

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ENGENHARIA DE ENERGIA

SIMULAÇÃO TERMO ENERGÉTICA DE UM SUPERMERCADO

por

RENATO FONSECA PEDROTTI

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro de Energia.

Porto Alegre, Dezembro 2015



**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**Escola de Engenharia**  
**Engenharia de Energia**

SIMULAÇÃO TERMO ENERGÉTICA DE UM SUPERMERCADO

por

RENATO FONSECA PEDROTTI

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO DE ENERGIA**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eng<sup>a</sup>. Mec<sup>a</sup> Adriane Prisco Petry  
Coordenador do Curso de Engenharia de Energia

Orientador: Prof. Eng. Mec. Paulo Otto Beyer

Banca examinadora:

Prof. Eng. Mec. Paulo Otto Beyer

Eng. Mec. Fernando Grahl

Eng. Elet. Leonir Vivian Filho

Porto Alegre, 09 de dezembro de 2015.

## DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à sociedade brasileira, por proporcionar o acesso ao ensino superior da mais alta qualidade na UFRGS.

Que esta obra seja útil a qualquer interessado em reduzir o consumo de energia das edificações.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, ao núcleo familiar por proporcionar uma estrutura coesa e cooperativa, para que o autor pudesse desfrutar esta jornada acadêmica, na sua plenitude.

Aos professores, técnicos e colegas da Escola de Engenharia da UFRGS, nomeadamente ao DEMEC, ao DELET e ao DELAE. Ao longo do curso de Engenharia de Energia, foram seis anos de transferência de conhecimento.

Aos colegas de engenharia e simulação da Petinelli Inc., cumprimentados pela lembrança do Ricciano, Rafael Torres, Guido, Diego, Bruno e Leco. Aos colegas de engenharia e projeto da SPM Engenharia, cumprimentados através do Jerônimo, Benedetti e Vitória. Os dois anos de estágio nestas empresas viabilizaram o amadurecimento e o desenvolvimento deste trabalho.

Ao engenheiro eletricista Leonir Vivian Filho, pela confiança em trazer este estudo de caso à realidade do autor, promovendo a sorte do encontro entre a oportunidade e a competência. Ao Eng. C. G. Suffert e o Eng. A. Presotto Jr. pelas preciosas dicas sobre refrigeração comercial.

Ao Prof. Eng. Paulo Otto Beyer, pelos conhecimentos compartilhados ao longo dos últimos três anos e pela paciência na jornada de orientação do autor, tanto para este trabalho quanto para o ofício de engenheiro.

Aos colegas de engenharia, ao Grupo dos Amiguinhos e aos conselheiros para todos os momentos, Eng. Eduardo Brofman, Prof. Eng. Paulo Schneider e Prof. Arq. Rômulo Giralt, estendendo a todos aqueles que, de qualquer forma, doam parte do seu tempo sanando as dúvidas do autor, em todas as esferas do conhecimento.

Um abraço especial aos amigos Batista, Letícia, Quines, Nayana, Gleitin, Marino, André, Guilherme e Lidiano. E, é claro, a todo o Bloco do Zebu de Dom Pedrito/RS, ao LETA/DEMEC/UFRGS e ao LabCon/Fac. Arq./UFRGS.

PEDROTTI, R. F. Simulação termo energética de um supermercado, 2015. 42. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

## RESUMO

Sob a perspectiva de avaliar oportunidades de conservação de energia, este trabalho fez uso da capacidade do EnergyPlus para alimentar análises qualitativas superiores, a partir das informações de consumo, demanda e custos de energia, as quais são geradas por simulações horárias/sub horárias. Como ferramenta de auditoria energética em edificações, este trabalho indica uma intensidade de uso da energia de 305 kW.h/m<sup>2</sup>/ano para um supermercado existente de médio padrão, com área de piso de 5.962 m<sup>2</sup>, situado em Capão da Canoa/RS. O custo médio com energia elétrica ficou estimado em 0,732 R\$/kW.h. O consumo com frio alimentar (49%) foi o protagonista, com iluminação (31%) no segundo lugar de maior consumo, seguido por AVAC (15%) e por equipamentos (5%). Resultado consistente com AERG, 2013. Para diminuir a pegada energética da edificação, foi simulada uma proposta com 47 janelas difusivas zenitais e iluminação controlada por luxímetro. As simulações indicaram um potencial de economia de 110 mil reais por ano, uma redução na intensidade do uso da energia para o patamar de 278 kW.h/m<sup>2</sup>/ano e retorno do investimento em quatro anos e meio.

**PALAVRAS-CHAVE:** simulação termo energética, auditoria de energia, supermercado, frio alimentar

PEDROTTI, R. F. Building energy simulation of a supermarket. 2015. 42. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

### **ABSTRACT**

Under a perspective to evaluate energy conservation opportunities, this work made use of EnergyPlus's ability to feed higher qualitative analysis, from the consumption, demand and energy costs information, which can be generated by hourly / sub hourly simulations. As a building energy audits tool, this text indicates an energy use intensity, EUI, of 305 kW.h/m<sup>2</sup>/ year for a supermarket average standard, with 5.962 m<sup>2</sup> of floor area, located in Capão da Canoa/RS. The average cost of electricity was estimated at 0,732 R\$/kW.h. The food refrigeration energy consumption (49%) was the protagonist, with lighting (31%) in the second highest consumption, followed by HVAC (15%) and equipment (5%). Consistent result with AERG, 2013. To reduce the energy footprint of the building, was simulated a proposal with 47 roof windows diffusive and lighting controlled by light meter. The simulations indicated a potential savings around hundred and ten thousand reais per year, a reduction in the EUI for level 278 kW.h / m<sup>2</sup> /year and a payback in four years and a half.

**KEYWORDS:** Building energy simulation, energy audits, supermarket, food refrigeration

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	v
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	1
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
3.1 SIMULAÇÃO DE PRÉDIO EXISTENTE .....	2
3.2 SIMULAÇÃO TERMO ENERGÉTICA DE SUPERMERCADOS .....	3
3.3 TIPOS DE USO FINAL DA ENERGIA EM SUPERMERCADOS .....	3
4 METODOLOGIA .....	4
4.1 MODELOS UTILIZADOS .....	4
4.2 GEOMETRIA E ZONAS TÉRMICAS.....	5
4.3 ARQUIVO CLIMÁTICO E O AMBIENTE VIRTUAL.....	7
4.4 CARGAS TÉRMICAS INTERNAS .....	7
4.4.1 PESSOAS/OCUPAÇÃO .....	8
4.4.2 ILUMINAÇÃO.....	9
4.4.3 EQUIPAMENTOS .....	9
4.4.3.1 INFORMÁTICA .....	9
4.4.3.2 COZINHA.....	10
4.5 SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO .....	10
4.6 SISTEMAS DE FRIO ALIMENTAR.....	11
4.6.1 CAPACIDADE DE FRIO ALIMENTAR INSTALADA .....	11
4.6.2 GABINETES DE AUTOSSERVIÇO.....	12
4.6.3 CENTRAL TÉRMICA COM FLUIDO SECUNDÁRIO.....	12
4.6.3.1 PRODUÇÃO DE FRIO ALIMENTAR COM FLUIDO SECUNDÁRIO.....	12
4.7 TARIFAS DE ENERGIA.....	13
4.7.1 HISTÓRICO DE FATURAMENTO DA CONCESSIONÁRIA.....	13

4.7.2	GRUPO GERADOR NO HORÁRIO DE PONTA .....	14
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	15
5.1	VISÃO MENSAL DO CONSUMO E DEMANDA DE ENERGIA .....	15
5.2	VISÃO DIÁRIA, EM QUARTOS DE HORA, DA EVOLUÇÃO DA DEMANDA NO SUPERMERCADO .....	17
5.3	VISÃO DA OPERAÇÃO DO GRUPO GERADOR .....	18
5.4	ANÁLISE ENERGÉTICA ANUAL DO SUPERMERCADO.....	19
5.5	ILUMINAÇÃO NATURAL E AUTOMAÇÃO PARA REDUÇÃO DOS CUSTOS COM ENERGIA .....	21
5.6	REDUÇÃO DO PICO DA DEMANDA DE ENERGIA.....	24
6	CONCLUSÕES .....	25
7	REFERÊNCIAS.....	25
	ANEXO A – DADOS CLIMÁTICOS .....	27
	ANEXO B – COP DO SISTEMA DO SALÃO DE VENDAS .....	29
	ANEXO C – DADOS DE DESEMPENHO DO GRUPO GERADOR .....	30
	APÊNDICE A – ZONEAMENTO E CARGAS INTERNAS.....	30
	APÊNDICE B - CONSTRUÇÕES E MATERIAIS.....	32
	APÊNDICE C – EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO .....	33



# 1 INTRODUÇÃO

O ano de 2015 assolou os brasileiros com a maior crise de fornecimento de energia elétrica desde 2003. Uma estiagem prolongada nas bacias hidrográficas da região sudeste e nordeste, associada a problemas de gerenciamento do planejamento e expansão do sistema elétrico brasileiro, promoveram um aumento nas tarifas da ordem de 50%, em média nacional. Essa forma de racionamento de energia, o financeiro, pressionou com violência os custos operacionais das edificações brasileiras e, inclusive, os índices nacionais de inflação.

Neste contexto de crise financeira e de confiança, uma das soluções de baixo custo para o diagnóstico e comparação de medidas de eficiência energética em edificações, consiste na modelagem e simulação termo energética da edificação em duas etapas. Na primeira, desenvolve-se um modelo de referência que busca representar as principais características e comportamentos térmicos e energéticos da edificação real. Enquanto na segunda, são estudados cenários de diferentes medidas e os respectivos impactos tanto no consumo e demanda de energia quanto avaliações de conforto térmico e qualidade dos ambientes internos.

A proposta deste trabalho consiste em estudar, através de simulação termo energética (STE), um supermercado de, aproximadamente, 6.000 m<sup>2</sup> de área construída que opera em Capão da Canoa/RS. A partir da simulação, verificar o peso no consumo dos tipos de uso final de energia e, na medida do possível, indicar oportunidades, viáveis, de redução de consumo e/ou custos com energia.

## 2 OBJETIVOS

Para a solução deste trabalho, foram definidos os objetivos descritos a seguir. Para a primeira etapa, a de desenvolvimento do modelo de referência, espera-se:

**Objetivo A:** Desenvolver um modelo termo energético que represente o padrão de uso das demandas elétricas e o consumo de energia, de acordo com a documentação de projeto, visitas a loja e entrevistas com o operador da edificação. Qualificado o modelo de referência, pretende-se verificar os tipos de uso final da energia elétrica consumida na edificação e comparar com referências bibliográficas.

Vencida a primeira etapa, para a segunda propõe-se:

**Objetivo B:** discutir os resultados e verificar potenciais oportunidades para eficiência dos sistemas de utilidades da edificação. Por exemplo iluminação, frio alimentar ou produção de energia elétrica fotovoltaica.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Supermercados são uma tipologia ímpar de edificação comercial, pois integram sistemas de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (AVAC-R), no mesmo prédio e, muitas vezes, entre si, através de estratégias e sistemas de recuperação de energia térmica. Tipicamente, também, lançam mão da utilização de grupos geradores a óleo diesel, ou gás natural, para redução do custo operacional no horário de ponta e como fonte ininterrupta, em caso de falta da concessionária.

A revisão bibliográfica deste texto contempla uma série de três itens utilizados para balizá-lo, a saber: 1 Simulação de Prédio Existente; 2 Simulação Termo Energética de Supermercados; 3 Tipos de Uso Final de Energia em Supermercados.

#### **3.1 SIMULAÇÃO DE PRÉDIO EXISTENTE**

A simulação termo energética de prédio existente, com vistas ao diagnóstico e estudo de melhorias em equipamentos e sistemas, ainda é pouco documentada na academia brasileira. Carotenuto, 2009, foi um dos pioneiros na simulação termo energética destes, sendo tomado como texto de referência essencial, em língua portuguesa, para a evolução deste trabalho. Ele estudou o consumo de energia do prédio do Instituto de Química Industrial, em um momento de valorização do patrimônio histórico desta universidade.

Em comum com este trabalho convergem o nível de detalhamento das variáveis de entrada. As zonas térmicas foram definidas por tipo de uso e por tipo de sistema de climatização, enquanto os padrões de uso foram definidos por entrevista com o operador da edificação. Quando a informação do operador não foi suficiente, buscaram-se premissas em normas internacionais e, em último caso, a estimativa empírica, assim como em projetos comerciais.

### 3.2 SIMULAÇÃO TERMO ENERGÉTICA DE SUPERMERCADOS

Também, com relação à tipologia de edificação, supermercados, há uma escassez de produção científica, na linha das simulações de energia anual. A maioria esmagadora das publicações versa sobre escritórios, certificação/etiquetagem de edificações e estudos paramétricos em prédios fictícios.

Pode-se atribuir este fato a recente difusão deste tipo de simulação como ferramenta de diagnóstico para estudos de retro comissionamento, associado ao alto nível de especificação técnica dos equipamentos, requerido pelos sistemas modelados. Ao estudar índices de consumo de energia em supermercados, Branco, 2010, observou a influência do clima brasileiro em uma tipologia específica de supermercado, de volumetria genérica e, simultaneamente, cumprindo os requisitos de ASHRAE, 2004.

Em ambos os trabalhos está incluído o módulo de frio alimentar do EnergyPlus. Em comum com essa referência, neste trabalho, há a declaração dos sistemas de autosserviço (aqueles onde a unidade condensadora e compressora está acoplada ao balcão resfriado, impondo carga térmica à zona que lhe abriga). A mais, há a declaração de uma central térmica de produção de frio alimentar com fluido secundário, de acordo com os equipamentos instalados na edificação.

### 3.3 TIPOS DE USO FINAL DA ENERGIA EM SUPERMERCADOS.

Neste tipo de simulação é possível filtrar a visualização do consumo e demanda de energia por tipo de uso final. Parte da intenção deste trabalho é comparar os resultados da simulação contra os dados da Tabela 3-1. Neste texto, refrigeração e frio alimentar se referem ao mesmo uso final, enquanto climatização, aglutina o uso de energia com resfriamento, aquecimento e ventilação.

Tabela 3-1 - Relação dos percentuais de consumo por tipo de uso final de energia, segundo as referências consultadas.\* Para Porto Alegre/RS.

Tipos de Uso Final,%	Panesi, 2008	Branco, 2010*	AERG, 2013
Refrigeração	25	24	60
Iluminação	20	16	18
Climatização	30	40	15
Outros	25	20	7

Pode-se verificar que as referências mais antigas reportam climatização como o maior uso final de energia, enquanto a mais recente sinaliza frio alimentar como o maior consumo. Ao passo que iluminação fica em torno de 18%, nas três referências.

## 4 METODOLOGIA

Uma metodologia interessante, e muito difundida internacionalmente, para o diagnóstico e estudo de medidas de eficiência energética em edificações, passa pela aplicação da abordagem clássica de simulação de energia, “forward modeling”. Nesta metodologia, todas as variáveis controláveis (*schedules*, cargas térmicas internas, configurações de termostato) e as incontroláveis (clima, através do arquivo climático) são, minuciosamente, descritas, bem como a respectiva estrutura dos sistemas (as propriedades termo físicas dos materiais, a geometria da edificação modelada, os dados de desempenho dos equipamentos e etc.) são alimentados em software para que a solução das equações de balanço de energia gerem respostas, variáveis dependentes das de entrada (Beck and Arnold, 1977; Rabl, 1988 apud ASHRAE, 2013a).

A partir da análise dos resultados simulados busca-se comparar o comportamento da edificação, quando submetida a variação das entradas do modelo.

### 4.1 MODELOS UTILIZADOS

O EnergyPlus se caracteriza pela arquitetura computacional modular e de código aberto. Através de um ambiente virtual de base horária (até sub horária) alimentado por dados climáticos históricos, ele acopla, para cada passo de tempo da simulação, *timestep*, a solução dos balanços de energia sensível, Equação 4.1, e latente entre as zonas térmicas e um ambiente virtual.

As zonas térmicas, por sua vez, são constituídas de superfícies regulares que devem formar uma volumetria fechada, confinando uma determinada massa de ar. Por definição, cada zona térmica tem controle independente de temperatura e incluem suas respectivas cargas térmicas internas. As zonas declaradas interagem com o modelo através da solução da condução de calor unidimensional das superfícies externas e internas (que formam a zona) para a temperatura da zona,  $T_z$ , por meio de função de transferência e solução por inversão de matrizes.

As equações do balanço de calor latente e das superfícies foram omitidas para manter o texto enxuto, estão todas precisamente descritas no apêndice A de Carotenuto, 2009 ou em EnergyPlus *Documentation*, 2015a.

$$C_Z \frac{dT_Z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{cargas}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superficies}} [h_i A_i (T_{si} - T_Z)] + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} [\dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_Z)] + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_Z) + \dot{m}_{SIST} C_p (T_{SUP} - T_Z) \quad 4.1$$

Na Equação 4.1,  $C_Z \frac{dT_Z}{dt}$  é a taxa de armazenamento de energia no volume de ar da zona térmica, onde  $C_Z$  é a capacitância térmica do ar da zona, em J/K e  $T_Z$  é a temperatura média do ar da zona, em °C, que é a variável a ser resolvida. A solução deste termo transiente se dá por diferenças finitas de terceira ordem. O segundo termo é o somatório da contribuição sensível das  $N$  cargas térmicas internas,  $\sum_{i=1}^{N_{cargas}} \dot{Q}_i$ , em watts. O terceiro termo é a contribuição convectiva das superfícies da zona térmica,  $\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_Z)$ , onde  $h_i$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção na superfície  $i$  da zona, em W/m<sup>2</sup>.K,  $A_i$  é a área da superfície  $i$  da zona, em m<sup>2</sup>, e  $T_{si}$  é a temperatura da superfície  $i$  da zona.

O quarto termo é o somatório das transferências de calor por infiltração de ar a partir de outras zonas térmicas;  $\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_Z)$ ; onde  $\dot{m}_i$  é a vazão mássica de ar a partir da zona  $i$ , em kg/s,  $C_p$  é o calor específico do ar, em J/kg.K e  $T_{zi}$  é a temperatura da zona  $i$ . O quinto termo diz respeito a infiltração de ar externo,  $\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_Z)$ , onde  $\dot{m}_{inf}$  é a vazão mássica de infiltração de ar externo, em kg/s e  $T_{\infty}$  é a temperatura do ambiente exterior, °C. O último termo é a potência fornecida pelo sistema de climatização,  $\dot{m}_{SIST} C_p (T_{SUP} - T_Z)$ , onde  $\dot{m}_{SIST}$  é a vazão mássica de ar fornecido pelo sistema de ar condicionado para atender a carga térmica da zona e  $T_{SUP}$  é a temperatura de insuflamento do ar fornecido pelo sistema de ar condicionado.

Na sequência o problema é definido através da geometria e suas zonas térmicas, então são descritas as cargas térmicas externas e internas, com os seus respectivos padrões de uso (*schedules*, agendamentos) e, por fim, os sistemas modelados na simulação.

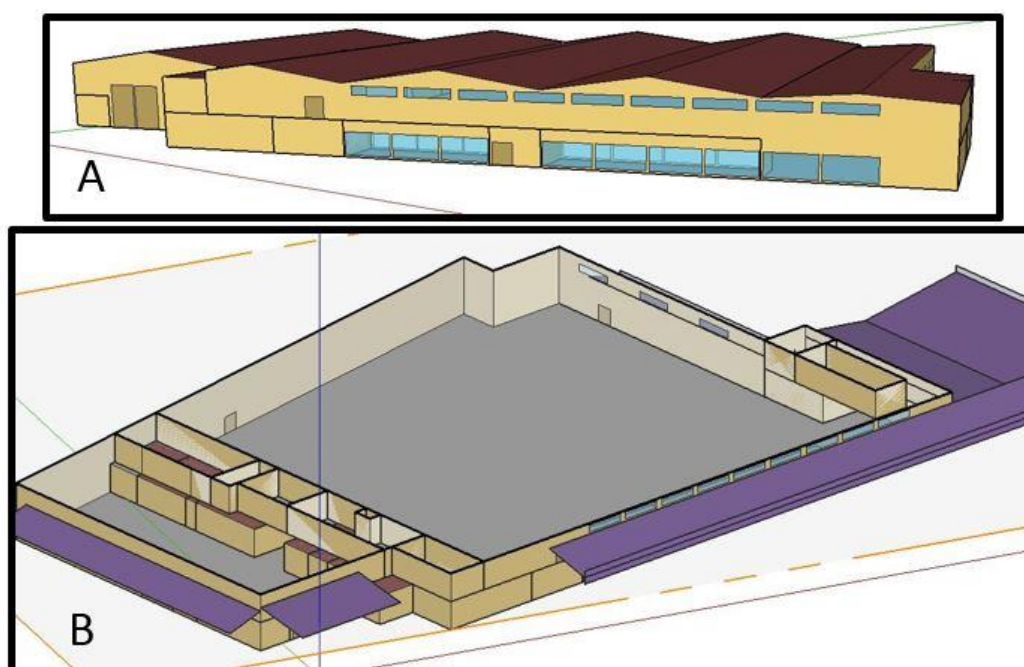
## 4.2 GEOMETRIA E ZONAS TÉRMICAS

De acordo com a documentação arquitetônica e de leiaute, optou-se por uma zona principal, o salão de vendas, enquanto a sua retaguarda foi separada por tipo de uso. Por exemplo, os escritórios foram agrupados por agendamentos operando em horário comercial e densidade de carga interna levantada em planta de leiaute. As câmaras frias e recintos refrigerados foram

configurados conforme o projeto de refrigeração disponível, bem como as zonas de preparo, a padaria, *grill* e o açougue, de acordo com o leiaute.

O supermercado foi modelado em 27 zonas, com uma área de piso total de 5.962 m<sup>2</sup>. A sua fachada principal, a de entrada para o público, é sul sudeste e a sua área envidraçada externa é da ordem de 2,5% da área de piso. O pé direito na cumeeira é de 8,5 m de altura, enquanto na viga de suporte do telhado são 7 m. Para as zonas de pé direito simples, considerou-se 3,5 m. Essas dimensões foram levantadas em cortes e detalhes da documentação de projeto e verificados com medição no local. Segue uma ilustração do modelo tridimensional na Figura 4-1.

Figura 4-1 - Volumetria da edificação simulada



No detalhe A da Figura 4.1 segue uma vista da direção sudeste, mostrando a fachada principal e cobertura, sem os dispositivos de sombreamento. Já no detalhe B uma vista de sudoeste superior, com o telhado omitido para que se perceba o zoneamento e a volumetria do modelo.

Os materiais do envoltório foram verificados junto a documentação de projeto e as suas propriedades termo físicas levantadas de ASHRAE, 2013b. Com relação aos padrões construtivos, foram identificados e implementados tipos de parede externa, interna leve e isolada, cobertura, piso e entrepiso. A parede isolada remete as paredes das áreas refrigeradas e o entrepiso representa a interface entre uma zona térreo e a adjacente acima, mezaninos.

No Apêndice B segue uma tabela com a transmitância térmica das construções, os respectivos materiais e as suas propriedades termo físicas. A refletância das superfícies considerada foi de 50%, observando-se o estado bem conservado e de cor clara semibrilho em que se encontra pintada a edificação.

### **4.3 ARQUIVO CLIMÁTICO E O AMBIENTE VIRTUAL**

Conforme comentado na seção 4.1, o EnergyPlus calcula as soluções dos seus modelos, para cada *timestep*, acoplando as contribuições de todas as cargas térmicas modeladas. No que diz respeito ao exterior da edificação, ele é emulado em um ambiente virtual alimentado por arquivo climático de 8.760 h. Este tipo de arquivo contém dados, hora a hora, de propriedades psicrométricas (temperatura de bulbo seco, de ponto de orvalho e pressão barométrica, por exemplo) e meteorológicas (irradiâncias por metro quadrado, magnitude e direção do vento, por exemplo), entre outros 22 dados, para todas as horas de um ano. A relação dos dados contidos em um arquivo climático deste tipo de simulação, *EnergyPlus Weather* (.EPW), está descrita no Anexo A deste texto.

Neste trabalho o ambiente virtual foi alimentado com o arquivo climático da estação meteorológica de Tramandaí/RS, por ser a mais próxima da edificação, que está construída em Capão da Canos/RS. Ele utiliza dados coletados de 2001 a 2010 e foram tratados com a metodologia “Typical Meteorological Year”, TMY. Para informações detalhadas a respeito desta métrica e de como se deu esse processo, de disponibilizar dados climáticos no Brasil, consultar Roriz, 2012. Ainda no Anexo A, segue uma figura com as evoluções da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa, referentes ao arquivo climático deste estudo.

As simulações foram configuradas para um *timestep* de 15 minutos. Para passos de tempo sub horários, os dados climáticos são interpolados pelo EnergyPlus, proporcionando uma melhor resolução na evolução da demanda de energia da edificação.

### **4.4 CARGAS TÉRMICAS INTERNAS**

As cargas térmicas internas podem ser sensíveis ou latentes e buscam computar as contribuições de qualquer sistema/equipamento desenvolvendo trabalho, logo, transformando energia, dentro de uma zona térmica.

A carga térmica de calor sensível é aquela imposta, diretamente, por diferença de temperatura, à zona térmica. Como exemplo pode-se citar o sistema de iluminação e equipamentos

de informática. Uma parte percentual da carga térmica sensível é transferida por radiação, impondo um atraso relativo ao passo de tempo em que foi emitida pela fonte, na sua contribuição. Já a carga térmica de calor latente é o aumento do conteúdo de umidade da zona térmica. O ar expirado pelas pessoas que ocupam uma edificação ou equipamentos que liberam vapor na zona térmica (tipicamente, cozinhas), são exemplos deste tipo de contribuição.

No Apêndice A há uma tabela que lista as zonas térmicas com as áreas de piso e as respectivas cargas internas que constituem o modelo termo energético deste trabalho.

#### **4.4.1 PESSOAS/OCUPAÇÃO**

A contribuição das pessoas na carga térmica de uma edificação é dividida em parcela sensível e latente, em função do tipo de atividade que estas pessoas estão desenvolvendo, em cada zona térmica. Elas foram levantadas da NBR 16.401, 2008. Nesta mesma norma, estão disponíveis as taxas de ocupação média, em função do uso da edificação. O supermercado deste modelo foi assumido como de padrão médio.

Para as pessoas em atividade de escritório, desenvolvendo trabalho leve, foram alimentadas cargas de 140 W por pessoa (com parcela sensível de 75 e latente de 55 watts por pessoa). O agendamento, *schedule*, das pessoas em atividade de escritório foi de segunda a sábado, das 08 h às 19 h. Considerou-se carga nominal neste período, exceção do intervalo de almoço, das 12 h às 14 h onde foi considerada 50%.

No salão de vendas, como premissa, foi assumida uma densidade de ocupação de 10,2 m<sup>2</sup> por pessoa, totalizando 396 pessoas, simultaneamente, nesta zona. Assumiu-se que o público estava desenvolvendo trabalho moderado, do tipo “caminhando, em pé parado”, contribuindo com 160 W por pessoa (83 watts de sensível e 77 de latente). Esta atividade foi estendida para as pessoas que ocupavam as zonas de preparo, padaria e açougue. A fração sensível radiante foi de 30%.

O *schedule* de ocupação do salão de vendas foi estabelecido como o horário de funcionamento público da loja: de segunda-feira a sábado, das 7:30 às 23 h e nos domingos, das 8 às 21 h, em carga nominal. A atividade na retaguarda começa e termina com defasagem de 30 minutos do expediente público. Nos feriados nacionais, por premissa, não houve expediente, nem externo e nem interno, somente os sistemas de frio alimentar operaram.



## 4.4.2 ILUMINAÇÃO

As cargas de iluminação foram obtidas do projeto elétrico da edificação e verificadas na loja. O sistema de iluminação é composto por luminárias suspensas, onde foi considerada uma eficiência luminosa, fração emitida no espectro visível, de 18%, 42% de fração radiante e o complementar em carga térmica sensível convectiva. Acrescentou-se 10% de carga referente aos reatores.

Os agendamentos de iluminação acompanham os de ocupação, em carga nominal. Na tabela das zonas térmicas, no Apêndice A, está disponível a potência de iluminação instalada em cada zona térmica, PII, em W, e a respectiva relação com a área de piso, a densidade de potência de iluminação, DPI, W/m<sup>2</sup>.

Esta loja ainda apresenta 4 setores de iluminação externa: pátio de descarga (5.184 W), fachada da loja (4.968 W), estacionamento (5.832 W) e postes (10,4 kW). Os setores do pátio de descarga e do estacionamento operam das 19 às 23 h, enquanto a iluminação da fachada e os postes permanecem acionadas ao longo de toda a madrugada, até às 6 h da manhã.

## 4.4.3 EQUIPAMENTOS

Todo dispositivo elétrico desenvolvendo trabalho em uma zona térmica, até a última análise, degradará, através de todas as suas transformações, a taxa de consumo de energia em carga térmica interna (a não ser que tenha corrente de massa de alta temperatura saindo da zona. Não é o caso.). Nesta simulação foram adicionados os computadores e os equipamentos de preparo da padaria e *grill*.

### 4.4.3.1 INFORMÁTICA

A carga de equipamentos de informática foi assumida como 115 W por estação de trabalho. Embora as estações de trabalho do salão de vendas e dos escritórios da retaguarda sejam diferentes, foram assumidas iguais. Com relação aos agendamentos, elas acompanham as respectivas ocupações do salão de vendas e escritórios. Este tipo de equipamento não tem contribuição latente e a sensível apresenta uma fração de 35% pelo mecanismo radiante, aquele de contribuição atrasada no tempo, pois a energia precisa ser emitida, absorvida por uma superfície do envoltório, para, enfim, ser transferida ao ar da zona térmica, pelo mecanismo sensível convectivo.

#### 4.4.3.2 COZINHA

Inspecionada a planta de leiaute, foram incluídos no modelo termo energético deste trabalho a carga energética imposta por fritadeiras e fornos elétricos de panificação. Os equipamentos do açougue e preparos foram negligenciados tendo em vista a baixa potência (até 1.500 W), associado a um alto fator de diversidade (ciclos de uso não periódicos). Todos os pontos de cocção da retaguarda do supermercado contam com sistema de coifa para exaustão de vapores graxos, dessa forma, não há contribuição latente destes equipamentos para o balanço da zona térmica. Os agendamentos acompanharam a atividade da retaguarda.

Foram adicionadas duas fritadeiras duplas, uma na padaria e outra no *grill*, conforme leiaute. Cada uma com 4.000 W de capacidade, fração radiante de 35% e fator de uso de 6%, seguindo orientação de ASHRAE, 2013c. Isto significa que o equipamento demandará o fator de uso, aplicado sobre sua carga nominal, do sistema de energia da edificação, a cada passo de tempo da simulação. Os outros equipamentos de cozinha adicionados a simulação foram três fornos de panificação de 14,75 kW, cada um, com fator de uso de 16%.

### 4.5 SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

Neste supermercado estão instalados sistemas de climatização no salão de vendas e nas zonas de escritórios da retaguarda. No salão de vendas está montado um sistema dutado com seis unidades independentes de expansão direta e compressor com rotação variável, “splitões inverter”. Nos escritórios estão instalados equipamentos “mini split” de compressor com rotação constante. No Apêndice C segue a relação dos equipamentos de climatização instalados e dos dimensionados pela simulação. A simulação progrediu com os sistemas auto dimensionados.

A climatização está disponível no mesmo agendamento que o expediente interno da loja, acionada 30 minutos antes da abertura ao público, às 7 h da manhã, quando os fiscais abrem a edificação ao acesso dos colaboradores. Os termostatos ficam configurados para 23° C no modo resfriamento e 20° C no modo aquecimento em todas as aplicações de conforto. Todos os ambientes climatizados da simulação contam com renovação de ar, conforme ANVISA, 2003.

Com relação ao sistema simulado para atender o salão de vendas, foi utilizado um modelo unitário de quatro velocidades, onde o coeficiente de performance, COP, foi ponderado em função do número de unidades, para as quatro velocidades de operação, de acordo com o apresentado em Hitachi, 2014. No Anexo B está um extrato do catálogo do fabricante com os valores de referência.

Os sistemas “mini Split” tiveram o COP configurado em 3,2 kW/kW, etiqueta PROCEL nível A, seguindo orientação do projeto básico. Foi possível conferir as placas *in loco*.

## 4.6 SISTEMAS DE FRIO ALIMENTAR

Podem-se elencar duas estratégias principais para a implementação de frio alimentar em supermercados. Na mais comum, utilizam-se módulos independentes, de autosserviço, enquanto na mais complexa, projeta-se uma central térmica para a produção e distribuição centralizada do frio alimentar, a partir de uma casa de máquinas. No supermercado deste estudo a estratégia é mista: a parte de congelados está em autosserviço, enquanto a de resfriados é atendida por central térmica.

Este trabalho está limitado a representar o que há instalado, para se ter uma estimativa razoável da evolução do seu consumo, da sua demanda ao sistema de energia e do peso no consumo anual por uso final.

### 4.6.1 CAPACIDADE DE FRIO ALIMENTAR INSTALADA

Segue na Tabela 4-1 a relação da capacidade de frio alimentar instalada no supermercado.

Tabela 4-1 Relação das capacidades de frio alimentar instaladas na loja

Salão de vendas				Retaguarda			
Tipo	Capacidade, kW	Top, °C	Sistema	Tipo	Capacidade, kW	Top, °C	Sistema
Ilhas resfriados	11,66	1,1	AS	Câmara Açougue	19,5	-16	AS
Ilhas congelados	74,56	-18	AS	Câmara Padaria	5,26	-16	AS
Balcões de resfriados	66,15	1	CT	Preparos	66,82	10	CT
Geladeiras de bebidas	16,7	2,2	CT	-	-	-	-
Total	169,07	-	-	Total	91,58	-	-

Onde Top é a temperatura de operação do balcão/câmara/ilha (para autosserviço é a temperatura de evaporação e para fluido secundário é a temperatura de entrada da solução no forçador) e a coluna “sistema” se refere ao tipo de sistema produtor de frio: se autosserviço (AS)

ou central térmica (CT). Tais dados foram levantados do projeto de frio alimentar, disponibilizado pela Eletrofrio de Curitiba/PR.

#### **4.6.2 GABINETES DE AUTOSSERVIÇO**

Esse tipo de sistema se caracteriza por acoplar, junto ao espaço refrigerado, o sistema de produção de frio. Desta forma, o calor de condensação do ciclo de refrigeração se traduz, diretamente, em carga térmica à zona que lhe abriga. Por outro lado, a montagem industrializada destes gabinetes garante o desempenho e prolonga a vida útil dos sistemas, a custos mínimos de manutenção e operação.

Observando-se a Tabela 4-1 deve-se perceber que a carga térmica de congelados está totalmente atendida por AS. Os dados de COP e de desempenho em função da temperatura destes sistemas foram levantados em NREL, 2011. Foram tomados 2,5 kW/kW para aplicações de média temperatura, resfriados, e 1,3 kW/kW para as de baixa temperatura, congelados. O sistema de degelo destes equipamentos está configurado para ciclo desligado, uma vez por dia, de 30 minutos, às 4 h da madrugada.

#### **4.6.3 CENTRAL TÉRMICA COM FLUIDO SECUNDÁRIO**

Na escala dos grandes varejistas de alimentos, é interessante construir e operar uma casa de máquinas que diminua e restrinja a presença de fluido refrigerante ao seu espaço, transportando energia térmica através de um fluido intermediário, em um circuito secundário. Assim, se produz água gelada com solução anti congelante para alimentação de forçadores de câmaras frias e balcões resfriados do salão de vendas, por exemplo. Os dados a seguir foram retirados do projeto da central térmica.

##### **4.6.3.1 PRODUÇÃO DE FRIO ALIMENTAR COM FLUIDO SECUNDÁRIO**

A carga térmica de refrigeração é transferida para a central térmica através de um circuito de água gelada em solução com 30% de propileno glicol, através de um trocador de placas intermediário, conhecido como evaporador secundário. Este circuito, o secundário, que atende as cargas térmicas, possui duas bombas de 2 L/s e 1 kW, cada, em paralelo, para impor uma vazão volumétrica de, até, 4 L/s. O trocador de placas, do tipo evaporador, apresenta 7,5 K de diferença

de temperatura entre o lado frio (evaporando) e a saída do lado quente (solução gelada), permitindo uma redução de 11,4 K na temperatura da solução.

A central térmica de frio alimentar está projetada para evaporar o fluido refrigerante, R-134a, a -10 °C e condensá-lo a 45 °C (o projeto considerou 35° C de temperatura do ar externo). Estão instaladas quatro unidades, em paralelo, do modelo de compressor semi hermético 6GE30Y, da Bitzer, sendo duas de reserva. Cada compressor produz, segundo o software do fabricante, uma capacidade de 48.376 W de frio, impondo 19,29 kW de demanda elétrica, conforme condições da EN 12.900, 2013.

A parte de condensação do ciclo de refrigeração consiste em duas unidades remotas HeatCraft, modelo ACV23808E51380A, com capacidade instalada de 183.667 W, para 10 K de diferença de temperatura entre a de condensação e a do ar externo na entrada da unidade. Cada unidade conta com cinco ventiladores instalados, impondo 3,5 kW de demanda elétrica total.

## **4.7 TARIFAS DE ENERGIA**

O supermercado deste estudo está conectado na média tensão, em 13,8 kV de tensão de linha, com a concessionária CEEE. A loja está comprando energia no subgrupo A4, na modalidade verde. Neste plano, o consumidor paga pelo pico de demanda mensal e a energia é tarifada em dois postos, ponta, P, e fora da ponta, FP. Como medida de redução de custos, a edificação dispõe de um grupo gerador a óleo diesel para o horário de ponta.

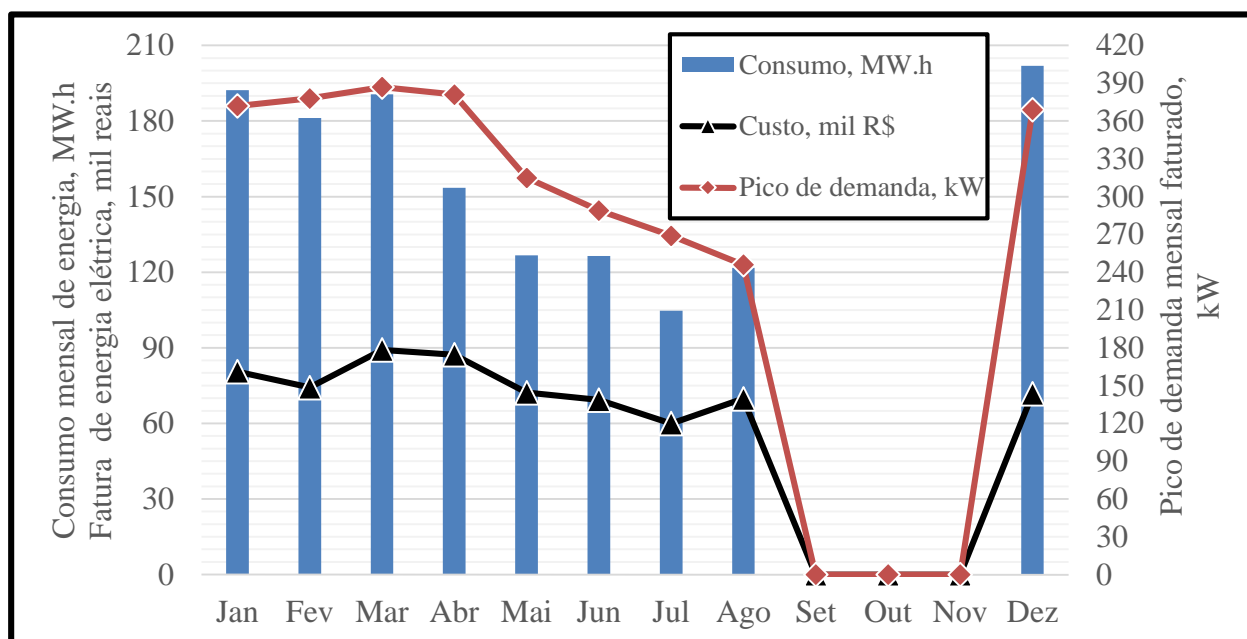
### **4.7.1 HISTÓRICO DE FATURAMENTO DA CONCESSIONÁRIA**

Posto que ainda não havia completado o primeiro ano de operação, faltaram três meses de faturamento, para consolidar uma linha de referência anual completa. Segue, na

Figura 4–2 a série mensal de consumo de energia, da demanda máxima lida e dos respectivos custos faturados, entre dezembro de 2014 e agosto de 2015. Dezembro é de 2014, mas está no final da série, por conveniência de análise, para comparar, diretamente, com a simulação.

As barras são o consumo de energia mensal, somando ponta e fora da ponta, ainda no mesmo eixo, a linha preta com marcador triangular apresenta os custos totais mensais faturados, enquanto o eixo a direita apresenta a demanda máxima lida, através da linha vermelha com marcador losango.

Figura 4–2- Histórico de faturamento da energia elétrica, pela concessionária, nos primeiros nove meses de operação do supermercado.



Observar que mesmo com redução de consumo e de pico de demanda após o verão, os custos não reduziram na mesma proporção, consequência das variações, para cima, das tarifas no Brasil ao longo de 2015.

Para discussões financeiras foram tomadas as tarifas e impostos da fatura de agosto/2015, a última acessada pelo autor. O quilowatt de demanda custa R\$ 12,71, o quilowatt hora na ponta R\$ 1,379665 e o fora da ponta R\$ 0,424655. O adicional da bandeira tarifária consistiu em R\$ 0,045 por quilowatt hora e os tributos, tomados “por dentro”, com alíquotas de 25% de ICMS e 3,17% de PIS/COFINS.

#### 4.7.2 GRUPO GERADOR NO HORÁRIO DE PONTA

Na modalidade de tarifa horo sazonal pode ser, financeiramente, interessante manter um grupo gerador atendendo a demanda no horário de ponta, que é o período entre às 18 e às 21 h, dos dias úteis. Modo de operação também conhecido por “prime”. Na edificação estudada está instalado um grupo gerador Cummins, modelo C450D6.

Neste modo ele é capaz de atender 410 kW de demanda elétrica. Os dados de consumo de combustível em carga parcial estão no Anexo C. Para a análise financeira foi tomado o valor de

R\$ 12 mil por mês com a locação do equipamento e um custo de R\$ 4,00 por litro de óleo diesel, posto na loja, conforme Góes, 2015.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

As páginas da seção Metodologia buscam posicionar o leitor com relação aos modelos e ao volume de informações e especificações técnicas requisitadas/disponíveis para que se simule/estime o consumo de energia em uma edificação existente, ou não. O primeiro passo numa análise dos resultados da simulação, consiste em verificar se o modelo termo energético representa, com razoável precisão de engenharia, a realidade na qual está inserido.

Depois de qualificado o modelo, passa-se a assumir o seu comportamento e, conseqüentemente, o seu consumo/custo com energéticos, como parâmetros de referência para comparação do desempenho de medidas de eficiência energética, os chamados cenários.

### **5.1 VISÃO MENSAL DO CONSUMO E DEMANDA DE ENERGIA**

Concluída a entrada de dados do modelo de referência, procederam-se às simulações. Nesta primeira aproximação, buscou-se comparar o consumo de energia mensal (MW.h/mês) e o pico mensal de demanda (kW pico) entre os dados faturados e os resultados simulados. Na Tabela 5.1 repetem-se os consumos faturados e demandas de pico, da Figura 4.2, e foram adicionadas as respectivas informações geradas pela simulação do modelo de referência.

Nos meses sinalizados com “ND”, os dados não estavam disponíveis. A diferença absoluta é subtrair o dado faturado do resultado da simulação. A relativa é a diferença absoluta sobre o dado faturado.

Para os três primeiros meses verifica-se um consumo de energia da simulação, na ordem de 20% menor que o faturado, contrastando com uma demanda de pico 10% maior, também apresentada pela simulação. O pico de demanda maior pode-se justificar na estratégia de manter as cargas internas em regime “sempre ligado, quando ocupado”, em nível nominal. O intuito desta estratégia é impor um patamar máximo de demanda na simulação, permitindo que as variações da edificação real estejam internas a esta evolução. Como será verificado na figura da próxima seção.

Tabela 5-1 Relação dos dados faturados e simulados com as respectivas diferenças absolutas e relativas

Meses do ano	Energia, MW.h				Demanda, kW			
	Faturado	Simulado	Diferença absoluta	Diferença relativa	Faturado	Simulado	Diferença absoluta	Diferença relativa
Jan	192	155	-38,4	-19%	372	406	33,9	9%
Fev	181	146	-35,0	-19%	378	420	41,6	11%
Mar	191	158	-33,0	-17%	387	393	5,5	1%
Abr	153	134	-20,5	-13%	381	336	-45,5	-12%
Mai	127	128	0,7	1%	315	336	21,4	7%
Jun	126	116	-10,8	-8%	289	265	-23,8	-8%
Jul	105	123	18,0	17%	269	284	15,0	6%
Ago	122	123	0,8	1%	246	271	25,1	10%
Set	ND	119	-	--	ND	280	-	-
Out	ND	132	-	--	ND	316	-	-
Nov	ND	133	-	--	ND	323	-	-
Dez	202	146	-56,6	-28%	369	363	-5,6	-2%
	Soma	1.613			Máxima	420	Média	333

Na contramão de demandas maiores, o consumo de energia ter evoluído abaixo do faturado indica discrepâncias de *schedules*, agendamentos. Esta diferença é tolerável, tendo em visto as variações climáticas e da sazonalidade na ocupação da edificação.

Para os meses de abril a agosto tanto a demanda quanto o consumo simulado apresentaram uma evolução entrelaçada com a medida pela concessionária de energia elétrica. A exceção está no mês de julho, onde o faturamento do consumo destoa, inclusive, dos meses adjacentes (junho e agosto), em 20%. O volume maior de energia consumida pela simulação neste período pode ser atribuído a demanda de climatização no inverno, que, na medida do possível, não é utilizada pelo operador, dada a redução de movimento no litoral e o clima mais ameno, temperatura de bulbo seco, média aritmética, em torno dos 16°C ao longo do inverno do arquivo climático (ver fig. 5-1).

Há, também, uma janela de faturamento, de setembro a novembro, desconhecida do autor, que teve acesso aos dados da concessionária, apenas, até agosto/2015. Com relação a dezembro, que, como dito, é de 2014, foi verificado que ainda não havia sido instalado o grupo gerador para o horário de ponta, que entrou em marcha a partir de fevereiro. Nestes dois meses, dezembro/14 e



janeiro/15, houve um consumo médio de 10 MW.h a mais, os quais, na simulação, foram atendidos pelo grupo gerador.

O total de energia consumida da concessionária ficou simulado em 1,613 GW.h, correspondendo a 88,5% do consumo anual da edificação. O custo com energia elétrica da rede pública é da ordem de 1,126 milhões de reais por ano, dos quais 61% correspondem a energia fora da ponta, 6% ao adicional da bandeira tarifária, 5% fruto da demanda e 28% são impostos. Relacionando o custo anual com eletricidade da rede pública sobre a área construída, alcança-se 189,03 R\$/m<sup>2</sup>/ano, enquanto que relacionar o custo total desta energia com o respectivo volume, tem-se um preço unitário de 0,6187 R\$/kW.h da rede pública.

## **5.2 VISÃO DIÁRIA, EM QUARTOS DE HORA, DA EVOLUÇÃO DA DEMANDA NO SUPERMERCADO**

Para uma segunda análise, mais refinada, em passos de tempo de 15 minutos, a respeito da qualidade do modelo de referência em representar a realidade, o operador disponibilizou a medição da demanda de energia elétrica entre o período de 11 de agosto a 09 de setembro de 2015. Com estes dados foi possível comparar uma evolução da simulação diretamente contra uma medição de demanda, na mesma base de tempo, virtual e real.

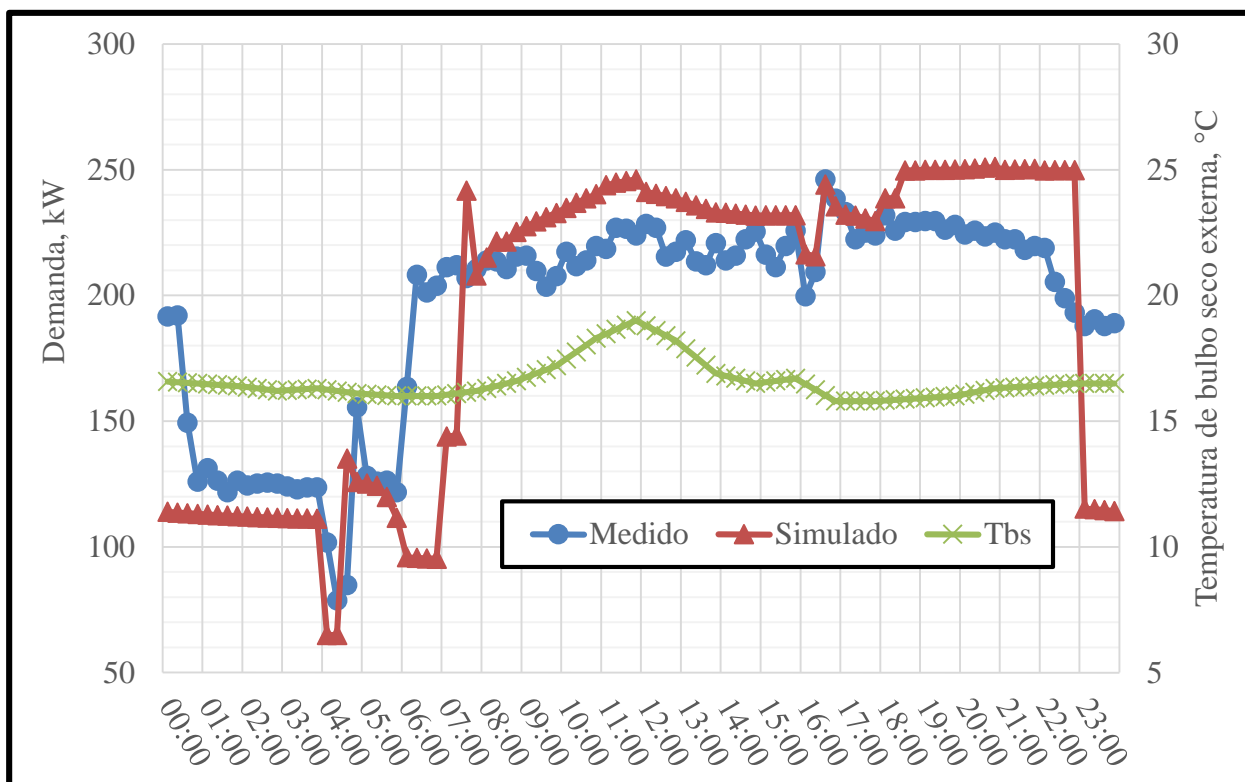
Na Figura 5–1 segue a janela das 24 horas do dia 15 de agosto, um sábado, demonstrando as evoluções das demandas, medida pela concessionária e a simulada, de energia elétrica da edificação.

Como descrito na metodologia, durante as madrugadas as luminárias externas ficam parcialmente acionadas, junto com a produção de frio alimentar, sincronizando os períodos de degelo às 4 h da manhã e às 16 h.

Às 6 h da manhã, na saída da iluminação externa da simulação, pode-se perceber uma defasagem entre a demanda da edificação real e a simulada, em torno de duas horas. Este comportamento está associado a acionamentos na retaguarda (principalmente padaria) e no salão de vendas da edificação real, e a climatização (ao redor das 7 h) e ocupação do salão de vendas (a partir das 7:30), no modelo termo energético.

Até às 16 h pode-se inferir um aumento na demanda, em função do aquecimento do ambiente externo, onde ambos respondem conforme a evolução da temperatura de bulbo seco externa do arquivo climático, no eixo secundário da figura.

Figura 5-1 Demonstração das demandas medidas e simuladas para o dia 15 de agosto



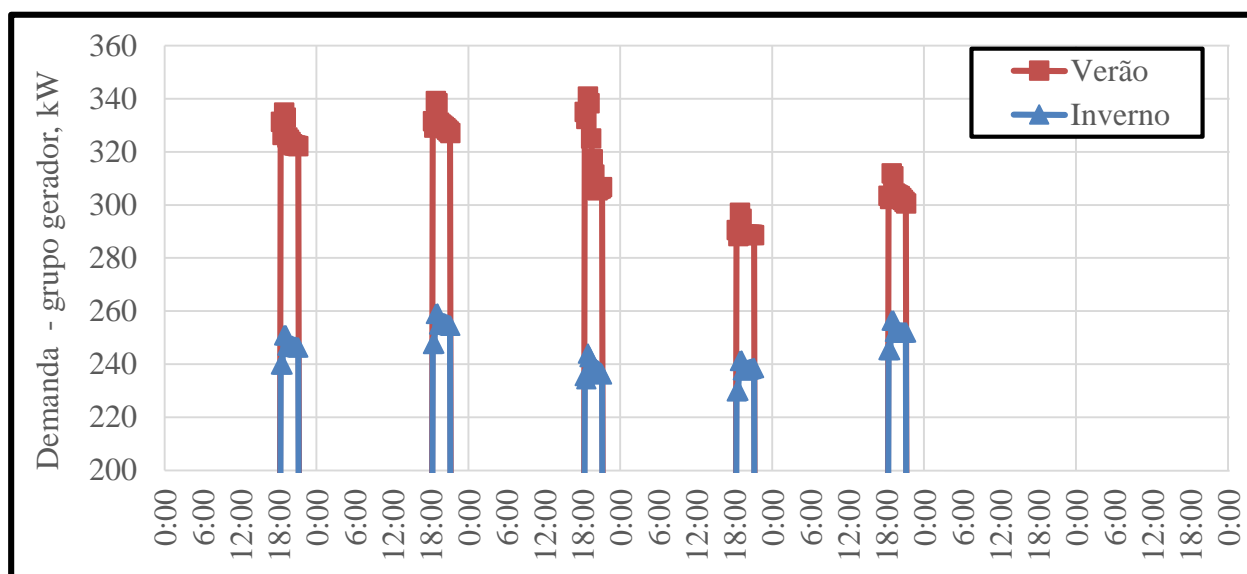
No começo da noite, 18:30, pode-se verificar o acionamento da iluminação externa, pela simulação, bem como a gradual diminuição da demanda medida, ao longo da noite. Este fato pode ser justificado pela diminuição da atividade na retaguarda da edificação, até o fechamento dos expedientes.

O desligamento da climatização às 23 h, junto com parte da iluminação externa e todas as cargas internas, pode ser considerado brusco na simulação, porém pode se mostrar dispendioso, em termos de ganho na acurácia dos resultados, modelar tais variações horárias de acionamento.

### 5.3 VISÃO DA OPERAÇÃO DO GRUPO GERADOR

Para demonstrar a operação do grupo gerador, estão apresentadas abaixo, na Figura 5-2, duas semanas da simulação, começando em uma segunda-feira até o domingo, em passos de tempo de quartos de hora. A de maior amplitude é de fevereiro (do dia 9 ao dia 15) e a menor é de agosto (10 a 16). A intenção é demonstrar um comportamento médio de verão e outro de inverno do equipamento.

Figura 5–2 Acionamento do grupo gerador para uma semana de verão e outra de inverno. De segunda a domingo.



Tomando-se a relação entre a demanda requisitada ao grupo gerador e a sua capacidade elétrica nominal em modo “prime”, 410 kW, a simulação indica que o equipamento opera em, aproximadamente, 61% de carga parcial durante o inverno e 78% durante o verão. No final da abscissa, pode-se verificar o não acionamento do grupo ao longo do final de semana.

A produção total de energia elétrica a óleo diesel simulada foi de 208 MW.h (11,5% da energia elétrica consumida), a um custo anual de R\$ 207 mil. Perfazendo uma relação de 0,996 R\$/kW.h, ou de 34,81 R\$/m<sup>2</sup>/ano. A simulação também indica um consumo de 57,5 mil litros de combustível por ano, indicando uma relação de 3,622 kW.h por litro de óleo diesel.

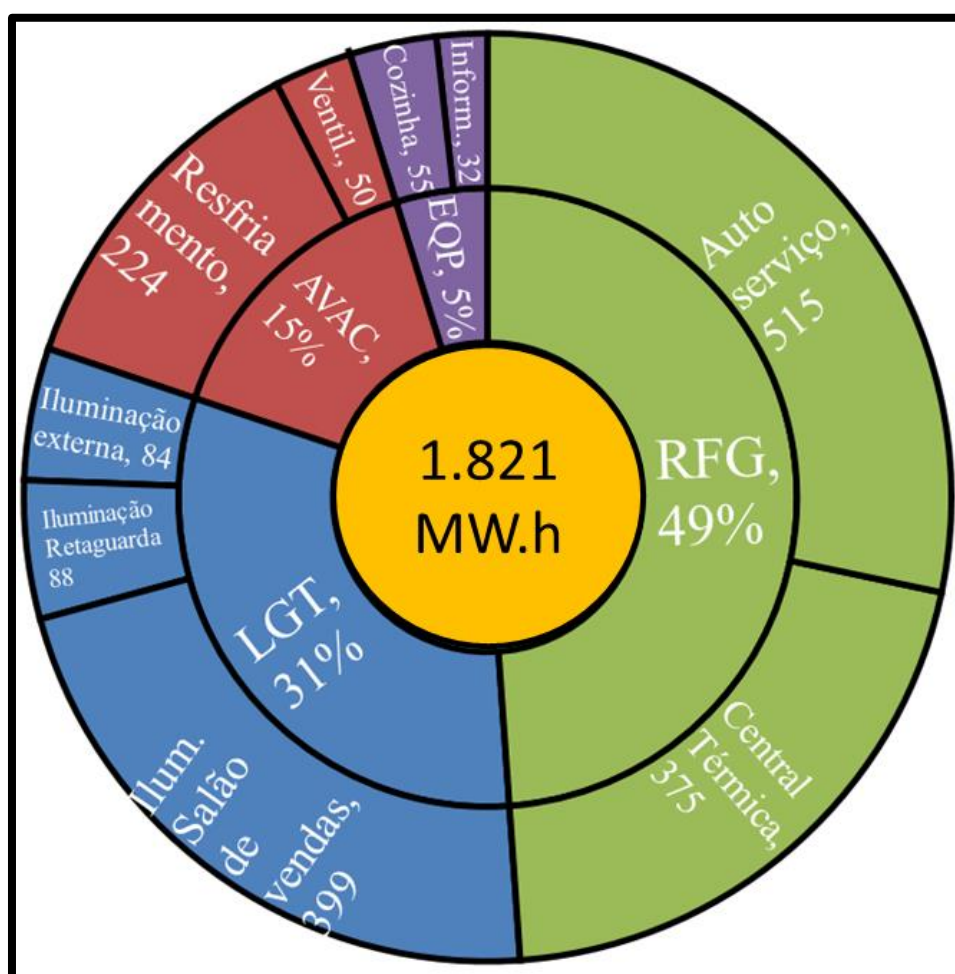
## 5.4 ANÁLISE ENERGÉTICA ANUAL DO SUPERMERCADO

Diante do apresentado, pode-se qualificar o modelo termo energético ao que se propõe. Na comparação direta, este resultado se aproximou da referência mais recente, AERG, 2013. Os resultados globais do modelo de referência simulado estão na Figura 5-3. Neste gráfico, as siglas do anel interno são as categorias de uso de energia: RFG – refrigeração, frio alimentar; LGT – iluminação; AVAC – aquecimento, ventilação e ar condicionado; EQP – equipamentos. No anel externo estão os consumos de energia elétrica, em MW.h, para as respectivas subcategorias.

Analisando-se dos maiores para os menores usos finais, pode-se verificar a dominância do consumo com frio alimentar, onde os sistemas de autosserviço gastam, aproximadamente, 140

MW.h a mais que a central térmica, para uma capacidade instalada 35% menor. Este resultado pode ser inferido ao coeficiente de performance associado a cada nível de temperatura: quanto menor a temperatura de evaporação, maior a taxa de consumo de energia pelo ciclo de refrigeração. Enquanto a central térmica, que opera no nível de resfriados, apresentou um COP médio anual de 4,929 kW/kW, os sistemas de autosserviço, demonstraram COP médio anual de 1,514 kW/kW, no nível de congelados.

Figura 5-3 Relação do consumo de energia por categoria, em porcentagem, e das subcategorias, em MW.h, simulados



Iluminação é o segundo maior uso final, enquanto as referências indicam-no como terceiro maior consumo. Na próxima seção será abordada uma ação híbrida para a redução do seu consumo. Será avaliado o impacto de janelas zenitais, medida passiva, associada a automação de iluminação controlada por luxímetro, medida ativa, no salão de vendas e no depósito.

Com relação ao sistema de climatização, tem de se louvar a solução implementada no salão de vendas. O sistema dutado garante versatilidade e redundância, através dos acionamentos independentes, a um baixo custo energético, em função da rotação variável dos seus compressores. Por fim, no que diz respeito ao consumo de equipamentos, percebe-se que o consumo associado a produção de alimentos na loja é apreciável, frente ao com informática.

O consumo anual de energia elétrica no supermercado ficou simulado em 1,821 GW.h, enquanto o custo total estimado em 1,334 milhões de reais por ano. Na relação do consumo anual com a área de piso, chega-se a uma intensidade de uso da energia, EUI, na sigla em inglês, de 305 kW.h/m<sup>2</sup>/ano, na relação do custo anual pela área de piso o valor é de 223,85 R\$/m<sup>2</sup>/ano e na relação do custo total com energia sobre a energia elétrica total consumida, a relação indica 0,732 R\$/kW.h.

## **5.5 ILUMINAÇÃO NATURAL E AUTOMAÇÃO PARA REDUÇÃO DOS CUSTOS COM ENERGIA**

Vencida a primeira etapa do trabalho, qualificando o modelo termo energético em representar a edificação real, neste segundo momento, avaliou-se o impacto no consumo/custos com energia elétrica de uma medida híbrida de eficiência energética. Esta consiste na implementação de janelas zenitais no salão de vendas e no depósito, associada a automação da potência de iluminação, controlada por luxímetro.

Foi configurado 1.000 lux como “set point” dos luxímetros de controle. Dessa forma, a partir de 1.000 lux a fração controlada da iluminação interna não é acionada, enquanto que abaixo do “set point” ela é linearmente acionada. Foi estabelecido um limite mínimo de 20% da potência de iluminação acionada. A altura dos sensores configurada foi de 5,5 m do piso. O salão de vendas foi dividido em duas alas, a leste e a oeste. Por sua vez o depósito em alas norte e sul, conforme ilustrado na Figura 5-4. Cada ala tem um luxímetro independente, responsável por metade da potência de iluminação disponível. O topo do telhado, as cumeeiras, foram omitidas dessa representação para que se observe a posição dos sensores. As posições estão indicadas pelas setas.

As 47 janelas modeladas na cobertura, 10 na do depósito e 37 na do salão de vendas, são compostas por duas lentes acrílicas, com 3 mm de espessura, cada, e uma câmara de ar intermediária de 40 mm de espessura, com dimensão do vão luz em 1,6 m de largura e 3,1 m de altura. A janela foi referenciada no modelo 800 MD da fabricante Sunoptics. Segundo Sunoptics,

2013, para esta geometria de janela o fator de ganho de calor solar, SHGC, na sigla em inglês, é de 42%, a transmitância térmica da janela, U, é de 0,74 W/m<sup>2</sup>.K e a fração transmitida da luz, no espectro visível,  $\tau_{vis}$ , é de 68%.

Figura 5–4 Vista superior do modelo termo energético com janelas zenitais e indicação dos luxímetros



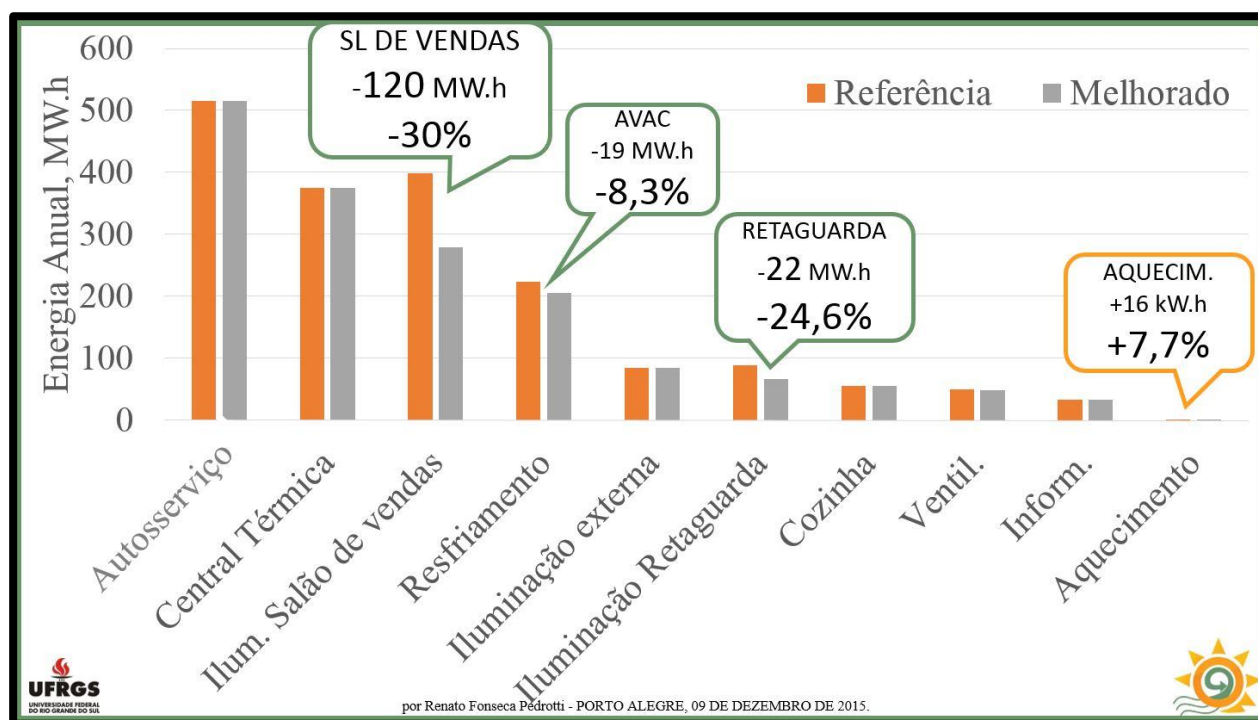
Esta medida híbrida é tão poderosa, que o consumo anual de energia elétrica do modelo de referência, 1,821 GW.h por ano, foi reduzido em 8,78%. Foram salvos 161 MW.h, diminuindo o consumo total para 1,661 GW.h por ano.

O grande impacto deve-se a redução, direta, no consumo com iluminação. Foram salvos 142 MW.h pelo uso de iluminação natural e automação, mas, também, através de compensação indireta com a climatização. O consumo da categoria AVAC foi reduzido em 8,3%, aproximadamente, 19 MW.h. O montante economizado é da ordem de 110 mil reais por ano.

Segue na Figura 5-5 a comparação dos consumos de energia por uso final entre os modelos de referência e este, melhorado. A luz desse gráfico busca demonstrar não só a composição de onde ocorreu o ganho direto de eficiência, através da redução do consumo, mas, principalmente, a compensação indireta desta medida híbrida na composição do consumo de climatização. Além da

apreciável redução de consumo do modo de resfriamento, pode-se verificar o aumento, sensível, no consumo de aquecimento.

Figura 5–5 Comparação entre o volume de energia simulado no modelo de referencia e no modelo melhorado, para cada sub categoria de uso final



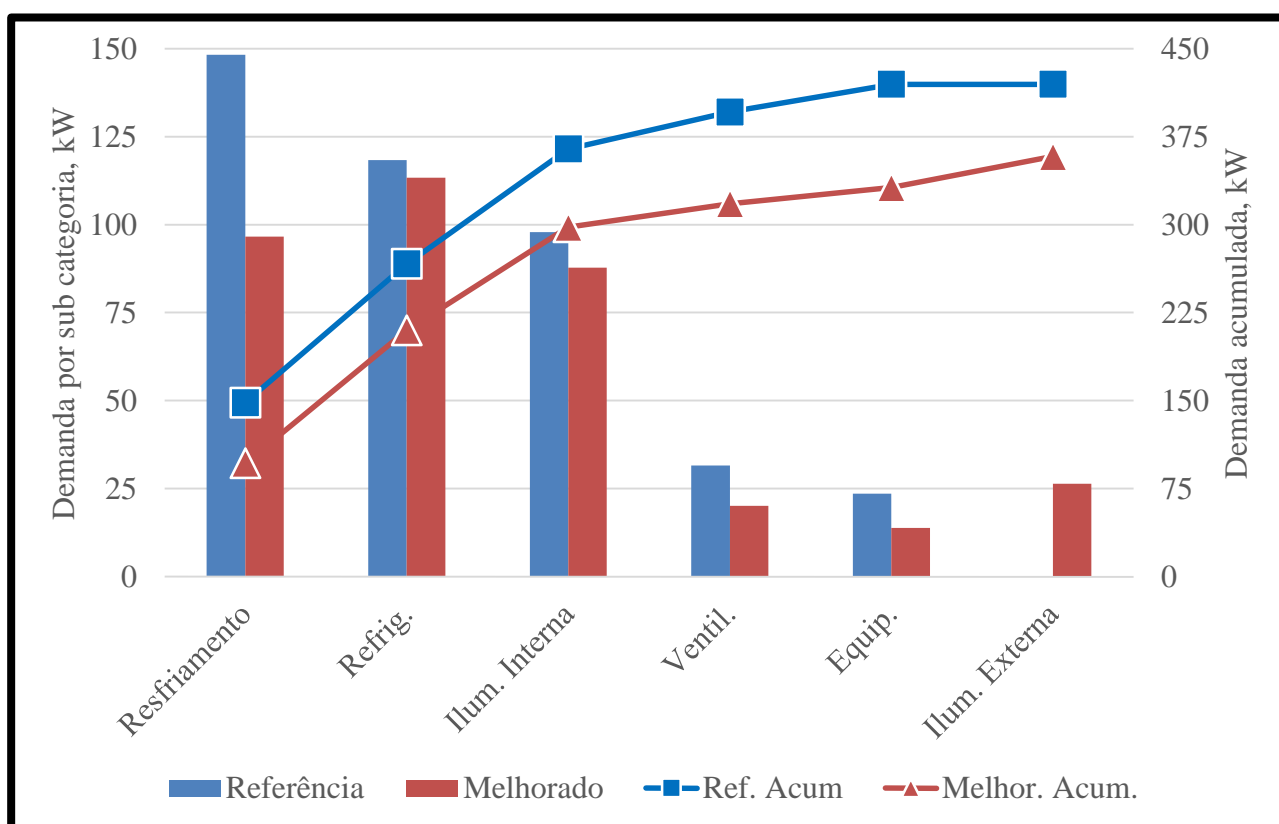
Para uma análise financeira, segundo Fischer, 2015, pode-se começar um estudo de custos a um preço de 1.370 R\$/m<sup>2</sup> desse tipo de janela zenital. Assim, para os 233 m<sup>2</sup> de cobertura que foram substituídos por janelas difusivas, estima-se um custo com material e instalação, da ordem de 320 mil reais. Já para o sistema de automação de iluminação proposto, segundo Ecojoules, 2015, é possível projetar e executar o sistema simulado com um investimento de 55 mil reais.

Tendo em vista o caráter de obra em edificação existente, pode-se adicionar, ainda, 25% ao custo total, como despesas de contingenciamento, totalizando um montante da ordem de 469 mil reais em investimentos. Os quais poderiam retornar em, aproximadamente, quatro anos e quatro meses, demonstrando a atratividade desta medida de eficiência energética. Estes custos poderiam ser menores na época da construção da edificação, tendo em vista a complexidade da montagem.

## 5.6 REDUÇÃO DO PICO DA DEMANDA DE ENERGIA

Como último ponto a apresentar neste trabalho, está a análise da composição do pico da demanda, como demonstrado na Figura 5-6. A simulação do modelo de referência indicou que o pico de demanda, 420 kW, ocorre dia 20 de fevereiro, às 13:00. Enquanto no modelo com iluminação natural e automação o pico, 358 kW, ocorre no dia 1º de março, às 18:45.

Figura 5-6 Comparação entre as composições dos dois picos de demanda simulados. Por sub categoria no eixo esquerdo e acumulada no eixo direito



É de fundamental valor mensurar e analisar esse tipo de comportamento, para empreendimentos que estejam vislumbrando financiamento pelos Programas de Eficiência Energética, PEE, das concessionárias públicas de energia, para implementar medidas dessa natureza.



## 6 CONCLUSÕES

Vencidos os objetivos propostos para este trabalho, a mensagem a se passar é a de que a eficiência energética e a conservação de energia deveriam receber a mesma atenção, senão mais, que a produção e comercialização da energia, pois trata-se do uso racional do recurso disponível. Na linha de prospectar e avaliar oportunidades de conservação de energia, este trabalho utilizou a capacidade do EnergyPlus alimentar análises qualitativas superiores, a partir das informações de consumo, demanda e custos que podem ser geradas por simulações horárias/sub horárias.

Com relação aos tipos de uso final, diametralmente oposto as referências nacionais, e mais antigas, o consumo de energia com frio alimentar (49%) foi o protagonista, com iluminação (31%) na segunda posição de maior consumo, seguido por AVAC (15%) e por equipamentos (5%). Resultado consistente com AERG, 2013. O autor atribui as variações entre esses textos à capacidade instalada e estratégia de produção de frio alimentar em cada estabelecimento. A estratégia de uma central térmica demonstrou ótimo coeficiente de performance, 4,92 kW/kW, e flexibilidade ao atender balcões resfriados e salas de preparo. O sistema dutado garantiu versatilidade e redundância, através dos acionamentos independentes, a um baixo custo energético, em função da rotação variável dos seus compressores.

Por fim, buscando reduzir a intensidade do uso de energia do modelo de referência, estimada em 305 kW.h/m<sup>2</sup>/ano, foi simulada uma solução híbrida, de iluminação natural e automação do sistema de iluminação. Esta análise sinalizou que esse índice poderia ser reduzido a 278 kW.h/m<sup>2</sup>/ano, promovendo uma economia da ordem de 110 mil reais por ano. Além de uma redução no pico de demanda na ordem de 15%, pôde-se estimar o retorno do investimento em quatro anos e meio.

## 7 REFERÊNCIAS

AERG, 2013. “Advanced Energy Retrofit Guide: Practical Ways to Improve Energy Performance – Grocery Stores”, National Renewable Energy Laboratory, June, 2013.

ANVISA, 2003. Resolução 09. Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

ASHRAE, 2004. “Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings”, ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

ASHRAE, 2013a. Chapter 19 - Energy Estimating and Modeling Methods. ASHRAE Handbook—Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA.

ASHRAE, 2013b. Chapter 26 - Heat, Air and Moisture Control in Building Assemblies – Material Properties. ASHRAE Handbook—Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA.

ASHRAE, 2013c. Chapter 18 – Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations.. ASHRAE Handbook—Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA.

Beck, J.V., and K.J. Arnold, 1977. Parametric estimation in engineering and science. John Wiley & Sons, New York. In: ASHRAE, 2013a.

Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), 2014. “Destravando o financiamento à eficiência energética no Brasil: soluções financeiras e não-financeiras para os agentes de mercado”.

Cummins, 2011. Catálogo técnico do grupo gerador C450D6 - Revisão 03. Cummins Brasil Ltda. Abril, 2011.

Ecojouples, 2015. Orçamento referente a projeto e execução de automação de sistema de iluminação em 25/11/2015.

EN 12.900, 2013. Refrigerant compressors. Rating conditions, tolerances and presentation of manufacturer's performance data. European Standard, Inglaterra.

EnergyPlus Documentation, 2015a. *Engineering Reference*.

EnergyPlus Documentation, 2015b. *Auxiliary Programs*.

EnergyPlus Documentation, 2015c. *Input and Output Reference*.

Fischer, C., 2015. Entrevista pessoal concedida pessoalmente em 30/11/2015, às 18:30.

Góes, R., 2015. Entrevista pessoal concedida por rede social em 16/11/2015 às 16:00.

Hitachi, 2014. Manual de instalação de unidades modulares – Linha RVT/RTC e RUV/RUT. Revisão 01. Hitachi Ar Condicionado do Brasil Ltda.

NBR 16.401, 2008. Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

NREL, 2011. U.S. Department of Energy - Commercial Reference Building Models of the National Building Stock. National Renewable Energy Laboratory, Technical Report 5500-46861.

PANESI, A. R. Q. Eficiência Energética em Supermercados. 2º Encontro de Engenharia e tecnologia dos Campos Gerais, 14 e 15 de agosto de 2008. Disponível em: [http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng\\_elet\\_automacao/18%20EFICIENCIA%20ENERGETICA%20EM%20SUPERMERCADOS.pdf](http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_elet_automacao/18%20EFICIENCIA%20ENERGETICA%20EM%20SUPERMERCADOS.pdf) . Acesso: 30/09/2009.

Rabl, A. 1988. Parameter estimation in buildings: Methods for dynamic analysis of measured energy use. *Journal of Solar Energy Engineering* 110:52-66. In: ASHRAE, 2013a.

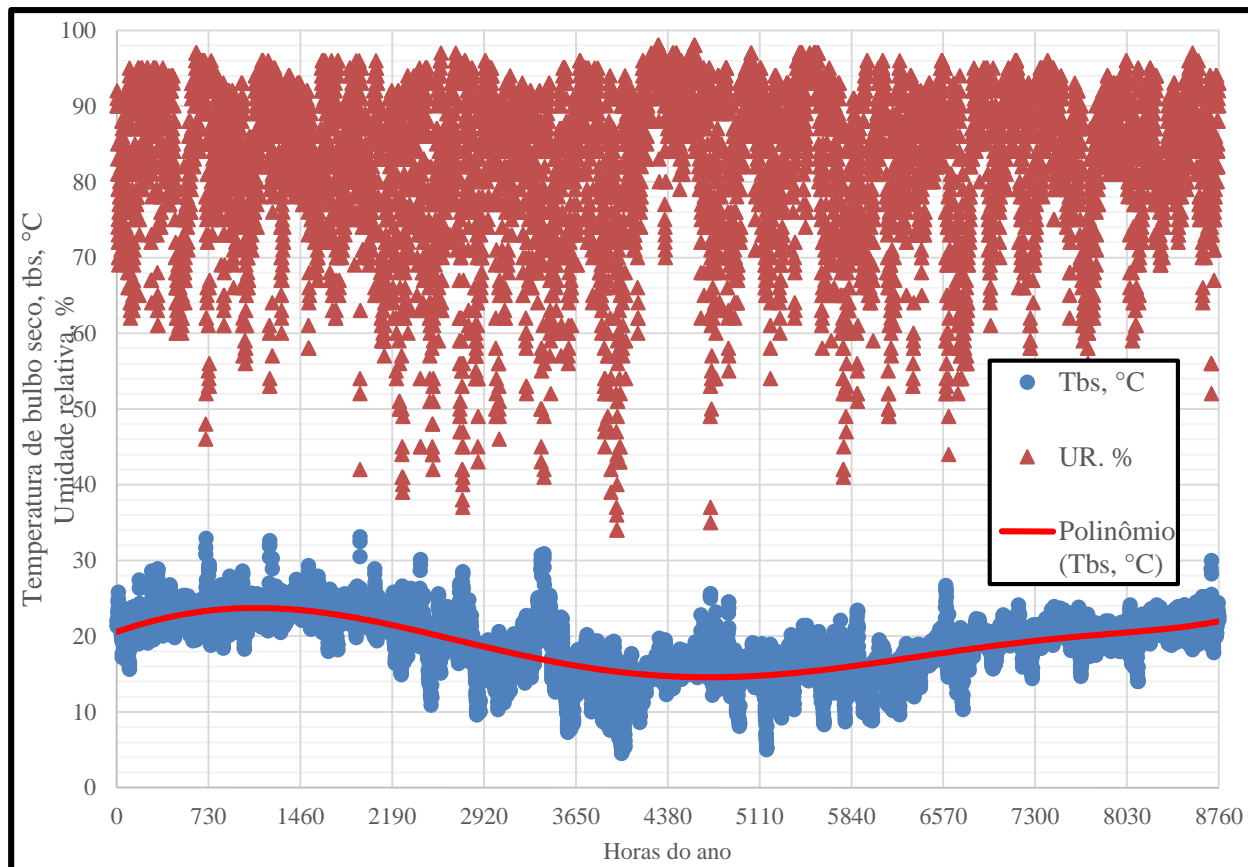
Roriz, 2012. Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos/SP, Brasil. Disponível em [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos\\_climaticos/sobre\\_epw.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/sobre_epw.pdf) . Acessado em 13/10/2015, às 16:12.

Sunoptics, 2013. Catálogo de especificações técnicas da linha “Signature Series - Frame Model 800 MD”. Disponível em [http://www.sunoptics.com/our\\_products/prismatic\\_skylights/signature\\_series/signature-series.aspx](http://www.sunoptics.com/our_products/prismatic_skylights/signature_series/signature-series.aspx) . Acessado em 30/11/2015 às 19:50.

## ANEXO A – DADOS CLIMÁTICOS

Na Figura A-1 segue um extrato do arquivo climático de Tramandaí/RS, na forma da dispersão das temperaturas de bulbo seco e umidade relativa, para as 8.760 h.

Figura A-1 Evolução da dispersão da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa do arquivo climático de Tramandaí/RS. O polinômio em Tbs é de 6ª ordem.



O EnergyPlus utiliza arquivos climáticos no formato EPW, *EnergyPlus Weather*. Na Tabela A-1 segue a relação dos dados contidos nesse tipo de arquivo e uma coluna com um sinalizador sobre o seu uso direto (S), ou não (N), na simulação.

Tabela A-1 - Relação das variáveis contidas em um arquivo climático do tipo Energy Plus Weather, “.EPW”. Adaptado de EnergyPlus Documentation, 2015b e Roriz, 2012.

Coluna	Variável	Nome/Referência	Unidade	Utilizada pelo EnergyPlus
1	Ano	Ano	-	N
2	Mês	Mês	-	S
3	Dia	Dia	-	S
4	Hora	Hora	-	S
5	Minuto	Minuto	-	N
6	Fonte	Fonte dos dados	-	N
7	TBS	Temperatura de bulbo seco	C	S
8	TOrv	Temperatura de ponto de orvalho	C	S
9	UR	Umidade relativa	%	S
10	AtmPa	Pressão atmosférica	Pa	S
11	ETGlbHrz	Radiação horizontal extraterrestre	W.h/m <sup>2</sup>	N
12	ETdirNrm	Radiação direta extraterrestre	W.h/m <sup>2</sup>	N
13	InfraVerm	Radiação horizontal infravermelha a partir do céu	W.h/m <sup>2</sup>	S
14	GlbHrz	Radiação global horizontal	W.h/m <sup>2</sup>	N
15	DirNrm	Radiação direta	W.h/m <sup>2</sup>	S
16	DifHrz	Radiação horizontal difusa	W.h/m <sup>2</sup>	S
17	LuzGlbHrz	Iluminância horizontal global	lux	N
18	LuzDirNrm	Iluminância direta	lux	N
19	LuzDifHrz	Iluminância horizontal difusa	lux	N
20	LuzZenit	Luminância zenite	lux	N
21	DirVen	Direção do vento	Em graus do desvio azimutal	S
22	DirVel	Velocidade do vento	m/s	S
23	Nebul	Nebulosidade	décimos	N
24	CeuOpaco	Céu opaco	décimos	N
25	Visibil	Visibilidade	km	N
26	AltCeu	Altitude do céu	m	N
27	TempObs	Fonte dos dados	-	S
28	TempCod	Norma que foi seguida	-	S
29	PrecipWat	Precipitação	mm	N
30	Aerosol	Visibilidade do horizonte	décimos	N
31	NeveDepth	Neve, profundidade	cm	S

Coluna	Variável	Nome/Referência	Unidade	Utilizada pelo EnergyPlus
32	DiasUltNev	Dias desde a última nevasca	dias	N
33	Albedo	Albedo	-	N
34	LiqPrecDep	Precipitação	mm	S
35	LiqPrecTax	Hora da precipitação	Horas	N

## ANEXO B – COP DO SISTEMA DO SALÃO DE VENDAS

O sistema do salão de vendas mereceu atenção especial tendo em vista o caráter de simulação de edificação existente. Tomou-se o cuidado de corrigir o coeficiente de performance, COP, do modelo termo energético, ponderado em função do número de unidades, duas RAP 200 e quatro RAP 120, para cada nível de carga parcial. Segue na Figura B-1 o extrato de Hitachi, 2014. As seleções indicam os valores de COP das unidades instaladas.

Figura B-1 Coeficiente de performance dos equipamentos instalados. Adaptado de Hitachi 2014.

LINHA SPLITÃO/SPLITOP COM COMPRESSOR INVERTER (Cargas Parciais)														
Modelo RTC ( TR )		20 (1C)				25				30				
Cargas Parciais ( % )		100	75	50	Min. 33	100	75	50	Min. 25	100	75	50	25	
Cap	kcal/h	55000	41250	27500	18150	72000	54000	36000	18150	88800	66600	44400	22200	
Vent Evap	CV	3,00				4,00				5,00				
	kW	2,80				3,80				4,50				
	A	8,2				11,1				13,7				
	Ajuste Relé Sobrecarga (A)	9,41				12,77				15,76				
Comp	kW					11,33	4,00	10,20	3,40					
	A					32,3	12,9	31,4	9,7					
Vent Cond	kW					0,76	0,70	0,50	0,35					
	A [#]					3,0	2,9	1,9	1,3					
RAP200IV	Comp	kW	17,20	10,80	6,80	3,95					17,20	8,10	12,20	5,50
		A	45,2	28,4	17,9	10,6					45,2	21,3	32,2	14,5
	Vent Cond	kW	1,10	1,00	0,73	0,70					1,10	1,00	0,73	0,70
		A [#]	3,5	3,1	2,3	2,2					3,5	3,1	2,3	2,2
Total	Pot. (kW)	21,10	14,60	10,33	7,45	26,55	19,10	14,50	7,55	33,46	24,20	17,43	10,70	
	Cor.(A)	56,9	39,7	28,4	20,9	80,4	45,0	11,1	11,1	96,4	72,0	48,2	30,4	
	COP	3,03	3,29	3,10	2,83	3,15	3,29	2,89	2,80	3,09	3,20	2,96	2,41	
	Cos Ø	0,99	0,99	0,98	0,94	0,95	0,94	0,86	0,83	0,99	0,98	0,97	0,95	
Ponto de Força	Pot. (kW)	25,4				31,9				40,2				
	Cor.(A)	68,2				96,2				115,5				
	Cor.Part(A)	56,9				180				184				

Para carga nominal o COP declarado foi de 3,11 kW/kW, para 75% de carga parcial foi declarado 3,29, para meia carga o COP foi de 2,96 e para um quarto de carga o valor do COP declarado foi de 2,81 kW/kW.

## ANEXO C – DADOS DE DESEMPENHO DO GRUPO GERADOR

Na Tabela C-1 estão os dados de consumo de combustível em função da carga parcial no grupo gerador. A simulação foi alimentada com uma regressão polinomial de segundo grau da carga parcial em função do consumo de óleo diesel.

Tabela C-1 Dados de desempenho do grupo gerador C450D6. Extraído de Cummins, 2011.

Potência nominal	<i>Stand-by</i> / Emergência				<i>Prime</i> / Horário de Ponta			
	563 kV.A / 450 kW				513 kV.A / 410 kW			
Carga aplicada	Nominal	3/4	1/2	1/4	Nominal	3/4	1/2	1/4
Consumo, L/hora	114	89	66	41	105	83	61	39

## APÊNDICE A – ZONEAMENTO E CARGAS INTERNAS

Neste apêndice do trabalho segue a Tabela A-2, referente as zonas térmicas declaradas e as respectivas cargas internas. Onde PII é a potência de iluminação instalada na zona, W, e DPI é a densidade de potência de iluminação instalada, relação entre a potência e a área de piso zona, W/m<sup>2</sup>. Idem, respectivamente, para equipamentos.

A zona refeitório é acionada diariamente, das 11 às 14 h, enquanto que a sala de treinamento é acionada, somente, aos sábados das 8 às 13 h. Os ambientes de sanitário e vestiário contam com exaustão, de acordo com a NBR 16.401, e iluminação conforme o projeto elétrico.

Comparando a área modelada com a área construída na documentação de projeto, observa-se um erro de 1,35%. Satisfatório, tendo em vista que a edificação não é completamente ortogonal e todas as paredes, pisos e coberturas, foram modeladas pela linha de centro.

Tabela A-2 Descrição das áreas e cargas internas, das zonas térmicas do modelo.

Índice	Zonas	Área, m <sup>2</sup>	Volume, m <sup>3</sup>	Área de parede externa, m <sup>2</sup>	Área envidraçada, m <sup>2</sup>	DPI, W/m <sup>2</sup>	PII, W	Ocupação, m <sup>2</sup> /pessoa	Pessoas	DPE, W/m <sup>2</sup>	PEI, W
1	ZNA01- SL DE VENDAS	4040	30010	1309,25	70,92	18,2	73537	10	396	2,1	8315
2	ZNA02-GRILL	38,5	134	26,95	0	4,6	176	9	4	103,9	4000

Índice	Zonas	Área, m <sup>2</sup>	Volume, m <sup>3</sup>	Área de parede externa, m <sup>2</sup>	Área envidraçada, m <sup>2</sup>	DPI, W/m <sup>2</sup>	PII, W	Ocupação, m <sup>2</sup> /pessoa	Pessoas	DPE, W/m <sup>2</sup>	PEI, W
3	ZNA03- PROD-PADARIA	87,18	305	65,8	0	12,1	1056	9	10	595,9	51949
4	ZNA04- PREP-FATIADOS	26,08	91	0	0	10,1	264	13	2	0,0	0
5	ZNA05- PREP-HORTIFRUTI	14,35	50	0	0	6,1	88	7,2	2	0,0	0
6	ZNA06- PREP-ACOUGUE	68,35	239	0	0	11,6	792	9	8	0,0	0
7	ZNA07- CPD	37,51	131	53,67	0	11,7	440	7	5	18,4	690
8	MEZ01- GERENTE-LESTE	63,47	222	0	0	18,7	1188	7	9	14,5	920
9	MEZ02- REFEITORIO	52,08	182	0	0	20,3	1056	1,1	48	10,0	523
10	MEZ03- ADM- O	23,68	82	0	0	7,5	178	7	3	9,7	230
11	MEZ04- SL DE TREINAMENTO	125,9	440	26,26	0	1,4	178	1,9	67	8,2	1035
12	APO01- CASA DE MAQUINAS	50	175	52,5	0		0		0		0
13	APO02- VESTIARIOS	98,88	346	4,2	0		0		0		0
14	APO03- UPS	4,04	14	0	0		0		0	56,9	230
15	APO04- SANIT PUBLICOS	62	217	56,7	0		0		0		0
16	CAM02- RESF-PADARIA	12,95	45	0	0		0		0		0
17	CAM03- RESF-FATIADOS	21,82	76	0	0		0		0		0
18	CAM04- RESF-LATICINIOS	26,08	91	0	0		0		0		0
19	CAM05- RESF-HORTIFRUTI	19,07	66	0	0		0		0		0
20	CAM06- CONG-ACOUGUE	81,5	285	0	0		0		0		0
21	CAM07- ANTECAMARA-ACOUGUE	13,15	46	0	0		0		0		0

Índice	Zonas	Área, m <sup>2</sup>	Volume, m <sup>3</sup>	Área de parede externa, m <sup>2</sup>	Área envidraçada, m <sup>2</sup>	DPI, W/m <sup>2</sup>	PII, W	Ocupação, m <sup>2</sup> /pessoa	Pessoas	DPE, W/m <sup>2</sup>	PEI, W
22	CAM08- RESF-ACOUGUE	41,98	146	28,92	0		0		0		0
23	CAM09- TROCAS	12,35	43	14,41	0		0		0		0
24	CAM10- CONG-EXTERNA	17,5	61	29,75	0		0		0		0
25	DEPOSITO	717	5924	494,31	0	13,2	11880		0		0
26	APO05- CAIXA DAGUA	32,55	113	40,08	0		0		0		0
27	APO06-LOJA DA FACHADA	175	612	122,5	73,15		0		0		0
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>5.962</b>	<b>40.155</b>	<b>144</b>	<b>2.325</b>			<b>554</b>		<b>67891</b>	

## APÊNDICE B - CONSTRUÇÕES E MATERIAIS

Na Tabela B-1, “ $\rho$ ” é a massa específica, “ $C_p$ ” é o calor específico, “ $k$ ” é a condutividade térmica e “ $e$ ” é a espessura da camada do material. “ $R_k$ ” é a resistência térmica do respectivo material e “ $U$ ” é a transmitância térmica da construção.

As resistências superficiais, convectivas, são calculadas pelo EnergyPlus, através do algoritmo TARP para superfície interna e do DOE-2 para superfície externa. Para detalhes consultar *EnergyPlus Documentation, 2015c*.

Como a temperatura do solo utilizada foi tomada a 50 cm de profundidade, disponível no arquivo climático, a construção “piso externo” recebeu uma camada mais externa de 20 cm de terra, para que se estendesse até esta interface de temperatura conhecida. Utilizou-se o material tijolo de barro para simular as características da camada de terra compactada.

Tabela B-1 Relação dos materiais e das construções modeladas.

Construção	Material	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$C_p$ , J/kg.K	$k$ , W/m.K	$e$ , m	$R_k$ , m <sup>2</sup> .K/W	$U$ , W/m <sup>2</sup> .K
	Reboco	2100	1000	1,15	0,02	0,017	
Parede externa	Bloco de concreto	1920	790	0,89	0,2	0,225	2,721
	Reboco	2100	1000	1,15	0,02	0,017	



Construção	Material	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Cp, J/kg.K	k, W/m.K	e, m	R <sub>k</sub> , m <sup>2</sup> .K/W	U, W/m <sup>2</sup> .K
Parede interna leve	Placa de gesso	800	1090	0,16	0,019	0,11875	1,862
	Camada de ar	-	-	-	-	0,15	
	Placa de gesso	800	1090	0,16	0,019	0,11875	
Parede isolada	Chapa de alumínio	7824	500	45,28	0,0008	0,000	0,309
	Poliuretano	8,6	1500	0,039	0,12	3,077	
	Chapa de alumínio	7824	500	45,28	0,0008	0,000	
Cobertura - Telha sanduíche	Chapa de alumínio	7824	500	45,28	0,0008	0,000	0,37
	Poliuretano	8,6	1500	0,039	0,1	2,564	
	Chapa de alumínio	7824	500	45,28	0,0008	0,000	
Piso externo	Tijolo	1920	790	0,89	0,2	0,225	1,465
	Concreto pesado	2240	900	1,95	0,2	0,103	
	Concreto leve	1280	840	0,53	0,1	0,189	
Entrepiso	Placa de gesso	800	1090	0,16	0,019	0,11875	1,53
	Camada de ar do forro	-	-	-	-	0,18	
	Laje de concreto leve	1280	840	0,53	0,1	0,189	

## APÊNDICE C – EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO

Neste apêndice estão apresentadas as capacidades de produção de frio dos equipamentos de climatização instalados na edificação, bem como os auto dimensionados pelo EnergyPlus. Foram utilizados dias de projeto de Florianópolis/SC, para temperatura bulbo seco, para verão (0,4%) e para inverno (99,6%).

Tabela C-1 Relação das capacidades dos sistemas de climatização, em W

Ambiente/Zona	Instalado	Simulação
Salão de vendas	492.380	445.682
CPD	3.517	6.029
Sala do servidor	5.275,5	605
Refeitório	10.551	29.507
ADM-Oeste	3.517	3.144
Sala de treinamento	35.170	18.994
Gerente leste	14.068	9.213
<b>SOMA</b>	<b>564.478</b>	<b>513.174</b>

A zona térmica “salão de vendas” foi modelada condicionada com um sistema unitário “inverter” de quatro velocidades. Ar condicionado inverter é aquele em que o compressor pode operar em rotação variável, através de um conversor de frequência, modulando a capacidade do sistema, e conseqüentemente a sua demanda de energia, em função da carga térmica a ser vencida.

A temperatura de insuflamento configurada foi de 14°C e a renovação de ar, cumprindo a Resolução Nº9 da ANVISA para ambientes públicos com alta rotatividade de pessoas, 4,72 L/s/pessoa. Nos outros ambientes climatizados foram definidos 7,5 L/s/pessoa de renovação de ar.

Com relação a infiltração, foi atribuída 0,35 trocas de ar por hora, TAH, no salão de vendas e 0,76 TAH nos outros ambientes. No dimensionamento dos sistemas AVAC da simulação não foram atribuídos coeficientes de segurança, posto que não houve a necessidade de selecionar equipamentos comerciais.

Como último comentário, a carga térmica do modelo melhorado, com aproveitamento da luz natural subiu para 481.925 W, 8,4% com relação a simulação de referência. Assim mesmo, ainda, compatível com a capacidade instalada.