

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

LUIDGI POSTAI

PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM ACIONAMENTO COMUM À TRÊS  
MODELOS DE CARBURADORES DUPLOS PARA MOTOR VW BOXER

JARAGUÁ DO SUL

AGOSTO DE 2024

LUIDGI POSTAI

PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM ACIONAMENTO COMUM À TRÊS  
MODELOS DE CARBURADORES DUPLOS PARA MOTOR VW BOXER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Alexandre Galiotto, Dr.

JARAGUÁ DO SUL

AGOSTO DE 2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

Postai, Luidgi

Processo de desenvolvimento de um acionamento comum  
à três modelos de carburadores duplos para motor VW Boxer  
/ Luidgi Postai ; orientação de Alexandre Galiotto.  
Jaraguá do Sul, SC, 2024.

60 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -  
Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .  
Inclui Referências.

1. Desenvolvimento de produto. 2. Acionamento de  
carburador. 3. Motor Boxer. I. Galiotto, Alexandre. II.  
Instituto Federal de Santa Catarina. . III. Título.

LUIDGI POSTAI

PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM ACIONAMENTO COMUM À TRÊS  
MODELOS DE CARBURADORES DUPLOS PARA MOTOR VW BOXER

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Jaraguá do Sul, 14 de agosto de 2024.

---

Prof. Alexandre Galiotto, Dr.  
Orientador  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

---

Prof. Edson Sidnei Maciel Teixeira, Dr.  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

---

Prof. Eduardo Cardoso Castaldo, Me.  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a Deus, a quem busco tanto em felicidades quanto dificuldades.

Agradeço a meus pais pela educação, incentivo para estudar e toda paciência que tiveram e orientação que me deram.

Agradeço a conclusão do projeto principalmente aos professores Alexandre Galiotto e Edson Sidnei Maciel Teixeira pela orientação e paciência no desenvolvimento.

Agradeço a toda a equipe do IFSC Jaraguá do Sul - Rau pelo suporte na elaboração e desenvolvimento do protótipo e disponibilização dos laboratórios.

## RESUMO

Essa monografia demonstra o processo de desenvolvimento de produto de um sistema de acionamento de carburador Weber 48 em motor Boxer atendendo o funcionamento com base no sistema inicial igual aos modelos Solex 32 e 40. A concepção de produto resultou no acionamento total do carburador através de um sistema de transmissão de movimento desenvolvido. A análise da concepção final do produto no desenvolvimento foi identificada através da análise dos movimentos bidimensionais por *software* Linkage chegando ao resultado funcional de haste com 82mm. Foram identificadas diversas melhorias do projeto na concepção final no desenvolvimento.

Palavras-Chave: Desenvolvimento de produto. Acionamento de carburador. Motor Boxer.

## **ABSTRACT**

This monograph demonstrates the product development process of a Weber 48 carburetor drive system in a Boxer engine, designed to operate based on the initial system equal to the Solex 32 and 40 models. The product conception resulted in the complete activation of the carburetor through a developed motion transmission system. The analysis of the final design of the product in development was identified through the analysis of two-dimensional movements using Linkage software, reaching the functional result of an 82mm rod. Several projects improvements were identified in the final design during development phase.

Keywords: Product development. Carburetor Drive. Boxer engine.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de desenvolvimento de produtos .....	14
Figura 2 - Atividades nas diferentes etapas do desenvolvimento de produto .....	14
Figura 3 - Atividades em diferentes etapas do produto e desenvolvimento .....	15
Figura 4 - Principais atividades macro fases no desenvolvimento .....	16
Figura 5 - Casa da Qualidade ou matriz QFD .....	18
Figura 6 - Três Critérios de Equilíbrio.....	20
Figura 7 - Fases do <i>Design Thinking</i> .....	20
Figura 8 – Funcionamento de Carburador Simples.....	22
Figura 9 - Propaganda VW dupla carburação .....	23
Figura 10 - Funcionamento das borboletas carburador dois estágios diferenciado ..	24
Figura 11 - Desenho esquemático do carburador solex 28 PSI .....	25
Figura 12 - Sistema de alavanca pedal-carburador.....	26
Figura 13 - Sistema de admissão motor da VW Variant.....	26
Figura 14 - Mecanismo espacial de suspensão .....	28
Figura 15 - GDL de um lápis em folha de papel .....	29
Figura 16 - Elos em mecanismos .....	30
Figura 17 - Mecanismo de levantamento de peso.....	31
Figura 18 - Carburadores Solex 32(A), Solex 40(B) e Weber 48(C) .....	32
Figura 19 - Acionamento inicial do movimento do carburador.....	32
Figura 20 - Acionamento carburador modelo Solex 32 .....	33
Figura 21 - Acionamento de carburador modelo Weber.....	34
Figura 22 - Proposta de desenvolvimento de produto.....	35
Figura 23 – Carburadores acoplados nos coletores de admissão.....	38
Figura 24 - Análise de movimento e posição de carburadores Weber(A) e Solex(B)	38
Figura 25 - montagem do sistema para a medição dos deslocamentos verticais .....	39
Figura 26 - Análise de concepção de dispositivo para prototipagem inicial .....	41
Figura 27 - Concepção inicial do conjunto de transmissão .....	42
Figura 28 - Impossibilidade de encaixe inicial .....	43
Figura 29 - Análise de rotação funcionamento protótipo .....	43
Figura 30 - Análise de acionamento com conexões esféricas.....	44
Figura 31 - Acionamento simulado do pedal com conjunto inicial.....	44
Figura 32 – Análise de movimento alavanca angular.....	45
Figura 33 – Principais pontos de conexão no sistema .....	47
Figura 34 - Lista de componentes estruturados no <i>Software</i> para análise.....	48
Figura 35 – Vistas superior e frontal do conjunto .....	49
Figura 36 - Análise do ciclo com acionamento total do conjunto.....	50
Figura 37 - Concepção final do produto .....	50

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 Objetivos.....	11
1.1.1 Objetivo geral.....	11
1.1.2 Objetivos específicos: .....	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 Processo de desenvolvimento de produtos .....	12
2.2 <i>Design Thinking</i> .....	19
2.3 Introdução a alimentação de motores.....	21
2.4 Carburadores.....	21
2.4.1 Carburador convencional.....	21
2.4.2 Dupla carburação .....	22
2.4.3 Carburadores de dois estágios .....	24
2.4.4 Carburadores em motores Volkswagen Boxer .....	25
2.5 Cinemática e dinâmica dos mecanismos.....	27
3 DESENVOLVIMENTO .....	32
3.1 Contexto do problema real.....	32
3.2 Proposta de processo de desenvolvimento de produto .....	34
3.3 Análise funcional e proposta inicial de acionamento .....	35
3.3 Prototipagem, montagem e avaliação funcional. ....	41
4 ANÁLISE DE MOVIMENTO DO PROTÓTIPO E RESULTADOS .....	47
5 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	54
APÊNDICE A – DESENHO 001 - CILINDRO - COMPONENTE 08 .....	56
APÊNDICE B – DESENHO 002 - COMPONENTES 04 E 12.....	57
APÊNDICE C – DESENHO 003 - COMPONENTE 01 .....	58

## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação de atividades de desenvolvimento de produtos no Brasil geralmente foca em adaptações e melhorias de produtos existentes. Segundo Consoni e Quadros Carvalho (2001), a indústria automotiva nacional precisa adaptar projetos desenvolvidos em outros países para as realidades locais de produção, o que demonstra a crescente capacidade do país em desenvolver carros populares.

O desenvolvimento de produtos tem importância nas empresas em gerar oportunidades no mercado competitivo em constante inovação propondo novas formas de atender as necessidades de clientes através de pesquisa e análise das exigências requeridas, melhorando os processos internos e conseqüentemente o produto.

Um exemplo é o automóvel Volkswagen Fusca que foi o primeiro produto desenvolvido pela empresa alemã em 1938 sendo produzido até 2019 (NARISHKIN, 2020) e sendo um dos carros mais vendidos do mundo com mais de 15 milhões de unidades ao fim de 1972 (SOLOMON, 2018).

No Brasil o automóvel começou a ser comercializado em 1950 com peças da Alemanha montadas pela Brasmotor. Apenas em 1953 foi comercializado pela montadora Volkswagen (SILVA, 2022). Em 1959 teve o início da produção do automóvel no Brasil sendo fabricado com peças nacionais.

O motor Boxer foi escolhido para utilização nos Volkswagen Fusca, sendo basicamente um motor em “V” em disposição plana, utilizando um mesmo virabrequim, mas cada cilindro é um pouco desalinhado em contrapartida ao cilindro oposto. Tendo vantagem de configuração mais curta e larga e centro de gravidade mais baixo, o modelo Boxer tem funcionamento com menos vibrações. Quando funcionando, os pistões operam similar a um boxeador tocando as luvas do adversário antes da luta, caracterizando a origem do apelido (ENOXITA, 2021).

Avaliando oportunidades de modificação do produto, foi verificado que o acoplamento de acionamento do carburador simples duplo dos veículos Volkswagen Fusca tem a condição de utilização limitada a apenas um modelo de produto, precisando ao trocar o modelo de carburador um acoplamento totalmente novo.

A proposta nesse projeto é desenvolver um produto que tenha a capacidade de atender a três modelos de carburadores existentes no mercado nacional para que, caso surja a necessidade de fazer a troca, seja possível utilizar o mesmo acoplamento

sem necessidade de modificação adicional.

Para desenvolver um acoplamento que atenda aos requisitos comuns e permita a troca entre os modelos de carburadores, é preciso fazer a análise conceitual do projeto, avaliando as limitações de movimentação dos acoplamentos existentes.

Partindo de dados de avaliação de projeto é possível determinar as oportunidades e limitações existentes, através de uma análise morfológica do produto encontrando as melhores condições que atendam aos requisitos do cliente através da casa da qualidade (QFD).

Através das condições que melhor atendam às necessidades do cliente é possível desenvolver um protótipo para efetuar os testes de montagem e funcionamento do componente fazendo a certificação e podendo executar melhorias no produto antes de disponibilizar ao mercado com o lançamento do produto em plataformas digitais.

Assim, a pergunta de pesquisa deste trabalho pode ser indicada como: “Qual é o processo de desenvolvimento de um único acionamento para três diferentes modelos de carburadores duplos para motor Volkswagen boxer? ”

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Demonstrar o processo de desenvolvimento de um acionamento de dupla carburação para motor VW boxer com possibilidade de uso em três modelos de carburador: Weber 48, Solex 40 e Solex 32.

### **1.1.2 Objetivos específicos:**

- Entender o problema e levantar informações através de coleta de dados que compreendam o acionamento de carburadores do motor Boxer;
- Propor uma sequência de processo de desenvolvimento para a solução do problema de acionamento de carburadores duplos;
- Realizar a análise funcional prática de sistemas de carburação dupla para motor boxer e propor um acionamento comum a eles;
- Desenvolver um protótipo, realizar a montagem real em modelos de carburadores duplos e avaliar a utilização proposta através de análise de movimento do conjunto que foi montado.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Processo de desenvolvimento de produtos

Conforme Rozenfeld *et al.* (2006), o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) consiste na busca de especificações de projeto de produto e o processo de fabricação competitivos, considerando as necessidades do mercado, as restrições e possibilidades tecnológicas e o acompanhamento do produto após o lançamento com o estudo do ciclo de vida deste.

Para Back *et al.* (2008) o desenvolvimento de produtos é um conceito amplo, sendo um processo de transformação de informações fundamentais para identificação da demanda, produção e uso do produto. Utilizando o desenvolvimento integrado de produto os requisitos, restrições e soluções durante o processo devam ser conhecidos ou pensados simultaneamente.

Baxter (2011) traz que o desenvolvimento de novos produtos é a solução de compromissos que envolve diversos interesses e habilidades que devem ser atendidos. No mínimo deve ser realizado o compromisso entre os fatores que adicionam valor, como aumento de funcionalidade e qualidade e os que agregam custo ao produto como tempo de projeto e o custo dos componentes.

O PDP é a interface entre empresa e o mercado, sendo necessário identificar ou prever as necessidades das partes interessadas e buscar soluções para atender suas exigências (ROZENFELD *et al.*,2006).

Para Rozenfeld *et al.* (2006) os projetos para atender as necessidades podem ser divididos em três tipos: projetos radicais, projetos plataforma e projetos incrementais:

- Os projetos radicais são aqueles com grande modificação no projeto do produto ou processo que já funciona, normalmente com incorporação de novas tecnologias e materiais.
- Os projetos plataforma realizam alterações importantes no projeto do produto e no processo, apresentando novos sistemas de solução para o cliente, sem a implementação de novas tecnologias e materiais.
- Os projetos incrementais são os que derivam, misturam ou sofrem pequenas modificações em relação a projetos já executados.

Back *et al.* (2008) explora os conceitos de produtos, classificando-os em

variantes de produtos existentes, inovativos e criativos:

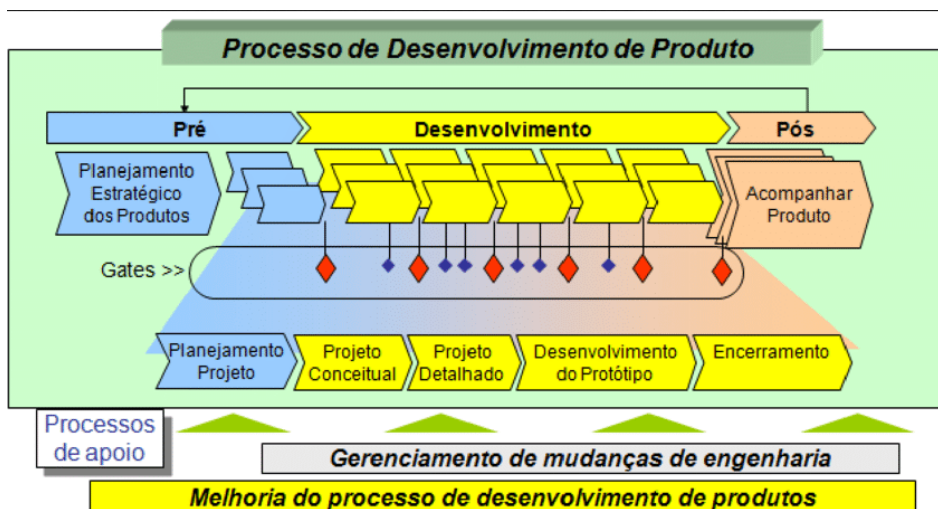
- Variantes de produtos existentes: considerado formas novas, versões modificadas, extensões de linha ou até novas embalagens de produtos existentes
- Inovativos: geração de produtos de alto valor agregado decorrente de modificações do produto já existente. Caracterizado por maior custo de pesquisa e exigindo maior esforço no desenvolvimento.
- Criativos: normalmente considerados produtos com uma existência nova, apresentando altos custos de pesquisa e tempo de desenvolvimento ele pode ser de risco elevado, mas também gerar novos paradigmas, potencializando novos campos industriais.

Baxter (2011) não traz tipos de projeto, mas sim a análise de risco inicial que deve ser tomada ao iniciar um projeto com a utilização de uma estrutura para o gerenciamento do projeto de produto em que se utilizam quadros denominados ferramentas toolkit de projetos, delimitando as principais etapas de desenvolvimento de produto que englobam desde formas para analisar a estratégia de inovação de uma empresa, até técnicas para avaliar o fracasso de produtos ou reduzir custos.

Nas empresas ocorre a necessidade de um modelo integrado de desenvolvimento de produto para melhor desenvoltura do processo devido a muitos setores da empresa trabalharem com suas limitações sobre o projeto (ROZENFELD *et al.*,2006).

Conforme proposto por Rozenfeld *et al.* (2006) o modelo de desenvolvimento de produto genérico decorre de três macrofases sendo pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. As atividades em pós e pré desenvolvimento são genéricas e normalmente podem ser aplicadas sem variação significativa em empresas de diversos segmentos, entretanto as atividades de desenvolvimento são específicas devido a individualidade tecnológica dos produtos. Os macro fluxos do PDP podem ser vistos na Figura 1.

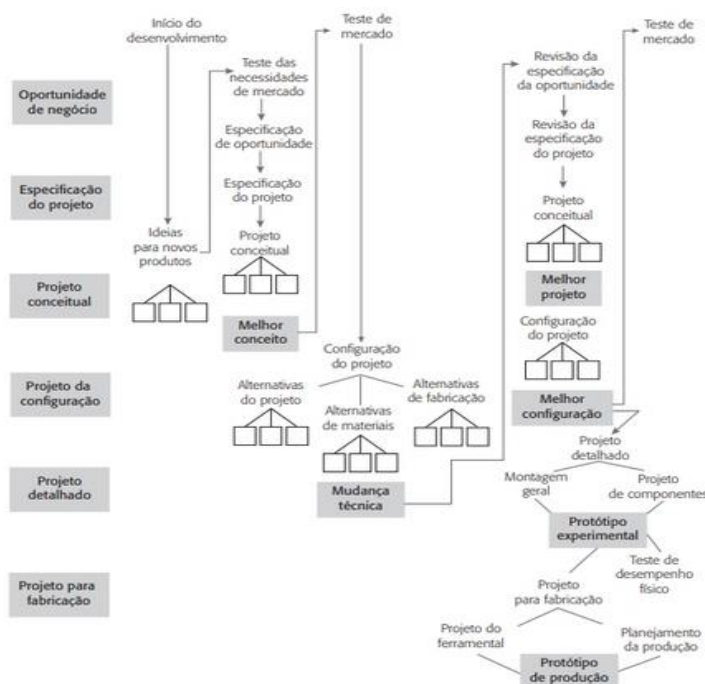
Figura 1 - Processo de desenvolvimento de produtos



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

Conforme modelo apresentado por Baxter (2011) as atividades de desenvolvimento de produto podem ser divididas em 4 etapas, sendo ideias preliminares, especificações, configurações e produção. As atividades nas etapas normalmente não seguem um fluxo único, sendo representadas por progressos e retornos devido a interações entre as atividades impactam umas a outras, essa interação é visível na Figura 2.

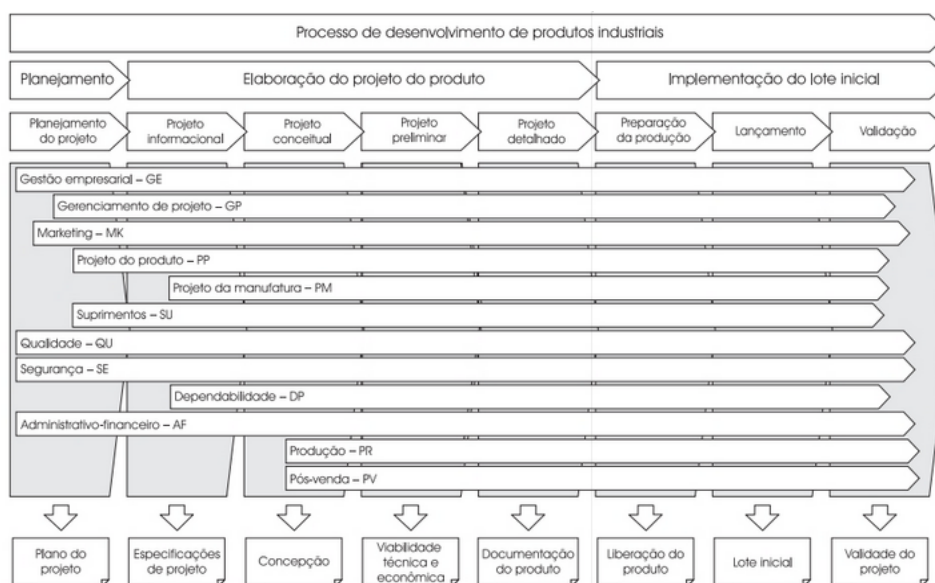
Figura 2 - Atividades nas diferentes etapas do desenvolvimento de produto



Fonte: Baxter (2011)

Para Back *et al.* (2008) o projeto de desenvolvimento de produto é composto de 3 macro fases sendo: planejamento, elaboração do projeto do produto e implementação de lote inicial. Destas macrofases são decompostas em 8 fases sendo que ao fim de cada fase ocorre avaliação do resultado obtido autorizando a passagem para fase seguinte, ocorre a determinação de atividades que são desdobradas em tarefas. A Figura 3 demonstra o processo de desenvolvimento proposto.

Figura 3 - Atividades em diferentes etapas do produto e desenvolvimento



Fonte: Back *et al.* (2008)

Para Rozenfeld *et al.* (2006) a macro fase de pré-desenvolvimento engloba o planejamento do projeto. Nele consiste toda a análise antes de se iniciar o desenvolvimento onde se enquadra o escopo do produto e projeto, os recursos, o custo e tempo de execução. É a fase que representa o principal impacto no custo do projeto de aproximadamente 85%, pois a cada evolução nas atividades o custo de modificações se torna exponencial. Com todas as avaliações estando concluídas ocorre a análise das escolhas, fase conhecida como *gate* para prosseguir ao desenvolvimento.

Ainda segundo Rozenfeld *et al.* (2006), no desenvolvimento pelo modelo ocorre a divisão em fases na seguinte sequência:

- Projeto informacional define as especificações que se deseja ao final do processo.
- Projeto conceitual, que gera diversas soluções que são estudadas para

determinar qual a melhor opção.

- Projeto detalhado, que resulta no detalhamento e especificações finais da concepção escolhida sendo transformada em protótipo que é testado podendo ser aprovado e homologado com as especificações finais congeladas.
- Preparação da produção em que são avaliados os resultados dos lotes pilotos para certificar o produto, realizado através de testes com produtos na linha de produção.
- Lançamento do produto em que desenvolve e lança os documentos necessários para finalizar o processo de desenvolvimento de produtos e liberar as atividades pós-desenvolvimento. As principais atividades do macro fases podem ser visualizadas na Figura 4.

Figura 4 - Principais atividades macro fases no desenvolvimento



Fonte: Rozenfeld *et al.*(2006)

A fase de ideias preliminares decorre da exploração das primeiras ideias no mercado e apresentação dessas ideias a um grupo de consumidores ou vendedores em potencial com auxílio de um simples desenho de apresentação, sendo aprovado passa para a etapa de especificações (BAXTER, 2011).

Ainda segundo Baxter (2011) a especificação de oportunidade contém uma ideia principal, que é expressa de forma coerente e resumida determinada como benefício básico, que representa a principal vantagem perceptível ao consumidor ao adquirir o produto em relação a concorrentes, pela variação dos produtos o benefício básico relaciona com vários tipos de variáveis dependendo do segmento.

Desenvolver princípios de projeto para novos produtos é o objetivo do projeto

conceitual. Ele deve mostrar como o novo produto deve ser feito para atingir as exigências básicas. Para se ter conhecimento das exigências é necessário que se tenha um conhecimento sobre as necessidades do consumidor e dos produtos no mercado determinado anteriormente na análise de oportunidade (BAXTER, 2011).

Para Baxter (2011) a fase final do projeto conceitual ocorre após a geração dos conceitos através da seleção de conceito que é realizado através do processo de convergência controlada, onde um conjunto dos conceitos gerados é reunido sistematicamente em apenas um conceito selecionado. Com a escolha do melhor conceito é iniciada a terceira fase de configurações.

Iniciando com o segundo teste no mercado, na fase de configuração normalmente são identificadas mudanças técnicas ou alternativas do projeto que podem levar a retorno a etapas anteriores para análise das mudanças, o que pode ocasionar revisões na especificação do projeto e do projeto conceitual sendo necessário uma nova pesquisa de mercado, que se aprovado inicia a configuração do produto (BAXTER, 2011).

A fase de produção gera o detalhamento do produto e seus componentes por desenhos de fabricação e a construção de protótipo que caso aprovado encerra o processo de desenvolvimento com a liberação do produto para o mercado (BAXTER, 2011).

Back *et al.* (2008) apresenta que o planejamento do projeto é a fase 1, através do plano estratégico de produtos é gerado o termo de abertura de projeto, seguindo para a identificação de todo o pessoal envolvido até as partes interessadas, declaração do escopo englobando justificativa do projeto, o que será desenvolvido e as saídas esperadas. O processo é concluído com uma análise de risco para determinação da equipe gestora do projeto sendo este liberado para as etapas de elaboração do projeto.

Da mesma forma, Back *et al.* (2008) estabelece que na fase de elaboração do projeto de produto ocorrem as fases 2, 3, 4 e 5, sendo desde o projeto informacional, passando pelo projeto conceitual e projeto preliminar até chegar ao projeto detalhado. Nestas fases são englobadas todas as especificações do projeto e produto, desde os requisitos do produto no projeto informacional até a fabricação do protótipo e toda documentação do produto no projeto detalhado. Sendo então realizada a análise econômica e financeira do projeto para implementação do lote inicial.

Ainda segundo Back *et al.* (2008), a implementação do lote inicial é composta

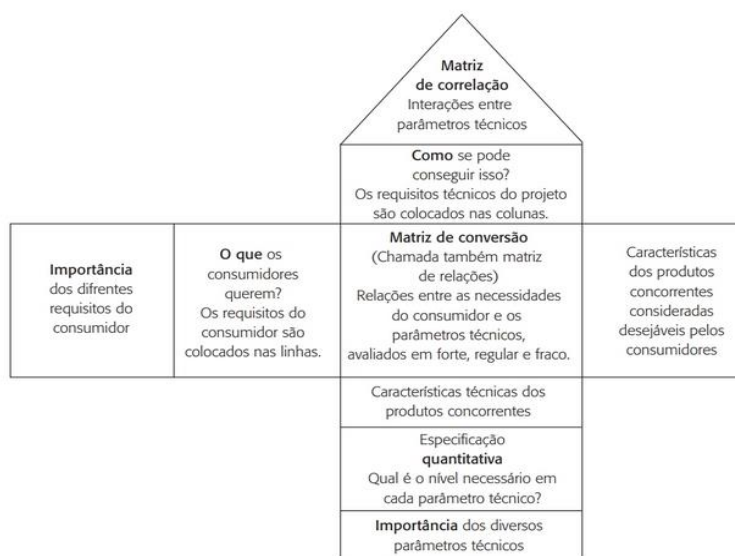
das fases 5,7 e 8 sendo preparação da produção, lançamento e validação. São realizadas as ações desde orientação a equipe, elaboração de documentação e testes de produção, produção de lote inicial e finalmente a validação do projeto com usuários e encerramento do projeto.

Durante o desenvolvimento existem diversas técnicas para auxiliar a equipe para definição de especificações do produto, dentre elas o QFD (*Quality Function Deployment*) ou Matriz da Casa da Qualidade auxilia no consenso entre as diferentes definições sobre o produto, estabelecendo relações entre requisitos do projeto e necessidades do cliente (ROZENFELD *et al.*,2006).

Conforme Back *et al.* (2008), o método QFD, além de apoiar a identificação, registro e visão das necessidades dos usuários, é usado no processamento e transformações das mesmas, sucessivamente em requisitos de usuários, requisitos de projeto, priorização dos requisitos de projeto e sua transformação final em especificações de projeto.

Primeiramente se desenvolve uma matriz para converter as características desejadas pelos consumidores nos atributos técnicos do produto. Após, os produtos concorrentes são analisados e ordenados quanto a satisfação dos consumidores e o desempenho técnico. Em seguida fixam metas quantitativas para cada atributo técnico do produto que por fim são priorizadas com o intuito de orientar os esforços do projeto. Um exemplo de casa de qualidade pode ser visualizado na Figura 5 (BAXTER,2011)

Figura 5 - Casa da Qualidade ou matriz QFD



Fonte: Baxter (2011)

## 2.2 *Design Thinking*

Apresentado de forma diferente em relação às metodologias tradicionais de PDP, o *Design Thinking* é um método de desenvolvimento que trabalha a “melhor forma” de percorrer o processo. Pensando que as soluções para o problema sejam o caminho para inspiração e a implementação para entregar a solução ao mercado (BROWN, 2022).

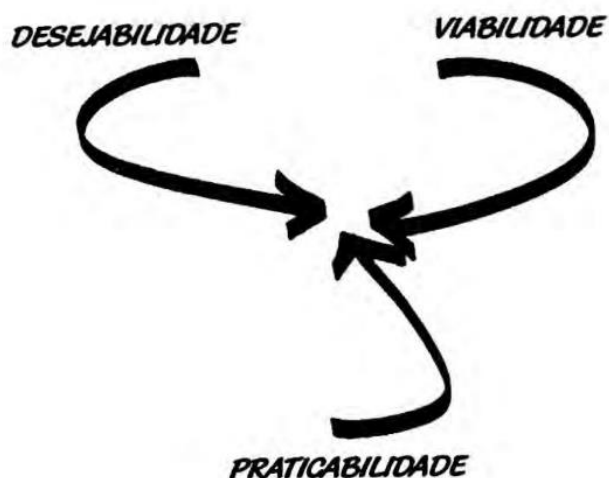
O *Design Thinking* é uma ferramenta que realiza a interação de elementos técnicos disponíveis com necessidades humanas considerando restrições práticas a fim de integrar o ponto de vista humano com a tecnologia de forma economicamente viável. Sendo uma proposta baseada na capacidade de ser intuitivo, reconhecer ideias e desenvolver padrões (BROWN, 2022).

Conforme Brown (2022) os princípios da metodologia são aplicáveis em vários tipos de organizações, não sendo limitado apenas aquelas que desenvolvem novos produtos a ofertar. Um designer pode melhorar um produto já existente e com uma equipe solucionar problemas mais complexos.

A estruturação e até a admissão de forma entusiasmada das restrições é o que constitui os fundamentos do *Design Thinking*, segundo Brown (2022) a primeira etapa normalmente é a identificação das restrições e os critérios para a sua avaliação. Conforme a Figura 6, as restrições podem ser visualizadas de acordo com três critérios que devem ser equilibrados harmoniosamente na solução do problema:

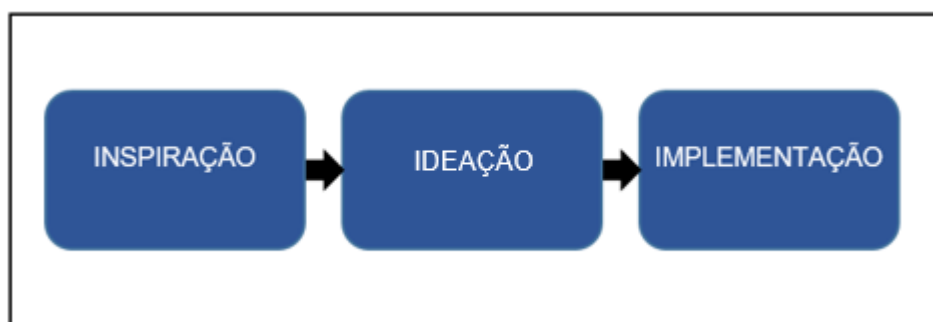
- Praticabilidade (o que é funcionalmente possível num futuro próximo);
- Viabilidade (o que provavelmente se tornará parte de um modelo de negócios sustentável);
- Desejabilidade (o que faz sentido para as pessoas);

Figura 6 - Três Critérios de Equilíbrio



Fonte: Brown (2022)

O *Design Thinking* passa por três pontos principais que são a inspiração, idealização e implementação. A inspiração sendo uma situação que incentiva a busca da solução, a idealização são formas de gerar e testar ideias que vão levar a solução do problema e por fim a implementação que é o modo que o produto chega ao mercado. As fases do *Design Thinking* são sequenciais como demonstrado na Figura 7.

Figura 7 - Fases do *Design Thinking*

Fonte: Adaptado de Brown (2022)

O estágio de inspiração precisa de um grupo pequeno e focado, sendo necessário definir o quadro de referência geral ou conceito básico. O intuito de uma equipe pequena é obter a maior liberdade criativa pela comunicação fácil e aberta entre os participantes (BROWN, 2022).

Para Brown (2022) nos processos de projetos, os projetistas que utilizam a metodologia *Design Thinking* estão aprendendo a navegar entre as diversas restrições com criatividade, pois ocorre a mudança do foco de problema em projeto. Isso permite

que percepções sejam coletadas de todas formas possíveis. O principal foco é Empatizar com o usuário e Definir o problema.

Na ideação são construídos protótipos para desenvolver as ideias e assegurar que estas incorporem os elementos funcionais e emocionais necessários para o atendimento ao mercado. Conforme o projeto avança vai sendo diminuído o número de protótipos e vai sendo alcançado uma maior resolução nos restantes, avançando ao um objeto para implementação (BROWN, 2022).

A implementação é transmitir a ideia de um projeto com clareza suficiente para que este seja aceito por toda a empresa e equipe, demonstrando funcionalidade no mercado-alvo. A prototipagem se mostra essencial nesse estágio pois durante a aproximação do fim do projeto estão sendo desenvolvidos protótipos iguais ou muito similares ao produto ou serviço final (BROWN, 2022).

### **2.3 Introdução a alimentação de motores**

Os motores ciclo Otto são alimentados por combustível através de um carburador ou de um sistema de injeção de combustível. O carburador ainda é utilizado em aplicações de baixa potência nas quais as limitações de emissão de poluentes são menos restritivas do que em aplicações automotivas (FRANCO, 2018).

A injeção de combustível, além de mais precisa, permite melhores resultados no controle de emissões, podendo ocorrer no coletor de admissão ou diretamente na câmara de combustão (*GDI – Gasoline Direct Injection*) (FRANCO, 2018).

### **2.4 Carburadores**

#### **2.4.1 Carburador convencional**

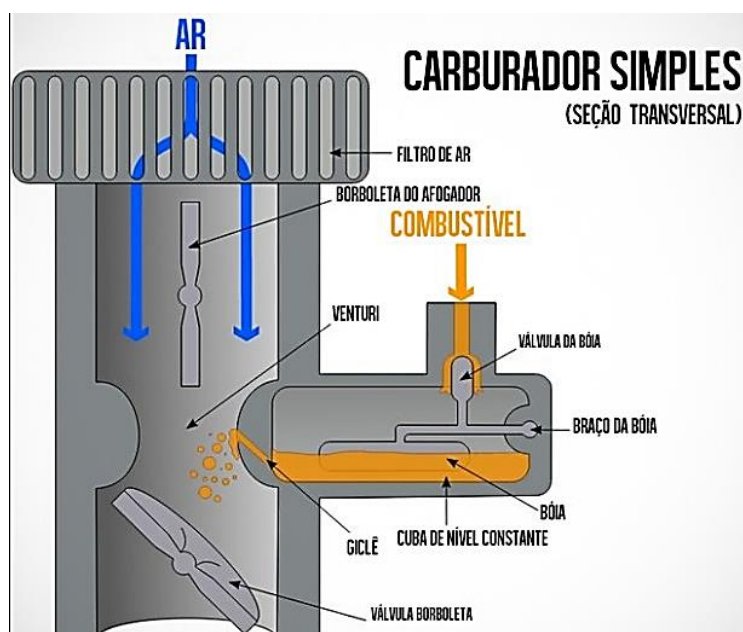
Conforme Capelli (2010) o carburador convencional serve como ponto de partida para entender como funciona a alimentação de combustível no motor. Com a necessidade do combustível não poder chegar no tempo de admissão na forma líquida para o funcionamento do motor com uma explosão controlada é preciso que seja equilibrada a quantidade da mistura estequiométrica de ar com combustível.

A mistura estequiométrica não pode ser constante pois precisa ser regulada durante o funcionamento do motor, como no processo de partida em que precisa de

maior esforço devido ao atrito das partes mecânicas antes da expansão pelo calor (CAPELLI,2010).

De acordo com Capelli (2010), o funcionamento de um carburador é baseado no princípio do efeito Venturi. A Figura 8 ilustra o funcionamento de um carburador simples, onde é possível observar os principais componentes e seu papel no processo de mistura de ar e combustível. O giclê, um componente crucial do carburador, está conectado ao cilindro de passagem de ar e à cuba de nível constante que contém o combustível. Quando o ar flui através do cilindro, a diminuição de pressão causada pelo efeito Venturi suga o combustível através do giclê, misturando-o com o ar. Essa mistura ar-combustível é então direcionada ao motor para a combustão.

Figura 8 – Funcionamento de Carburador Simples



Fonte: Contesini (2014)

#### 2.4.2 Dupla carburação

Em 1975, quando a VW introduziu a dupla carburação nos motores boxer a ar de caixa vertical, concebeu um sistema mais simples com uma torre central e apenas duas varetas quase do mesmo tamanho. No entanto, foi preciso fabricar carburadores distintos para o lado esquerdo e o lado direito, com os aceleradores posicionados de forma inversa um em relação ao outro (NICOLIELLO, 2009).

A dupla carburação fornece vantagens em relação à carburação convencional, por isso Sartori (2020) relata os seguintes pontos:

- A dupla carburação permite uma alimentação mais equalizada do motor, tendo maior dificuldade na regulagem. Isso significa que cada cilindro recebe a quantidade adequada de combustível e ar, o que pode melhorar o desempenho do motor.
- O motor pode atingir uma maior potência, especialmente em altas rotações. Isso ocorre porque a dupla carburação permite uma maior entrada de ar e combustível no motor.
- Em motores com cilindros contrapostos, a carburação simples pode resultar em subalimentação em rotações mais baixas. Isso significa que você precisa acelerar mais para manter o carro em movimento, o que pode aumentar o esforço do motor. Com a dupla carburação, esse problema é minimizado.

As vantagens da dupla carburação foram consideradas em propagandas de marketing da VW para veículos da linha 1600 em motor Boxer, promovendo melhor economia e desempenho conforme a Figura 9.

Figura 9 - Propaganda VW dupla carburação



**Este é o motor VW 1600 com dupla carburação.**

Nos testes realizados pela Engenharia da Volkswagen e confirmados pela imprensa especializada, o motor VW 1600 com dupla carburação economiza, na cidade, 17% de gasolina e 30% na estrada.

Isso porque a dupla carburação faz a alimentação direta dos cilindros, permitindo a perfeita dosagem da mistura ar/gasolina e, conseqüentemente, a queima completa dos combustíveis e redução do consumo.

É o motor VW 1600 além de estar economizando mais, também está com melhor desempenho. Porque a dupla carburação gera um aumento de potência e um torque elevado que proporcionam maior elasticidade. O carro fica mais rápido. Mais ágil nas ultrapassagens seguras.

Em resumo, dupla carburação quer dizer mais economia, melhor desempenho.

Vá ao seu Revendedor Autorizado Volkswagen e comprove todas as vantagens do desempenho econômico da dupla carburação. No Brasil e no VW 1600.

**MAIS ECONOMIA MELHOR DESEMPENHO**

Fonte: Sartori (2020)

### 2.4.3 Carburadores de dois estágios

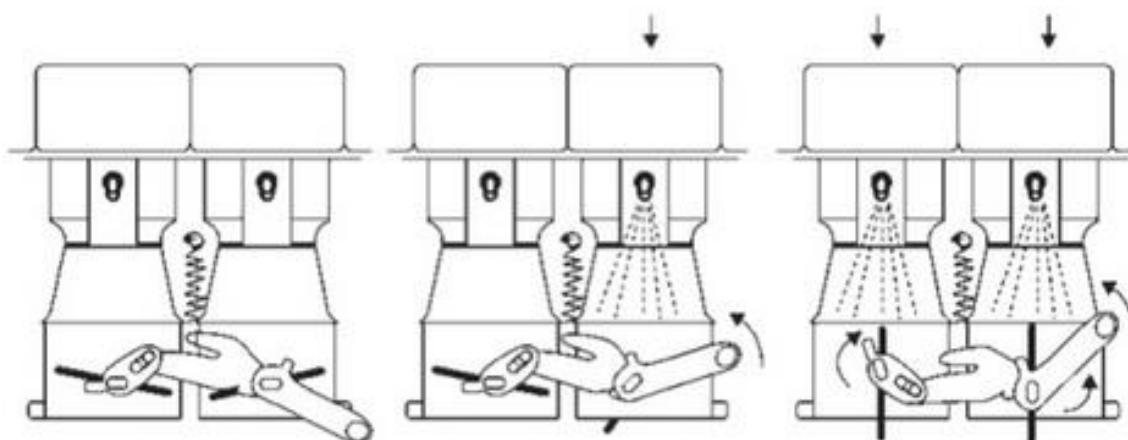
Capelli (2010) indica que, mesmo com todos os ajustes possíveis, a mistura estequiométrica de um carburador convencional tende a ficar longe da ideal ao longo do tempo, acarretando vários problemas, como a carbonização das câmaras e a perda de potência em veículos equipados com essa tecnologia.

A fim de diminuir os efeitos indesejados, durante a década de 1970 e 1980 diversos modelos de veículos passaram a utilizar dois carburadores como por exemplo o VW 1600 (Fusca). Com dois carburadores ocorre uma diminuição no trajeto do combustível até a admissão aumentando o rendimento e um pouco a potência. Entretanto, equalizar os dois carburadores nunca foi prático devido a problemas de acionamento simultâneo das borboletas e até mesmo a dilatação térmica das varetas aquecidas causavam desregularem no funcionamento (CAPELLI,2010).

Para corrigir a situação surgiu o carburador de duplo estágio, tendo no mesmo componente duas borboletas. Havia dois modelos, a princípio o sincronizado, que rapidamente caiu em desuso e o diferenciado (CAPELLI,2010).

O carburador diferenciado tem duas borboletas, sendo uma principal e outra secundária. No tipo mecânico tem uma alavanca presa a borboleta primária que abre aos poucos a borboleta secundária quando a primária chega a um terço como pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 - Funcionamento das borboletas carburador dois estágios diferenciado

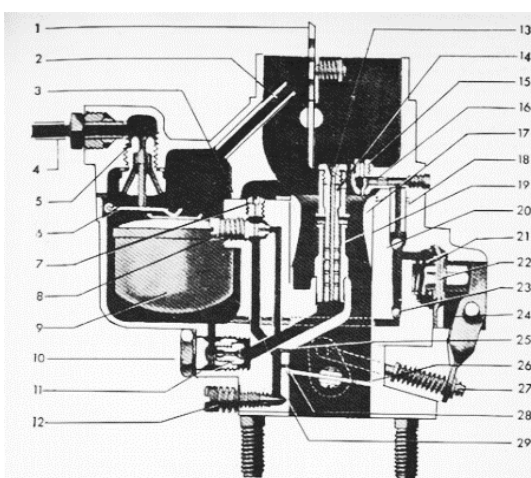


Fonte: Capelli (2010)

#### 2.4.4 Carburadores em motores Volkswagen Boxer

Conforme Almeida (1971), o carburador simples de motores Volkswagen está posicionado na parte média do motor e está montado no flange do coletor de admissão, apresentando a mesma distância dos cilindros proporcionando abastecimento uniforme a todos eles. Um desenho esquemático do carburador Solex 28 PSI pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Desenho esquemático do carburador solex 28 PSI



Fonte: Almeida (1971)

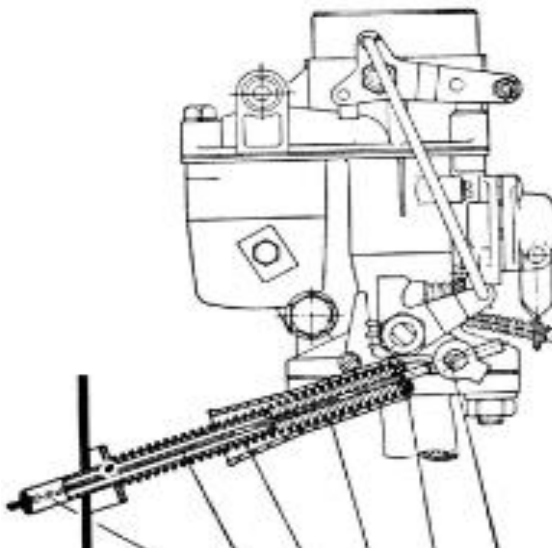
De acordo com Almeida (1971) A borboleta do abafador (item 1), é operado manualmente e inclui uma bomba de aceleração controlada pelo mesmo pedal do acelerador, para fornecer mais potência durante as acelerações. No carburador, a gasolina é mantida em um reservatório chamado "cuba de nível constante", que funciona de forma semelhante ao controle de nível em caixas d'água. Uma boia (item 9) conectada a um braço controla uma agulha que regula a entrada de gasolina (itens 4,5 e 6).

Quando o nível de gasolina na cuba está baixo, a boia desce, permitindo que mais gasolina entre. À medida que o motor consome gasolina, a boia e a agulha também descem, permitindo mais entrada de combustível. Isso mantém o nível constante. Os condutos saem da cuba e distribuem a gasolina para diferentes partes do carburador, onde orifícios calibrados controlam o fluxo de gasolina. Alguns desses orifícios estão expostos ao ar e são chamados de "calibradores de ar"(itens 11 e 16). Os orifícios que liberam gasolina na garganta do carburador são chamados de

"pulverizadores"(exemplo itens 7, 13 e 15) (ALMEIDA, 1971).

Há um cabo ligando a alavanca do pedal à alavanca da borboleta do acelerador com o acionamento do abafador, passando através de tubos guia no túnel e na carcaça da ventoinha, visível na Figura 12.

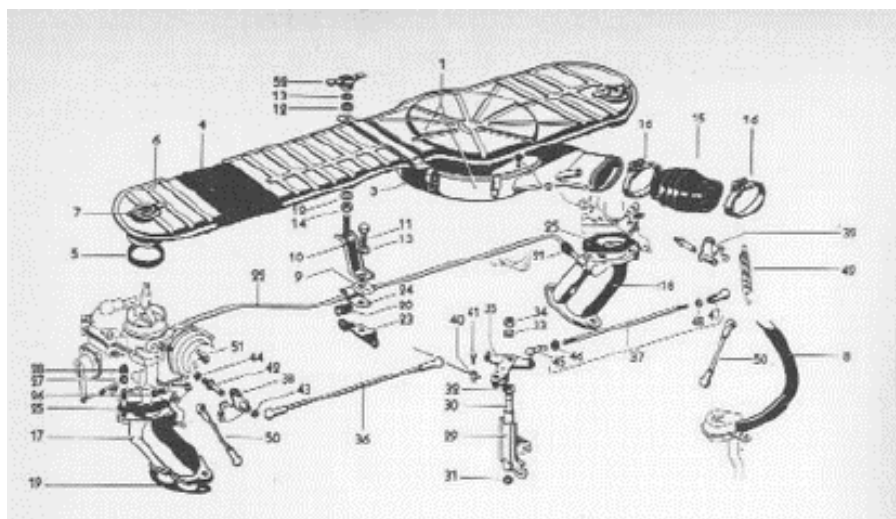
Figura 12 - Sistema de alavanca pedal-carburador



Fonte: Almeida (1971)

A Figura 12 demonstra a movimentação do pedal, que por sua vez gera o acionamento de abertura do carburador gerando a alimentação de ar na mistura estequiométrica. Uma visão esquemática do sistema de admissão do motor da VW Variant e o acionamento em dupla carburação pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Sistema de admissão motor da VW Variant



Fonte: Almeida (1971)

Conforme disposto na Figura 13, o sistema de ativação dos motores de dupla carburação da Volkswagen opera mediante a manipulação da "Alavanca de 3 braços" (Item 35), a qual é impulsionada pelo cabo do acelerador, conectado à "Bucha roscada do cabo" (Item 40). Esta ação resulta na geração de torque que, por sua vez, desloca as "Barras de conexão dos carburadores direito e esquerdo" (Itens 36 e 37), as quais transmitem o movimento às "Alavancas angulares dos carburadores" (Itens 38 e 39), responsáveis pela atuação das borboletas do abafador dos carburadores.

## **2.5 Cinemática e dinâmica dos mecanismos**

Um dos principais objetivos da cinemática é conceber (projetar) movimentos específicos para elementos mecânicos e posteriormente calcular as posições, velocidades e acelerações que esses movimentos induzirão nos componentes correspondentes. Um mecanismo é um dispositivo projetado para converter um movimento genérico em um padrão desejado, geralmente operando com forças de baixa intensidade e transmitindo pouca potência. (NORTON, 2011).

Conforme Rade (2018), os corpos rígidos são representados como sólidos com uma distribuição infinita de pontos por todo o seu volume, o que implica que os movimentos desses pontos, em termos gerais, variam conforme sua localização.

De acordo com Norton (2011), exemplos comuns de mecanismos incluem: apontador de lápis, obturador de máquina fotográfica, relógio analógico, cadeira dobrável, suporte de lâmpada ajustável e guarda-chuva. Uma definição útil de mecanismo é um sistema de elementos conectados e organizados para transmitir movimento de forma predefinida.

Norton (2011) também ressalta que um dos primeiros passos na resolução de qualquer problema de projeto de máquinas é estabelecer a configuração cinemática necessária para alcançar os movimentos desejados. Em geral, a análise de forças e tensões não pode ser realizada até que as questões de cinemática sejam abordadas. Um exemplo de mecanismo é apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Mecanismo espacial de suspensão



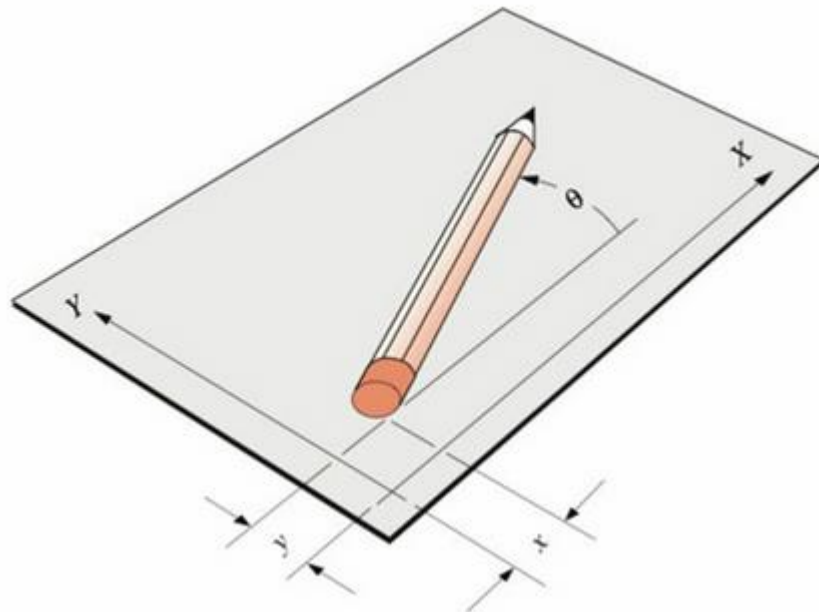
Fonte: Norton (2011)

A hipótese de rigidez ideal, pressupõe que a distância entre quaisquer dois pontos do corpo permaneça constante durante o movimento. É importante notar que, de acordo com o estudo da Mecânica dos Sólidos, todo material sólido sofre deformação quando sujeito a forças e/ou momentos. Para fins de análise pode ser considerado que os deslocamentos causados por essas deformações sejam suficientemente pequenos para serem negligenciados em comparação aos deslocamentos resultantes do movimento (RADE, 2018).

A mobilidade ( $M$ ) de um sistema mecânico pode ser categorizada conforme o número de graus de liberdade (GDL) que possui. Os GDL do sistema correspondem ao número de parâmetros independentes (medidas) necessários para determinar uma posição única no espaço em qualquer ponto no tempo. É importante observar que os GDL são definidos em relação a uma estrutura de referência específica. Um exemplo dessa referência é mostrado na Figura 15 (NORTON, 2011).

Se fixarmos o lápis para sempre permanecer no plano da folha, são requeridos três parâmetros (GDL) para determinar completamente sua posição na folha: duas coordenadas lineares ( $x$ ,  $y$ ) para definir a localização de qualquer ponto do lápis, e uma coordenada angular ( $\theta$ ) para determinar a inclinação do lápis em relação aos eixos. Para Norton(2011) o mínimo de medidas necessárias para descrever a posição é representado na Figura 15 como  $x$ ,  $y$  e  $\theta$ . Assim, esse sistema do lápis em um plano possui três GDL, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - GDL de um lápis em folha de papel



Fonte: Norton (2011)

O movimento de um corpo pode ser categorizado em três tipos distintos para movimentos planos:

- Rotação pura: Neste caso, o corpo possui um ponto fixo, denominado centro de rotação, que não se move em relação à estrutura de referência estacionária. Todos os outros pontos do corpo descrevem arcos ao redor desse centro. Uma linha de referência traçada no corpo através desse centro apenas altera a orientação angular.
- Translação pura: Aqui, todos os pontos no corpo seguem trajetórias paralelas, podendo ser curvilíneas ou retas. A linha de referência desenhada no corpo altera apenas a posição linear, sem afetar a orientação angular.
- Movimento complexo: Esta categoria envolve uma combinação simultânea de rotação e translação. Qualquer linha de referência traçada no corpo provocará mudanças tanto na posição linear quanto na orientação angular. Os pontos no corpo seguirão trajetórias não paralelas, e em cada momento haverá um centro de rotação que se deslocará constantemente.

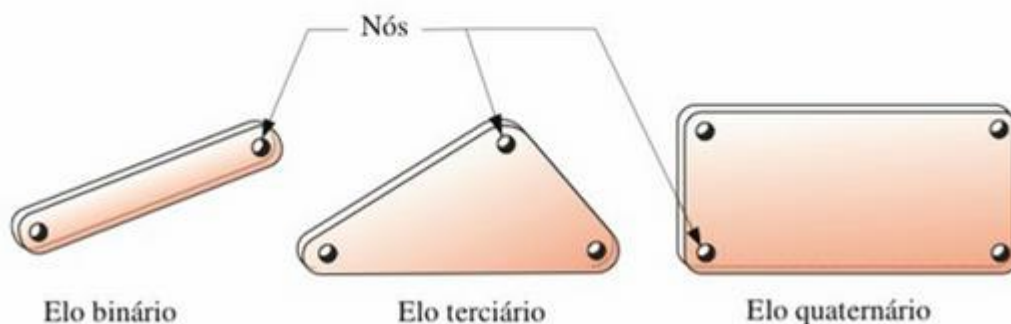
O tipo de movimento que um corpo rígido específico desenvolve é definido pela presença das chamadas restrições cinemáticas, também referidas como vínculos cinemáticos. Essas restrições são estabelecidas através das interações com outros

corpos, limitando o movimento de um ou mais pontos do corpo rígido em questão (RADE, 2018).

Conforme Norton (2011) a base fundamental para representar qualquer mecanismo são os seus mecanismos constituintes, que por sua vez são compostos por elos e juntas. Um elo, caracterizado como um corpo rígido, é definido pela presença de pelo menos dois nós, os quais são pontos de conexão com outros elos, conforme elaborado na Figura 16.

Figura 16 - Elos em mecanismos

- Elo binário** – possui dois nós.
- Elo terciário** – possui três nós.
- Elo quaternário** – possui quatro nós.

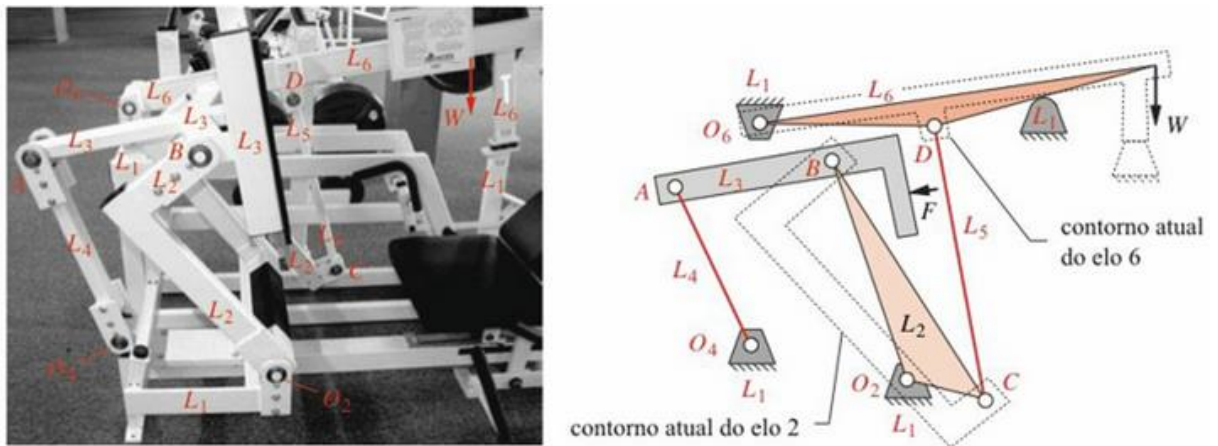


Fonte: Norton (2011)

Examinar a cinemática de mecanismos demanda a criação de diagramas esquemáticos claros e simples, representando os elos e as juntas que o constituem. Em certas ocasiões, identificar os elos e as juntas cinemáticas em um mecanismo complexo pode ser desafiador, conforme detalhado na Figura 17 (NORTON, 2011).

A Figura 17 demonstra um sistema de levantamento de peso para exercícios físicos em que a aplicação da força  $F$ , faz o sistema trabalhar permitindo que a estrutura L3, realize o movimento desejado dentro dos graus de liberdade e elos estruturados (NORTON, 2011).

Figura 17 - Mecanismo de levantamento de peso



Fonte: Norton (2011)

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 Contexto do problema real

Em coleta de dados preliminar através de entrevista com usuário do motor VW boxer, foi constatado que a substituição de carburadores duplos de diferentes modelos apresenta desafios. Especificamente, ao substituir os carburadores duplos convencionais Solex 32 e Solex 40 pelo Weber 48 duplo, Figura 18 imagens A, B e C respectivamente, é necessário trocar todo o conjunto de acionamento.

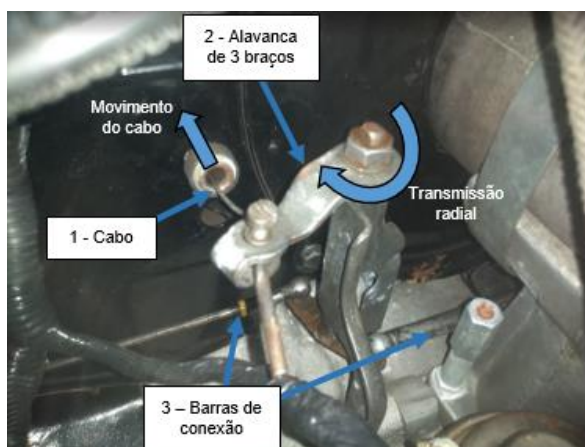
Figura 18 - Carburadores Solex 32(A), Solex 40(B) e Weber 48(C)



Fonte: Autor (2023)

O processo inicial da transmissão do movimento de acionamento dos carburadores é igual para os três modelos avaliados. Conforme o conjunto montado na Figura 19, o acionamento da dupla carburação é realizado pelo movimento das barras de conexão (3). Ao acionar o pedal do veículo que está conectado por um cabo de aço (1) a alavanca de três braços (2) é transformado o movimento linear em radial para mover as barras de conexão simultaneamente em sentidos opostos.

Figura 19 - Acionamento inicial do movimento do carburador



Fonte: Autor (2023)

Para os carburadores Solex 32 e Solex 40, o processo de acionamento das borboletas do abafador do carburador é semelhante, variando apenas de acordo com o posicionamento e a regulagem do mecanismo de acionamento original. A Figura 20 apresenta o mecanismo de alavanca angular (1) conectada a barra de conexão (2) do modelo Solex 32.

Figura 20 - Acionamento carburador modelo Solex 32



Fonte: Autor (2023)

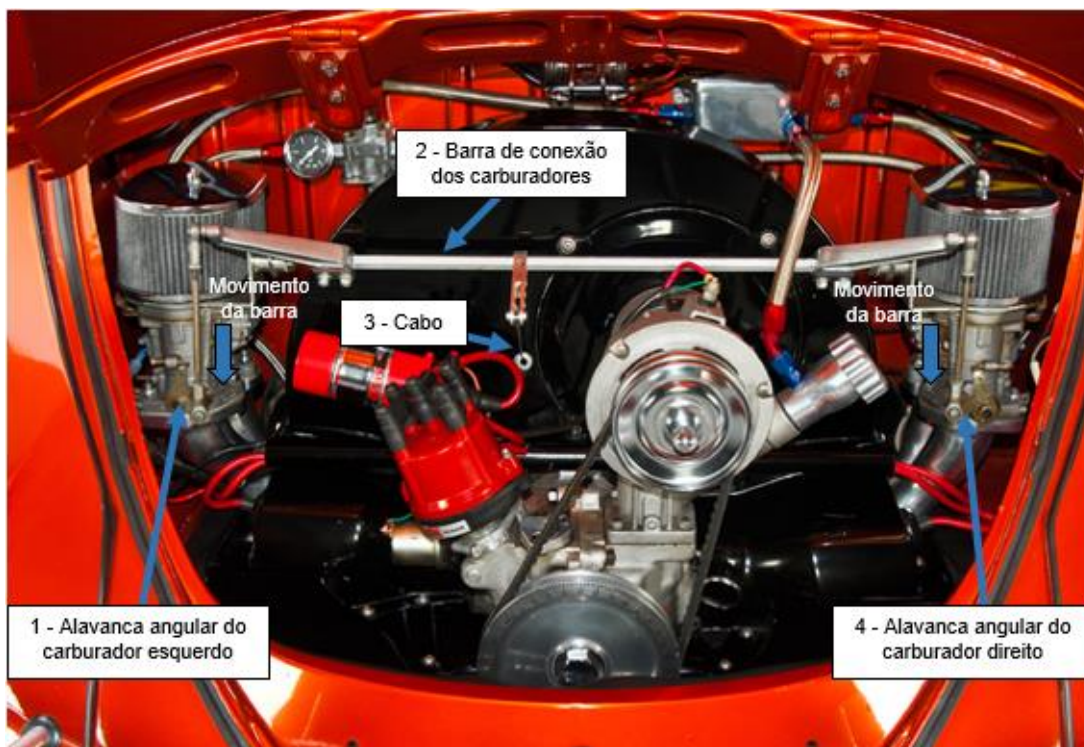
Na rotação da alavanca de três braços, as barras de conexão se movimentam de forma a puxar simetricamente e direção oposta as conexões com as alavancas angulares dos carburadores.

Apesar da similaridade na configuração dos acionamentos dos carburadores Solex 32 e 40, as barras de conexão possuem comprimentos distintos em função das diferenças dimensionais dos carburadores.

Para os carburadores do tipo Weber 48, comercialmente apenas foram encontrados conjuntos de acionamentos em que a montagem ocorre pela parte superior, como exemplificado na Figura 21.

Nesse sistema quando se aciona o pedal do veículo é tracionado o cabo de aço (3). O cabo de aço está acoplado a barra de conexão dos carburadores (2) por um braço de alanca, transformando o movimento linear em radial. A rotação da barra de conexão que está ligada as alavancas angulares dos carburadores esquerdo (1) e direito (4) empurra essas alavancas simultaneamente na mesma direção.

Figura 21 - Acionamento de carburador modelo Weber



Fonte: CANAL DA PEÇA. Fusca laranja, adaptada (2017)

Como os modelos de carburadores Solex (32 e 40) utilizam o mesmo tipo de sistema de acionamento original do veículo, apenas divergindo os comprimentos das barras de conexão, e o Weber 48 utiliza outro sistema de acionamento foi identificada a necessidade de desenvolver uma solução que permita a utilização deste no sistema original (alavanca de três barras).

### 3.2 Proposta de processo de desenvolvimento de produto

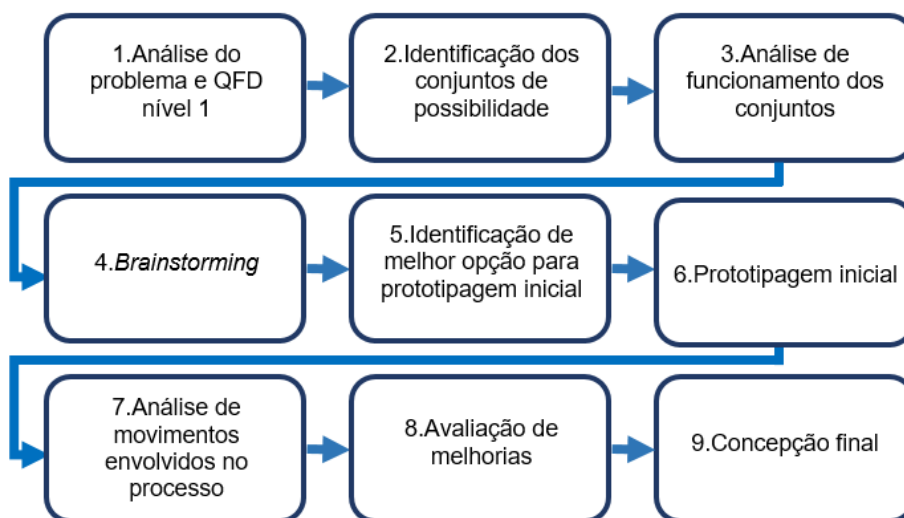
Para elaborar o processo de desenvolvimento, foi proposto um método que integra elementos dos processos tradicionais de desenvolvimento de produtos durante a análise das necessidades do produto, e adota as abordagens do *Design Thinking* para empatia, definição, ideação, prototipagem e validação, garantindo assim maior flexibilidade e eficácia.

O processo de desenvolvimento proposto para elaboração do produto, está demonstrado na Figura 22 e foi definido conforme abaixo:

- 1.1. Análise do problema e QFD nível 1;
- 1.2. Identificação dos conjuntos de possibilidade;
- 1.3. Análise de funcionamento dos conjuntos;

- 1.4. *Brainstorming*;
- 1.5. Identificação de melhor opção para prototipagem inicial;
- 1.6. Prototipagem inicial - (teste da ideia e confecção de peças necessárias);
- 1.7. Análise de movimentos envolvidos no processo;
- 1.8. Concepção final;
- 1.9. Avaliação de melhorias.

Figura 22 - Proposta de desenvolvimento de produto



Fonte: Autor (2023)

### 3.3 Análise funcional e proposta inicial de acionamento

Para a melhor concepção das necessidades a serem atendidas no desenvolvimento foi realizado uma entrevista com o proprietário do veículo solicitando quais requisitos são importantes para o produto de acionamento dos diferentes modelos de carburadores.

Foram levantados os seguintes pontos de importância resultando nas necessidades conforme a na Tabela 1:

- Precisão dos acionamentos e simultaneidade para correta abertura do carburador, tendo o funcionamento adequado do veículo (Sequência A).
- Simples fabricação para fácil reprodução, visando baixo preço e simplicidade das peças (Sequência B);
- Fácil manutenção do conjunto e tendo fácil reposição de peças (Sequência C);
- Conjunto com resistência mecânica na operação para desempenho

adequado nas condições de calor, impacto, vibração e rigidez do conjunto (Sequência D);

- Deve permitir uma fácil e ágil troca de modelos de carburadores diferentes. - Necessidade básica (Sequência E).
- Deve permitir o funcionamento correto dos diversos tipos de carburadores duplos identificados no mercado para o motor boxer VW - Necessidade básica (Sequência F).

Tabela 1 - Necessidades do produto identificadas

<b>Sequencia</b>	<b>Necessidade do produto</b>
A	O veículo funcione
B	Baixo custo
C	Facilidade na montagem
D	Seja resistente, dure bom tempo de uso, gere poucas manutenções
E	Facilidade na troca/ajuste entre modelos de carburador
F	Utilização de mesmas peças para o funcionamento de diferentes modelos de carburador

Fonte: Autor (2023)

A partir dos pontos de necessidades especificados na Tabela 1 foi estruturada a matriz QFD nível 1 para melhor compreensão das necessidades levantadas e dos requisitos técnicos a serem atendidos pelo produto em análise para desenvolvimento, como pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise QFD nível 1

QFD NÍVEL 1	REQUISITOS TÉCNICOS DO PROJETO					RELAÇÕES ENTRE NECESSIDADE E REQUISITOS DO PROJETO			
	Modo de acionamento original mantido	Engate esférico	Espaço limitado para movimentação	Diferentes pontos de acionamento	Material com resistência à tração e ciclo de trabalho	▲		▼	
NECESSIDADE DO CONSUMIDOR	O veículo funcione	▲	▲	▲	▼	▲	Relação forte	▼	Inversão forte
	Baixo custo	▲	▽	▲	▼	△	Relação fraca	▽	Inversão fraca
	Facilidade na montagem	▲	▼	▼	▽	△			
	Seja resistente, dure bom tempo de uso, gere poucas manutenções	▲	▲	▽	▽	▲			
	Facilidade na troca/ajuste entre modelos de carburador	▽	▼	▼	△	△			
	Utilização de mesmas peças para o funcionamento de diferentes modelos	△	▲	▼	▼	▽			

Fonte: Autor (2023)

Pela elaboração da matriz QFD foram identificados através de uma análise de relação forte e fraca, identificando pontos semelhantes e inversão forte ou fraca, identificando pontos dessemelhantes sobre as necessidades do cliente e os requisitos técnicos do produto.

Através da análise da matriz QFD foram identificados os três pontos principais de relação forte:

- Manter o modo de acionamento original;
- Engate esférico
- Material com resistência à tração e ciclo de trabalho.

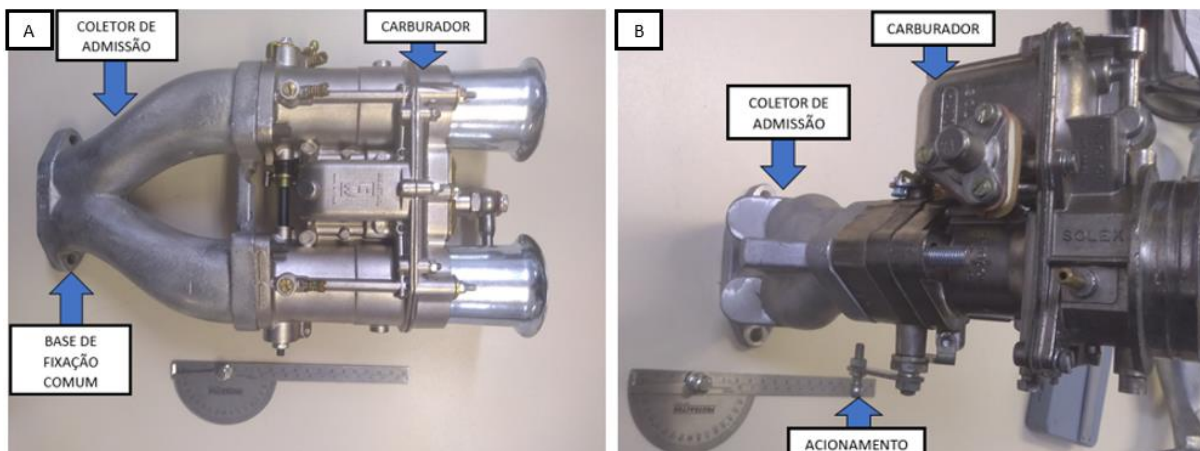
Também foram identificadas as duas inversões principais:

- Diferentes pontos de acionamento
- Espaço limitado para movimentação do conjunto.

Baseado nesses pontos de relação forte e inversões principais foi iniciada a montagem dos diferentes modelos de carburadores no motor para identificar pontos em comum entre eles. Identificou-se que o ponto em comum entre eles é a base do coletor de admissão.

A Figura 23, imagens A e B, mostram respectivamente os carburadores Weber 48 e Solex 40 acoplados aos seus coletores de admissão.

Figura 23 – Carburadores acoplados nos coletores de admissão

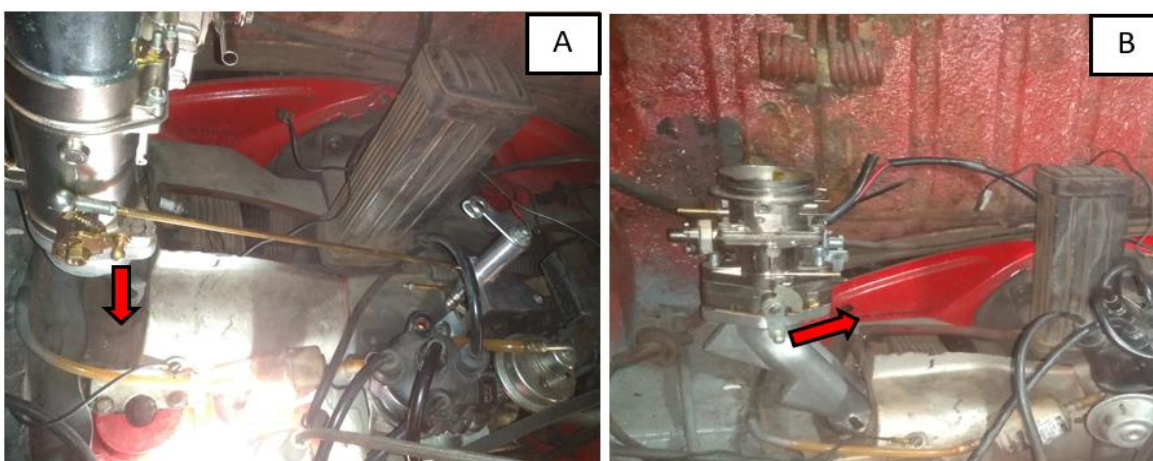


Fonte: Autor (2023)

A diferença entre o coletor e carburador entre os modelos é principalmente devido ao tamanho e o acionamento do tipo Solex realizar o movimento de tração e o tipo Weber de compressão.

A Figura 24 imagens A e B mostram, respectivamente, os carburadores Weber e Solex montados no motor instalado no veículo. Para esta análise somente foi retirada um defletor de ar para facilitar a visualização. Nas duas situações foi montada a alavanca de três braços com as barras roscadas.

Figura 24 - Análise de movimento e posição de carburadores Weber(A) e Solex(B)



Fonte: Autor (2023)

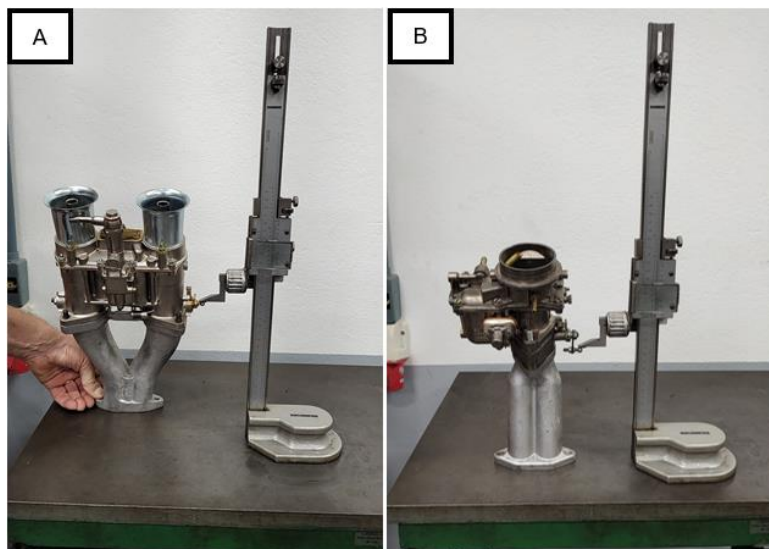
No carburador Weber, Figura 24 imagem A, está representada a direção do movimento da alavanca angular para o seu funcionamento. Para o acionamento é necessário o deslocamento vertical da conexão da alavanca angular com a barra

roscada. A direção do movimento da barra roscada conectada a alavanca de três braços, permite somente o deslocamento horizontal da conexão na alavanca angular. Este deslocamento, na horizontal, está representado pelo carburador Solex na Figura 24 imagem B.

Além de não coincidir o movimento da alavanca angular para o funcionamento, inversão já detectada na etapa inicial do projeto, as barras roscadas originais não têm comprimento suficiente para alcançar a alavanca angular do carburador Weber. Isso ocorre devido as maiores dimensões do coletor e carburador, deslocando a posição da alavanca angular em relação a alavanca de três braços.

A fim de determinar os deslocamentos das alavancas angulares, os conjuntos de coletor e carburador foram medidos através de um calibrador traçador de altura. A Figura 25, imagem A e imagem B, mostra a montagem do sistema para a medição dos deslocamentos verticais dos conjuntos coletor e carburador Weber e Solex, respectivamente. Como deslocamento vertical foi considerado o acionamento total da alavanca angular. Na comparação da Figura 25, imagem A e imagem B também é possível perceber as diferenças construtivas e dimensionais entre os dois tipos de conjuntos Weber e Solex.

Figura 25 - montagem do sistema para a medição dos deslocamentos verticais



Fonte: Autor (2023)

A Tabela 3 mostra os valores obtidos na análise de variação vertical da conexão na alavanca angular dos carburadores Weber e Solex.

Tabela 3 - Valores obtidos na análise de variação vertical da conexão na alavanca angular

	Weber	Solex
Ponto inicial (mm)	196,02	154,50
Ponto final (mm)	161,20	186,48
Variação total (mm)	34,82	31,98

Fonte: Autor (2023)

Apesar da variação total vertical da conexão na alavanca angular entre os dois modelos de carburadores ser relativamente pequena, aproximadamente 3 mm em módulo, os movimentos das alavancas angulares são inversos. No carburador Weber, inicia em 196,02 mm e finaliza em 161,20 mm, enquanto no carburador Solex o início do movimento é em 154,50 mm e o final é em 186,48 mm.

Após esta constatação (necessidade de inversão de movimento), fez-se um *brainstorming*, visando identificar diferentes soluções para o desenvolvimento do protótipo. O termo remete a uma tradução literal de “Tempestade de ideias”, sendo um método para incentivar a criatividade, gerando a máxima quantidade de ideias possível sem julgamento quando a viabilidade.

Foram avaliadas diferentes possibilidades de soluções para situação problema, tais como reposicionamento da alavanca angular, desenvolvimento de polias com cabo de aço ou um sistema de barras de transmissão. Após análise das ideias propostas, a escolhida foi a do sistema de barras de transmissão semelhante a alavanca de três braços.

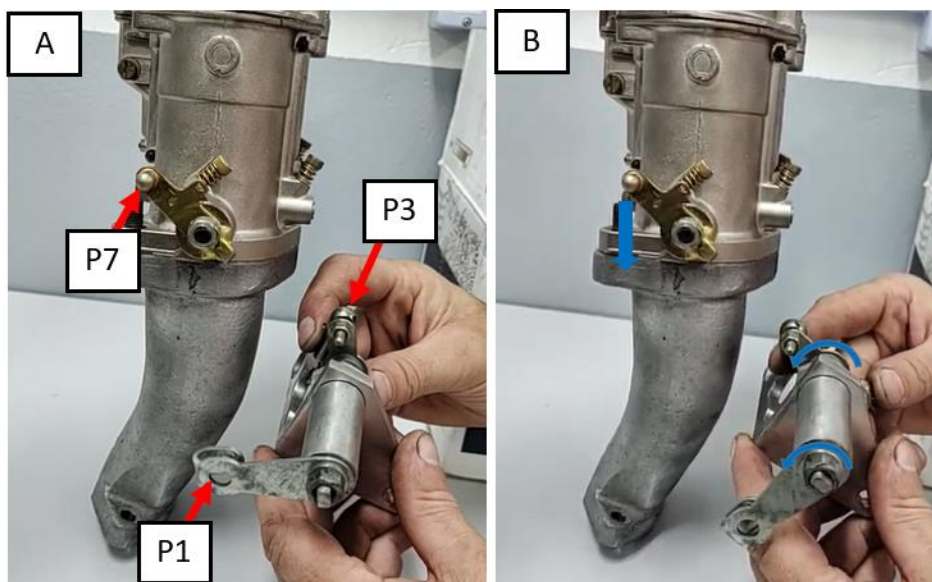
A proposta escolhida do sistema de barras de transmissão foi validada utilizando a própria alavanca de três braços do sistema original. Na Figura 26 é apresentada a análise de concepção de dispositivo para prototipagem inicial.

Nessa proposta, conforme exemplificado na Figura 26 imagem A, o conjunto de alavancas estará preso ao corpo do carburador e os pontos P1 e P7 estarão conectados por uma barra roscada com juntas esféricas nas extremidades. O ponto P3 estará ligado a barra de conexão do sistema que originalmente estava conectada a P7.

Conforme a Figura 26 imagem B, o movimento da barra de conexão fará com que o P3 desloque, rotacionando o eixo conectado a P1. Como este (P1) está conectado a P7, ocorrerá o movimento e conseqüente rotação da alavanca angular e

a inversão do movimento. Como a conexão entre P1 e P7 é realizada por uma barra roscada, será possível regular o seu comprimento permitindo o acionamento total do carburador.

Figura 26 - Análise de concepção de dispositivo para prototipagem inicial



Fonte: Autor (2023)

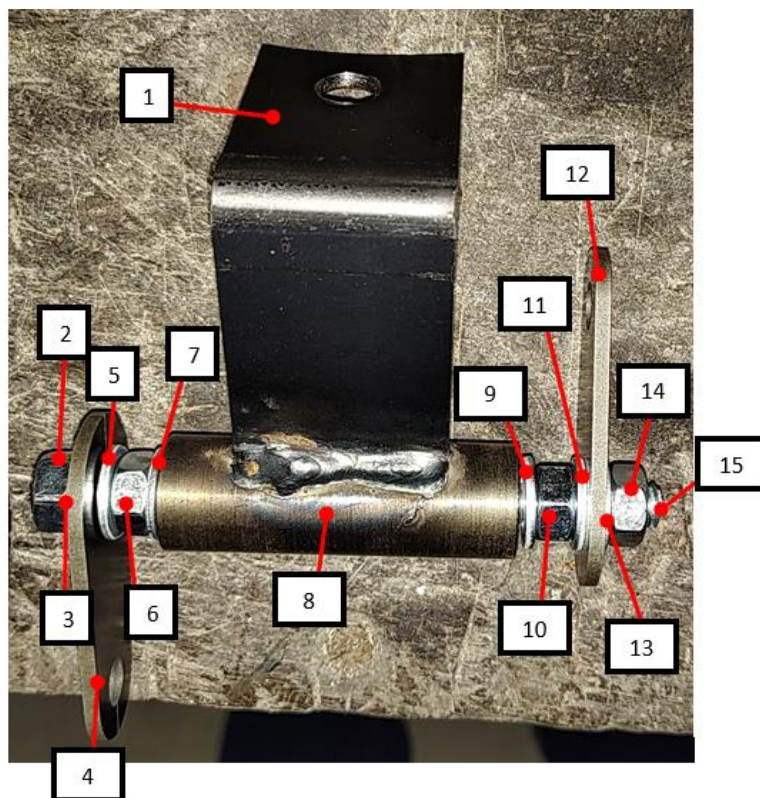
### 3.3 Prototipagem, montagem e avaliação funcional.

A prototipagem inicial decorre da análise de componentes necessários para a elaboração do conjunto de transmissão desde barra de conexão até alavanca angular do carburador. A partir da análise de concepção de dispositivo foi esboçado o sistema com os componentes, elaborado uma lista de peças e preparado os desenhos técnicos das peças que necessitavam de fabricação, conforme o Apêndice A, Apêndice B e Apêndice C.

A Figura 27 identifica os principais componentes do conjunto de transmissão montado.

Para fixação do conjunto de transmissão no carburador foi produzida uma chapa dobrada em 90°, conforme desenho Apêndice C. A extremidade da chapa que será fixada no carburador foi usinada com o perfil em raio coincidente ao seu cilindro externo e um furo para fixação no prisioneiro do coletor com o carburador. O furo e o perfil usinado foram estabelecidos de maneira a não permitir a rotação do conjunto quando fixados ao coletor/carburador, conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27 - Concepção inicial do conjunto de transmissão



Fonte: Autor (2023)

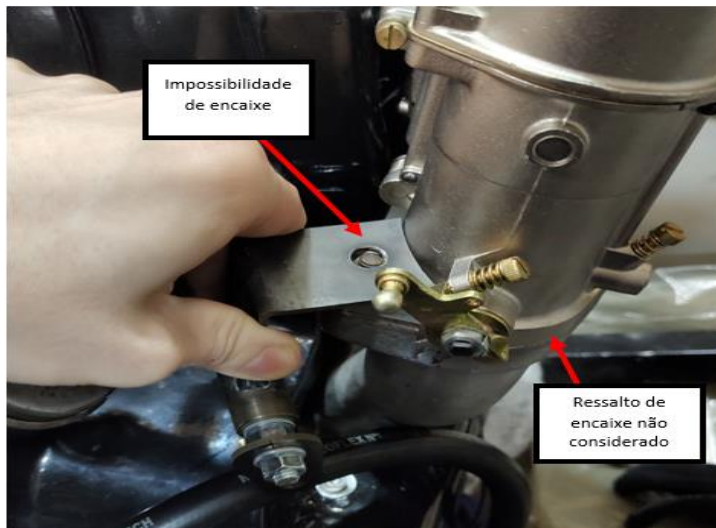
Na outra extremidade da chapa foi soldado o cilindro guia de transmissão do eixo, identificado pelo número 8 da Figura 27, detalhado no Apêndice A. Este cilindro havia sido previamente usinado com 20 mm de diâmetro externo, 9 mm de diâmetro interno e comprimento de 60 mm. Esse diâmetro interno foi dimensionado para permitir a livre rotação do eixo de transmissão, identificado pelo número 15 da Figura 27.

Esse eixo foi produzido a partir de uma barra roscada M8 com 100 mm de comprimento. A centralização e o ajuste da folga axial são realizados pelos conjuntos porca/arruela 6/7 e 10/9 na Figura 27. Esses conjuntos também atuam como batentes para as alavancas 4 e 12 da Figura 27, especificado o dimensional no Apêndice B. Essas alavancas são posicionadas e fixadas por contra porcas 12 e 14 na Figura 27. Optou-se por essa concepção para proporcionar a regulagem de posição das alavancas e a distância entre furos de 35 mm foi estabelecida baseado na alavanca de três braços, Figura 26 imagem A.

Como esse conjunto de transmissão é um protótipo, identificou-se na montagem a necessidade de ajustes de algumas partes. A Figura 28 mostra que a

fixação no prisioneiro não foi possível pois o perfil em raio não coincidiu ao cilindro externo em função do ressalto de encaixe que não foi considerado.

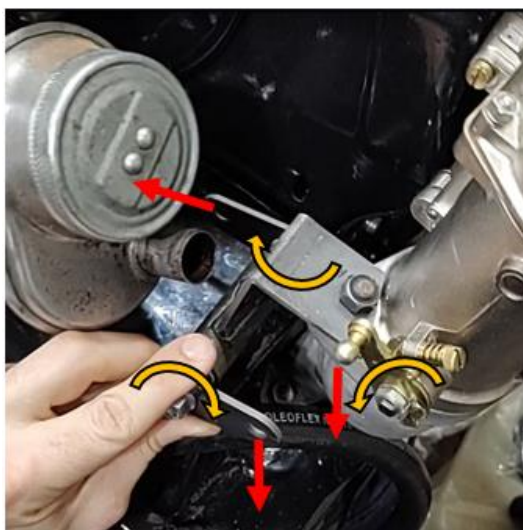
Figura 28 - Impossibilidade de encaixe inicial



Fonte: Autor (2023)

O perfil do suporte foi retrabalhado para permitir além da fixação o correto posicionamento do conjunto de transmissão para simulação do movimento conforme mostrado na Figura 29.

Figura 29 - Análise de rotação funcionamento protótipo

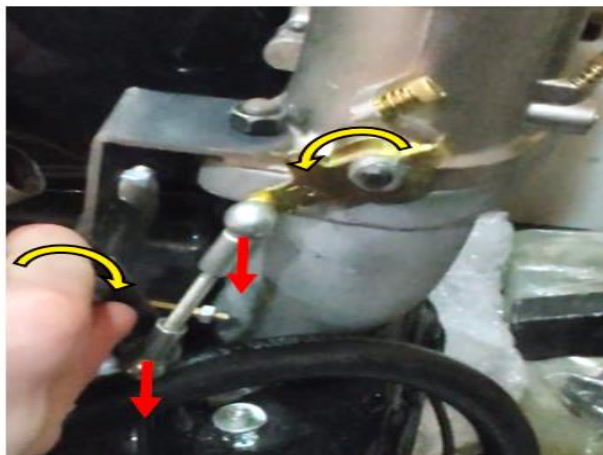


Fonte: Autor (2023)

Para as barras de conexão entre a alavanca do conjunto de transmissão e alavanca angular do carburador foram utilizadas barras roscadas M5 com engates

esféricas fêmeas nas extremidades. A Figura 30 mostra a análise de acionamento desse conjunto montado e constatou-se que a amplitude de movimento das alavancas para funcionamento do carburador foi obtida.

Figura 30 - Análise de acionamento com conexões esféricas

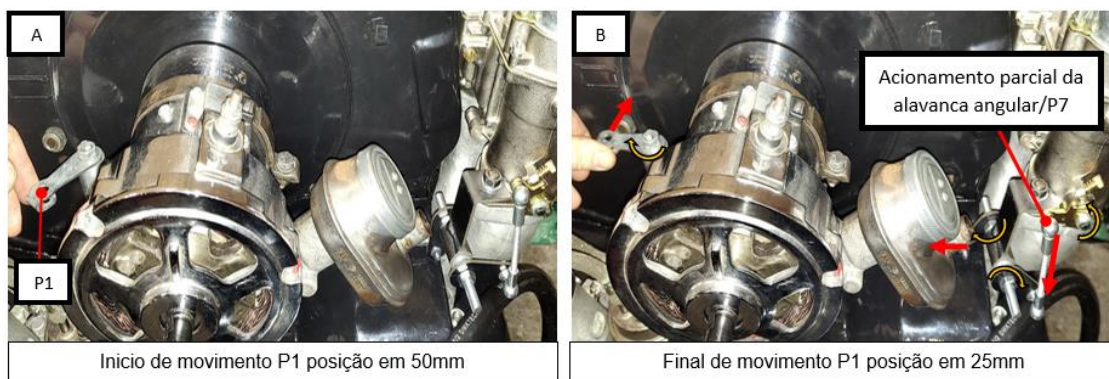


Fonte: Autor (2023)

Optou-se por alterar também as barras de conexão originais por barras roçadas para facilitar a regulação do conjunto. Para fixação das barras de conexão entre as alavancas foram utilizados conjuntos esféricos

Através da regulação do conjunto de transmissão com barras de conexão e conjuntos esféricos, foi realizado o teste manual de movimento da alavanca de três braços. Conforme a Figura 31 imagem A, o movimento manual simulou o movimento do pedal do veículo em 25 mm para acionamento do conjunto de transmissão em situação real. Pela Figura 31 imagem B é demonstrado que com o movimento de 25 mm foi possível apenas o acionamento parcial da alavanca angular do carburador.

Figura 31 - Acionamento simulado do pedal com conjunto inicial



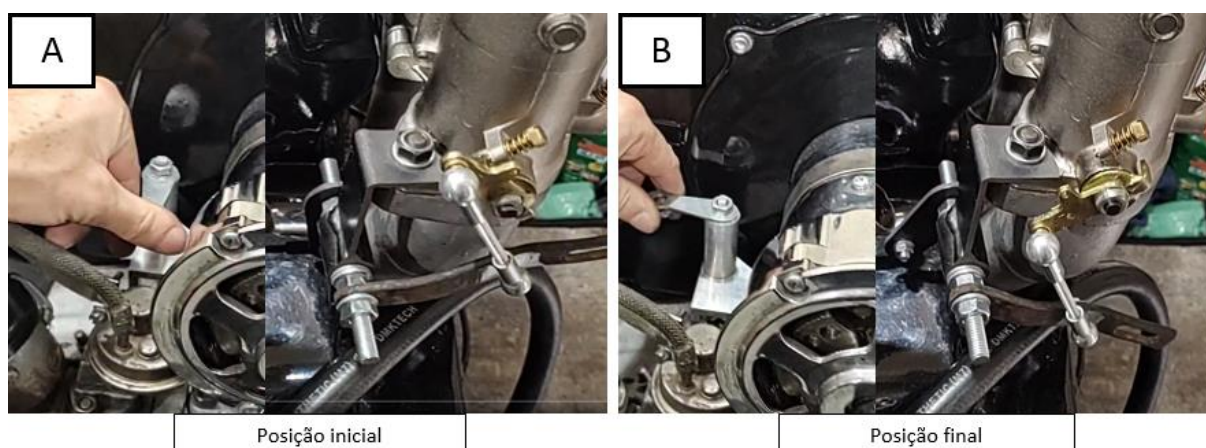
Fonte: Autor (2023)

Como alternativa de teste para obter o acionamento total da alavanca angular, foi realizada a substituição da alavanca do conjunto de transmissão para ter maior comprimento. Ao aumentar o comprimento da alavanca se obtém maior amplitude de movimento, tendo deslocamento superior.

A alavanca angular está conectada a alavanca do conjunto de transmissão por meio de uma barra de conexão, que deve ser substituída conforme alterado o comprimento da alavanca do conjunto.

Após alterações dos componentes foi realizada nova análise de movimento da alavanca angular. Conforme demonstrado na Figura 32 imagem A, a posição inicial sem acionamento e na Figura 32 imagem B, o resultado foi a melhora no movimento da alavanca angular, quase obtendo-se o acionamento total do carburador.

Figura 32 – Análise de movimento alavanca angular



Fonte: Autor (2023)

Em função da proximidade do resultado pretendido do acionamento total da alavanca angular optou-se pela análise dimensional do acionamento/componentes e movimento resultante por meio de *software* Linkage, para determinar a configuração funcional sobre os comprimentos dos componentes.

Como esse próximo passo (simulação por *software*) dará concepção final do produto, foi realizada a avaliação de atendimento dos requisitos estabelecidos anteriormente por meio da matriz QFD.

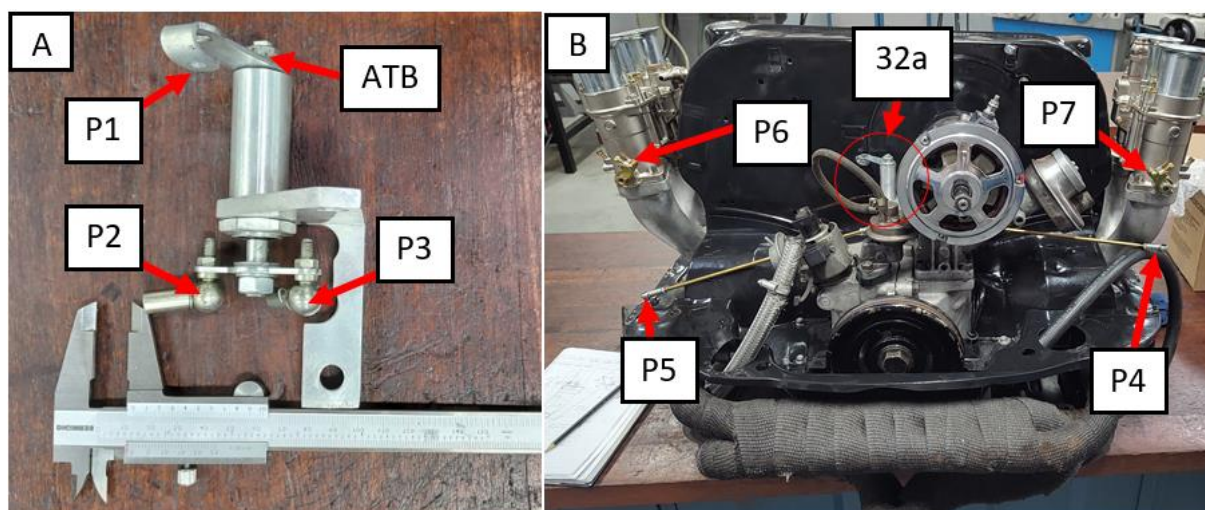
A análise da matriz QFD sobre o atendimento das relações fortes (RF) e consideração quanto a inversões fortes (IF):

- Manter o modo acionamento original (RF):  
Atendido, manteve-se a alavanca de três braços, ocorreu apenas a adaptação das barras de conexão dos carburadores devido ao sistema de acionamento elaborado.
- Engate esférico e material com resistência à tração e ciclo de trabalho (RF):  
Atendido, foram utilizados engates esféricos para realizar as conexões entre as barras, preservando o modo de funcionamento do acionamento original de transmissão e da alavanca angular do carburador.
- Diferentes pontos de acionamento (IF):  
Considerado que a inversão gerou dificuldades durante o desenvolvimento sendo necessário ainda análise isolada dos movimentos para gerar a proposta final da concepção do produto.
- Espaço limitado para movimentação do conjunto (IF):  
Avaliado que foram tomadas as devidas providencias durante a análise da concepção do protótipo, sendo que todo o sistema de acionamento foi contido dentro do espaço do motor, encaixado no local com espaço limitado.

#### 4 ANÁLISE DE MOVIMENTO DO PROTÓTIPO E RESULTADOS

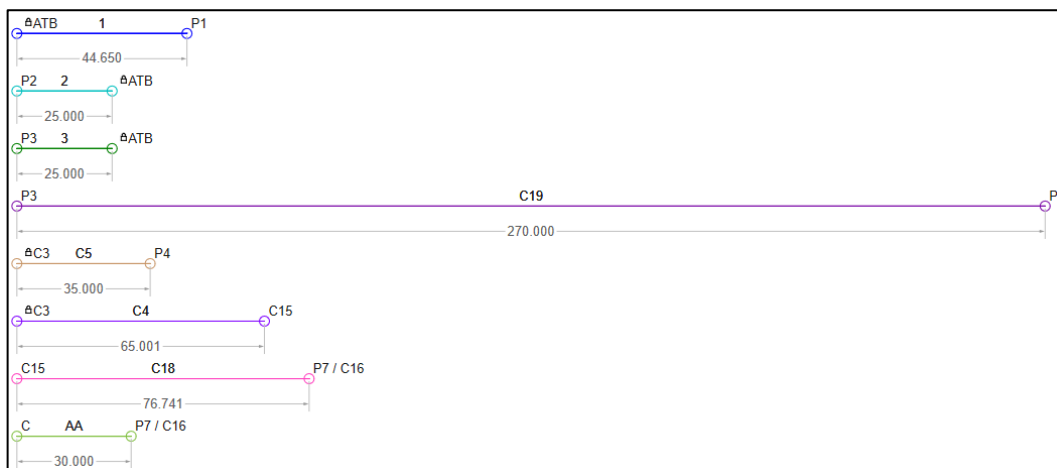
Para avaliação funcional foram nomeados os principais pontos de conexão no sistema. A Figura 33 apresenta a montagem dos conjuntos coletores e carburadores Weber no motor Boxer. Os pontos P1, P2 e P3 e o eixo ATB são relativos a alavanca de três braços. O ponto P1 é conectado ao cabo de aço que é acionado pelo pedal do veículo. Nos pontos P2 e P3 estão acopladas as barras de conexão. Os pontos P4 e P5 são as extremidades opostas das barras de conexão originais do sistema que estariam ligadas ao carburador. Os pontos P6 e P7 são conexões nas extremidades das alavancas angulares dos carburadores.

Figura 33 – Principais pontos de conexão no sistema



Fonte: Autor (2023)

De acordo com a nomenclatura apresentada foram desenhados, conforme Figura 34, os componentes no *software* Linkage para simulação bidimensional. Por questão de simetria do conjunto de acionamento do carburador optou-se por simular somente o lado direito. Para facilitar a análise se adotou a letra C para os componentes e P para pontos definidos anteriormente.

Figura 34 - Lista de componentes estruturados no *Software* para análise

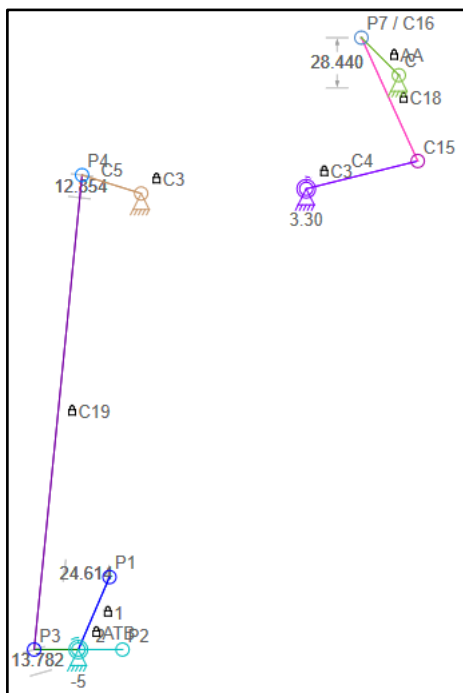
Fonte: Autor (2023)

A sigla ATB, designa o eixo da Alavanca de Três Braços, que se estende até os pontos P1, P2 e P3, cada um dos pontos refere-se a uma extremidade dos braços da alavanca, definidos como 1, 2 e 3, tendo comprimentos de 44,65mm, 25mm e 25mm, respectivamente.

O P3 é conectado pelos engates esféricos ao P4 pelo C19, com comprimento de 270mm. O P4, está conectado ao C3, o eixo do conjunto, através do C5, com 35mm de comprimento. A outra extremidade do eixo C3, está conectado o C4, com 65mm, que realiza a conexão até o C15. Este está conectado ao P7/C16 através do C18 com 76,74mm que por fim realiza o movimento da Alavanca Angular (AA), com 30mm de comprimento, conectado ao eixo da alavanca (C) acionando o carburador.

A Figura 35 apresenta as vista superior da alavanca de três braços até o P4, C5 e C3 e frontal do conjunto C3, C4, C15, C18, C16/P7, AA e C. Esta divisão é necessária para simular bidimensionalmente o sistema tridimensional.

Figura 35 – Vistas superior e frontal do conjunto

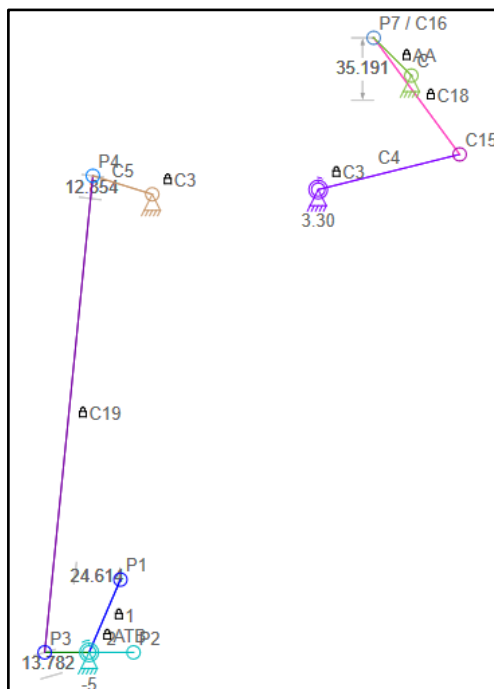


Fonte: Autor (2023)

Considerando que com essas dimensões dos componentes, não atendeu o acionamento total do conjunto (34,82 mm), optou-se por simular aumentando-se gradualmente o comprimento de C4. Com alteração do C4 o C18 também aumenta seu comprimento.

A condição com o C4 tendo 82mm e o C18 tendo 81,5 mm chegou ao acionamento total do conjunto de 35,19 mm atendendo a necessidade de acionamento total do carburador e não ultrapassando o limite de espaço interno do veículo, conforme a Figura 36.

Figura 36 - Análise do ciclo com acionamento total do conjunto

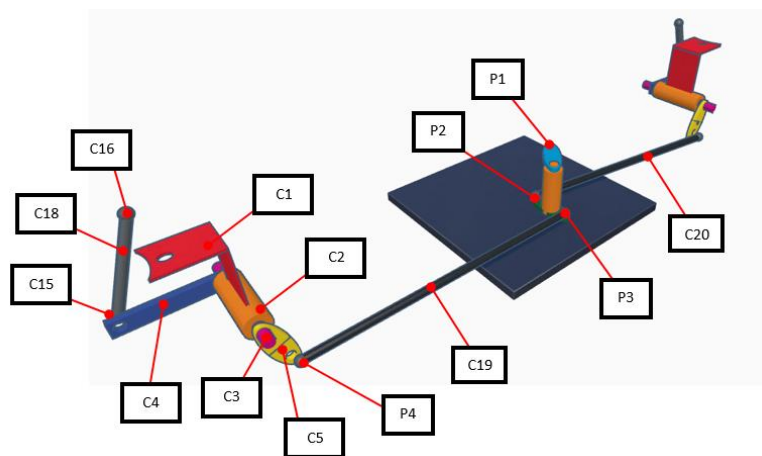


Fonte: Autor (2023)

Para o acionamento da alavanca angular do carburador esquerdo é necessário construir outro conjunto de componentes, substituindo o C19, pelo componente C20 com comprimento de 242,20mm, que é possível realizar o acionamento total da alavanca angular do carburador esquerdo.

A concepção final do produto, foi gerada utilizando *software* Tinkercard conforme Figura 37, demonstrando esquematicamente os componentes e pontos principais do conjunto final e detalhando os componentes do conjunto.

Figura 37 - Concepção final do produto



Fonte: Autor (2023)

Nessa proposta também já foram identificados alguns pontos que poderiam ser melhorados na concepção final do produto.

- Os componentes C2 podem ter um conjunto de rolamentos embutidos nos furos para facilitar a movimentação do eixo.
- Os componentes C19 e C20, podem ser alterados para barra sextavada com as pontas roscadas, tendo maior resistência e ainda condição de regulagem.
- O componente C4, foi alterado durante o desenvolvimento para ser uma barra retangular com furos ao invés de um perfil usinado como determinado anteriormente.
- Aumento de espessura do componente 1, pois foi identificado condição de flexão da chapa durante o acionamento total nos testes funcionais.

## 5 CONCLUSÃO

Neste estudo foi estruturada uma metodologia utilizando parte dos métodos convencionais de desenvolvimento de produto e a aplicação do método *Design Thinking*. Nos métodos convencionais foi utilizada a matriz QFD para identificar os requisitos do produto e através do *Design Thinking* foi aplicado um método de desenvolvimento mais voltado para prototipagem para concepção do produto.

Para estipular a matriz QFD, foi realizada uma entrevista para entender as necessidades do cliente e as características técnicas do produto necessárias para os usuários dos carburadores. A metodologia do *Design Thinking* permitiu uma abordagem mais prática e centrada no usuário, facilitando a prototipagem e a validação rápida das ideias.

Este estudo buscou responder à pergunta de pesquisa: “Qual é o processo de desenvolvimento de um único acionamento para três diferentes modelos de carburadores duplos para motor Volkswagen boxer?” O objetivo era demonstrar o processo de desenvolvimento de um acionamento de dupla carburação para motor VW boxer, com possibilidade de uso em três modelos de carburador: Weber 48, Solex 40 e Solex 32.

A análise do problema incluiu o levantamento de informações e dados sobre o acionamento de dupla carburação do motor boxer. Foi identificado que a principal limitação para um acionamento que operasse os três modelos de carburadores era realizar o movimento do carburador tipo Weber da mesma forma que os acionamentos dos carburadores tipo Solex.

Através do método estabelecido, foi avaliado de forma prática e funcional o sistema de carburação dupla para o motor boxer, propondo uma solução para o acionamento comum entre os três modelos. Foi determinado a preservação dos métodos de funcionamento dos carburadores Solex através de uma alavanca de três braços. Utilizando essa limitação, foi realizada uma análise para desenvolver um conjunto de transmissão do movimento do carburador Weber.

Foi desenvolvido um protótipo para análise funcional da concepção determinada, avaliando algumas limitações como o raio do carburador e a configuração dos comprimentos dos componentes. Foram realizadas análises de movimento para identificar a configuração de funcionamento do conjunto, desenvolvendo a concepção final e estabelecendo melhorias no projeto.

O projeto de concepção final atendeu à proposta de um acionamento comum para três tipos de carburadores de dupla carburação, com componentes alterados para alcançar o acionamento total necessário. Foi possível preservar o método de acionamento ao trocar os carburadores do motor boxer, sem a necessidade de alterar os conjuntos inteiros.

Há a perspectiva de que este estudo possa servir como referência para a análise de processos de desenvolvimento de produto, com potencial de extensão para análises de processos de fabricação, determinação de materiais, melhorias no desenvolvimento, montagem do conjunto e testes em veículos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Amaury Figueiredo de. **Conheça seu Volkswagen**. 7. ed. Rio de Janeiro: Volkswagen do Brasil, 1971. 299 p.
- AMARAL, Daniel C.; SILVA, Sérgio Luís da; SCALICE, Regis K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência Para Melhoria do Processo**. 1ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.
- BACK, Nelson et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.
- BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. Tradução de I. IIDA. São Paulo, SP: Blucher, 2011.
- BROWN, Tim. **Design Thinking – Edição Comemorativa 10 anos**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Editora Alta Books, 2022.
- BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Editora Blucher, 2018.
- CANAL DA PEÇA. Fusca laranja. Disponível em: <https://www.canaldapeca.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/09/fusca-orange-.png>. Imagem adaptada. 2017.
- CAPELLI, Alexandre. **Eletroeletrônica Automotiva - Injeção Eletrônica, Arquitetura do Motor e Sistemas Embarcados**. São Paulo: Editora Saraiva, 2010.
- CONSONI, F. L.; CARVALHO, R. de Q. **Desenvolvimento de produtos na indústria automobilística brasileira: perspectivas e obstáculos para a capacitação local**. *Gestão & Produção*, v. 8, n. 1, p. 22-39, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/5TYnfsZrfyBBmRxCTwq5rHj/>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- CONTESINI, Leonardo. **COMO FUNCIONA UM CARBURADOR**, *Flatout!*, 2 fev. 2014. Disponível em: <https://www.flatout.com.br/wp-content/uploads/2014/02/carburadoire-620x521.jpg>
- ENOSHITA, Evandro. **Tudo sobre o motor boxer**. *InstaCarro*, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.instacarro.com/blog/tecnologia-automotiva/tudo-sobre-o-motor-boxer>. Acesso em: 23 nov. 2023.
- FUSCA BRANQUINHO 74. **Download do manual original e guias técnicos de peças do Fusca 1300 ano 1974**. Disponível em: <https://www.fuscabranquinho74.com.br/post/download-do-manual-original-e-guias-t%C3%A9cnicos-de-pe%C3%A7as-do-fusca-1300-ano-1974>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- NARISHKIN, Alex. **The rise and fall of the VW Beetle, one of the most iconic cars ever made**. *Business Insider*, 21 ago. 2019. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/vw-beetle-rise-fall-volkswagen-most-iconic-car->

[2019-8](#). Acesso em: 20 nov. 2023.

NICOLIELLO, Felipe. **Sistema de aceleração Puma motor VW**. *Puma Classic*, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.pumaclassic.com.br/2009/01/sistema-de-aceleracao-puma-motor-vw.html>. Acesso em: 22 nov. 2023.

NORTON, Robert L. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos**. Porto Alegre: Grupo A, 2010.

RADE, Domingos Alve. **Cinemática e Dinâmica para Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. 592 p.

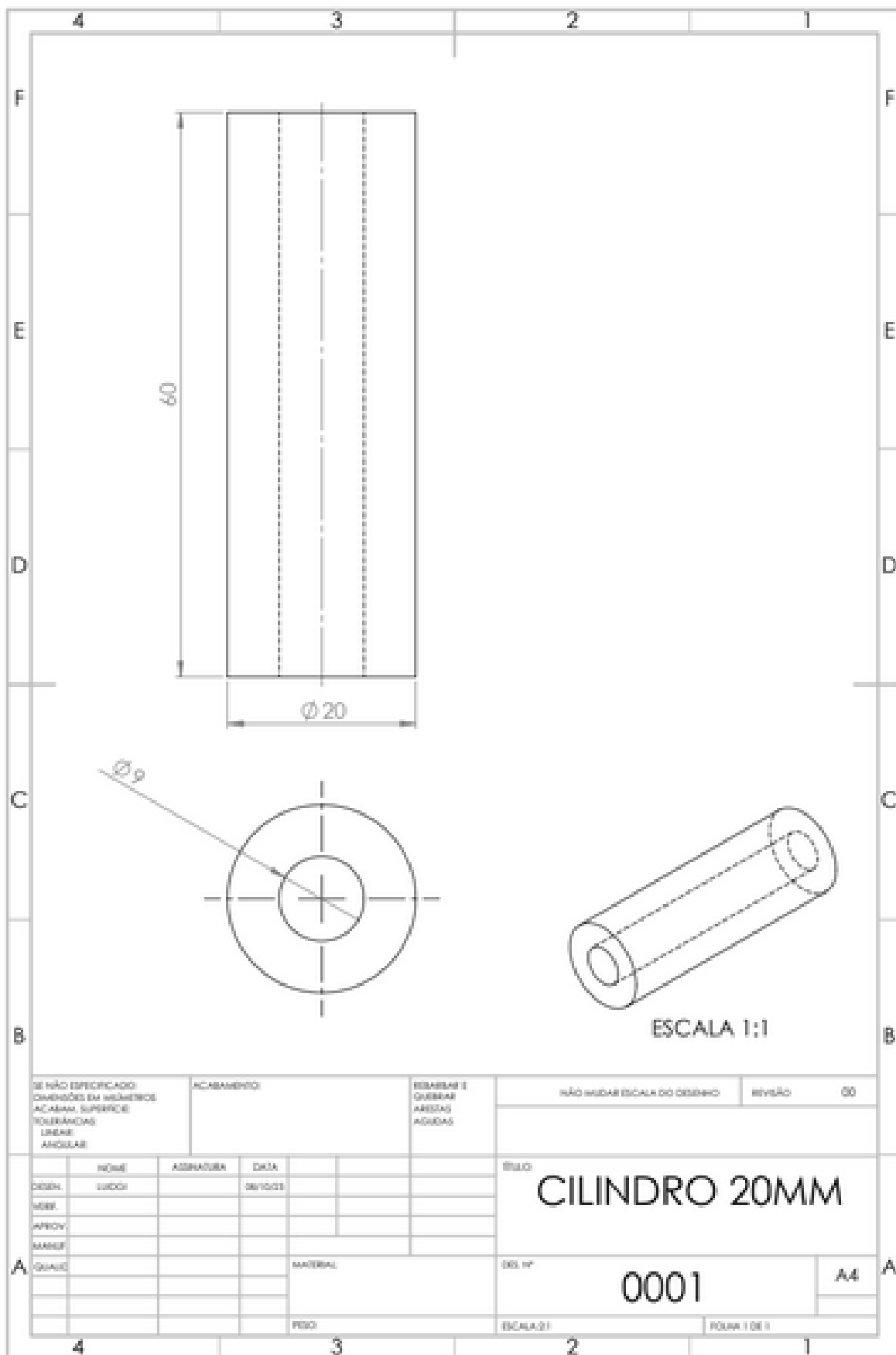
ROZENFELD, et al., H. (2006). **Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma Referência para a Melhoria do Processo** (1 ed.). Brasil: Saraiva.

SARTORI, Vinícius. **Dupla carburação: mitos x verdades**. *AirCooled Brasil*, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.aircooledbr.com.br/2012/05/dupla-carburacao-mitos-x-verdades.html>. Acesso em: 22 nov. 2023.

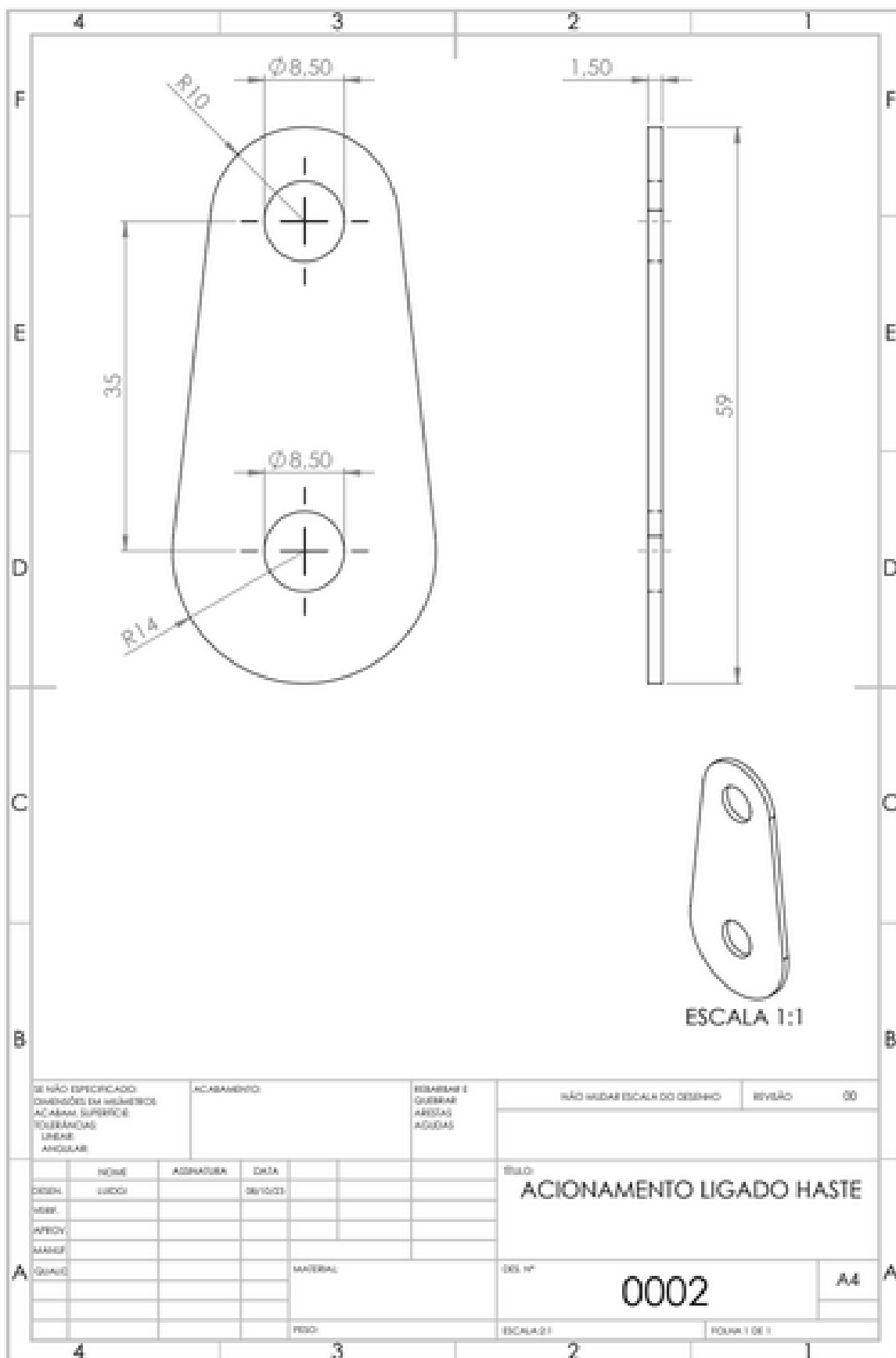
SILVA, M. A. DE C.; CAMPOS, P. H. P.; COSTA, A. **A Volkswagen e a ditadura: a colaboração da montadora alemã com a repressão aos trabalhadores durante o regime civil-militar brasileiro**. *Revista brasileira de história*, v. 42, n. 89, p. 141–164, 2022.

SOLOMON, Micah. **Luxury lineage: a brief history of the Volkswagen Beetle**. *Forbes*, 14 set. 2018. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/msolomon/2018/09/14/luxury-lineage-a-brief-history-of-the-volkswagen-beetle/?sh=49647b825048>. Acesso em: 20 nov. 2023.

APÊNDICE A – DESENHO 001 - CILINDRO - COMPONENTE 08



APÊNDICE B – DESENHO 002 - COMPONENTES 04 E 12



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAMENTO: SUPERFÍCIE TOLERÂNCIAS: LINEAR ANGULAR		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUERRAR ARESTAS ARREDIAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO: 00	
DESIGN.	NOME	ASSINATURA	DATA			TÍTULO: ACIONAMENTO LIGADO HASTE			
PROJ.	SÚMIO		DESCRIÇÃO						
APROV.									
MATER.									
QUANTO				MATERIAL		DES. Nº <b>0002</b>		A4	
				PESO:		ESCALA: 2:1		FOLHA 1 DE 1	

APÊNDICE C – DESENHO 003 - COMPONENTE 01

