

# AValiação DE Eficiência Energética EM PROJETO DE SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO VRF

## ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT PROJECT IN A VRF CLIMATE SYSTEM

ROSA, Daniel Eduardo<sup>1</sup>  
LOPES, Diego Meireles<sup>2</sup>

**Resumo:** O presente artigo tem o objetivo de avaliar a eficiência energética em um projeto de sistemas de Ar Condicionado Central VRF. Neste trabalho foi comparado a eficiência energética quando utilizado o sistema de ar condicionado central do tipo VRF (*variable refrigerant flow*), alimentado por uma rede elétrica, em relação ao sistema de ar condicionado central do tipo VRF, alimentado por uma rede de gás natural no Rio de Janeiro. Com o intuito de exemplificar, foi escolhido uma planta de uma sala comercial. Para cálculo de carga térmica desse ambiente, foi utilizado um software disponibilizado pelo fabricante LG, denominado *Lats Load*, de acordo com as normas internacionais da ASHRAE. Para composição do fluxograma, foi empregado o software *Lats Hvac*, também fornecido pelo fabricante LG, seguindo as normas ABNT NBR 16655-1:2018 e ABNT NBR 16655-2:2018. Por fim, foi realizada uma análise de custo operacional anual de cada sistema, levando em consideração não só o consumo energético, mas também o custo de manutenção e operação, a fim de concluir qual sistema é o mais eficiente. O resultado do trabalho foi a economia de 20% de gastos de energia e operação do VRF à gás natural comparado ao sistema de refrigeração VRF elétrico.

**Palavras-chave:** ar condicionado, VRF, eficiência.

**Abstract:** This project aims to analyze the energy efficiency of using a central air conditioning system. In this work I will compare the energy efficiency when using the VRF (variable refrigerant flow) type central air conditioning system, powered by an electric grid, in relation to the VRF type central air conditioning system, powered by a natural gas grid. For the purpose of exemplification, a floor plan of a commercial room was chosen. To calculate the thermal load of this environment, a software made available by the manufacturer LG was used, called *Lats Load*, according to ASHRAE international standards. For composition of the flowchart, the *Lats Hvac* software was used, also provided by the manufacturer LG, following ABNT NBR 16655-1:2018 and ABNT NBR 16655-2:2018 standards. Finally, an analysis was made of the annual operating cost of each system, taking into account not only energy consumption, but also the cost of maintenance and operation, in order to conclude which system is the most efficient. The result of the work was saving of 20% in energy and operation costs of the natural gas VRF compared to the electric VRF.

**Keywords:** air conditioning, VRF, efficiency.

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Úrsula – daniel.rosa@souusu.com.br

<sup>2</sup>Professor da Engenharia - Universidade Santa Úrsula - diego.lopes@usu.edu.br

## 1. INTRODUÇÃO

A Engenharia Mecânica possui diversas áreas de atuação, onde o engenheiro mecânico pode atuar num vasto mercado de trabalho, sendo eles, automotivo, *off shore*, petrolífero, fabril, de refrigeração, entre outros.

De acordo com a Abrava (2018), o mercado de refrigeração vem tendo uma enorme crescente e se destacando em relação a outras áreas.

A climatização e a renovação de ar são indispensáveis para qualquer ambiente onde o clima local é predominantemente quente, como o Brasil. Além disso, a refrigeração é de extrema importância para a indústria de transportes, onde são transportados alimentos e medicamentos.

Atualmente é possível observar diversos tipos de sistemas de climatização instalados em residências, escritórios, mercados, *shoppings* e etc.

Conforme citado por Repositório UFSC (2021), as novas tecnologias de sistemas de refrigeração e climatização ajudam a diminuir não só os gastos com energia, mas também os gastos com manutenção e tem uma maior vida útil.

Cada tipo de sistema é selecionado de acordo com o ambiente que o mesmo será utilizado para climatizar.

O mais simples equipamento de climatização é chamado de aparelho de janela, é amplamente utilizado em residências e pequenos escritórios. Este aparelho apresenta em sua composição a unidade evaporadora e a unidade condensadora trabalhando acopladas.

Difundido próximo aos anos 2000, o sistema de climatização *Split System* se tornou muito utilizado em residências por ter um nível de ruído baixo comparado ao demais, pois a unidade condensadora não fica junto a unidade evaporadora, afirma Castro Silva (2020).

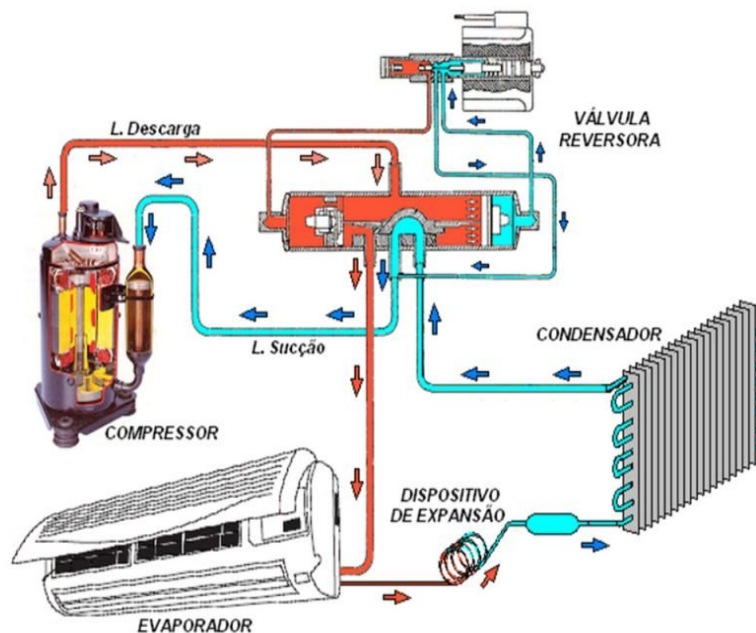
Neste momento, é possível entender como funciona o ciclo de refrigeração e seus componentes. O ar condicionado funciona com uma máquina térmica que retira energia do ambiente em forma de calor e transporta para o meio externo através do fluido refrigerante, conforme citado por WWM Consultoria (2021).

O ciclo de refrigeração se inicia no evaporador onde recebe o fluido refrigerante nos estados de líquido e vapor onde o líquido é totalmente evaporado.

No condensador, o fluido perde calor para o ambiente externo e condensa. Por isso, a unidade condensadora fica localizada na parte exterior do ambiente e a unidade evaporadora responsável por resfriar o ambiente fica localizada na parte interna do ambiente.

A figura abaixo exemplifica de forma detalhada o ciclo completo de refrigeração.

**Figura 1 - Ciclo de Refrigeração**



Fonte : WWM Consultoria(2021)

Em projetos maiores, como *shopping centers*, mercados e igrejas por exemplo, podemos observar o uso de *Chillers* conjugados com *Fan Coils*. Diferentemente, do Split e do ar condicionado de janela, esses equipamentos apresentam como fluido a água, responsável pela troca de calor, concorda Stoecker (2018).

Por último e como o objeto de estudo deste trabalho, temos o sistema de climatização do tipo VRF (fluxo de refrigerante variável). Com a mais alta tecnologia embarcada atualmente, os equipamentos VRF, apresentam a melhor eficiência energética.

Este tipo de equipamento trabalha com apenas uma unidade condensadora para várias unidades evaporadoras, reduzindo assim o número de compressores.

É importante observar que o sistema VRF não necessita do uso de *Chillers*, torre de resfriamento ou qualquer sistema auxiliar.

Além disso, por possuírem válvulas de expansão eletrônicas em cada evaporadora, este equipamento regula a quantidade de fluido refrigerante necessária para o ambiente de acordo com a carga térmica daquele ambiente no determinado momento.

O sistema VRF, pode apresentar diversos tipos de unidades condensadoras, como por exemplo: condensadora alimentada por rede elétrica ou condensadora ligada a rede de gás natural como fonte de energia.

**Figura 2 - Sistema VRF Daikin**



Fonte: Site *Daikin* (2020)

## 2. DESENVOLVIMENTO

A partir do projeto de arquitetura de um determinado local, foi possível levantar algumas particularidades do ambiente para elaborar um preciso cálculo de carga térmica, para solucionar a problemática do alto gasto energético com o sistema de refrigeração.

Alguns fatores foram levados em consideração, como insolação do local escolhido, localização geográfica, revestimentos das paredes e tetos.

Todos esses dados foram utilizados para que o software *Lats Hvac*, realize o cálculo preciso da carga térmica necessária do local.

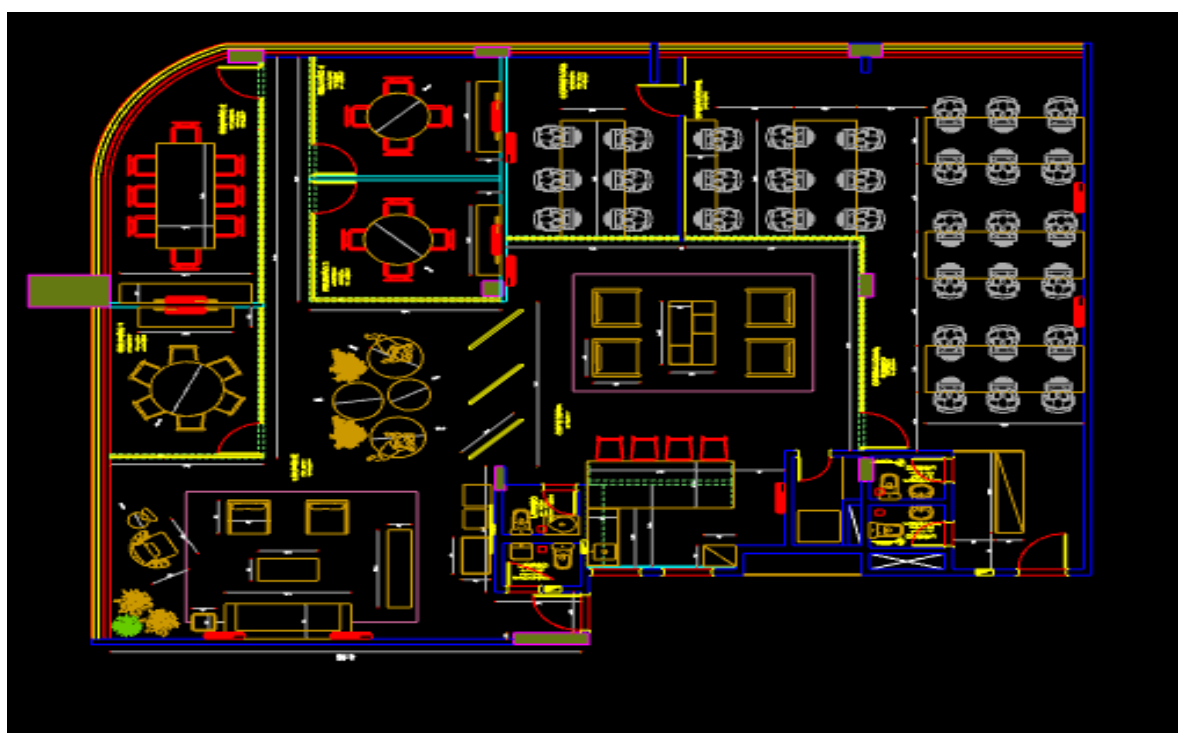
Com o cálculo de carga térmica elaborado, será selecionado as unidades evaporadoras que melhor atendem cada ambiente, levando em consideração não só a capacidade térmica, mas também a distribuição de ar que melhor atende cada ambiente.

Com as unidades internas selecionadas, iremos avaliar os dois tipos de unidade condensadoras que irão compor os sistemas para comparação.

O que vai diferenciar cada sistema para o cálculo de eficiência energética é a unidade condensadora, pois a mesma é a principal fonte gastadora de energia do sistema, ou seja, as unidades internas serão a mesma em ambos os sistemas para nível de comparação.

Todos os cálculos e selecionamentos são amparados pela ABNT NBR 16655-1:2018- instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado - Split e compacto.

**Figura 3 - Planta do local**



Fonte: Conectar 3D1 (2021)

## 2.1. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

Para projetar um sistema de climatização adequado, deve-se realizar o dimensionamento de carga térmica.

Existem inúmera maneiras para se realizar o cálculo de carga térmica de um sistema de ar condicionado, que irão variar de acordo com a bibliografia, a norma adotada e método utilizado.

Os principais métodos de calcular a carga térmica são CLTD/CLF, cálculo aritmético, balanço de calor. O mais utilizado atualmente é o CLTD/CLF.

Porém, de forma universal, quanto maior a capacidade de um sistema, mais minuciosa e apurada deve ser a metodologia utilizada.

Sistemas de pequeno porte destinados ao conforto humano, não necessitam de cálculos muito elaborados, pois as unidades externas utilizadas são padronizadas pelos diversos fabricantes existentes no mercado de refrigeração.

Ao definir o sistema do ambiente em estudo como sendo de médio porte devido a sua área de 355,8 m<sup>2</sup>, os cálculos serão baseados na hora de pico de uso dos equipamentos, método denominado **CLTD/CLF** (*Cooling Load Temperature Differential/Cooling Load Factors*) da *ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers)*, versão 55-2010.

Este cálculo é realizado manualmente ou por meio de softwares, que auxiliam de maneira mais rápida e exata a capacidade do ciclo de refrigeração necessária para melhor atender o local.

Neste caso iremos utilizar o *software, Lats Load* para realização do cálculo de carga térmica do ambiente de estudo.

Este software é gratuito e oferecido pelo fabricante de equipamentos *LG Eletronics*.

Para isso, precisamos entender primeiramente o que é carga térmica e o que influencia o seu cálculo, como por exemplo o ganho de calor:

- **Carga Térmica** – ou carga de resfriamento, é a quantidade de energia que deve ser extraída de determinado ambiente para promover conforto térmico.
- **Ganho de calor do ambiente** – é a soma de todos os ganhos de calor absorvidos pelo ambiente num determinado tempo. São classificados pela maneira como entram ou são gerados no local:
  - Radiação solar por meio de superfícies externas translúcidas;
  - Condução/convecção através dos vidros, telhados e paredes externas;
  - Condução/convecção através de superfícies internas;
  - Calor interno gerado pelos ocupantes, iluminação e aparelhos;
  - Diversos, compreendendo.

Ainda é importante classificar esses ganhos de calor como sendo sensíveis ou latentes:

- Calor sensível é absorvido pelo ambiente por condução, convecção e/ou radiação;
- Calor latente é inserido no ambiente por meio de vapor d'água emitido por ocupantes, infiltração ou equipamentos.

O *software* parte de algumas premissas em relação as características construtivas do tipo de ambiente que está sendo calculado.

De acordo com o número de ambientes a ser climatizado, ele define uma média de ganho de calor proveniente de janelas, paredes e telhado.

Os valores de ganho de calor proveniente de aparelhos eletrônicos e pessoas, também é levado em consideração pelo programa. Conforme apresentado o perfil de ocupação do ambiente de acordo com cada horário, consegue-se inserir os dados para cálculo. A quantidade de pessoas que ocupa o ambiente é importante, pois pessoas trocam calor constantemente com o meio.

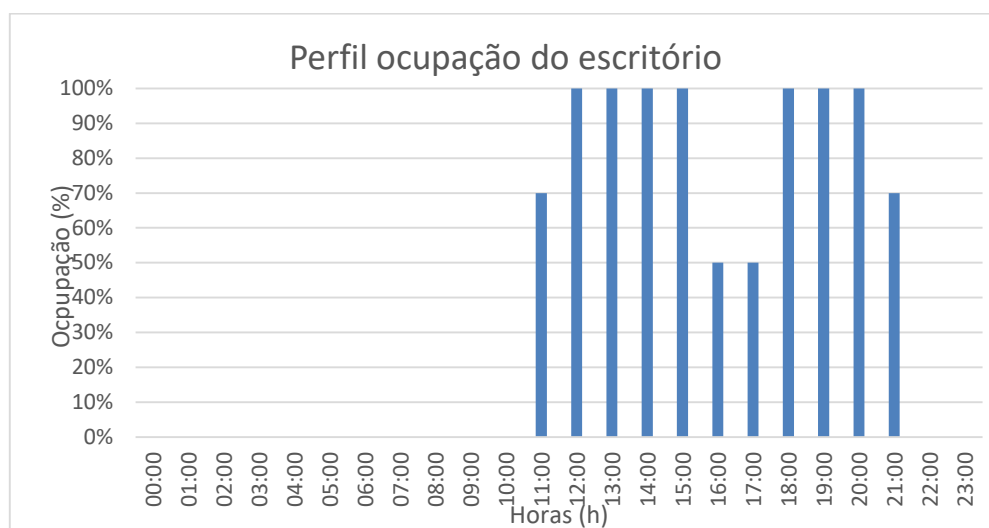
Por isso, um fator importante a se observar é o perfil de ocupação do ambiente climatizado.

O horário de maior utilização e o perfil de utilização dever ser levado em consideração.

Na figura abaixo, é exemplificado o perfil ocupacional real do ambiente para cada hora do dia. Foi considerado o horário de funcionamento do escritório como sendo de 11:00 h da manhã até as 21:00 h da noite.

Nota-se que a capacidade de pessoas no ambiente é máxima, nos horários de 12:00 h às 15:00 e de 18:00 h às 21:00 h, nesse espaço de tempo, percebe-se a maior demanda de carga térmica no ambiente.

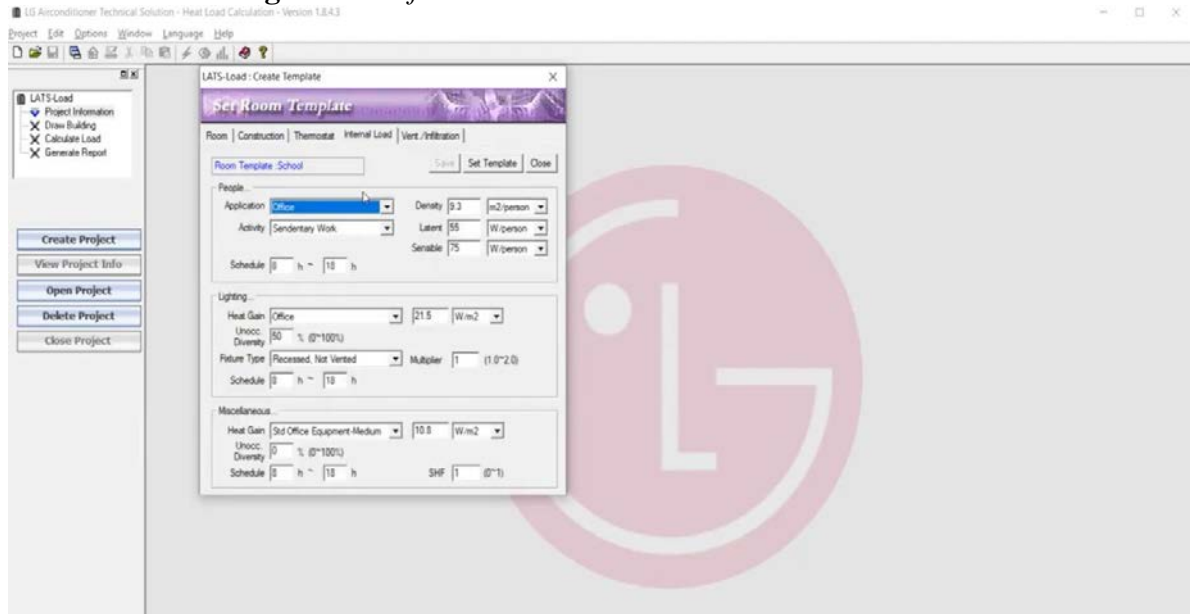
**Figura 4 - Taxa de ocupação do ambiente**



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Entendo todos esses fatores, conseguiu-se inserir os dados no software e compreender os resultados. Abaixo, é possível observar o *template* do *software* que é utilizado para o cálculo da carga térmica.

**Figura 5 - Software Gratuito Lats Load – LG Eletronic**



Fonte: Elaborado pelo Autor no Software (2021)

**Figura 6 - Resumo Cálculo LATS LOAD**

Building - Load Output										
Escritório Comercial Centro RJ - LOAD Summary										
1. Project Name :Escritório Comercial Centro RJ										
2. Date :May 04, 2021										
3. Location : RIO DE JANEIRO (Brazil), longitude(-43.3), latitude(-22.8), elevation(6m)										
4. Safe Factor : Cooling Sensible - 0.0, Cooling Latent - 0.0, Heating Sensible - 0.0 %										
5. Design Conditions										
		Summer				Winter				
Out door	DB Temp.[C]	38.9				15.9				
	WB Temp.[C]	26.1								
	RH[%]	36.7								
6. Cooling and Heating Loads										
		Cooling load								Heating load
Space Name	Area [m2]	Total	Sensible	Airflow	On Coil Condition		Off Coil Condition		Peak Time	Sensible
		[W]	[W]	[CMM]	DB	WB	DB	WB		[W]
Escritório	216	40843.0	37453.9	174.6	24.0	17.3	13.3	12.7	10:00	-5824.4

Fonte: *LATS LOAD* (2021)



## 2.2. SELECIONAMENTO DAS UNIDADES INTERNAS

Com as informações acima obtidas, foi feita a distribuição de evaporadoras por ambiente.

Tabela 1 - Selecionamento Evaporadoras

Ambiente	Equipamento Selecionado	Modelo Referência	Qtd.	Cap.Total do Equipamento (kW)	Carga Térmica Total (kW)
Sala Principal	Duto Aparente 48.000 BTU/h	ARNU48GV2A4	3	14,1	42,3
Escritório 1	Parede 12.000 BTU/h	ARNU12GSBA4	1	3,6	3,6
Escritório 2	Parede 12.000 BTU/h	ARNU12GSBA4	1	3,6	3,6
Sala de Reunião 1	Parede 18.000 BTU/h	ARNU18GSBL4	1	5,6	5,6
Sala de Reunião 2	Parede 18.000 BTU/h	ARNU18GSBA4	1	5,6	5,6
Espaço Comum	Cassete 48.000 BTU/h	ARNU48GSBA4	2	14,1	28,2
<b>TOTAL</b>					<b>88,9</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

A escolha das evaporadoras é feita de acordo com a capacidade térmica necessária em cada ambiente e a necessidade de vazão de ar do ambiente.

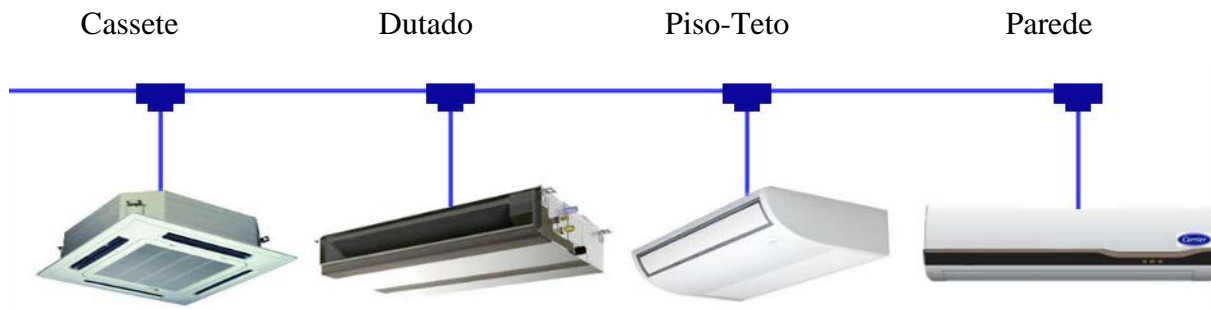
Todas as evaporadoras trabalham com padrão de fábrica na voltagem 220 Volts , monofásicas.

Evaporadoras do tipo Teto, Duto e Cassete possuem uma maior vazão de ar e são utilizadas em ambientes onde necessita um maior fluxo de ar. Já as tradicionais unidades evaporadoras do tipo *Hi Wall*, são utilizadas em ambientes onde se necessita uma menor vazão de ar.

Nenhuma dessas evaporadoras possuem sistema de ar exterior, sendo necessário um projeto a parte de sistema de renovação de ar, com uma vazão de ar de 9,5 L/s.pessoa , como é

orientado pela ABNT NBR 16401-3 / Sistemas centrais unitários – Parte 3 : Qualidade do Ar Exterior.

**Figura 7 - Unidades Evaporadoras**



Fonte: Catálogo Técnico LG (2021)

### 2.3. SELECIONAMENTO DAS UNIDADES EXTERNAS

Com a capacidade total térmica do ambiente foi possível realizar a seleção da unidade condensadora.

**1ª Opção: Unidade Condensadora VRF Elétrico:**

**Tabela 2 - Unidade Condensadora Elétrica**

Ambiente	Equipamento Selecionado	Modelo Referência	Qtd.	Cap.Total do Equipamento (kW)	Carga Térmica Total (kW)	Potência TOTAL (kW)	Potência TOTAL (TR)
Externo	MULTI V 5 STANDARD	CRUN320BTE5	1	89,6	88,9	21,03	25

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

**Figura 8 - Multi V 5 Standard**



Fonte: Catálogo Técnico LG (2021)

## 2ª Opção: Unidade Condensadora VRF Gás Natural

Tabela 3 - Unidade Condensadora GHP

Ambiente	Equipamento Selecionado	Modelo Referência	Qtd.	Cap.Total do Equipamento (kW)	Carga Térmica Total (kW)	Potência TOTAL (kW)	Potência TOTAL (TR)
Externo	MULTI V 5 GHP	GPUW320C2R	1	90	88,9	2,1	2,9

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Figura 9 - Multi V 5 GHP



Fonte: Catálogo Técnico LG (2021)

### 2.4. ANÁLISE DE CUSTO OPERACIONAL

Com as duas opções acima definida, foi possível realizar a avaliação da eficiência energética do sistema VRF que utiliza energia elétrica em relação ao sistema VRF que utiliza gás natural para o funcionamento.

O VRF a gás natural apresenta uma potência elétrica total cerca de 10 vezes menor que o VRF elétrico, visto que o mesmo utiliza energia elétrica apenas para partida, funcionando o restante do tempo através de um motor a combustão movido a gás natural.

Na Tabela 1 abaixo consta um estudo de eficiência da fabricante *LG Eletronics*, no qual, observa-se o consumo energético do sistema em função das horas do dia e dos meses do ano e o custo de manutenção necessário para estender a vida útil do sistema.

Essa análise considera o pior dos cenários com o preço médio de R\$0,79932 para 1 kWh, conforme ENEL (*Ente nazionale per l'energia elettrica*) (2021), e, assim, chega ao valor final aproximado de operação de R\$78.280,00 por ano para o VRF elétrico.

**Tabela 4 - Perfil de Carga e Análise de Custos Operacionais, LG – 2021 – Multi V 5 Standard**

Capacidade Máxima			300.900 (BTU/h)									
Potência de Resfriamento			19,3 (kW)									
Hora	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00
Carga %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	85%	90%
Carga (k BTU/h)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255,9	270,9
Cons. energia (kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,8	19,8
Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Carga %	95%	95%	95%	100%	90%	85%	80%	60%	50%	0%	0%	0%
Carga (k BTU/h)	286	286	286	301	270,9	255,9	240,8	180,6	150,5	0	0	0
Cons. energia (kWh)	20,9	20,9	20,9	23,2	19,8	17,8	16,7	11,4	9,1	0	0	0
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Carga %	100%	100%	95%	95%	90%	85%	85%	90%	95%	95%	100%	100%
Cons. Total (kWh)	3.352	3.352	3.185	3.185	3.017	2.849	2.849	3.017	3.185	3.185	3.352	3.352
Manutenção (R\$/ano)	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Energia Consumida (kWh/ano)	37.880 kWh		Operação R\$ 78.280,00 / ano									
Custa da Energia (R\$/ano)	RS 30.280,00											
Manutenção (R\$/ano)	RS 48.000,00											

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Na Tabela 2 abaixo consta um estudo de carga da fabricante LG Eletronic, no qual, observa-se apenas o consumo do gás natural (GNL) para funcionamento do sistema, visto que o consumo elétrico é irrisório nesse caso.

Essa análise considera o pior dos cenários com o preço médio de R\$ 0,531023 para 1 m<sup>3</sup>, conforme COMGAS e, assim, chega ao valor final aproximado de operação de R\$65.200,00 por ano para o VRF elétrico.

**Tabela 5 - Perfil de Carga e Análise de Custos Operacionais, LG – 2021 – Multi V 5 GHP**

Capacidade Máxima			300.900 (BTU/h)									
Potência de Resfriamento			19,3 (kW)									
Hora	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00
Carga %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	85%	90%
Carga (k BTU/h)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255,9	270,9
Cons. energia (kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,8	19,8
Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Carga %	95%	95%	95%	100%	90%	85%	80%	60%	50%	0%	0%	0%
Carga (k BTU/h)	286	286	286	301	270,9	255,9	240,8	180,6	150,5	0	0	0
Cons. energia (kWh)	20,9	20,9	20,9	23,2	19,8	17,8	16,7	11,4	9,1	0	0	0
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Carga %	100%	100%	95%	95%	90%	85%	85%	90%	95%	95%	100%	100%
Cons. Total (kWh)	3.352	3.352	3.185	3.185	3.017	2.849	2.849	3.017	3.185	3.185	3.352	3.352
Manutenção (R\$/ano)	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
GNL Consumida (m <sup>3</sup> /ano)	32.400 m <sup>3</sup>		Operação R\$ 65.200,00 / ano									
Custa do GNL (R\$/ano)	RS 17.205,14											
Manutenção (R\$/ano)	RS 48.000,00											

Fonte: Elaborado Pelo Autor (2021)

## 2.5. ANÁLISE DE CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

Ambos os sistemas possuem um custo inicial, onde contempla o custo da mão de obra da instalação e do valor de aquisição dos equipamentos.

Como os dois sistemas tem a instalação bem parecida, os valores de instalação são equivalentes.

A instalação do sistema VRF requer uma equipe qualificada, com técnicos em refrigeração e um Engenheiro Mecânico devidamente habilitado no Conselho Regional de Engenharia (CREA), responsável por assinar a responsabilidade técnica do projeto.

Nesse caso do estudo, estima-se que seja necessária uma equipe composta de 6 técnicos e 1 Engenheiro Mecânico, e prazo de execução é de 20 Dias.

Os equipamentos são versáteis, não sendo necessário uso de caminhões para içar e são de fácil transporte.

Já no valor de aquisição dos equipamentos, o VRF GHP possui um custo superior comparado ao VRF Elétrico, como foi possível observar nas tabelas abaixo.

**Tabela 6 - Análise de Custo de Implantação VRF Elétrico**

	<b>Custo Instalação [R\$]</b>	<b>Custo Aquisição [R\$]</b>	<b>Custo Total [R\$]</b>
<b>VRF Elétrico</b>	<b>R\$ 48.000,00</b>	<b>R\$ 96.000,00</b>	<b>R\$ 144.000,00</b>

Fonte: Elaborado Pelo Autor (2021)

**Tabela 7- Análise Custo Implantação VRF GHP**

	<b>Custo Instalação [R\$]</b>	<b>Custo Aquisição [R\$]</b>	<b>Custo Total [R\$]</b>
<b>VRF GHP</b>	<b>R\$ 64.000,00</b>	<b>R\$ 128.000,00</b>	<b>R\$ 192.000,00</b>

Fonte: Elaborado Pelo Autor (2021)

Com isso, foi possível analisar que o custo total de implantação do VRF GHP é cerca de 30% maior quando comparado ao VRF Elétrico.

## 3. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Foi possível observar que o sistema VRF que é alimentado por gás natural consome cerca de 20% de energia, comparado ao VRF elétrico.

Para ambos os sistemas, a carga térmica é máxima no período de 11:00 horas e 15:00 horas e nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro.

Nestes períodos a potência solicitada se equipara a potência total efetiva do equipamento e a diferença quantitativa de consumo pode chegar a 30%, pois o equipamento trabalha a pleno funcionamento com sua máxima capacidade térmica.

O sistema VRF de gás natural apresenta uma vantagem considerável comparado ao VRF elétrico na questão de carga elétrica do local, pois em alguns locais não é possível o aumento de carga na companhia de eletricidade, o que impossibilita o uso do VRF elétrico.

Não houve diferença de valor para os gastos anuais com manutenção de ambos os sistemas.

De acordo com a tabela abaixo, é possível observar detalhadamente a diferença de cada valor por sistema, considerando operação, consumo, manutenção e consumo total.

**Tabela 8 - Análise de Custos VRF Elétrico**

	<b>Potência Total [Kw]</b>	<b>Consumo Total Anual [Kwh]</b>	<b>Custo Operação Anual [R\$]</b>	<b>Custo Manutenção Anual [R\$]</b>	<b>Custo Total Anual [R\$]</b>
<b>VRF Elétrico</b>	<b>21,03</b>	<b>37.880</b>	<b>R\$ 30.280,00</b>	<b>R\$ 48.000,00</b>	<b>R\$ 78.280,00</b>

Fonte : Elaborado Pelo Autor (2021)

**Tabela 9 - Análise de Custos VRF GHP**

	<b>Potência Total [Kw]</b>	<b>Consumo Total [m³]</b>	<b>Custo Operação Anual [R\$]</b>	<b>Custo Manutenção Anual [R\$]</b>	<b>Custo Total Anual [R\$]</b>
<b>VRF GHP</b>	<b>2,1</b>	<b>32.400</b>	<b>R\$ 17.200,00</b>	<b>R\$ 48.000,00</b>	<b>R\$ 65.200,00</b>

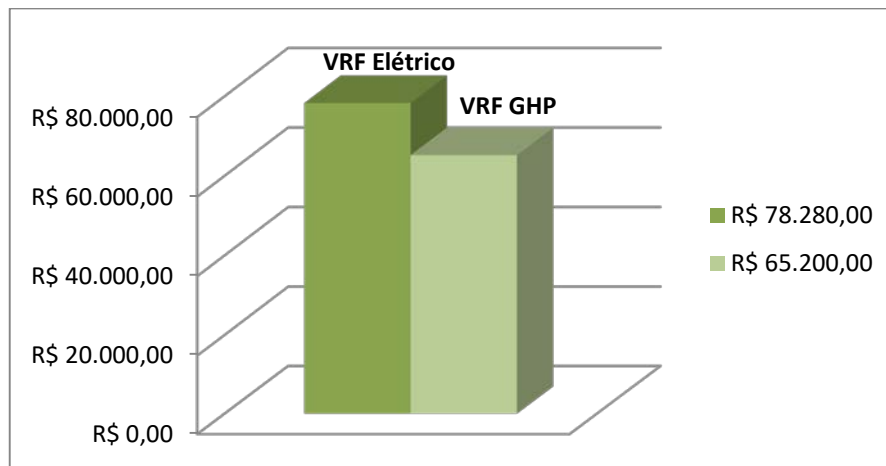
Fonte: Elaborado Pelo Autor (2021)

Para comparação, está apresentado o gráfico abaixo onde é comparada a eficiência de cada sistema por ano.

No gráfico, é interpretado que o VRF GHP possui um custo total anual de operação, manutenção e consumo de **R\$ 65.200,00** e é representado pela cor verde clara.

Já na parte representada pela cor verde escura, tem-se o custo total anual de operação, manutenção e consumo do VRF Elétrico.

**Gráfico 1 - Eficiência Energética**



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

### **3.1. RETORNO DO INVESTIMENTO**

Com as análises de custo de implantação e análise de custo de operação realizadas, foi possível verificar o prazo para retorno do investimento inicial, já que apesar de ter um custo inferior para se manter, o VRF GHP possui um custo inicial superior ao VRF elétrico.

Por ano, o VRF GHP economiza cerca de R\$13.100,00 quando comparado com o gasto para se manter do VRF Elétrico.

O VRF GHP tem um custo inicial de R\$48.000,00 a mais para ser implantado em relação ao VRF Elétrico.

Pode-se então chegar à conclusão que necessita de cerca de 3 anos para recuperar o investimento inicial superior do VRF GHP.

## **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo teórico teve a finalidade de avaliar a eficiência energética de dois diferentes sistemas de ar condicionado central do tipo VRF.

O primeiro tipo é composto por uma unidade condensadora do tipo VRF elétrico e o segundo tipo é composto por uma unidade condensadora do tipo VRF a gás natural.

Foi realizado o cálculo do custo de instalação e do custo de operação e manutenção e consumo dos dois sistemas em relação a um ano de funcionamento, considerando que ambos os sistemas apresentam a mesma capacidade de refrigeração.

Foi possível observar uma economia de cerca de 20% do VRF GHP comparado ao VRF elétrico, uma vez que as tarifas atuais do gás natural liquefeitos são inferiores comparadas a energia elétrica e também pelo consumo do equipamento na presente data.

Os dois sistemas possuem o mesmo custo de instalação e o VRF GHP possui um custo de aquisição 30% superior em relação ao elétrico. Obteve-se também como resultado que o *payback* é estimado em 3 anos.

Para implantação do sistema selecionado deve-se realizar apresentar o projeto do sistema de ar condicionado, incluindo cálculo de carga térmica, instalação elétrica, entre outros, elaborado por engenheiro devidamente habilitado e com registro ativo no CREA, bem como, seguindo a Portaria 3.253 de 1998 do Ministério da Saúde, preservando a captação de ar externo livre de poluentes, em atendimento às normas técnicas e legislação vigente.

Após instalação e comissionamento do equipamento, deverá ser implantado, obrigatoriamente, um Plano de Manutenção devidamente assinado pelo Engenheiro responsável técnico, de acordo com a Lei 13.589/2018 PMOC – Plano de Manutenção, Operação e Controle em sistema de ar condicionado.

Concluiu-se que o sistema proposto VRF tem grande versatilidade inclusive quanto a possíveis interferências que possam impedir outras instalações. Além disso, atende as demandas da edificação e a norma NBR ABNT 16401 (2008) e as boas práticas de engenharia.

## REFERÊNCIAS

**ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR 16401-1:2008: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projeto das Instalações.** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **Norma NBR 16401-2:2008: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico.** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **Norma NBR 16401-3:2008: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do ar interior.** Rio de Janeiro, 2008.

**ABRAVA – LEI 13.589 BENEFÍCIOS E RESPONSABILIDADES NA APLICAÇÃO DO PMOC** - <https://abrava.com.br/lei-13-589-beneficios-e-responsabilidades-legais-na-aplicacao-do-pmoc-por-revista-abrava-climatizacao/>

**ANÁLISE DE REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM EQUIPAMENTOS DE REFRIGERAÇÃO – REPOSITÓRIO UFSC (2021)**



**ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING AND REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC., HANDBOOK – HVAC APPLICATIONS. SI EDITION, ATLANTA, USA, 2011.**

**ÇENGEL, YUNUS A.; BOLES, MICHAEL A.** Termodinâmica. São Paulo: Mc Graw Hill, 2012.

**CONFORTO TÉRMICO: AR CONDICIONADO E CLIMATIZADOR.** Clique arquitetura. Disponível em: <<http://w.cliquearquitetura.com.br/artigo/conforto-termico-ar-condicionado-e-climatizador.html>> Acessado em 15/06/2021

**FOX, ROBERT W.; MCDONALD, ALAN T.** Introdução a Mecânica dos Fluidos. 5ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2001.

**JOSÉ DE CASTRO SILVA.** Refrigeração e Climatização para Técnicos e Engenheiros, 2020.

**MINISTÉRIO DA SAÚDE – PORTARIA Nº3.253.** - <https://www.refrigeracaoglobo.com.br/arquivos/docs/pmoc.pdf>

**NORMAS DE INSTALAÇÃO.** <https://abrava.com.br/cb-55-abnt-abrava-informa-que-a-norma-instalacao-de-sistemas-residenciais-de-ar-condicionado-foi-publicada>. Acessado em 18/08/2021

**QUALIDADE DO AR EXTERIOR.** <https://abrava.com.br/revisao-da-nbr-16401-3-provoca-debate-sobre-renovacao-e-tratamento-do-ar-revista-abrava-climatizacao> Acessado em 18/09/2021

**VRV MULTI-SPLIT TYPE AIR CONDITIONERS.** Daikin. Disponível em: <<https://www.daikin.com/products/ac/lineup/vrv/>> Acessado em 16/06/2021.

**WWM CONSULTORIA – COMO FUNCIONA UM AR CONDICIONADO** [https://wwmconsultoria.com/como-funciona-um-ar-condicionado/amp/\(2021\)](https://wwmconsultoria.com/como-funciona-um-ar-condicionado/amp/(2021)).

**W.F.STOECKER .** Refrigeração Industrial. 2018.