

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MAYCON PICOLI COLOMBO

**PROJETO DE UM BLOCO DE MOTOR CICLO ATKINSON VISANDO ALTA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2017

MAYCON PICOLI COLOMBO

**PROJETO DE UM BLOCO DE MOTOR CICLO ATKINSON VISANDO
ALTA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Ostapiv

Co orientador: Prof. Dr. Bruno Bellini
Medeiros

PATO BRANCO

2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Projeto de um bloco de motor ciclo Atkinson visando alta eficiência energética

Maycon Picoli Colombo

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 17/11/2017 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Me. Paulo Cezar Adamczuk
(UTFPR)

Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Jr.
(UTFPR)

Prof. Dr. Fabiano Ostapiv
(UTFPR)
Orientador

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, avó e irmã, que me incentivaram durante essa caminhada.

A minha namorada que me auxiliou quando mais precisei de ajuda.

Aos meus professores orientadores pela ajuda passando um pouco dos seus conhecimentos durante todo esse trabalho.

A Equipe Pato a Jato que me deu várias qualificações durante todo o tempo que participei ativamente como membro.

RESUMO

COLOMBO, M. P. Projeto de um bloco de motor ciclo Atkinson visando alta eficiência energética. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

Este trabalho apresenta o projeto de um bloco de motor Ciclo Atkinson visando alta eficiência energética. Como o objetivo é a eficiência, portanto economia de combustível, logo foi escolhido o Ciclo Atkinson para motores a combustão interna, pois este apresenta maior eficiência comparado ao Ciclo Otto que é comumente encontrado nos automóveis. O benchmarking, artigos e análise de imagem foram utilizados para a realização do projeto. O modelo do bloco foi criado, com o movimento do mecanismo a ser utilizado testado em software. Foi constatado a necessidade do projeto das outras partes do motor ao mesmo tempo, para se obter o bloco finalizado.

Palavras-chave: projeto, benchmarking, bloco de motor, ciclo atkinson, eficiência energética.

ABSTRACT

COLOMBO, M. P. Designing an Atkinson cycle engine block for high energy efficiency. Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

This work presents a manufacturing project of an engine block, which works with Atkinson Cycle, aiming for high energy efficiency. For greater efficiency and fuel economy, the Atkinson Cycle was chosen for internal combustion engines, because, is more efficient than the Otto Cycle, which is meat found in automobiles. A benchmarking, articles and image analysis where used to carry out the projects. The model of the block was created with the movement of the mechanism to be used test in software. It was found necessary to design the others parts of the engine at the same time, to obtain the finished block.

Keywords: project, benchmarking, engine block, Atkinson Cycle,

LISTA DE SIGLAS

PMS	Ponto Morto Superior
PMI	Ponto Morto Inferior
PMIa	Ponto Morto Inferior para admissão
CNC	Comando Numérico Computadorizado
SLM	Sistema de Ligações Múltiplas

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Ideal Otto	24
Figura 2 - Tempos de Motor Ciclo Otto.....	25
Figura 3 - Motor com Ciclo Atkinson.....	26
Figura 4 - Comparação entre Ciclo Atkinson e Ciclo Otto	27
Figura 5 - Eficiência Teórica para Ciclo de Expansão Estendida.....	28
Figura 6 - Motor EXLink Honda	31
Figura 7 - Fluxograma de métodos.....	35
Figura 8 - Parâmetros Dimensionais SLM.....	40
Figura 9 - Estado Característico SLM.....	41
Figura 10 – (a) Sistema de Ligações Múltiplas (b) EXLink em Corte.....	42
Figura 11 - Componentes e Variáveis de Dimensão.....	45
Figura 12 - Primeiro Esboço do SLM	48
Figura 13 - Bloco do Motor para a Equipe Pato a Jato - Frontal	50
Figura 14 - Bloco do Motor para Equipe Pato a Jato - Posterior.....	50
Figura 15 - Especificações das Partes do Bloco - Frontal	51
Figura 16 - Dimensões do Rolamento 6203-2RSH	53
Figura 17 - Dimensões do Encosto para Rolamento 6203-2RSH.....	54
Figura 18 - Dimensões do Rolamento W 6000-2RS1	55
Figura 19 - Dimensões de Encosto do Rolamento W 6000-2RS1.....	55
Figura 20 - Vista Posterior do Bloco	56
Figura 21 - Vista Frontal da Tampa do Bloco	57
Figura 22 - Vista Posterior da Tampa do Bloco	57
Figura 23 - Montagem do Bloco/Tampa/SLM.....	58
Figura 24 - Montagem da Tampa/Bloco/SLM - sem transparência	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Trabalho calculado e perda por ciclo	29
Tabela 2 - Trabalho calculado e perda de cada ciclo	29
Tabela 3 - Dimensões aproximadas do Motor EXLink.....	31
Tabela 4 - Especificações do Motor	32
Tabela 5 - Variáveis calculadas.....	46
Tabela 6 - Valores Obtidos pela Análise de Imagem.....	47
Tabela 7 - Especificações do Rolamento 6203-2RSH	53
Tabela 8 - Especificações do Rolamento W 6000-2RS1	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Objetivo	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Ciclos de Motores a Combustão Interna	23
2.1.1 Ciclo Otto.....	23
2.1.2 Ciclo Atkinson.....	25
2.2 Motores com Ciclo Atkinson	30
2.3 Motores a Etanol	32
2.4 Bloco de Motor	33
2.5 Benchmarking	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 Parâmetros iniciais	36
3.2 Análise de forças.....	37
3.3 Benchmarking e Engenharia Reversa	39
3.4 Dimensionamento	39
3.5 Seleção de materiais e processo de fabricação	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE A – FOLHAS DE PROJETO	67

1 INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de novas tecnologias em motores térmicos são desejados requisitos como alta eficiência e baixo impacto ambiental. O objetivo de se obter motores cada vez mais eficientes, procuram atender ambos. Uma maior eficiência energética dos motores ajuda a minimizar problemas como o consumo de combustíveis fósseis e emissão de poluentes (EPA, 2017).

A grande maioria dos motores de combustão interna atuais funcionam com Ciclo Otto, pois seu funcionamento é simples, fácil montagem e custo relativamente baixo. Ciclos mais eficientes utilizam uma quantidade menor de combustível na produção de energia mecânica, entre eles o Ciclo Atkinson, criado pelo engenheiro inglês James Atkinson em 1882 (ATKINSON, 1886).

O Ciclo Atkinson é conhecido por ser utilizado em motores de carros híbridos, onde a baixa potência produzida é compensada pela adição de um motor elétrico (HEYWOOD, 1988). Este ciclo consiste em um movimento mais amplo do pistão durante o ciclo de expansão dos gases na câmara de combustão, ou seja, com maior trabalho, e uma compressão reduzida quando comparado ao Ciclo Otto (FUSHUI, 2014). Os motores que utilizam Ciclo Atkinson necessitam de uma quantidade maior de peças devido ao mecanismo com movimentação diferenciada, com montagem mais complexa e maior custo, o que torna sua fabricação muitas vezes inviável para as montadoras de automóveis. Porém, algumas empresas como a Honda, Ford e Toyota estão utilizando deste ciclo, que foi deixado de lado por um período de tempo, mas nos tempos atuais se mostra uma boa opção.

O curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Pato Branco, possui uma renomada equipe de acadêmicos que trabalham com eficiência energética automotiva. Esta, nomeada Pato a Jato, possui atualmente dois protótipos que visam a economia de combustível, um movido a etanol e outro a gasolina (EQUIPE PATO A JATO, 2016). A equipe tem por objetivo a fabricação de um motor próprio de Ciclo Atkinson, de alta eficiência. Considerando a complexidade da construção do motor como um todo, esse trabalho tem como foco o projeto de um bloco de motor para o Ciclo Atkinson.

1.1 Objetivo

Projetar um bloco de motor para trabalhar em ciclo Atkinson como parte inicial na construção de um motor para ser utilizado em protótipos automotivos de alta eficiência energética.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ciclos de Motores a Combustão Interna

2.1.1 Ciclo Otto

O Ciclo Otto é muito utilizado em motores 4 tempos de automóveis. O nome deste ciclo ideal padrão a ar vem de um de seus desenvolvedores, o engenheiro alemão, chamado Nikolaus Otto, que o implementou em 1876. Este ciclo consiste em 4 etapas, sendo elas admissão, compressão, expansão e exaustão (PULKRABEK, 2011).

O primeiro tempo em motores com Ciclo Otto é a admissão, que tem início com o pistão na posição de ponto morto superior (PMS) e fim no ponto morto inferior (PMI), onde o processo ocorre a uma pressão constante de uma atmosfera. O segundo tempo consiste na compressão, onde o pistão passa de PMI para PMS, sendo compressão isentrópica¹, porém em um motor real o início do curso é afetado pela válvula de admissão não estar totalmente fechada até o PMI, e o fim da compressão é afetado pela fagulha da vela de admissão antes do PMS (PULKRABEK, 2011).

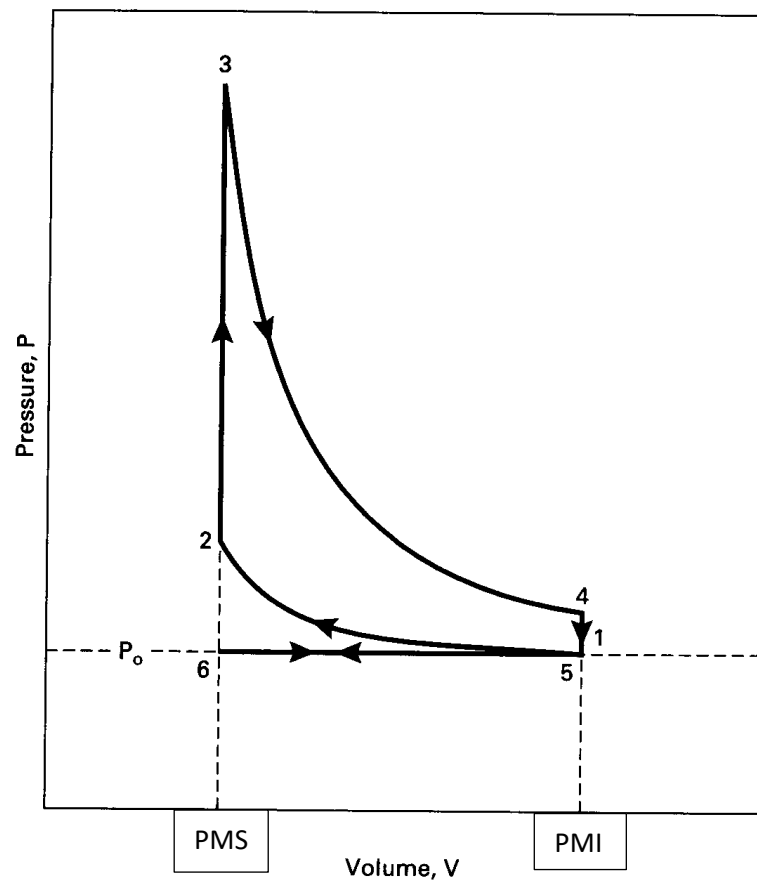
O processo de combustão tem início perto do PMS, tem seu auge no PMS e termina um pouco abaixo do PMS. Este libera uma grande quantidade de energia, que aumenta consideravelmente a temperatura, com volume constante, resultando em um aumento da pressão. Este aumento na pressão gera o terceiro tempo, expansão, onde as forças aplicadas na face do pistão são transferidas para a biela, que por sua vez transfere para o virabrequim, ou seja, produz trabalho e potência do motor. Em um ciclo ideal este processo é adiabático e sem atrito, porém em um motor real o início da expansão é afetada pela última parte do processo da combustão, e o final afetado pela válvula de exaustão iniciando sua abertura antes do PMI. Durante este processo os valores de temperatura e pressão caem dentro do cilindro e o volume aumenta passado do PMS para o PMI (PULKRABEK, 2011).

Próximo de terminar o terceiro tempo do motor, a válvula de exaustão se abre e os gases, do processo de queima da mistura ar/combustível, começam a se dissipar. O quarto tempo se inicia, a exaustão, tendo início no PMI e término no

¹ a entropia permanece constante no sistema

PMS, ocorrendo em constante pressão de uma atmosfera devido a abertura da válvula de exaustão. Ao fim do quarto tempo do motor, o mesmo já realizou duas revoluções, o pistão volta ao PMS, a válvula de exaustão se fecha e a de admissão se abre, repetindo os quatro ciclos aqui descritos (PULKRABEK, 2011), que são mostrados na figura 1, onde mostra o ciclo termodinâmico ideal Otto.

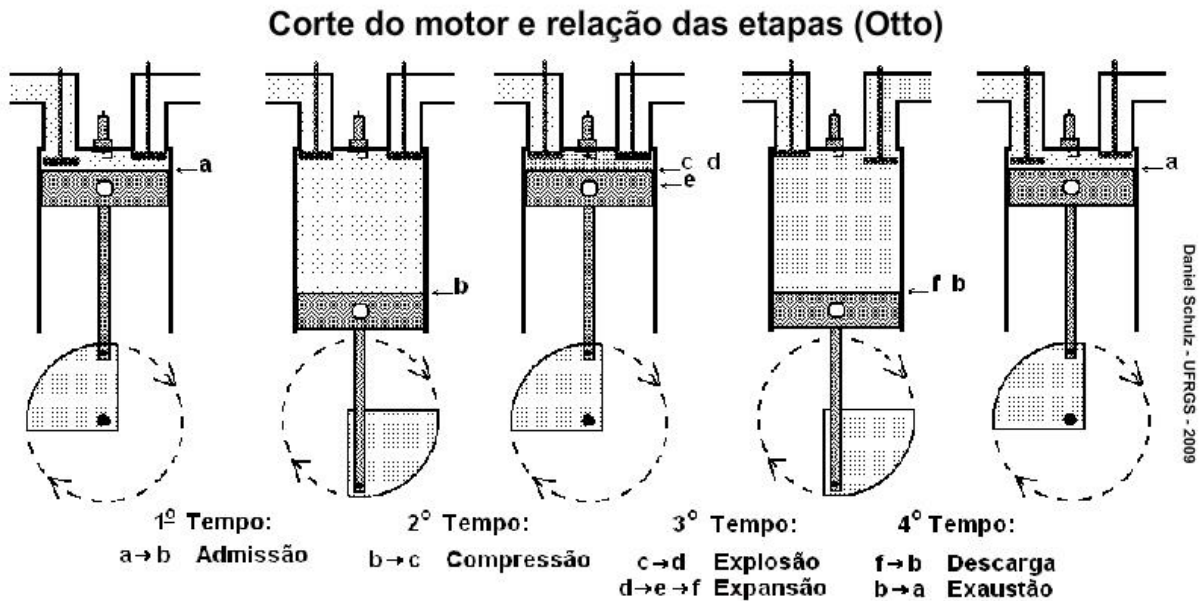
Figura 1 - Ciclo Ideal Otto



Fonte: adaptado de ZHAO

Na Figura 2 é ilustrado as etapas de funcionamento de um motor de combustão interna com Ciclo Otto.

Figura 2 - Tempos de Motor Ciclo Otto



A figura foi modificada com base na original extraída do artigo *Máquinas térmicas à combustão interna de Otto e de Diesel* - autor Fernando Lang (lang@if.ufrgs.br)

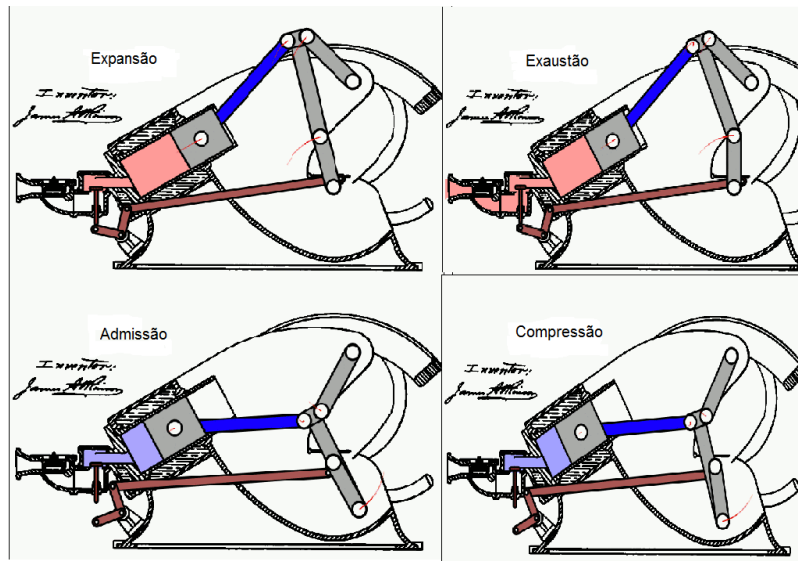
Fonte: UFRGS

2.1.2 Ciclo Atkinson

O que difere o Ciclo Atkinson dos outros padrões em motores de combustão interna, é o maior volume no ciclo de expansão. Este ciclo possui quatro tempos, sendo eles admissão, compressão, expansão e exaustão, porém a diferença está no volume existente no cilindro, durante a admissão e compressão e a expansão e exaustão. Por efeito do mecanismo existentes na biela do pistão, ocorre essa variação de volume, ou taxa, no qual o período de compressão é menor que o de expansão. Originalmente, um motor com Ciclo Atkinson necessita de apenas uma revolução para ocorrer os quatro tempos de ciclo (HEYWOOD, 1988).

A figura 3 demonstra a diferença nos 4 tempos do funcionamento de um motor com Ciclo Atkinson, que serão explicados a seguir.

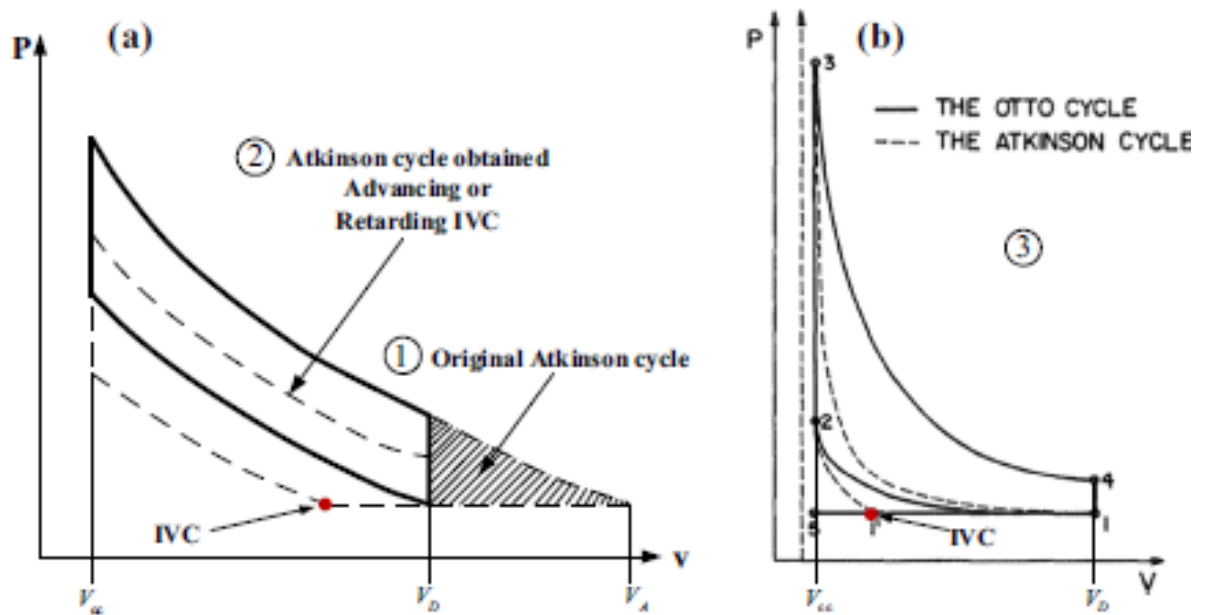
Figura 3 - Motor com Ciclo Atkinson



Fonte: adaptado de Wikipédia

A admissão ocorre com o pistão inicialmente em PMS e se deslocando para um ponto intermediário entre o PMS e PMI, com a válvula de admissão aberta. Esse ponto intermediário será o ponto morto inferior para o ciclo de admissão (PMIa). O segundo tempo será a compressão, que percorre a mesma distância do ciclo de admissão, entretanto, com a válvula de admissão fechada. Perto do pistão chegar ao PMS, a vela de ignição dá início a combustão da mistura ar/combustível dentro do cilindro. Chegando ao PMS se inicia o terceiro tempo, expansão, onde o pistão parte do PMS e termina no PMI, e isso traz como consequência um maior volume no cilindro. No quarto tempo, a exaustão, o pistão sai da posição de PMI com a válvula de exaustão aberta, e tem seu fim no PMS (ATKINSON, 1886). Na figura 4 é mostrada as diferenças entre os ciclos Otto e Atkinson.

Figura 4 - Comparação entre Ciclo Atkinson e Ciclo Otto



Fonte: ZHAO (2016)

Watanabe *et al* (2006) mostram a eficiência de um motor Honda de Ciclo Atkinson, com 135 cm³ na admissão e compressão e 204 cm³ na expansão e exaustão, movido a gasolina, com taxa de compressão de 8.5 e taxa de expansão de 12.5, com aproximadamente 4,6 HP. A pesquisa foi realizada com a eficiência térmica teórica utilizando a seguinte equação adaptada para um ciclo de expansão prolongada:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\epsilon_e^{\kappa-1}} - \left\{ \frac{\epsilon_e}{\epsilon_c} (\kappa - 1) - \kappa + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_e} \right)^{\kappa-1} \right\} \frac{C_v T_0}{Q_{in}}$$

ϵ_c : Taxa de Expansão

C_v : Calor específico a volume constante

T_0 : Temperatura inicial da compressão

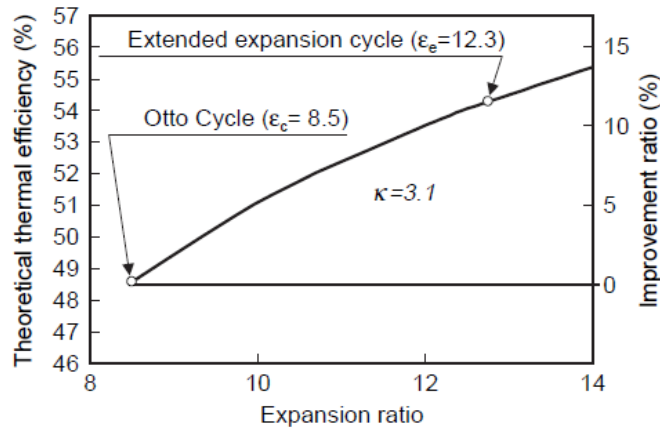
Q_{in} : Calor adicional a volume constante

κ : Taxa de calor específico (C_p/C_v)

Para melhor entendimento, a taxa de expansão denominada ϵ_c é o valor do volume do cilindro no ponto morto superior na exaustão pelo volume no ponto morto inferior na expansão. A eficiência térmica teórica tem aumento de 10% ou

mais, pelo simples fato de possuir uma razão de expansão aumentada, como mostrada na figura 5.

Figura 5 - Eficiência Teórica para Ciclo de Expansão Estendida



Fonte: adaptado de WATANABE (2006)

Porém o ciclo térmico teórico mencionado não leva em consideração perdas por bombeamento durante os cursos de compressão e expansão. Para estimar com mais precisão esse aumento de eficiência as simulações numéricas utilizaram um modelo de cálculo que leva em conta o fluxo de ar de entrada e saída como um fluxo quase-unidimensional.

As simulações mostram que comparando aos motores com ciclos convencionais, a perda de calor para a parede do cilindro é maior no ciclo de expansão pelo curso mais longo, o curso de exaustão é mais longo aumentando a perda por bombeamento na expansão. A temperatura final dos gases na exaustão diminui devido ao aumento de trabalho decorrente da expansão estendida, mostrando uma eficiência térmica de 31,3% para o motor de Ciclo Atkinson e 27,6% e 27,3% para motores convencionais utilizado para comparação, de acordo com a tabela 1. (WATANABE, 2006)

Tabela 1 - Trabalho calculado e perda por ciclo

		ATKINSON	OTTO
Perda em cada tempo motor (J/180°)	Admissão	-3,2	-3,9
	Compressão	-31,4	-32,9
	Expansão	178,5	163,3
	Exaustão	-1,1	-0,7
calor rejeitado		91,3	82,1
		31,30%	27,60%

Fonte: adaptado de WATANABE (2006)

Também foi realizada uma comparação com o Ciclo Miller, ciclo em que a válvula de admissão se mantém aberta por um pouco mais de tempo durante o ciclo de admissão, onde a perda causada por esse estágio é compensada com um turbo compressor. A tabela 2 mostra os resultados obtidos com a simulação, perda de calor para a parede do cilindro e eficiência térmica para cada especificação. (WATANABE, 2006)

Tabela 2 - Trabalho calculado e perda de cada ciclo

		ATKINSON	MÜLLER
Perda em cada tempo (J/tempo)	Admissão	-3,2	-8,1
	Compressão	-31,4	-36,5
	Expansão	178,5	179,2
	Exaustão	-1,1	-1,2
Perda de calor na parede do cilindro		91,3	94,6
		31,30%	29,30%

Fonte: adaptado de WATANABE (2006)

Neste caso, os motores C e D apresentam maior perda nos ciclos de admissão e compressão em comparação com o de Ciclo Atkinson, causado pelos

seguintes aspectos, possuem maior comprimento de curso de admissão e compressão, por utilizarem uma curva de abertura de válvula realista, a válvula de entrada produz perda de pressão por asfixia no intervalo de pouca abertura e fechamento, deste modo a perda por bombeamento no período da admissão e na compressão aumentam. Os motores Ciclo Miller mostram mais eficiência térmica que o Ciclo Otto, contudo o Ciclo Atkinson se mostra superior ainda como mostrado nos resultados das simulações realizadas (WATANABE, 2006). Essas simulações ajudam a mostrar que a escolha do Ciclo Atkinson para o projeto é viável, mostrando a maior eficiência que é desejada neste trabalho.

Foram também criados motores com Ciclo Atkinson simulado, onde a ideia de possuir um ciclo de compressão menor que o de expansão continua simplesmente modificando o tempo de abertura das válvulas de admissão de um motor Ciclo Otto, assim você simula um menor volume de cilindro na admissão, voltando parte da mistura ar/combustível para o coletor de admissão e trazendo conseqüentemente menor consumo de combustível.

2.2 Motores com Ciclo Atkinson

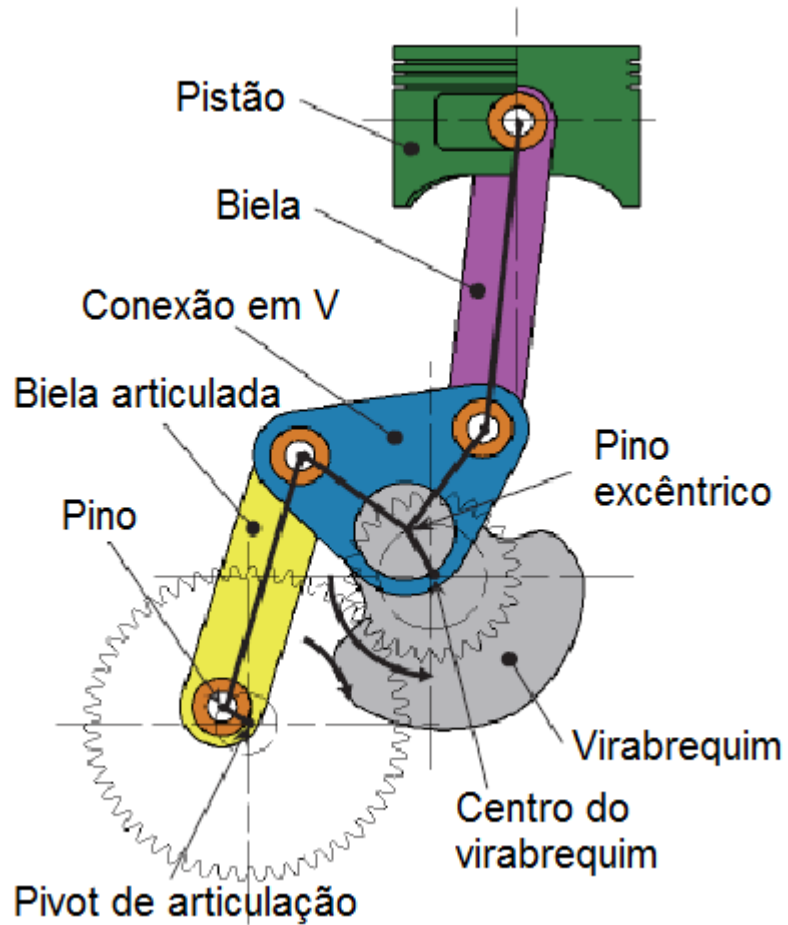
Com o desenvolvimento da tecnologia e pesquisas houve a criação de versões novas baseadas no motor criado por James Atkinson, no qual possui a passagem pelos 4 tempos de funcionamento, admissão, compressão, expansão e exaustão, com somente uma revolução do virabrequim (ATKINSON, US-PAT).

Uma variação utilizada em motores de combustão interna para carros híbridos, como por exemplo no Ford Fusion Hybrid (FORD FUSION, 2017), é o Ciclo Atkinson simulado, onde um motor de Ciclo Otto tem seu comando de válvula modificado para funcionar como Ciclo Atkinson. No tempo de compressão a válvula de admissão não se fecha no PMI, ou seja, o curso de compressão será menor que o de expansão de maneira igual ao Ciclo Atkinson (MODIFIED ATKINSON, 2017).

Outra variação foi projetada pela Honda, com um sistema totalmente diferente, onde os 4 tempos do motor com Ciclo Atkinson funciona com 2 revoluções do virabrequim. Outro diferencial deste sistema inovador da Honda, com motor nomeado de EXLink, é o funcionamento na qual ligações através de uma conexão em V, denominado de Sistema de Ligações Múltiplas que será tratado simplesmente por SLM, engrenagens resultando em uma redução 1:2 e bielas excêntricas resultam

em um movimento melhorado do Ciclo Atkinson transferindo a força da combustão de maneira melhor devido ao ângulo da biela no momento da expansão. Esse sistema será utilizado neste trabalho como base de projeto. A figura 6 mostra a montagem do Motor EXLink.

Figura 6 - Motor EXLink Honda



Cores fictícias

Fonte: adaptado de WATANABE (2006)

A Tabela 3 traz os valores aproximados das dimensões do motor EXLink.

Tabela 3 - Dimensões aproximadas do Motor EXLink

Altura (mm)	400
Largura (mm)	390
Profundidade (mm)	270

Fonte: Honda (2017)

A tabela 4 mostra as especificações do motor.

Tabela 4 - Especificações do Motor

Cilindro [mm]	53
Curso de Admissão [mm]	50
Curso de Expansão [mm]	74
Volume da Admissão [cc]	110
Volume da Expansão [cc]	163
Taxa de Compressão	12.2 : 1
Taxa de Expansão	17.6 : 1
Rotação Padrão do Motor [rpm]	1,950
Saída de Geração de energia [kW]	1.0

Fonte: adaptado de HONDA (2017)

2.3 Motores a Etanol

O etanol necessita de algumas modificações para sua utilização em motores convencionais. O seu poder calorífico é menor que o de outros combustíveis comumente utilizados, gasolina e diesel, isso gera a necessidade de maior ingestão combustível, gerando maior consumo e menos energia. O seu ponto de fulgor é de 13 °C, ou seja, nessa temperatura o etanol começa a liberar gases que podem entrar em combustão caso haja um agente externo que contribua para (NOVACANA, 2017).

Abaixo do ponto de fulgor o etanol é inutilizável como combustível, logo, dentro de um motor ele não funcionaria corretamente, por perder sua capacidade de combustão. O motor especificamente para funcionar a etanol, para ter seu rendimento e eficiência melhorada, necessita de alguns aspectos sendo eles: maior taxa de compressão, combustível injetado em maior quantidade, a vela tem seu ponto de ignição modificada devido a necessidade de mais tempo para o álcool entrar em combustão, sistema de partida a frio devido a temperatura do ponto de fulgor (NOVACANA, 2017).

Taxa de compressão em motores movidos a etanol é uma condição importante. Maior será a temperatura de combustão final alcançada conforme o valor da taxa de compressão é aumentado em um motor. Para o etanol isto é importante,

já que uma temperatura maior trará uma queima melhor do combustível, conseqüentemente melhor eficiência e maior força. Porém, cuidados são necessários, já que uma taxa de compressão muito alta pode elevar tanto a temperatura que cause pré-ignição, o que não é desejado, e também traz a necessidade de melhorar os materiais de construção do motor (BARATA, 2015).

2.4 Bloco de Motor

O bloco de motor é o principal componente de um motor a combustão interna, pelo fato de todos os outros componentes serem fixados no mesmo suportando a transferência de força do cabeçote para o virabrequim. O virabrequim, camisas dos cilindros, além de galerias para arrefecimento com água, e galerias de óleo. O bloco e o virabrequim são a configuração padrão para aplicações automotivas (BOSCH, 2004).

Ferro fundido cinzento ainda é muito utilizado para a fabricação de blocos para motores, porém o alumínio também se mostra muito viável, tendo ótima resistência e densidade relativamente baixa, reduzindo significativamente o peso do bloco e melhorando a transferência de calor (BOSCH, 2004).

O bloco interfere em muitos outros componentes do motor, onde o projeto das outras partes depende do mesmo. Há duas formas de projetar um motor de combustão interna, começando pelo conjunto pistão/biela/virabrequim ou pelo bloco. Alguns itens são requisitos básicos para a escolha do material no projeto de um bloco de motor a combustão interna, sendo manufaturabilidade, resistência a expansão térmica, ser um bom condutor térmico, muito resistente devido as forças que a combustão causa no mesmo e ser resistente a desgaste. A seleção é feita somente após análise da possibilidade de fabricação e se irá atender aos requisitos do cliente. Alguns materiais podem se mostrar bons para a performance do motor, porém com custo muito elevado inviabilizando a fabricação ou não atender os requisitos do cliente (SCRIBD, 2015).

Usualmente a fabricação se dá por fundição, na qual um molde de areia é feito a partir de um modelo do bloco. O Alumínio necessita de maiores cuidados, onde dependendo do método utilizado pode trazer baixa precisão dimensional, o que é indesejado. O melhor método para se fabricar um bloco em alumínio é fundição sobre pressão, resultando em grande precisão dimensional e boa produtividade.

Condutividade térmica e expansão térmica são analisadas devido à alta temperatura de trabalho do motor, necessitando assim uma troca de calor para manter o bom funcionamento do sistema e a permanência das dimensões do bloco (SCRIBD, 2015).

As prioridades para a fabricação podem ser dispostas da seguinte maneira por grau de importância, sendo fabricação, resistência mecânica e térmica, resistência a fadiga e usinabilidade, custo e requisitos do produto.

A espessura da parede do cilindro é dimensionada a partir do esforço que deve suportar, proveniente da combustão da mistura ar/combustível e da pressão gerada pela taxa de compressão. Foram tomadas algumas medidas no laboratório H008 na UTFPR, Campus Pato Branco, em motores utilizados para estudo, modelos 1.0L, 1.6L e 4.1L, resultando em valores que variam de 4 a 5 mm de espessura da parede do cilindro.

2.5 Benchmarking

O benchmarking é uma prática comum que consiste em melhorias de um serviço ou produto já existente. Como princípio, o benchmarking parte de que nenhuma empresa ou produto é o melhor possível. Trazer as melhores experiências que as empresas tiveram, adaptar a sua necessidade e melhorar possíveis aspectos é uma ótima maneira de melhorar a performance de uma equipe ou empresa (CAMP, 1993).

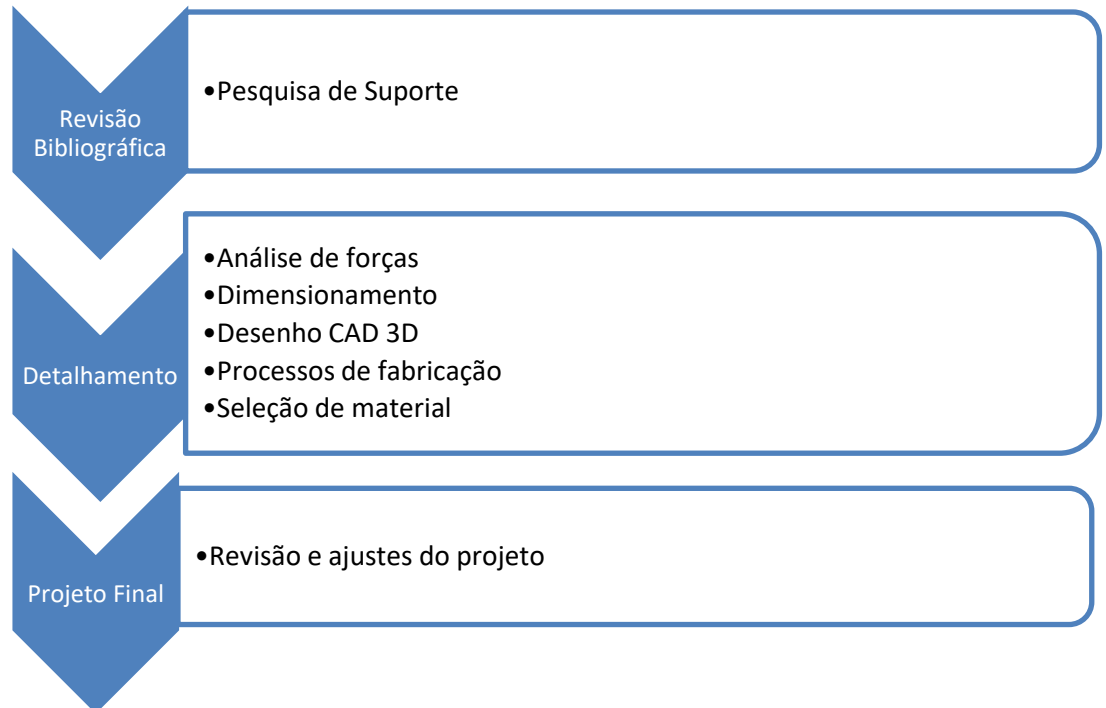
As vantagens deste método de seguir um produto inovador de uma empresa líder de mercado são muitas, porém alguns cuidados devem ser tomados, já que muitas empresas tendem a mascarar dados para dificultar a vida da concorrência (CAMP, 1993).

A falta de equipamentos adequados impedia que se fosse mais utilizada a engenharia reversa nos anos 90, no entanto a tecnologia avançou e melhorou esse processo o deixando muito mais confiável. É comum se utilizar de peças ou projetos já prontos, a fim de diminuir custos e tempo de projeto, porém sempre há a necessidade de modificações para adequar-se à sua necessidade (GENGHINI, 2013). A utilização deste método também foi importante já poucas informações foram encontradas sobre o EXLink, principalmente em relação a dimensões.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho se deu na sequência apresentada na figura 7:

Figura 7 - Fluxograma de métodos



Fonte: Autoria própria

- Pesquisa de suporte: o projeto traz a necessidade de conhecimentos, do básico ao avançado, em tópicos específicos. A necessidade de se conhecer o Ciclo Otto, ciclo mais utilizado na fabricação de motores de combustão interna, se mostra importante para mostrar as diferenças que possibilitam melhor eficiência térmica para o ciclo utilizado no projeto, o Ciclo Atkinson. Modo construtivo do motor, onde o bloco é a parte principal servindo de suporte para as outras peças do motor, tendo melhor entendimento para dimensionar melhor encaixes e dimensões.
- Projeto: inicialmente é necessário fazer uma análise de forças e esforços que o bloco do motor sofrerá devido a combustão, onde o dimensionamento é feito a partir desses dados, ajustando de modo

que facilite a fabricação. O desenho do bloco será feito com o software de modelagem 3D, a partir do dimensionamento, e servirá para a fabricação. O projeto precisará ser controlado levando em conta a fabricação, facilitando e possibilitando a usinagem do mesmo. A seleção do material para o bloco deverá atender as necessidades de projeto e também as que a equipe Pato a Jato determinar, já que ela será o cliente. O processo de fabricação será indicado, podendo ser feito de duas maneiras, em uma fresa CNC disposta na universidade, no qual os programas em CAM serão realizados no software Edgecam, com ferramentais como fresas e brocas caso se encontre um blank² do material escolhido, caso contrário deverá achar uma empresa para realizar o serviço de fabricação por fundição por pressão, o que seria mais recomendado ao trabalhar com este material.

- Validação: será revisado todos os cálculos e desenhos, com a finalidade de garantir que o projeto esteja correto, precisão dimensional, evitar desperdício de material, atender as necessidades requeridas de projeto e do cliente.

3.1 Parâmetros iniciais

Tendo em vista os objetivos desse projeto, são necessárias algumas considerações, que foram baseadas em pesquisas e tecnologias já conhecidas (HONDA, 2017; GONÇALVES, 2008). Os parâmetros iniciais do projeto são:

- Motor 4 tempos
- 1 cilindro
- Ignição por faísca
- Ciclo Atkinson real
- Taxa de compressão 15:1
- Curso de compressão 37 mm
- Diâmetro do cilindro 33 mm

² Pedaco de material forjado.

Tendo em vista um modelo pouco usual de motor a combustão interna, pela procura de uma melhor eficiência, será utilizado como base o motor da Honda chamado EXLink (WATANABE, 2006) com um sistema inovador para o Ciclo Atkinson real, redimensionado utilizando parcialmente dados obtidos em uma dissertação de mestrado desenvolvida na Universidade de Coimbra (GONÇALVES, 2008).

3.2 Análise de forças

O dimensionamento do cilindro foi realizado utilizando a equação 1 (REDDO, 2008), para vasos de pressão:

$$e = \frac{P.R}{S.E-0,6.P} + C \quad (1)$$

e = Espessura mínima (mm)

P = Pressão interna (bar)

S = Tensão admissível do material (bar)

E = Eficiência de solda

R = Raio interno (mm)

C = Margem de corrosão (mm)

A força gerada pela combustão da mistura ar/combustível dentro da câmara de combustão é utilizada na fórmula como P . O valor utilizado foi de 9 MPa, ajustado para 90 bar, retirado de um trabalho realizado por Gonçalves (2008). O valor foi obtido a partir do programa “4SSIS”, que simula condições adversas dentro do cilindro onde:

“O programa “4SSI” é um programa de modelação não-dimensional (modelação termodinâmica) com discretização apenas no tempo, neste caso em ângulos de cambota Θ , e com valores médios no espaço. A vantagem desta modelação é a economia de tempo e memória de cálculo. As desvantagens estão diretamente relacionadas com a não discretização espacial das diversas variáveis. Assim, não é possível simular a formação de heterogeneidades, por exemplo, a nível da mistura dos diversos gases dentro do cilindro”. (GONÇALVES, 2008, p.31)

Ainda segundo Gonçalves (2008):

“Os modelos utilizados descrevem as mudanças termodinâmicas e químicas da mistura durante os processos de admissão, compressão, combustão, expansão e escape e têm como objetivo prever algumas características de operação de motores tais como: binário ao freio, potência, consumo específico, pressão média efetiva e outros.” (GONÇALVES, 2008, p.31)

Esse modelo de simulação se inicia baseada na 1ª Lei da Termodinâmica, onde esta é aplicada ao volume do cilindro para os quatro tempos do motor sendo admissão, compressão, expansão e exaustão (GONÇALVES, 2008).

Esse estudo foi utilizado devido à falta de condições de gerar valores referente aos esforços gerados pela combustão no cilindro, valendo-se dos valores base do trabalho de Gonçalves, como diâmetro do cilindro e taxa de compressão.

O material escolhido para o cálculo foi a liga de alumínio SAE A390, indicada como material utilizado para a fabricação de blocos de motores de combustão interna. Oferece características semelhantes a um compósito, com excelente resistência e a altas temperaturas, baixo coeficiente de expansão térmica, excelentes características de desgaste e elevado módulo de elasticidade (SAE, 2002). A tensão de escoamento do A390 é de 180 MPa, e com o uso de um coeficiente de segurança 2, é alcançado o valor de 900 bar para a tensão admissível do material. Esse coeficiente de segurança resultou em um valor de 3,51 milímetros, espessura de parede próximo ao dos cilindros de motores medidos em laboratório que variaram entre 4 e 5 milímetros. O coeficiente nesse valor também possibilita material extra para retificar o bloco conforme a necessidade, devido a desgastes que possam vir a ocorrer devido a sua utilização.

A eficiência de solda foi utilizada como 100%, uma vez que o cilindro será uma peça única, sem solda. O raio interno tem valor de 33 mm, um dos parâmetros já estabelecidos no início.

Houve a necessidade estabelecer também o valor da força que atua no pistão, a fim de se obter um valor aproximado do diâmetro do eixo virabrequim. O cálculo foi realizado a partir da equação 2 (BRUNETTI, 2012):

$$F_p = p \cdot A = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2)$$

F_p = Força de Pressão

p = pressão existente na câmara

A = área projetada da cabeça do pistão

D = diâmetro do pistão

A pressão existente na câmara de combustão, como apresentado na equação 1, tem valor de 9 MPa (GONÇALVES, 2008). A área projetada da cabeça do pistão foi aproximada pelo valor do diâmetro do cilindro, logo, utilizou-se um diâmetro de 33 mm para o cálculo.

3.3 Benchmarking e Engenharia Reversa

Observando o mercado atual, algumas empresas fazem bom uso do Ciclo Atkinson na motorização de seus produtos, como a Ford ou a Toyota, porém a Honda mostrou-se mais eficiente com seu trabalho no motor EXLink, referência para este trabalho.

Foi feita a análise das imagens e informações do motor EXLink disponibilizadas pela Honda com ênfase nos dados mais relevantes. Em seguida adaptou-se o material encontrado para o objetivo proposto neste trabalho que é o projeto de um bloco de motor em Ciclo Atkinson com funcionamento semelhante ao motor Honda EXLink, porém em escala reduzida. A partir do motor pronto, sempre será buscado sua melhoria. Estes são os passos utilizados no benchmarking.

3.4 Dimensionamento

A base para o dimensionamento do bloco foi o motor EXLink fabricado pela Honda. Seu funcionamento mecânico se dá através do SLM que tem seus comprimentos estipulados pelas equações de (3) a (7), estas que foram retiradas do artigo de Watanabe (2006).

$$x = l_4 \cos \phi_4 + l_2 \sin(\phi_1 + \alpha) + r_c \cos \theta_c \quad (3)$$

$$l_4 \sin \phi_4 + \delta = l_2 \cos(\phi_1 + \alpha) + r_c \sin \theta_c \quad (4)$$

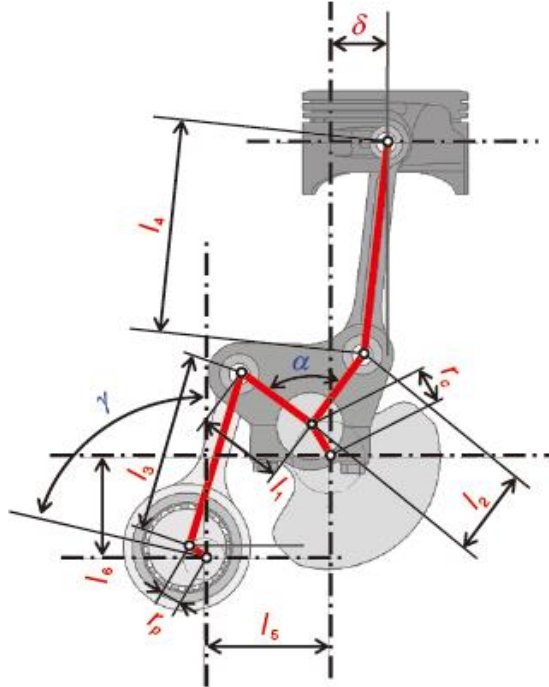
$$l_5 - r_c \cos \theta_c + r_p \sin(\theta_p + \gamma) = l_1 \cos \phi_1 + l_3 \cos \phi_3 \quad (5)$$

$$l_6 + r_p \cos(\theta_p + \gamma) + l_3 \sin \phi_3 = l_1 \sin \phi_1 + r_c \cos \theta_c \quad (6)$$

$$\theta_p = \eta \theta_c + \gamma \quad (7)$$

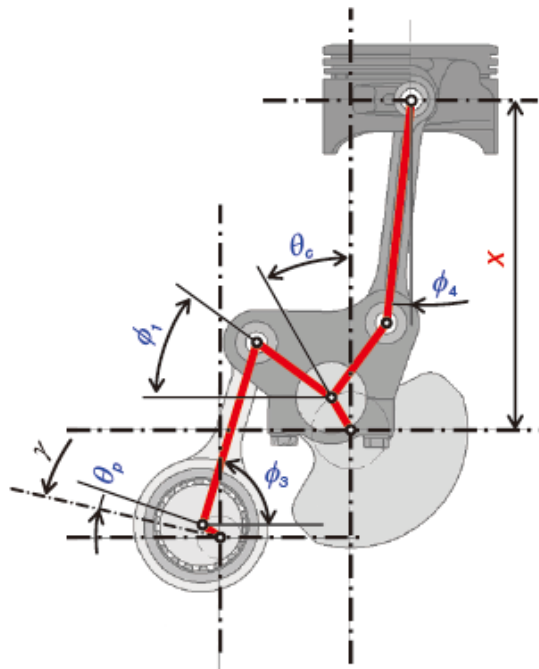
Onde a figura 8 e figura 9 mostram o local de cada variável das equações anteriores.

Figura 8 - Parâmetros Dimensionais SLM



Fonte: WATANABE (2006)

Figura 9 - Estado Característico SLM



Fonte: WATANABE (2006)

Essas equações foram calculadas com auxílio de planilha eletrônica para facilitar a obtenção de dados.

Também foi utilizada a análise de imagem, a partir da Figura (10) (a) e (b), com base nos valores conhecidos do motor EXLink, no artigo de Watanabe (2006). Através do software Photoshop CS6 traçou-se retas sobre os comprimentos principais da imagem do motor, que tiveram seus valores transformados em medidas mais próximas do real. Com os valores obtidos retirou-se o equivalente para o tamanho desejado, por uma simples transformação de escala, conhecendo o diâmetro do cilindro do motor EXLink, de 53 milímetros, e o valor desejado para o diâmetro do cilindro do bloco projetado, de 33 milímetros.

Figura 10 – (a) Sistema de Ligações Múltiplas (b) EXLink em Corte



(a)



(b)

Fonte: HONDA (2017)

Para indicar um valor de encaixe para o eixo virabrequim, se fez necessário calcular um valor base para o mesmo (INFINITUM, 2017). As equações de (8) a (11) nos possibilitam isso.

$$Q = \frac{P}{l} \quad (8)$$

Com P sendo o valor da carga que o eixo deve aguentar no apoio, o qual é o valor dado pela equação 2, Q é a carga distribuída, e o vão carregado se dá por l.

$$Mf_{m\acute{a}x} = \frac{Q \cdot c \cdot (L - c)}{2} \quad (9)$$

$$Wf_{nec.} = \frac{Mf}{T_{adm}} \quad (10)$$

$$T_{flexão} = \frac{M_f}{W_f} \quad (11)$$

Onde $M_{f_{máx}}$ é o momento máximo no eixo, $W_{f_{nec.}}$ é o momento resistente, $T_{flexão}$ é a tensão de flexão. A obtenção dos valores destas equações foi dada a partir de planilha eletrônica, facilitando sua análise e melhor escolha do material.

3.5 Seleção de materiais e processo de fabricação

Processos de fabricação e seleção de materiais estão diretamente ligados. O material selecionado para o bloco foi a Liga de Alumínio SAE A390, que atende nossas necessidades sendo um material muito empregado na indústria automotiva para blocos de motores a combustão interna, com baixo valor de massa específica, conseqüentemente, lhe atribuindo baixo peso. Também possui excelentes características de desgaste e resistência a altas temperaturas com baixo coeficiente de expansão térmica (SAE, 2002).

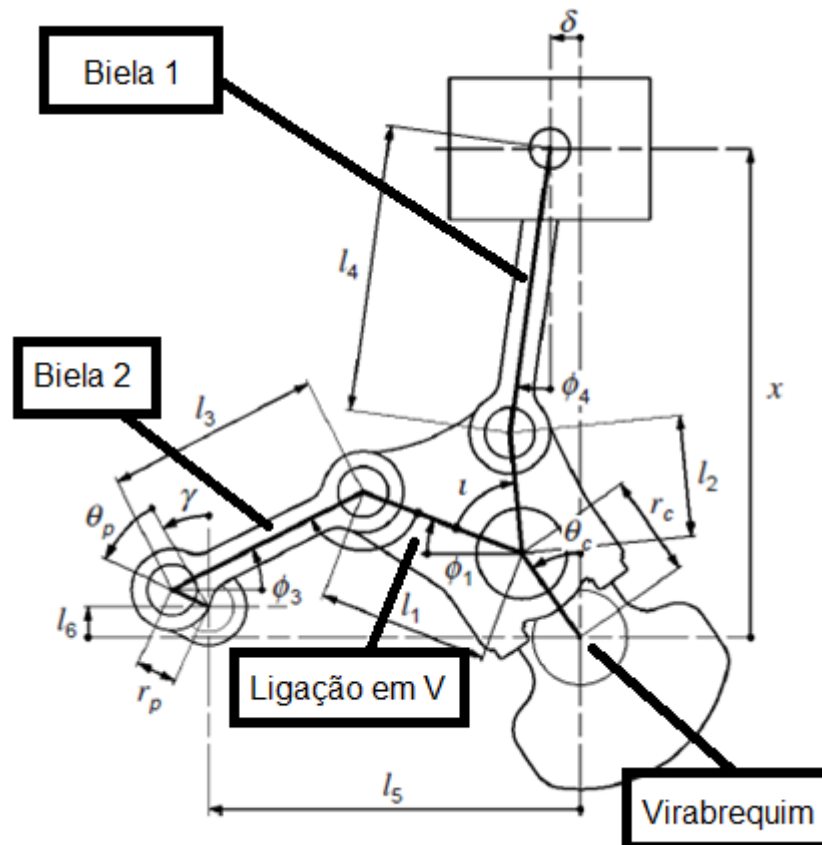
O método de fabricação de mais fácil acesso para a Equipe Pato a Jato é a usinagem, onde a utilização de uma fresadora CNC facilita a fabricação de várias peças. Porém o material selecionado é utilizado para fabricação de peças por fundição, indicando um processo sob pressão de semissólido como sendo o mais atrativo (SAE, 2002), necessitando assim orientação de professores com experiência na área, auxiliando em um projeto adequado para fabricar o bloco deste trabalho por fundição.

Para facilitar o processo, pode ser estudado mais a fundo à possibilidade de adquirir-se um blank do material que foi selecionado para o dimensionamento. Facilitaria a fabricação, passando a ser por usinagem utilizando a fresa CNC disponível na universidade, já que o formato do bloco permite a fabricação por este meio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As equações fornecidas pelo artigo de Watanabe (2006), forneceu os valores das variáveis, possibilitando a elaboração de um esboço. As variáveis das equações correspondem a valores de distância entre centro de giro do virabrequim e ponto de fixação do pistão na biela 1, dimensão da biela 1, distâncias e ângulo entre os furos da ligação em V dos componentes, dimensão da biela 2, distância do movimento excêntrico entre a fixação da ligação em V e do virabrequim, distância do movimento excêntrico entre a fixação da biela 2 e a engrenagem de redução. Os componentes nomeados anteriormente podem ser vistos na figura 11.

Figura 11 - Componentes e Variáveis de Dimensão



Fonte: Adaptado de WATANABE (2006)

Na Tabela 5 temos os valores obtidos das equações de Watanabe (2006), através de planilha eletrônica, sendo dimensões em milímetros e ângulos em graus.

Tabela 5 - Variáveis calculadas

	Variáveis	Valores
Distância pistão/virabrequim	x	99,5 mm
Comprimento ligação biela móvel/virabrequim	l1	34 mm
Comprimento ligação biela/virabrequim	l2	28 mm
Comprimento biela móvel	l3	45 mm
Comprimento biela	l4	61 mm
Distância horizontal virabrequim/engrenagem de redução	l5	33,7 mm
Distância vertical virabrequim/engrenagem de redução	l6	31,2 mm
Comprimento manivela virabrequim	r _c	12,5 mm
Comprimento manivela engrenagem de redução	r _p	9 mm
Ângulo l1	Φ1	2°
Ângulo l3	Φ3	94,7°
Ângulo l4	Φ4	0°
Ângulo r _c	Φ _c	0°
Ângulo entre l1 e l2	γ	89,7°
Ângulo entre l6 e r _p	α	109,5°

Fonte: Autoria própria

A análise de imagem, realizada na figura 10, resulta em valores que estão presentes na tabela 6, que possibilitaram comparação com os obtidos nas equações de Watanabe (2006), assim a partir desses valores, criar um desenho em 3D do mecanismo, aqui chamado de SLM, facilitando a análise do movimento exclusivo do motor EXLink da Honda. Assim consegue-se uma versão do motor EXLink da Honda, porém mais compacto, mostrado ao comparar as dimensões do bloco

projetado com as medidas aproximadas do EXLink presentes na Tabela 3 do Capítulo 2.2.

Tabela 6 - Valores Obtidos pela Análise de Imagem

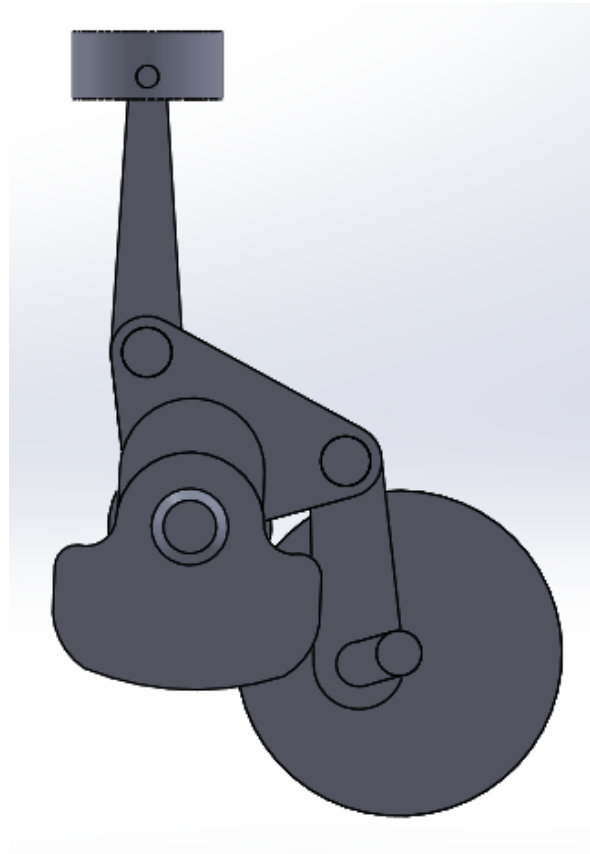
	Variáveis	Valores
Distância pistão/virabrequim	x	99,6 mm
Comprimento ligação biela móvel/virabrequim	l1	34 mm
Comprimento ligação biela/virabrequim	l2	28 mm
Comprimento biela móvel	l3	45 mm
Comprimento biela	l4	61 mm
Distância horizontal virabrequim/engrenagem de redução	l5	46,2 mm
Distância vertical virabrequim/engrenagem de redução	l6	27,9 mm
Comprimento manivela virabrequim	r_c	12,5 mm
Comprimento manivela engrenagem de redução	r_p	9,2 mm

Fonte: Autoria própria

Essas distâncias são de suma importância, por estarem diretamente relacionados ao funcionamento do SLM. O esboço em 3D feito com o software de modelagem 3D foi realizado respeitando esses valores, para que posteriormente se tenha o posicionamento correto dos encaixes no bloco do motor. A figura 12 mostra o primeiro desenho realizado do SLM com os valores corretos das dimensões principais do projeto, pois o objetivo deste trabalho é o projeto de um bloco de motor, logo outros componentes foram somente estimados, podendo deixar espaço para acertos conforme outros trabalhos venham sendo realizados e completando este,

afim de finalmente construir e montar um motor de Ciclo Atkinson com SLM da Honda.

Figura 12 - Primeiro Esboço do SLM



Fonte: Autoria própria

Os pontos principais de encaixe do bloco, foram definidos com esse esboço, porém a largura do bloco depende do comprimento desses componentes. O diâmetro do eixo virabrequim foi estimado utilizando o valor da pressão resultante da combustão. Aplicando o valor de 9 MPa como pressão, retirado do trabalho de Gonçalves (2008), na equação (2) já apresentada no capítulo 3.2 temos que:

$$F_p = (9 \times 10^6) \cdot \frac{\pi \cdot (33 \times 10^{-3})^2}{4} = 7.697,7 \text{ KN}$$

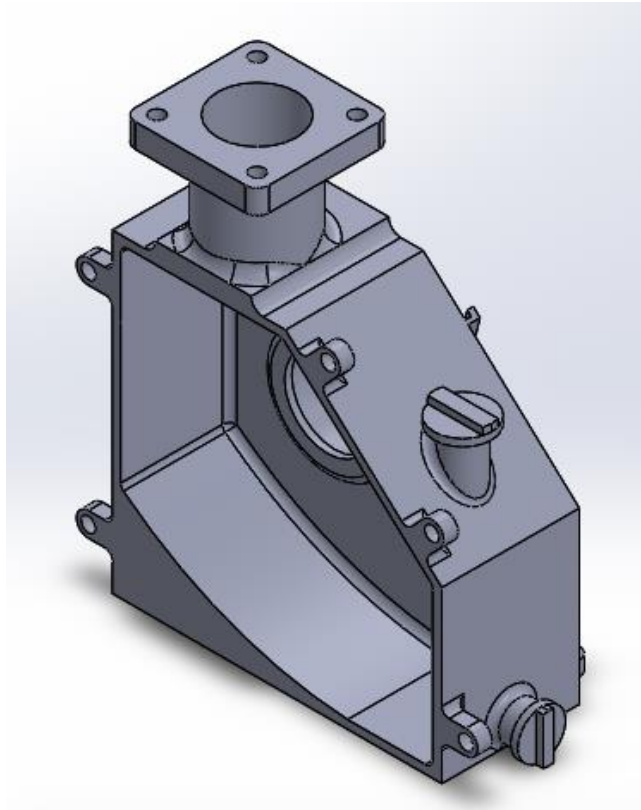
Utilizando as equações de (8) a (11) estipulamos um valor base para o eixo virabrequim. O material utilizado para o cálculo foi o Aço 4340, com tensão de cisalhamento de 6500 [kg/cm²] (SCRIBD, 2017), utilizando um fator de segurança de 1,2 foi obtido a tensão de cisalhamento admissível de aproximadamente 5400 [kg/cm²]. O comprimento utilizado como vão livre foi estimado, com valor de 100

milímetros, já o vão carregado foi estimado com valor de 3 milímetros, e o valor estimado do diâmetro do eixo será de 17 milímetros. Esses valores foram substituídos nas equações com o auxílio de planilha eletrônica para a obtenção do resultado, mostrando que a Tensão de Flexão nesse eixo será de 5316,5 [kg/cm²], portanto o material resistirá a força, visto que a Tensão Admissível tabelada é de aproximadamente 5400 [kgf/cm²].

A parede do cilindro tem um papel crucial no funcionamento correto do bloco, sendo ela que resiste a força da explosão causada pela combustão da mistura ar/combustível. A equação (1), encontrada no capítulo 3.2, foi utilizada para este dimensionamento. O valor da pressão utilizada foi de 9 MPa retirada do trabalho de Gonçalves (2008), a tensão admissível do material selecionado, Alumínio A390, é de 180 MPa, que transformando para a unidade necessária e aplicando o coeficiente de segurança, resulta no valor de 900 bar, a eficiência de solda sendo 1, o raio interno de 33 milímetros, e a margem de corrosão como zero. Esses valores foram distribuídos em uma planilha do Excel, nos fornecendo um valor de 3,51 milímetros.

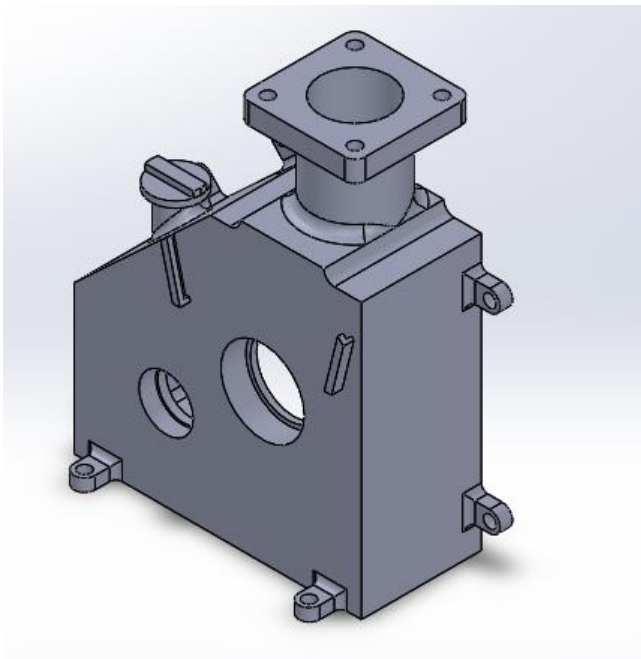
Esses valores iniciais possibilitaram o início da modelagem do bloco do motor. O bloco se divide em duas partes, sendo elas o bloco do motor e tampa do bloco. O bloco do motor está representado na figura 13 e figura 14.

Figura 13 - Bloco do Motor para a Equipe Pato a Jato - Frontal



Fonte: Autoria própria

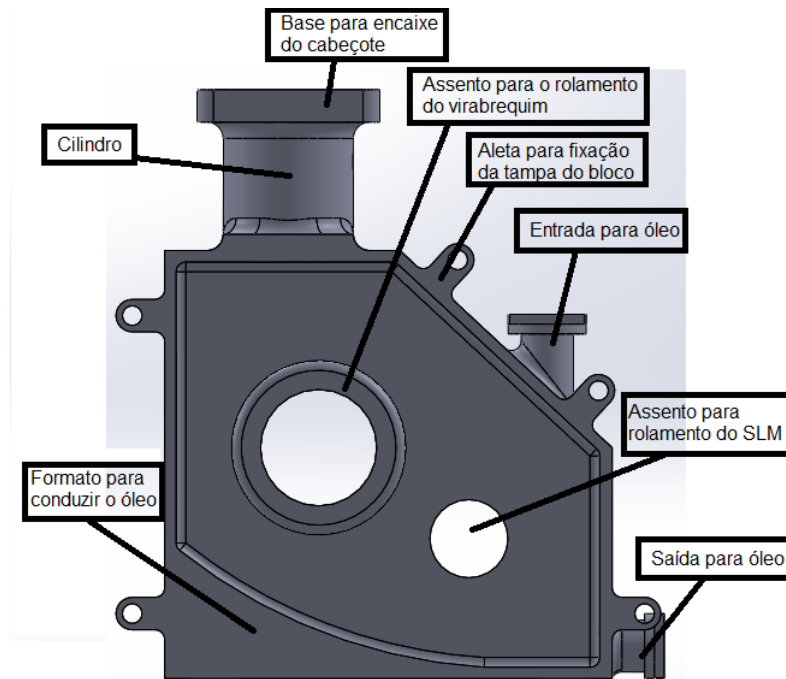
Figura 14 - Bloco do Motor para Equipe Pato a Jato - Posterior



Fonte: Autoria própria

Para melhor detalhamento das partes do bloco, a figura 15 traz indicações das partes que constituem o bloco.

Figura 15 - Especificações das Partes do Bloco - Frontal



Fonte: Autoria própria

Seu formato foi elaborado a fim de facilitar a fabricação sendo um motor compacto, porém, com espaço para mudanças, já que os demais componentes que completarão o motor não foram projetados juntamente ao bloco. Pode-se observar uma entrada de óleo na parte superior, e uma saída na lateral direita da vista frontal, bem próximo ao fundo do bloco. O posicionamento dessa saída é estratégia, já que um problema no motor atual utilizado pela Equipe Pato a Jato é a necessidade de virar o motor para o escoamento do óleo, sendo que o mesmo possui somente uma abertura para entrada e saída do óleo. Um formato que facilite a condução do óleo para a saída foi adicionado, impedindo óleo estagnado no canto e menor quantidade do mesmo, necessário dentro do bloco.

Foram adicionadas 5 orelhas para a fixação da tampa do bloco, e seu furos possuem tamanho para alojar parafusos padrão Allen M6, que foi utilizado para todas as outras fixações também como bloco/suporte, e cabeçote/bloco. Este parafuso suporta os esforços a que está exposto e facilita o projeto, possuindo somente um modelo de parafuso.

O cilindro possui o diâmetro especificado, de 33 milímetros, com espessura de parede projetada de 3,51 milímetros, e uma base para a fixação do cabeçote com quatro furos padrão M6. Todas as cotas podem ser vistas na folha de projeto presente no Apêndice A.

Os assentos dos rolamentos possuem valores de acordo com as tabelas do fabricante. Os rolamentos foram selecionados a partir dos diâmetros estimados do eixo virabrequim e eixo da engrenagem de redução. Foram escolhidos da empresa SKF, sendo que para o eixo virabrequim utilizou-se o rolamento rígido de esferas 6203-2RSH, rolamento blindado, com especificações de acordo com a tabela 7.

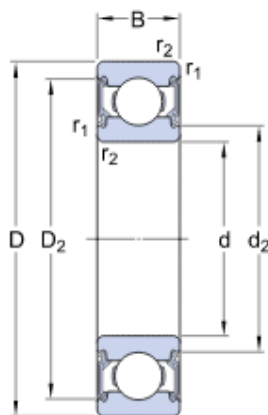
Tabela 7 - Especificações do Rolamento 6203-2RSH

Classificação da carga dinâmica básica	C	9.95	kN
Classificação da carga estática básica	C_0	4.75	kN
Limite de carga de fadiga	P_u	0.2	kN
Velocidade-limite		12000	r/min
Fator de cálculo	k_r	0.025	
Fator de cálculo	f_0	13	

Fonte: SKF (2017)

As dimensões deste rolamento podem ser vistas nas figuras 16 e figura 17.

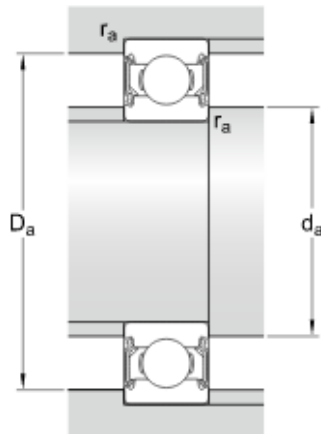
Figura 16 - Dimensões do Rolamento 6203-2RSH



d	17	mm
D	40	mm
B	12	mm
d_2	≈ 21.75	mm
D_2	≈ 34.98	mm
$r_{1,2}$	min. 0.6	mm

Fonte: SKF (2017)

Figura 17 - Dimensões do Encosto para Rolamento 6203-2RSH



d_a	min.	21.2	mm
d_a	max.	22	mm
D_a	max.	35.8	mm
r_a	max.	0.6	mm

Fonte: SKF (2017)

O rolamento utilizado para o eixo da engrenagem foi o W 6000-2RS1, também blindado, selecionado de acordo com o diâmetro do eixo que foi estimado em 10 milímetros. Os parâmetros deste rolamento estão presentes na tabela 8.

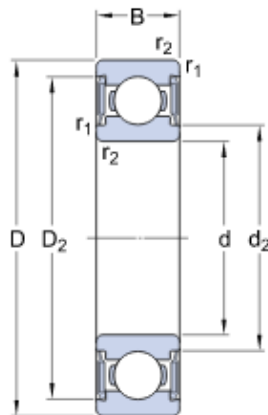
Tabela 8 - Especificações do Rolamento W 6000-2RS1

Classificação da carga dinâmica básica	C	3.97	kN
Classificação da carga estática básica	C_0	1.96	kN
Limite de carga de fadiga	P_u	0.083	kN
Velocidade-limite		19000	r/min
Fator de cálculo	k_r	0.03	
Fator de cálculo	f_0	12.4	

Fonte: SKF (2017)

Onde as dimensões podem ser vistas nas figuras 18 e figura 19.

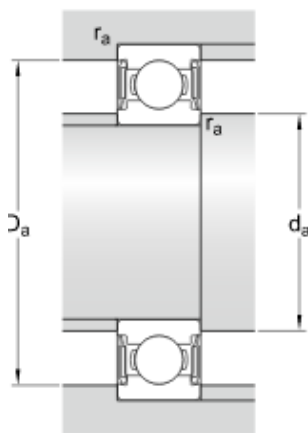
Figura 18 - Dimensões do Rolamento W 6000-2RS1



d	10	mm
D	26	mm
B	8	mm
d ₂	≈ 13.9	mm
D ₂	≈ 22.38	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm

Fonte: SKF (2017)

Figura 19 - Dimensões de Encosto do Rolamento W 6000-2RS1

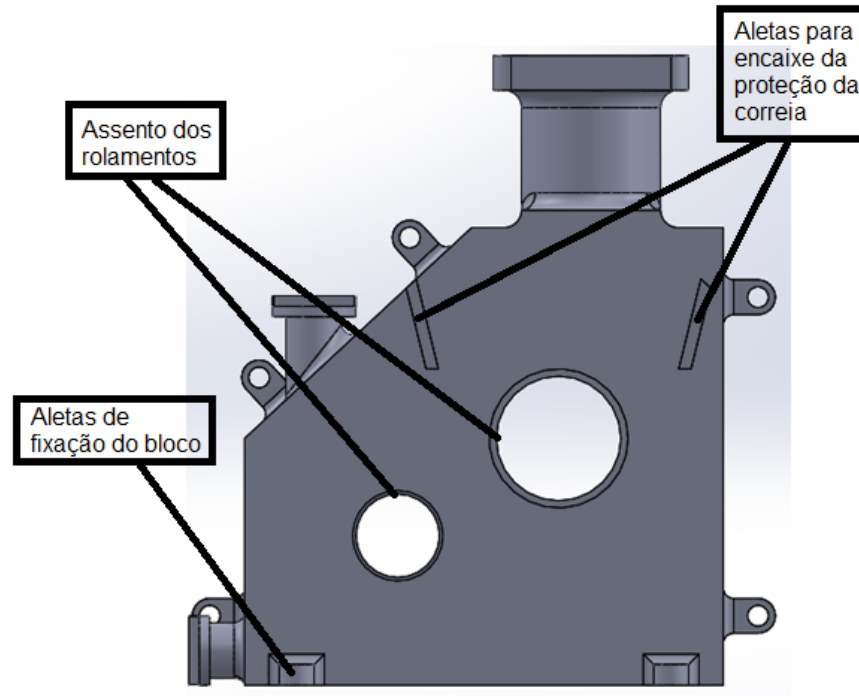


d _a	min. 12	mm
d _a	max. 13.5	mm
D _a	max. 24	mm
r _a	max. 0.3	mm

Fonte: SKF (2017)

Na parte posterior do bloco pode-se observar duas orelhas que servem para colocar uma proteção a correia do comando de válvula, isso pensado na segurança de quem vá manusear o motor ou no powertrain do protótipo. Também se nota duas orelhas na parte inferior para a fixação do bloco no suporte do motor, que por sua vez é preso ao chassi. A figura 20 mostra esses itens.

Figura 20 - Vista Posterior do Bloco

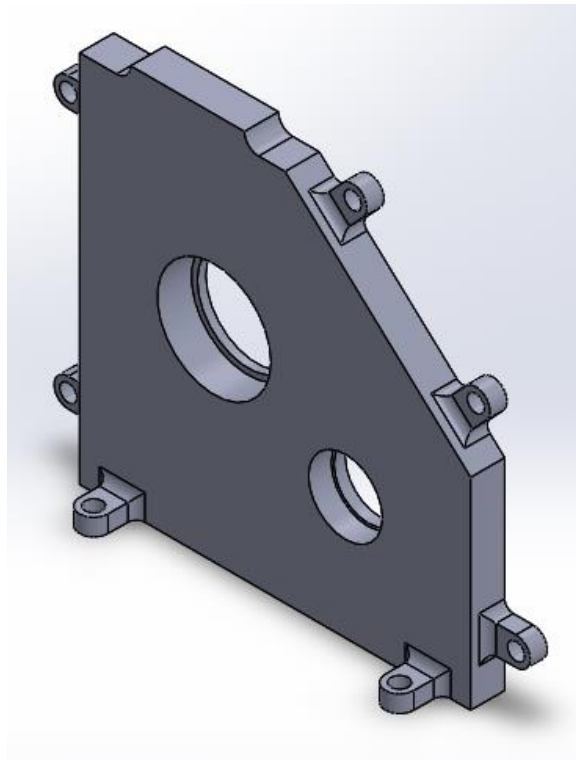


Fonte: Autoria própria

O bloco tem uma divisão lateral como já pode ser observado nas figuras anteriores. Isso foi feito para facilitar sua montagem e desmontagem, devido seu sistema de funcionamento diferenciado. O SLM possui dois eixos que estão em níveis diferentes, portanto sua montagem sendo lateral facilita o trabalho. A tampa possui as cinco orelhas que encaixam com as do bloco, estabelecendo um encaixe perfeito e vedação entre as duas peças, e duas orelhas para a fixação do bloco no suporte do motor. Também possui furos com o assento dos rolamentos já selecionados anteriormente. Tanto a tampa como a parede do bloco onde ficam os rolamentos dos eixos, possuem mesma espessura, selecionada a partir da necessidade do rolamento, necessitando de 12 milímetros de espessura.

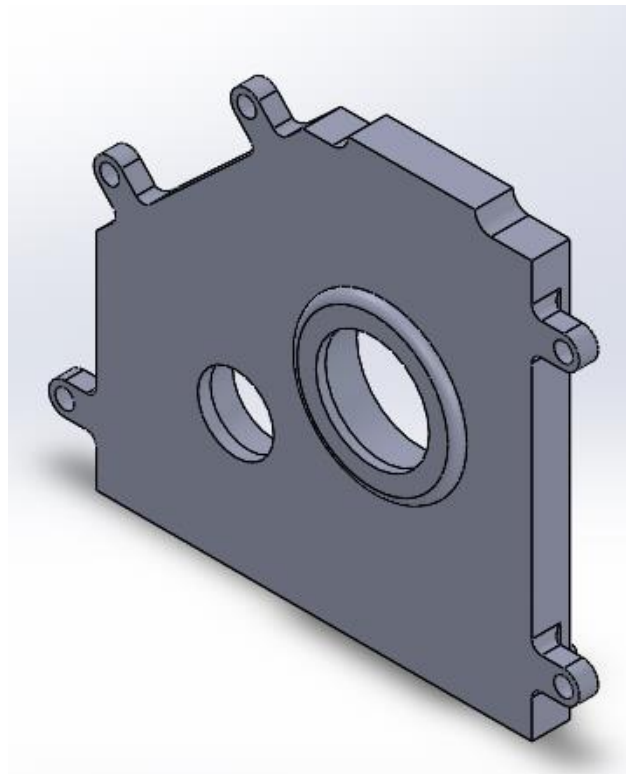
A figura 21 traz a vista frontal da tampa do bloco e a figura 22 traz a vista posterior da mesma.

Figura 21 - Vista Frontal da Tapa do Bloco



Fonte: Autoria própria

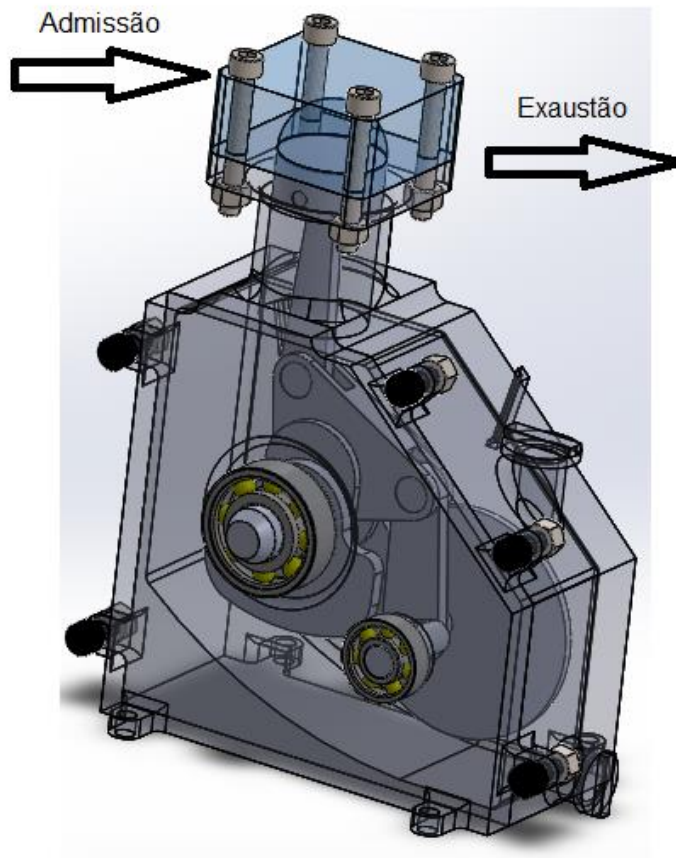
Figura 22 - Vista Posterior da Tapa do Bloco



Fonte: Autoria própria

Com todos os componentes projetados e desenhados no software de modelagem 3D, pode-se executar a montagem, para ser observado o tamanho do conjunto. O modelo do cabeçote foi colocado somente a fim de simulá-lo no desenho. A admissão e exaustão podem ter sua posição indicada já sendo lateralmente, devido a posição estipulada da correia do comando de válvula. A figura 23 mostra a montagem dos componentes do motor a ser projetado, com o bloco, tampa e cabeçote transparentes, visualizando o conjunto interno.

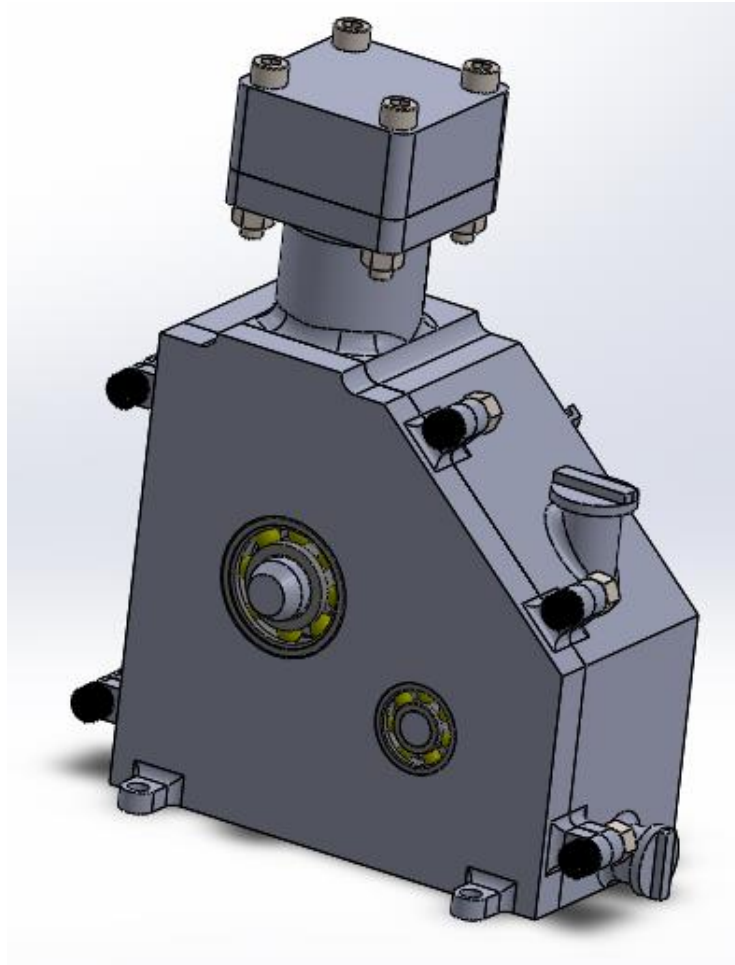
Figura 23 - Montagem do Bloco/Tampa/SLM



Fonte: Autoria própria

A figura 24 traz o motor sem a transparência das peças, mostrando mais claramente seu formato e partes.

Figura 24 - Montagem da Tampa/Bloco/SLM - sem transparência



Fonte: Autoria própria

Através do programa utilizado para elaborar os desenhos 3D foi possível estimar o peso da tampa e bloco montado. Com a densidade do Alumínio A390 sendo $2,73 \text{ g/cm}^3$ (TOTALMATERIA, 2017), a tampa e bloco juntos resultam em um peso aproximado de 1,5 kg.

5 CONCLUSÕES

Alta eficiência e baixo impacto ambiental são desejados no desenvolvimento de novas tecnologias. A Equipe Pato a Jato procura desenvolver tecnologia própria e/ou melhorar certas já existentes. O objetivo desse trabalho foi iniciar o desenvolvimento de um motor para protótipo de eficiência energética, para a Pato a Jato, projetando inicialmente o bloco desse motor em um ciclo mais eficiente, o qual foi escolhido o Ciclo Atkinson.

Partindo dos parâmetros estipulados inicialmente, como cilindrada e ciclo utilizado, foi estipulado um modelo do sistema de funcionamento que será utilizado no motor, baseado no motor EXLink. Com alguns componentes estimados e os principais pontos do SLM identificados, pode-se dar forma ao bloco com espessura da parede do cilindro projetada de 3,51 milímetros, que se mostrou um valor próximo ao utilizado em motores comerciais. Ainda houve a necessidade de deixar certo espaço interno no bloco, já que os componentes do SLM serão ainda projetados, variando do tamanho estimado neste trabalho.

Foi obtido um projeto de bloco de motor, que com a sequência de pesquisas e trabalhos será um dos componentes do motor da Equipe Pato a Jato. Observou-se uma dificuldade em achar referências a respeito do ciclo termodinâmico escolhido. Outra dificuldade foi não ter o projeto de outros componentes ao mesmo tempo, assim o projeto do bloco necessitará de ajustes posteriores. Este trabalho visa a obtenção de um motor mais eficiente, porém essa eficiência só será comprovada após a finalização do projeto de todos os componentes do motor, monta-lo e testa-lo na prática, o que resultará em outros trabalhos e pesquisas para a equipe.

REFERÊNCIAS

ATKINSON, J.: US-PAT No.336, 505 (1886).

ÁVILA, M. T., **Estudo do Motor de Combustão Interna do Ciclo Otto Movido a Etanol Previamente Vaporizado**. [S.L.: s.n.], 1994.

BOSCH, R., **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25 ed. [S.L.]: Blucher, 2004.

BRUNETTI, F., **Motores de Combustão Interna VOL.1**. São Paulo: Blucher, 2012.

BRUNETTI, F., **Motores de Combustão Interna VOL.2**. São Paulo: Blucher, 2012.

CAMP, Robert C.. **Benchmarking: o caminho da qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1993.

EPA., **Climate change: basic information. United States Environmental Protection Agency**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/climatechange/climate-change-basic-information&prev=search>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

EQUIPE PATO A JATO, **Pato a Jato**. Disponível em: <<http://www.pb.utfpr.edu.br/patoajato/>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

FLATOUT, **Taxa de compressão: qual a sua importância para os motores?**. Disponível em: <<https://www.flatout.com.br/taxa-de-compressao-qual-a-sua-importancia-para-os-motores/>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

FORD. **Ford Fusion**. Disponível em: <<https://www.ford.com.br/carros/fusion-hybrid/performance/?intcmp=vhp-new-features>>. Acesso em: 09 set. 2017.

FUSHIU, L., Development of performance and combustion system of Atkinson cycle internal combustion engine. **Science China**, [S.L], v. 57, n. 3, p. 471-479, dez. 2011.

GENGHINI, Paulo Rogério. **O processo da engenharia reversa, com a utilização de sistemas de digitalização óptico sem contato de superfície e sua aplicabilidade na indústria automotiva**, CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - 2013.

GONÇALVES, Pedro Manuel Ferreira. **Concepção de um motor de combustão interna para um veículo automóvel de extra-baixo consumo de combustível**. UNIVERSIDADE DE COIMBRA - 2008

HEYWOOD, J. B., **Internal Combustion Engine Fundamentals**. [S.L.: s.n.], 1988. 184-186 p.

HONDA. **Performing more work with less fuel**. Disponível em: <<http://world.honda.com/powerproducts-technology/exlink/>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

INFINITUM. **Planilhas de calculos**. Disponível em: <<http://www.infinitem.eng.br/downloads>>. Acesso em: 20 set. 2017.

MODIFIED ATKINSON. **Modified Atkinson Cycle Engine**. Disponível em: <<http://modifiedatkinsoncycleengine.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 09 set. 2017.

NOVA CANA, **Propriedades Físico-Químicas do etanol**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/propriedades-fisico-quimicas>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

PULKRABEK, W. W., **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine**. University of Wisconsin - Platterville: [s.n.], 2011.

REDDO, Alexandre Marchon. **Dimensionamento de equipamentos 1: Vasos de Pressão**. [S.L.: s.n.], 2008.

SAE. **Semi-solid metal processing of aluminum alloy a390**. Disponível em: <<http://papers.sae.org/2002-01-0394/>>. Acesso em: 15 out. 2017.

SCRIBD, **Case study on engine block material selection**. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/98724458/Case-Study-Engine-Block#>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

SCRIBD. **Tabela de materiais**. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/50862136/tabela-de-materiais>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

SKF. **Rolamentos rígidos de esfera**. Disponível em: <<http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=6203-2rsh>>. Acesso em: 10 out. 2017.

SKF. **Rolamentos rígidos de esfera**. Disponível em: <<http://www.skf.com/us/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=w%206000-2rs1>>. Acesso em: 10 out. 2017.

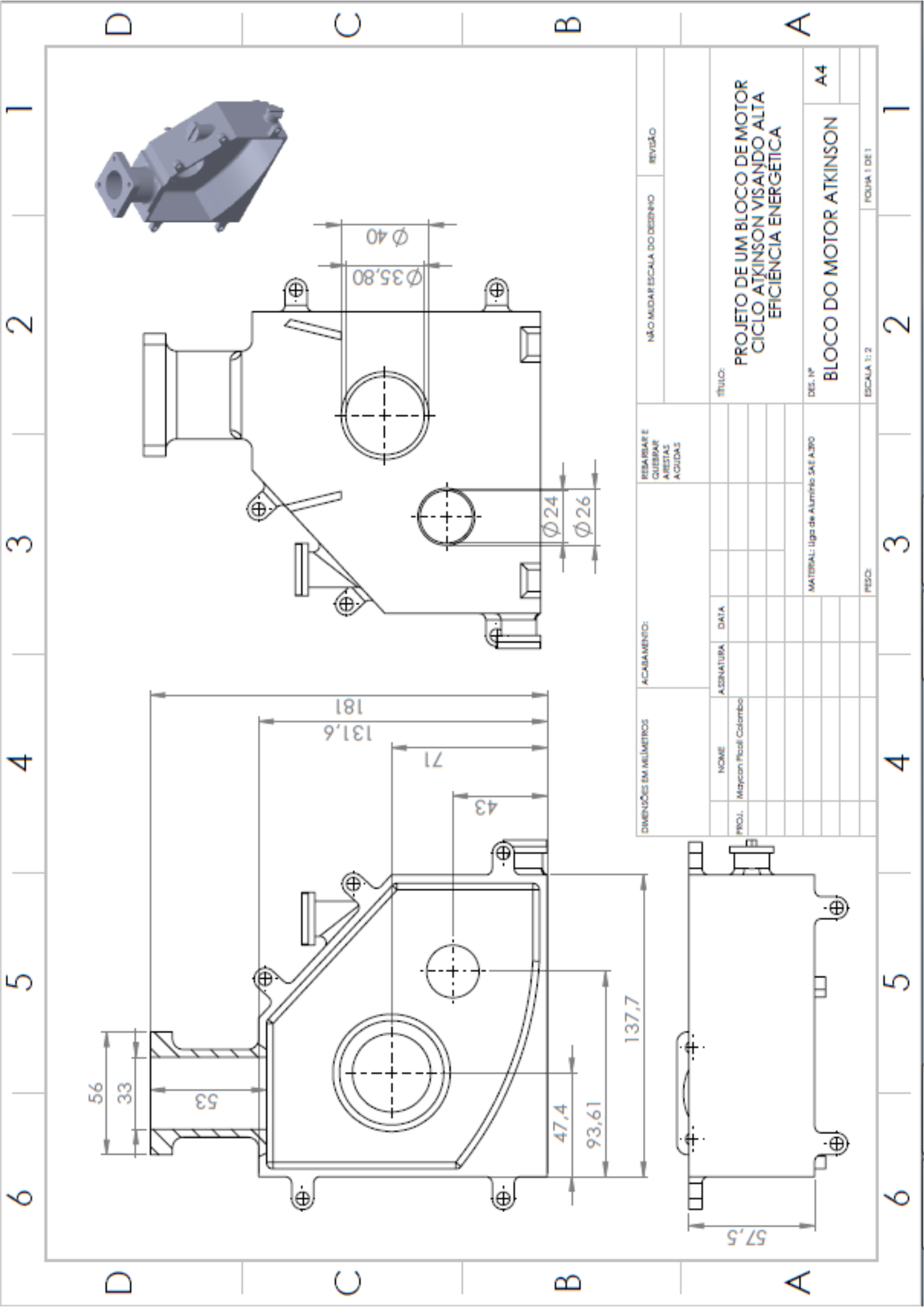
TOTALMATERIA. **Material details.** Disponível em: <<http://search.totalmateria.com/materialdetails/materialdetail?vkkey=3247632&keynum=2&type=4&hs=1>>. Acesso em: 05 out. 2017.

WATANABE, S. et al. Research on Extended Expansion General-Purpose Engine -- Theoretical Analysis of Multiple Linkage System and Improvement of Thermal Efficiency --. **Article of Honda R&D Technical Review**, [S.L], v. 18, n. 1, abr. 2016. Disponível em: <<https://www.hondarandd.jp/point.php?pid=313&lang=en>>. Acesso em: 20 out. 2016.

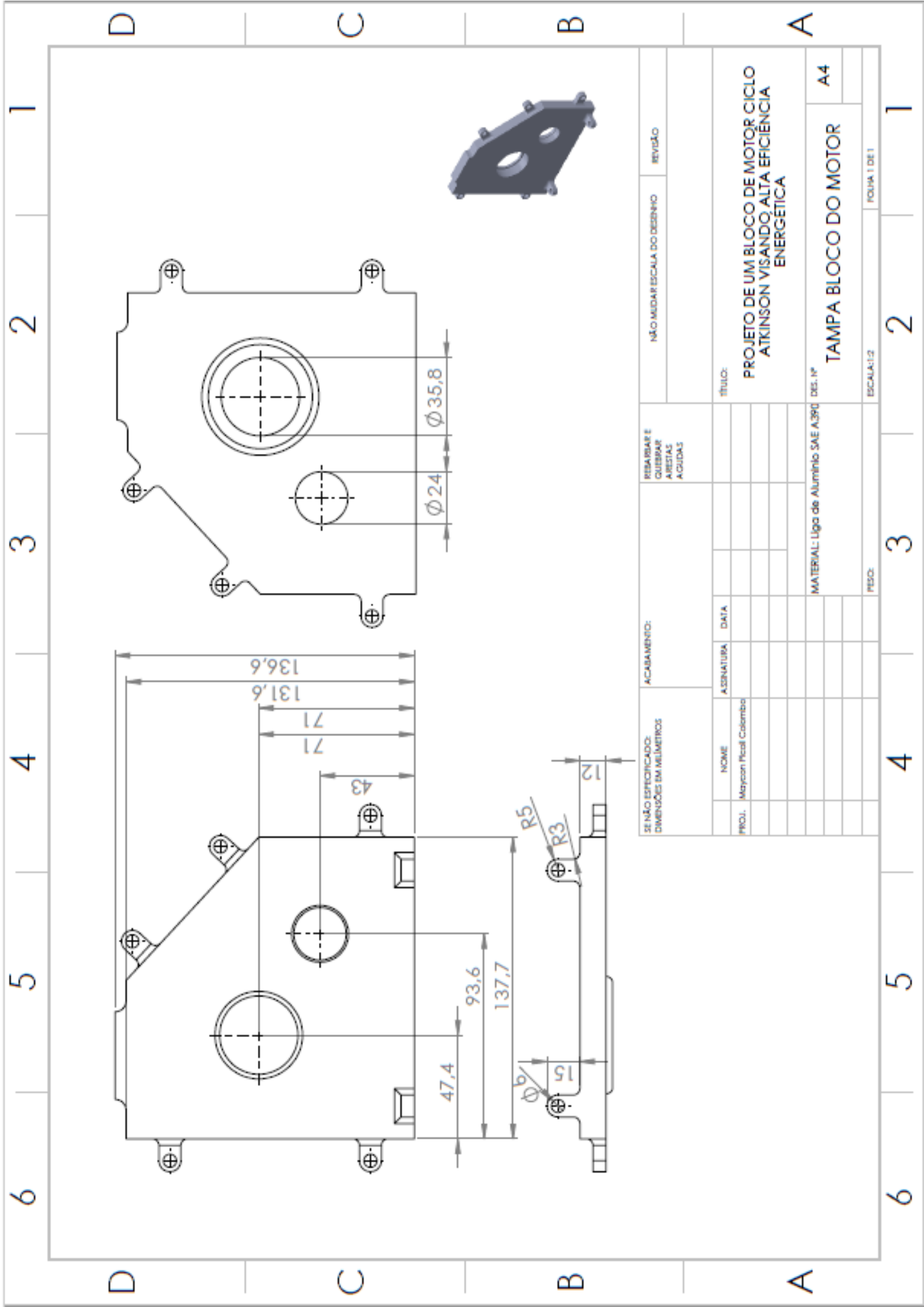
VAN WYLLEN, G.J., **Fundamentos da Termodinâmica**. 6 ed. [S.L.]: Blucher, 2003.

ZHAO, J., Research and application of over-expansion cycle (Atkinson and Miller) engines. **Applied Energy**, [S.L], v. 185, p. 300-319, nov. 2017.

APÊNDICE A – FOLHAS DE PROJETO



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MEDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
NOME	ASSINATURA	DATA							
PROJ.: Maycon Picoli Colombo									
TÍTULO:			PROJETO DE UM BLOCO DE MOTOR CICLO ATKINSON VISANDO ALTA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA						
MATERIAL: Liga de Alumínio SAE A390			DES. Nº		BLOCO DO MOTOR ATKINSON		A4		
FECH.			ESCALA 1:2		FOLHA 1 DE 1				



D

C

B

A

6 5 4 3 2 1

D

C

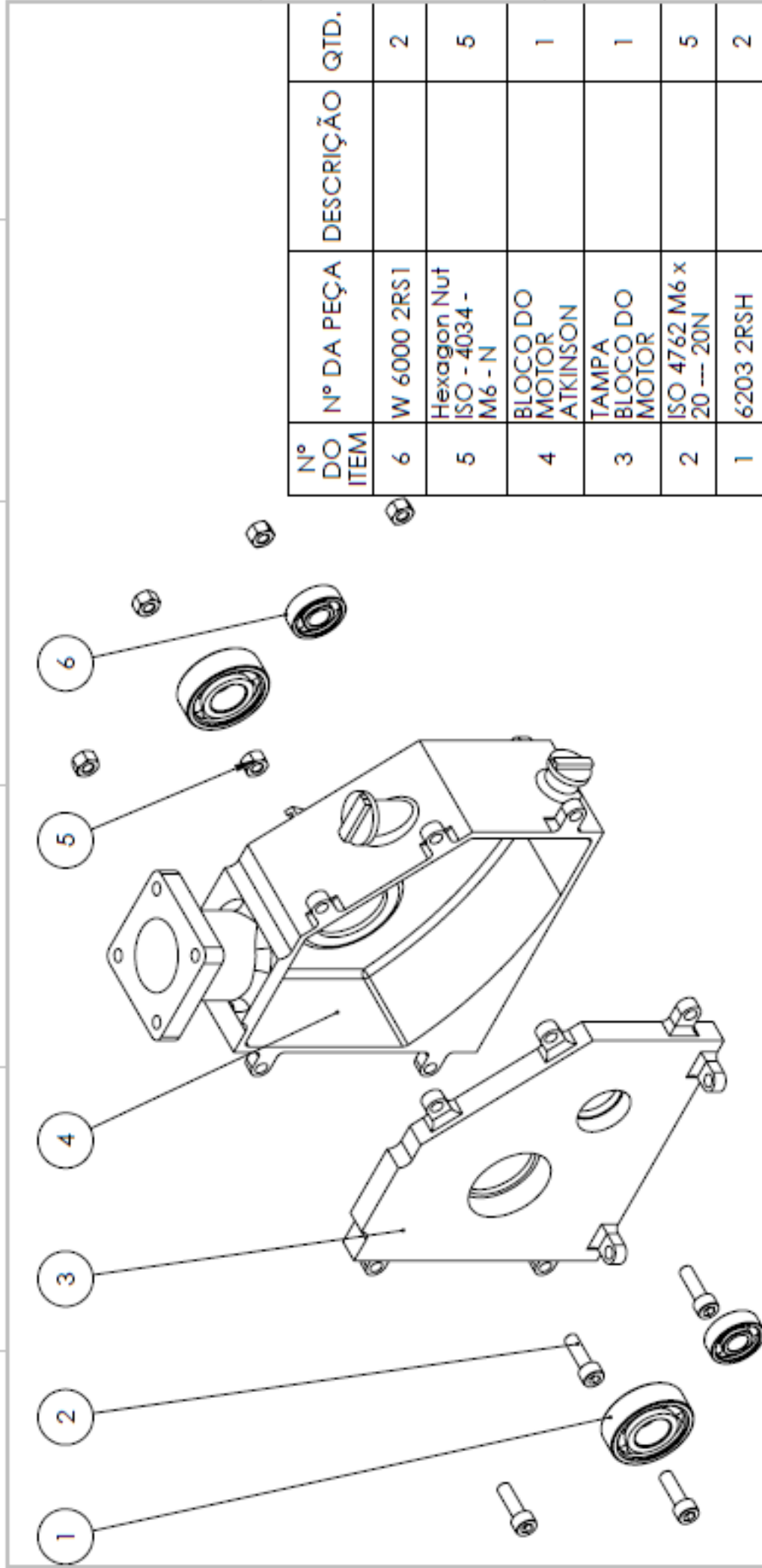
B

A

6 5 4 3 2 1

SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARISTAS ACUTAS		NÃO MEDIR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
NOME	ASSINATURA	DATA	TÍTULO:						
PROJ. Maycon Pissol Colombo			PROJETO DE UM BLOCO DE MOTOR CICLO ATKINSON VISANDO ALTA EFICIENCIA ENERGETICA						
			MATERIAL: Liga de Alumínio SAE A390		DES. Nº		A4		
			PESO:		ESCALA: 1:2		TAMPA BLOCO DO MOTOR		
					FOUR 1 DE 1				

6 5 4 3 2 1



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
6	W 6000 2RS1		2
5	Hexagon Nut ISO - 4034 - M6 - N		5
4	BLOCO DO MOTOR ATKINSON		1
3	TAMPA BLOCO DO MOTOR		1
2	ISO 4762 M6 x 20 --- 20N		5
1	6203 2RSH		2

SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS	ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO
	NOME	ASSINATURA		DATA		
PROJ. Maycon Pissil Colombo						TÍTULO: PROJETO DE UM BLOCO DE MOTOR CICLO ATKINSON VISANDO ALTA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
						DES. Nº Montagem do Bloco
			MATERIAL:			A4
			PESO:			
ESCALA: 1:2,5				FOLHA 1 DE 1		

D C B A

6 5 4 3 2 1