

PROJETO COMPARATIVO DE CLIMATIZAÇÃO ENTRE UM SISTEMA SPLIT E VRV APLICADO EM UMA IGREJA DE FOZ DO IGUAÇU

Mateus Romero França¹
Jonatan Blanger Kochhann²
Rodrigo Nepomuceno³

Resumo: *A climatização de um ambiente é um fator de suma importância para garantir a boa estadia e conforto térmico dos ocupantes de uma edificação. Atualmente contamos com vários tipos de sistema de climatização no mercado, o presente trabalho apresentou dois sistemas, o split convencional e VRV (Volume de refrigerante variável) para climatização de uma igreja localizada na cidade de Foz do Iguaçu, com o intuito de avaliar as diferenças entre os dois sistemas. Dessa forma, foi realizado a modelagem em 3D da edificação no software SketchUp para identificação das zonas térmicas a serem climatizadas, e com o auxílio das normas vigentes e o software EnergyPlus, foi realizado o cálculo da carga térmica dos ambientes. Sendo assim, os dois sistemas de climatização foram especificados, com base nos valores encontrados, sendo realizado o levantamento dos custos de aquisição dos dois sistemas e comparando o sistema VRV com o Split. No qual pode-se observar um tempo de retorno financeiro positivo do sistema VRV, com seu payback estimado em 27 meses. Isso devido à sua economia de energia proporcionada pelo alto coeficiente de performance.*

Palavras-chave: *Climatização, Carga térmica, VRV, Software, Payback.*

1. INTRODUÇÃO

A necessidade humana de refrigeração e climatização é observada desde os primórdios da civilização, embora durante um longo período de anos a humanidade estivesse dependente da disposição dos recursos naturais para tal feito, como por exemplo a utilização da neve e do gelo, provindos das geleiras e picos de montanhas como componente essencial para o resfriamento e conservação de alimentos e bebidas; este método era ineficiente em regiões de clima predominantemente tropical, tal como o Brasil, havendo a necessidade de obtenção de novas formas de realizar esse processo de refrigeração.

Em 1758 o americano Benjamin Franklin conduziu uma experiência para explorar a utilização de fluidos em estado de evaporação como meio de arrefecimento de objetos, porém, apenas em

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário União das Américas – UniAmérica, Foz do Iguaçu, Paraná. E-mail: mateusromero14@gmail.com

² Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário União das Américas – UniAmérica, Foz do Iguaçu, Paraná. E-mail: jonablangerk@gmail.com

³ Docente Orientador do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário União das Américas – UniAmérica, Foz do Iguaçu, Paraná. E-mail: orientador@descomplica.com.br

1902, o engenheiro Willis Carrier projetou o primeiro condicionador de ar, baseando-se no resfriamento do ar através de dutos artificialmente resfriados (CARRIER DO BRASIL, 2017), revolucionando primeiramente os processos em escala industrial e em seguida impactando diretamente o cotidiano de toda a sociedade em termos de refrigeração e aquecimento.

Atualmente podemos encontrar disponíveis no mercado equipamentos das mais diversas formas e aplicações, como os sistemas Split System, piso-teto, cassete VRF/VRV, que se baseiam no princípio de compressão mecânica de vapor, onde se é utilizado um fluido refrigerante em estado líquido para absorção e remoção de calor de um determinado local.

Porém os sistemas de refrigeração apresentam uma desvantagem quando se trata de consumo energético, dado a utilização de componentes altamente consumidores de energia, tal como os compressores. Ao passar dos anos, com o advento de novos equipamentos com mais eficiência energética, possibilitou-se a elaboração de projetos de climatização que gerasse uma economia de energia considerável. Sendo tal fator importante, pois ela afeta diretamente o desenvolvimento econômico de uma nação. (OLIVEIRA, 2015).

A grande preocupação em relação à economia de energia tem se intensificado nos últimos anos, levando em consideração as altas taxas e a frequente variação dos custos, devido as oscilações das bandeiras tarifárias, que no ano de 2023 chegaram a valores de até R\$ 9,795 a cada 100 kWh consumidos (ANEEL 2023), conforme a disponibilidade do sistema hídrico para geração de energia elétrica. A climatização, utilizada para conforto térmico possui uma grande parcela da demanda elétrica das edificações, devido ao clima predominante quente da maioria das regiões brasileiras, mediante a isso novas tecnologias vêm sendo utilizadas no dimensionamento dos sistemas de refrigeração, entre elas o sistema VRV, introduzido no Japão, na década de 80, atualmente utilizado em mais de 50% das edificações comerciais de médio porte neste país (GOETZLER, 2007).

Diante do exposto, constata-se a necessidade de um dimensionamento e especificação de um sistema de refrigeração adequado para uma dada aplicação, que resulte em uma economia relevante de consumo energético. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é dimensionar a carga térmica de uma igreja localizada na cidade de Foz do Iguaçu, especificar dois sistemas de refrigeração, sistema split e VRV, e, por fim, realizar um comparativo entre os sistemas, levando em comparação o custo de implementação através do cálculo de Payback dos sistemas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho será aplicado em uma igreja localizada na cidade de Foz do Iguaçu – PR, com capacidade para 500 pessoas, sua utilização vai de reuniões para cultos aos sábados e domingos e de segunda a sexta, como sede de projetos sociais realizados no bairro Portal da Foz.

Como fundamentação do cálculo de carga térmica do local utilizada pesquisa bibliográfica em livros de refrigeração, tais como: CRUZ (1982) e CREDER (2004), como também as normas vigentes no país como a ABNT NBR 16401 (2008).

A Portaria GM/MS nº 3523, de 28 de agosto de 1998, regulamento técnico que contém as medidas básicas referentes aos procedimentos de verificação e manutenção da integridade e eficiência dos componentes dos sistemas de climatização, como a determinação da taxa de renovação de ar do interior dos ambientes climatizados, e implementação do plano de manutenção operação e controle – PMOC, também foi utilizada de forma complementar para o projeto.

Para especificação dos componentes de refrigeração foi realizado a pesquisa em catálogos dos fabricantes Daikin para o sistema VRV e Carrier para os sistemas Split System.

Por fim, foram utilizados softwares para o auxílio no dimensionamento do local, SketchUp desenvolvido pela Trimble Navigation.

2.1 CARGA TÉRMICA

A primeira etapa de um projeto de climatização é a estimativa da carga térmica da edificação, dado em tonelada de refrigeração, que visa apresentar a potência calorífica a ser retirada para que possibilite a obtenção do conforto térmico em uma edificação. Para o melhor dimensionamento do sistema será considerado a carga térmica máxima com base no mês mais quente do ano da cidade, tal como sugerido pela norma ABNT 16401 (2008).

2.1.1 PARÂMETROS PARA A ESTIMATIVA DA CARGA TÉRMICA

Para a estimativa da carga térmica de refrigeração, considera-se como fatores térmicos os seguintes parâmetros:

- Superfícies opacas: carga térmica devido a convecção da maior temperatura para a menor nas superfícies opacas, paredes e teto.
- Superfícies transparentes: carga térmica para superfícies transparentes (Vidros).
- Cargas internas: pessoas, equipamentos e iluminação presentes no recinto, será utilizado a tabela C.1 do anexo C da página 53 da norma ABNT 16401 com a estimativa de pessoas em trabalho sedentário para o cálculo de carga térmica de pessoas no ambiente.
- Infiltração de ar: fluxo de ar de ambientes externos ou internos causados por frestas em portas ou janelas (VERSAGE, 2015), A norma ABNT NBR 16401-1 (2008) sugere que o ambiente deve ser levemente pressurizado para minimizar os efeitos da infiltração
- A Temperatura de bulbo seco e a umidade relativa do ar serão retiradas da tabela A.7, página

36 do anexo A da norma ABNT 16401 (2008)

Através da Tabela 1 a seguir, podemos encontrar as fórmulas utilizadas nos cálculos:

Tabela 1. Fórmulas para o cálculo de carga térmica

CARGA TÉRMICA	FÓRMULA
Superfícies Opacas	$Q_{cond. sup.i} = A_{sup.i} \times U_{g,i}(T_{BS,ext.} - T_{BS,int.})$ e $Q_{ins.sup.i} = A_{sup.i} \cdot U_{g,i} \cdot \Delta T_{eq.i}$
Superfícies Transparentes	$Q = A * (\Delta T * U_{Vidro} + FS * RS)$
Pessoas	$Q_p = N * Q$
Equipamentos	$Q_e = P * N$
Iluminação	$Q_i = P * N$
Infiltração de Ar	$Q_I = \rho * V * \Delta h$

Fonte: Cruz, 1982 e ABNT NBR 16401-1, 2008.

Em que: $Q_{sup.i}$ = carga superfícies opacas, voltados para área externas; $A_{sup.i}$ [m²], área externa de cada superfície i; $U_{g,i}$ [Kw/m².C], condutividade técnica global de cada superfície opaca, $T_{BS,ext.}$ e $T_{BS,int.}$ [°c], Temperatura de bulbo seco externo e internas $Q_{ins.sup.i}$ [kW], carga de insolação; $A_{sup.i}$ [m²], área externa de cada superfície i; $U_{g,i}$ [Kw/m².C], condutividade técnica global de cada superfície opaca $\Delta T_{eq.i}$ [°C], diferença de temperatura sol-ar, A = área da superfície transparente (m²); U = Coeficiente de calor de transferência de calor do vidro (W/m²); FS = Fator solar do vidro; RS = Radiação solar incidente (W/m²); ΔT = Variação de temperatura externa e interna (K) Q_p = Carga térmica das Pessoas; N = Número de Pessoas; Q = Calor Total; P = Potência do equipamento ρ = densidade; V = Volume de ar trocado por infiltração; Δh = diferença de entalpia.

2.1.9 – SOFTWARE DE CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

A realização do cálculo da carga térmica utilizará 2 softwares, um deles será o SketchUp da empresa Trimble Navigation, o qual será utilizado para visualização da planta baixa da igreja e definição das áreas no qual será calculado a carga térmica. O outro software é o EnergyPlus™, utilizado para o auxílio nos parâmetros do cálculo da carga térmica de superfícies opacas e transparentes no edifício.

2.2 COEFICIENTE DE PERFORMANCE (COP)

O Coeficiente de Performance é um item muito importante utilizado na avaliação do rendimento de um sistema de refrigeração, sendo ele Split, Chiller ou VRV/VRF, esse fator nos indica a relação da capacidade de remoção do calor e a potência requerida pelo compressor. Esse índice é calculado pela seguinte fórmula:

$$COP = \frac{\textit{Energia util}}{\textit{Energia Consumida}}$$

Quanto maior o coeficiente, maior será o rendimento do equipamento e o seu consumo de energia.

2.3 CÁLCULO DE PAYBACK

Para a análise da viabilidade entre os dois sistemas será realizada a razão entre o custo de implantação pelo benefício oferecido por cada um dos sistemas.

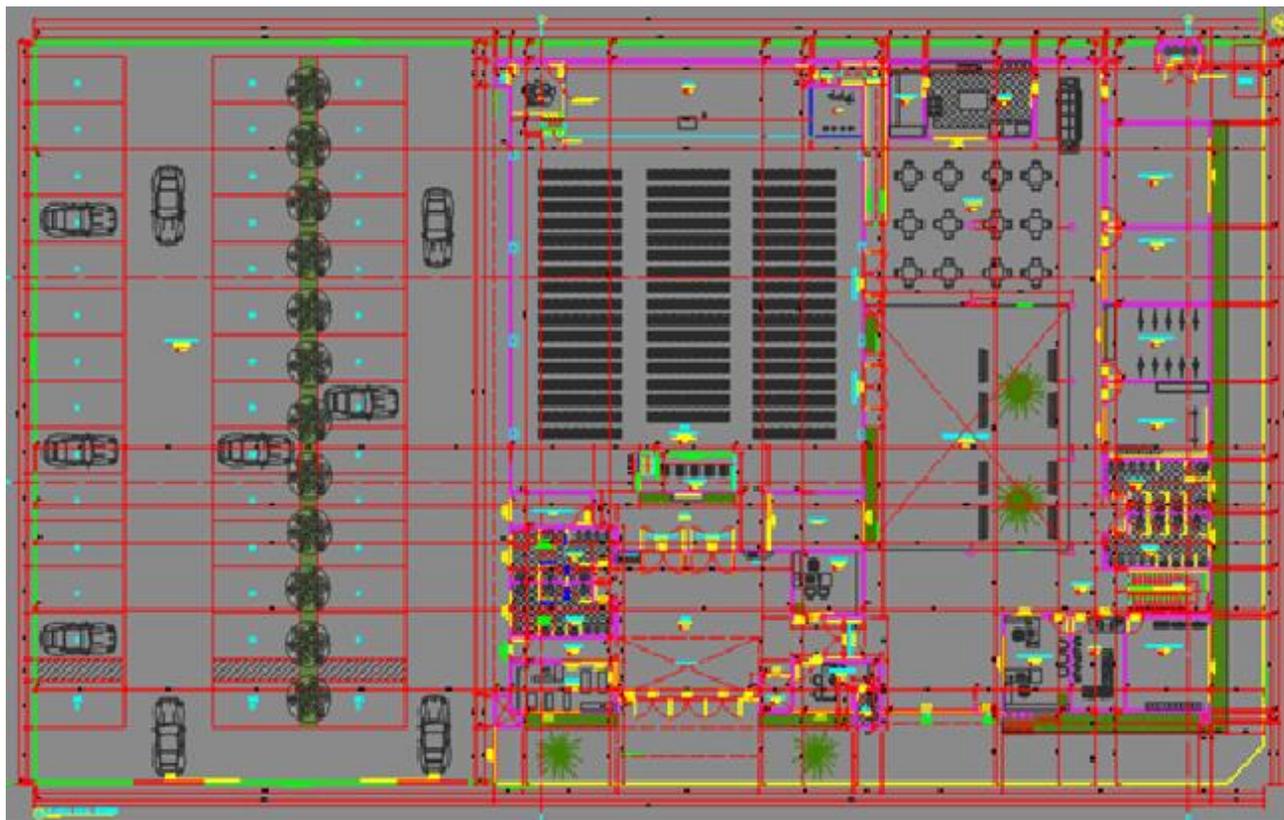
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a coleta das informações necessárias para a execução do projeto, foi iniciado as atividades buscando os valores de carga térmica de cada área, para assim poder realizar o levantamento de equipamentos necessários de cada sistema e realizar o comparativo entre eles.

3.1.1 PARÂMETROS PARA A ESTIMATIVA DA CARGA TÉRMICA

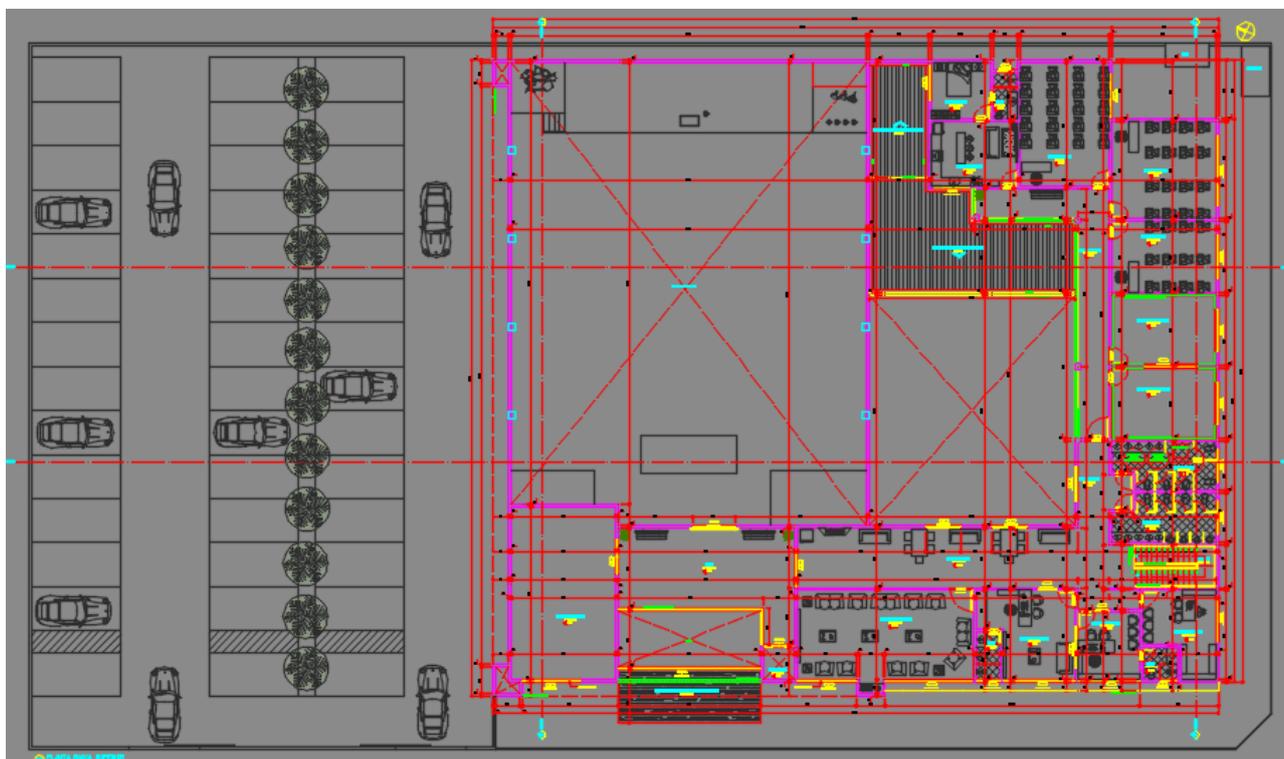
Podemos visualizar a seguir na Figura 1 e 2 a planta baixa do térreo e do 1º andar da construção a ser climatizada, contendo no total: 08 salas de aula, 01 nave, 01 hall de entrada, 01 cozinha, 01 sala de áudio e vídeo, 01 dormitório, 01 livraria, 02 salas pastorais, 02 secretarias, 01 sala administrativa, 01 sala de reuniões e 01 sala de estar.

Figura 1. Planta baixa térreo



Fonte: Autores, 2023.

Figura 2. Planta baixa andar superior

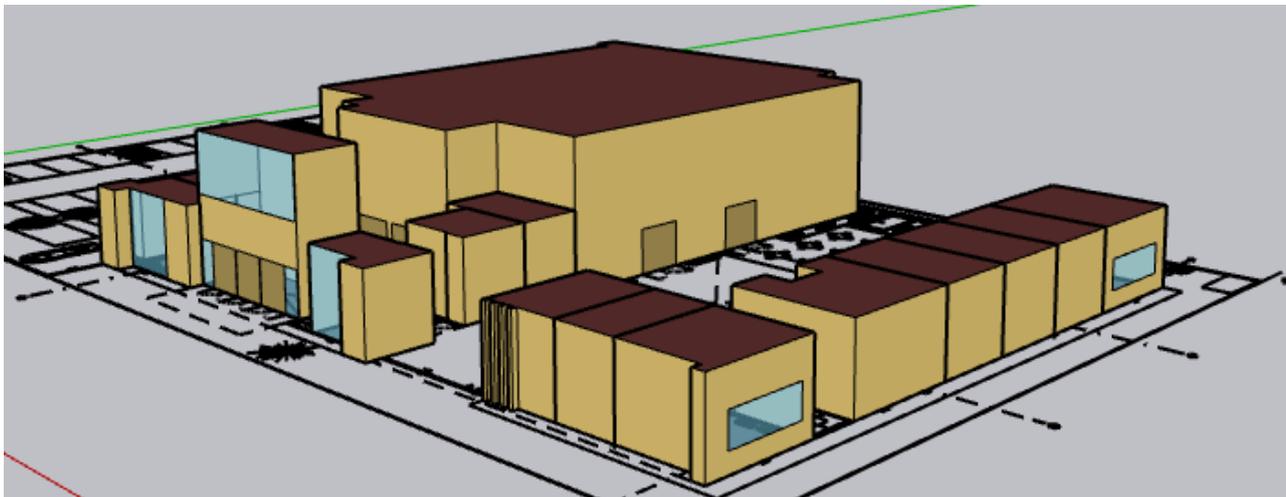


Fonte: Autores, 2023.

3.1 CARGA TÉRMICA

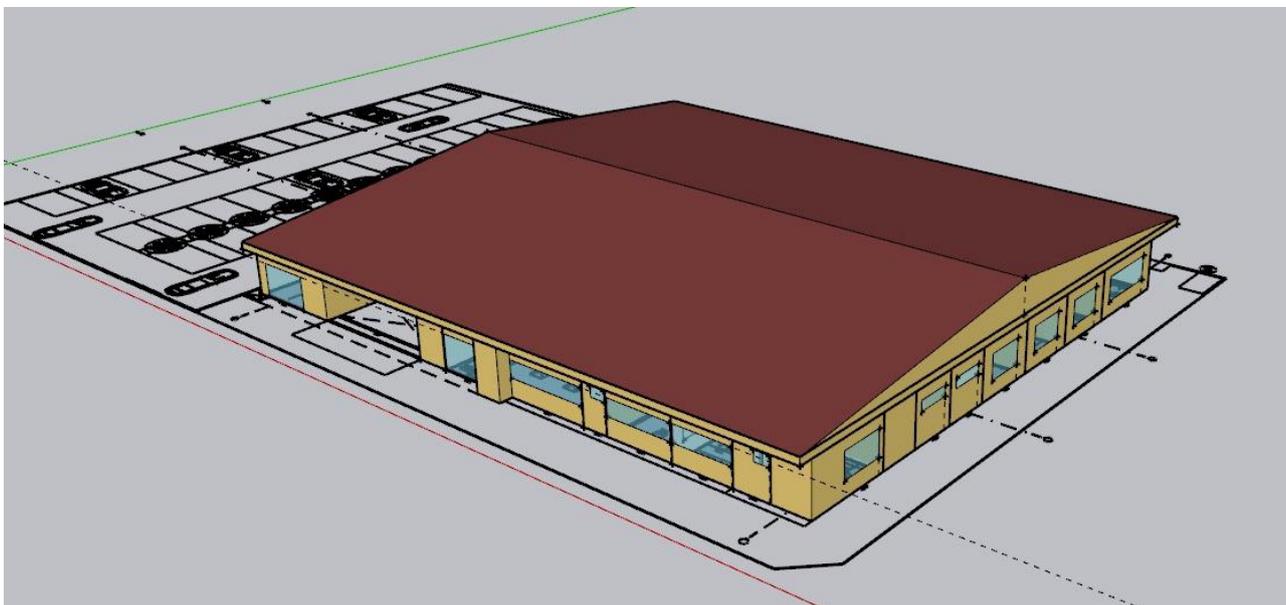
Através do software SketchUp foram divididas zonas térmicas na construção para o auxílio do cálculo de carga térmica, veja a seguir na Figura 3 e 4.

Figura 3. Zonas térmicas – Térreo



Fonte: Autores, 2023.

Figura 4. Zonas térmicas – Andar Superior



Fonte: Autores, 2023.

Os valores detalhados de carga térmica foram calculados conforme as zonas criadas no SketchUp e analisadas no software Energy Plus, foram utilizados parâmetros de Superfícies Opacas e transparentes do software para obtenção da carga térmica. As demais parcelas de carga térmica das zonas foram calculadas conforme a Tabela 1 em cada zona climatizada da edificação, veja a

seguir na Tabela 2.

Tabela 2. Carga térmica – Térreo

LOCAL	SUP. OPACAS	SUP. TRANSP.	PESSOAS	ILUMIN.	EQUIP.	INFILT.
Sala 01 – Multiuso	5.501,83	1.888,83	2300	24,23	85	177,7
Sala 02 – Multiuso	5.483,08	1.133,30	2300	24,14	85	177,7
Sala 03 – Multiuso	5.483,08	1.133,30	2300	24,14	85	177,7
Sala 04 – Multiuso	5.483,08	1.133,30	2300	24,14	85	177,7
Sala 05 – Multiuso	7.538,07	1.888,83	2300	33,19	85	177,7
Sala De Estar	3.549,94	17.141,58	1150	15,63	125	177,7
Secretaria Projeto	4.259,93	9.300,22	805	18,76	125	233,82
Sala Pastoral	2.336,17	18.958,03	575	10,28	95	177,7
Secretaria	3.060,21	0	575	13,47	125	121,58
Hall De Entrada	19.802,38	54.773,97	6900	87,21	70	25.252,76
Livraria	3.425,75	18958,03	2300	15,08	125	177,7
Equip. e Deps.	1.846,44	488,08	575	8,13	0	0
Nave	105.055,02	0	51750	463,49	1090	0
TOTAL	172.824,98	126.797,47	76.130,00	761,89	2.180,00	27.029,76

Fonte: Autores, 2023.

Devido a extensão dos resultados os cálculos do andar superior não serão detalhados, os resultados estarão inclusos na Tabela 4 em sua totalidade.

Tabela 4. Carga térmica total

Local	Carga Térmica Watts	Carga Térmica Btu/H	TR (Tonelada de Refrigeração)
Térreo	392.800,18	1.340.289,24	110
Andar Superior	106.532,05	363.502,49	30,29
TOTAL	499.332,23	1.703.791,73	140,29

Fonte: Autores, 2023.

2.2.1 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Após o cálculo da carga térmica será realizado a seleção dos equipamentos de climatização, para o sistema com vazão de fluxo variável serão utilizados os seguintes equipamentos: para unidade condensadora (externa) será utilizado o VRV Inova, item A da Figura 5 e para as unidades evaporadoras (internas) serão utilizados o cassete Daikin Sky-air e Daikin Hi-wall, vide o item B da Figura 5 a seguir:

Figura 5. A - Condensadora Daikin Inova – B - Evaporadora Daikin cassette Sky-air e Hi-wall



Fonte: Catálogo de produtos Daikin VRV Inova, 2023.

Para o sistema Split System convencional serão utilizados os seguintes equipamentos: para Hi-wall Springer Midea e cassette Carrier, veja a seguir na Figura 6:

Figura 6. Evaporadora Daikin cassette Sky-air e Hi-wall



Fonte: Catálogo de produtos Carrier Midea, 2023.

Os equipamentos foram dimensionados para atender a demanda de 120 TR (Tonelada de Refrigeração) tendo em vista a taxa de variação de performance de 30% prevista para cada equipamento, podendo chegar se necessário até 156 TR.

3.2 COEFICIENTE DE PERFORMANCE (COP)

Para realizarmos a comparação de eficiência energética dos equipamentos foram encontrados através da análise da ficha técnica dos fabricantes os seguintes coeficientes de performance dos equipamentos, veja a Tabela 4:

Tabela 5. COP dos equipamentos

EQUIPAMENTO	COP
Daikin VRV Inova	4,41
Cassete Carrier	3,03
Hi-wall Midea	3,04

Fonte: Ficha técnica dos equipamentos, 2023.

3.3 CÁLCULO DE PAYBACK

Com os valores de carga térmica estimados foram realizados orçamentos com as respectivas fabricantes citadas no desenvolver do trabalho, veja a seguir na Tabela 6 o custo total dos equipamentos.

Tabela 5. COP dos equipamentos

FABRICANTE	VALOR
DAIKIN	R\$ 568.812,39
CARRIER SPRINGER MIDEA	R\$ 336.400,26

Fonte: Daikin e Springer Midea, 2023.

Com os valores dos sistemas vamos realizar o cálculo de Payback utilizando a relação de COP dos equipamentos, sendo a razão do COP Daikin pelo COP Carrier o valor 1,45, vamos estimar conforme a tabela de consumo energético do PROCEL 2023 dos equipamentos de condicionadores de ar.

Para fins de cálculo será estimado o tempo de utilização de 11 horas para o sistema Hi-Wall durante 6 dias da semana e 6 horas diárias por 4 dias na semana para o sistema cassete. Será multiplicado o valor de 829,4 KW/h por 21 unidades Split Hi-Wall e 1631 KW/h por 15 unidades

cassete 4 vias, veja na Tabela 6 o resultado individual de cada equipamento.

Tabela 5. Consumo dos equipamentos

EQUIPAMENTO	CONSUMO KW/Mês
Hi-Wall	17.417,40
Cassete	24.465,00

Fonte: Tabela de condicionadores de ar PROCEL, 2023.

Multiplicando o valor total de KW/h consumido no mês pela taxa básica de 0,65 (valor médio de tarifa conforme dados da ANEEL de 2023), fator que pode ter alterações devido as bandeiras tarifárias em vigência, temos que o valor estimado de conta de luz mensal será de R\$ 27.223,56

A dividimos esse valor pela razão entre o COP Daikin e COP Split convencional de valor 1,45 temos o valor R\$ 18.774,86 que seria o gasto mensal do sistema Daikin para mesma aplicação, resultando em uma economia mensal de R\$ 8.448,70.

Para calcularmos o Payback levaremos em consideração apenas o consumo de energia elétrica de cada sistema. Ao dividirmos o valor da diferença de custo inicial dos dois sistemas de R\$ 232.412,13 pelo valor teórico de economia do sistema Daikin temos o Payback de 27 meses, levando em consideração apenas o gasto de energia elétrica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A climatização de um ambiente é um fator de suma importância para garantir a boa estadia dos ocupantes de cada área da edificação, portanto a especificação de um sistema de climatização eficiente garante não apenas o conforto térmico dos ocupantes, mas também a economia de energia elétrica da edificação, considerando que esta última sofre alterações devido as constantes mudanças tarifárias do país.

Com o presente trabalho calculamos a carga térmica em cada área da edificação, dimensionando a escolha dos equipamentos necessários para suprir a demanda de conforto térmico dos ocupantes, foram analisados os dois sistemas propostos e podemos concluir que o sistema VRV da fabricante Daikin mostrou-se muito promissor para esta aplicação, devido a sua economia de energia proporcionada e baixo tempo de Payback, estimado em 27 meses desde sua aquisição.

4. REFERÊNCIAS

ABNT. **Instalações de ar-condicionado: Sistemas centrais e unitários - Parte 1. Projetos das instalações**, NBR 16401-2. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Calendário e Resultados dos Processos Tarifários de Distribuição. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>. Acessado em 10/03/2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria Nº 3.523. Brasília, DF, 1998.

CARRIER. Willis. Biografia – Marcos Históricos. Disponível em <<http://www.carrierdobrasil.com.br/willis-carrier>>. Acessado em 10/03/2023

COSTA, Ê.C. Refrigeração. 3ª. edição. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 1982. CREDER, H. Instalações de ar condicionado. 6ª edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2004.

GERNER V. R. Coeficiente Global de Transmissão de Calor (U) (Materiais de Construção Utilizados no Brasil). Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/316718082/Coficiente-globaltransmissaocalor-u#>> Acessado em 10/08/2023.

GOETZLER, W. **Variable Refrigerant Flow Systems**, ASHRAE Journal, v.49, p. 24-31, 2007. Disponível em:<<https://www.ashrae.org>>. Acessado em 10/03/2023.

OLIVEIRA, I. P. **Eficiência energética em sistemas de energia elétrica: Um estudo de caso em uma indústria de lubrificantes**. 2015. Dissertação de Mestrado. UFMS. Campo Grande

VERSAGE, R. S. **Metamodelo para estimar a carga térmica de edificações condicionadas artificialmente**, Florianópolis, 191, 2015. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/169362/337477.pdf?sequence=1&is>