pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Social) e é adotado por diversas outras instituições financeiras. O segundo critério leva em consideração a quantidade de funcionários formais do estabelecimento.

Outra referência relevante é a do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) que divide a classificação de porte de empresas segundo o número de funcionários em duas categorias: indústria, e comércio/serviços (Tabela 1). Esta classificação é utilizada por entidades como o SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas).

Tabela 1 - Classificação de porte de empresas pelo número de funcionários segundo o IBGE

Classificação	Nº de funcionários	
	Indústria	Comércio e Serviços
Micro	Até 19	Até 09
Pequenas	De 20 a 99	De 10 a 49
Médias	De 100 a 499	De 50 a 99
Grandes	Acima de 500	Acima de 100

Fonte: SEBRAE (2013).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) elaborou um relatório sobre a posse de equipamentos e hábitos de uso para supermercados e hipermercados com base em dados levantados em 2005 (PROCEL, 2008). Nesse relatório também é utilizado como critério o número de funcionários para classificar o porte de supermercados. Entretanto, é informado neste relatório apenas

que uma classificação convencional de empresas foi utilizada, sem especificação adicional sobre tal classificação. Foi encontrada uma média de 104 funcionários entre os supermercados pesquisados, e 537 funcionários para os hipermercados. O relatório indica que supermercados de pequeno porte têm até 99 funcionários, de médio porte têm entre 100 e 499 e grande porte mais de 500. Esses intervalos coincidem com a classificação de porte para a indústria segundo o IBGE, mas acredita-se que o melhor seja utilizar a classificação para empresas de comércio e serviços, por ser a categoria onde encontra-se o setor supermercadista.

A ABRAS (2019) faz a tipificação dos estabelecimentos de autosserviço, classificando-os entre loja de conveniência, loja de vizinhança, supermercado, *hiper/supercenter* e atacado de autosserviço. Entretanto, são apresentados apenas dados médios por estabelecimento (área de vendas, número de *checkouts* e número de itens vendidos) para cada categoria, com base no levantamento de 451 empresas respondentes (Tabela 2). Não são estabelecidos limites inferiores e superiores para cada categoria, o que dificulta utilizar essa referência para classificar outros estabelecimentos (Tabela 2). Dentro da categoria de supermercados também não existem subdivisões quanto ao porte.

Tabela 2 – Tipificação dos estabelecimentos de autosserviço

Categorias	Nº de lojas no ranking	Área média de vendas/loja (m²)	Nº médio de checkouts/loja	Nº médio de itens vendidos	Nº de lojas respondentes
Conveniência	2.734	81	1	3.365	58
Loja de vizinhança	440	426	3	8.303	124
Supermercado	2.962	1.556	10	16.052	379
Hiper/supercenter	91	3.968	23	27.403	90
Atacado de autosserviço	421	3.459	12	7.416	97

Fonte: ABRAS (2019).

Este recorte no porte de supermercados é necessário devido às indicações para delimitar claramente quais edificações se encaixam no escopo para a criação do *benchmark*, assim como para as empresas que irão utilizá-lo como referência. *Benchmarks* abrangentes necessitam de amostras grandes para serem relevantes e acabam generalizando a tipologia avaliada. No Reino Unido para o setor

supermercadista são indicadas diferenças significativas na intensidade de consumo de acordo com o porte (KOLOKOTRONI et al., 2019).

Assim, para esta pesquisa, foi dado foco para os supermercados de médio porte segundo a classificação do IBGE. Acredita-se que nessa categoria são encontradas edificações com características padronizadas, tanto nas propriedades arquitetônicas (materiais e tipologia), como no funcionamento (horários de funcionamento, ocupação, serviços oferecidos, sistemas utilizados, etc.). Tais aspectos podem apresentar incertezas em supermercados de pequeno porte, geralmente caracterizados como lojas de conveniência/vizinhança, ou pequenos mercados de bairro, que se localizam nos primeiros pavimentos de edifícios residenciais (uso misto), ou pequenas lojas improvisadas. Esta seria uma abordagem que pouco se conhece, difícil de ser caracterizada e de ser utilizada como referência para outros estabelecimentos.

Além disso, estes pequenos comércios podem não representar um consumo de impacto para a implantação de medidas de eficiência energética, apesar de serem em grande número. Acredita-se também que, em supermercados de médio porte, o sistema de gestão de energia seja profissionalizado e com mão-de-obra qualificada ou, pelo menos, deveria ser. É preciso entender primeiro aquele que tende a adotar procedimentos padronizados antes de seguir para os segmentos menores mais amadores.

2.2. Indicadores energéticos para supermercados

Internacionalmente, existe uma incerteza quanto à intensidade média de consumo de energia em supermercados, que é evidenciada pelas diferentes maneiras usadas para calculá-la (FOSTER; EVANS; MAIDMENT, 2018). Alguns trabalhos são baseados no consumo total de energia, enquanto outros consideram apenas o consumo elétrico, ignorando o consumo com gás (Tabela 3). Alguns autores relacionam o consumo de energia com a área total, e outros com a área de vendas. Além disso, diferenças no porte dos supermercados e nos climas dificultam a comparação.

Na Tabela 3, que apresenta a intensidade de consumo de energia para este segmento obtida na literatura para diversos países, um único supermercado no Brasil foi usado para comparação devido à pequena disponibilidade de trabalhos sobre a tipologia no país. É possível notar uma baixa intensidade de consumo no supermercado brasileiro frente as referências internacionais, o que pode ser explicado pelo tipo de condicionamento de ar, que no caso brasileiro é feito de forma naturalmente ventilada e, geralmente, nos supermercados estrangeiros é feito de forma mecânica (sistema de condicionamento artificial de ar), inclusive com parcela significativa para aquecimento, o que não é comum no Brasil.

Tabela 3 – Valores de intensidade de consumo de energia para supermercados

Contexto/local	Consumo/área total (kWh/m ² /ano)	Consumo/área de venda (kWh/m ² /ano)	Referência	Observações
Supermercado Escola – Brasil	236 (Energia elétrica)	643 (Energia elétrica)	RODRIGUES <i>et al.</i> (2021)	Área de venda 1100 m ² , área total 2996 m ² .
USA	552,2 (Energia elétrica)		US EPA (2011)	Não encontrado o intervalo de área, nem qual área (total ou de venda)
USA	700-500 (Energia total)	-	Van der Sluis <i>et al.</i> (2015)	Área 3000 a 7500 m ²
Canadá	1000-700 (Energia total)	-	Van der Sluis <i>et al.</i> (2015)	Área 2000 a 11000 m ²
Europa	Entre 500 e 1.000		Martos, Styles e Schoenberger (2013)	Não encontrado o intervalo de área, nem qual área (total ou de venda)
Holanda	-	407 (Energia elétrica)	Van der Sluis <i>et al.</i> (2015)	Área de venda 400 a 1000 m ²
Suécia	550-200 (Energia total)	-	Van der Sluis <i>et al.</i> (2015)	Área total 1000 a 14000 m ²
Londres	-	840-1200 (Energia elétrica)	Kolokotroni <i>et al.</i> (2019)	Média das áreas de vendas analisadas 300 m ²
Reino Unido, Europa	-	1500 – 850 (Energia total)	Tassou <i>et al.</i> (2011)	Área de venda 280 a 1400 m ²
Reino Unido, Europa	450 (Energia total)	566 (Energia elétrica)	Foster, Evans e Maidment (2018)	Área de venda 3306 m ² , área total 5845 m ²
Reino Unido, Europa	-	1700 – 660 (Energia total)	Tassou <i>et al.</i> (2011)	Área de venda entre 80 a 10000 m ²

Fonte: adaptado de Foster, Evans e Maidment (2018).

Os indicadores de desempenho mais comuns para supermercados são tamanho (área total ou área de vendas), horário de funcionamento, tipo de sistema de refrigeração, capacidade instalada de refrigeração e clima ou localização geográfica (KOLOKOTRONI et al., 2019), e os menos comuns são volume de vendas (valor monetário) e ano de construção (ou reforma).

Mesmo quando essas diferenças são levadas em consideração, existe uma grande variabilidade nos dados presentes na literatura. Por exemplo, Tassou et al. (2011) afirmaram que a intensidade de consumo de energia elétrica pela área de vendas variou de 770 a 1480 kWh/m²/ano entre hipermercados e lojas de conveniência. Já Van der Sluis et al. (2015) encontraram intensidades entre 407 e 800 kWh/m²/ano (energia total sobre a área bruta).

Lojas de pequeno porte apresentam uma maior intensidade de consumo de energia, devido aos equipamentos mínimos e da relação da envoltória com a área útil de piso. Uma pesquisa do Reino Unido apontou uma diminuição na intensidade de consumo de energia com o aumento do tamanho do supermercado de - 2% para cada aumento de 100 m² de área de vendas (KOLOKOTRONI et al., 2019). Em Carlo e Lamberts (2007), foi possível observar também como o aumento do volume da edificação de uso comercial reduziu a relação do consumo pela área em climas quentes e frios brasileiros.

Enquanto outras tipologias são afetadas pelo condicionamento de ar, a explicação para a maior intensidade de consumo pela área em supermercados menores (<400 m²) é dada pela proporção entre alimentos refrigerados e produtos não refrigerados. Como diversos estudos apontam que o maior consumidor de energia é o sistema de refrigeração, o maior número de produtos não refrigerados dilui o valor do consumo de energia pela área em grandes supermercados (MYLONA; KOLOKOTRONI; TASSOU, 2018). Deve-se lembrar que grandes supermercados ultrapassam a oferta de alimentos para incluir outros produtos, chegando a eletrodomésticos, pequenos móveis e utensílios para manutenção de automóveis.

O relatório do PROCEL (2008), que inclui o levantamento de 182 supermercados, foi a única referência encontrada na literatura brasileira e usa como indicador o consumo médio mensal por funcionário (805 kWh/mês/funcionário), que não foi encontrado em outro estudo. Além disso, o relatório é referente a 2005 e não

foram identificados outros levantamentos desde então. Após 18 anos, o desenvolvimento de novas tecnologias com sistemas e equipamentos mais eficientes energeticamente alterou o cenário de uso de energia no cotidiano.

2.3. Usos finais de energia em supermercados

Os supermercados constituem-se ambientes complexos pela quantidade de sistemas e serviços que abrangem, o que torna a análise e a previsão da demanda de energia uma tarefa difícil. Esta complexidade se deve às trocas variadas de calor entre o edifício, o sistema HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*) e os sistemas de refrigeração, juntamente com os requisitos variados de produtos armazenados, horas de operação e padrões de ocupação transitória, sendo necessário modelos dinâmicos de simulação (MYLONA; KOLOKOTRONI; TASSOU, 2017).

Em um supermercado existem setores conceituais de uso especializado que podem ser analisados separadamente para fins energéticos pois apesar de não terem divisões físicas, formam zonas térmicas. Cada setor tem necessidades específicas de iluminação e de temperatura de acordo com o produto exposto, porém, essas condições não devem gerar um desconforto para o usuário, seja ele funcionário ou cliente. É importante ponderar recomendações para cada setor, de maneira que sejam estabelecidas boas condições para três diferentes grupos: alimentos, funcionários e clientes (CZAJKOWSKI et al., 2004), e essas são categorias diferentes que podem ter requisitos incompatíveis (LINDBERG; AXELL; ROLFSGMAN, 2011). Por exemplo, a manutenção da qualidade dos alimentos em exibição requer equipamentos de refrigeração que, por outro lado, podem afetar o conforto térmico dos usuários pelo resfriamento excessivo daquele espaço (BARBOSA; LABAKI, 2013). Nesses locais mais frios, é comum os usuários passarem com maior rapidez devido ao desconforto térmico, além do desconforto causado aos funcionários, usuários permanentes do edifício.

Pesquisas apontam que a maior parcela do consumo de energia em um supermercado ocorre pelos sistemas de refrigeração e iluminação (KOLOKOTRONI et al., 2019; MYLONA; KOLOKOTRONI; TASSOU, 2018; PATHER-ELIAS; DAVIS;

COHEN, 2012; TIMMA; SKUDRITIS; BLUMBERGA, 2016). Cerca de 60% da demanda total de energia em um supermercado é usada para armazenar e exibir alimentos refrigerados e congelados, e o vazamento de ar das prateleiras refrigeradas abertas tem um efeito considerável sobre essa demanda (SUZUKI et al., 2011). Isto indica que melhorias no sistema de refrigeração impactará de forma considerável o consumo total de energia da edificação. Ao se voltar à iluminação, Mangiapelo et al. (2011) afirmaram que os sistemas de iluminação artificial têm uma participação de 22% no consumo total de energia elétrica nas edificações comerciais brasileiras. Segundo os autores, seria possível reduzir este consumo em aproximadamente 40% somente com o uso de sistemas de automação na rotina de acionamento da iluminação (MANGIAPELO et al., 2011).

A ocupação não exerce uma influência forte sobre o consumo de energia em supermercados, ao contrário do observado em outras tipologias, como em edifícios de escritórios. Barbosa e Labaki (2017) indicaram que entre a temperatura externa do ar e o número de usuários, o primeiro fator exerce mais influência no consumo de energia elétrica em um supermercado durante o período diurno, pois afeta o consumo por refrigeradores, que é o principal consumidor de energia na tipologia. As análises não demonstraram correlação entre o número de usuários e o consumo de energia. Iyer et al. (2015) também indicaram que o consumo de energia não foi sensível à variação na ocupação.

Em edifícios de escritório, a ocupação afeta diretamente tanto o consumo por equipamentos que independem do clima (equipamentos de escritório, sistema de iluminação, etc.), quanto o consumo de equipamentos que dependem do clima, principalmente, sistemas de condicionamento artificial de ar. Afinal, os usuários destes edifícios têm participação ativa no acionamento dos sistemas consumidores de energia. Já em supermercados, a ocupação não interfere de maneira tão linear. Um estudo internacional indica que, nestes, os equipamentos independentes do clima irão incluir iluminação, computadores, sistemas de segurança e caixas registradoras que, normalmente, são ativadas ou desativadas de acordo com o horário de funcionamento e não com a contagem de clientes (IYER et al., 2015). Já os componentes dependentes do clima estão relacionados com os sistemas de climatização e com o

sistema de refrigeração que é mantido em funcionamento 24h por dia (IYER et al., 2015).

Este último está relacionado à necessidade de refrigeração dos alimentos independentemente da presença de clientes. Assim, a adição de calor devido à presença de pessoas dentro de um supermercado pode não afetar significativamente o consumo total de energia.

O PROCEL (2008) elaborou um relatório com o levantamento sobre a existência de sistemas de condicionamento artificial de ar em supermercados e o consumo de energia por usos finais do setor no Brasil. Pelo relatório, acredita-se que sistemas de condicionamento artificial de ar são restritos à parte administrativa, pois nos estabelecimentos são encontrados mais sistemas unitários (45% dos casos) em comparação com os centrais (16%) e aqueles sem nenhum condicionamento (39%). Com relação aos usos finais, o PROCEL aponta os sistemas de refrigeração, de climatização e de iluminação como os principais consumidores de energia em supermercados, que juntos somam 89% da energia elétrica consumida na tipologia. Os principais usos finais são apontados como: refrigeração (38%); climatização (32%); iluminação (19%); equipamentos (3%); aquecimento (2%); e outros (6%).

2.4. Métodos de desenvolvimento de *benchmarks*

A elaboração de um *benchmark* pode ser orientada com base em um conjunto de dados ou por modelos representativos. Nas abordagens orientadas por dados, o processo é, geralmente, realizado por meio de análise de percentil (IYER et al., 2015), onde é levantada a intensidade de consumo de energia de uma amostra representativa de determinada tipologia. Aplica-se a mediana da operação estatística para a “prática convencional”; as “melhores práticas” são o limite superior do primeiro quartil, correspondente a 25% dos casos, que são os que apresentaram menor intensidade de consumo de energia por área; e as “piores práticas” são o limite inferior do terceiro quartil, correspondente a 75% dos casos, logo, os que apresentaram maior intensidade de consumo de energia.

O *benchmark* baseado em modelos representativos ou Caso Base pode ser desenvolvido por simulação. Assim, é definido um modelo para cada tipologia, os

parâmetros do modelo são calibrados para a condição real do edifício e a intensidade de consumo de energia do modelo é estimado através de simulações (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014; PÉREZ-LOMBARD et al., 2009). O consumo medido de energia é comparado com o valor estimado e, após a validação, as oportunidades de melhoria são identificadas por um estudo de sensibilidade sobre os parâmetros do modelo. Também é possível estabelecer bonificações com base na adoção de medidas de eficiência energética como, por exemplo, a geração de energia fotovoltaica.

Esses *benchmarks* dão suporte aos gestores para classificar suas edificações de acordo com o que é conhecido (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014). O desenvolvimento de um *benchmark* é feito com base em levantamentos realizados em edificações representativas da tipologia a ser estudada. Entretanto, antes da criação de um *benchmark*, é necessário definir o que será medido, tanto pelo *benchmark* quanto pelas auditorias energéticas necessárias para comparação (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014). A definição de uma tipologia precisa delimitar claramente quais edificações se encaixam no escopo da pesquisa (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014).

Para manter os *benchmarks* comparáveis e relevantes, é necessário definir a “fronteira de medição”. Por exemplo, um *benchmark* pode considerar o consumo energético total de um edifício, ou apenas as áreas comuns, separando o consumo de áreas privativas (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014). Na maioria dos casos o valor da intensidade de consumo de energia é obtido normalizando o consumo da edificação pela área de piso útil (PÉREZ-LOMBARD et al., 2009). A métrica adotada internacionalmente é de consumo anual por área (kWh/m²/ano). Alguns programas de eficiência energética estudados no Brasil adotam uma medida mensal, mas o anual é preferido porque engloba toda a variação climática anual.

A revisão da literatura revelou várias metodologias que podem ser usadas para comparar o desempenho energético dos edifícios. Chung (2011) identificou 23 referências que descrevem o desenvolvimento de *benchmarks*. Ele as agrupou em cinco classificações:

- **Normalização simples:** é barata e fácil de implementar, mas não é capaz de englobar muitas características físicas da construção. Os indicadores de eficiência energética, geralmente, são empregados e obtidos simplesmente normalizando o uso de energia com base na área do piso ou horas de operação, seguido de uma análise

de percentil. Os consumos medidos podem ser obtidos nas contas de energia ou no monitoramento do edifício. As faturas de energia proporcionam fácil acesso ao consumo total do edifício, embora seja difícil estabelecer uma divisão pelos usos finais. O ajuste climático dos dados de uso de energia é realizado quando as informações de graus-dia estão disponíveis. No entanto, seu escopo é muito limitado. É provável que o *feedback* do uso desse método não indique com precisão se um edifício está sendo operado de maneira eficiente ou não. Geralmente, ele é baseado em informações mínimas sobre os edifícios, como desempenho anual de energia, área do piso e condições climáticas regionais. Isso significa que as implicações variadas de características intrínsecas dos edifícios, como a forma construída ou a idade, no padrão de demanda de energia não são contabilizadas. É possível que outros fatores (como a presença de sistema HVAC) possam fazer com que o uso de energia seja mais alto (ou mais baixo) e isso não será identificado na classificação. Portanto, é mais provável que uma comparação sem uma maneira de incorporar essas características indique prédios que apresentam maior ou menor intensidade no uso de energia, mas ela não é capaz de identificar quais edifícios são mais ou menos eficientes energeticamente (HONG *et al.*, 2013).

- **Método ordinário de mínimos quadrados (OLS):** geralmente usa modelos de regressão simples. Esse método é comumente visto na literatura e foi usado por Sharp (1996) em pesquisas que mais tarde serviram de base ao modelo *Energy Star*. O método estima a linha de regressão que representa o nível médio de eficiência energética. Os edifícios com intensidade de consumo acima da média podem ser considerados ineficientes, enquanto aqueles com menor intensidade de consumo são considerados eficientes. Entretanto, avaliar pela intensidade de consumo médio pode ser uma referência precária, pois neste caso qualquer variação acima da média ou erros aleatórios são considerados ineficiências, inclusive fatores inexplicáveis (ruídos estatísticos) e erros de dados.

- **Análise de fronteira estocástica (SFA):** separa variáveis de erro de fatores de ineficiência para fornecer medidas mais precisas de eficiência relativa. Este método separa componentes de erro de componentes ineficientes enquanto outros métodos assumem que todos os erros aleatórios são devido a ineficiências.

- **Análise de envelope de dados (DEA):** é uma análise multifatorial que mede as eficiências relativas de um conjunto homogêneo de edifícios com base na tomada de decisão, ou seja, a pontuação de eficiência é baseada nos múltiplos fatores de entrada e saída. Cada tomada de decisão tem um peso de entrada e saída que irão influenciar na pontuação de eficiência. Este método é mais utilizado como uma ferramenta de diagnóstico e é frequentemente criticado por sua natureza determinística e não estatística, como nos outros casos. Além disso, o modelo é bom para estimar a eficiência relativa dentro da amostra, mas não fornece um bom parâmetro para ser extrapolado para outros casos.

- **Simulação do desempenho do edifício:** é usada para desenvolver um modelo específico para um edifício, com parâmetros de entrada conhecidos, e comparar o desempenho real com os resultados da simulação. Um grande benefício do uso de simulação computacional é a separação dos consumos por uso final, que fornece uma estimativa realista, fator importante na publicação do *benchmark* (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014). O modelo de simulação validado também permite que os impactos de variações nas principais características do edifício sejam estudados, mesmo na ausência de dados estatísticos relevantes. Por exemplo, o modelo pode ser usado para simular o impacto de horas de trabalho prolongadas ou o aumento da intensidade de uso, a fim de aplicar um fator de correção na intensidade de consumo de referência (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014). Este fato torna o método robusto ao desenvolver fatores de correção em vez de usar métodos estatísticos tradicionais que, geralmente, são baseados em tamanhos de amostras pequenas. Apesar da simulação ser um dos métodos mais populares para analisar o uso de energia em edifícios, ela não é frequentemente usada para o desenvolvimento de *benchmarks*. As desvantagens do uso de simulações computacionais incluem a quantidade considerável de dados de entrada, o que o torna um método que demanda mais tempo e usuários qualificados, e a dificuldade de extrapolar os resultados para outros casos.

As análises de percentil são, geralmente, identificadas como mais úteis e rápidas para comparação, o que as torna mais apropriadas para o desenvolvimento de um *benchmark* nacional, principalmente em países com pouco histórico de coleta de dados. Por outro lado, a simulação pode ser usada como uma abordagem diferente

para a geração de banco de dados de intensidade de consumo de energia em edificações (PÉREZ-LOMBARD et al., 2009), por meio da variação dos parâmetros de consumo de energia, como usos finais, área, características da construção, características operacionais e condições climáticas (*benchmarking* paramétrico). A seleção cuidadosa dos tipos de construção e dos métodos de cálculo são fundamentais para a validade do banco de dados. Uma vantagem é a possibilidade de cobrir uma ampla gama de características de consumo de energia do edifício com uma seleção e uma variação adequada dos parâmetros de energia. Entretanto, a maioria dos programas de *benchmarking* se baseiam no consumo real de energia medido em edifícios existentes, pois a simulação exige um esforço mais significativo para cada tipologia de edifício.

Fica claro que nenhum método está isento de críticas. Logo, é possível que a combinação dos mesmos torne a metodologia mais robusta, ao somar as vantagens de cada abordagem. A análise de percentil usa uma abordagem *top-down*, realizada por meio de amostragem e que pode ser extrapolada para uma visão geral da tipologia (generalização). Ao mesmo tempo, ela pode ignorar assimetrias e padrões de demanda que só uma abordagem *bottom-up*, como no caso da simulação, que faz uma análise mais minuciosa de um modelo específico poderia identificar. Além disso, na abordagem *top-down* muitas vezes é difícil obter dados de intensidade de consumo em quantidade suficiente, atualizados e para um grupo de edifícios que representem razoavelmente a amostra. Assim, as duas visões não são excludentes e podem ser utilizadas de forma combinada, em um modelo híbrido.

Borgstein e Lamberts (2014) aplicaram a proposta de uma metodologia de *benchmarking* desenvolvida pelo CBCS, que apresenta essa abordagem híbrida. Foram utilizados tanto dados reais de contas de energia e auditorias energéticas, quanto dados de simulação computacional para comparar a intensidade de consumo de energia em agências bancárias no Brasil. Foi aplicada uma análise de regressão linear simples (método ordinário de mínimos quadrados comuns) aos dados de consumo de energia de 1890 agências bancárias, em 57 localidades diferentes. Além disso, a simulação energética do desempenho de um modelo representativo da tipologia foi usada para validar os resultados e fornecer uma análise do uso final para os diferentes climas. O estudo detalhado dessa única tipologia teve como objetivo o

desenvolvimento de uma referência piloto. O trabalho serve de base para desenvolver e publicar referências nacionais para outras tipologias.

Carlo (2008) empregou uma abordagem semelhante a utilizada pelo CBCS, ao levantar características construtivas externas de edifícios reais para a criação de modelos representativos de edificações não residenciais com 1 100 amostras. A partir daí, coletou consumos de cerca de 30 amostras. Os dados de consumo forneceram subsídios para eleger dez edificações que tiveram seus usos finais levantados *in loco*. Estes dados foram a base das simulações de protótipos para posterior análise de regressão múltipla. Entretanto o objetivo do trabalho era elaborar uma metodologia de avaliação energética da envoltória dessas edificações e não a criação de um *benchmark* propriamente dito.

Hong *et al.* (2013) desenvolveram um *benchmark* de energia para edifícios escolares na Inglaterra e no País de Gales. A pesquisa utilizou uma abordagem *top-down*, entretanto, foi utilizada neste estudo uma análise de regressão multiobjetivo por meio de redes neurais artificiais¹ (RNA). A abordagem multivariada do *benchmarking* propunha explicar a influência de características intrínsecas dos edifícios, como idade, forma e padrão de demanda de energia. Entretanto, em um estudo subsequente, Burman *et al.* (2014) ainda sugeriram que a comparação de desempenho por meio de uma abordagem *bottom-up* forneceria uma indicação mais precisa da eficiência energética.

Ao tratar de *benchmark* específico para supermercados podemos tomar como referência Chung, Hui e Lam (2006) que desenvolveram uma base de dados para *benchmarking* de eficiência energética de supermercados para Hong Kong. O método utilizado inclui correções climáticas e uma análise de regressão múltipla onde o consumo de energia foi normalizado para nove variáveis explicativas: idade do edifício; área de piso; horários de funcionamento (alguns estabelecimentos funcionam 24h por dia); número de clientes; fator de comportamento e manutenção; *setpoint* da

¹ As redes neurais artificiais (RNAs) são técnicas de inteligência artificial inspiradas pelos processos neurais biológicos que ocorrem dentro do cérebro. Geralmente, são usadas para aprender padrões complexos e não lineares entre entradas (por exemplo, idade da construção) e saídas (por exemplo, consumo de energia elétrica) em um banco de dados.

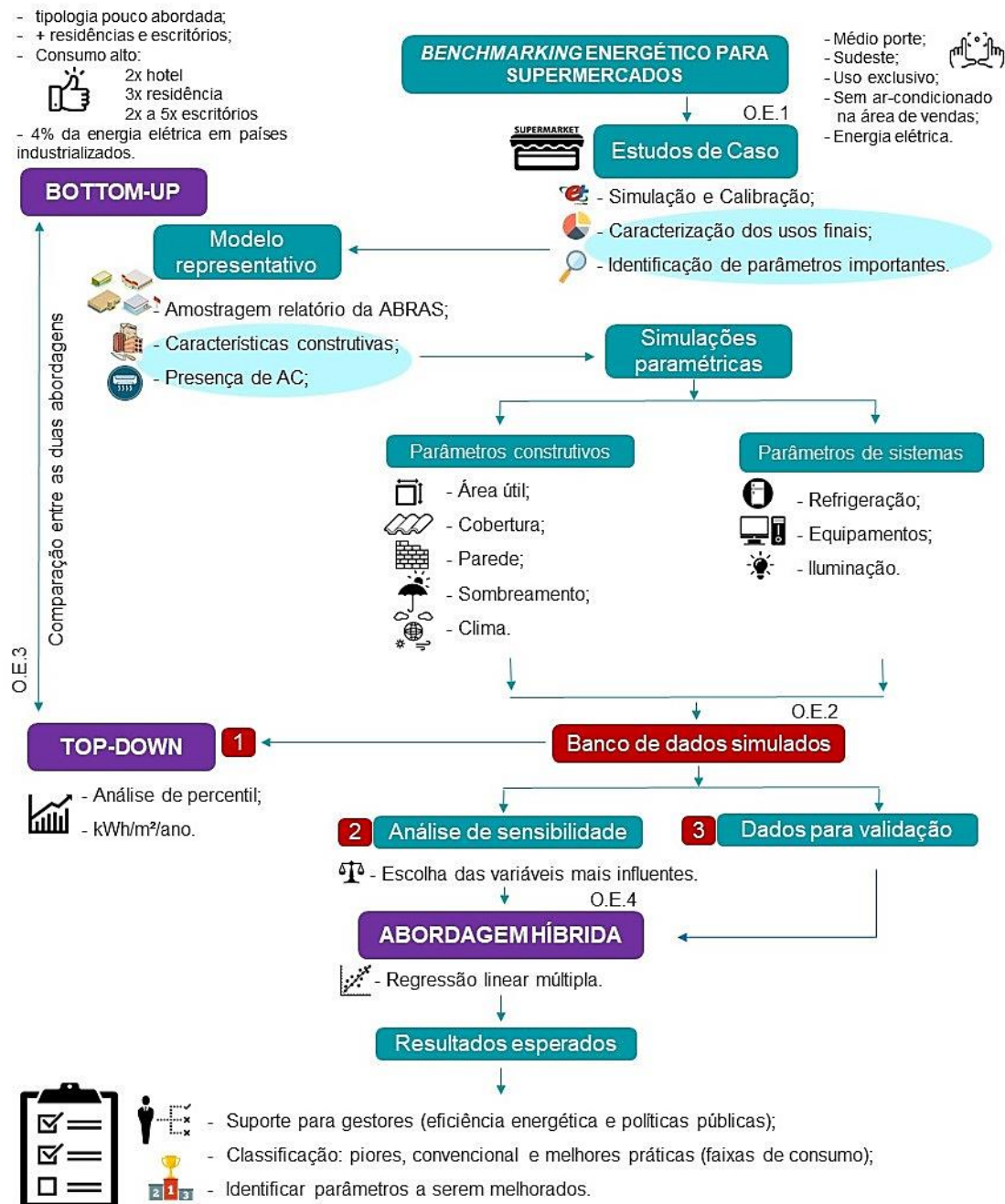
temperatura interna (verão); tipo de equipamento de refrigeração; equipamento de iluminação; e controle de luz. Também foi adotada uma pontuação extra para supermercados que apresentassem boas práticas de operação e manutenção. Os autores usaram uma amostra de 30 supermercados, onde foi considerado apenas um subgrupo com condicionamento artificial de ar central, prédio independente (desconectado de outra edificação) e área superior a 75 m². Um tamanho amostral de 30 foi considerado suficiente para fornecer uma aproximação normal eficaz como regra geral, independentemente da forma da distribuição da população (MENDENHALL, REINMUTH, BEAVER, 1993; LEED, 1997).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa pode ser classificada como quantitativa quanto à natureza do método escolhido, pois é baseada em análises de consumo das contas de energia elétrica, consumo de energia elétrica medidos *in loco* e consumo de energia elétrica gerados por simulação computacional. Já quanto aos fins, pode ser classificada como exploratória e descritiva, ao passo que busca observar, analisar e levantar informações específicas sobre o consumo de energia para a tipologia de supermercados de médio porte.

A criação do *benchmark* envolveu tanto a abordagem *top-down* (análise de percentil), quanto a abordagem *bottom-up* (regressão linear múltipla). Foram realizadas comparações entre as duas metodologias com base nas escalas geradas pelas duas abordagens e no processo que envolve cada uma. O escopo do trabalho incluiu supermercados de médio porte (segundo a classificação do IBGE) em edificações de uso exclusivo (sem uso misto) localizados na região Sudeste do Brasil e sem condicionamento artificial do ar na área de vendas.

Figura 1 – Resumo gráfico do método



3.1. Estudos de caso

Os estudos de caso estão relacionados com o primeiro objetivo específico “Caracterizar os principais usos finais de energia elétrica em supermercados de médio porte no Sudeste do Brasil e identificar as variáveis mais influentes neste consumo”.

Assim, ao estudar de forma detalhada as edificações selecionadas, buscou-se recolher informações sobre os sistemas presentes na tipologia (usos finais) que foram coletadas durante visitas técnicas e diagnóstico energético, assim como observar o funcionamento geral e as características construtivas do setor.

O Supermercado Escola da Universidade Federal de Viçosa (UFV) foi utilizado como um modelo piloto de diagnóstico energético. A escolha se deu por ser uma edificação localizada dentro do campus da UFV e, por isso, de fácil acesso. Além disso, o Supermercado Escola se mostrou um caso representativo frente aos dados médios por loja levantados pelo *ranking* da ABRAS (2019), estando próximo da média das principais características dos 8.345 supermercados levantados, como: número de *checkouts*; área de vendas; e número de funcionários.

Foi realizado mais um estudo de caso que se encontra no limite inferior da classificação de médio porte do IBGE, já que o Supermercado Escola é um representante do limite superior. Assim, foi escolhido também o Supermercado Viçosense, localizado na mesma cidade, que conta com 50 funcionários, representando o limite inferior da classificação de médio porte, e que apresenta 521 m² de área de vendas (Tabela 4).

Tabela 4 – Média das características dos supermercados

Ranking ABRAS	Nº de lojas	Nº de <i>checkouts</i> /loja	Área de vendas /loja (m ²)	Nº de funcionários/ loja
924 empresas respondentes	8.345	9	1.243	79,7 (médio porte)
Supermercado Escola	1	11	1.100	91,0 (médio porte)
Supermercado Viçosense	1	7	521	50,0 (médio porte)

Os estudos de caso consistem em:

- *Diagnóstico energético*: as informações foram coletadas por meio de visitas ao local, por meio de levantamento fotográfico, entrevistas e descrição dos principais recursos e sistemas que consomem energia elétrica. Foram levantadas informações básicas como área, localização e consumo anual de energia elétrica (faturas de energia de 12 meses consecutivos), e fatores-chave adicionais que podem afetar o consumo do edifício, como número de estações de trabalho, data de construção ou de reformas, se apresenta e a caracterização do sistema de condicionamento artificial de ar do setor administrativo, além dos horários de trabalho e de atendimento ao

público. Foi essencial levantar as características dos sistemas de refrigeração e de iluminação, visto que estes são apontados na literatura como os principais consumidores de energia elétrica na tipologia. Foram contabilizados os equipamentos elétricos e a potência de cada um, incluindo os refrigeradores e as câmaras frias, assim como lâmpadas e luminárias e seus respectivos consumos. Geradores e bombas foram incluídos, assim como análises das faturas de energia e medições *in loco* nos quadros de energia do Supermercado Escola, para identificar a curva de carga de consumo diário;

- *Simulação energética e calibração*: com as informações levantadas no diagnóstico energético foram criados modelos computacionais de cada edificação para a realização de uma simulação energética. Os consumos simulados foram comparados e calibrados com as faturas de energia e com o consumo medido, para validação do modelo e identificação dos principais usos finais.

Para calibrar o modelo simulado do Supermercado Escola, utilizou-se como referência faturas de energia elétrica dos anos de 2018 e de 2019, com a separação do consumo por usos finais e medições no quadro de energia para identificar a curva de carga diária da edificação. A premissa para a calibração é que a sensibilidade do modelo simulado tende a seguir os usos finais que consomem mais energia, conforme mostrado por Lam e Hui (1995) ao estudarem o impacto de 50 parâmetros por meio de 400 simulações sobre um modelo base. As análises foram realizadas com dois enfoques: os consumos horários medidos foram a referência para ajustes nos consumos horários simulados exclusivamente no período da medição; e os consumos mensais obtidos pelas faturas de energia foram a referência para ajustes nos consumos mensais simulados nos 12 meses. As medições utilizaram um analisador de qualidade de potência e energia modelo 435 da marca Fluke. Este apresenta faixa de medição de 1 a 600V com precisão de $\pm 0,1\%$ da voltagem nominal, e para a medição de energia a precisão é de $\pm 1\% \pm 10$ pontos, com faixa de medição dependendo da escala da garra e da voltagem nominal.

Foram realizados dois monitoramentos de uma semana cada, um geral e outro específico para a refrigeração. Este procedimento forneceu um dia útil típico, um dia típico de sábado e outro de domingo como referência para a calibração. Na primeira semana de monitoramento, entre os dias 28 de janeiro e 04 de fevereiro de 2021, o

equipamento foi instalado no quadro geral do Supermercado Escola e contabilizou todo o consumo de energia elétrica da edificação ao longo dos dias medidos.

O segundo monitoramento, foi realizado na semana consecutiva, entre os dias 04 e 11 de fevereiro de 2021, no quadro de energia referente a uma parte do sistema de refrigeração, que engloba o consumo das câmaras frias, dos refrigeradores do açougue e dos refrigeradores verticais maiores (produtos lácteos e hortifrúti). Uma alteração no arquivo climático utilizado no *EnergyPlus* foi realizada para comparação dos consumos horários medidos com os simulados no período do monitoramento. Assim, foram substituídas no arquivo climático as variáveis meteorológicas horárias referentes às semanas medidas disponíveis no banco de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), que foram medidas pela estação automática de Viçosa (A510) a 533 metros do Supermercado Escola. São elas: pressão atmosférica; temperatura do ar de bulbo seco (TBS); temperatura do ponto de orvalho; umidade relativa do ar; direção do vento; e velocidade do vento.

Já para a calibração do Supermercado Viçosense utilizou-se faturas de energia referentes ao período de maio de 2020 a abril de 2021 e não foi possível realizar medições nos quadros de energia, pois a localização desses impossibilitava a instalação dos equipamentos. As sucessivas reformas desde 1962 interferiram diretamente no sistema de eletricidade do edifício. Por este motivo, não existe um quadro geral de energia e nem uma separação por usos finais, mas diversos quadros de energia espalhados pelo supermercado e estes não seguem uma separação lógica e muitos são inacessíveis. Pela dificuldade de implementar a calibração por dados horários, foi utilizada então a calibração simplificada por meio de faturas mensais de energia com base na experiência do Supermercado Escola.

Em ambos os casos os intervalos de variação máxima indicados por Westphal (2007) foram utilizados para servir de referência durante o processo de calibração entre os consumos medidos (monitoramento e/ou faturas de energia) e simulados, que são de 5% (em módulo) para o consumo anual e 20% (em módulo) para o consumo mensal.

Dessa forma, foram realizadas modificações nos modelos simulados buscando atingir os intervalos indicados pela literatura. Quando as diferenças entre os dados simulados e medidos atenderam aos intervalos anteriores considerou-se o

modelo calibrado. Por fim, foram utilizados dois índices estatísticos para validar os modelos a fim de atingir um maior rigor nas análises ao final do processo de calibração: o *NMBE* (*Normalized Mean Bias Error*) (Equação 1), e o *CVRMSE* (*Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error*) (Equação 2).

O *NMBE* representa a média dos erros de uma amostra, e indica o desempenho geral dos valores estimados em relação à linha de regressão. Se for positivo, significa que o modelo está prevendo um consumo abaixo do real, e se for negativo, está superestimando-o. Já o *CVRMSE* mede a variabilidade dos erros entre os valores estimados e os valores medidos, mostrando a habilidade do modelo em prever o padrão de consumo de energia da edificação.

$$NMBE(\%) = \frac{\sum(M - S)}{\sum M} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

$$CVRMSE(\%) = \frac{RMSE}{A} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(M - S)^2}{N}} \quad (\text{Equação 3})$$

$$A = \frac{\sum M}{N} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

- S = valores simulados;
- M = valores medidos;
- N = número de valores considerados num dado período;
- A = média dos valores medidos.

A combinação dos dois coeficientes previne a existência de erros na validação proveniente da compensação de erros (ASHRAE, 2002). Para utilizar estes índices na validação de modelos de edifícios é necessário estabelecer limites para *NMBE* e *CVRMSE* que devem ser respeitados. Neste trabalho foram adotados os limites mensais estabelecidos pela *ASHRAE Guidelines 14* (2002) (Tabela 5).

Tabela 5 - Limites para o *NMBE* e para o *CVRMSE* estabelecidos pela ASHRAE Guidelines 14

Índices estatísticos	Limites para a calibração mensal
<i>NMBE</i> (%)	±5
<i>CVRMSE</i> (%)	15

A caracterização dos estudos de caso e estudo da tipologia foi importante para fornecer informações para a concepção de um modelo representativo de supermercados de médio porte, que foi usado para criar um banco de dados simulados de consumo de energia, por meio de simulações paramétricas.

Após a calibração, para o Supermercado Escola, foi proposta a inserção de sistemas fotovoltaicos opacos na cobertura para geração de energia elétrica. Foi escolhido o modelo DHM72X da DAH-Solar, que apresenta cerca de 19% de eficiência nas *STC* (*Standart Test Conditions*). A orientação das águas do telhado se encontra a Sudeste (Figura 2), que não é a ideal para o máximo aproveitamento da radiação solar para geração de energia elétrica, visto que no hemisfério Sul esta seria a orientação Norte. Da mesma forma, a inclinação também seguiu o telhado existente, cerca de 12° de inclinação em cada água da cobertura, que também não é a inclinação ideal para a latitude em questão.

Foram simulados 593 módulos na cobertura² do supermercado. No telhado da Z45 foi possível instalar módulos em toda a superfície visto que o entorno não causa sombreamento nos horários de geração de energia (Figura 2).

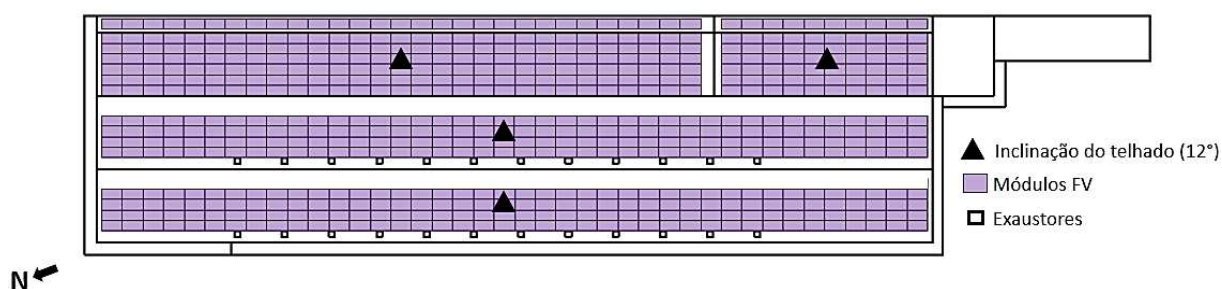
A instalação de módulos nos telhados da Z46 e da Z47 considerou um afastamento de 2,22 m logo abaixo do ponto mais alto do telhado anterior, calculado pelo ângulo formado por este e a altitude do Sol às 09:00h da manhã do dia 21 de junho, visto que antes deste horário não existe uma geração significativa de energia devido à baixa radiação. Além disso, no inverno o Sol se encontra em uma posição

² É importante ressaltar que não foi considerada a carga extra devido ao peso dos módulos na cobertura, em uma situação real, um estudo estrutural deve ser realizado, mas vale lembrar que é possível encontrar no mercado tecnologias de filme fino (silício amorfo), que apresentam um peso bastante reduzido quando comparadas aos sistemas cristalinos.

mais baixa na abóbada celeste, e este sombreamento é menor em outras épocas do ano, como no verão, garantindo que os módulos FV não sejam sombreados durante os horários de geração de energia.

Assim, para a cobertura da Z46 e da Z47 foi simulado o número máximo de módulos nas superfícies desconsiderando as áreas sombreadas antes das 09:00 da manhã do dia 21 de junho, que se acredita ser a máxima condição de sombreamento ao longo do ano, e desconsiderando também a faixa de telhado que contém os exaustores localizados na cobertura.

Figura 2 - Disposição dos módulos FV na cobertura do Supermercado Escola



3.1.1. Supermercado Escola

O Supermercado Escola é um estudo de caso relevante para o Brasil devido sua representatividade frente aos dados médios por loja levantados pelo ranking da ABRAS (2019), estando próximo da média das principais características dos 8.345 estabelecimentos respondentes (participação voluntária), como: número de *checkouts*; área de vendas; e número de funcionários. Ele está localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa, no estado de Minas Gerais, Brasil. A cidade de Viçosa (Tabela 6) pertence a zona bioclimática 3, de acordo com a NBR 15.220 (ABNT, 2005a).

Tabela 6 - Dados climáticos da cidade de Viçosa, MG.

Cidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Temperatura média anual (°C)	UR média anual (%)	Média anual dos totais diários de irradiação solar (kWh/m²)
Viçosa	20,77° S	42,87° O	712,2	19,7	78,5	4,72

Fonte: os autores com base em GUIMARÃES e CARLO (2015) e CRESESB (2021).

Localizado nas dependências da Universidade, o empreendimento é aberto ao público e atende tanto à comunidade acadêmica, quanto aos moradores do município. A construção do supermercado data de 2003, porém, o edifício passou por reformas nos anos de 2008, 2011 e 2016. O horário de funcionamento para o público é de 08h às 20h de segunda a sábado e de 09h às 13h nos feriados, não funcionando aos domingos. Para os funcionários, em geral, o horário é de 07h às 20h30 de segunda a sábado, com exceção da parte administrativa que funciona de 08h às 18h, de segunda a sexta. Aos feriados o expediente é de 08h às 13h. No total são 91 funcionários que o caracteriza como um supermercado de médio porte, segundo a classificação do IBGE para empresas de comércio/serviços.

O entorno imediato do estabelecimento é pouco adensado, ficando a edificação (evidenciada em vermelho na figura) próxima a áreas verdes e a uma das represas que abastecem o campus (Figura 3). A edificação não é sombreada por edifícios próximos e nem pelo relevo. A entrada principal está direcionada a 29° N e as maiores fachadas estão voltadas para sudeste e noroeste. Estas orientações provocam elevados ganhos térmicos e, consequentemente, podem aumentar o desconforto por calor em climas quentes, principalmente na fachada noroeste, que recebe radiação solar direta durante o período da tarde, mesmo que seja nos equinócios e no inverno primordialmente. Identifica-se um potencial para a instalação de sistemas fotovoltaicos na cobertura, que pode, além de gerar energia, contribuir para amenizar os ganhos térmicos do edifício.

Figura 3 - Imagem aérea do Supermercado Escola



Fonte: Google Earth Image ©2022 Maxar Technologies (GOOGLE EARTH, 2022a).

O edifício apresenta uma cobertura do tipo *shed*, que possibilita o uso da iluminação natural em seu interior, mas recebe insolação direta no período da tarde (Figura 4). O desconforto por calor gerado é sentido principalmente no setor administrativo, que se encontra no pavimento superior e recebe radiação solar direta em suas divisórias, tornando necessário o uso de sistema de condicionamento artificial de ar.

Figura 4 - Perspectiva noroeste Supermercado Escola



Fonte: autor.

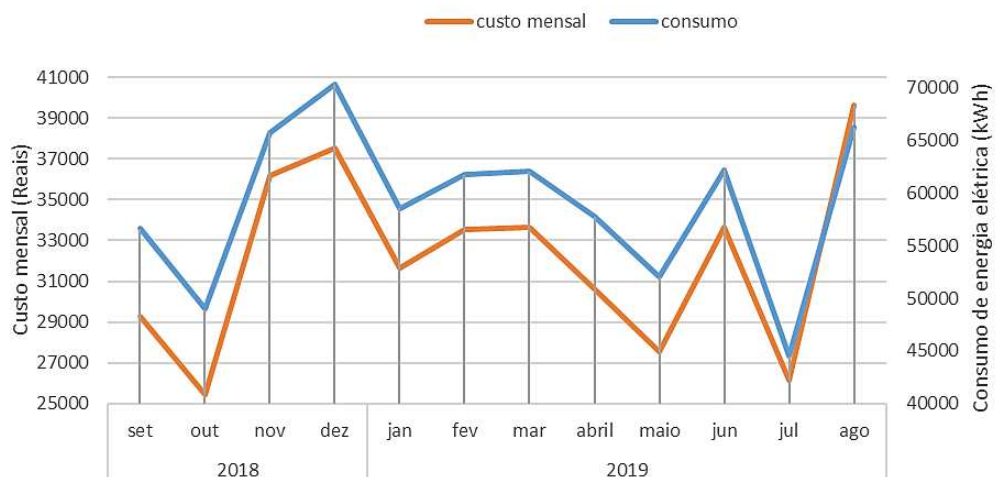
O supermercado tem uma área total construída de 2.996 m², dividida em dois pavimentos, o Térreo com 1.863 m² e o Pavimento 1 com 1.133 m² (Figura 5). A área de vendas tem aproximadamente 1.100 m². A área administrativa é a única climatizada artificialmente. No total, são 11 salas com condicionamento artificial de ar autônomo do tipo *split* e equipamentos típicos de escritório (Apêndice A). O sistema de iluminação é composto por lâmpadas LEDs e fluorescentes em luminárias para lâmpadas tubulares (Apêndice A). Os únicos sistemas em funcionamento durante a noite são as câmaras frias e os refrigeradores. Existe um gerador a diesel para os momentos de queda de energia, cujo motor Scania tem potência máxima de 250 kVA/h.

Figura 5 - Plantas baixas e setorização do Supermercado Escola: a) Térreo e b) Pavimento 1



Foram levantados os consumos mensais de energia elétrica do edifício para os anos de 2018 e 2019 (Gráfico 1). O consumo anual (set. 2018 – ago. 2019) do Supermercado Escola foi de 706.880 kWh, o que representou cerca de 4,5% do consumo anual total da Universidade, ou 236 kWh/m²/ano e correspondeu a um custo anual de R\$ 384.929,00 reais.

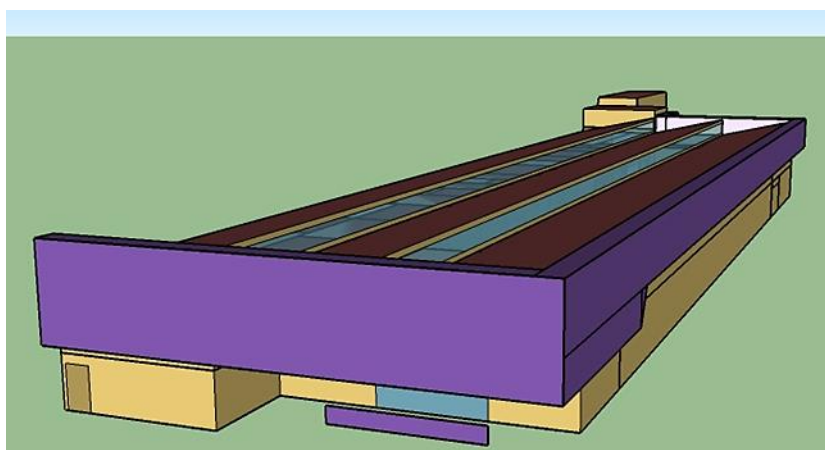
Gráfico 1 - Consumo de energia elétrica anual do Supermercado Escola (set. 2018 – ago. 2019)



A intensidade de consumo do Supermercado Escola se afasta do encontrado na literatura internacional disponível (RODRIGUES et al., 2021), principalmente devido às variações climáticas e diferenças no uso de sistemas de climatização artificial.

O modelo do supermercado foi simulado por meio do *software EnergyPlus*, versão 8.7, com um arquivo *TMY (Typical Meteorological Year)* desenvolvido para a cidade de Viçosa-MG (GUIMARÃES; CARLO, 2015). A simulação gerou dados horários de consumo de energia elétrica para o período de um ano completo. O modelo apresenta dois pavimentos (Térreo + Pavimento 1) e o ático do tipo *shed* (Figura 6), sendo que a área de vendas apresenta pé-direito duplo.

Figura 6 - Perspectiva nordeste do modelo do Supermercado Escola



Características do modelo:

- Dimensões: 100,90 m x 21,63 m x 7,47 m;
- Pé direito: 3,15 m no Térreo e 2,75 m no Pavimento 1, e o ponto mais alto do *shed* com 1,57 m;
- Orientação da entrada principal: 29° N;
- Clima: arquivo climático de Viçosa TMY (GUIMARÃES; CARLO, 2015).
- O modelo foi configurado com 49 zonas térmicas (Figura 7 e 8), na cobertura cada zona representando um *shed* (Z45, Z46 e Z47).

Figura 7 - Zonas térmicas do Pavimento Térreo do Supermercado Escola: a) Térreo e b) forros

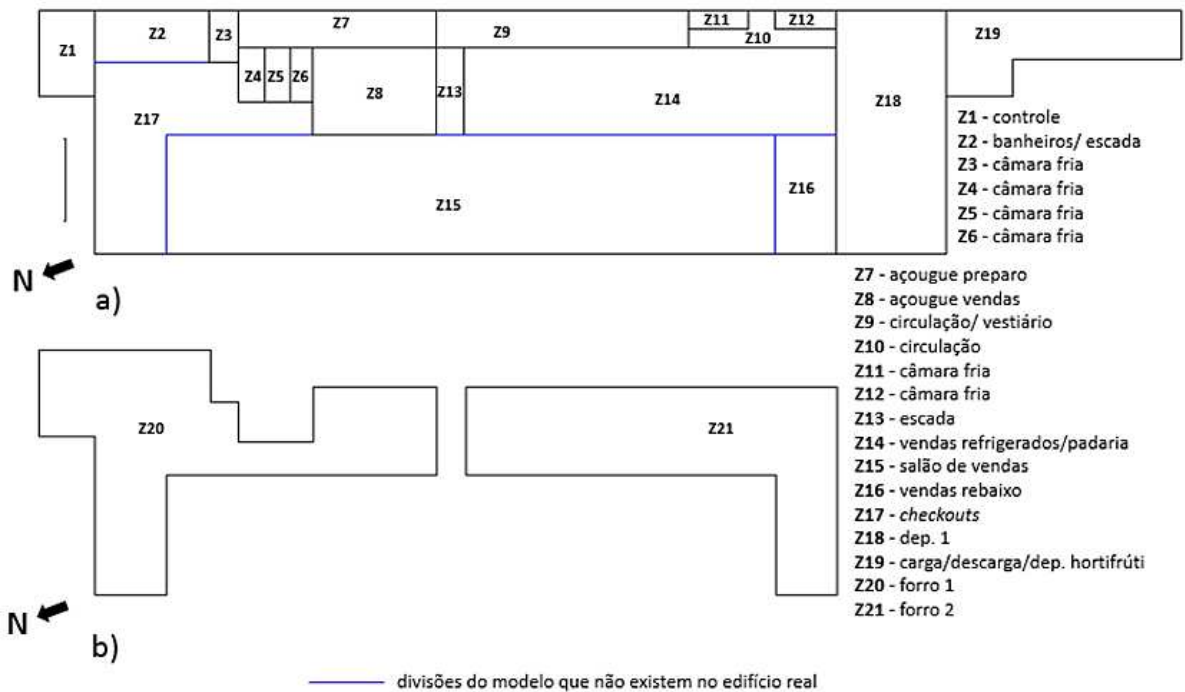
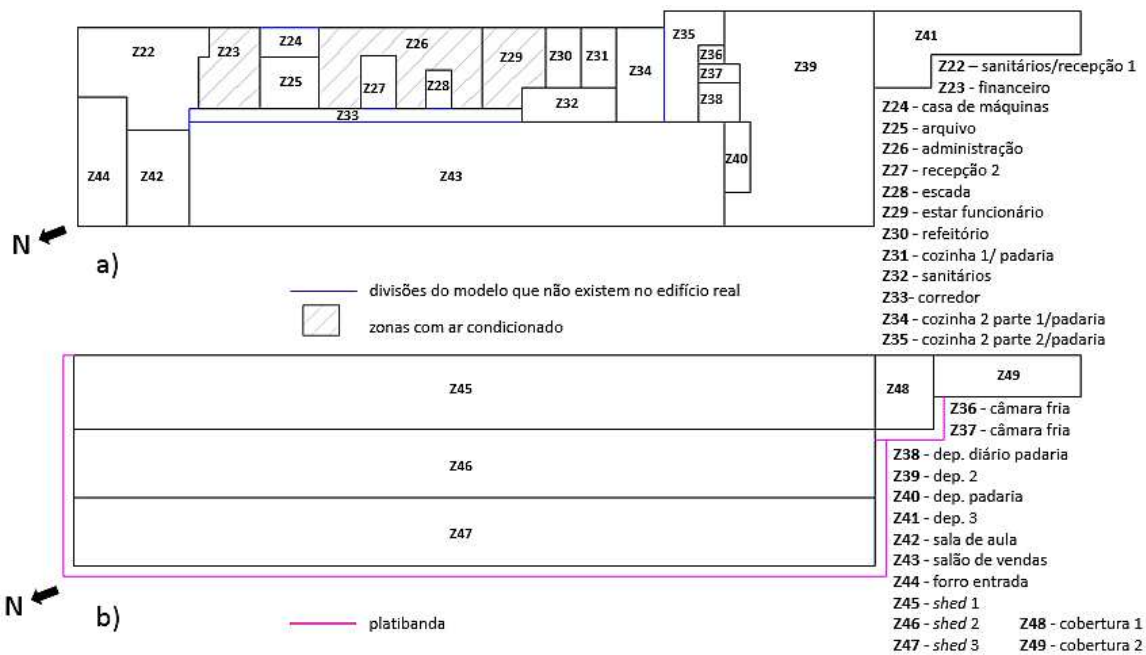


Figura 8 - Zonas térmicas do Pavimento 1 e do ático do Supermercado escola: a) Pavimento 1 e b) ático



O edifício apresenta diferentes sistemas construtivos, principalmente devido às diversas reformas realizadas. O levantamento *in loco* teve como objetivo identificar estes componentes (Tabela 7).

Tabela 7 - Especificação dos materiais construtivos utilizados no Supermercado Escola

Componentes	Materiais	Espessura (cm)	Transmitância (W/m ² K)	Capacidade térmica (KJ/m ² K)	Absortância solar
Parede externa noroeste	Argamassa	2,50	2,46	150	0,15
	Bloco cerâmico	14,00			
	Argamassa	2,50			
Parede externa e interna	Argamassa	2,50	1,85	161	0,15
	Bloco cerâmico	9,00			
	Argamassa	2,50			
Portas e divisórias internas	Madeira	0,50	2,70	8	0,60
	Câmara de ar	3,00			
	Madeira	0,50			
Câmara fria	Fechamento aço	0,08	0,25	11	0,25
	EPS	15,00			
	Fechamento aço	0,08			
Piso Térreo	Cerâmica	2,00	4,00	309	0,15
	Contrapiso	3,00			
	Concreto	10,00			
Piso Pavimento1	Cerâmica	2,00	3,57	424	0,15
	Contrapiso	3,00			
	Concreto	15,00			
	Forma metálica	0,12			
Forro PVC	PVC	0,80	1,12	22	0,15
	Lã de rocha	3,00			
	PVC	0,80			
Forro madeira	Madeira	0,50	1,09	10	0,60
	Lã de rocha	3,00			
	Madeira	0,50			
Telhado (telha sanduiche)	Telha metálica	0,08	0,68	7	0,25
	EPS	5,00			
	Telha metálica	0,08			

Fonte: Elaborada pelo autor com base no Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros da Portaria de nº 50/2013 do Inmetro (INMETRO, 2013) e na NBR 15.220 (ABNT, 2005b).

Os padrões de uso e ocupação foram definidos conforme os horários de trabalho dos funcionários e de atendimento ao público, considerando a média mensal de *checkouts*. A distribuição dos clientes ao longo do dia seguiu o informado pela administração, e dos funcionários por ambiente conforme postos de trabalho. Foi utilizada a ASHRAE 55 (2013) para especificar a taxa metabólica (Tabela 8).

Tabela 8 - Atividade metabólica (Watts/pessoa), com base na ASHRAE 55 (2013)

Clientes	Funcionários		
	Escritório	Esforço baixo (sala de descanso)	Esforço médio
180	130	108	206

O consumo médio das lâmpadas e de cada equipamento foi pesquisado em *websites* de fabricantes. No caso da iluminação, o sistema foi considerado ligado durante todo o horário de uso do edifício. Já para os equipamentos foram estabelecidos dois padrões de uso, equipamentos que funcionam durante todo o horário de expediente e aqueles que funcionam parcialmente ao longo do dia. O sistema de refrigeração funciona 24h por dia, e o *EnergyPlus* apresenta modelos específicos para simulação de refrigeradores e câmaras frias.

A ventilação foi configurada com sistema de condicionamento artificial de ar nos escritórios e ventilação natural no restante do edifício. Os coeficientes de pressão (C_p) para o modelo foram obtidos por meio do *CpSimulator* (2020), uma plataforma baseada em CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para obter dados de C_p para diferentes cenários construtivos e geometrias. O método foi descrito e validado em túnel de vento (BRE; GIMENEZ; FACHINOTTI, 2018; GIMENEZ; BRE, 2019; GIMENEZ; BRE; NIGRO; FACHINOTTI, 2018). Os C_p s foram obtidos para todas as aberturas externas e inseridos no *EnergyPlus*, com ângulos de incidência do vento com intervalos de 15°.

O sistema de condicionamento artificial de ar *split* do Supermercado Escola localiza-se apenas na área administrativa, composta por 11 salas de diferentes dimensões, que somadas totalizam 200,19 m² (cerca de 6,7% da área total). A parte administrativa é representada por três zonas: Z23 (47,39 m²); Z26 (105,83 m²); e Z29 (46,97 m²). Nestas zonas foi utilizado um sistema de condicionamento de ar do tipo bombas de calor configuradas com auto dimensionamento para *setpoint* de 18°C para aquecimento no inverno e 24°C para refrigeração no verão.

3.1.2. Supermercado Viçosense

O Supermercado Viçosense também está localizado na cidade de Viçosa, MG, e sua construção data de 1962, a partir de quando o edifício passou por, pelo menos, 5 reformas. O horário de funcionamento para o público é de 07h às 20h de

segunda a sexta, de 07h às 19h aos sábados e de 08h às 13h nos feriados, não funcionando aos domingos. Para os funcionários, em geral, o expediente segue o horário de funcionamento, com exceção da parte administrativa que funciona de 08h às 18h, de segunda a sexta. No total são 50 funcionários que o caracteriza como um supermercado de médio porte, segundo a classificação do IBGE para empresas de comércio/serviços.

O edifício está localizado na área central da cidade, com um entorno de alto adensamento, apenas a fachada norte não é sombreada pois há um terreno vazio à sua frente com arborização em terreno em cota de nível mais baixo que a do supermercado (Figura 9). O edifício apresenta uma cobertura do tipo *shed* que possibilita o uso da iluminação natural em seu interior e o acesso principal do supermercado encontra-se na fachada sul (Figura 10).

Figura 9 - Imagem aérea do Supermercado Viçosense



Fonte: Google Earth Image ©2022 Maxar Technologies (GOOGLE EARTH, 2022b).

Figura 10 - Imagens da fachada sul do Supermercado Viçosense: a) acesso de clientes; b) prédio anexo de apoio (prédio azul) onde estão localizados os depósitos, a área de apoio para funcionários, as salas de compras, a sala da gerência e o CPD



a)

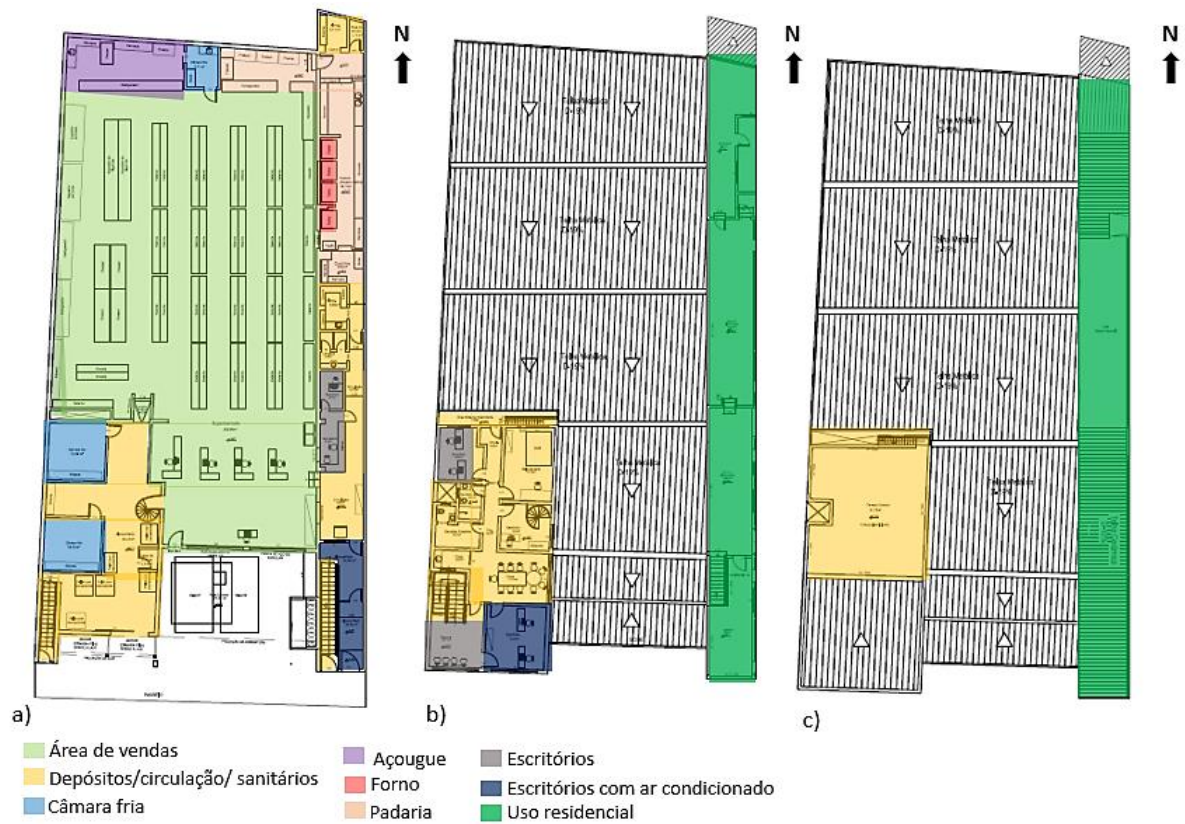


b)

O supermercado tem uma área total construída de 983 m², dividido em três pavimentos, o Térreo com 774 m² (a área de vendas tem 521 m²), o Pavimento 1 com 140 m² e um terraço coberto com 69 m² (Figura 11). A área administrativa é a única climatizada artificialmente. No total são 3 salas com condicionamento artificial de ar autônomo do tipo *split* e equipamentos típicos de escritório (Apêndice B). O restante dos equipamentos, como os do açougue e da padaria e suas respectivas potências, são descritos no Apêndice B, inclusive o sistema de refrigeração, com refrigeradores e câmaras frias, que são modelados à parte no *EnergyPlus*.

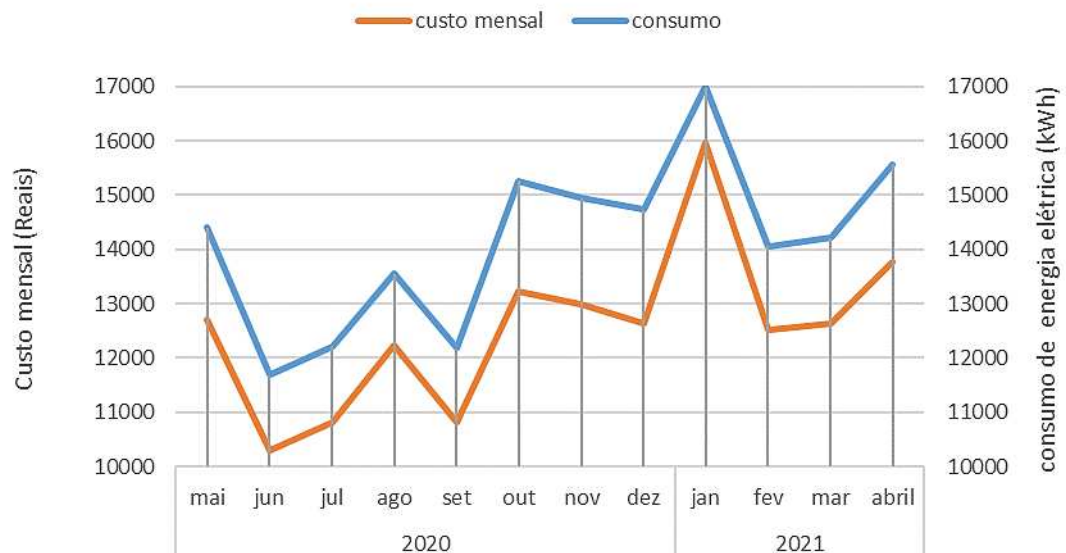
O sistema de iluminação é composto por lâmpadas *LEDs* e fluorescentes em luminárias para lâmpadas tubulares (Apêndice B). Os únicos sistemas em funcionamento durante a noite são as câmaras frias e os refrigeradores. Existe um gerador a diesel para os momentos de queda de energia.

Figura 11 - Plantas baixas e setorização: a) Térreo; b) Pavimento 1; c) terraço



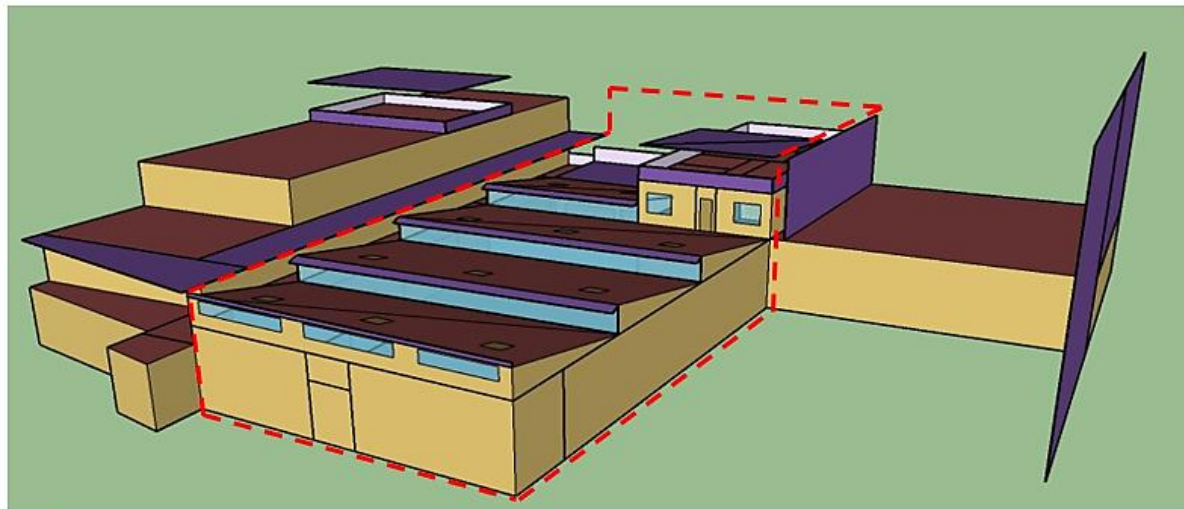
Foram levantados os consumos mensais de energia elétrica do edifício para os anos de 2020 e 2021 por meio das contas de energia (Gráfico 2). Apesar das faturas de energia serem referentes ao período de pandemia o consumo dos anos anteriores não estava disponível. A energia consumida pelo supermercado é fornecida pela concessionária local – Cemig-D. O consumo anual (maio de 2020 – abril de 2021) do Supermercado Viçosense foi de 169.766 kWh, ou 173 kWh/m²/ano e correspondeu a um custo anual de R\$ 150.589,00.

Gráfico 2 - Consumo de energia elétrica anual do Supermercado Viçosense (maio 2020 – abril 2021)



As simulações foram realizadas por meio do *software EnergyPlus*, versão 8.7, com um arquivo *TMY (Typical Meteorological Year)* para a cidade de Viçosa-MG (GUIMARÃES; CARLO, 2015). A simulação gerou dados de consumo de energia para o período de um ano completo. A criação do modelo foi fiel à geometria do edifício real, com os três pavimentos (Térreo + Pavimento 1 + terraço) e o ático do tipo *shed*, sendo que a área de vendas apresenta pé-direito duplo. As platibandas foram modeladas como proteções solares, assim como alguns edifícios vizinhos que não estavam em contato direto com o envelope do supermercado, já os edifícios em contato direto foram modelados como zonas térmicas (Figura 12).

Figura 12 - Perspectiva noroeste do modelo com o entorno imediato



 Supermercado Viçosense

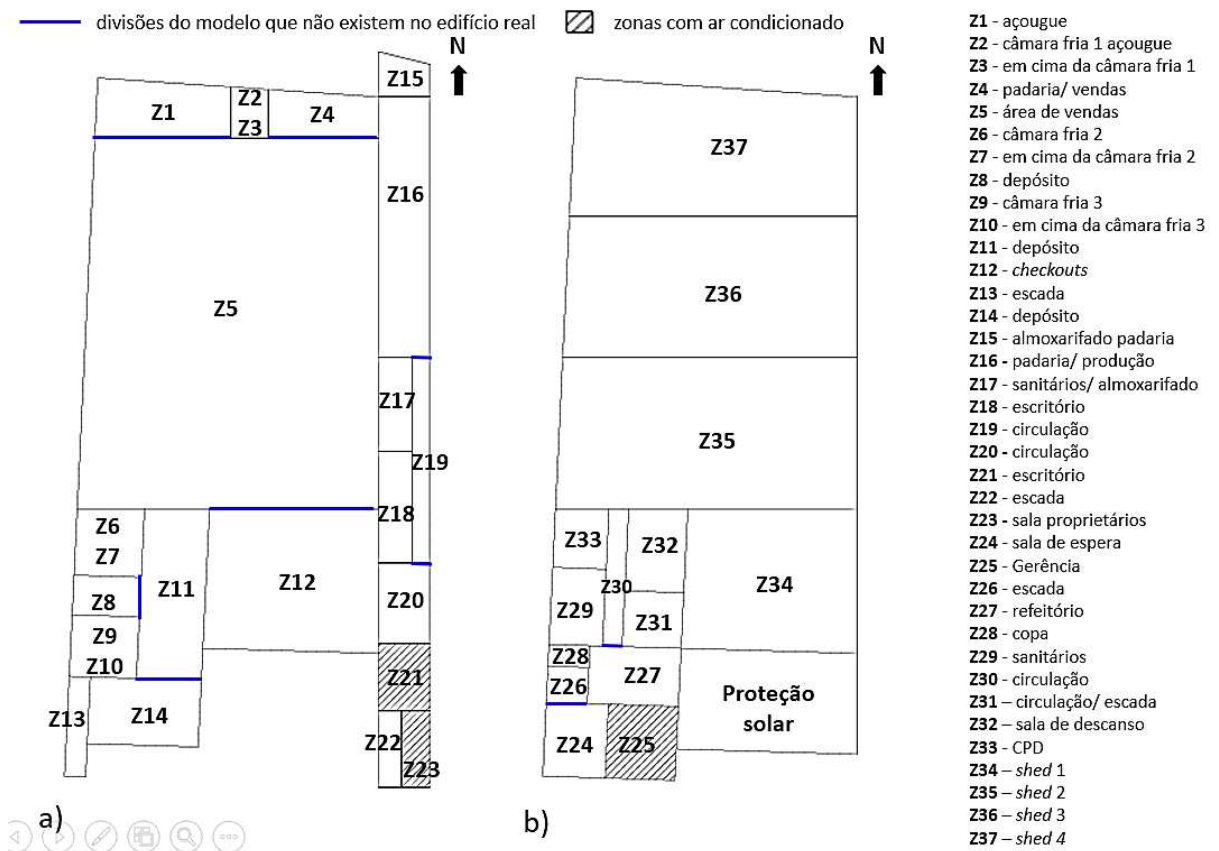
Características do modelo:

- Dimensões: 41,40 m x 16,65 m x 6,00 m (ponto mais alto do *shed*);
- Pé direito: 4,50 m no Térreo e 2,75 m no Pavimento 1, e o ponto mais alto do *shed* com 1,50 m;
- Orientação da entrada principal: 0° S;
- Clima: arquivo climático de Viçosa TMY (GUIMARÃES; CARLO, 2015);

O modelo foi configurado com 37 zonas térmicas (Figura 13), sendo que três zonas térmicas representam as áreas livres acima das câmaras frias, que apresentam pé-direito menor do que o pavimento 1 (Z3, Z7 e Z10). A cobertura foi dividida em quatro zonas térmicas (Z34, Z35, Z36 e Z37), cada zona representando um *shed*.

Algumas áreas, principalmente na parte de vendas, precisaram ser divididas em zonas térmicas distintas, apesar de não terem paredes ou divisórias entre si, devido às diferenças de pé-direito e a limitação do *EnergyPlus* em simular geometrias não retangulares. A especificação do elemento vertical que divide estas áreas foi em forma de janelas com 100% do vão livre para ventilação durante o ano todo, permitindo assim as trocas de ar.

Figura 13 - Zonas térmicas do Supermercado Viçosense: a) Térreo e b) Pavimento 1



O edifício apresenta diferentes sistemas construtivos, principalmente devido às diversas reformas realizadas. O levantamento *in loco* indicou os componentes da Tabela 9. Para as janelas foi especificado um vidro simples de 3 mm do banco de dados do *EnergyPlus*.

Tabela 9 - Especificação dos materiais construtivos utilizados no Supermercado Viçosense

Componentes	Materiais	Espessura (cm)	Transmitância (W/m ² K)	Capacidade térmica (KJ/m ² K)	Absortância solar
Parede externa	Argamassa	2,50			
	Bloco cerâmico maciço	20,00	2,29	433	0,15
	Argamassa	2,50			
Parede interna 1	Argamassa	2,50			
	Bloco cerâmico	14,00	2,46	150	0,15
	Argamassa	2,50			
Parede interna 2	Argamassa	2,50			
	Bloco cerâmico	9,00	1,85	161	0,15
	Argamassa	2,50			
Portas e divisórias internas	Madeira	0,50			
	Câmara de ar	3,00	2,70	8	0,60
	Madeira	0,50			
Câmara fria	Fechamento aço	0,08			
	EPS	15,00	0,25	11	0,25
	Fechamento aço	0,08			
Laje	Cerâmica	2,00			
	Contrapiso	3,00	4,00	309	0,15
	Concreto	10,00			
Telhado	Telha metálica	0,08	4,76	3	0,25

Fonte: Elaborado pelo autor com base no Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros da Portaria de nº 50/2013 do Inmetro (INMETRO, 2013) e na NBR 15220 (ABNT, 2005b).

Os padrões de uso e ocupação foram definidos conforme os horários de trabalho dos funcionários e de atendimento ao público (Apêndice B), considerando a média mensal de *checkouts*. A distribuição do número de clientes ao longo do dia foi fornecida pela administração, e do número de funcionários por ambiente conforme postos de trabalho. Foi utilizada a ASHRAE 55 (2013) para especificar a taxa metabólica assim como no estudo do Supermercado Escola.

O consumo médio das lâmpadas e de cada equipamento foi pesquisado em *websites* de fabricantes. No caso da iluminação, o sistema foi considerado ligado durante todo o horário de uso do edifício. Já para os equipamentos foram estabelecidos dois padrões de uso, equipamentos que funcionam durante todo o horário de expediente e àqueles que funcionam parcialmente ao longo do dia. O sistema de refrigeração funciona 24h por dia, e o *EnergyPlus* apresenta modelos específicos para simulação de refrigeradores e câmaras frias.

A ventilação foi configurada com sistema de condicionamento artificial de ar nos escritórios e ventilação natural no restante do edifício. Os coeficientes de pressão (C_p) para o modelo foram obtidos por meio do *CpSimulator* (2020). Os C_p s foram obtidos para todas as aberturas externas e inseridos no *EnergyPlus*, com ângulos de incidência do vento com intervalos de 15° .

O sistema de condicionamento artificial de ar *split* do Supermercado Viçosense localiza-se apenas na área administrativa, composta por 3 salas de diferentes dimensões, que somadas totalizam 38 m^2 (cerca de 3,9% da área total). A parte administrativa é representada por três zonas: Z21 ($12,2 \text{ m}^2$); Z23 ($7,7 \text{ m}^2$); e Z25 ($18,1 \text{ m}^2$). Nestas zonas foi utilizado um sistema de condicionamento artificial de ar do tipo bombas de calor configuradas com auto dimensionamento para *setpoint* de 18°C para aquecimento no inverno e 24°C para refrigeração para o verão.

3.2. Modelo representativo

A criação do modelo representativo foi baseada em metodologias como a empregada por Carlo e Lamberts (2010) e Telles (2016), com o uso de imagens de satélites do *Google Maps*, do *Google Street View* e do *Google Earth* para levantar as características construtivas da amostra de supermercados. As informações referentes às dimensões foram coletadas por meio da ferramenta de medição do *Google Earth* e de análise de imagens do *Google Maps* e do *Google Street View*, utilizando como referência medidas convencionais de portas ou altura padrão de pessoas. Os materiais construtivos foram identificados pelas imagens de satélites e recursos do *Google Street View*, que permitem a visualização bidimensional e panorâmica das vias urbanas.

Foram levantadas as características construtivas externas de supermercados de médio porte no Brasil usando como universo amostral o relatório da ABRAS (2021), referente ao ano de 2020. Este conta com as informações fornecidas de forma voluntária por cerca de 900 empresas do setor supermercadista, com informações sobre mais de 8 mil lojas do setor. O levantamento recebeu um recorte para a região Sudeste (escopo do trabalho), que concentra cerca de 50% de todas as lojas respondentes (Tabela 10).

Tabela 10 – Localização das lojas respondentes

Região	lojas respondentes (%)
Sudeste	49,8
Sul	28,8
Nordeste	12,3
Centro-Oeste	6,1
Norte	3,0
Total	100,0

Fonte: ABRAS (2021), adaptado pelos autores.

Assim, para constituir a amostra a ser levantada, foram selecionadas as empresas respondentes localizadas na região Sudeste em que o número médio de funcionários³ (número total de funcionários dividido pelo número de lojas) se encontrasse entre 50 e 99 contratados, sendo classificados como empresas de médio porte segundo o IBGE.

De acordo com essa premissa, do total de lojas respondentes do Sudeste, 1.172 foram consideradas de médio porte (20%). Foram descartadas lojas com problemas de cadastro (algumas informações foram ocultadas no relatório) e lojas localizadas em edifícios de uso misto que não se enquadram no escopo da pesquisa. Além disso, algumas lojas não foram encontradas no *Google Maps* e alguns casos foram descartados, pois não apresentavam imagens atualizadas no *Google Street View*, como imagens antes de sua construção, o que impossibilitou o levantamento das características construtivas.

Ao final do levantamento foram considerados 229 supermercados válidos para a amostra (Figura 14 e Gráfico 3). O levantamento remoto foi realizado no período entre janeiro e março de 2022.

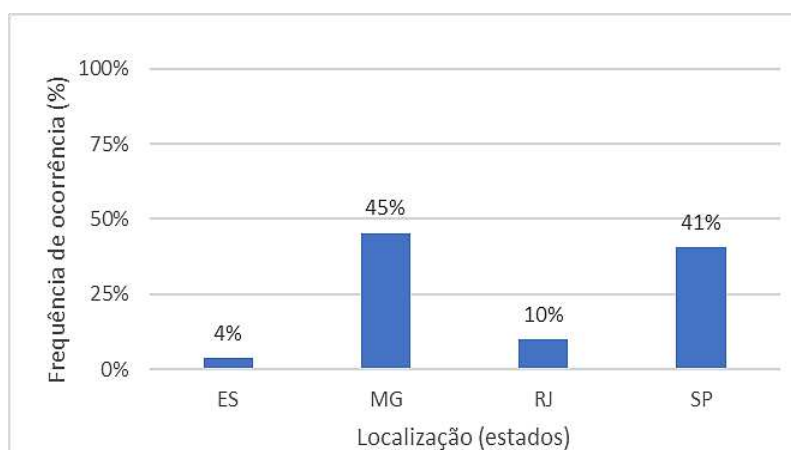
³ Apesar do relatório utilizar os dados gerais por empresas e algumas dessas terem um número elevado de lojas, parte-se da premissa de que as redes de supermercado trabalham com lojas de porte padrão, assim, é possível considerar a média do número de funcionários por loja.

Figura 14 – Distribuição dos supermercados da amostra na região Sudeste



Fonte: Google Imagens ©2023 TerraMetrics (GOOGLE EARTH, 2023a).

Gráfico 3 - Localização dos supermercados da amostra por estado



Fonte: os autores com base no relatório da ABRAS (2021).

No Quadro 1 são indicadas as características construtivas levantadas de cada supermercado, além de informações gerais contidas no próprio relatório da ABRAS. Após o levantamento das características construtivas dos 229 supermercados, foi calculada a frequência de ocorrência e a média para as variáveis contínuas e a frequência de ocorrência para as variáveis categóricas. As características mais recorrentes foram adotadas no modelo representativo. Já as configurações relacionadas aos sistemas internos e ao consumo por usos finais foram baseadas nos dois estudos de caso realizados previamente.

Quadro 1 – Informações levantadas

Informações gerais	Base de levantamento
Empresa	Relatório da ABRAS (2021)
Nº de lojas	
Razão social	
Nome fantasia	Google
Endereço	Google Maps
Telefone	
Variáveis contínuas	Base de levantamento
Nº de checkouts por loja (média da empresa)	Relatório da ABRAS (2021)
Área de vendas por loja (média da empresa)	
Nº de funcionários por loja (média da empresa)	
Área de projeção da cobertura (m ²)	Google Earth
Altura do pé-direito (m)	Google Street View
PAF da fachada frontal para iluminação	
PAF da fachada frontal para ventilação	
PAF das demais fachadas (iluminação e ventilação)	
Variáveis categóricas	Base de levantamento
Tipo de cobertura	Google Maps
Absortância da cobertura	
Sistema construtivo	Google Street View
Absortância da fachada frontal	
Absortância das demais fachadas	
Localização do estacionamento	Google Maps e Google Street View
Número de fachadas sombreadas	
Presença e tamanho das unidades de condensação	
Presença de sistema fotovoltaico na cobertura	Google Maps

Além disso, foi criado um banco de imagens para futuras consultas com a fotografia por satélite do *Google Earth* demarcando a área de projeção da cobertura dos supermercados, a foto da fachada frontal, e fotos das unidades de condensação (Figura 15).

Figura 15 – Exemplo dos registros de imagem para um dos supermercados levantados: vista aérea com demarcação da projeção da cobertura (à esquerda); fachada frontal (ao centro); e unidades de condensação (à direita)



Fonte: Google Earth Image ©2023 Airbus (GOOGLE EARTH, 2023b).

3.3. Simulações paramétricas

Após a criação do modelo representativo, foram realizadas simulações paramétricas de variáveis indicadas pela literatura e identificadas nos estudos de caso como intervenientes no consumo de energia elétrica. Elas foram divididas em dois grandes grupos: o primeiro chamado de parâmetros construtivos, que envolve características da edificação em si, assim como questões de localização (clima) e entorno (sombreamento); e o segundo, que são parâmetros dos sistemas internos, que são os principais usos finais identificados nos estudos de caso (Quadro 2).

O software *EnergyPlus*, versão 8.7, foi utilizado com arquivos TMY (*Typical Meteorological Year*) para 8 cidades da região Sudeste, cada uma representando uma Zona Bioclimática existente no Brasil segundo a ANBT (2005). As simulações paramétricas tiveram o objetivo de criar um banco de dados de intensidade de consumo e identificar quais variáveis têm maior influência sobre o consumo final de energia para utilizá-las na criação de uma equação de *benchmark*.

Foram selecionados oito parâmetros para serem variados (Quadro 2). A variável resposta utilizada foi a intensidade de consumo anual de energia elétrica EUI (*Energy Use Intensity*) fornecida em kWh/m²/ano. As simulações paramétricas resultaram em um banco de dados de consumo de energia elétrica de 1536 modelos simulados.

Quadro 2 – Parâmetros selecionados para simulação

Nº de variações	Parâmetros construtivos	Nº de variações	Parâmetros dos sistemas**
3	Área total (m²)	2	Equipamentos (W/m²)
2	Transmitância térmica da cobertura (W/m²K)	2	Sistema de iluminação (W/m²)
2	Transmitância térmica das paredes (W/m²K)	2	Sistema de refrigeração (W/m²)
2	Sombreamento do entorno (Fator de forma exposta)	-	
8	Zonas Bioclimáticas* (Graus-dia de resfriamento - GDR) e (Graus-dia de aquecimento - GDA)		
Total: 1536 observações			

* Foi selecionada uma cidade do Sudeste por zona bioclimática;

** Para os parâmetros de sistemas foram utilizadas as densidades de carga interna instalada.

Os parâmetros construtivos foram variados segundo o levantamento realizado para a criação do modelo representativo. Foram estipuladas 3 áreas distintas de acordo com a média e as maiores frequências de ocorrência (Quadro 3). Na cobertura, foi adotada a telha metálica, que foi o material mais identificado no levantamento. Entretanto, é possível identificar apenas o componente externo da telha por imagens de satélite e, como nos estudos de caso foi identificado o uso da telha sanduíche, esta também foi adotada como uma variação. Nas paredes foram adotados blocos cerâmicos e blocos de concreto e para o sombreamento a maior frequência ocorreu para o caso com duas fachadas sombreadas. A opção sem nenhum sombreamento do entorno foi adotada como variação, o objetivo foi obter uma sensibilidade maior para identificar a influência desse parâmetro no consumo de energia da tipologia, apesar de não estar entre as maiores ocorrências. Assim, o fator de forma exposta foi utilizado como unidade de grandeza, este é adimensional e é calculado dividindo-se a área externa de fachada exposta pelo volume da edificação.

Quadro 3 – Variações dos parâmetros construtivos

Variação	Área total (m²)	Transmitância térmica da cobertura (W/m²K)	Transmitância térmica das paredes (W/m²K)	Sombreamento do entorno (Fator de forma exposta)
1	P=800	0,68 (telha sanduíche)	2,46 (bloco cerâmico)	Duas fachadas sombreadas P=0,24 / M= 0,19 / G=0,15
2	M=2800	4,76 (telha metálica)	2,78 (bloco de concreto)	Nenhuma fachada sombreada P=0,34 / M=0,23 / G=0,19
3	G=3920	-	-	-

Para a variação das Zonas Bioclimáticas (ZBs) foram selecionados arquivos climáticos de 8 cidades diferentes do Sudeste do Brasil, cada uma representando uma ZB. A escolha das cidades foi baseada na distribuição geográfica, de forma a abranger a extensão territorial da área de estudo (Figura 16), além de considerar outras características como latitude, altitude, graus-dia de resfriamento e graus-dia de aquecimento (Tabela 11), sempre buscando uma maior variabilidade dentro dessas características.

Figura 16 – Distribuição geográfica das cidades selecionadas



Fonte: Google Imagens ©2023 TerraMetrics (GOOGLE EARTH, 2023a).

Tabela 11 – Características das cidades selecionadas

Cidade	UF	ZB	Lat.	Long.	Alt. (m)	Temperatura de base		
						10°C	18°C	18°C
						Graus-dia de resfriamento	Graus-dia de resfriamento	Graus-dia de aquecimento
Poços de Caldas	MG	1	-21,84	-46,57	1260	3548	816	188
Teresópolis	RJ	2	-22,45	-42,99	981	3218	654	357
São Paulo	SP	3	-23,50	-46,62	793	3739	976	157
Sete Lagoas	MG	4	-19,47	-44,25	732	4388	1492	24
Santos	SP	5	-23,92	-46,29	3	4565	1675	30
Presidente Prudente	SP	6	-22,17	-51,42	450	5039	2204	85
Monte Azul	MG	7	-15,08	-43,75	603	5154	2234	0
Vitória	ES	8	-20,32	-40,32	10	5239	2319	0

Os estudos de caso (auditorias energéticas) e as densidades de consumo estabelecidas pela norma INI-C (INMETRO, 2021) foram as principais referências para a variação dos parâmetros dos sistemas consumidores de energia elétrica. Foram adotados dois casos para a densidade de carga interna instalada de equipamentos (W/m^2), um mais eficiente e um menos eficiente, porém, apenas as auditorias energéticas foram utilizadas como referência, visto que os valores estabelecidos nas normas eram muito inferiores aos encontrados nos supermercados em operação. Foram estabelecidos dois padrões de uso, um para equipamentos em

uso contínuo durante o horário comercial e outro para equipamentos em uso intermitente, acionados apenas em algumas horas do dia (Tabela 12).

Tabela 12 – Densidade de carga interna instalada de equipamentos

Ambiente	Eficiente		Menos eficiente	
	uso contínuo (W/m ²)	uso intermitente (W/m ²)	uso contínuo (W/m ²)	uso intermitente (W/m ²)
área de vendas	2,53	3,19	2,96	7,98
área administrativa	18,71	2,37	23,71	2,84
área de produção	97,5	62,46	138,6	97,84
depósitos e outros	1,17	25,38	9,37	47,58

A carga interna instalada de equipamentos não leva em consideração o consumo dos refrigeradores e câmaras frias, pois estes exigem uma modelagem complexa e individual, realizada à parte no *EnergyPlus*. O programa conta com modelos próprios onde é possível especificar as dimensões de cada refrigerador ou câmara fria, e o tipo de interação com o ambiente, portas abertas e fechadas, reabastecimento de alimentos, tipo de iluminação, etc. Além disso, o programa realiza cálculos da troca de calor sensível e latente com o ambiente ao redor.

O número de refrigeradores e câmaras frias para cada modelo foi estipulado de forma proporcional às três diferentes áreas simuladas, com base na média entre os estudos de caso. Para o sistema de refrigeração a variação entre o modelo mais eficiente e o modelo menos eficiente foi feita considerando uma porcentagem de refrigeradores abertos para o segundo caso. As prateleiras refrigeradas de exibição ou os refrigeradores abertos são apontados na literatura como os maiores consumidores de energia em supermercados, devido às trocas de calor com o meio (SUZUKI et al., 2011). Dessa forma, para o caso mais eficiente todos os refrigeradores foram considerados fechados e, para o caso menos eficiente, 15,8% dos refrigeradores foram considerados abertos. Esta porcentagem seguiu o número de modelos de refrigeradores abertos encontrados em um dos supermercados dos estudos de caso, visto que o outro apresentava apenas refrigeradores fechados.

A densidade de potência de iluminação (DPIL) foi estabelecida com base nas auditorias energéticas e na INI-C (2021). Também foram adotados dois casos, um mais eficiente e um menos eficiente (Tabela 13). Foi considerado o menor e o maior

valor encontrado, seja nas auditorias energéticas ou para a classificação A e B da INI-C, pois durante os estudos de caso observou-se que os supermercados já utilizam tecnologias mais eficientes de iluminação (lâmpadas *LED*) ou, em casos menos eficientes, lâmpadas fluorescentes.

Tabela 13 – Densidade de potência de iluminação (DPIL)

	Eficiente	Menos eficiente
Ambiente	DPIL (W/m²)	DPIL (W/m²)
área de vendas	3,46	5,24
área administrativa	3,16	11,40
área de produção	3,68	13,31
depósitos e outros	2,92	5,97

3.3.1. Banco de dados de consumo de energia

Como já mencionado, o Brasil não apresenta bancos de dados de consumo de energia para supermercados. Assim, foram gerados dados de intensidade de consumo por simulação paramétrica, como sugerido por Pérez-Lombard *et al.* (2009). As simulações geraram um banco de dados de 1536 modelos com os consumos de energia elétrica para o período de um ano completo. Do total de modelos simulados, 80% dos casos (1228) foram utilizados para constituir uma amostra de treino, que teve como objetivo servir de base para a análise de sensibilidade das variáveis preditoras, para identificar aquelas com maior influência na intensidade de consumo, que foram utilizadas na equação de regressão linear múltipla (abordagem *bottom-up*). Essa amostra também foi utilizada para realizar a análise de percentil, que faz parte da abordagem *top-down*. A separação da amostra foi feita por sorteio aleatório realizado no programa R (R Development Core Team, 2022). O restante, 20% dos casos (308 modelos), foram reservados para compor uma amostra de validação.

3.4. Abordagem *bottom-up* (regressão linear múltipla)

A maioria dos trabalhos identificados na literatura foram realizados para climas frios e edificações com sistema centrais de condicionamento de ar, inclusive na área de vendas, o que não é recorrente para supermercados no Brasil conforme o

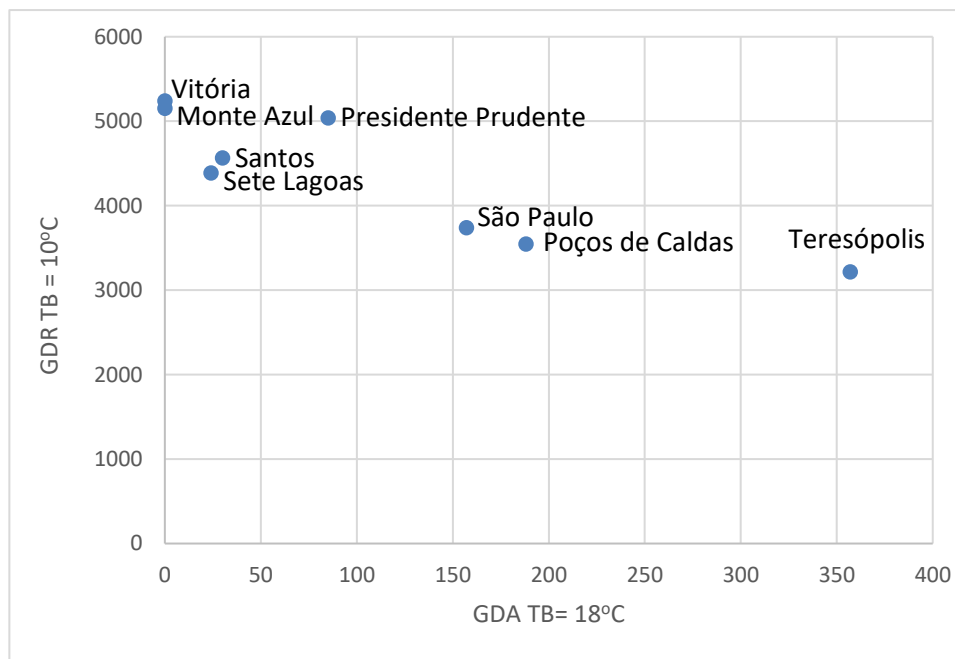
PROCEL (2008). Assim, a análise de sensibilidade foi realizada para os supermercados com modo de condicionamento natural nas áreas de vendas, somente influenciado por equipamentos de refrigeração em clima predominantemente tropical.

80% dos dados gerados durante a criação do banco de dados paramétricos foi usada na análise de sensibilidade a fim de eliminar variáveis preditoras que não exercem forte influência sobre a variável dependente, visto que em uma regressão múltipla quanto mais variáveis, mais difíceis se tornam as análises, e para cada parâmetro estimado perde-se um grau de liberdade. Muitas vezes, as análises dos padrões mais fortes são mais eficazes para detectar efeitos na variável dependente do que equações que usam toda a variabilidade.

Primeiramente foram realizadas regressões lineares simples por variável preditora:

- ZB = zona bioclimática;
- GDR = graus-dia de resfriamento (Figura 17);
- GDA = graus-dia de aquecimento (Figura 17);
- área = área total;
- refrigeração = demanda de refrigeração;
- MDR = modelo de refrigerador;
- IL = carga de iluminação;
- EQ = carga de equipamentos;
- paredes = transmitância térmica de paredes;
- cobertura = transmitância térmica de cobertura;
- sombreamento = fator de forma exposta.

Figura 17 - Graus-dia de resfriamento e graus-dia de aquecimento das 8 cidades adotadas para as simulações paramétricas.



Durante o estudo de sensibilidade também foi analisada a dispersão de cada variável pela intensidade de consumo, a fim de verificar outras premissas da regressão linear múltipla, como a de que as relações são lineares e a de que a variabilidade é constante ao longo da linha de regressão. Utilizou-se os histogramas para entender separadamente a relação de cada variável preditora com a variável resposta, a intensidade de consumo anual (EUI).

Uma função ANOVA identificou quais variáveis eram significativas, ou seja, valores de $p < 0,05$. Para estas foi realizada uma matriz de correlação e as demais foram descartadas. Ainda com a matriz, variáveis que apresentaram uma correlação forte com outras foram eliminadas, mantendo-se as que representassem melhor o modelo.

Uma análise de componentes principais (PCA) foi feita concomitantemente a essas duas análises anteriores, agrupando os modelos em três grupos definidos pela área total, uma das principais variáveis preditoras. A PCA também foi utilizada para identificar a relação entre as variáveis preditoras e determinar quais variáveis foram mais representativas para cada grupo de supermercados. Com a eliminação das variáveis menos significativas e das variáveis com alta correlação foi conferido se os

valores de p para as variáveis restantes continuavam significativos, mesmo após a eliminação das demais.

Por fim, uma análise de regressão linear múltipla foi conduzida usando as variáveis consideradas mais significativas para estimar a relação entre a variável dependente e aquelas que exercem influência sobre ela (as variáveis independentes ou explanatórias).

O modelo de regressão linear múltipla é uma versão ampliada do modelo de regressão linear simples que permite mais de uma variável preditora. Ele é descrito por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: Y é a variável dependente; $X_1, \dots, X_k$ são as variáveis explanatórias, com k sendo o número de variáveis; $\beta_0, \dots, \beta_k$ são os coeficientes de regressão; e ε é o erro (ou resíduo), que é calculado pela diferença entre os valores previstos e os valores reais (medidos ou simulados).

A equação é capaz de prever a intensidade de consumo de outros supermercados que não fazem parte da amostra de treino, mas que estão dentro do escopo desta pesquisa. A amostra reservada anteriormente para validação foi utilizada para comparar a intensidade de consumo desses modelos, por meio dos EUI previstos (equação) e EUI simulados (*EnergyPlus*). Utilizou-se o *CVRMSE* e o *NMBE* como índices de validação.

3.5. Abordagem *top-down* (análise de percentil)

A abordagem *top-down* é, geralmente, orientada com base em um conjunto de dados onde é levantada a intensidade de consumo de energia de uma amostra representativa de determinada tipologia. Neste caso, devido à falta de um banco de dados reais de consumo de energia elétrica em supermercados, uma amostra foi criada com base em simulações paramétricas de um modelo representativo para a tipologia. Nas abordagens orientadas por dados o processo é realizado por meio de análise de percentil.

3.6. Comparação entre as abordagens

A métrica de comparação adotada foi a normalização do consumo de energia elétrica pela área total dos supermercados para identificar a intensidade de consumo. Com os dois *benchmarks* criados foi possível comparar as duas abordagens, identificando pontos positivos e negativos nos dois métodos (tempo e complexidade) numa análise qualitativa baseada no relato de experiência do simulador. Foi realizada também uma análise quantitativa por meio da comparação entre os valores de referência das intensidades de consumo de energia obtidos em cada abordagem (escalas). Além disso, os estudos de caso foram usados para identificar a diferença entre a localização dos consumos simulados na escala geral do *benchmark* para cada uma das abordagens, ou seja, a variabilidade em relação ao *benchmark*, para identificar se as abordagens geram classificações diferentes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estudos de caso

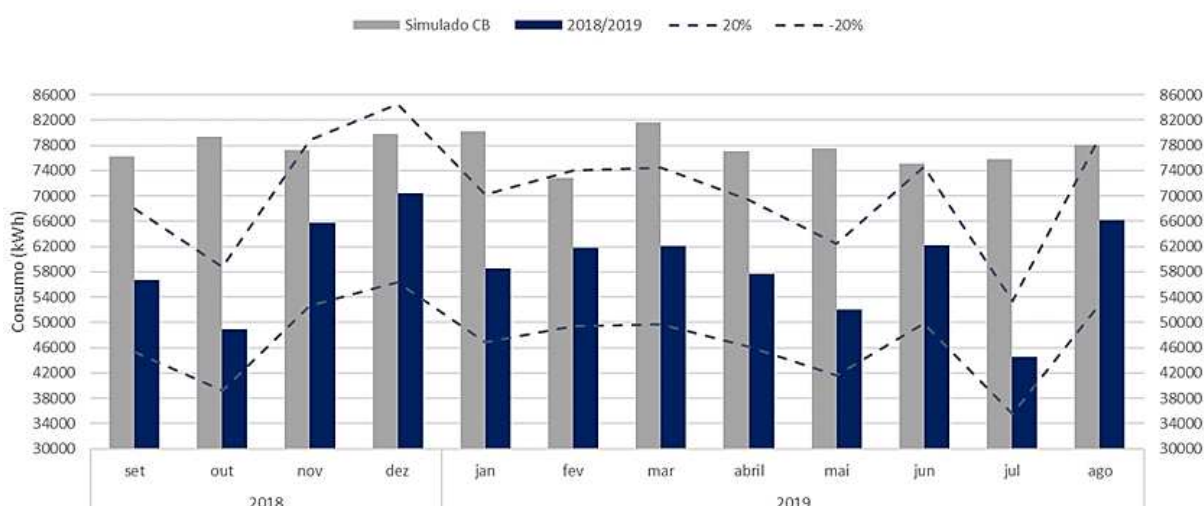
4.1.1. Supermercado Escola

Após a primeira simulação do modelo do Supermercado Escola, chamado Caso Base (CB), foi comparado o consumo de energia anual simulado com o consumo de energia de faturas da concessionária (Gráfico 4). O consumo do CB foi de 930.888 kWh (310,7 kWh/m²/ano), enquanto as faturas de energia somaram 706.880 kWh (235,9 kWh/m²/ano). Isto demonstrou a necessidade de calibração, visto que valor máximo de referência para diferença anual deve ser de 5% em módulo (WESTPHAL, 2007) e a variação apresentada foi de 31,7% a mais quando comparado as faturas de energia de 2018/2019 com o modelo simulado.

Na análise do consumo de energia do Gráfico 4, foi indicado, em linhas tracejadas, o intervalo máximo de variação mensal no consumo aceito pela literatura, que é de 20% em módulo (WESTPHAL, 2007).

O CB não apresentou variações mensais significativas no consumo de energia, como o observado nos valores registrados nas faturas, pois não foram estabelecidos padrões de usos específicos para cada mês no Caso Base.

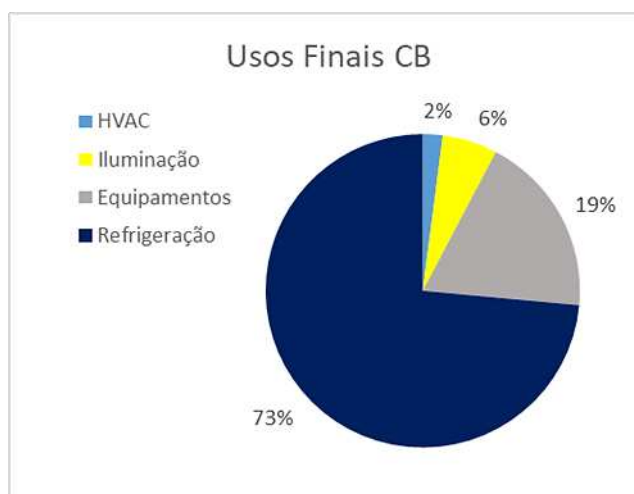
Gráfico 4 - Comparação do consumo mensal de energia simulado (CB – sem calibração) com o consumo registrado em faturas de energia do Supermercado Escola



Os consumos de energia simulados foram divididos de acordo com o uso final. Os resultados mostraram que o principal uso final foi a refrigeração com 74%, seguido de 19% para equipamentos, 6% para iluminação e 2% para consumo de HVAC (Gráfico 5).

O sistema de iluminação foi levantado *in loco* com especificação de lâmpadas e luminárias. Acredita-se que, por esse motivo, exista menos incertezas em sua simulação. O sistema de refrigeração foi considerado o de maior incerteza, devido à grande parcela representativa no consumo total e à falta de especificação dos equipamentos por parte das empresas fabricantes, que levou a adoção de modelos típicos disponíveis no banco de dados do *EnergyPlus*, sendo adaptada apenas as dimensões e as temperaturas operacionais indicadas nos *displays* dos equipamentos em funcionamento. Este foi compensado pelas medições do sistema no segundo monitoramento.

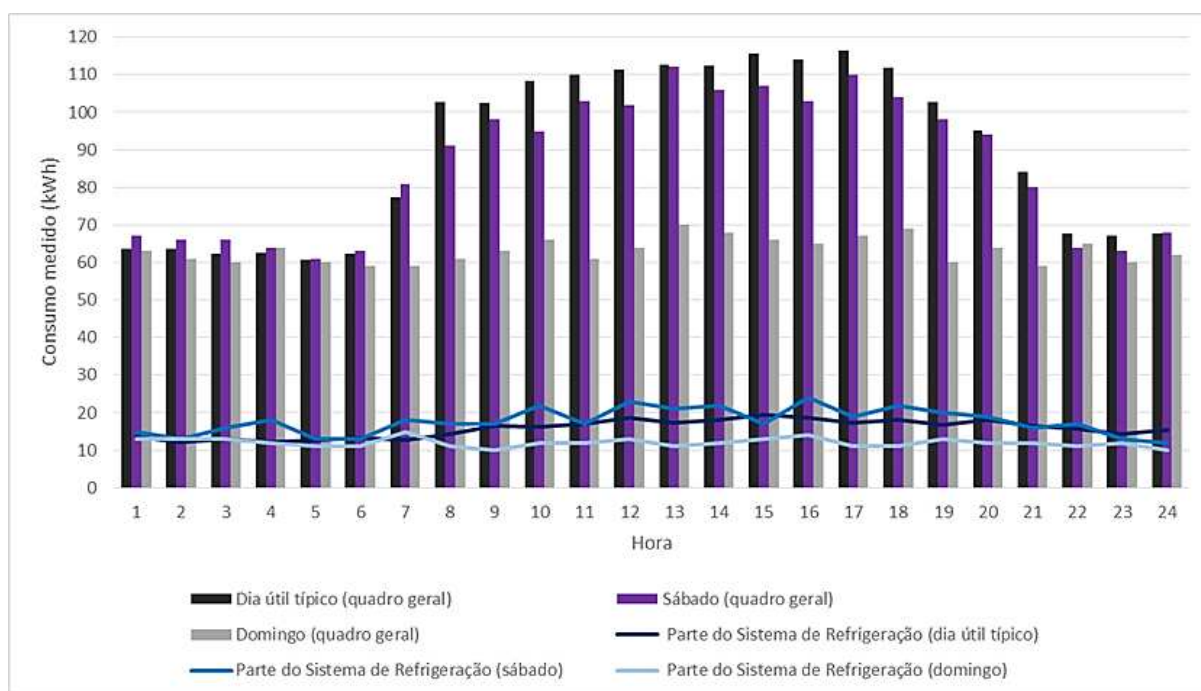
Gráfico 5 - Consumo de energia por usos finais do modelo simulado do Supermercado Escola (CB sem calibração)



Quanto ao monitoramento, o consumo horário de energia elétrica de 24h de um dia útil típico, de um sábado e de um domingo é apresentado no Gráfico 6. A curva de carga obtida ao medir o quadro geral corresponde ao esperado em relação às variações horárias de funcionamento dos equipamentos e de ocupação (funcionários e clientes).

O sistema de refrigeração não apresentou variações significativas de consumo ao longo do dia, entretanto, um aumento foi observado durante os horários abertos ao público (dias úteis e aos sábados), em que há aberturas das portas dos refrigeradores pelos clientes e pelos funcionários.

Gráfico 6 - Consumo de energia medido do Supermercado Escola



A calibração foi realizada em três etapas, iniciadas com a análise do CB para que as primeiras medidas de ajuste fossem propostas.

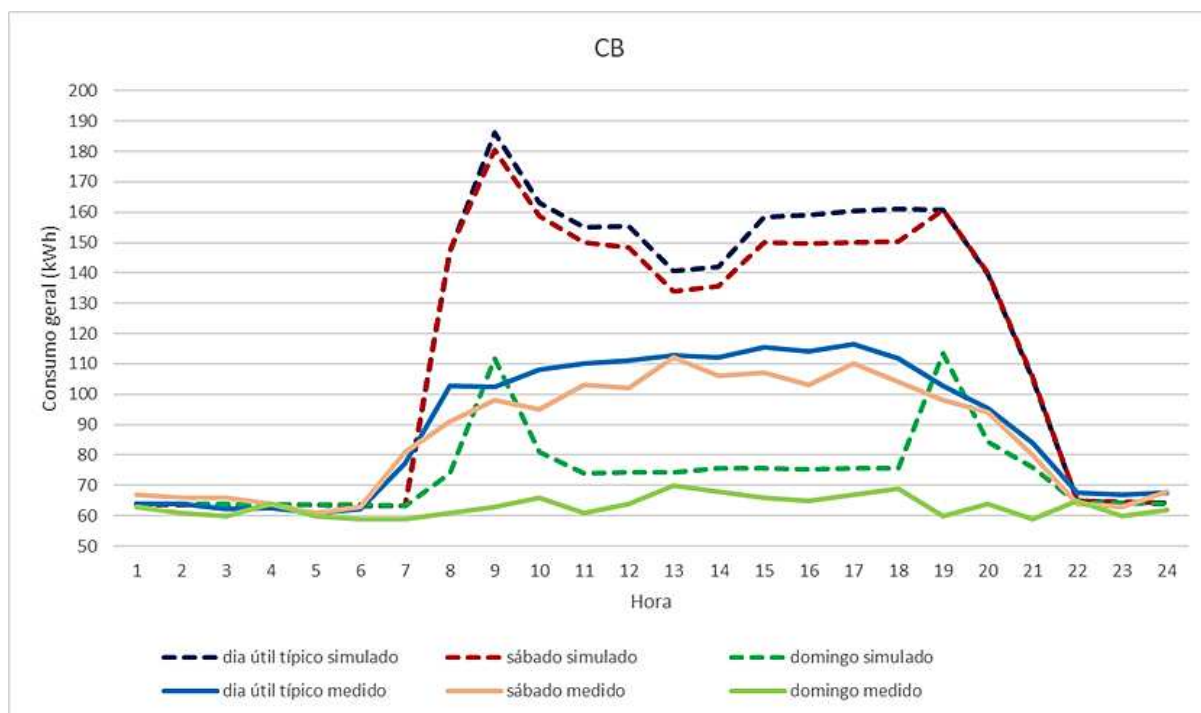
Caso Base (CB): o CB apresentou um consumo anual 31,7% maior que o período de um ano integrado nas faturas de setembro de 2018 a agosto de 2019.

Ao comparar a curva de carga diária (Gráfico 7) foi possível perceber que o modelo simulado estava superestimando o consumo de energia durante os horários de funcionamento do supermercado, já que no período da noite os valores simulados e medidos foram próximos.

Além disso, foram identificados dois picos de consumo no modelo simulado, às 9:00h e às 19:00h, que não condiziam com o comportamento da carga medida ao longo dos dias. Estes picos estavam relacionados com a programação de degelo de

todos os equipamentos de refrigeração do CB, definida para ocorrer duas vezes ao dia na simulação.

Gráfico 7 - Comparação entre o consumo de energia diário medido com o consumo simulado do Caso Base (CB) do Supermercado Escola



Versão 1 (V1) - Ajustes nas configurações do sistema de refrigeração: com a retirada da programação de degelo a diferença no consumo anual do modelo simulado para o modelo medido foi reduzida para 12,7%, na Versão 1 (Gráfico 8).

Na Versão 1 o consumo diário simulado no domingo se aproximou do consumo medido, ficando um pouco abaixo deste e com comportamento mais constante. Entretanto, o consumo no sábado e no dia útil típico ainda se encontra superior dos valores medidos (Gráfico 8).

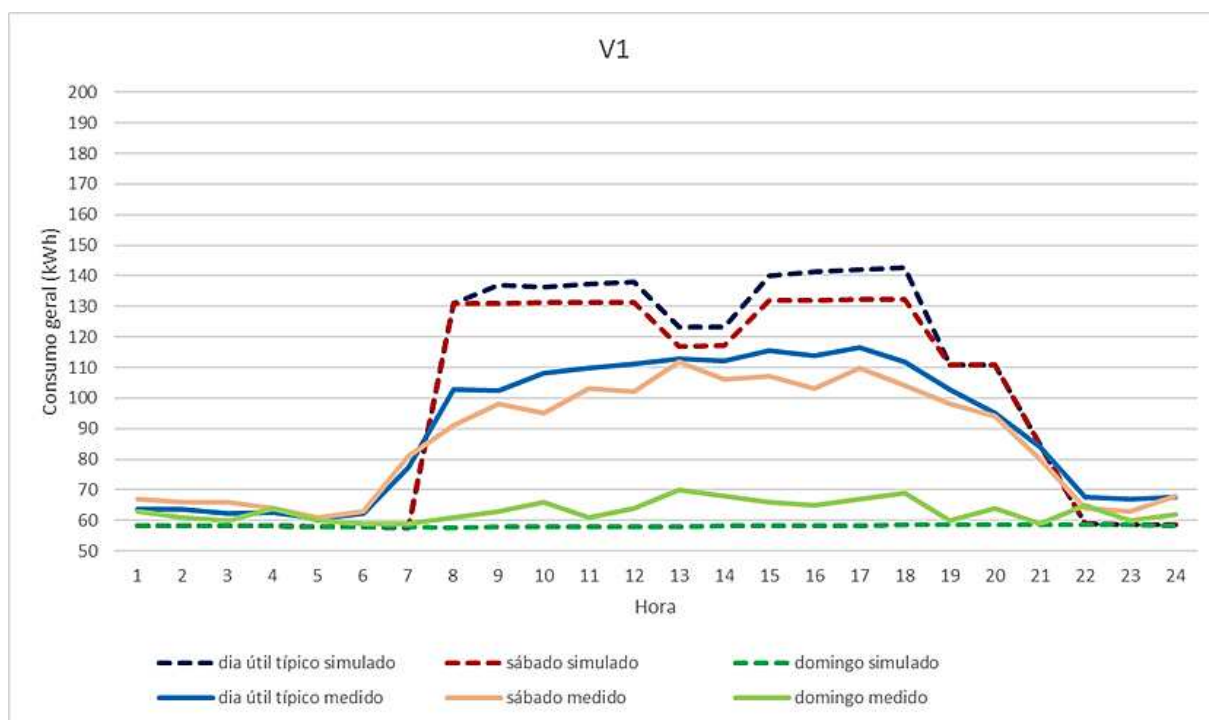
Alguns equipamentos de maior utilização e todo o sistema de iluminação foram configurados para estar 100% em uso durante todo o período de ocupação do supermercado. Porém, o levantamento *in loco* mostrou que nem todas as lâmpadas, equipamentos e salas apresentam este padrão de uso.

Foi notado também que o consumo simulado de sábado apresentou valores muito próximos dos valores simulados para os dias úteis, e nas medições este valor

se encontra reduzido. Tal fato, pode ser explicado pelo expediente do setor administrativo, que ocorre apenas de segunda a sexta e não havia sido diferenciado nos padrões de uso e ocupação.

Além disso, também foi possível perceber a necessidade de ajustes nos horários de uso e ocupação, tanto pela manhã em que o consumo começa a se elevar às 06:00h na medição e no modelo simulado isso só ocorre às 07:00h, quanto no período do horário de almoço (de 12:00h às 14:00h), em que foi considerada uma redução de consumo no modelo simulado e que não foi observada no consumo medido (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Comparação entre o consumo de energia diário medido com o consumo simulado na Versão 1 do modelo (V1) do Supermercado Escola



Versão 2 (V2) - Ajuste nos padrões de uso e ocupação: com as modificações nos padrões de uso e ocupação geral e para o setor administrativo, assim como os ajustes nos horários de almoço, a Versão 2 do modelo simulado apresentou um consumo anual 7,4% maior em relação às faturas de energia.

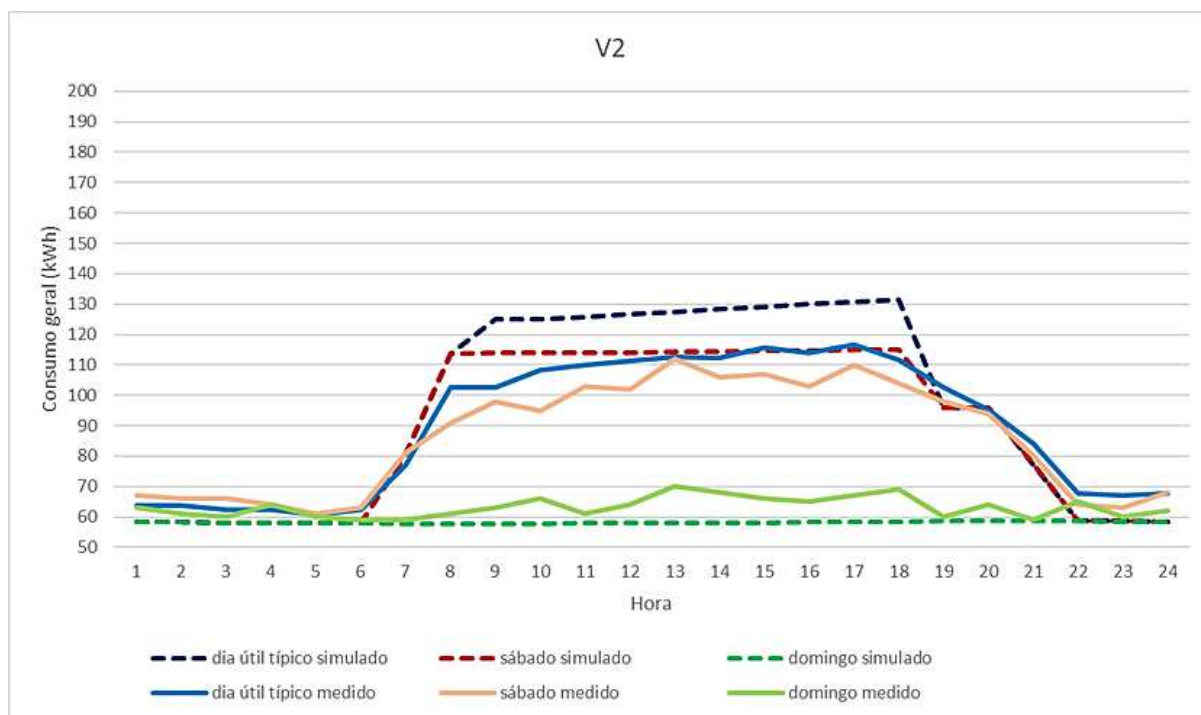
Na Versão 2 o consumo simulado nos horários de funcionamento ainda se encontram superiores à curva de carga medida (Gráfico 9). Entretanto, ao analisar a

variação mensal de consumo das faturas de energia, percebeu-se que reduzir mais o padrão de uso de forma uniforme para todo o ano iria subestimar o consumo de alguns meses específicos, como novembro e dezembro. Por outro lado, meses como outubro, maio e junho ainda precisavam de reduções no consumo, que se encontrava elevado ao ser comparado com as faturas de energia. Assim, percebeu-se a necessidade da criação de um padrão de uso que considerasse variações mensais.

Na Versão 2 de calibração, os padrões de uso de equipamentos e iluminação eram constantes para todos os meses (80% e 90% em uso, respectivamente). Para este edifício, o padrão de uso do sistema de iluminação não sofre variação sazonal, dessa forma, a modificação considerando as variações mensais ao longo do ano foi específica para o uso de equipamentos.

Além disso, foi identificado que os exaustores existentes na cobertura do Supermercado Escola não consomem energia, ao contrário do modelo de exaustor disponível no *EnergyPlus*, que é movido a energia elétrica.

Gráfico 9 - Comparação entre o consumo de energia diário medido com o consumo simulado na Versão 2 do modelo (V2) do Supermercado Escola



Assim, para a Versão 3, foi realizada uma calibração mensal, variando o padrão de utilização dos equipamentos conforme os meses do ano. O padrão de uso foi aumentado para novembro e dezembro (90% em uso) devido à maior intensidade de produção da padaria no período, pelas festas de Natal e foi diminuído para os meses de maio, julho e outubro (20% em uso), que são períodos de menor produção devido a feriados, período de férias e de recesso. Nos outros meses do ano foram adotados valores intermediários (de 40% a 80% em uso) de acordo com as variações mensais na fatura de energia.

Versão 3 (V3) - Ajustes com foco no consumo mensal e na simulação dos exaustores: na Versão 3 de calibração, o consumo anual simulado foi 4,0% maior com relação às faturas de energia, que está dentro da porcentagem de calibração aceita pela literatura (5% em modulo). Portanto, chegou-se ao modelo calibrado.

Com os ajustes mensais obteve-se uma variação ao longo do ano no consumo simulado mais próxima dos valores encontrados nas faturas de energia (Gráfico 10). Além de uma maior aproximação das curvas de carga simuladas em relação a semana medida (Gráfico 11).

Gráfico 10 - Comparação entre a variação mensal do consumo de energia das diferentes versões do modelo simulado e das faturas de energia do Supermercado Escola

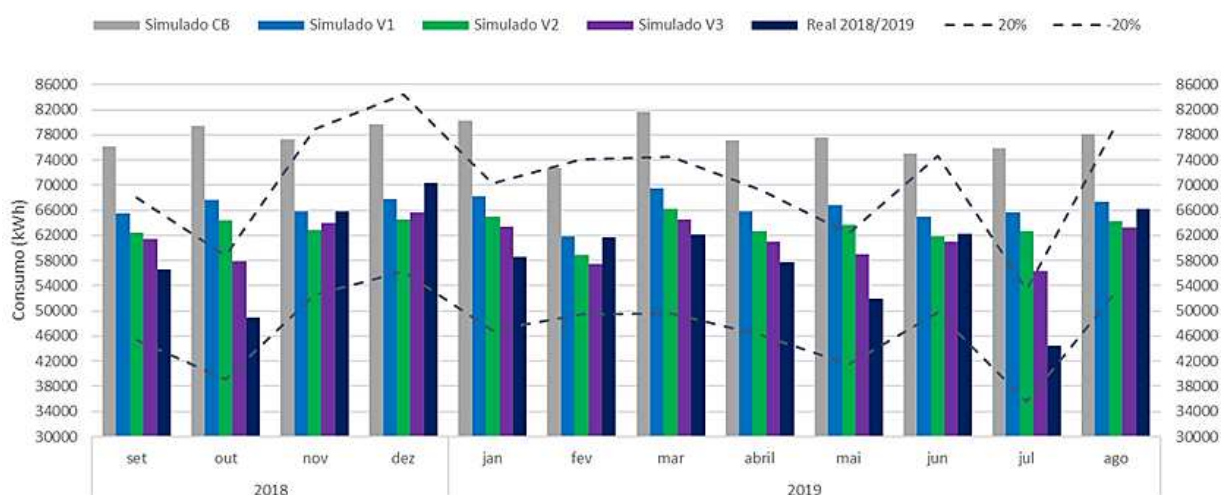
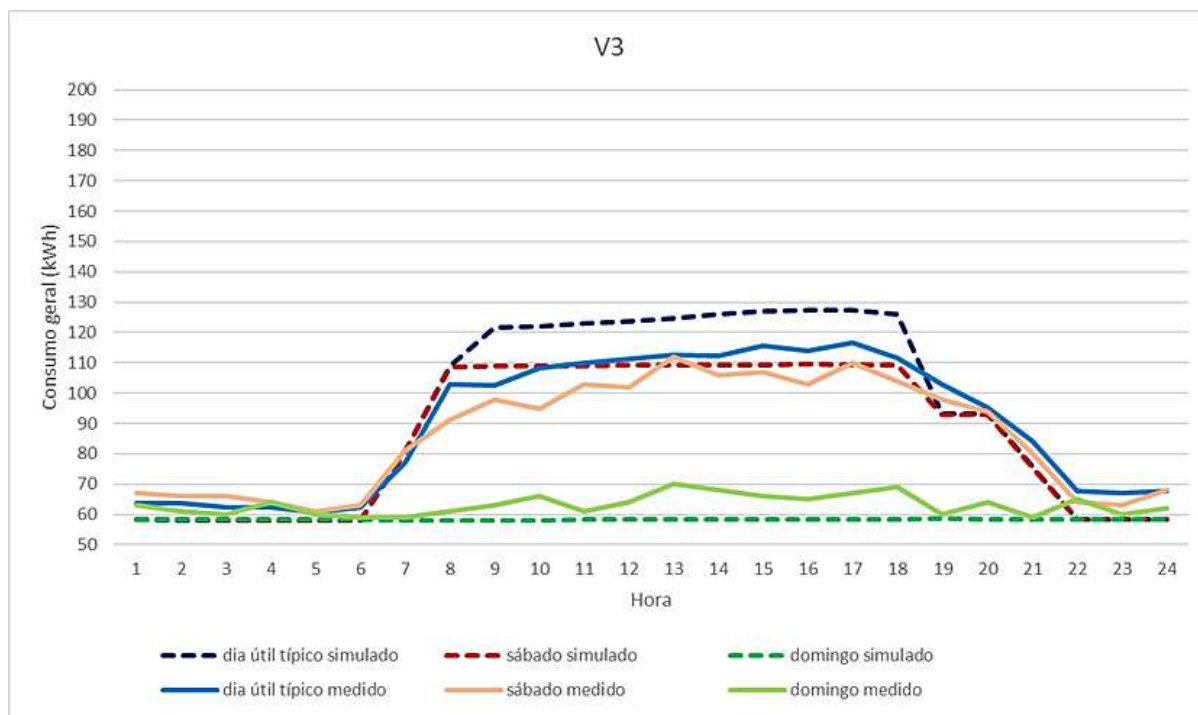


Gráfico 11 - Comparação entre o consumo de energia diário medido com o consumo simulado na Versão 3 do modelo (V3) do Supermercado Escola



O *NMBE* e o *CVRMSE* encontrados entre o modelo calibrado e os consumos horários medidos e das faturas mensais de energia encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela *ASHRAE Guidelines 14* (Tabela 14), validando o processo de calibração.

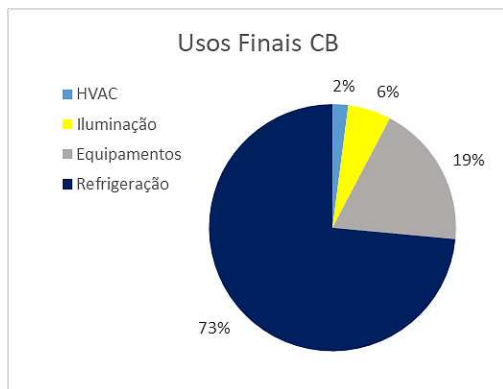
Tabela 14 - Diferenças entre os consumos referenciais e os consumos do modelo calibrado (V3) do Supermercado Escola

Índices estatísticos	Limites calibração horária <i>ASHRAE</i>	Modelo simulado V3			Limites calibração mensal <i>ASHRAE</i>	Modelo simulado V3
		Dia de semana	Sábado	Domingo		Mensal
<i>NMBE</i> (%)	±10	3,22	0,03	-7,74	±5	3,99
<i>CVRMSE</i> (%)	30	11,21	8,44	9,23	15	9,60

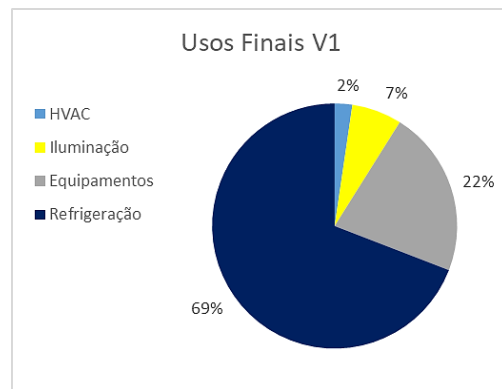
Não houve mudanças significativas nos percentuais de usos finais do modelo ao longo do processo de calibração (Gráfico 12). As alterações foram realizadas nos principais componentes de consumo do edifício, exceto no sistema HVAC, pois este

uso final teve baixa participação no consumo (2%) se comparado aos demais usos finais (iluminação, equipamentos e refrigeração).

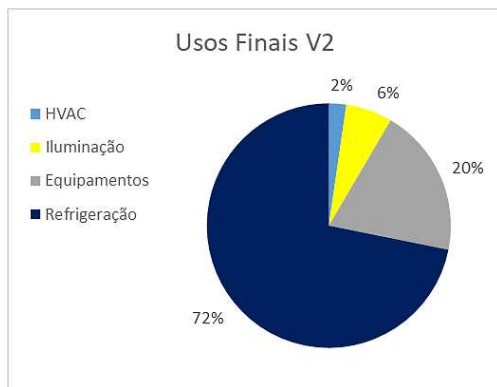
Gráfico 12 - Comparação entre os usos finais de energia das diferentes versões do modelo simulado do Supermercado Escola: a) CB; b) V1; c) V2; d) V3



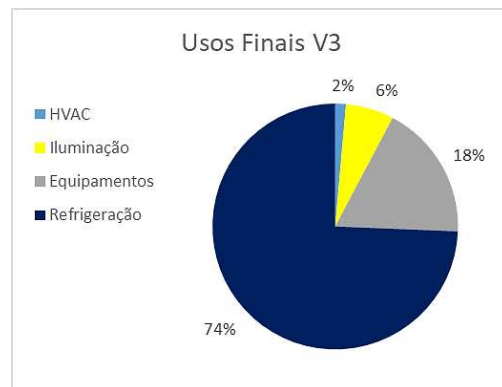
a)



b)



c)



d)

Sobre os resultados do sistema FV, apesar da orientação e da inclinação não serem as mais recomendadas, a implantação do sistema na cobertura apresentou um bom desempenho devido ao entorno livre de obstruções que causam sombreamento. O sistema FV gerou 225.319 kWh no período de um ano, o que representou 30,65% do consumo anual do supermercado (Tabela 15). A instalação do sistema FV na cobertura se mostrou promissora para o supermercado estudado, que tem localização adequada para explorar essa fonte de energia de maneira a elevar a eficiência energética da edificação.

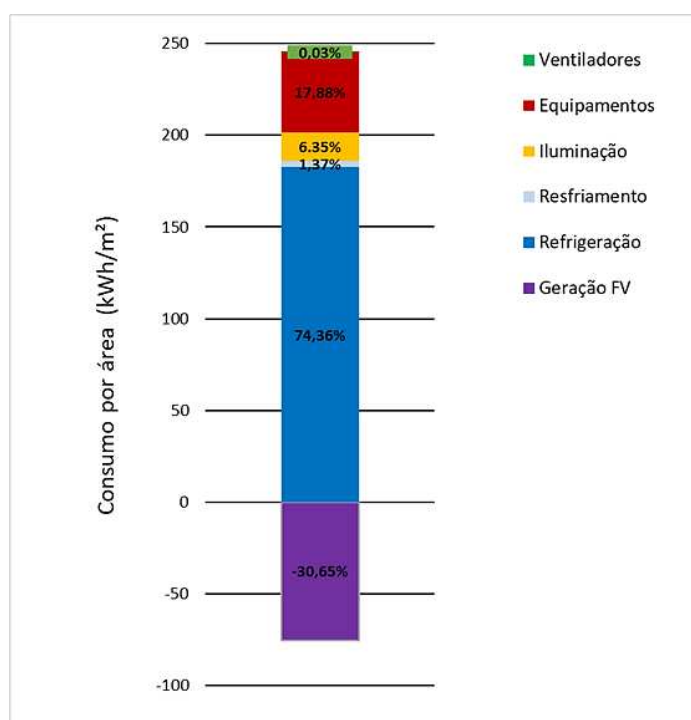
Tabela 15 - Geração fotovoltaica (c-Si / EOD) na cobertura do Supermercado Escola

Gerador	Área do módulo (m ²)	Dimensão (cm)	Nº de strings	Nº de módulos/string	Nº de módulos/gerador	Nº total de módulos	Eficiência máx. simulada (%)	Geração FV/ consumo total (%)
1	1,98	100,2 x 197,9	4	40	160	593	21,38	30,65
2			4	40	160			
3			6	29	174			
4			1	29	29			
5			6	10	60			
6			1	10	10			

A intensidade de consumo do modelo simulado do supermercado foi de 245 kWh/m²/ano (Gráfico 13), considerando a área total do edifício. Ao subtrair a energia elétrica produzida pelo sistema FV inserido na cobertura essa intensidade de consumo se reduz para 170 kWh/m²/ano (área total).

Um ponto que merece destaque é que a energia gerada pelo sistema fotovoltaico na cobertura seria capaz de suprir a demanda de todos os usos finais do supermercado, excetuando o consumo do sistema de refrigeração (Gráfico 13).

Gráfico 13 - Intensidade de consumo (área total) por usos finais do Supermercado Escola



Conhecer os usos finais é importante numa avaliação com vistas à eficiência energética para poder identificar potenciais melhorias e assim gerar uma retroalimentação do projeto, buscando atingir níveis maiores de eficiência em possíveis *retrofits*. Além disso, conhecer o percentual de energia gerenciável e não gerenciável pode auxiliar na proposta de medidas de eficiência energética.

As cargas não gerenciáveis, que são os horários em que o supermercado está fechado (a noite e domingos), e que são basicamente o consumo do sistema de refrigeração, representam 33% do consumo anual, logo, o restante (67%) é caracterizado como cargas gerenciáveis. As cargas gerenciáveis apresentam um potencial de economia de energia, que pode vir atrelada a medidas ligadas ao sistema de refrigeração com ações de indução de clientes para redução de consumo, como aberturas de portas ou troca de refrigerados com opções de acesso sem perdas térmicas para o ambiente, assim como medidas para otimizar o uso do sistema de iluminação e dos equipamentos.

O sistema de refrigeração foi responsável pela maior parcela de consumo de energia (74% em V3), o que é maior do que o indicado na literatura, cerca de 60% do consumo em supermercados condicionados artificialmente (SUZUKI et al., 2011). Como o Supermercado Escola apresenta sistema de condicionamento artificial de ar apenas nos escritórios, é esperado que o sistema de refrigeração represente uma parcela maior do consumo. No sistema de refrigeração é possível notar também o maior uso de refrigeradores com fechamento (48 unidades), sendo poucos exemplares abertos como prateleiras refrigeradas de exibição (9 unidades), que são apontadas nos estudos de supermercados como os grandes consumidores de energia. Assim, além dos tipos de abertura de refrigeradores, é possível que o investimento em estratégias passivas e medidas para a envoltória possa gerar reduções no consumo de energia pelo sistema de refrigeração, ao diminuir o ganho de calor pelos fechamentos verticais e pela cobertura.

O consumo por iluminação representou apenas 6% do consumo total, o que pode ser considerado abaixo do indicado pela literatura para edifícios comerciais, que é cerca de 22% (MANGIAPELO et al., 2011), entretanto, o trabalho é de 2011 e foi publicado antes do aumento da utilização dos *LEDs* no setor de edificações. A gestão energética do Supermercado Escola já atuou na troca de lâmpadas fluorescentes para

modelos mais econômicos de *LEDs* e tem potencial para aproveitamento da iluminação natural por meio dos *sheds* na cobertura. Como medidas de eficiência energética, a automação do sistema, por meio de sensores de presença no setor administrativo e uso de *dimmers* na área de vendas pode incrementar a economia de energia elétrica pelo aproveitamento da luz natural.

Já o sistema de *HVAC* apresentou um consumo pouco significativo (2%), pois apenas a área administrativa do supermercado é condicionada artificialmente, cerca de 200 m² que representa apenas 6,7% da área total. Assim como no sistema de refrigeração, é possível que medidas de eficiência energética adotadas para a envoltória diminuam ainda mais este consumo, ao reduzir as cargas para o resfriamento.

Em uma análise geral, a gestão da edificação se mostra preocupada com a eficiência energética. Entretanto, apesar de utilizar sistemas eficientes, o Supermercado Escola apresenta uma intensidade de consumo de energia elevada. Embora seja classificado como de médio porte, deve-se observar que ele se localiza no limite superior desta classificação com número de funcionários próximo ao limite. Este aspecto é condizente com os serviços oferecidos ao consumidor, que são equiparados a supermercados de grande porte em termos de variabilidade de opções, como área de alimentação e produção em escala industrial na padaria e açougue.

Percebeu-se um grande destaque para o sistema de refrigeração, que é o principal consumidor de energia dentro da tipologia, com equipamentos novos e tecnologia atualizada. A divisão das parcelas gerenciáveis e não gerenciáveis pode trazer novas opções de racionalização do uso da energia para este uso final.

Como a maioria dos sistemas identificados já operam em altos níveis de eficiência, uma nova medida foi investigada a fim de incrementar o desempenho energético da edificação: a geração fotovoltaica na cobertura, que forneceu uma nova opção de economia de energia elétrica e significativa redução do custo operacional do supermercado.

4.1.2. Supermercado Viçosense

Após a primeira simulação do modelo do Supermercado Viçosense, chamado Caso Base (CB), foi comparado o consumo de energia anual simulado com o consumo

de energia de faturas da concessionária (Gráfico 14). O consumo anual do CB foi de 200.247 kWh (200,2 kWh/m²/ano), enquanto as faturas de energia somaram 169.766 kWh (172,7 kWh/m²/ano). Isto demonstrou a necessidade de calibração, visto que o valor máximo de referência para a diferença anual deve ser de 5% em módulo (WESTPHAL, 2007) e o modelo simulado apresentou um consumo anual de energia de 17,95% a mais quando comparado as faturas de energia de 2020/2021.

Na análise do gráfico de consumo de energia (Gráfico 14) foi indicado em linhas tracejadas o intervalo máximo de variação mensal no consumo aceito pela literatura, que é de 20% em módulo (WESTPHAL, 2007).

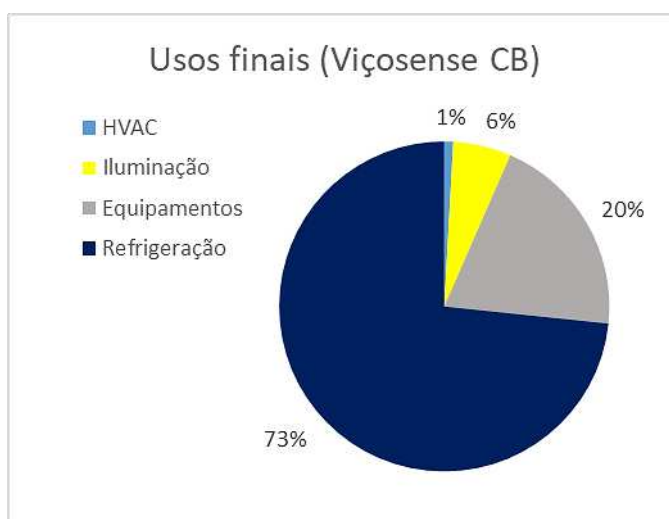
Gráfico 14 - Comparação do consumo mensal de energia simulado (CB) com o consumo registrado em faturas de energia do Supermercado Viçosense.



O consumo simulado do CB foi separado por uso final (Gráfico 15). Os maiores consumidores de energia foram o sistema de refrigeração (73%), seguido pelo consumo de demais equipamentos (20%), sistema de iluminação (6%) e HVAC (1%). O consumo por equipamentos representou a segunda maior parcela (20%) e contabilizou o consumo de todos os equipamentos de escritórios, equipamentos da padaria (máquinas industriais e fornos elétricos), assim como equipamentos elétricos em geral. Como no Supermercado Escola descrito anteriormente, o sistema de iluminação também foi levantado *in loco* com especificação de todas as lâmpadas e as luminárias. Acredita-se que por esse motivo exista menos incertezas em sua simulação.

Da mesma forma, o sistema de refrigeração foi considerado o de maior incerteza pelo simulador devido à falta de especificação dos equipamentos por parte das empresas fabricantes. Assim, foram adotados modelos típicos disponíveis no banco de dados do *EnergyPlus*, sendo adaptadas apenas as dimensões e as temperaturas operacionais indicadas nos *displays* dos equipamentos em funcionamento. Neste caso, não houve possibilidade de ajustes com monitoramento local, usando-se então o caso do Supermercado Escola como referência.

Gráfico 15- Consumo de energia por usos finais do modelo simulado do Supermercado Viçosense (CB).



A calibração foi realizada em três etapas, iniciadas com a análise do CB para que as primeiras medidas de ajuste fossem propostas.

Caso Base (CB): o CB apresentou um consumo anual 17,9% maior que o período de um ano integrado nas faturas de maio de 2020 a abril de 2021.

Foi feita uma primeira observação quando ao padrão de uso dos equipamentos, estes estavam ajustados para iniciar o funcionamento às 7:00h da manhã, pois este é o horário em que os funcionários começam a chegar. Entretanto, o supermercado só é aberto aos clientes às 8:00h, quando de fato se inicia o uso mais intenso de equipamentos, assim como se inicia o horário da parte administrativa, que também apresenta um uso intenso de equipamentos de escritório.

Versão 1 (V1) - Ajustes nas configurações do padrão de uso dos equipamentos. Com esta modificação a diferença no consumo anual do modelo simulado para o modelo medido foi reduzida para 16,0%, na Versão 1.

Na Versão 1 o consumo ainda se encontrava acima do valor de referência, e foi adotado como próxima medida a redução da porcentagem em uso do sistema de iluminação. Este estava configurado para estar 90% em uso durante todo o dia, entretanto, durante levantamentos de campo observou-se que alguns setores mantinham boa parte das lâmpadas desligadas pela grande disponibilidade de luz natural. Assim, a porcentagem em uso do sistema de iluminação foi reduzida para 80% durante todo o dia.

Além disso, notou-se a necessidade de ajustes mensais no padrão de uso dos equipamentos (Gráfico 16), visto que o sistema de iluminação não sofre variação sazonal, pois não é automatizado. Durante alguns meses do ano o consumo de energia é maior, principalmente, devido ao uso mais intenso da parte de produção da padaria, como nos últimos meses do ano, devido ao período de festas. Assim, foi reduzida a porcentagem de uso dos equipamentos em todos os meses, entretanto, fazendo uma variação mensal proporcional as diferenças observadas nas variações nas faturas de energia. Meses de uso menos intenso como junho, julho, agosto e setembro tiveram uma redução maior e meses de uso mais intenso, como outubro, novembro, dezembro e janeiro tiveram uma redução menos significativa no padrão de uso, apenas para se aproximarem mais das faturas de energia.

Versão 2 (V2) - Ajuste nos padrões de uso e ocupação de equipamentos, utilizando as variações mensais nas faturas de energia como referência. Com os ajustes mensais a Versão 2 o modelo simulado apresentou um consumo anual 11,9% maior em relação às faturas de energia. Porém o consumo mensal simulado ainda se encontra superior ao faturado, o que mostra que os ajustes mensais foram discretos.

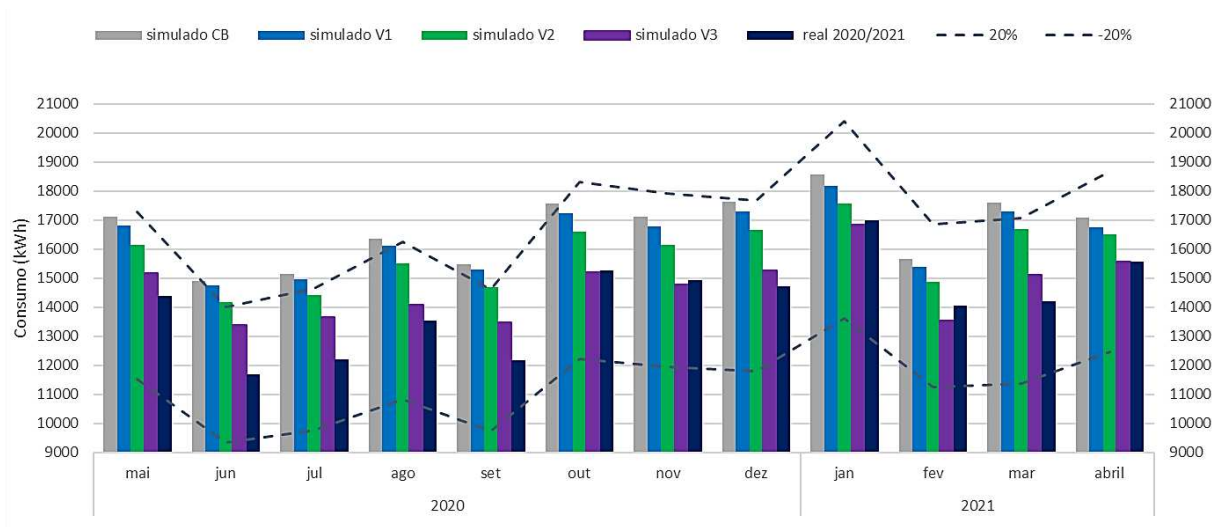
Assim, para a Versão 3, foi feita uma redução maior no padrão mensal de uso e ocupação dos equipamentos, buscando um maior refinamento com base nas faturas de energia. O padrão de uso foi novamente reduzido com base nas variações mensais buscando se aproximar ainda mais dos valores encontrados nas faturas de energia.

Versão 3 (V3) – Refinamento nos ajustes mensais no padrão de uso dos equipamentos. Na Versão 3 de calibração, o consumo anual simulado foi 3,7% maior

com relação às faturas de energia, que está dentro da porcentagem de calibração aceita pela literatura (5% em modulo). Portanto, chegou-se ao modelo calibrado.

Com os ajustes mensais obteve-se uma variação ao longo do ano no consumo simulado mais próxima dos valores encontrados nas faturas de energia (Gráfico 16).

Gráfico 16 - Comparação entre a variação mensal do consumo de energia das diferentes versões do modelo simulado e as faturas de energia do Supermercado Viçosense



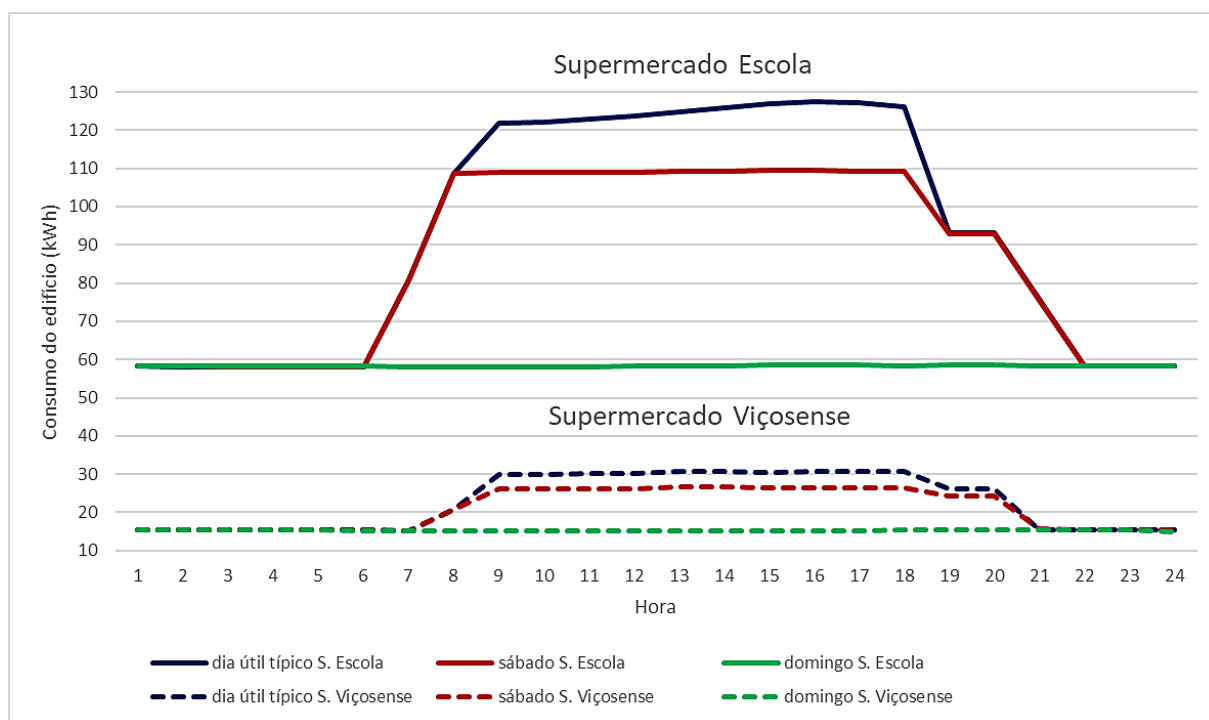
O *NMBE* e o *CVRMSE* encontrados entre o modelo calibrado e os consumos medidos pelas faturas de energia encontram-se dentro dos limites mensais estabelecidos pela *ASHRAE Guidelines 14* (Tabela 16), validando o processo de calibração.

Tabela 16 - Diferenças entre os consumos referenciais e os consumos do modelo calibrado (V3) do supermercado Viçosense

Índices estatísticos	Limites calibração mensal <i>ASHRAE</i>	Modelo simulado V3
		Mensal
<i>NMBE</i> (%)	±5	3,70
<i>CVRMSE</i> (%)	15	6,12

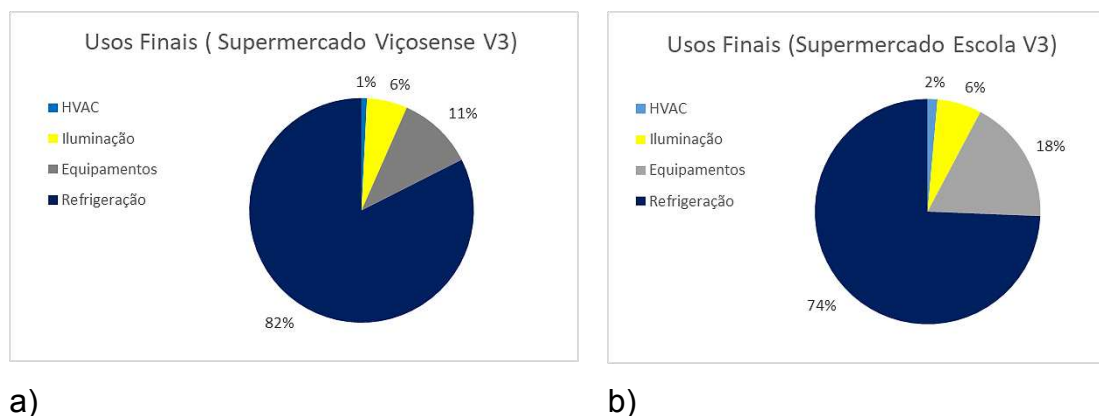
O consumo horário simulado de energia elétrica de 24h de um dia útil de janeiro, de um sábado e de um domingo é apresentado no Gráfico 17. A curva diária do consumo simulado corresponde ao esperado em relação às variações horárias de funcionamento dos equipamentos e de ocupação (funcionários e clientes), e o comportamento é semelhante ao estudo de caso realizado anteriormente (Supermercado Escola), salvo as diferenças de escala.

Gráfico 17 - Comparação entre a curva de carga do Supermercado Escola e do Supermercado Viçosense



Por fim, verificou-se que os usos finais do Supermercado Viçosense se aproximam dos encontrados para o Supermercado Escola (Gráfico 18).

Gráfico 18 - Comparação entre os usos finais de energia dos supermercados: a) Supermercado Viçosense; b) Supermercado Escola



O sistema de refrigeração foi responsável pela maior parcela de consumo de energia no Supermercado Viçosense (82% em V3). A literatura internacional indica que esta parcela pode chegar até 60% do consumo em supermercados condicionados artificialmente (SUZUKI et al., 2011). No supermercado em questão apenas 4% da área total é condicionada, assim, o sistema de refrigeração acaba representando uma parcela maior do consumo final. Em relação ao Supermercado Escola o Supermercado Viçosense apresentou uma parcela do consumo um pouco maior pelo sistema de refrigeração, isto pode ser explicado pelo fato de o Supermercado Escola apresentar um número maior de equipamentos, em todos os setores, desde plataformas de elevação nos depósitos até o número de equipamentos na padaria, que apresenta uma produção em escala industrial, ao passo que o Supermercado Viçosense tem um tamanho reduzido e atende a um número menor de clientes. Assim, o peso do consumo dos equipamentos nos usos finais é menor, reforçando a maior contribuição do sistema de refrigeração.

O consumo de equipamentos se mostrou como o segundo maior consumidor de energia no Supermercado Viçosense (11%) e está vinculado, principalmente, aos equipamentos de escritório da parte administrativa, ao maquinário do açougue como serras e máquinas de moer carne, além do maquinário de produção da padaria como batedeiras, masseiras e fornos elétricos. Como dito anteriormente devido às diferentes

escalas de produção a porcentagem de consumo pelos equipamentos foi inferior ao Supermercado Escola.

O consumo por iluminação representou apenas 6% do consumo total, assim como no Supermercado Escola. O Supermercado Viçosense utiliza lâmpadas econômicas (*LED*) e faz aproveitamento da iluminação natural por meio dos *sheds*, exatamente como o Supermercado Escola.

O sistema *HVAC* apresentou um consumo pouco significativo (1%), pois apenas a área administrativa do supermercado é condicionada artificialmente, cerca de 38 m² que representa apenas 3,9% da área total. Além disso, o Supermercado Viçosense está inserido em um contexto urbano de alto adensamento e por isso é sombreado pelo entorno, o que pode ter reduzido ainda mais a parcela de consumo pelo sistema *HVAC* em relação aos usos finais quando comparado ao Supermercado Escola, que apresenta o entorno livre de sombreamento.

Acredita-se que a edificação em questão seja eficiente, com o aproveitamento de luz natural e sistema de iluminação eficiente. A densidade de consumo no Supermercado Viçosense (173 kWh/m²/ano) foi menor do que a encontrada no Supermercado Escola (236 kWh/m²/ano), acredita-se que este valor inferior esteja mais relacionado ao uso menos intenso da energia, por uma produção em menor escala com menos serviços para os consumidores, do que por utilizar sistemas realmente mais eficientes.

Mesmo com o processo simplificado de calibração, o modelo atingiu a precisão desejada estando em concordância com os atuais critérios de aceitação internacional para os modelos de simulação de energia de edifícios com uso dos consumos mensais. Assim, de acordo com os critérios estabelecidos pela Diretriz 14 da ASHRAE, o modelo foi considerado calibrado e aceitável para a finalidade pretendida, que foi de identificar os principais usos finais da tipologia.

O diagnóstico energético do edifício estudado mostrou resultados concordantes com as densidades de consumo indicadas pelo estudo de caso realizado previamente no Supermercado Escola, com o sistema de refrigeração sendo o maior consumidor de energia para a tipologia, o que é explicado devido à alta demanda para manter os produtos dentro da temperatura ideal e por ser um sistema em funcionamento constante. Como principais usos finais do Supermercado

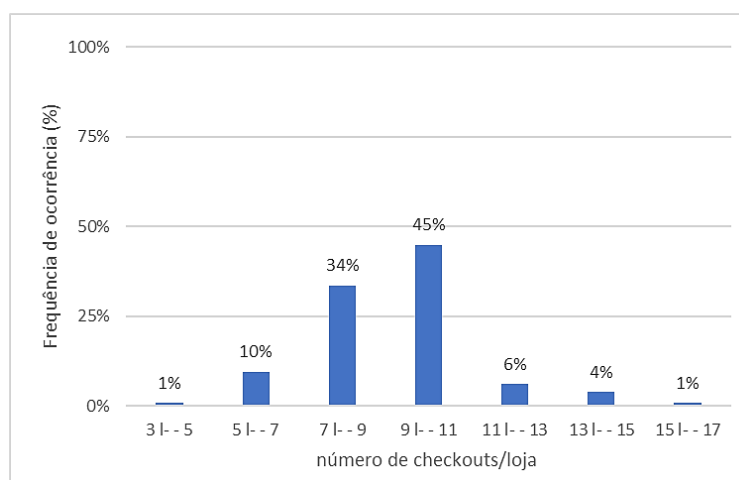
Viçosaense foram identificados: sistema de refrigeração (82%), equipamentos (11%), sistema de iluminação (6%) e HVAC (1%).

4.2. Modelo representativo

Neste item são apresentados os resultados dos levantamentos, maiores frequências de ocorrência e média das características construtivas levantadas, e também são indicadas as escolhas para o modelo representativo.

Para o número de *checkouts* por loja o intervalo de maior frequência se encontra entre 9 e 11 *checkouts* (Gráfico 19), como a média por loja encontrada foi de 9 *checkouts* e a curva do gráfico tende para valores menores, optou-se por utilizar a média para o modelo representativo.

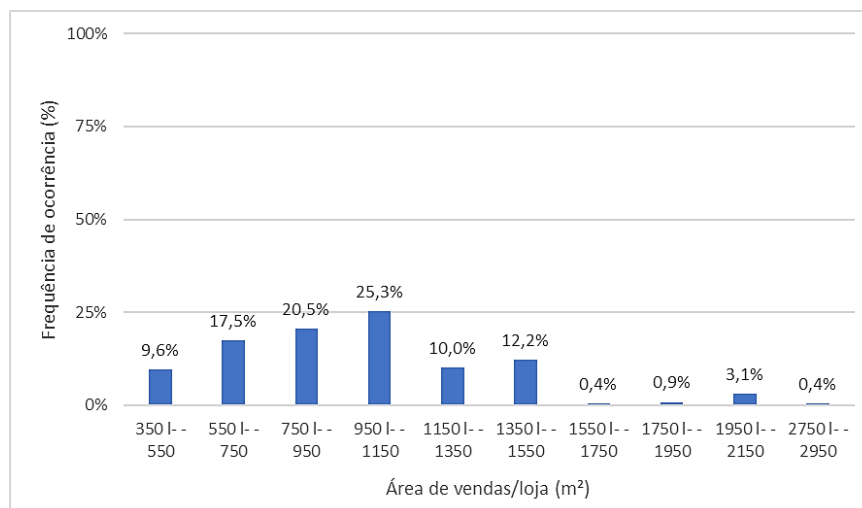
Gráfico 19- Número de *checkouts* por loja



Fonte: autor com base no relatório da ABRAS (2021).

A área de vendas foi um valor fornecido pelo próprio relatório da ABRAS, que apresenta uma média por empresa. A média geral foi de 1.020 m² por loja, que está contida dentro do intervalo de maior frequência, 950 a 1.150 m² (Gráfico 20). Levando em consideração a média e o intervalo de maior frequência, optou-se pelo valor arredondado de 1.100 m² para ser adotado no modelo representativo.

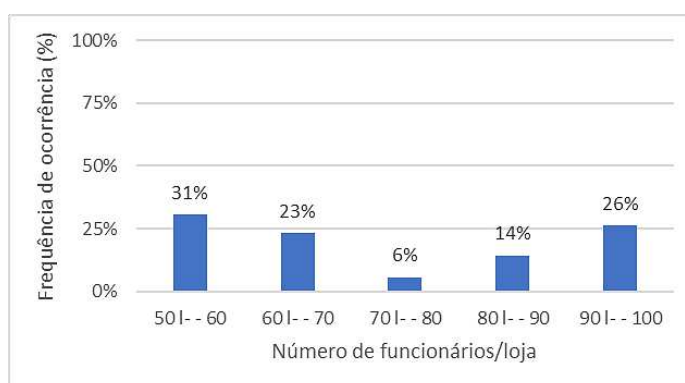
Gráfico 20 - Área de vendas por loja



Fonte: autor com base no relatório da ABRAS (2021).

A maior frequência de ocorrência do número de funcionários não coincide com a média encontrada, que foi de 72 funcionários por loja. As duas maiores frequências de ocorrência se encontram nos extremos da classificação de médio porte, entre 50 e 99 funcionários (Gráfico 21). Optou-se por adotar o número de 90 funcionários para o modelo representativo, pois a área de vendas definida para o modelo coincidiu com a o valor do Supermercado Escola (1.100 m²), que se localiza no limite superior de médio porte com 90 funcionários, presente entre os intervalos extremos de maior frequência.

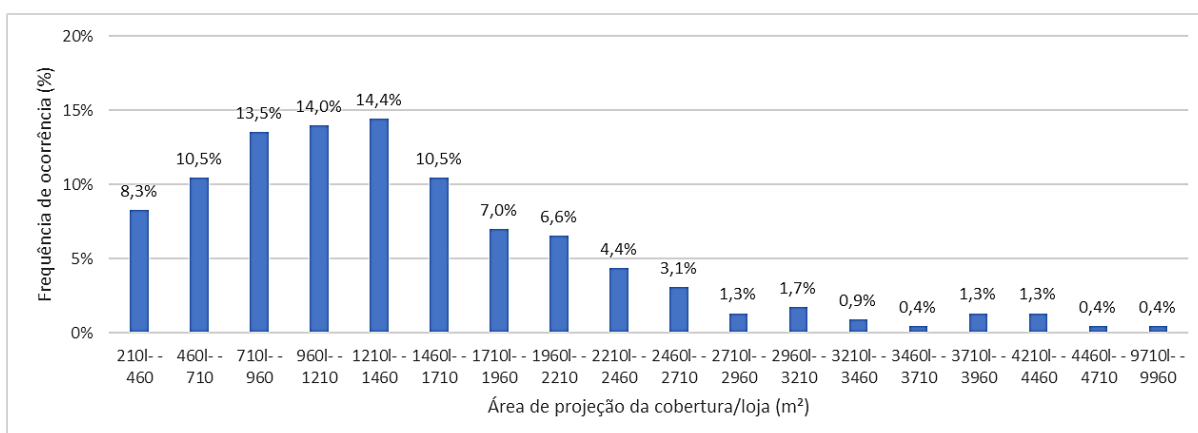
Gráfico 21 - Número de funcionários por loja



Fonte: autor com base no relatório da ABRAS (2021).

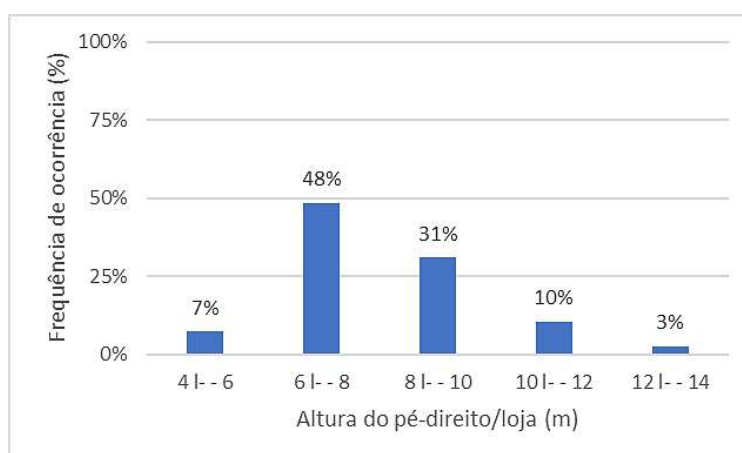
A frequência de ocorrência da área de projeção da cobertura apresentou três intervalos mais representativos (Gráfico 22). A média encontrada foi de 1.458 m² no intervalo mais frequente, razão pela qual optou-se pelo valor de 1.400 m² para o modelo representativo.

Gráfico 22 - Área de projeção da cobertura por loja



A média encontrada para o pé-direito foi de 8 m, que está entre os dois intervalos de maior frequência (Gráfico 23) que juntos representam 79% dos casos, razão pela qual optou-se por utilizar a média para o modelo representativo.

Gráfico 23 - Altura do pé-direito por loja



Para a Porcentagem de Abertura na Fachada (PAF) frontal, observou-se que o PAF para ventilação natural era inferior ao PAF para iluminação natural, numa

proporção aproximada de 50%, na maioria dos casos. Para a iluminação natural a maior frequência de ocorrência se concentra no intervalo de 11% a 21% de abertura na fachada (Gráfico 24), sendo a média dos casos levantados 21%. Já para as aberturas de ventilação natural a maior frequência de ocorrência encontra-se no intervalo de 5% a 10% (Gráfico 25), sendo a média 9%. Dessa forma, arredondando os valores e utilizando-se as médias para manter a proporção de 50%, adotou-se para a fachada frontal do modelo representativo o PAF para iluminação de 20% e para ventilação de 10%.

Gráfico 24 - PAF para iluminação natural na fachada frontal

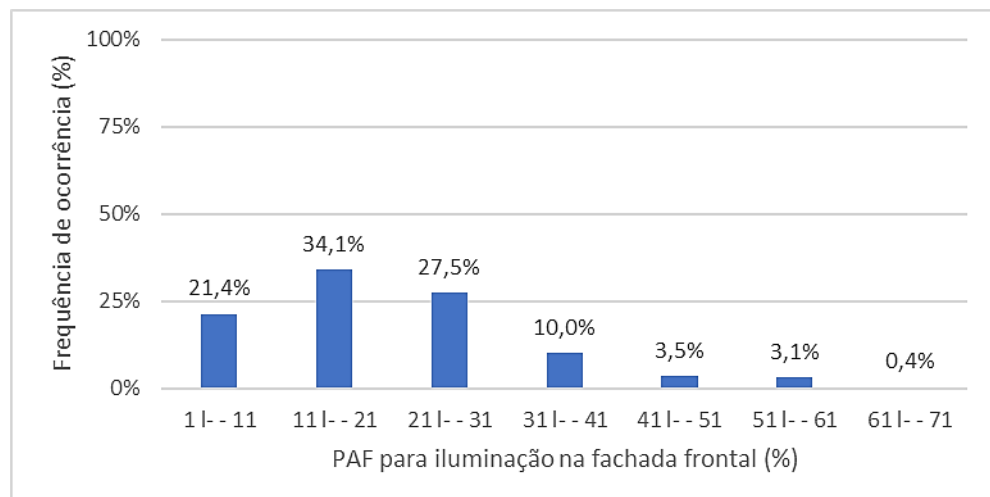
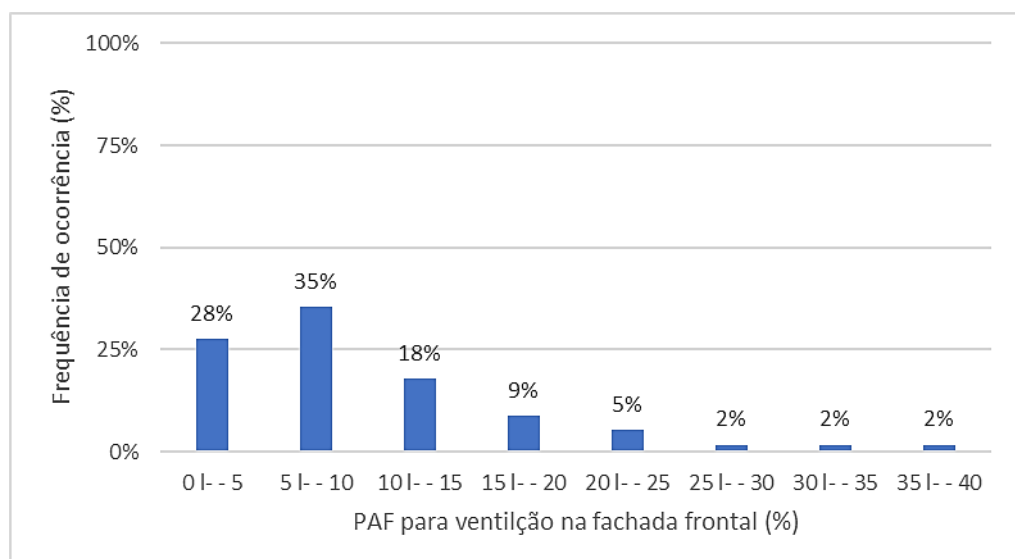
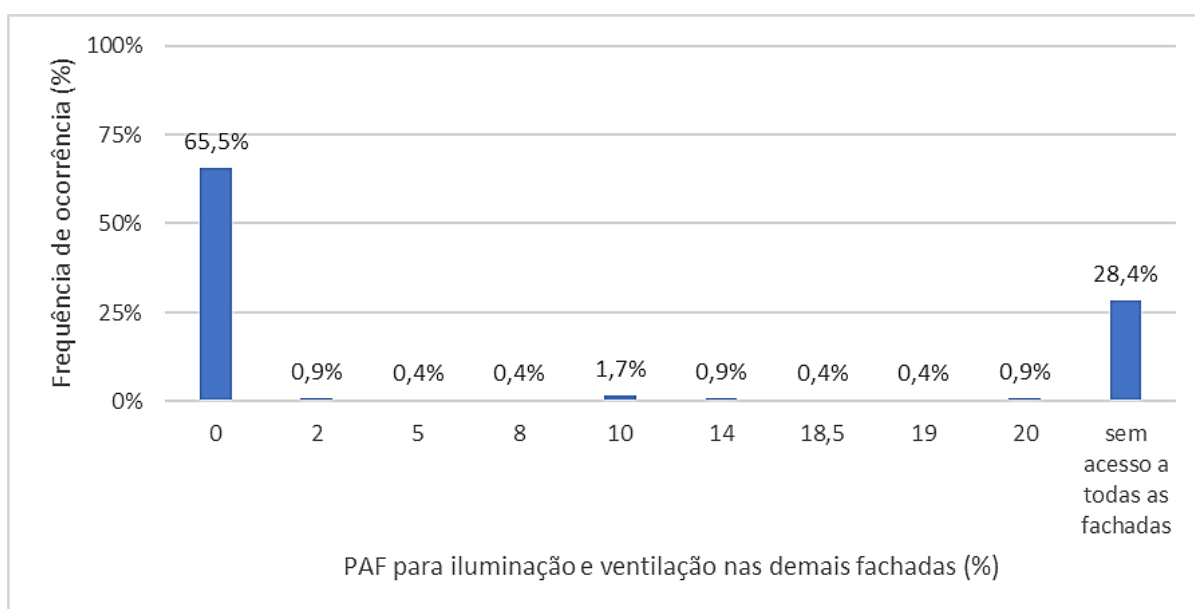


Gráfico 25 - PAF para ventilação natural na fachada frontal



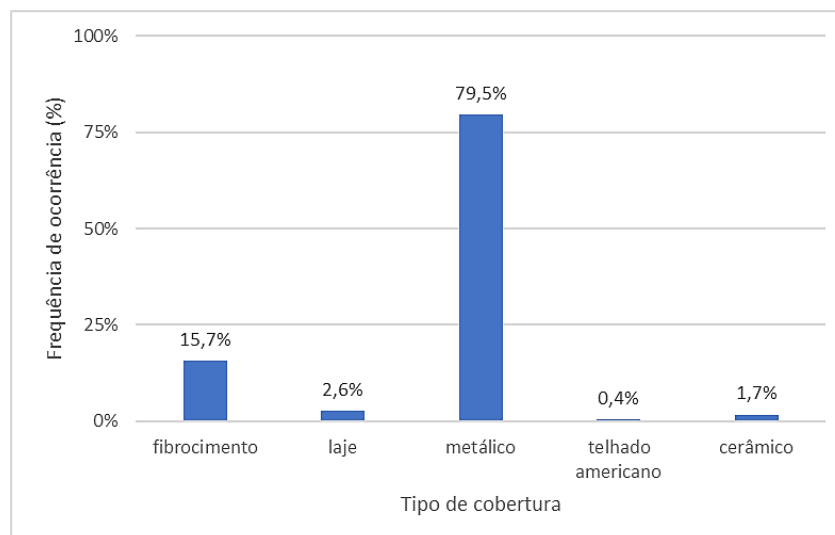
Observou-se que a fachada frontal geralmente apresenta um PAF maior que as demais fachadas devido às aberturas da entrada principal. As demais fachadas são, em sua maioria, cegas ou fazem divisa com outras construções (Gráfico 26). Por esse motivo optou-se por utilizar no modelo representativo aberturas apenas em duas fachadas (associado ao levantamento do número de fachadas sombreadas, discutido mais a frente) e considerar o restante como fachadas cegas.

Gráfico 26 - PAF para iluminação e ventilação nas demais fachadas



A maior frequência de ocorrência para o tipo de cobertura foi o telhado metálico (Gráfico 27), com cerca de 80% dos casos, assim esse foi adotado para o modelo representativo. Entretanto, nos estudos de caso realizados identificou-se tanto o uso da telha metálica simples quanto a telha metálica do tipo sanduiche, que pelo levantamento por imagens de satélite não pôde ser diferenciado. Portanto, essas duas variações foram adotadas.

Gráfico 27 - Tipo de cobertura

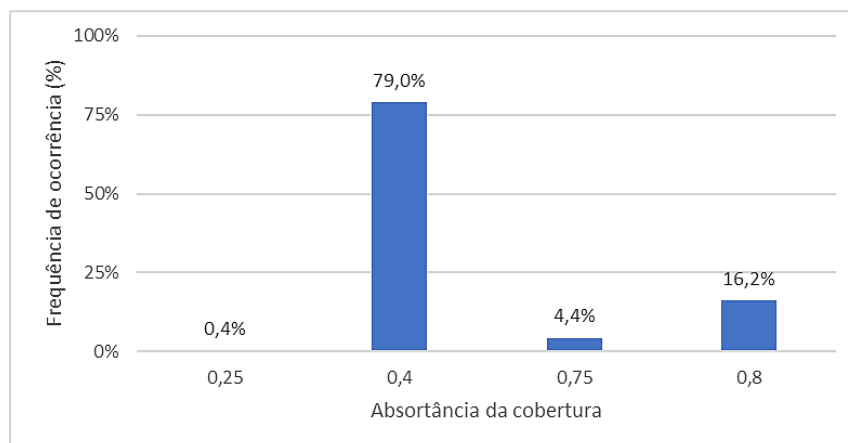


Foram estipulados quatro valores de absorvência para as coberturas levantadas, uma cor clara (0,25), uma média clara (0,40), uma média escura (0,75) e uma escura (0,80), baseadas nos valores fornecidos pela NBR 15.220 (2005). Vale ressaltar que para a telha de aço a absorvência indicada pela norma é de 0,25. Entretanto, este valor é para uma telha nova e brilhante, como foram levantadas edificações em uso, adotou-se 0,40 para considerar o grau de sujeira. Para os outros materiais, como concreto aparente, telha de fibrocimento e telha de barro, a norma fornece intervalos de absorvências possíveis e foram escolhidos valores nos limites superiores pelos mesmos motivos.

As absorvências estimadas também foram comparadas aos valores encontrados na biblioteca de absorvência de telhas (DORNELES, 2017). Entretanto, no estudo citado, os dados foram obtidos por medições em telhas novas, não considerando assim a sujeira dos materiais em uso.

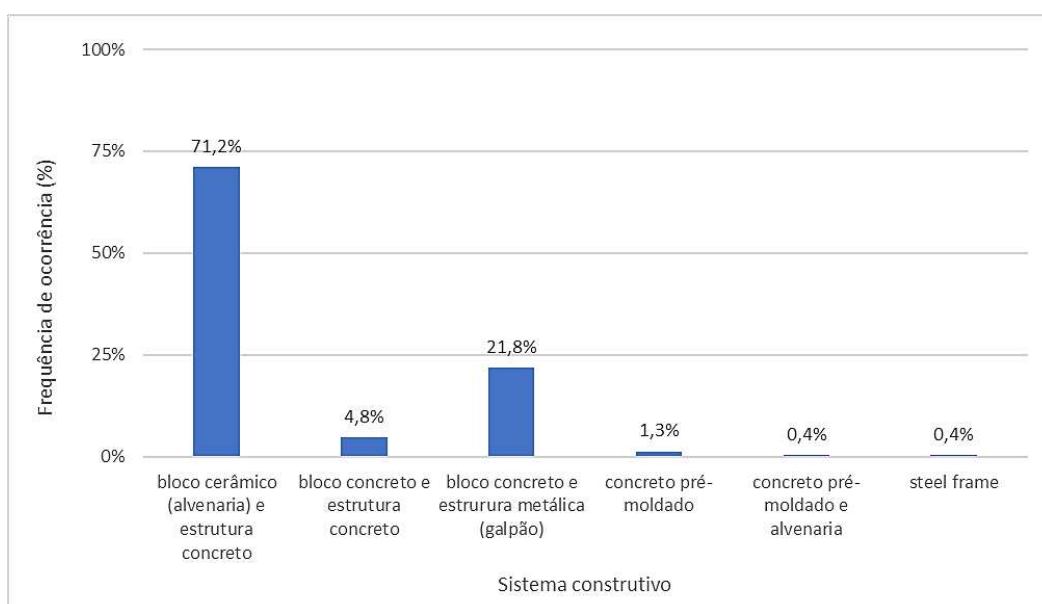
Assim, como a absorvência definida para o telhado metálico foi de 0,40 e este foi o caso de maior frequência de ocorrência (Gráfico 28), o mesmo valor de 0,40 foi adotado para o modelo representativo.

Gráfico 28 - Absortância da cobertura



O sistema construtivo mais frequente foi a construção em alvenaria, com blocos cerâmicos e concreto armado (Gráfico 29). Este reflete o principal sistema construtivo de uso residencial no país. A grande maioria dos supermercados levantados eram construções que passaram por *retrofit*, onde o uso anterior era residencial e a edificação foi adaptada para o setor supermercadista.

Gráfico 29 - Sistema construtivo



Para absorvância das paredes externas foram adotados quatro valores de acordo com o Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros da Portaria de nº 50/2013 do Inmetro (2013). Uma cor clara (0,30), uma média clara (0,50), uma média escura (0,65) e uma escura (0,75). Tanto para a fachada frontal (Gráfico 30), quanto para as demais fachadas (Gráfico 31), a maior frequência de ocorrência foi da absorvância de 0,50 e, portanto, foi adotada para o modelo representativo.

Gráfico 30 - Absorvância da fachada frontal

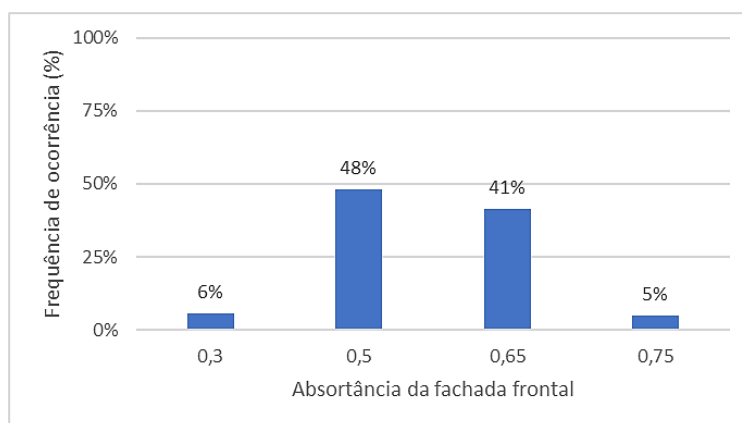
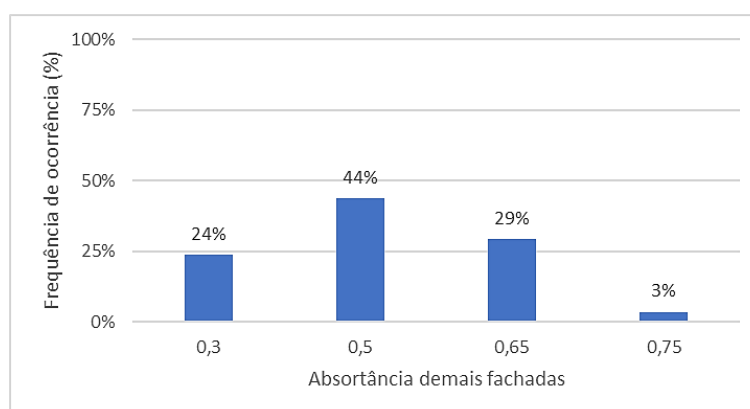


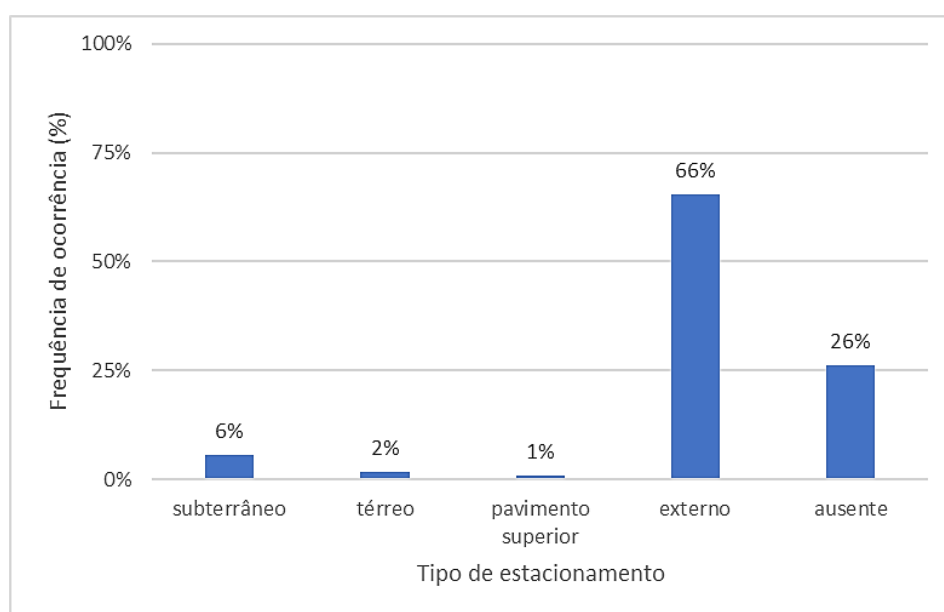
Gráfico 31 - Absorvância das demais fachadas



Os estacionamentos externos foram os de maior frequência, seguido pelos casos sem estacionamento, que juntos somaram mais de 90% dos casos (Gráfico 32). O tipo de estacionamento foi importante para estabelecer as relações espaciais

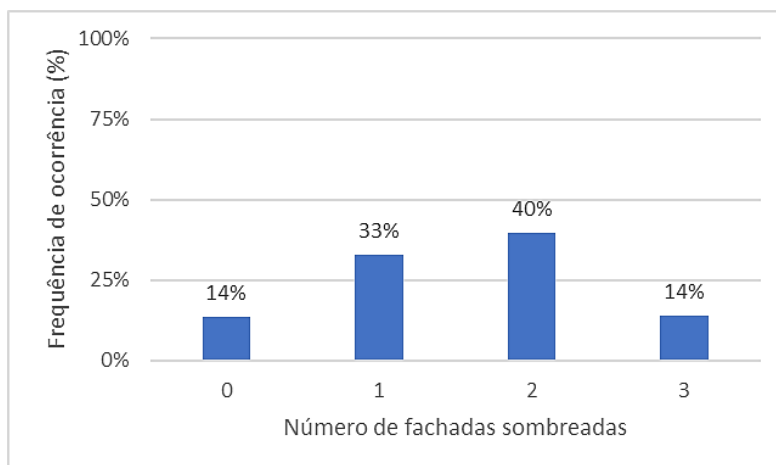
externas, pois se fossem encontrados muitos casos com estacionamento subterrâneo a interação do modelo representativo com o solo exigiria outro tipo de modelagem, ou ainda, a consideração da área de estacionamento no corpo do edifício. Entretanto, com base nos resultados a área de estacionamento não foi considerada para o modelo representativo.

Gráfico 32 - Tipo de estacionamento



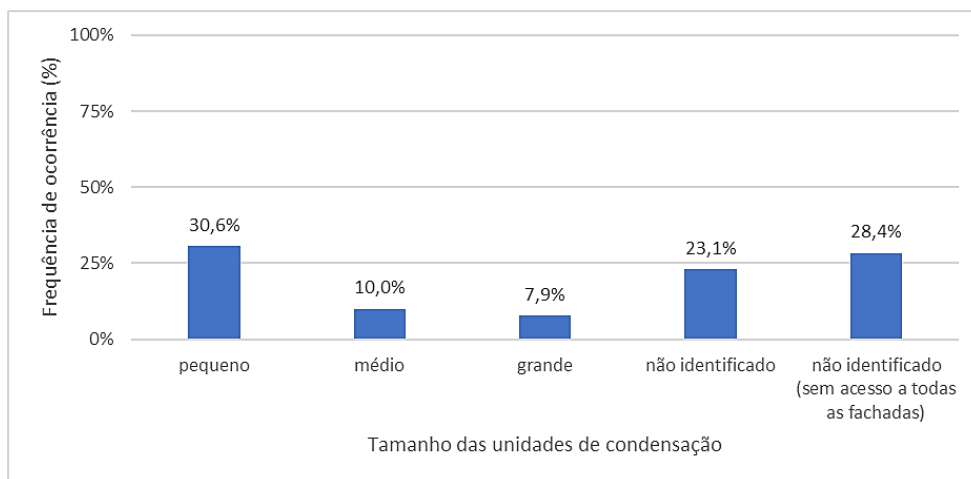
A caracterização do sombreamento nos supermercados levantados mostrou que a maior frequência de ocorrência foi para duas fachadas sombreadas (Gráfico 33), representando 40% dos casos, seguido por supermercados com pelo menos uma fachada sombreada (33%). O sombreamento neste caso reflete também fachadas que fazem divisa com outras construções. Apenas 14% dos casos não apresentaram nenhum sombreamento, o que mostra a importância de se considerar esta variável na tipologia, pois este pode interferir no desempenho termo energético das construções. Adotou-se o sombreamento em duas fachadas para o modelo representativo.

Gráfico 33 - Número de fachadas sombreadas



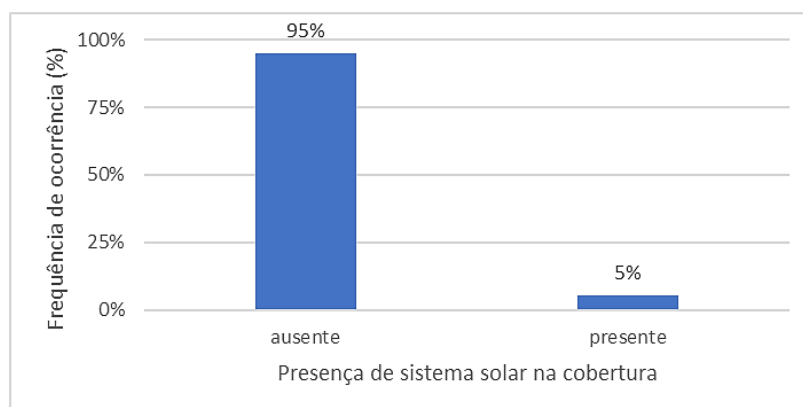
Um levantamento do PROCEL (2008) havia apontado que os sistemas de condicionamento artificial de ar em supermercados eram restritos à parte administrativa, pois nos estabelecimentos foram encontrados mais sistemas unitários (45% dos casos) em comparação com os centrais (16%) e aqueles sem nenhum condicionamento (39%). Entretanto, este levantamento foi executado em 2005. Na tentativa de confirmar essa informação, buscou-se levantar as dimensões das unidades condensadoras nas fachadas e/ou coberturas. Em mais de 50% dos casos não foi identificada nenhuma unidade condensadora (Gráfico 34). Entretanto, não foi possível acessar todas as fachadas pelo *Google Street View* em parte da amostra, embora tenha sido registrada tal restrição quando pelos menos uma das fachadas não era visualmente acessível. Tampouco as imagens aéreas eram 100% esclarecedoras. A maior frequência encontrada (30%) foi com unidades menores voltadas a *splits*, e as unidades de maior porte que poderiam ser responsáveis pela presença de condicionamento de ar na área de vendas (sistema central) foram apenas 7,9% dos casos. Assim, optou-se por considerar no modelo representativo os sistemas de condicionamento artificial de ar apenas no setor administrativo.

Gráfico 34 - Tamanho das unidades de condensação



Foi também incluída a identificação da presença de sistema fotovoltaico, pois acredita-se que a tipologia tenha potencial para a instalação devido à grande área livre disponível na cobertura. Entretanto, percebeu-se que a tecnologia ainda não é utilizada em larga escala no setor, pois em apenas 5% dos casos levantados foi identificada a presença do sistema fotovoltaico (Gráfico 35).

Gráfico 35 - Presença de sistema solar na cobertura



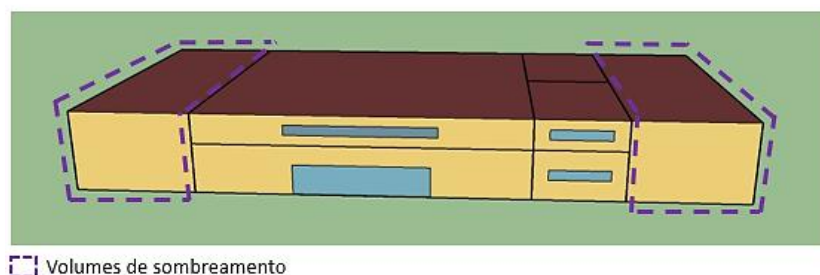
Este levantamento auxiliou na construção de um modelo representativo para a tipologia de supermercados de médio porte e para a escolha de variáveis construtivas, com base em características projetuais adotadas em edifícios reais, que possam influenciar no desempenho termo energético da tipologia. Ele serviu de base

para as análises paramétricas por meio de simulações computacionais. O Quadro 4 apresenta um compilado com todos os parâmetros construtivos selecionados para o modelo representativo. Este apresenta dois pavimentos (Térreo + Pavimento 1) separados por uma laje de concreto armado, sendo que a área de vendas apresenta pé-direito duplo (Figura 18).

Quadro 4 – Parâmetros construtivos selecionados para modelo representativo

Parâmetro	Modelo representativo	Critério
Nº de checkouts por loja (média da empresa)	9	Frequência e média
Área de vendas por loja (média da empresa)	1.100 m ²	Frequência e média
Nº de funcionários por loja (média da empresa)	90	Frequência e estudo de caso
Área de projeção da cobertura (m ²)	1.400 m ²	Frequência e média
Altura do pé-direito (m)	8 m	Frequência e média
PAF da fachada frontal para iluminação	20%	Frequência e média
PAF da fachada frontal para ventilação	10%	Frequência e média
PAF das demais fachadas iluminação / ventilação	0%	Frequência
Tipo de cobertura	Telha metálica	Frequência e estudo de caso
Absortância da cobertura	0,40	Frequência
Sistema construtivo	Blocos cerâmicos e concreto armado	Frequência
Absortância da fachada frontal	0,50	Frequência
Absortância das demais fachadas	0,50	Frequência
Localização do estacionamento	Externo ao edifício	Frequência
Nº de fachadas sombreadas	2 fachadas	Frequência
Presença e tamanho das unidades de condensação	Condicionamento artificial de ar apenas na área administrativa	Frequência
Presença de sistema fotovoltaico na cobertura	Sem sistema FV	Frequência

Figura 18 - Modelo representativo

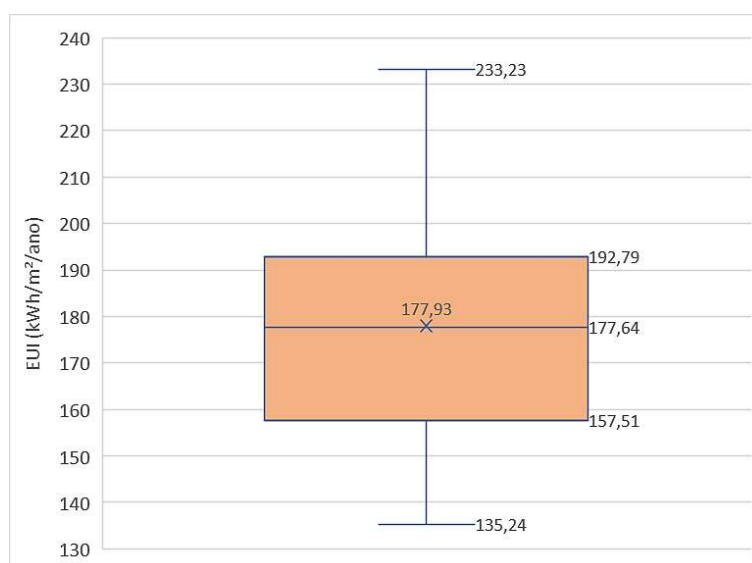


No modelo representativo, o condicionamento foi configurado com sistemas unitários na área administrativa e com ventilação natural no restante do edifício. Foi estabelecido um sistema de condicionamento de ar do tipo bombas de calor, com auto dimensionamento para *setpoint* de 18°C para aquecimento no inverno e 24°C para refrigeração no verão. Os padrões de ocupação foram baseados nos estudos de caso, e a ASHRAE 55 (2013) foi utilizada para especificar a taxa metabólica.

4.3. Simulações paramétricas

No total foram 1536 casos simulados, o EUI máximo atingido foi 233,23 kWh/m²/ano, o mínimo foi 135,24 kWh/m²/ano, a média 177,93 kWh/m²/ano e a mediana 177,64 kWh/m²/ano (Gráfico 36).

Gráfico 36 - Distribuição da intensidade de consumo (EUI) dos casos simulados



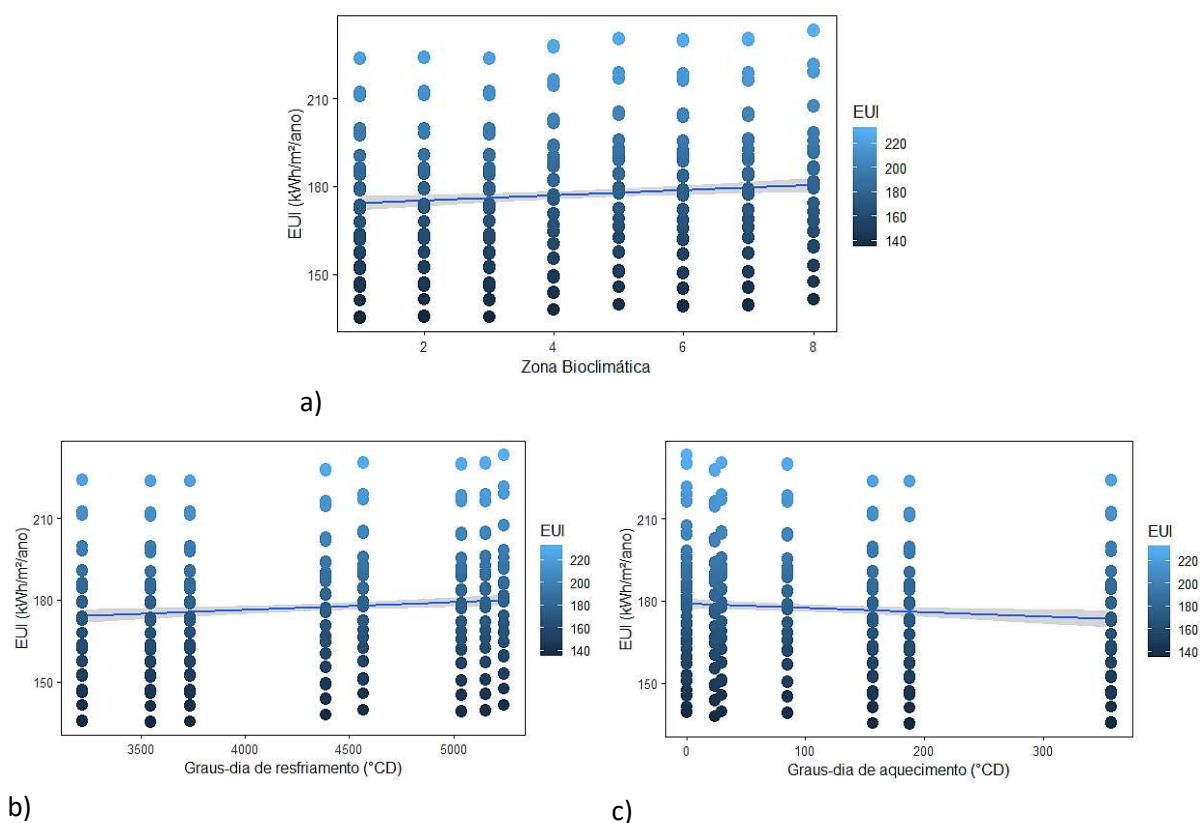
4.4. Abordagem *bottom-up* (regressão linear múltipla)

4.4.1. Modelos lineares (histogramas)

O EUI apresentou pouca relação com as condições climáticas, pela baixa inclinação da linha de tendência e pela grande variação de intensidade de consumo dentro de uma mesma ZB (Gráfico 37). O mesmo comportamento foi observado quando comparado o EUI ao GDR e ao GDA. Esta variação pode indicar que a diferença de EUI é melhor explicada por outros parâmetros.

A pequena influência do clima sobre o consumo de energia é decorrente de o escopo do trabalho considerar o uso de sistemas de condicionamento artificial de ar apenas na área administrativa, que representa em média apenas 5,61% da área total dos modelos simulados, e utilizar a ventilação natural no restante do edifício. Assim, não há contribuição significativa do clima para a climatização de ar.

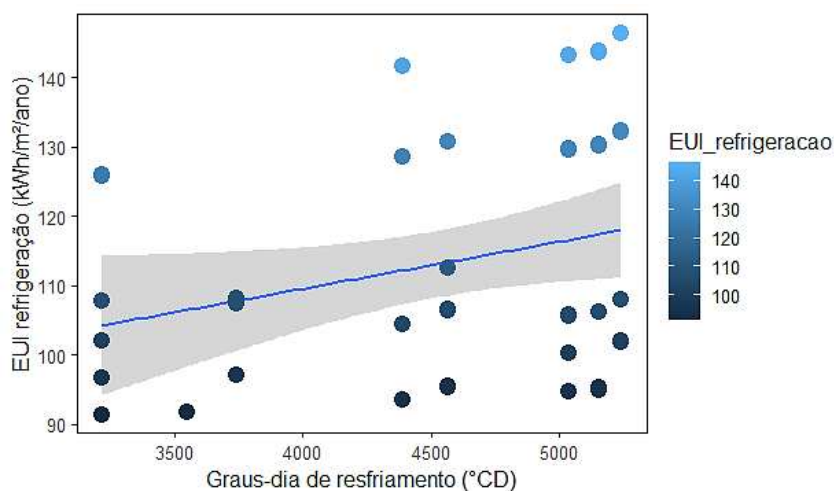
Gráfico 37 - Relação das variáveis climáticas com a intensidade de consumo (EUI): a) zona bioclimática; b) graus-dia de resfriamento; c) graus-dia de aquecimento



Levantou-se a possibilidade de que o sistema de refrigeração, que é o principal consumidor de energia da tipologia, pudesse sofrer uma influência significativa de acordo com o clima e os graus-dia de resfriamento. Uma amostra aleatória com 3% do total de casos simulados (46 casos) foi criada para comparar a intensidade de consumo anual do sistema de refrigeração com os graus-dia de resfriamento (Gráfico 38). Entretanto, mesmo a refrigeração representando 70% do consumo do edifício na tipologia simulada, essa influência do clima no sistema de refrigeração não impactou o desempenho a ponto de afetar o consumo total.

A pequena influência do clima no consumo do sistema de refrigeração pode ser explicada pela configuração da tipologia de supermercados de médio porte. O levantamento que estabeleceu o modelo representativo indicou a maior frequência de supermercados com dois pavimentos separados por laje maciça. Os refrigeradores estão localizados no pavimento térreo (área de vendas) e, geralmente, os depósitos e as áreas administrativas se localizam no pavimento superior. Assim, as configurações da envoltória podem diminuir as trocas térmicas da área de vendas com o ambiente externo. Essa relação poderia ser diferente caso a área de vendas em sua porção superior estivesse separada do ambiente externo apenas pela cobertura metálica no modelo representativo.

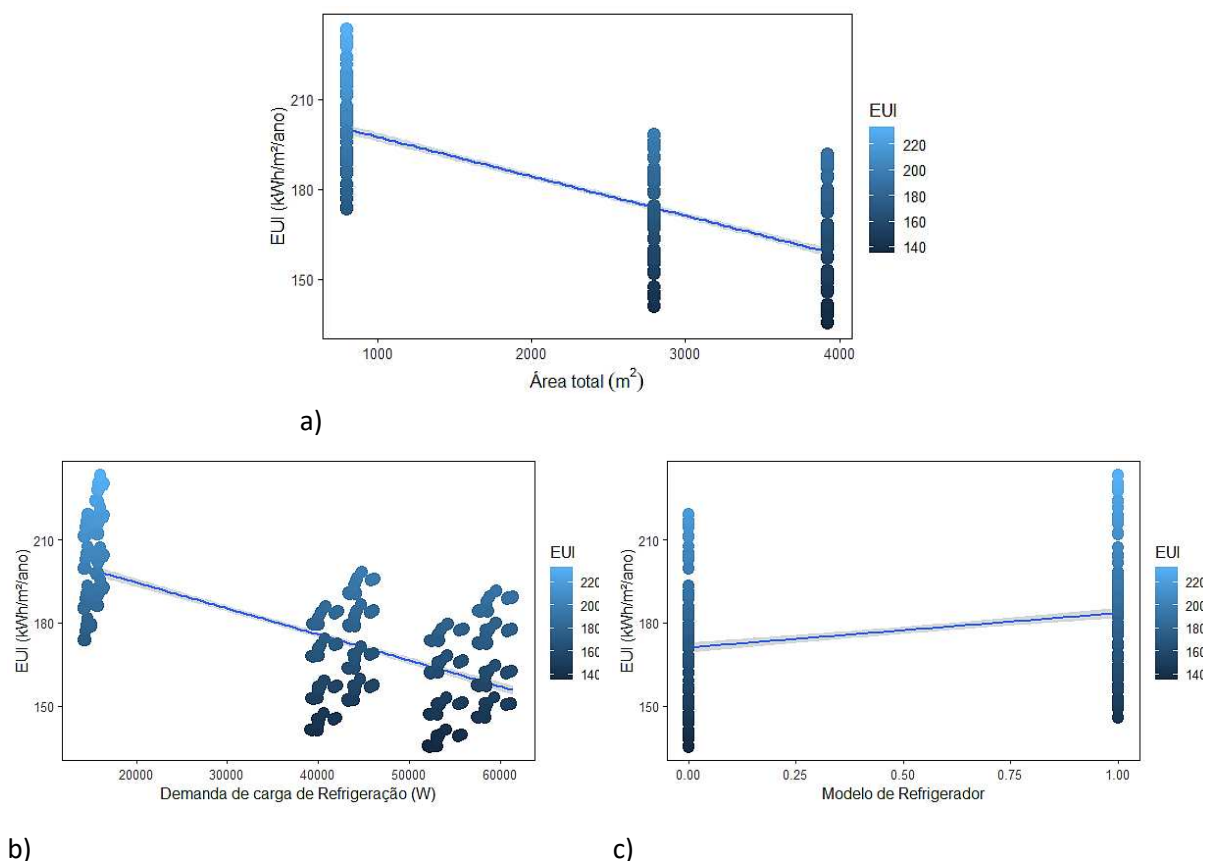
Gráfico 38 - Relação entre os graus-dia de resfriamento e a intensidade de consumo do sistema de refrigeração (EUI_refrigeração)



O sistema de refrigeração, tratando-se agora especificamente sobre a demanda de refrigeração e não mais sobre a intensidade de consumo deste sistema, seguiu o mesmo padrão de relação da área total (Gráfico 39), principalmente pelo fato de o número de refrigeradores e câmaras frias terem sido estimados proporcionalmente a área. A relação inversamente proporcional entre o aumento da carga de refrigeração e o EUI se deve ao fato de supermercados com maior número de refrigeradores estarem atrelados aos casos com maior área total. Assim, esta relação é dependente da influência do aumento de área, o que será observado na forte relação encontrada na matriz de correlação entre as duas variáveis. Quando tratamos do modelo de refrigerador, a relação é diretamente proporcional, visto que o modelo localizado na posição 0 do eixo das abscissas é considerado mais eficiente (todos os refrigeradores fechados) e o modelo localizado na posição 1 é considerado menos eficiente (15,8% dos refrigeradores abertos).

A área total foi uma das principais variáveis que influenciaram o EUI, com uma relação inversamente proporcional, confirmando-se a literatura. Internacionalmente, foi apontada uma diminuição na intensidade de consumo de energia com o aumento do tamanho do supermercado de - 2% para cada aumento de 100 m² de área de vendas (KOLOKOTRONI et al., 2019). As lojas de pequeno porte apresentam uma maior intensidade no consumo de energia, devido aos equipamentos mínimos e da relação da envoltória com a área total. Em Carlo e Lamberts (2007) foi mostrado como o aumento do volume da edificação de uso comercial reduziu a relação do consumo pela área.

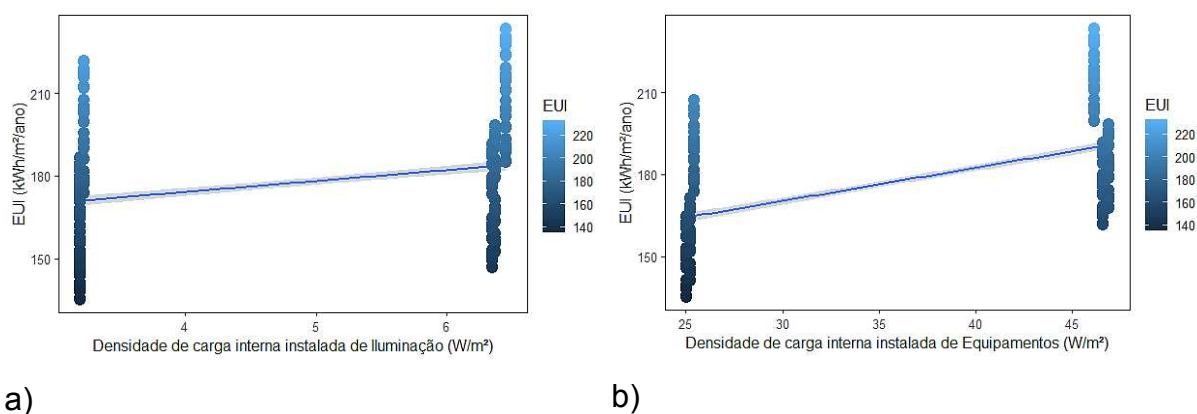
Gráfico 39 - Relação da área e do sistema de refrigeração com a intensidade de consumo (EUI): a) área total; b) carga de refrigeração; c) modelo de refrigerador



O sistema de iluminação e os equipamentos foram influentes no EUI (Gráfico 40), estabelecendo uma relação diretamente proporcional, o que já era esperado visto que em ambos foram estabelecidos como densidades de carga interna instalada, ou seja, proporcionais à área. Apesar de terem sido adotadas apenas duas opções de densidades para cada modelo, mais eficiente e menos eficiente, é possível notar três variações no eixo das abscissas para cada opção (Gráfico 40). Este fato está relacionado com as três diferentes áreas totais adotadas para os modelos. Por questões de volumetria e área, em que foram propostos edifícios retangulares divididos em dois pavimentos sobrepostos, foi necessário fazer ajustes nas proporções das áreas de depósito dos 3 modelos para que as variáveis de interesse fossem preservadas. Como o depósito era o ambiente com menor densidade de consumo de equipamentos e iluminação, sua alteração impactaria menos o consumo final. Assim, os modelos maiores têm uma porcentagem maior de área de depósitos,

gerando as diferenças de densidade de carga interna instalada para os três tamanhos adotados. Considerou-se que este aspecto não altera a qualidade dos resultados, pois trouxe variabilidade maior às soluções.

Gráfico 40 - Relação do sistema de iluminação e dos equipamentos com a intensidade de consumo (EUI): a) sistema de iluminação; b) equipamentos

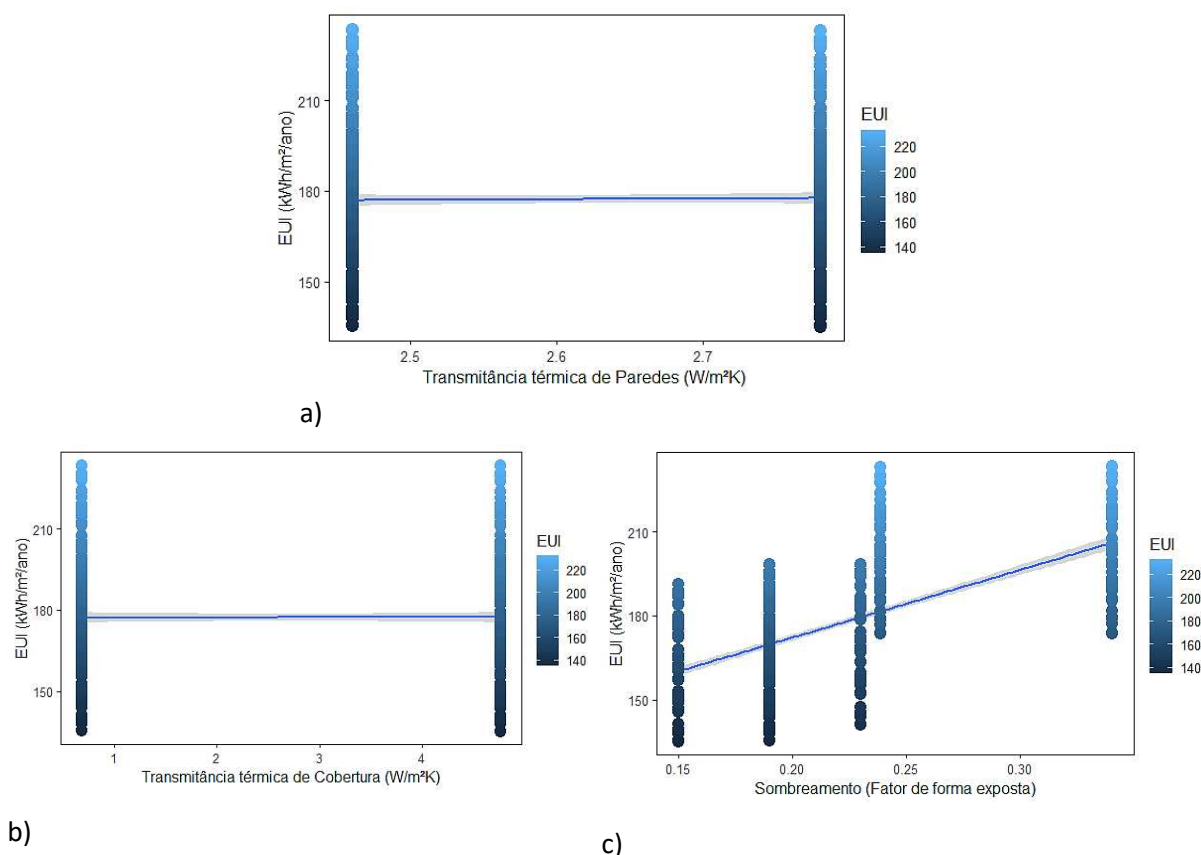


As variáveis construtivas não tiveram influência no EUI (Gráfico 41), visto que as variáveis climáticas também não tiveram sobre o sistema de refrigeração. Assim, a variação das características da envoltória não influenciou significativamente o consumo dos refrigeradores e o peso do consumo do sistema de HVAC não influencia de forma significativa o consumo final da tipologia.

Os tipos de cobertura apesar de apresentarem diferenças significativas na transmitância térmica estão localizados no pavimento superior, onde encontram-se o depósito e a administração. O depósito não apresenta refrigeradores ou outros equipamentos que poderiam ter seu consumo influenciado pelas trocas térmicas com o ambiente externo. Por outro lado, a administração apresenta sistema de condicionamento de ar e tem sua cobertura em laje maciça (como observado nos estudos de caso), além disso, seu tamanho é reduzido comparado ao restante do edifício ou mesmo comparado ao pavimento superior. A administração representa apenas 12,5% da área do pavimento superior no modelo P, 10,7% no modelo M e 10,5% no modelo G. Assim, o aumento no consumo do sistema de condicionamento artificial de ar não impacta de forma significativa o consumo final dos modelos.

Apesar do histograma mostrar uma forte relação entre o sombreamento e o EUI (Gráfico 41c), vale ressaltar que o sombreamento apresenta uma correlação elevada com a área, devido ao fator de forma exposta (Fator de forma exposta: com sombreamento, $P=0,24$ $M=0,19$ $G=0,15$; sem sombreamento, $P=0,34$ $M=0,23$ $G=0,19$), o que pode interferir na análise, sendo necessário avaliar a matriz de correlação e a função ANOVA realizado com todas as variáveis para ter uma visão mais global.

Gráfico 41 - Relação das variáveis construtivas com a intensidade de consumo (EUI):
a) tipo de parede; b) tipo de cobertura; c) sombreamento



4.4.2. ANOVA

Após as análises individuais da influência de cada variável preditora sobre a variável resposta (EUI), realizou-se uma função ANOVA na amostra de treino para identificar de forma conjunta quais variáveis são significativas para o EUI. De todas as variáveis preditoras, três não foram consideradas significativas ($p>0,05$): GDA; paredes; e cobertura (Tabela 17), o que coincide com o discutido nas análises dos

modelos lineares individuais, que indicaram pequena influência do clima e das variáveis construtivas no EUI, embora o GDR tenha sido influente.

Tabela 17 - Modelos dos testes criados para a amostra de treino

Variável resposta	Variáveis preditoras	F	Df	desviância	p
EUI	GDR	359,935	1	5170	2e-16 ***
	GDA	0,076	1	1	0,783
	área	24052,648	1	345502	2e-16 ***
	refrigeração	1799,590	1	25850	2e-16 ***
	MDR	1496,974	1	21503	2e-16 ***
	IL	2928,068	1	42060	2e-16 ***
	EQ	14938,487	1	214583	2e-16 ***
	paredes	0,004	1	0	0,948
	cobertura	2,192	1	31	0,130
	sombreamento	5,889	1	85	0,015 *

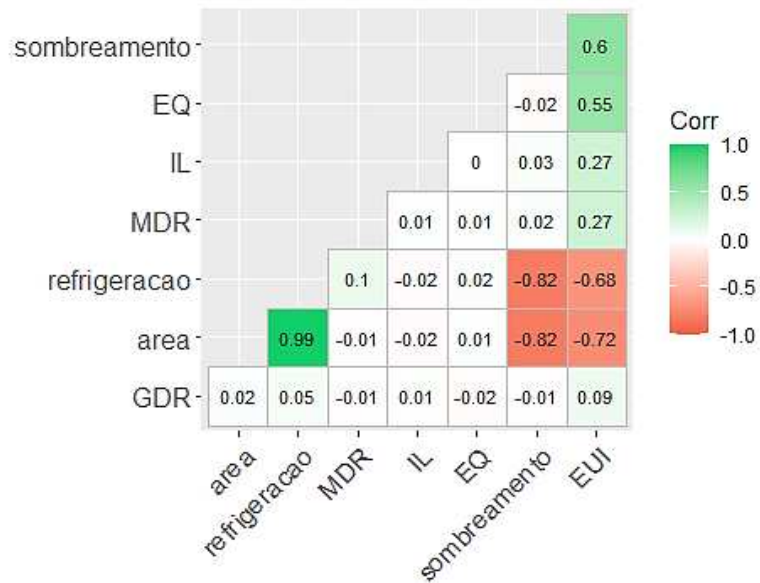
Significância do teste: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

4.4.3. Matriz de correlação

A matriz de correlação foi gerada com as variáveis significativas, descartando-se as variáveis GDA, paredes e cobertura da equação de regressão linear múltipla a ser criada. Ao analisar a matriz, observa-se uma forte correlação entre a área e o sistema de refrigeração (Figura 19), o que já era esperado pois, como mencionado anteriormente, o número de refrigeradores e câmaras frias foi estipulado de forma proporcional a área. A variável sombreamento também apresentou uma correlação alta com a área e com o sistema de refrigeração (Figura 19), o que também já era esperado visto que, tanto o fator de forma exposta, quanto o sistema de refrigeração, estão atrelados às dimensões do modelo.

Variáveis correlacionadas geram distorções nos resultados e influenciam a capacidade de previsão da equação, por isso as variáveis refrigeração e sombreamento foram descartadas, mantendo-se apenas a área. Nos resultados preliminares tentou-se manter a variável refrigeração, porém esta influenciou o processo de validação, que foi corrigido com a sua eliminação (Apêndice C).

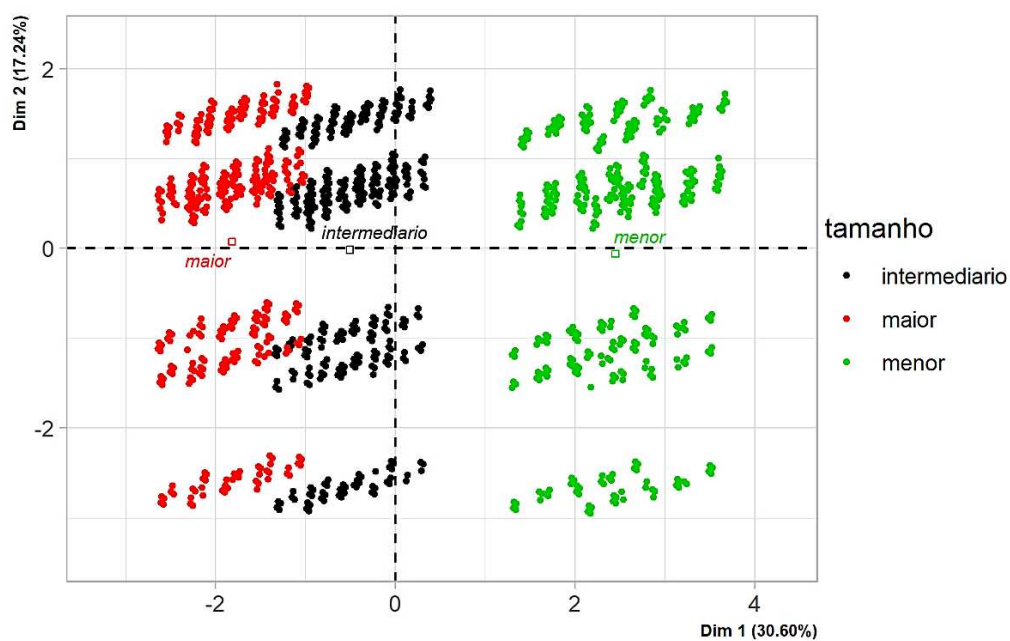
Figura 19 - Matriz de correlação das variáveis mais influentes



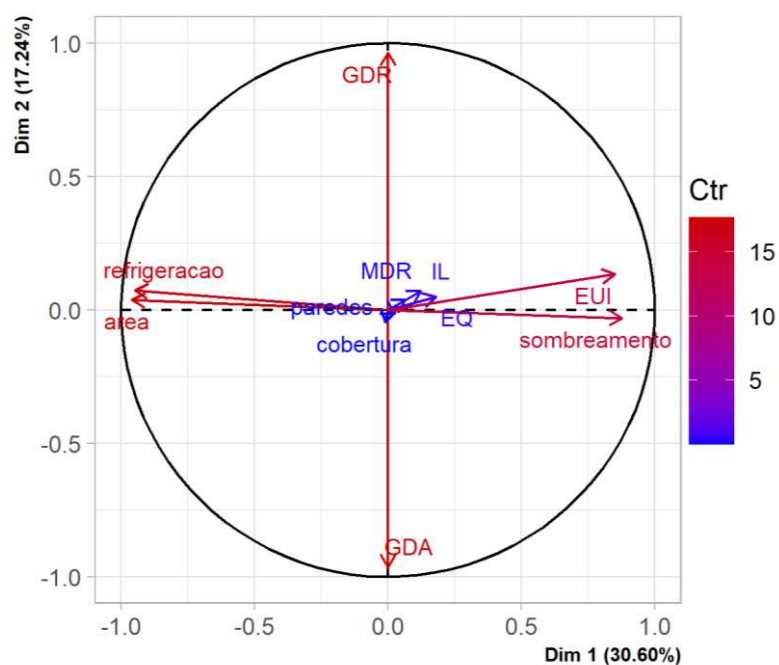
4.4.4. Análise de componentes principais (PCA)

A PCA foi realizada para identificar a contribuição de cada variável dentro dos diferentes grupos de supermercados. Estes foram agrupados de acordo com as três áreas adotadas nas simulações paramétricas e diferenciados como tamanho menor ($P=800 \text{ m}^2$), tamanho intermediário ($M=2.800 \text{ m}^2$) e tamanho maior ($G=3.920 \text{ m}^2$). A PCA foi capaz de explicar aproximadamente 48% dos casos da amostra de treino (Figura 20a). Com relação à contribuição (Ctr) de cada variável a PCA mostrou concordância com as análises anteriores, ao apresentar pequena contribuição das variáveis construtivas (paredes e cobertura) e um maior destaque para a área total e para a demanda de carga de refrigeração (Figura 20b).

Figura 20 - Análise de Componentes Principais (PCA): a) agrupamento por área; b) contribuição (Ctr) por variável



a)



b)

4.4.5. Regressão linear múltipla

Com as análises de sensibilidade, as variáveis GDA, paredes e cobertura que não foram significativas foram descartadas e, com a matriz de correlação, as variáveis sombreamento e refrigeração foram eliminadas. O modelo de regressão linear múltipla (Equação 5) foi criado com as variáveis restantes e obteve um coeficiente de determinação de 0,97.

Equação 5

$$EUI = 127,9 + (0,003 \cdot GDR) - (0,013 \cdot area) + (11,92 \cdot MDR) + (3,66 \cdot IL) + (1,24 \cdot EQ)$$

4.4.6. Validação

Os índices *CVRMSE* e *NMBE* foram utilizados para validar o modelo de regressão linear múltipla, foi utilizada a amostra reservada para tal finalidade, comparou-se o EUI previsto pela equação com os valores obtidos por simulação no *EnergyPlus*. Assim, o valor encontrado para o *CVRMSE* foi de 2,47% e para o *NMBE* foi de 1,14%.

4.4.7. *Benchmark* (escala de consumo – abordagem *bottom-up*)

Para definir as faixas de consumo ou o *benchmark* propriamente dito, é usada a equação de regressão linear múltipla, com ela são calculadas as intensidades de consumo mínima e máxima que podem ser atingidas pela equação de acordo com o banco de dados utilizado, ao substituir os valores extremos adotados para as variáveis da equação. Vale destacar que a área entra com valor negativo na equação, então há uma relação inversamente proporcional ao valor da intensidade de consumo.

Assim, a faixa de intensidade de consumo típico (*benchmark*) tem como limite inferior a intensidade de consumo mínimo acrescido de um coeficiente “i” e o limite superior a intensidade de consumo mínimo acrescido de três vezes o fator “i” (Equação 6).

Equação 6

$$i = \frac{EUI_{máximo} - EUI_{mínimo}}{5}$$

Os limites das faixas de consumo foram obtidos ao utilizar as duas equações (Figura 21).

Figura 21 - Escala de consumo para a abordagem *bottom-up* (kWh/m²/ano)



* Os termos EUI máximo e EUI mínimo foram utilizados aqui apenas como referência para os valores extremos encontrados na amostra utilizada para a criação do *benchmark*, contudo não são valores absolutos e podem ser extrapolados.

4.5. Abordagem *top-down* (análise de percentil)

Para criar a escala de consumo pela abordagem *top-down* (Figura 22) utilizou-se o banco de dados de treino de intensidade de consumo de energia elétrica para realizar uma análise de percentil. Foi considerado como EUI típico o intervalo entre o 1º quartil (157,50 kWh/m²/ano) e o 3º quartil (191,70 kWh/m²/ano). Os casos considerados eficientes são aqueles com EUI inferior ao 1º quartil e os ineficientes apresentam EUI acima do 3º quartil.

Figura 22 - Escala de consumo para a abordagem *top-down* (kWh/m²/ano)



* Os termos EUI máximo e EUI mínimo foram utilizados aqui apenas como referência para os valores extremos encontrados na amostra utilizada para a criação do *benchmark*, contudo não são valores absolutos e podem ser extrapolados.

4.6. Comparação entre as abordagens

Apesar das diferenças metodológicas entre as duas abordagens, os limites das escalas de intensidade de consumo que estabelecem o EUI típico (*benchmark*)

foram próximos, com o limite inferior (eficiente) diferenciando-se em 8,83 kWh/m²/ano entre as duas abordagens e o limite superior (ineficiente) em 4,04 kWh/m²/ano entre as duas escalas. Assim, neste caso em que foi utilizado o mesmo banco de dados de intensidade de consumo para as duas abordagens, os resultados do *benchmark* foram próximos, mas não é possível afirmar que, caso fossem utilizados edifícios reais, o resultado se manteria. No entanto, o contrário, de que o resultado seria distinto ao encontrado, também não pode ser afirmado.

Por fim, foi realizada a comparação dos níveis de eficiência alcançados pelos dois estudos de caso nas diferentes abordagens (*bottom-up* e *top-down*) e dos diferentes EUIs estipulados por métodos distintos (Tabela 18):

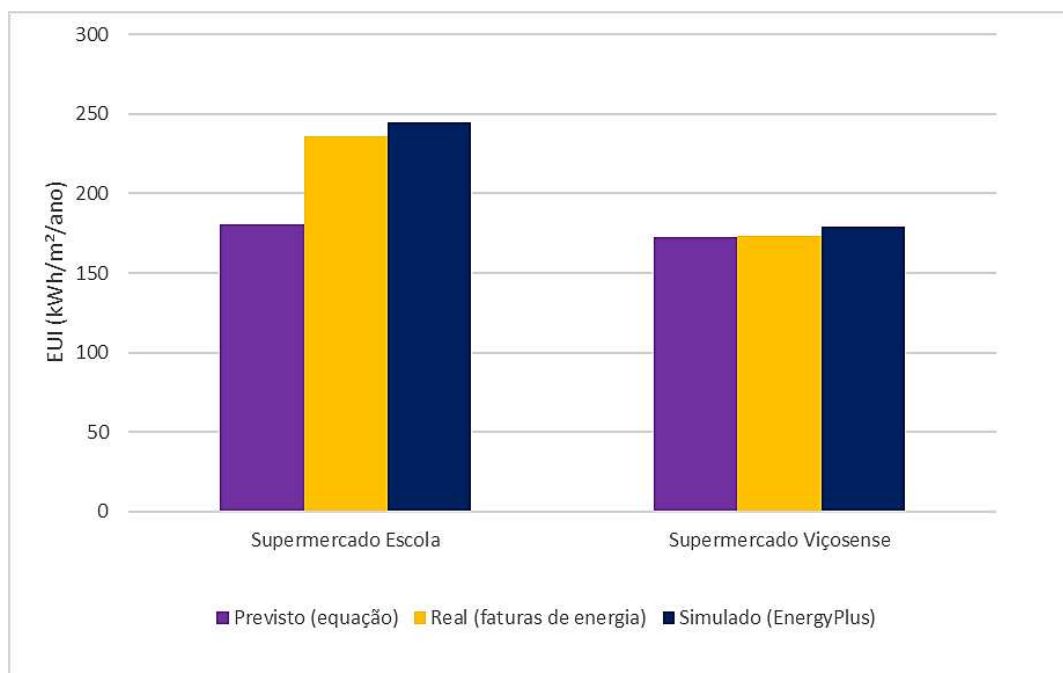
- EUI previsto pela equação de regressão linear múltipla;
- EUI real que foi calculado pelas faturas de energia;
- EUI simulado por meio do *EnergyPlus*;
- EUI fotovoltaico referente à proposta de implantação de um sistema fotovoltaico na cobertura do Supermercado Escola, o que se espera resultar em um caso mais eficiente.

A Figura 23 mostra a relação entre o EUI previsto e os demais resultados presentes na Tabela 18.

Tabela 18 - Variáveis utilizadas na equação de regressão linear múltipla e os diferentes EUIs estipulados por métodos distintos para cada estudo de caso

	Supermercado Escola	Supermercado Viçosense
GDR	3.834	3.834
Área total (m ²)	2.996	983
Refrigeração (W)	70.408	19.144
MDR (variável categórica)	1	0
IL (W/m ²)	4,04	2,80
EQ (W/m ²)	43,01	29,13
EUI previsto (equação) (kWh/m ² /ano)	180,31	172,87
EUI real (faturas de energia) (kWh/m ² /ano)	236	173
EUI simulado (<i>EnergyPlus</i>) (kWh/m ² /ano)	245	179
EUI fotovoltaico (<i>EnergyPlus</i>) (kWh/m ² /ano)	170	-

Figura 23 – Comparação entre os diferentes EUIs



A previsão do EUI pela equação para o Supermercado Viçosense apresentou um resultado próximo do consumo real (faturas de energia) com uma diferença percentual de apenas 0,1% entre o EUI real e o EUI previsto. Entretanto, para o Supermercado Escola a diferença foi maior, de 23,6% entre o real e o previsto pela equação, o que gerou uma diferença no nível de eficiência atingido nas duas escalas (Tabela 19). Na tabela, pode-se observar que, para o EUI real e o EUI simulado, independente da abordagem, o Supermercado Escola foi considerado ineficiente, entretanto, devido ao subdimensionamento do EUI pela equação, os valores previstos por ela acabaram indicando nível típico para o Supermercado Escola na escala *bottom-up* e na escala *top-down*. Já para o Supermercado Viçosense todos os EUIs (real, previsto e simulado) foram considerados típicos para as duas abordagens.

Com o estudo de inserção do sistema fotovoltaico na cobertura do Supermercado Escola o EUI real considerado ineficiente avançou para nível típico nas duas abordagens (Tabela 19). Embora não tenha sido feita uma análise de custos de implantação, a compensação do consumo faturado pela energia produzida localmente se mostra promissora, tanto pela economia que poderia ser proporcionada ao consumidor final, quanto aos benefícios para a rede de distribuição ao reduzir a demanda de energia elétrica para a concessionária. Outra vantagem é que a geração

de energia fotovoltaica coincide com os horários de maior demanda pelos supermercados, como pode ser observado na curva de carga gerada pelo monitoramento do Supermercado Escola. O *benchmark* pode servir como um instrumento para ajudar na tomada de decisão sobre investir em um sistema FV visando a possibilidade de melhorar a classificação do edifício frente aos demais supermercados da mesma categoria. Em contrapartida, o uso de sistemas sustentáveis como a energia solar deve ser valorizado no *benchmark*, visto os benefícios que podem gerar, como as reduções nas emissões de carbono. Comparando as emissões de carbono geradas para o Supermercado Escola, considerando o consumo real e o consumo descontando a geração de energia FV, seria possível uma redução nas emissões de cerca de 23 toneladas de CO₂ no período de um ano (Tabela 19).

Tabela 19 - Níveis de eficiência atingidos pelos diferentes valores de EUI encontrado para os estudos de caso (abordagens *bottom-up* e *top-down*)

Supermercado Escola	Real	Previsto	Simulado	Fotovoltaico
EUI (kWh/m ² /ano)	236	180,31	245	170
Energia primária* (tep/ano)	60,81	46,46	63,13	43,80
Emissões de carbono* (t CO ₂ -eq/MWh/ano)	83,79	64,01	86,98	60,35
<i>Benchmark bottom-up</i>	Ineficiente	Típico	Ineficiente	Típico
<i>Benchmark top-down</i>	Ineficiente	Típico	Ineficiente	Típico
Supermercado Viçosense	Real	Previsto	Simulado	Fotovoltaico
EUI (kWh/m ² /ano)	173	172,87	179	-
Energia primária* (tep/ano)	14,63	14,61	15,13	-
Emissões de carbono* (t CO ₂ -eq/MWh/ano)	20,15	20,14	20,85	-
<i>Benchmark bottom-up</i>	Típico	Típico	Típico	-
<i>Benchmark top-down</i>	Típico	Típico	Típico	-

* Os fatores de conversão utilizados para a energia primária e para as emissões de carbono seguiram o Balanço Energético Nacional (BEN, 2022).

A diferença entre o valor previsto do EUI pela equação para o Supermercado Escola e o valor real das faturas de energia não surpreendeu, visto que a equação se trata de uma simplificação e uma generalização criada com base em modelos simulados e paramétricos, embora não fosse esperada tamanha diferença considerando os indicadores *CVRMSE* e *NMBE* da validação. A classificação do Supermercado Escola como consumo ineficiente/ típico mostra a fragilidade da utilização apenas da intensidade de consumo como índice de comparação para o *benchmark*, visto que o EUI não representa de fato eficiência energética. Durante os levantamentos, foi possível perceber que o supermercado em questão faz uso de sistemas eficientes, como o sistema de iluminação que utiliza lâmpadas LED e o sistema de refrigeração com equipamentos novos e atualizados. Entretanto, devido ao fato de o Supermercado Escola encontrar-se no limite superior de médio porte, a sua intensidade de consumo de energia pode estar mais próxima de supermercados de grande porte, devido aos serviços oferecidos e à sua produção intensificada, principalmente na padaria com equipamentos para oferta de serviços em escala industrial. Assim, ao ser comparado com outros supermercados menores de médio porte e que não apresentam esta escala de produção em tamanha variabilidade de produtos, ele foi incorretamente classificado como ineficiente.

O EUI reduzido, previsto pela equação, comparado ao EUI real para o Supermercado Escola refletiu este aspecto. A equação foi proposta com base em dados médios de consumo entre os dois estudos de caso, e o consumo reduzido do Supermercado Viçosense influencia para que a média seja baixa. Assim, ao inserir as características de área e sistemas do Supermercado Escola na equação a mesma sugere uma previsão de intensidade de consumo com base no banco de dados utilizados. O valor previsto para o Supermercado Escola foi menor do que o real pois a produção e os serviços oferecidos por ele estão em uma escala superior à utilizada no banco de dados, ou seja, o Supermercado Escola extrapolou a tendência dos casos simulados ao ter um consumo real de 236 kWh/m²/ano, enquanto o limite superior de consumo do banco de dados foi de 233 kWh/m²/ano.

Vale ressaltar que, em ambas as abordagens, as classificações de eficiência foram realizadas com base na intensidade de consumo, o que foi uma limitação pelas razões expostas no parágrafo anterior: um supermercado que tenha uma produção

mais intensificada pode parecer ineficiente mesmo utilizando sistemas atualizados e de baixo consumo de energia. E supermercados que utilizam de sistemas ineficientes, mas que apresentam poucos equipamentos ou uma produção reduzida para esta categoria de médio porte, podem ser classificados como eficientes apenas pela baixa intensidade de consumo. Para contornar essa limitação, os gestores de energia devem fazer uma avaliação completa do edifício e não apenas considerar o nível atingido nas escalas. O *benchmark* é uma ferramenta auxiliar na comparação entre intensidades de consumo de uma determinada tipologia, e serve de balizador para identificar necessidades de melhoria na eficiência do edifício, porém deve ser acompanhado de uma análise realizada por profissionais especializados em caso de uma auditoria energética.

A solução fotovoltaica pode ser uma estratégia para ajustar este nível. O *benchmark* pode ser um instrumento para avaliar a adoção da energia fotovoltaica, de maneira que o empreendimento mantenha a sua classificação de médio porte, porém com produção suficiente para os serviços demandados pelos clientes, sem alteração de área ou número de funcionários.

A título de comparação os dados de consumo dos estudos de caso foram inseridos na plataforma de *benchmark* do CBCS para identificar as diferenças entre a escala de intensidade de consumo obtida para supermercados totalmente condicionados artificialmente (CBCS) e as escalas de intensidade de consumo desenvolvidas nesta tese, considerando supermercados naturalmente ventilados.

Como esperado os limites da escala de intensidade de consumo que estabelecem o EUI típico do *benchmark* do CBCS foram superiores, foram consideradas típicas intensidades de consumo entre 232,20 kWh/m²/ano e 280,93 kWh/m²/ano (Figuras 24 e 25), devido ao maior consumo com condicionamento artificial de ar. Ambos os valores seriam considerados ineficientes para os *benchmarks* desenvolvidos nesta tese, tanto pela abordagem *top-down* quanto pela abordagem *bottom-up*. Este fato comprova a necessidade de estabelecer um *benchmark* específico para supermercados naturalmente ventilados.

O Supermercado Viçosense foi classificado como eficiente pelo *benchmark* do CBCS (Figura 24), o que era esperado visto que o mesmo não tem sistema de ar condicionado em todo o edifício. Já o Supermercado Escola foi considerado típico,

mesmo apresentando ventilação natural como principal meio de condicionamento (Figura 25). A explicação é a mesma fornecida anteriormente para o supermercado em questão ter sido considerado ineficiente para o *benchmark* de supermercados ventilados naturalmente e está relacionada aos serviços oferecidos e à sua produção intensificada, com uma densidade de consumo por equipamentos muito elevada. A densidade de consumo por equipamentos do Supermercado Escola é de $43,01 \text{ W/m}^2$, e para as simulações do CBCS, no desenvolvimento do *benchmark*, foi considerado para o cenário mais eficiente a densidade de consumo de equipamentos de $7,2 \text{ W/m}^2$ e para o cenário menos eficiente $14,2 \text{ W/m}^2$, valores muito abaixo dos observados para os dois estudos de caso, visto que o Supermercado Viçosense apresentou uma densidade de consumo de equipamentos de $29,13 \text{ W/m}^2$.

Figura 24 – Classificação do Supermercado Viçosense segundo o *benchmark* do CBCS

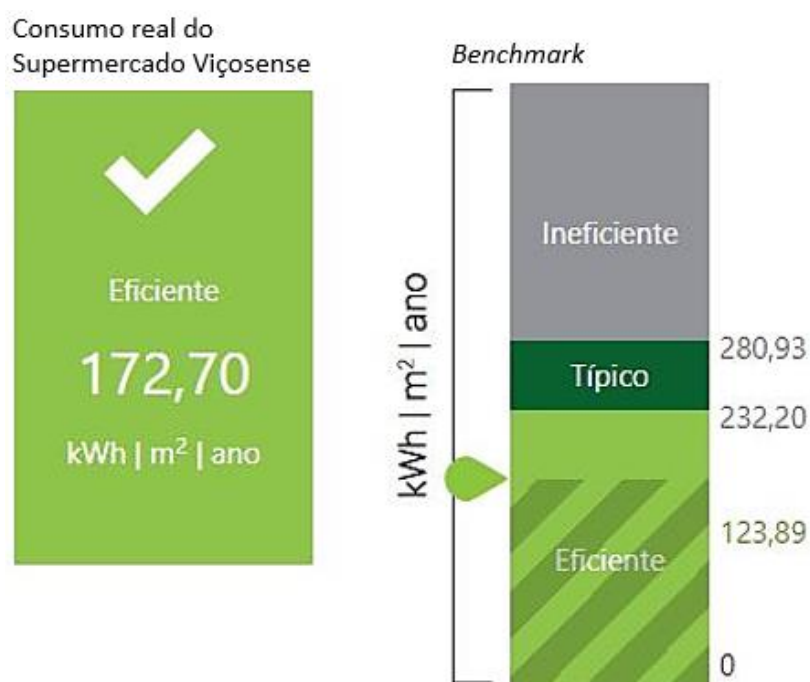
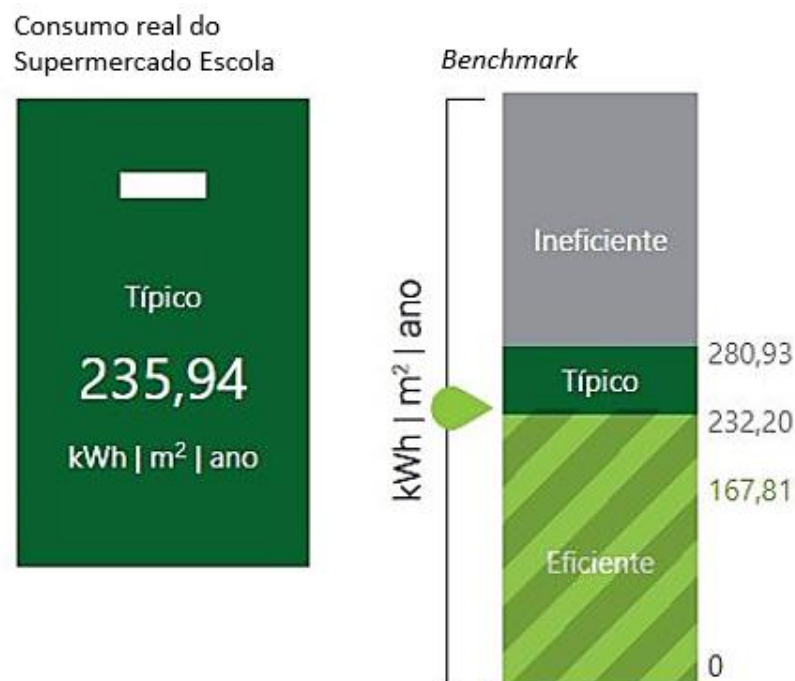


Figura 25 - Classificação do Supermercado Escola segundo o *benchmark* do CBCS



O objetivo principal do trabalho, além de estudar as singularidades da tipologia de supermercados para a região Sudeste, foi de realizar uma comparação metodológica entre as diferentes abordagens para a criação de um *benchmark* e, neste quesito, é possível realizar algumas inferências sobre os resultados atingidos.

A abordagem *top-down*, por ser simplificada, não traz informações aprofundadas sobre a tipologia, nem sobre os edifícios avaliados, necessitando do apoio de outros estudos. Ela tem como objetivo apenas criar a escala de consumo típico. Neste sentido, o próprio Supermercado Escola seria classificado como ineficiente e não haveria subsídios para uma avaliação aprofundada das causas deste baixo desempenho. Portanto, a abordagem *top-down* esconderia uma característica que somente uma auditoria energética seria capaz de mostrar.

Por outro lado, todo o processo de criação do *benchmark* pela abordagem *bottom-up* consiste em uma série de estudos que promove a identificação de singularidades na tipologia estudada, e gera como produto não somente o *benchmark* propriamente dito, mas uma série de inferências sobre o comportamento ambiental da tipologia e os principais parâmetros que podem influenciar seu consumo de energia. Os próprios valores utilizados na equação de regressão linear múltipla já podem

fornecer indícios para os gestores de energia dos edifícios de quais parâmetros podem ser aperfeiçoados, com o objetivo de melhorar seu nível de eficiência energética frente ao comumente realizado no mercado, seja pelos parâmetros mais sensíveis, ou por pontos fracos do próprio edifício avaliado. Por exemplo, o gestor pode identificar que a densidade de potência instalada para iluminação do seu edifício está muito acima dos limites da equação, o que pode indicar a necessidade de atualização do tipo de lâmpadas, optando por modelos mais eficientes.

Obviamente, o processo de elaboração dos estudos pela abordagem *bottom-up* gera uma demanda de trabalho maior, necessitando de mais investimento em tempo e mão de obra especializada (simulação computacional). Já a abordagem *top-down* pode ser realizada de forma rápida e simplificada, desde que se disponha de um banco de dados de consumo de energia de uma amostra significativa de edifícios reais da tipologia estudada. Assim, optar por uma ou outra abordagem vai depender do objetivo do *benchmark* e do quanto já se sabe sobre o comportamento da tipologia em questão. No caso desta pesquisa, existem poucos estudos da tipologia de supermercados no Brasil, o que justificou as investigações de levantamento e simulações realizados durante a abordagem *bottom-up*. Entretanto, destaca-se a necessidade de mais levantamentos sobre os usos finais de supermercados em operação, o que não foi possível executar nesta pesquisa devido à Pandemia de COVID19 ter provocado um isolamento social no período. Além disso, a falta de um banco de dados de consumo para supermercados no país inviabilizou a abordagem *top-down* por dados reais e gerou a necessidade de trabalhar com um banco de dados simulados.

5. CONCLUSÕES

Essa tese teve como objetivo desenvolver e comparar diferentes abordagens na elaboração de um *benchmark* energético para a tipologia de supermercados de médio porte ventilados naturalmente para a região Sudeste do Brasil. O trabalho foi o primeiro passo para compreender melhor a tipologia que ainda é pouco abordada na literatura, apesar de ser uma grande consumidora de energia em todo o mundo. No Brasil a escassez de dados é ainda mais significativa, os únicos indicadores de consumo de energia para o setor encontrados são: um levantamento realizado pelo PROCEL, que data de 2005; e o *benchmark* para supermercados desenvolvido pelo CBCS, que, apesar de recente (2022), apresenta um recorte apenas para supermercados totalmente condicionados artificialmente. Os processos que levaram ao desenvolvimento do *benchmark* consistiram nas seguintes etapas: estudos de caso; desenvolvimento de um modelo representativo; criação de um banco de dados simulados de consumo de energia elétrica para supermercados; desenvolvimento das escalas de consumo por diferentes abordagens (*top-down* e *bottom-up*); e a comparação entre as duas abordagens.

Foram realizados dois estudos de caso, o primeiro foi o Supermercado Escola localizado no limite superior da classificação de médio porte (91 funcionários) e segundo foi o Supermercado Viçosense localizado no limite inferior (50 funcionários). O diagnóstico energético dos edifícios estudados mostrou resultados concordantes com os consumos indicados pela literatura, com o sistema de refrigeração sendo o maior consumidor de energia para a tipologia, representando 74% e 82% dos usos finais nos respectivos supermercados avaliados. Isto é explicado pela alta demanda para manter os produtos na temperatura ideal e por ser um sistema em funcionamento constante. Ambos os estudos de casos apresentaram sistemas eficientes, com uso de lâmpadas *LEDs* e equipamentos de refrigeração novos, entretanto, o Supermercado Escola faz uso de algumas prateleiras refrigeradas abertas, que são apontadas na literatura como grandes consumidoras de energia, ao passo que o Supermercado Viçosense utiliza apenas refrigeradores fechados. A densidade de consumo no Supermercado Viçosense (173 kWh/m²/ano) foi menor do que a

encontrada no Supermercado Escola (236 kWh/m²/ano), principalmente devido ao uso mais intenso de energia, pois o Supermercado Escola fornece serviços de natureza equivalente aos de supermercados de grande porte, como existência de área de alimentação para clientes e produção em escala industrial na padaria.

A etapa seguinte consistiu na elaboração de um modelo representativo e nas simulações paramétricas para criação do banco de dados simulados. Foram levantadas as características construtivas por meio de imagens de satélites de uma amostra de 229 supermercados localizados na região Sudeste do Brasil e as características com maior frequência foram adotadas no modelo representativo. Algumas das principais características encontradas no levantamento foram: construção em alvenaria geralmente dividida em dois pavimentos; telhado metálico; estacionamento externo à edificação; uma ou duas fachadas sombreadas. Com a criação do modelo representativo foram realizadas simulações paramétricas, variando tanto características construtivas como características dos sistemas, buscando criar modelos mais e menos eficientes. No total o banco de dados simulados consistiu em 1536 modelos de supermercados.

Durante o processo de criação da abordagem *bottom-up* foi realizada uma análise de sensibilidade para identificar quais variáveis influenciavam de forma mais significativa na intensidade de consumo dos modelos. Como principais conclusões tivemos a pequena influência das características construtivas sobre o consumo final dos supermercados, principalmente devido aos modelos apresentarem sistema de condicionamento artificial de ar apenas na área administrativa, que representa em média 5,61% da área total, sendo utilizada a ventilação natural para o restante do edifício. Em consequência, o clima também foi pouco significativo para os modelos, mesmo a refrigeração representando 70% do consumo na tipologia simulada, pois a configuração espacial da tipologia de supermercados de médio porte é baseada em uma edificação de dois pavimentos separados por laje maciça, sendo os refrigeradores localizados na área de vendas do pavimento térreo. Verificou-se que a área, o sistema de iluminação e os equipamentos foram algumas das variáveis de maior influência sobre o EUI. Outras variáveis, como o sistema de refrigeração e o sombreamento, apesar de influentes, foram descartadas durante o desenvolvimento da equação de regressão por apresentarem alta correlação com as demais. A

equação de regressão linear múltipla desenvolvida obteve um coeficiente de determinação de 0,97, *CVRMSE* de 2,47% e *NMBE* de 1,14% na validação por meio da comparação com os EUIs do banco de dados criados a partir da simulação.

Apesar das diferenças metodológicas, os limites de intensidade de consumo que estabelecem o EUI típico (*benchmark*) foram próximos para as duas abordagens. Portanto, a hipótese de que a combinação das abordagens em um método híbrido é mais robusta pode ser rejeitada, pois, considerando as limitações do método devido à ausência de dados reais de EUI de supermercado, as abordagens não apresentaram diferenças significativas para que sejam complementares. Em ambas, o uso da intensidade de consumo como indicador para o *benchmark* mostrou uma fragilidade, visto que um supermercado que tenha uma produção mais intensificada pode parecer ineficiente mesmo utilizando sistemas atualizados e de baixo consumo de energia. Este fator leva a se perguntar se os indicadores para definição do porte de supermercados é o melhor meio de classificar os empreendimentos, ou se outros indicadores, como tipo de serviços oferecidos, devem ser considerados em uma classificação de porte. Assim, mesmo com a utilização dos *benchmarks*, os edifícios devem passar por auditorias energéticas ou avaliações similares por profissionais especializados para identificar as possibilidades de melhoria. Em relação à comparação das abordagens, a *top-down* se mostrou mais simples e rápida, entretanto sem agregar informação sobre o comportamento da tipologia e sem fornecer um prognóstico para os edifícios avaliados. Por outro lado, o processo de desenvolvimento da abordagem *bottom-up* corrobora tanto para o entendimento da tipologia como um todo, quanto para investigações sobre o próprio edifício avaliado. Assim, a escolha sobre qual abordagem utilizar deve levar em conta os objetivos do *benchmark*. No caso dessa tese, as análises desenvolvidas durante a abordagem *bottom-up* foram necessárias, pois pouco se sabia sobre o desempenho da tipologia para os climas do Sudeste do Brasil e os parâmetros que influenciavam seu consumo de energia. Além disso, o fato de não se ter um banco de dados de consumo para supermercados disponíveis no país inviabilizou o uso da abordagem *top-down* por meio de dados reais.

Por fim, o objetivo de desenvolver e comparar diferentes abordagens na elaboração de um *benchmark* energético para a tipologia de supermercados de médio

porte ventilados naturalmente para a região Sudeste do Brasil foi atendido, mesmo com as limitações discutidas. Foram criadas as duas escalas de *benchmark* por diferentes abordagens e ao compará-las identificou-se as principais vantagens e desvantagens de cada uma, além das especificidades identificadas pelos usos finais nos estudos de caso e pela análise de sensibilidade dos parâmetros que influenciam o consumo de energia na tipologia, e da criação do banco de dados paramétricos de consumo simulado para supermercados.

5.1. Limitações da tese e indicações para trabalhos futuros

As limitações consistiram na realização de apenas dois estudos de caso, ambos localizados na cidade de Viçosa-MG, na falta de um banco de dados de consumos reais de energia elétrica para supermercados em operação, na identificação de sistemas de condicionamento de ar nos elementos amostrais do Sudeste, além da verificação de que o Supermercado Escola possa estar em classificação intermediária entre médio e grande porte.

Entende-se a necessidade da realização de outros levantamentos *in loco*, entretanto, não foi possível realizar outras auditorias energéticas devido à pandemia que se fez presente em mais da metade do tempo de duração desta tese, incluindo decretos de *lockdown* durante o período de realização dos estudos de caso.

Além disso, a falta de um banco de dados de consumos reais de energia elétrica para supermercados em operação levou a utilização de um banco de dados simulados. Vale ressaltar que estes dados são de difícil aquisição no Brasil por questões legais e, salvo permissões especiais, só podem ser fornecidos pelo próprio consumidor, cujo número de empreendimentos no país, ou mesmo no Sudeste, inviabiliza o processo senão por amostragem. Esta amostra não foi possível de ser levantada junto aos supermercados do Sudeste devido à Pandemia de COVID19.

O levantamento da presença de unidades de condensação por imagens de satélites pode não ter sido capaz de identificar todas as unidades, principalmente por algumas fachadas de edifícios não serem visíveis na plataforma do Google.

Por fim, o Supermercado Escola contém uma oferta de serviços que pode ser mais típica de supermercados de grande porte, embora os demais indicadores o

classifiquem como de médio porte. O uso da classificação do IBGE para empreendimentos deste tipo pode não ser o mais adequado.

Como indicação para trabalhos futuros, é possível citar:

- a realização de outros estudos de caso (auditorias energéticas);
- a criação de um banco de dados de consumos reais de energia elétrica para supermercados em operação e a utilização destes para a abordagem top-down;
- a criação/expansão dos *benchmarks* para as outras regiões do país ou, até mesmo, um *benchmark* nacional que leve em conta supermercados naturalmente ventilados e a divisão de porte;
- investigar a possibilidade de utilizar outro indicador de eficiência energética que não o EUI considerando a possibilidade de conforto térmico e luminoso, além de tipo de serviços oferecidos nos casos de empreendimentos de atendimento ao público;
- avaliar a inclusão de sistemas e de energias renováveis no desempenho dos supermercados em escala, como a energia solar fotovoltaica.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

ABRAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS. Ranking Abras 2019 - ano base 2018. **Superhiper**, v.45, n. 514, 2019. Disponível em: <<https://www.abras.com.br/economia-e-pesquisa/ranking-abras/>>. Acesso em: maio de 2020.

ABRAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS. Ranking Abras 2020 - ano base 2019. **Superhiper**, v.46, n. 526, 2020. Disponível em: <<https://www.abras.com.br/economia-e-pesquisa/ranking-abras/>>. Acesso em: maio de 2022.

ABRAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS. Ranking Abras 2021 - ano base 2020. **Superhiper**, v.47, n. 537, 2021. Disponível em: <<https://www.abras.com.br/economia-e-pesquisa/ranking-abras/>>. Acesso em: maio de 2022.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Measurement of Energy and Demand Savings,” in ASHRAE Guideline 14-2002, 2002.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE 55-2013 - Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2013.

BARBOSA, E. F. T.; LABAKI, L. C. Conforto térmico em ambientes de um supermercado de médio porte. XII ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**...Brasília, DF: 2013.

BARBOSA, E. F. T.; LABAKI, L. C. Fatores determinantes no consumo de energia em ambientes de um supermercado de porte médio. XIV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**...Balneário Camboriú, SC: 2017.

BEN. Balanço Energético Nacional 2022: Ano Base 2021. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022> >. Acesso em: dez. 2022.

BOHDANOWICZ, P.; MART, I. Determinants and benchmarking of resource consumption in hotels – case study of Hilton International and Scandic in Europe. **Energy Build**, v. 39, p.82–95, 2007.

BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R. Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 82–91, 2014.

BRAUN, M. R.; ALTAN, H.; BECK, S. B. M. Using regression analysis to predict the future energy consumption of a supermarket in the UK. **Applied Energy**, v. 130, n. June 2015, p. 305–313, 2014.

BRE, F; GIMENEZ, J. M.; FACHINOTTI, V.D. Prediction of wind pressure coefficients on building surfaces using artificial neural networks. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1429–1441, 2018.

BUCK, J.; YOUNG, D. The potential for energy efficiency gains in the Canadian commercial building sector: a stochastic frontier study. **Energy**, v.32, p. 1769–1780, 2007.

BUILDING PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE. **European Buildings under the Microscope**, 2011.

BURMAN, E.; HONG, S.; PATERSON, G.; KIMPIAM, J.; MUMOVIC, D. A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 2 – Bottom-up approach. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, p. 247-261, 2014.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. O papel da volumetria no desempenho energético da edificação. IX ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Ouro Preto, MG: 2007.

CARLO, J. C. Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética da envoltória de edificações não residenciais. Florianópolis, 2008. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios - parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**, v.10, p. 27-40, 2010.

CBCS – CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação: **comunicação técnica**. São Paulo, 2014.

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; PROCEL; ELETROBRAS. **Ficha técnica**: Equações de benchmark – Tipologia de Supermercado. 2021. Disponível em: < <https://plataformadeo.cbcs.org.br/pdf/T06-Supermercados.pdf>>. Acesso em: dez 2022.

CHUNG, W.; HUI, Y.V.; LAM, M. Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings. **Applied Energy**, v. 83, p.1-14, 2006.

CHUNG, W.; HUI, Y.V. A study of energy efficiency of private office buildings in Hong Kong. **Energy Build**, v. 41, p. 696–701, 2009.

CHUNG, W. Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. **Applied Energy**, v. 88, p. 1470–1479, 2011.

CPSIMULATOR. Disponível em: <<https://cpsimulator.cimec.org.ar/>>. Acesso em: 21 out. 2020.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. 2021. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

CZAJKOWSKI, J. et al. Evaluación de las condiciones ambientales en un supermercado. **Avancos en Energias Renovables y Medio Ambiente**, v. 8, 2004.

DORNELES, K. A. **Biblioteca de absorção de telhas**: base de dados para análise de desempenho termoenergético de edifícios. São Carlos: IAU/USP, 2021.

EURELECTRIC. **Power production EU-27**, 2011. Disponível em: <www.eurelectric.org/content/Default.asp?PageID=948>

FOSTER, A.; EVANS, J.; MAIDMENT, G. Benchmarking of supermarket energy consumption. 5th IIR Conference on Sustainability and the Cold Chain. **Anais...**Beijing, China: 2018.

GIMENEZ, J. M.; BRE, F. Optimization of RANS turbulence models using genetic algorithms to improve the prediction of wind pressure coefficients on low-rise buildings. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, v. 193, 2019.

GIMENEZ, J. M.; BRE, F.; NIGRO, N.M.; FACHINOTTI, V.D. Computational modeling of natural ventilation in low rise non rectangular floor plan buildings. *Building Simulation*, v. 11, p. 1255-1271, 2018.

GOOGLE EARTH. Imagem de satélite da região Sudeste do Brasil em 2023a. Localização 17°39'33.58" S, 47°38'05.64" O, altura da câmera 2674 km.

GOOGLE EARTH. Vista aérea do Supermercado Super Maxi - Planalto, Uberlândia/MG em 2023b. Localização 18°56'02.74" S, 48°18'58.29" W, altura da câmera 80 m.

GOOGLE EARTH. Vista aérea do Supermercado Escola, Viçosa/MG em 2022a. Localização 20°45'56.87" S, 42°52'08.60" O, altura da câmera 638 m.

GOOGLE EARTH. Vista aérea do Supermercado Viçosense, Viçosa/MG em 2022b. Localização 20°45'12.52" S, 42°52'57.09" O, altura da câmera 296 m.

GUIMARÃES, Í. B. B.; CARLO, J. C. Comparação estatística entre arquivos climáticos desenvolvidos com métodos diferentes. Euro ELECS 2015 - Latin American and European Conference on Sustainable Buildings and Communities. **Anais...**, 2015.

HERNANDEZ, P.; BURKE, K.; LEWIS, J.O. Development of energy performance benchmarks and building energy ratings for non-domestic buildings: an example for Irish primary schools. **Energy Build**, v. 40, p. 249–254, 2008.

HONG, S.; PATERSON, G.; BURMAN, E.; STEADMAN, P.; MUMOVIC, D. A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 1 – Top-down approach. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 2, p. 119-130, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Painel de Indicadores**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://https://www.ibge.gov.br/indicadores#variacao-do-pib>. Acesso em: 26 abril 2023.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria nº 42**, de 24 de fevereiro de 2021. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) [...]. Diário Oficial da União: seção 1, ano 159, n. 45, p. 44, 09 mar. 2021. Disponível em:

<<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=09/03/2021&jornal=515&pagina=44&totalArquivos=130>> Acesso em: 11 out. 2021.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria nº 50**, de 01 de fevereiro de 2010. Aprova o aperfeiçoamento dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética de Edificações. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 06 fev. 2013. Seção 1, p. 87. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_classe=1&seq_ato=1961>. Acesso em: 16 out. 2021.

IYER, S. R. et al. Energy disaggregation analysis of a supermarket chain using a facility-model. **Energy and Buildings**, v. 97, p. 65–76, 2015.

KOLOKOTRONI, M. et al. Supermarket energy use in the UK. **Energy Procedia**, v. 161, n. 2018, p. 325–332, 2019.

LAM, J.C.; HUI, S.C.M. Sensitivity analysis of energy performance of Office buildings. *Building and Environment*, v.31, n.1, p. 27-39, 1995.

LEE, W.L.; BURNETT, J. Benchmarking energy use assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED. **Build Environ**, v. 43, p. 1882–1891, 2008.

LEE, S. E.; PRIYADARSINI, R. Building energy efficiency labeling programme in Singapore. **Energy Policy**, v. 36, p. 3982–3992, 2008.

LINDBERG, U.; AXELL, M.; ROLFSSMAN, L. Energy efficiency in supermarkets – Implication of Eu Efficiency Directives. **Energy**, 2011.

MANGIAPELO, L. B. S.; FRANCATO, A. L.; ANDREASI, W. A. Avaliação da eficiência energética nos sistemas de iluminação natural e artificial em dois hipermercados. IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. **Anais...**Jui de Fora, MG: 2011.

MARTOS, J. L. G.; STYLES, D.; SCHOENBERGER, H. Identified best environmental management practices to improve the energy performance of the retail trade sector in Europe. **Energy Policy**, v. 63, p. 982–994, dez. 2013.

MENDENHALL, W.; REINMUTH, J.E.; BEAVER, R. Statistics for management and economics. 7th ed. California: Duxbury Press; 1993.

MYLONA, Z.; KOLOKOTRONI, M.; TASSOU, S. A. Frozen food retail: Measuring and modelling energy use and space environmental systems in an operational supermarket. **Energy and Buildings**, v. 144, p. 129–143, 2017.

MYLONA, Z.; KOLOKOTRONI, M.; TASSOU, S. A. A study of improving energy efficiency of small supermarkets by modelling interactions between building, Hvac, Refrigeration and display product. 5th IIR Conference on Sustainability and the Cold Chain. **Anais...**Beijing, China: 2018

Ó BROIN, E. *et al.* The effect of improved efficiency on energy savings in EU-27 buildings. **Energy**, v. 57, n. 2013, p. 134–148, 2013.

PANESI, A. R. Q. Eficiência energética em supermercados. (POLI-USP) II Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. **Anais...** São Paulo, SP: 2009.

PATHER-ELIAS, S.; DAVIS, S.; COHEN, B. A techno-economic study of energy efficiency technologies for supermarkets in South Africa. **Journal of Energy in Southern Africa**, v. 23, n. 3, p. 2–8, 2012.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; GONZÁLEZ, R.; MAESTRE, I. R. A Review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v. 41, p. 272-278, 2009.

PROCEL – PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Relatório da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: Classe Comercial – Alta Tensão – Supermercados / Hipermercados, 2008. Ano base 2005. Disponível em: < <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D¶ms=itemID=%7BCCF153AF-6BD3-4F2B-B373-3E514A6C2AAF%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 28 de abril de 2020.

R Development Core Team. 2022. R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*.

REIS, T. Supermercados buscam soluções para reduzir consumo de energia. **PROCEL Info**, 2016.

RODRIGUES, T. T. V.; OLIVEIRA, D. F.; CARLO, J. C.; GUIMARÃES, H. S. Uma discussão sobre indicadores energéticos para supermercados. XVI ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Palmas, TO: 2021.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Nota metodológica para definição dos números básicos de MPE. Brasília, DF, p.17, 2013.

SHARP, T. R. Energy benchmarking in commercial office buildings, in: Proceedings of the 1996 ACEEE summer study. **ACEEE**, p. 4321–4329, 1996.

SUZUKI, Y. et al. Analysis and modeling of energy demand of retail stores. Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. **Anais...**2011.

TASSOU, S. A. *et al.* Energy consumption and conservation in food retailing. **Applied Thermal Engineering**, v. 31, n. 2–3, p. 147–156, 2011.

TELLES, C. de P. Proposta de simplificação do RTQ-R. Viçosa, 2016. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

TIMMA, L.; SKUDRITIS, R.; BLUMBERGA, D. Benchmarking analysis of energy consumption in supermarkets. **Energy Procedia**, v. 95, p. 435–438, 2016.

VAN DER SLUIS, S. *et al.* Performance indicators for energy efficient supermarket buildings. Proceedings of ICR 2015. **Anais...**2015.

WESTPHAL, F. S. Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais. **Tese** (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

APÊNDICE A - Características de uso e ocupação do Supermercado Escola

Potência instalada de Equipamentos

Algumas potências das zonas estão desmembradas em uso contínuo das 7:00h às 20:30h e em uso intermitente ao longo deste intervalo de horas. Assim, é apresentado a potência total (PT) instalada, e entre parênteses a potência em uso contínuo (UC) seguida da potência em uso intermitente (UI), PT (UC - UI).

Tabela 20 - Especificação dos equipamentos por Zona e suas respectivas potências em uso no Supermercado Escola

Zona	Equipamentos	Potência (W)
Área externa – Hall de entrada	Painel de LED	1500
	Total	1500 (1500 - 0)
Z1 – Controle	Computador	300
	Impressora	45
	Total	345 (300 - 45)
Z2 – Banheiros/ escada	Bebedouro	200
	Ventilador	100
	Plataforma elevatória	2100
	Total	2400 (200 – 2200)
Z7 – Açougue preparo	Embutidora	800
	Masseira	2200
	Seladora	200
	Serra elétrica	1000
	Total	4200 (0 – 4200)
Z8 – Açougue vendas	Moedor de carne (2)	2600
	Batedor de bife	1400
	Total	4000 (0 – 4000)
Z9 – Circulação/ vestiário	Chuveiro*	4500
	Total	4500 (0 – 4500)
Z14 – Vendas refrigerados/ padaria	Seladora (2)	400
	TV	150
	Estufa salgados	700
	Máquina de fatiar (2)	1472
	Total	2722 (850 – 1872)
Z15 – Salão de vendas	Carrinho de passar pano	400
	Jato de água	750
	Balanças (10)	2000
	Total	3150 (0 – 3150)
Z17 – Checkouts	Checkouts (13)	2015
	Total	2015 (2015 – 0)
Z18 – Depósito 1	Computador	300
	Total	300 (300 – 0)
Z19 – Carga/ descarga/ dep. hortifrúti	Computador	300
	Bebedouro	200

	Portão elétrico grande	440
	Portão elétrico médio	300
	Total	1230 (500 – 730)
Z22 – Sanitários/ recepção 1	Computador	300
	Impressora	45
	Ventilador	100
	Chuveiros* (8)	36500
	Total	36945 (300 – 36645)
Z23 – Financeiro	Computadores (7)	2100
	Impressora	45
	Total	2145 (2100 – 45)
Z26 – Administração	Computadores (15)	4500
	Impressoras (5)	225
	TV	150
	Monitor/câmeras (3)	450
	Total	5325 (4950 – 375)
Z27 – Recepção 2	Bebedouro	200
	Total	200 (200 – 0)
Z29 – Estar funcionários	TV	150
	Total	150 (0 – 150)
Z30 – Refeitório	Geladeira	120
	Micro-ondas	1000
	Cafeteira	1200
	Ventilador	100
	Total	2420 (120 – 2300)
Z31 – Cozinha 1/ padaria	Batedeira industrial menor	304
	Geladeira	120
	Micro-ondas	1000
	Seladora	200
	Exaustor	200
	Masseira (3)	6600
	Máquina de fatiar	736
	Total	9160 (320 – 8840)
Z32 – Sanitários	Chuveiros* (2)	9000
	Total	9000 (0 – 9000)
Z34 – Cozinha 2 parte 1/ padaria	Batedeiras grandes (3)	1500
	Batedeira menor	304
	Cilindro	700
	Modelador	650
	Máquina de salgados	500
	Total	3654 (500 – 3154)
Z35 – Cozinha 2 parte 2/ padaria	Forno elétrico	22000
	Aquecedor/ fermentação	700
	Bebedouro	200
	Monta carga	550
	Total	23450 (22900 – 550)
Z39 – Depósito 2	Monta carga	10000
	Computadores (2)	600

	Impressora	45
	Total	10645 (600 – 10045)
Z42 – Sala de aula	Computador	300
	Projektor	200
	Total	500 (0 – 500)

* O padrão de uso dos chuveiros também apresenta um tempo reduzido de uso, porém, esse tempo é menor do que o restante dos equipamentos para a mesma categoria, pois os chuveiros são usados esporadicamente e apresentam um consumo muito intenso de energia, necessitando um padrão de uso específico para não superdimensionar o consumo total do edifício.

** As Zonas térmicas que não são citadas na tabela não apresentam equipamentos, apenas iluminação.

Especificações de refrigeradores e câmaras frias

Tabela 21 - Especificação dos refrigeradores do Supermercado Escola

Zona	Refrigerador	Tipo	Comprimento (m)	Temperatura de operação (°C)
Z1	Z1_freezer1_controle	horizontal	1,67	-7,0
Z15	Z15_freezer2_sorvete	vertical	0,66	-23,0
	Z15_freezer3_sorvete	vertical	0,66	-16,6
	Z15_freezer4_sorvete	vertical	0,66	-22,4
	Z15_freezer5_sorvete	vertical	0,66	-19,0
	Z15_freezer6_sorvete	vertical	0,66	-21,0
	Z15_freezer7_suco	vertical	0,66	6,1
	Z15_freezer8_bebidas	vertical	0,66	4,0
	Z15_freezer9_bebidas	vertical	0,66	4,0
	Z15_freezer10_bebidas	vertical	0,66	4,0
	Z15_freezer11_pepsi	vertical/ 3 portas	1,33	4,0
	Z15_prateleira12_peixe	vertical / aberta	1,33	-4,0
	Z15_prateleira13_peixe	vertical/ aberta	1,33	6,2
Z8	Z8_freezer14_carnes	vertical/ 10 portas	6,33	0,0
	Z8_balcao15_carnes	vertical	2,56	1,0
	Z8_freezer16_carnes	horizontal/ aberto	1,67	14,7
	Z8_prateleira17_carnes	horizontal/ aberto	1,32	2,0
	Z8_freezer18_carnes	parte horizontal/ 4 portas	2,56	-10,0
	Z8_freezer19_carnes	parte vertical/ 4 portas	2,56	-22,5
	Z8_freezer20_carnes	parte horizontal/ 6 portas	3,81	-14,6
	Z8_freezer21_carnes	parte vertical/ 6 portas	3,81	-17,1
Z14	Z8_freezer22_carnes	parte horizontal/ 6 portas	3,81	-15,7
	Z8_freezer23_carnes	parte vertical/ 6 portas	3,81	-16,4
	Z14_freezer24_congelados	horizontal	1,85	-10,6
	Z14_freezer25_congelados	horizontal	1,85	-2,7
	Z14_freezer26_congelados	horizontal	1,85	-11,3
	Z14_freezer27_congelados	horizontal	1,85	-6,9

	Z14_freezer28_congelados	horizontal	1,85	-8,3
	Z14_freezer29_congelados	horizontal	1,85	-10,8
	Z14_freezer30_congelados	horizontal	2,10	-10,6
	Z14_freezer31_congelados	horizontal	2,10	-11,4
	Z14_freezer32_congelados	horizontal	2,10	-7,4
	Z14_freezer33_congelados	horizontal	2,10	-7,9
	Z14_freezer34_congelados	horizontal	2,10	-5,7
	Z14_freezer35_congelados	horizontal	2,10	-6,8
	Z14_freezer36_Nestle	horizontal	1,00	-22,5
	Z14_freezer37_kibon	horizontal	1,35	-25,0
	Z14_freezer38_salgados	horizontal	1,43	-12,5
	Z14_freezer39_aves	horizontal	1,54	-12,5
	Z14_freezer40_padaria_movel	horizontal	2,26	1,0
	Z14_freezer41_cocacola	vertical	1,00	-2,5
	Z14_freezer42_lacteos	vertical/ 18 portas	11,35	2,1
	Z14_freezer43_hotifruiti	vertical/ 10 portas	6,35	6,0
	Z14_freezer44_manteiga	vertical / 6portas	3,79	2,5
	Z14_freezer45_queijos	horizontal/ aberto	2,08	4,8
	Z14_prateleira46_queijos	horizontal/ aberto	4,84	0,0
	Z14_prateleira47_fatiados	horizontal/ aberto	2,07	9,9
	Z14_prateleira48_bolos	horizontal/ aberto	1,32	10,8
	Z14_prateleira49_frios	horizontal/aberto/3 partes	3,78	5,4
Z34	Z34_freezer50_massas	horizontal	1,67	-13,5
	Z34_freezer51_queijos	vertical	0,51	2,5
Z35	Z35_freezer52_massas	horizontal	1,50	-22,5
	Z35_freezer53_massas	horizontal	1,50	-23,5
Z40	Z40_freezer54_deposito_padaria	horizontal	1,50	-22,5
	Z40_freezer55_deposito_padaria	horizontal	1,50	-25,0
	Z40_freezer56_deposito_padaria	horizontal	1,50	-23,0
Z18	Z18_freezer57_deposito1	horizontal	1,25	-8,5

Tabela 22 - Especificação das câmaras frias do Supermercado Escola

Zona	Câmara Fria	Temperatura de operação (°C)	Área de piso (m²)
Z3	Z3_camara1_carnes_congelamento	-16,0	11,66
Z4	Z4_camara2_carnes_congelamento	-10,0	11,10
Z5	Z5_camara3_carnes_resfriamento	1,1	10,50
Z6	Z6_camara4_carnes_resfriamento	2,0	9,79
Z11	Z11_camara5_iogurte_resfriamento	2,0	8,68
Z12	Z12_camara6_sorvete_congelamento	-17,0	8,68
Z36	Z36_camara7_padaria_congelamento	-14,3	4,75
Z37	Z37_camara8_padaria_resfriamento	6,8	7,68

Potência instalada de Iluminação

Tabela 23 - Especificação das luminárias e respectivas potências de iluminação em uso por Zona no Supermercado Escola

Zona	Tipo de luminária	Potência total das lâmpadas (W)
Área externa – Hall de entrada	sobrepor	570
Z1 – Controle	sobrepor	144
Z2 – Banheiros/ escada	sobrepor	162
Z7 – Açougue preparo	sobrepor	252
Z8 – Açougue vendas	sobrepor	470
Z9 – Circulação/ vestiário	sobrepor	396
Z10 – Circulação	sobrepor	144
Z13 - Escada	sobrepor	36
Z14 – Vendas refrigerados/ padaria	embutir	1213
Z16 – Vendas rebaixo	embutir	490
Z17 – <i>Checkouts</i>	embutir	1412
Z18 – Depósito 1	sobrepor	765
Z19 – Carga/ descarga/ dep. hortifrúti	suspensa	504
Z22 – Sanitários/ recepção 1	embutir	464
Z23 – Financeiro	sobrepor	252
Z24 – Casa de máquinas	sobrepor	36
Z25 - Arquivo	sobrepor	45
Z26 – Administração	sobrepor	522
Z27 – Recepção 2	sobrepor	108
Z28 - Escada	sobrepor	36
Z29 – Estar funcionários	sobrepor	144
Z30 – Refeitório	embutir	36
Z31 – Cozinha 1/ padaria	sobrepor	72
Z32 – Sanitários	embutir	150
Z33 - Corredor	suspensa	236
Z34 – Cozinha 2 parte 1/ padaria	sobrepor	360
Z35 – Cozinha 2 parte 2/ padaria	sobrepor	225
Z38 – Depósito diário padaria	sobrepor	36
Z39 – Depósito 2	sobrepor	540
Z40 – Depósito padaria	sobrepor	72
Z41 – Depósito 3	sobrepor	216
Z42 – Sala de aula	sobrepor	216
Z43 – Salão de vendas	suspensa	2340

* As Zonas térmicas que não são citadas na tabela não apresentam iluminação artificial.

** A iluminação dos refrigeradores e câmaras frias são considerados nos próprios modelos do *EnergyPlus*

Especificações de uso e ocupação

Tabela 24 - Uso e ocupação (horas/dia) do Supermercado Escola

	Segunda à Sexta	Sábado	Feriado	Domingo
Clientes	12	12	4	-
Funcionários	13,5	13,5	5	-
Administração	10	-	5	-
Iluminação interna	13,5	13,5	5	-
Iluminação externa	12	12	12	12
Equipamentos uso contínuo	13,5	13,5	5	-
Equipamentos uso intermitente*	2	2	0,75	-
Sistema de refrigeração	24	24	24	24

* No uso intermitente a porcentagem de uso dos equipamentos é considerada em 15% durante o expediente de trabalho, as horas em uso representa a soma ao longo do dia.

APÊNDICE B - Características de uso e ocupação do Supermercado Viçosense

Potência instalada de Equipamentos

Algumas potências das zonas estão desmembradas em uso contínuo das 7:00h às 20:30h e em uso intermitente ao longo deste intervalo de horas. Assim, é apresentado a potência total (PT) instalada, e entre parênteses a potência em uso contínuo (UC) seguida da potência em uso intermitente (UI), PT (UC - UI).

Tabela 25 - Especificação dos equipamentos por Zona e suas respectivas potências em uso no Supermercado Viçosense

Zona	Equipamentos	Potência (W)
Z1 - Açougue	Balanças (2)	40
	Máquina de moer	1.300
	Batedor de carne	1.400
	Serra elétrica	1.000
	Ventilador	100
	Total	3.840 (100 - 3.740)
Z4 – Padaria vendas	Balanças (2)	40
	Fatiadoras (2)	1.300
	Estufa	100
	ventilador	100
	Seladora	200
	Total	1.740 (200 – 1.540)
Z12 – Checkouts	Checkouts (6)	930
	Monitores (2)	300
	Total	1.230 (1.230 – 0)
Z15 – Almoxarifado padaria	Máquina de fatiar pão	324
	Total	324 (0 – 324)
Z16 – Padaria produção	Batedeiras (3)	900
	Masseiras (2)	4.400
	Cilindro	700
	Modeladora	650
	Balanças (2)	40
	Máquina de ralar	600
	Seladora	200
	Exaustor	400
	Total	7.890 (7.050 – 840)
Z17 – Sanitários/ almoxarifado	Exaustores (2)	400
	Total	400 (0 – 400)
Z18 – Escritórios	Computador	300
	Impressora	45
	Sistema de câmera	120
	Climatizador	150
	Calculadora	100
	Total	715 (670 – 45)

Z20 – Circulação entrada	Computador	300
	Sistema de som	150
	Máquina de ponto	100
	Total	550 (550 – 0)
Z21 – Escritório	Computadores (2)	300
	Impressora	45
	Monitor	150
	Calculadora	100
	Total	595 (550 – 45)
Z23 – Sala proprietários	Computador	300
	Monitores (3)	450
	Calculadora	100
	Total	850 (850 – 0)
Z24 – Sala de espera	Ventilador	100
	Total	100 (100 – 0)
Z25 – Gerência	Computadores (3)	300
	Monitor	150
	Impressora	100
	Total	495 (450 – 45)
Z27 – Refeitório	Bebedouro	150
	Forno elétrico	600
	Micro-ondas	1.000
	Geladeira	120
	Total	1.870 (270 – 1.600)
Z28 – Copa	Ebulidor	250
	Chaleira	250
	Total	500 (0 – 500)
Z29 – Sanitários/DML	Chuveiro	4.500
	Total	4.500 (0 – 4.500)
Z31 – Sala de descanso	Switch	180
	Nobreak	500
	Total	680 (680 – 0)
Z33 – CPD	Monitores (2)	300
	Computador	300
	Ventilador	50
	Total	650 (650 – 0)

* O padrão de uso dos chuveiros também apresenta um tempo reduzido de uso, porém, esse tempo é menor do que o restante dos equipamentos para a mesma categoria, pois os chuveiros são usados esporadicamente e apresentam um consumo muito intenso de energia, necessitando um padrão de uso específico para não superdimensionar o consumo total do edifício.

** As Zonas térmicas que não são citadas na tabela não apresentam equipamentos, apenas iluminação.

Especificações de refrigeradores e câmaras frias

Tabela 26 - Especificação dos refrigeradores do Supermercado Viçosense

Zona	Refrigerador	Tipo	Comprimento (m)	Temperatura de operação (°C)
Z1	Z1_freezer18_açougue	vertical	1,57	0,9
	Z1_freezer19_balcao_carne	horizontal	1,97	4,9
	Z1_freezer20_balcao_carne	horizontal	1,97	4,9
	Z1_freezer21_balcao_carne	horizontal	1,97	4,9
Z4	Z4_freezer22_balcao_frios	horizontal	1,97	4,9
	Z4_freezer23_balcao_bolos	vertical	1,26	4,0
Z5	Z5_freezer6_refrigerante	vertical	0,67	2
	Z5_freezer7_refrigerante	vertical	0,67	2
	Z5_freezer8_cerveja	vertical	0,67	2,2
	Z5_freezer9_sorvete	vertical	0,67	-2,2
	Z5_freezer10_lacteos	vertical / 12 portas	7,2	-4
	Z5_freezer11_congelados	horizontal	2,10	-2,6
	Z5_freezer12_congelados	horizontal	2,10	-2,6
	Z5_freezer13_congelados	horizontal	2,10	-2,6
	Z5_freezer14_congelados	horizontal	2,10	-2,6
	Z5_freezer15_congelados	horizontal	2,10	-2,6
	Z5_freezer16_congelados	horizontal	2,10	-2,6
	Z5_freezer17_carnes	vertical	1,26	0
Z16	Z16_freezer1_Geladeira	vertical	0,67	10,0
	Z16_freezer2	vertical	0,67	-6,0
	Z16_freezer3	horizontal	0,84	-1,0
Z20	Z20_freezer4_entrega	vertical	0,70	5,5
	Z20_freezer5_entrega	horizontal	1,50	5,5

Tabela 27 - Especificação das câmaras frias do Supermercado Viçosense

Zona	Câmara Fria	Temperatura de operação (°C)	Área de piso (m²)
Z6	Z6_camara2_congelamento	-5	15,84
Z9	Z9_camara3_iogurte_resfriamento	2,0	14,53

Potência instalada de Iluminação

Tabela 28 - Especificação das luminárias e respectivas potências de iluminação em uso por Zona no Supermercado Viçosense

Zona	Tipo de luminária	Potência total das lâmpadas (W)
Área externa	sobrepôr	294
Z1 – Açougue	suspensa	162
Z2 – Câmara fria açougue	sobrepôr	36
Z3 – Em cima da câmara fria	suspensa	36
Z4 – Padaria vendas	suspensa	54
Z5 – Área de vendas	suspensa	1.404
Z6 – Câmara fria 2	sobrepôr	27
Z8 – Depósito (entre câmaras frias)	sobrepôr	20
Z9 – Câmara fria 3	sobrepôr	9
Z11 – Depósito	sobrepôr	40
Z12 – <i>Checkouts</i>	suspensa	216
Z14 – Depósito	sobrepôr	40
Z16 – Padaria produção	sobrepôr	108
Z17 – Sanitários/ almoxarifado	sobrepôr	109
Z18 – Escritórios	sobrepôr	9
Z19 – Circulação corredor	sobrepôr	60
Z20 – Circulação entrada	sobrepôr	38
Z21 – Escritório	sobrepôr	60
Z23 – Sala proprietário	sobrepôr	30
Z24 – Sala de espera	sobrepôr	36
Z25 – Gerência	sobrepôr	30
Z27 – Refeitório	sobrepôr	72
Z28 – Copa	sobrepôr	9
Z29 – Sanitários	sobrepôr	55
Z30 – Circulação corredor	sobrepôr	40
Z31 – Circulação escada	sobrepôr	40
Z32 – Sala de descanso	sobrepôr	40
Z33 – CPD	sobrepôr	20

* As Zonas térmicas que não são citadas na tabela não apresentam iluminação artificial.

** A iluminação dos refrigeradores é considerada nos próprios modelos do *EnergyPlus*.

Especificações de uso e ocupação

Tabela 29 - Uso e ocupação (horas/dia) do Supermercado Viçosense

	Segunda à Sexta	Sábado	Feriado	Domingo
Clientes	12	12	4	-
Funcionários	13	13	5	-
Administração	10	-	5	-
Iluminação interna	13	13	5	-
Iluminação externa	12	12	12	12
Equipamentos uso contínuo	12	12	5	-
Equipamentos uso intermitente*	1,2	1,2	0,5	-
Sistema de refrigeração	24	24	24	24

* No uso intermitente a porcentagem de uso dos equipamentos é considerada em 15% durante o expediente de trabalho, as horas em uso representa a soma ao longo do dia.

APÊNDICE C – Eliminação da variável refrigeração

Nos estudos preliminares o autor optou por não eliminar a variável refrigeração, visto que o dimensionamento do sistema de refrigeração foi baseado em apenas dois estudos de caso, o que é uma limitação do trabalho. Assim, manter a variável refrigeração na equação tinha a intenção de garantir uma compensação nos resultados para supermercados reais que utilizassem a equação futuramente e que apresentasse uma proporção de refrigeradores por área distinta das utilizadas neste trabalho. Entretanto, embora o sistema de refrigeração seja o principal sistema consumidor de energia na tipologia, e nos estudos de caso realizados tenha representado 74% e 82% dos usos finais das edificações analisadas, sua presença prejudicou a previsão do EUI. Na previsão da intensidade de consumo do Supermercado Escola pela equação contendo a variável refrigeração o erro entre o valor real e previsto pela equação foi de 28%, já ao retirar a variável refrigeração esse erro diminuiu para 23%. A melhoria da previsão também foi observada nos índices de validação, com a presença da variável refrigeração o *CVRMSE* foi de 5,71% e o *NMBE* foi de 4,49%, com a eliminação da variável o *CVRMSE* foi de 2,47% e o *NMBE* foi de 1,14%.