

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

KEVIN MÜLLER

**CRITÉRIOS E DIMENSIONAMENTO DE TURBOCOMPRESSORES PARA
MOTORES CICLO OTTO**

**LAGES
2019**

KEVIN MÜLLER

**CRITÉRIOS E DIMENSIONAMENTO DE TURBOCOMPRESSORES PARA
MOTORES CICLO OTTO**

Trabalho de conclusão de curso de
engenharia mecânica do Centro
Universitário Unifacvest.

ORIENTADOR: Prof. Me: Reny Aldo Henne.

LAGES
2019

KEVIN MÜLLER

**CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE TURBOCOMPRESSORES PARA
MOTORES CICLO OTTO**

Trabalho de conclusão de curso de
engenharia mecânica do Centro
Universitário Unifacvest.

BANCA AVALIADORA

Prof. Me. Reny Aldo Henne

Prof. Dr. Rodrigo Botan

Profa. Me. Monique Andressa Wachholz

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Reny Aldo Henne, pela orientação e apoio para a realização da obra.

A professora Maria Augusta Minguta de Oliveira pelos conselhos, conhecimento e disposição carismática em me apoiar durante o período de realização do trabalho.

Aos meus familiares, Edson Müller e Fátima Müller, por servirem de inspiração e pela persistência em me apoiar durante a realização da obra.

Aos meus amigos próximos, por proporcionarem dias e noites discutindo dicas e opiniões para realizar uma obra mais detalhada e complexa.

A todos que poderão utilizar de alguma forma esta obra, seja para a busca de conhecimento ou que venham a contribuir para a obra com suas próprias opiniões.

RESUMO

Um dos motivos que impulsionaram a realização deste trabalho, foi a crescente demanda de motores potentes com uma alta eficiência, onde os turbocompressores entram como um sistema de sobrealimentação dos motores, proporcionando o aumento da potência sem ter grandes mudanças nas dimensões do motor, como também proporcionando a melhoria da eficiência do motor. O dimensionamento é necessário para a escolha de um turbocompressor ideal ao motor necessitado, apresentando cálculos a partir dos motores de ciclo Otto, desde cálculos teóricos a reais, assim podendo apresentar o melhor modelo de acordo com o fabricante escolhido. Para que isso aconteça, alguns critérios devem ser levados em conta para que o dimensionamento seja feito de forma sucinta e objetiva, de modo que não aconteça alguma futura falha no sistema implantado. Com a realização destes cálculos, os resultados obtidos admitem junto a catálogos dos fabricantes, o modelo, potências, tipo de lubrificação e dimensões dos turbocompressores, a partir deste momento, a instalação pode ser realizada.

Palavras Chave: Eficiência, turbocompressores, cálculos, ciclo Otto, dimensionamento.

ABSTRACT

One of the reasons that led to this work was the growing demand for powerful engines with high efficiency, where turbochargers enter as a supercharging engine, providing increased power without major changes in engine dimensions, improving engine efficiency. The sizing is necessary for choosing an ideal turbocharger to the engine in need, presenting calculations from the Otto cycle motors, from theoretical to real calculations, thus being able to present the best model according to the chosen manufacturer. In order for this to happen, some criteria must be taken into account in order for the sizing to be done succinctly and objectively, so that there is no future failure in the implanted system. With the realization of these calculations, the results obtained together with the manufacturers' catalogs, the model, powers, type of lubrication and dimensions of the turbochargers, from this moment, the installation can be performed.

Keywords: Efficiency, turbochargers, calculations, Otto cycle, sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Funcionamento motor Otto 4 tempos.....	15
Figura 2: Bloco do motor.....	16
Figura 3: Pistão.....	17
Figura 4: Biela.....	17
Figura 5: Virabrequim.....	18
Figura 6: Exemplo de cárter do óleo.....	18
Figura 7: Esquema turbocompressor.....	20
Figura 8: Funcionamento de um turbocompressor.....	22
Figura 9: Componentes de um turbocompressor.....	23
Figura 10: Motor Duster 1.6 2014.....	31
Figura 11: Turbo compressor utilizado para realização da obra.....	31
Figura 12: Mapa do turbocompressor.....	32
Figura 13: Ficha técnica Renault Duster 1.6 2014.....	35
Figura 14: Relação de dados no mapa do compressor GTX3071R GEN II.....	37
Figura 15: Relação de dados do compressor Garrett GT2052.....	38
Figura 16: Análise do compressor em baixas rotações.....	40
Figura 17: Mapa de eficiência turbina GT2052.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros de unidades para cálculo de fluxo de ar.....	35
Tabela 2: Parâmetros de unidades para cálculo de pressão absoluta do motor.....	36
Tabela 3: Parâmetros de unidades para cálculo do compressor.....	39

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>PMI</i>	Ponto morto inferior	
<i>PMS</i>	Ponto morto superior	
<i>V</i>	Cilindrada	[<i>cm</i> ³]
<i>N_{cil}</i>	Número de cilindros	
<i>C</i>	Curso do virabrequim	[<i>cm</i>]
<i>D</i>	Diâmetro do cilindro	[<i>cm</i>]
<i>r</i>	Taxa de compressão	
<i>V_{máx}</i>	Volume máximo de admissão na câmara de combustão	[<i>cm</i> ³]
<i>V_{mín}</i>	Volume mínimo de admissão na câmara de combustão	[<i>cm</i> ³]
<i>η</i>	Rendimento térmico	
<i>W_{liq}</i>	Trabalho líquido	
<i>Q_e</i>	Poder calorífico da mistura estequiométrica	[<i>KJ/kg</i>]
<i>P</i>	Pressão	[<i>Pa</i>]
<i>V</i>	Volume específico	[<i>m</i> ³ / <i>kg</i>]
<i>R</i>	Constante dos gases	[<i>m</i> ³ · <i>Pa/mol</i> · <i>K</i>]
<i>T</i>	Temperatura	[° <i>K</i>]
<i>P_{mef}</i>	Pressão média efetiva	[<i>kPa</i>]
<i>W</i>	Potência do motor	[<i>W</i>]
<i>t</i>	Número de revoluções do motor para completar o ciclo	
<i>W_a</i>	Fluxo necessário de ar ao motor	[<i>lib/min</i>]
<i>HP</i>	Potência estimada	[<i>HP</i>]
<i>A/F</i>	Relação estequiométrica	
<i>BSFC</i>	Quantidade necessária para um motor ceder a potência de um HP	
<i>P_a</i>	Pressão absoluta	[<i>PSI</i>]
<i>T_m</i>	Temperatura do coletor de admissão	[° <i>F</i>]
<i>V_e</i>	Eficiência volumétrica	
<i>N</i>	Rotação do motor	
<i>P_r</i>	Pressão real no coletor de admissão	[<i>PSI</i>]
<i>ΔP</i>	Restrição do coletor de admissão	[<i>PSI</i>]
<i>P_{cf}</i>	Pressão entre o compressor e o filtro de ar	[<i>PSI</i>]
<i>P_{amb}</i>	Pressão ambiente	[<i>PSI</i>]
<i>P_c</i>	Relação de pressão	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Objetivo Geral	12
1.2. Objetivos específicos	13
1.3. Justificativa.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Motores de combustão interna.....	14
2.2. Principais componentes do motor	15
2.3. Sistema de sobrealimentação	18
2.4. O que é um turbocompressor.....	19
2.5. Dinamômetro.....	21
3. TURBOCOMPRESSOR	21
3.1. Desempenho do motor.....	21
3.2. Funcionamento de um turbocompressor.....	21
3.3. Principais componentes do turbocompressor	22
3.4. Folgas	24
3.5. Modos de instalação	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1. Coletor de escape	25
4.2. Válvula reguladora de pressão.....	25
4.3. Válvula de alívio	26
4.4. Intercooler	26
4.5. <i>Trim</i>	26
4.6. Cilindrada	27
4.7. Taxa de compressão.....	27
4.8. Rendimento térmico	28
4.9. Proporção teórica de ar/combustível.....	28

4.10.	Trabalho líquido	28
4.11.	Transformações termodinâmicas	28
4.12.	Pressão média efetiva.....	29
4.13.	Potência do motor.....	29
4.14.	Fluxo de ar necessário ao motor.....	30
4.15.	Pressão absoluta do motor	30
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5.1.	Dimensionamento compressor.....	35
5.2.	Dimensionamento turbina	41
6.	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente evolução dos motores e a decorrente competitividade do mercado, fez com que a grande maioria dos meios de transporte atual seja de veículos de combustão interna. Seu funcionamento é simples mas necessita de um breve estudo para entender como ele deve se comportar as diferentes propostas feitas aos motores, tanto para competição, transporte de altas cargas e conforto.

O turbocompressor é uma peça complexa que utiliza o princípio de funcionamento de uma turbina e um compressor que pode servir como uma grande influência no aumento da eficiência e na potência do motor. O turbocompressor faz parte de um sistema de sobre alimentação forçada ao motor, ele se localiza logo ao começo do escape dos gases da combustão, comprimindo o ar atmosférico e jogando ao cilindro com uma alta pressão, consequentemente aumentando a força da explosão.

Como a presença do turbocompressor no motor exige um preparação e adaptação ao motor para que não o danifique, os veículos nacionais raramente possuem a turboalimentação, tanto por questões de desempenho e de custo. Como a sobrealimentação é um sistema que necessita de altas pressões, é imprescindível a realização de cálculos para o dimensionamento e escolha do tipo de turbo compressor que deve ser implantado, regulagens de pressões e lubrificação.

Com o dimensionamento do turbocompressor, será possível fazer a escolha certa do modelo indicado ao motor, assim a sobrealimentação ocorrerá de forma eficiente, sem problemas e com êxito.

Por questões de acesso e conhecimento, será admitido somente a utilização de motores de ciclo Otto 4 tempos para o dimensionamento.

1.1. Objetivo Geral

Apresentar critérios relevantes quanto ao dimensionamento de turbocompressores, realizar o dimensionamento em motores de ciclo Otto a partir da realização e cálculos necessários para que a escolha do tipo de turbocompressor tenham sucesso.

1.2. Objetivos específicos

- Demonstrar o funcionamento das partes mais importantes do motor que estão ligadas ao sistema de sobrealimentação;
- Demonstrar quais são os critérios que devem ser levados em conta quanto ao dimensionamento do turbocompressor;
- Realizar cálculos de potência, rendimento e taxa de compressão do motor;
- Dimensionar um turbo compressor para um motor nacional movido a gasolina;
- Analisar resultados dos cálculos e realizar a escolha de um turbocompressor ideal para o motor.

1.3. Justificativa

O motivo da realização deste estudo foi o crescente aumento da utilização da tecnologia no mercado, por estar diretamente ligado a potência e eficiência, duas propriedades significativas no momento atual, demonstrando critérios e cálculos de dimensionamento para a escolha de um turbocompressor para quem pretende equipar um veículo com um turbocompressor ou para entendimento sobre o assunto a partir da utilização do sistema “*Downsizing*”, que interpreta o aumento da potência e eficiência do motor sem a necessidade do aumento das dimensões do motor, tal como a cilindrada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Motores de combustão interna

Segundo Martins (2016) os motores de combustão interna são máquinas que transformam energia térmica em energia mecânica e aproveitam o aumento de pressão resultante da combustão da mistura ar-combustível para imprimir um movimento de rotação ao veio motor.

Gheorghiu (2013) menciona que os motores de Ciclo Otto foram criados pelo engenheiro alemão Nikolaus August Otto após passar cinco anos trabalhando em seu projeto, ele obteve sucesso. Otto obteve medalha de ouro na exposição de Paris em 1867 ao apresentar o seu motor.

O desenvolvimento deste motor marcou um novo marco na tecnologia dos motores a combustão interna, a partir de então, melhorias do material, combustíveis, número de cilindros, potencia, eficiência e tamanho foram adaptados conforme a necessidade do mercado competitivo.

Com a vinda das melhorias e aumento tecnológico, os motores de ciclo Otto passaram por transformações em seu funcionamento, tais como a mudança nos seus tempos do ciclo do motor. Atualmente existem dois tipos de funcionamento, tais como Ciclo Otto 2 tempos e 4 tempos.

A grande maioria dos motores atuais utilizam do sistema de combustão a quatro tempos de ciclo Otto, usando a gasolina como fonte de energia principal da combustão. São divididos em quatro etapas sendo elas: admissão, compressão, expansão e escape.

- **Admissão:** Conforme a Quando o pistão está em direção ao PMI, a válvula de admissão é aberta provendo a mistura de ar-combustível dentro do cilindro, assim com o enchimento do cilindro, a explosão provoca o movimento de PMS a PMI.
- **Compressão:** A compressão é quando o pistão comprime os gases obtidos da admissão elevando a temperatura e conseqüentemente a turbulência na mistura.
- **Expansão:** Quando o pistão chega ao PMS, é aplicada a faísca na câmara de combustão, assim provendo a explosão da mistura ar-

combustível elevando a pressão e empurrando o pistão para o PMI que é o movimento que impulsiona o motor.

- **Escape:** É a última função do pistão após a expansão, os gases provenientes da queima são eliminados pela válvula de escape sendo eliminada pelo próprio movimento do pistão.

Tais processos são demonstrados na figura 1.

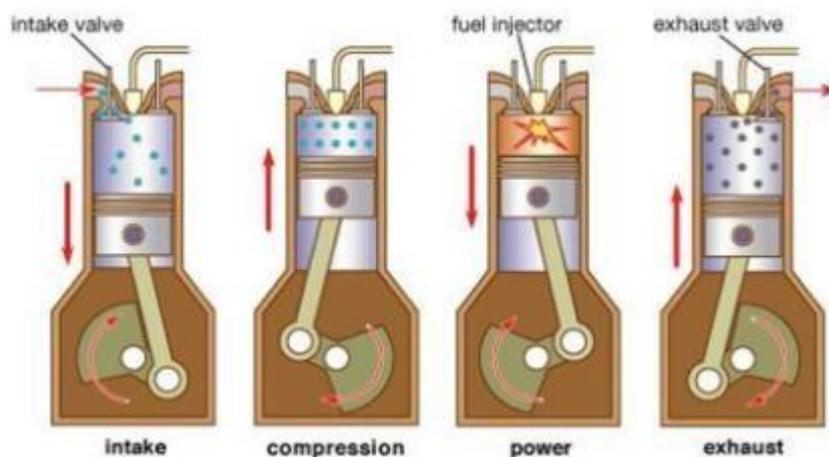


Figura 1: Funcionamento motor Otto 4 tempos (Fonte: AUTOCARUP, 2018).

2.2. Principais componentes do motor

O motor é composto por vários componentes, porém, alguns destes são destacados por serem responsáveis pela estrutura do motor, promover movimento e lubrificação ao motor. São eles:

- **Bloco do motor:** O bloco é a maior peça do motor, normalmente feito de ferro fundido e é nele que se localizam as peças móveis do motor, como também os cilindros.

Martins (2016) complementa que cada vez mais se utilizam ligas leves para blocos, para conseguir promover redução de peso e melhoria na transferência de calor.



Figura 2: Bloco do motor (Fonte: CARROSINFOCO, 2018).

- **Cilindros:** É nos cilindros que acontece a admissão, compressão e combustão do motor. Normalmente são feitos de uma liga metálica específica para suportar as variadas temperaturas de trabalho. Trabalha juntamente a um pistão que é responsável pela movimentação dos ciclos do motor.
- **Pistão:** O pistão é uma peça móvel do motor como também uma das mais importantes, ela serve como parede dentro cilindro e servindo de guia para a biela.

Martins (2016) diz que o pistão é um dos elementos mais esforçados do motor, pois é exercido a grandes velocidades e tendo que resistir a grandes temperaturas e altas pressões provindas da combustão e transmitir a força da expansão em força motriz, para a biela.

Por estarem em contato constantemente nessas condições extremas, o material deve ser de alta qualidade, normalmente em ligas hipoeutéticas de alumínio-silício contendo de 8 a 10% de silício.



Figura 3: Pistão (Fonte: CANALDAPEÇA, 2019).

- **Biela:** A biela é uma peça que serve como ligação entre o pistão e o virabrequim, com a função de transmitir o movimento do pistão em movimento de rotação para o virabrequim. Geralmente a biela é fabricada em aço de alta resistência, ou em ligas de alumínio e titânio.



Figura 4: Biela (Fonte: BARROS, 2019).

- **Virabrequim:** O virabrequim também pode ser chamado de cambota que se situa depois da biela, transformando o movimento provindo da mesma pela combustão, em movimento rotativo.

Martins (2016) descreve que a cambota pode ser uma peça fabricada por fundição, forjamento ou também por várias peças podendo assim, facilitar a desmontagem. Ela está sujeita a grandes forças, tais como torção e flexão por causa da alta potência fornecida pela rotação.



Figura 5: Virabrequim ou Cambota (Fonte: MECANICAINDUSTRIAL. 2018)

- **Cárter:** O cárter do óleo é uma tampa que situa na parte inferior do motor e é onde fica armazenado o óleo de lubrificação do motor como também é a parte do motor responsável pelo arrefecimento do óleo.

Segundo Martins (2016), o cárter é uma peça estampada em aço que tenha boa resistência ao choque, muitas vezes podendo ser fundida com o alumínio.



Figura 6: Exemplo de cárter do óleo (Fonte: KBB, 2018).

2.3. Sistema de sobrealimentação

Brunetti (2012) diz que o objetivo principal da sobre alimentação é o aumento de potência do motor e acompanhado do aumentando da eficiência térmica do motor. Este aumento pode ser feito sem a mudança da cilindrada do motor com a substituição da aspiração natural por a sobre alimentação que introduz uma massa de ar com maior densidade no cilindro.

Para Adriano Bessa Pinto o termo sobre alimentação refere-se ao aumento da densidade do ar ou da mistura pelo aumento da pressão anteriormente no cilindro do motor tornando superior à que poderia ser a normalmente aspirada. A sobre alimentação efetua-se por compressão prévia utilizando compressores volumétricos que são acionados diretamente pelo

funcionamento do motor (sobre alimentação mecânica) ou, utilizando para este fim a energia dos gases de escape, fazendo-os incidir sobre uma turbina que movimenta um compressor centrífugo (turbo alimentação).

Os tipos mais comuns de sobre alimentação podem ser feitas tanto por turbocompressor ou pelo supercharger, ambos os sistemas são similares porem seus princípios de funcionamento são diferentes. Em geral, sobre alimentação por turbocompressor trata-se de “acrescentar” densidade do ar ou à mistura dentro do cilindro.

2.4. O que é um turbocompressor

Para Bell (1989) o turbo compressor é usado para comprimir o ar que entra no motor, ou seja, a turbina é alimentada pelo fluxo de escape do motor dando muito pouco trabalho útil para o motor.

Porém, para Brunetti (2012) o compressor é movido por uma turbina, que é acionada pelos gases de escape do motor aproveitando a energia térmica dos gases que normalmente não é aproveitado pelos motores naturalmente aspirados. Com a utilização dessa energia, o balanço energético do motor é modificado assim, possibilitando um aumento da eficiência térmica.

A vantagem do turbo compressor segundo Martins (2016) é o aproveitamento da entalpia dos gases de escape e o seu fornecimento aos gases frescos de admissão, assim é possível aumentar o caudal mássico a ser fornecido ao motor aparentando ter características de um motor maior com uma cilindrada maior com os componentes pequenos e obtendo menos perdas mecânicas.

Greg Banish cita que o turbo compressor usa o design de compressor centrífugo mais eficiente, porém sem a limitação de estar ligado à velocidade do motor. Isso permite que o compressor atinja sua faixa de eficiência máxima muito mais cedo, e conseqüentemente aumentando a eficiência geral do sistema.

Para que ocorra o funcionamento do turbo compressor, a turbina e o compressor devem estar ligados ao mesmo eixo que podem rodar a rotações muito elevadas (chegando a 100 000 RPM). Com a alta velocidade do eixo, os gases podem ser elevados a uma temperatura de aproximadamente 1 000 °C, o

material da turbina deve ser uma boa qualidade, normalmente de aços com liga Inconel, que podem trabalhar em situações extremas. A parte fria fica com o compressor, que trabalha em baixas temperaturas, podendo ser feitas a base de alumínio.

A Figura 7 mostra um diagrama simplificado de um turbo compressor.

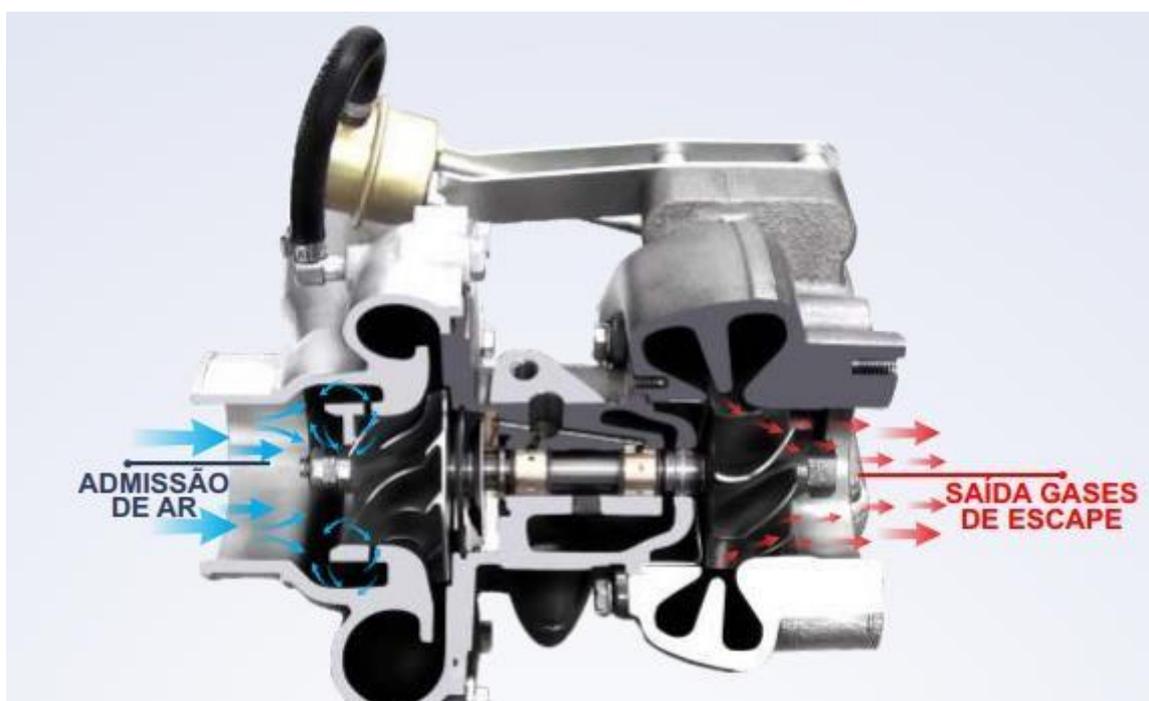


Figura 7: Esquema turbocompressor (Fonte: BiagioTurbos).

Portanto, os turbo compressores fazem parte de um sistema que força a indução de ar ao cilindro, deste modo, comprimindo-os e joga-o para dentro do cilindro do motor, assim permitindo a entrada de ar dentro do cilindro seja maior (cerca de 50% a mais que o normal), aumentando também a quantidade de combustível que é necessária para ocorrer a combustão, logo, como resultado das explosões, a potência gerada é maior em cada cilindro, obtendo-se uma maior potência para o motor.

2.5. Dinamômetro

Dinamômetro é um aparelho utilizado para medir o torque e a potência sobre o motor em operação a partir da rotação dos pneus do veículo absorvendo a energia de saída do motor

3. TURBOCOMPRESSOR

3.1. Desempenho do motor

A instalação do turbocompressor vai estar diretamente ligada ao desempenho do motor. O desempenho está diretamente ligado à sua eficiência, quanto maior sua eficiência maior a quantidade de energia que irá ser transformada em trabalho, fator importante que difere um motor de competição de um motor convencional. Porém, existem fatores que limitam a eficiência de um motor, tais ocorrem principalmente pela existência do atrito do motor.

A utilização de um turbocompressor é uma das formas mais eficientes de aumentar o desempenho de um motor sem ter a necessidade fazer uma grande mudança na estrutura do motor. Ele providencia um aumento nas curvas de torque, potência e consumo específico, assim podendo deixar claro o quanto é viável a instalação de um sistema de sobrealimentação.

3.2. Funcionamento de um turbocompressor

A ideia principal do funcionamento de um turbo compressor é aproveitar a energia térmica e energia cinética gerada pelo motor, mais precisamente na combustão da mistura ar-combustível em energia mecânica. Eles fazem parte do sistema de sobre alimentação forçada do motor, utilizando os gases da combustão como forma de aumentar a pressão dentro do cilindro do motor, e ocasionalmente aumento a potência do motor.

Segundo Pulkrabek (2003) turbo compressores são definidos como compressores montados em um sistema de admissão usados para aumentar a pressão do ar admitido no motor, resultando em maior massa de ar e combustível nos cilindros durante cada ciclo. O ar e combustível adicionais geram maior

potência durante a combustão e conseqüentemente maior potência no eixo do motor.

Todo qualquer sistema deve ser mantido regulado e lubrificado, o mesmo acontece com o turbo compressor, a falta do mesmo pode ocasionar em folgas axiais e radiais, desgaste excessivo e diminuição na eficiência da peça.

Seu funcionamento é simples, tudo começa com o coletor de escape do motor, estes gases fazer a turbina girar de modo que ela está presa juntamente ao compressor, fazendo com que o compressor sugue ar atmosférico e comprima-o direcionando-o para dentro do cilindro do motor. Após a passagem dos gases pela turbina, eles são jogados para a atmosfera.

O ar comprimido estará comprimido em uma temperatura muito alta, para que não aconteça a combustão instantânea ao chegar no cilindro, deve-se resfriar o mesmo, passando assim por um refrigerador, normalmente conhecido como intercooler.

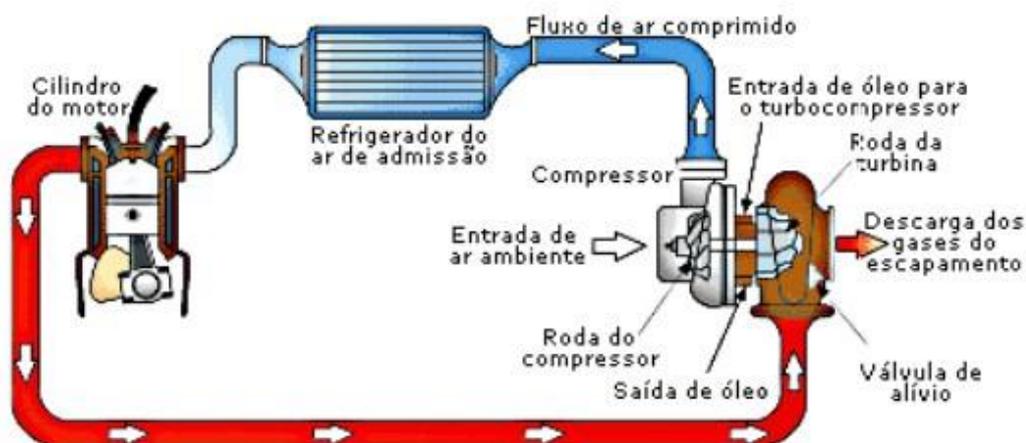


Figura 8: Funcionamento de um turbocompressor (Fonte: Garrett)

3.3. Principais componentes do turbocompressor

O turbo compressor é composto por vários componentes, principalmente por uma turbina centrípeta ligada a um compressor. Os dois rotores (compressor e turbina) estão ligados por um eixo que são sustentados por mancais. Normalmente a carcaça é feita de ferro fundido e trabalha como protetor térmico.

Os componentes do turbo compressor são:

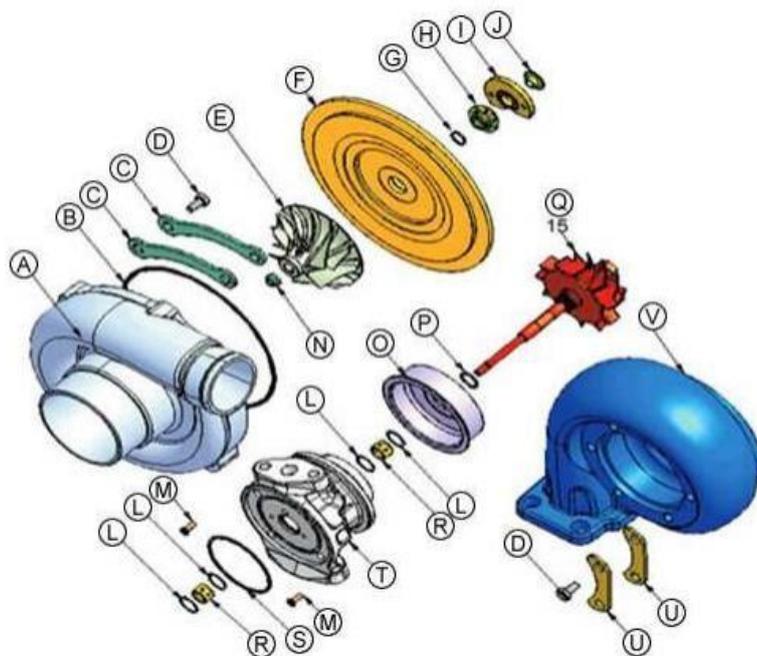


Figura 9: Componentes de um turbocompressor (MASTERPOWER).

Legenda:

A – Carcaça compressor	L – Anéis de vedação	V – Carcaça turbina
B – Anel elástico compressor	M – Parafusos carcaça	
C – Flange de fixação compressor	N – Porca rotor compressor	
D – Parafuso turbina	O – Flange anti-chama	
E – Rotor compressor	P – Anel de vedação	
F – Flange da carcaça	Q – Rotor turbina	
G – Anel de vedação	R – Mancal de deslizamento	
H – Guia eixo	S – Arruela	
I – Flange	T – Carcaça/suporte	
J – Vedação compressor	U – Flange de fixação turbina	

3.4. Folgas

Tanto as folgas radiais quanto as axiais são importantes para o funcionamento do turbo compressor. Ambas as folgas impedem o atrito das peças móveis e conseqüentemente evita o desgaste das peças, porém, a folga excessiva pode causar danos permanentes ao turbo compressor.

Segundo a BiagioTurbos, a folga axial provém do dimensionamento do mancal axial e do colar, o que deixa imperceptível, o principal motivo dessas folgas é a temperatura de trabalho do turbo e o respectivo coeficiente de dilatação dos materiais utilizados.

Já a folga radial provém do dimensionamento do alojamento do mancal na carcaça central e dos mancais radiais em relação ao eixo, porém ela é perceptível.

Para ambas as folgas, o recomendável é fazer a desmontagem do turbo compressor e assim, analisar as folgas e possivelmente realizar a manutenção correta necessária, caso as folgas excessivas forem presentes, a substituição da peça é recomendada.

3.5. Modos de instalação

Além da instalação convencional do turbocompressor, principalmente em motores esportivos, a instalação do turbo compressor pode ser feita de dois modos diferentes, podendo ser em Twin-turbo ou Biturbo.

- **Twin-turbo**

O Twin-turbo é um termo dado a um método de instalação de dois ou mais turbo compressores em um motor, normalmente usados em motores em V pelo fato da distância dos coletores de escape e os cilindros serem maiores que os normais.

Garcia (2016) diz que o twin-turbo significa turbo gêmeos em inglês, o nome dá-se por causa da sua instalação, onde dois turbocompressores são instalados para cada conjunto de cilindros, podendo assim operar com somente metade do fluxo de gases da exaustão.

- **Biturbo**

O Biturbo é uma sequência de turbo compressores, um menor e outro maior, que trabalham em rotações diferentes com o intuito de diminuir o turbolag. O turbo compressor menor fica responsável pelas rotações menores e, por ser mais pequena, chega a sua eficiência máxima em poucos instantes e assim passando para o turbo compressor maior.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do dimensionamento, alguns critérios foram relevantes quanto aos cálculos realizados e regras para caso uma possível instalação seja realizada.

4.1. Coletor de escape

É a partir do coletor de escape que o sistema de sobrealimentação começa, dado como um dos principais critérios necessários para que um dimensionamento aconteça. Normalmente feito de alumínio, aço carbono ou aço inoxidável, este coletor é responsável por fazer a coleta dos gases de escape do motor e direcioná-los até a turbina. Juntamente com o material, o design e modelo podem variar de acordo com a sua fabricação.

4.2. Válvula reguladora de pressão

Como em todo sistema de alta pressão, a válvula reguladora de pressão é muito importante em questões de segurança. Ela é necessária para garantir que a pressão não ultrapasse da máxima permitida, portanto, ela aumenta o *lag* do sistema.

4.3. Válvula de alívio

Esta válvula se encontra entre o compressor e a válvula borboleta com a funcionalidade de impedir um efeito chamado Surge. Este efeito acontece quando há muita pressão na saída do compressor, podendo assim afetar o funcionamento do sistema.

4.4. Intercooler

O intercooler possui uma função muito importante no sistema, ele é responsável pela diminuição da temperatura dos gases da combustão que serão jogados para o compressor, assim podendo garantir um processo mais seguro e conseqüentemente aumentado a potência, logo, a eficiência será maior.

4.5. *Trim*

O *trim* é uma expressão usada pelas empresas fornecedoras de turbocompressores para admitir o valor da razão entre os diâmetros de admissão e descarga dos rotores, tanto para o compressor quanto para a turbina.

O *trim* pode ser calculado pela seguinte formula:

$$Trim = \frac{Di^2}{Dd^2} * 100$$

Onde:

Di = diâmetro de indução;

Dd = diâmetro de descarga.

Normalmente o *trim* é fornecido pelas empresas distribuidoras.

4.6. Cilindrada

Para a realização dos cálculos teóricos necessários para o dimensionamento e escolha do melhor tipo de turbocompressor, alguns dados serão necessários de acordo com o modelo do motor do veículo que atualmente estes dados já estão presentes nos manuais dos veículos já vindos de fábrica, tal como a cilindrada.

A cilindrada é dada como a quantidade da mistura de ar-combustível que pode ser admitida dentro do cilindro do motor. A cilindrada é calculada por:

$$V = N_{cil} * C * \frac{\pi * D^2}{4}$$

Onde:

V = Cilindrada [cm^3];

N_{cil} = Número de cilindros;

C = Curso do virabrequim [cm];

D = Diâmetro do cilindro [cm].

4.7. Taxa de compressão

Garcia (1992) diz que a taxa de compressão do motor é um dos fatores que determina o rendimento de um motor, que está ligada diretamente ao rendimento térmico do motor. Pode ser calculada por:

$$r = \frac{V_{m\acute{a}x}}{V_{m\acute{i}n}}$$

Onde:

r = Taxa de compressão;

$V_{m\acute{a}x}$ = Volume máximo de admissão na câmara de combustão [cm^3];

$V_{m\acute{i}n}$ = Volume mínimo de admissão na câmara de combustão [cm^3].

4.8. Rendimento térmico

O rendimento térmico depende diretamente da taxa de compressão, pois ela é a relação direta entre a combustão instantânea da mistura ar-combustível e o calor dissipado. Sua equação é:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

Onde:

η = Rendimento térmico;

k = Constante do calor específico (1,4).

4.9. Proporção teórica de ar/combustível

Martins (2016) diz que o poder calorífico da mistura estequiométrica é de 2830 KJ/kg.

4.10. Trabalho líquido

Como o próprio nome já diz, é o trabalho entregue ao pistão durante os quatro tempos do motor e pode ser calculado da seguinte maneira:

$$W_{liq} = Q_e * \eta$$

Onde:

W_{liq} = Trabalho líquido;

Q_e = Poder calorífico da mistura estequiométrica [KJ/kg].

4.11. Transformações termodinâmicas

Dá-se pela equação dos gases ideais, para futuras relações necessárias, entende-se por:

$$P * v = R * T$$

Onde:

P = Pressão [Pa];

V = Volume específico [m^3/kg];

R = Constante dos gases [$\frac{m^3.Pa}{mol.K}$];

T = Temperatura [$^{\circ}K$].

A constante dos gases é dada por 639,6 $lbf.in/lb.^{\circ}F$ ou 287J/kgK.

4.12. Pressão média efetiva

Tillmann (2013) afirma que a pressão média efetiva é um parâmetro que sempre de ser levado em conta entre os motores, que é diferença do trabalho efetuado por unidade de volume varrido do motor. Dá-se por:

$$P_{mef} = \frac{W_{liq}}{(V_{máx} - V_{mín})}$$

Onde:

P_{mef} = Pressão média efetiva [kPa].

4.13. Potência do motor

Pulkrabek (1997) cita que a potência é estimada pela pressão na expansão da mistura ar-combustível e a resultante rotação ao virabrequim. Ela pode ser dada por:

$$W = P_{mef} * V * \frac{RPM}{60} * \frac{1}{t}$$

Onde:

W = Potência do motor [W];

t = número de revoluções do motor para completar o ciclo.

4.14. Fluxo de ar necessário ao motor

O fluxo de ar necessário para o motor deve ser calculado, que é dada por:

$$W_a = Hp * \frac{A}{F} * \frac{BSFC}{60}$$

Onde:

W_a = Fluxo necessário de ar ao motor [*lib/min*];

HP = Potência estimada [*HP*];

A/F = Relação estequiométrica;

$BSFC$ = Quantidade necessária para um motor ceder a potência de um HP.

4.15. Pressão absoluta do motor

A pressão absoluta do motor é representada por:

$$P_a = \frac{W_a * R(460 + T_m)}{V_e * \left(\frac{N}{2}\right) * V_d}$$

Onde:

P_a = Pressão absoluta [*PSI*];

T_m = Temperatura média no coletor de admissão [$^{\circ}F$];

V_e = Eficiência volumétrica;

N = Rotação do motor;

V_d = Cilindrada total.

Porém, dado as circunstâncias para a realização do trabalho, infelizmente não foi possível realizar a aplicação real do turbocompressor ao veículo, a falta de recursos direcionou somente a realização de cálculos teóricos e o dimensionamento que são comprovados pelos fabricantes que são totalmente confiáveis.

O motor utilizado como exemplo pertence a um automóvel comum na região, proporcionando um breve conhecimento sobre o motor, dimensões e possibilitando futuros testes de eficiência da escolha realizada. Mesmo sem a

disponibilidade de um dinamômetro na região, foi possível realizar o dimensionamento e escolha do turbocompressor ideal ao motor escolhido.



Figura 10: Motor Duster 1.6 2014 (Fonte: Elaborado pelo autor).

Para ajudar nos estudos e realização da obra, foi adquirido um turbocompressor em uma oficina local, no qual o veículo que estava utilizando-o foi mal dimensionado, o que resultou na quebra da peça em questão e consequentemente na perda parcial do motor.



Figura 11: Turbo compressor utilizado para realização da obra. (Fonte: Elaborado pelo autor).

Por questões de carência de referências bibliográficas disponíveis, foram utilizadas várias bibliográficas internacionais, tanto antigas quanto recentes, para a realização dos cálculos teóricos e conhecimento de peças importantes para o sistema de sobrealimentação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para Bell (1989), o primeiro passo para o dimensionamento de uma turbina é entender o mapa do compressor, conforme a figura 12:

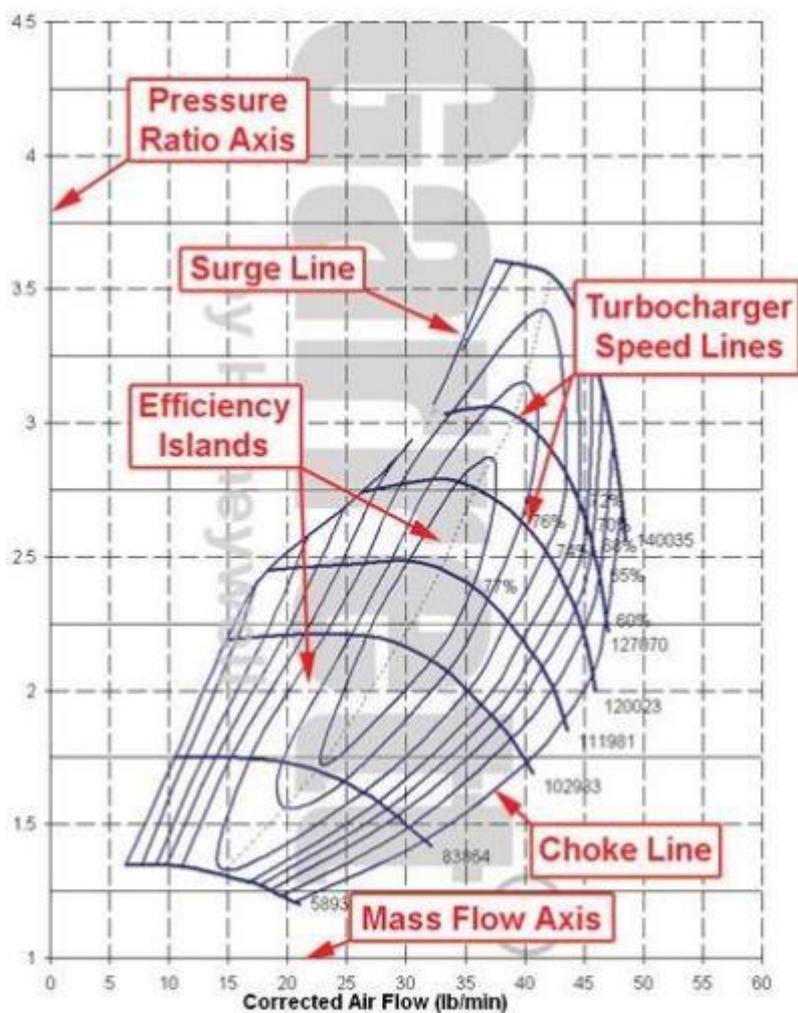


Figura 12: Mapa do turbocompressor (Fonte: Bell, 1989)

A figura anterior demonstra um gráfico representado em um plano cartesiano no qual os eixos são representados pelo fluxo de ar (*Mass Flow Axis*) e a pressão relativa (*Pressure Ratio Axis*). Nesta relação, dá-lhe as ilhas de eficiência (*Efficiency Islands*) que cedem as leituras de eficiência do compressor, e portanto, as linhas de sobrecarga (*Surge Line*) e linha de estrangulamento

(*Choke Line*) que fazem parte da limitação destas ilhas. Ambas linhas fazem uma parte muito importante nesta relação.

O compressor nunca deve sempre operar a esquerda da linha de sobrecarga, caso isso aconteça ele funcionará de forma instável pela falta de fluxo, que causará turbulência em seu interior.

O mesmo acontece se um compressor operar à direita da linha de estrangulamento, se for o caso, isso representa que o tamanho do compressor é insuficiente para a sua aplicação.

Ambos problemas podem ser causados também pela escolha errada de turbocompressor, assim utilizando um tubo maior que o necessário, ou um turbo muito pequeno para sua aplicação, sendo assim ele não será capaz de prover um fluxo de ar para o funcionamento do sistema.

Turbocharger Speed Lines são as linhas de velocidade da turbina que representam as rotações aproximadas em diferentes valores da pressão do ar, mostrando assim a rotação em que o turbo possui a maior eficiência, mas não são consideradas nas equações.

Após analisar corretamente o gráfico, Bell (1989) afirma que é necessário calcular o turbocompressor ideal para cada tipo de motor. Para isso, é preciso conhecer a quantidade da mistura ar-combustível necessária para obter-se a potência desejada. A regra básica utilizada para dimensionamentos de turbo compressores é que o motor precisa de 4.5kg de ar por minuto e então calcular a pressão absoluta do motor. Tendo o fluxo de ar e a pressão absoluta do motor, o próximo passo é calcular a pressão real no coletor de admissão

A fórmula básica da pressão no coletor de admissão é:

$$Pr = Pa + \Delta P$$

Onde:

Pr = Pressão real no coletor de admissão [PSI];

ΔP = Restrição do coletor de admissão [PSI].

Bell (1989) diz que a pressão na entrada do compressor deveria ser igual a pressão atmosférica, porém acontece uma perda de pressão entre o compressor e o filtro de ar, calculado por:

$$P_{cf} = P_{amb} - \Delta P$$

Onde:

P_{cf} = Pressão entre o compressor e o filtro de ar [PSI];

P_{amb} = Pressão ambiente [PSI];

A pressão ambiente é admitida por 1,013bar ou 14,7PSI.

Por fim, Bell (1989) descreve a última equação necessária para escolher um compressor, que se dá por:

$$P_c = \frac{P_r}{P_{cf}}$$

Onde:

P_c = Relação de pressão.

Com a escolha do compressor, deve ser realizado um teste de como o compressor irá reagir com a desaceleração do motor, com a seguinte equação:

$$W_a = \frac{P_a * V_e \frac{N}{2} * V_d}{639,6(460 + T_m)}$$

De acordo com os resultados, deve-se localizar um turbo compressor de acordo com os mapas de eficiência em relação ao fluxo de ar e a pressão do motor, que podem ser encontrados em catálogos dos fabricantes.

Para a realização dos procedimentos de cálculos teóricos e por questões de facilidade de acesso, um automóvel Renault Duster 1.6 com motor a gasolina será utilizado como exemplo. De acordo com a ficha técnica do veículo, seu motor possui cerca de 110 cavalos a 5750 RPM. Deste modo, tentaremos juntamente com a instalação do turbocompressor, um aumento de 30% (143 cavalos) na potência do motor. Com os dados iniciais em mãos, damos início ao dimensionamento do turbocompressor.

Instalação Dianteiro	Aspiração Natural
Disposição Transversal	Alimentação Injeção multiponto
Cilindros 4 em linha	Comando de válvulas Duplo no cabeçote, correia dentada
Tuchos Hidráulicos	
Válvulas por cilindro 4	Diâmetro dos cilindros 79,5 mm
Razão de compressão 9,8:1	Curso dos pistões 80,5 mm
Cilindrada 1598 cm ³	Potência máxima 115 cv (A) 110 cv (G) a 5750 rpm
Código do motor K4M	Torque máximo 15,5 kgfm (A) 15,1 kgfm (G) a 3750 rpm
Peso/potência 10,45 kg/cv	Torque específico 9,70 kgfm/litro
Peso/torque 77,55 kg/kgfm	Potência específica 71,96 cv/litro
Rotação máxima 6500 rpm	

Figura 13: Ficha técnica Renault Duster 1.6 2014. (Fonte: CARROSNWEB, 2019).

5.1. Dimensionamento compressor

De acordo com as palavras de Bell (1989), começamos com a escolha do compressor ideal com o cálculo do fluxo de ar.

- **Cálculo de fluxo de ar.**

O motor do veículo utilizado é movido a gasolina que possui uma relação estequiométrica 9,8:1 porém, em motores já sobrealimentados, por exemplo, essa compressão aumenta para uma média de 12:1. O BSFC de motores a gasolina possui média de 0,55 HP por hora (335 g/Wh), logo:

$$W_a = \frac{143}{1,0138} * 12 * \frac{0,55}{60}$$

$$W_a = 15,50 \text{ lb/min}$$

Para auxiliar na visualização dos valores utilizados no cálculo de fluxo de ar necessário, a Tabela 1 representa alguns parâmetros das unidades utilizadas no cálculo.

Parâmetros	Símbolo	Valor	Unidade	Valor (SI)	Unidade
Fluxo necessário	W_a	15,50	lb/min	0,117	kg/s
Potência desejada	HP	143	cv	105176	W
Relação ar/combustível	A/F	12	-	12	-
Consumo específico de combustível do eixo	$BSFC$	0,55	lb/HPh	355	g/Wh

Tabela 1: Parâmetros de unidades para cálculo de fluxo de ar.

- **Pressão absoluta do motor.**

Para a realização do cálculo da pressão absoluta do motor, precisamos da temperatura do coletor de admissão, que pode ser um valor variado, mas geralmente é usado a uma temperatura de 50°C (aproximadamente 122°F). O motor utilizado utiliza uma injeção multiponto aos cilindros, dando ao motor uma eficiência média de 97% e sua cilindrada total dada por 97,64 pol³

$$Pa = \frac{15,50 * 639,6(460 + 122)}{0,97 \left(\frac{5750}{2}\right) * 97,64}$$

$$Pa = 21,2 Psi$$

A Tabela 2 apresenta os valores utilizados no cálculo de pressão absoluta do motor:

Parâmetros	Símbolo	Valor	Unidade	Valor (SI)	Unidade
Pressão absoluta	<i>Pa</i>	21,2	<i>Psi</i>	146168,9	<i>Pa</i>
Fluxo necessário	<i>Wa</i>	15,50	<i>lb/min</i>	0,117	<i>Kg/s</i>
Constante dos gases	<i>R</i>	639,6	<i>Lbf.in/lb.°F</i>	287	<i>J/kgK</i>
Temperatura do coletor de admissão	<i>Tm</i>	122	<i>°F</i>	323,15	<i>K</i>
Eficiência volumétrica	<i>Ve</i>	0,97	-	97%	-
Velocidade de rotação do motor	<i>N</i>	5750	<i>RPM</i>	95,83	<i>Hz</i>
Cilindrada total	<i>Vd</i>	97,64	<i>In³</i>	1.6	<i>L</i>

Tabela 2: Parâmetros de unidades para cálculo de pressão absoluta do motor.

- **Cálculo de pressão real no coletor de admissão e na entrada do compressor.**

$$Pr = 21,2 + 2 \quad Pcf = 14,7 - 1$$

$$Pr = 23,2 Psi \quad Pcf = 13,7 Psi$$

- **Relação de pressão.**

$$P_c = \frac{23,2}{13,7}$$

$$P_c = 1,55$$

Com a determinação dos dados, deve-se escolher um turbocompressor capaz de suprir as necessidades de fornecer 15,50 lb/min e 1,55 de relação de pressão.

- **Escolha do compressor ideal.**

Para dar início as análises, foi escolhido um compressor Garrett GTX3071R GEN II para o teste, com as seguintes especificações:

- Diâmetro de descarga: 71 mm;
- Trim: 58;
- A/R: 60.

De acordo com o mapa do compressor escolhido juntamente com os dados calculados, dá-se os seguintes resultados:

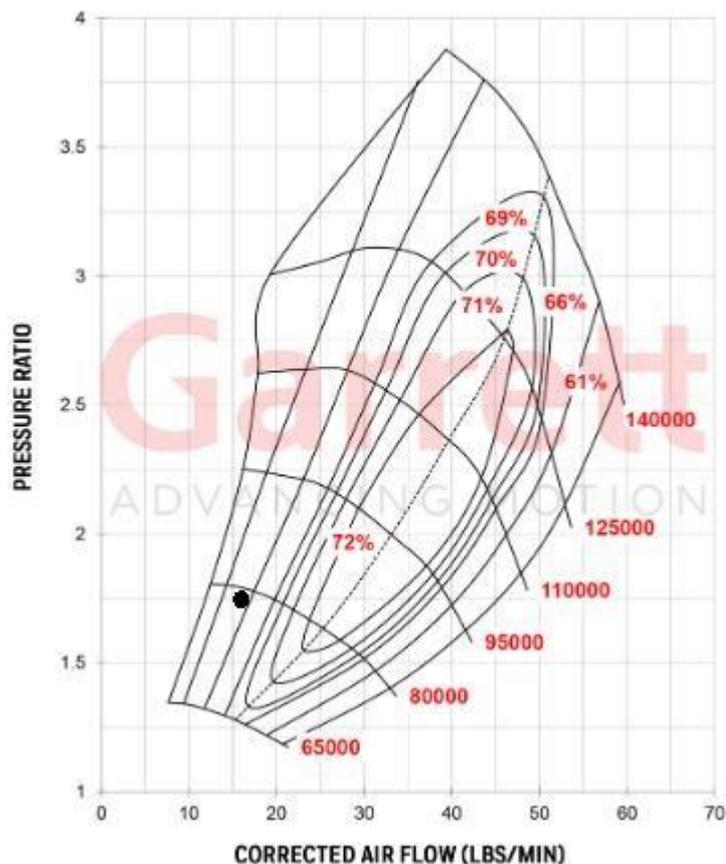


Figura 14: Relação de dados no mapa do compressor GTX3071R GEN II (Fonte:

LIMITENGINEERING adaptado, 2019).

No mapa da eficiência podemos observar o ponto onde os dados do motor do veículo apresentaram, logo, podemos ter a conclusão que este não foi um dimensionamento adequado para a utilização. Se este compressor fosse instalado neste motor, fazendo com que o motor funcione a esquerda da linha de sobrecarga, esta aplicação mesmo acontecendo em veículos comuns, seria inapropriado.

Ao analisar um novo compressor da Garret GT2052, foi coletado dados essenciais para a instalação ao motor, dado compressor com as seguintes especificações:

- Diâmetro de descarga: 52 mm;
- Trim: 52;
- A/R: 0,51.

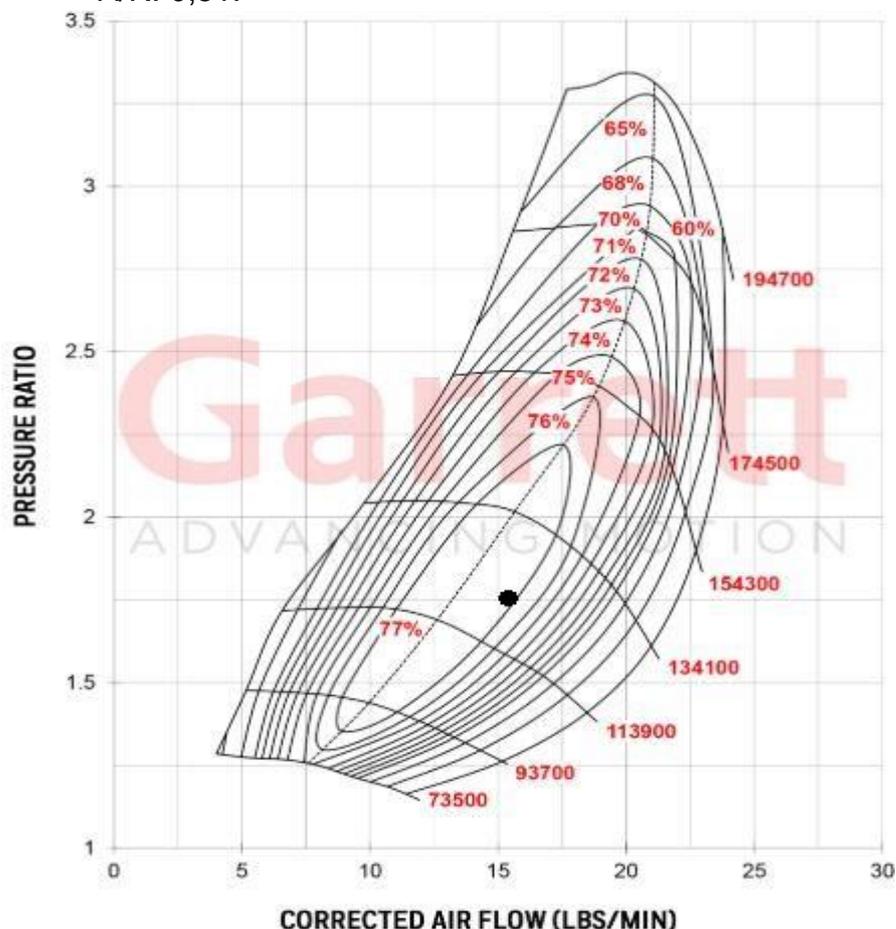


Figura 15: Relação de dados do compressor Garrett GT2052 (Fonte: LIMITENGINEERING adaptado, 2019).

Com a análise podemos observar que o compressor apresentou um ótimo posicionamento na ilha central com um bom tamanho com o

dimensionamento e assim utilizando uma eficiência de 77% em seu funcionamento podendo apresentar bons resultados.

Mesmo o compressor apresentando ótimos resultados com as relações de valores, um teste deve ser realizado ao compressor para assim analisar o seu comportamento em rotações baixas, dada por 3750 RPM, sendo assim:

$$W_c = \frac{21,2 * 0,97 * 3750 * 97,64}{639,6(460 + 122)}$$

$$W_c = 10,11 \text{ lb/min}$$

A Tabela 3 apresenta os valores utilizados para a realização do cálculo de comportamento em baixas rotações.

Parâmetros	Símbolo	Valor	Unidade	Valor (SI)	Unidad e
Reação do compressor	W_c	10,11	Lb/min	0,076	Kg/s
Pressão absoluta	Pa	21,2	Psi	146168,9	Pa
Eficiência volumétrica	Ve	0,97	-	97%	-
Baixa velocidade de rotação do motor	N	3750	RPM	62,5	Hz
Cilindrada total	Vd	97,64	In^3	1.6	L
Constante dos gases	R	639,6	$Lbf. in/lb. ^\circ F$	287	J/kgK
Temperatura do coletor de admissão	Tm	122	$^\circ F$	323,15	K

Tabela 3: Parâmetros de unidades para cálculo do compressor.

Com a obtenção do resultado a partir da utilização dos dados anteriores, deve-se jogar novamente ao mapa da eficiência, para então analisar a reação do compressor em baixas rotações, teremos:

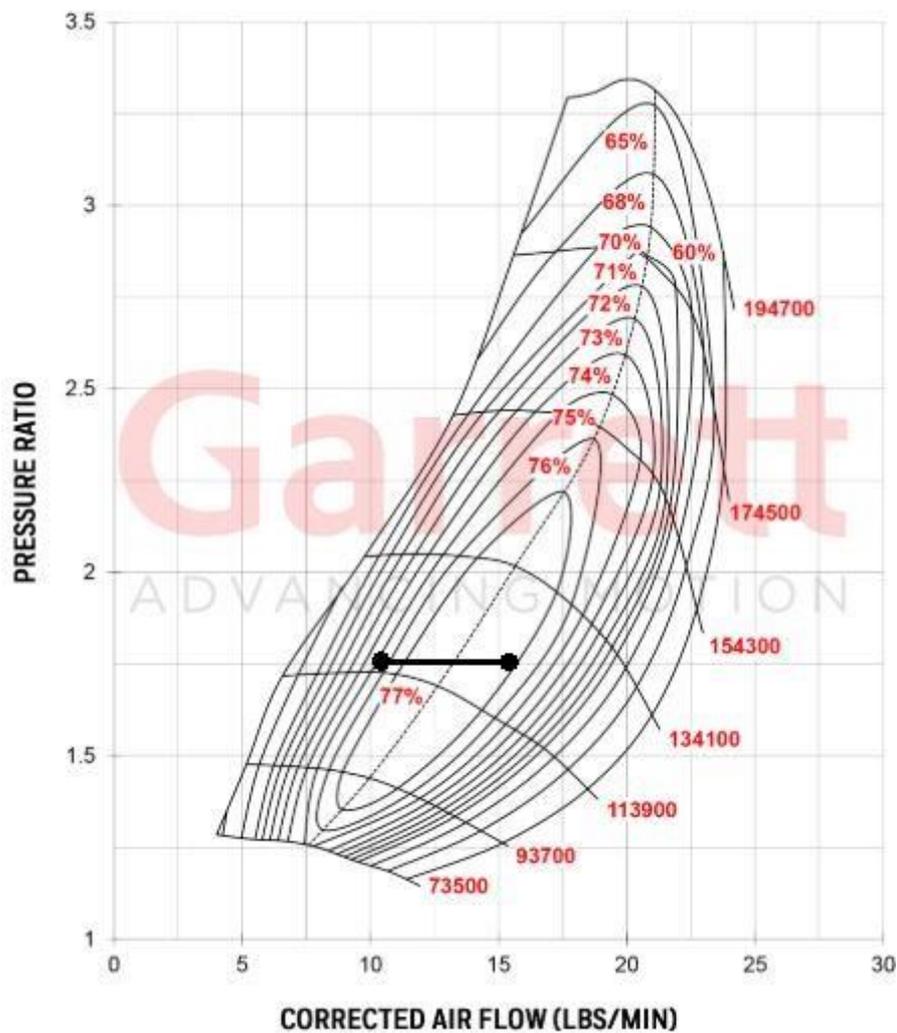


Figura 16: Análise do compressor em baixas rotações. (Fonte: LIMITENGINEERING adaptado, 2019).

Com a diminuição da rotação do motor, o compressor apresentou ótimos resultados apresentando uma baixa diminuição na sua eficiência e ficando longe da linha de sobrecarga, demonstrando que o compressor irá funcionar perfeitamente ao motor.

5.2. Dimensionamento turbina

- **Fluxo de gases de escape**

Para dar o início ao dimensionamento da turbina precisaremos calcular o fluxo de gases de escape, ele precisa manter um fluxo suficiente em baixas rotações, tal como já determinada no cálculo anterior (3750 RPM), para que a turbina possa operar de forma eficiente.

$$Wfc = \frac{97,64 * \frac{3750}{2}}{1728 * 0,97}$$

$$Wfc = 109,22 \text{ Cfm}$$

Dado o resultado do cálculo do fluxo de gases de escape, é necessário saber a temperatura dos gases de escape para calcular a razão de pressão da turbina. Como a rotação em motores turbinados é maior, tal como também a pressão admitida dentro do motor, a temperatura dos gases conseqüentemente será maior, podendo chegar até 1000 °F (537,77 °C). Para prosseguir, precisaremos converter o fluxo de ar em libras por minuto (8,3 lb/min), admitir a massa do combustível a 0,50 lb/min resultando em uma massa total aspirada de 8,8 lb/min. Com a obtenção dos dados, teremos:

$$Wr = \frac{8,8}{1} * \sqrt{\frac{1000 + 460}{518,7}}$$

$$Wr = 14,76 \text{ lb/min}$$

- **Relacionar o fluxo dos gases quanto a turbina escolhida**

Devemos utilizar o mapa de eficiência da turbina para analisar o fluxo já calculado se é suficiente ou não para a turbina trabalhar.

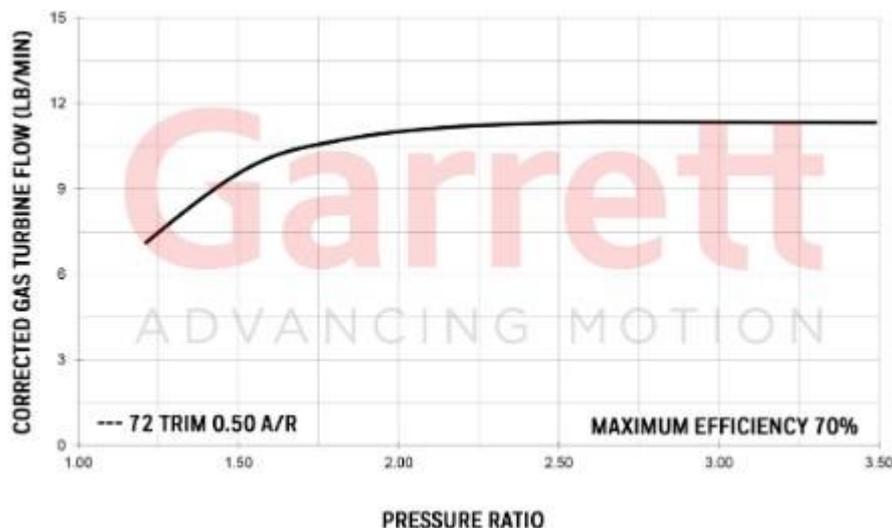


Figura 17: Mapa de eficiência turbina GT2052 (Fonte: LIMITENGINEERING, 2019).

Como podemos observar, o valor do fluxo de gases (14,76 lb/min) encontra-se acima da linha do gráfico da turbina, garantindo que o fluxo de gases será suficiente mesmo em rotações baixas para girar a turbina, dando fim ao dimensionamento do turbocompressor.

Os critérios apresentados possuem o intuito de facilitar o dimensionamento de um turbocompressor em motores de ciclo Otto. Estes cálculos teóricos devem ser realizados caso aconteça o desejo da adaptação de um sistema de sobrealimentação em um veículo convencional.

A instalação deve ser feita com a ajuda de um profissional, pois uma vez instalado, vários ajustes e trocas de peças serão necessárias durante o processo. A má instalação ou a falta de lubrificação/manutenção pode acarretar na possível quebra ou desgaste do turbocompressor, podendo possivelmente ocasionar em perda total do motor.

Este dimensionamento deve ocorrer somente em veículos que não são turbinados de fábrica, de forma que funcionam na forma de aspiração natural, ou seja, alimentação de ar atmosférico. Os veículos turbinados de fábrica já possuem o modelo de turbocompressor ideal para seu motor, tal como também em dimensões adaptáveis com o uso do sistema, de forma que já foram projetados para o recebimento de um turbocompressor.

Veículos turbinados de fábrica são apropriados para o uso do turbocompressor, a realização de testes e cálculos específicos fornecem melhores resultados quanto a seleção de um turbo compressor.

6. CONCLUSÃO

O dimensionamento e instalação de um turbocompressor não são nada simples, podem-se encontrar várias dificuldades durante o processo. Este projeto visa ajudar nesse dimensionamento, apresentando pontos essenciais para que o mesmo aconteça de forma eficiente e sem problemas.

O dimensionamento é um projeto que nunca deve ser deixado de lado quanto a escolha do turbocompressor, é ele que irá proporcionar a certeza que sua peça irá funcionar de acordo com o esperado, com máxima eficiência, porém a falta do mesmo pode acarretar em acidentes e possivelmente na perda total do projeto.

As dificuldades não acontecem somente durante a adaptação do turbocompressor, tendo em vista a sua utilização, muitas vezes o turbocompressor escolhido só poderá demonstrar funcionalidade a partir de uma certa velocidade do motor, esse fenômeno é chamado de *turbo lag*, ou seja, a demanda de tempo que o turbocompressor leva para apresentar sua eficiência máxima, como também a sua adaptação ao espaço do motor e ajustes de dispositivos auxiliares.

Por serem cálculos teóricos e mesmo sendo comprovados que sua aplicação realmente funciona, deve ser levado em conta que o motor que irá ser utilizado não foi projetado para receber um turbocompressor, diferentemente veículo mais potente que já foi projetado e adaptado de fábrica para receber o sistema. Tendo isso em vista, muitas vezes estes cálculos precisam de algumas alterações para que as aproximações sejam o maior possível, que em questões de prática, serão necessários vários testes para que seja seguro a utilização deste sistema.

A utilização do turbocompressor não só influencia na potência e eficiência do motor, com a ajuda do dimensionamento é possível conseguir resultados superiores, podendo viabilizar um aumento da potência do motor,

reduzir o consumo do motor e também a diminuição da emissão de gases poluentes.

REFERÊNCIAS

AUTOCARUP, Introdução aos motores a combustão interna. Disponível em: <<https://autocarup.com.br/introdução-aos-motores-a-combustao-interna/>>.

Acesso em 23 Nov. 2018.

BANISH, Greg. Engine Management, Advance Tuning. S.A Desing, 2007.

BARROS, Biela. Disponível em: <<http://www.barros.com.br/noticia/qual-a-funcao-dabiela-no-motor>>. Acesso em 16 Jun. 2019.

BELL, Corky. Maximum Boost: Designing. 1. ed.: Bentley Publishers, 1989

BIAGIO TURBOS. Disponível em <<http://biagioturbos.com/br/>> Acesso em 24 Nov.2018.

BRUNETTI, Franco. Motores de Combustão Interna: Volume 1. 3. Ed. São Paulo: Blücher, 2012.

BRUNETTI, Franco. Motores de Combustão Interna: Volume 2. 3. Ed. São Paulo: Blücher, 2012.

CANALDAPEÇA, Pistão. Disponível em:

<https://www.canaldapeca.com.br/p/1061480/pistao-do-motor-metal-leve-spa1852050-unitario>>. Acesso em 16 Jun. 2019.

CARROSINFOCO, Bloco do motor. Disponível em:

<<http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2015/09/bloco-dos-motores-de-combustao-interna-automotivos>>. Acesso em 25 Nov. 2018.

CARROSNAWEB, Ficha técnica Renault Duster 1.6 2019. Disponível em: <<https://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?codigo=5025>>. Acesso em 16 Jun. 2019.

GARCIA, Alvaro. Análise conceitual dos turbocompressores em motores de ciclo Otto. São Paulo. 2016.

GARCIA, O. Brunetti, F. Motores de Combustão Interna. 2. Ed. 1992.

GARRETT, T. K. et al. The Motor Vehicle. 13 Ed. Great Britain: Butterworth Heinemann, 2001.

GARRETT. Disponível em <<https://www.turbobygarrett.com>> Acesso em 17 Nov.2018

GHEORGHIU, Victor. Ultra-Downsizing of Internal Combustion Engines. SAE Technical Paper, 2013.

KBB, Cárter. Disponível em: <<https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/carter-motoro-que-e/?ID=1356>>. Acesso em 16 Jun 2019.

LIMITENGINEERING, Mapa turbocompressor GTX3071R GEN II. Disponível em: < <http://www.limitengineering.com/GTX3071RGENII.html>>. Acesso em 08 Jun. 2019.

LIMITENGINEERING, Mapa turbocompressor GT2052. Disponível em: < <http://www.limitengineering.com/GT2052.html>>. Acesso em 08 Jun. 2019.

MARTINS, Jorge. Motores de Combustão Interna. 5. Ed. Porto: Publindústria, 2016.

MASTER POWER TURBOS. Catálogo de turbina Racing. Disponível em <www.masterpower.com.br> Acesso em 25 Nov.2018.

MECANICAINDUSTRIAL, Virabrequim. Disponível em: < <https://www.mecanicaindustrial.com.br/363-o-que-e-um-virabrequim/>>. Acesso em 25 Nov 2018.

PULKRABEK, W. Engineering fundamentals of the internal combustion engine. 2. Ed. 2003.

PULKRABEK, Willard W. Engineering fundamentals of the internal combustion engine. 1. ed.: Prentice Hall, Inc., 1997.

TILLMANN, Carlos A. C. Motores de Combustão Interna e Seus Componentes. Santa Maria, 2013.