

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

FABRÍCIO FERREIRA FÁVARO DE OLIVEIRA

GUILHERME RUFFATO DE ALMEIDA LEME

JOÃO LUIS ANTONIO GONÇALVES

MURILO MAZZUCO LOLLI

THALES MURADOR MENEGUEL FONSECA

VICTOR CAMPOS GARCIA

VINICIUS NARDELLO BACAR

BIOMETRUCK: Modificação de motores diesel para utilização de combustíveis renováveis em caminhões de coleta de lixo

São Bernardo do Campo

2022

FABRÍCIO FERREIRA FÁVARO DE OLIVEIRA
GUILHERME RUFFATO DE A. LEME
JOÃO LUIS ANTONIO GONÇALVES
MURILO MAZZUCO LOLLI
THALES MURADOR MENEGUEL FONSECA
VICTOR CAMPOS GARCIA
VINICIUS NARDELLO BACAR

BIOMETRUCK: Modificação de motores diesel para utilização de combustíveis renováveis em caminhões de coleta de lixo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica Automobilística. Orientado pelo Prof. Me. Fernando Fusco Rovai

São Bernardo do Campo

2022

FABRÍCIO FERREIRA FÁVARO DE OLIVEIRA
GUILHERME RUFFATO DE A. LEME
JOÃO LUIS ANTONIO GONÇALVES
MURILO MAZZUCO LOLLI
THALES MURADOR MENEGUEL FONSECA
VICTOR CAMPOS GARCIA
VINICIUS NARDELLO BACAR

BIOMETRUCK: Modificação de motores diesel para utilização de combustíveis renováveis em caminhões de coleta de lixo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica Automobilística.

Comissão julgadora

Me. Fernando Fusco Rovai
Orientador

Prof. Me. Marco Antônio Zanussi Barreto
Examinador

São Bernardo do Campo
2022

Biometruck : modificação de motores diesel para utilização de combustível renováveis em caminhões de coleta de lixo / Fabrício Ferreira Fávoro de Oliveira...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2022.
110 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Me. Fernando Fusco Rovai.

1. Biometano. 2. Etanol. 3. kit de conversão. 4. Caminhão de coleta de lixo. I. Oliveira, Fabrício Ferreira Fávoro de. II. Leme, Guilherme Ruffato de Almeida. III. Gonçalves, João Luis Antônio . IV. Lolli, Murilo Mazzuco. V. Fonseca, Thales Murador Meneguel. VI. Garcia, Victor Campos. VII. Bacar, Vinicius Nardello. VIII. Rovai, Fernando Fusco, orient. IX. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dedicamos esse trabalho a todas as
pessoas que fizeram e fazem parte da
nossa jornada!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados, durante todos os nossos anos de estudos.

Aos amigos/familiares, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao professor Me. Fernando Fusco Rovai, por ter sido nosso orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Ao professor Me. Silvio Shizuo Sumiوشي, por ter nos auxiliado no desenvolvimento do projeto.

Ao professor coordenador Me. Marco Antônio Zanussi Barreto, por ter nos auxiliado durante todo o desenvolvimento do projeto.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o nosso processo de aprendizado.

Aos nossos colegas de curso, com quem convivemos intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que nos permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formandos.

À instituição de ensino Fundação Educacional Inaciana Padre Sabóia de Medeiros, essencial no nosso processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendemos ao longo dos anos do curso.

“Não se deve ir atrás de objetivos fáceis, é preciso buscar o que só pode ser alcançado por meio dos maiores esforços.”

Albert Einstein

RESUMO

Há uma crescente preocupação global com relação às emissões de poluentes e seu impacto na saúde e qualidade de vida, neste sentido um dos principais detratores do indicador são os veículos a combustão interna. Segundo o Plano de Controle de Poluição Veicular, elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) apesar dos caminhões comporem apenas 3% da frota total, são movidos a diesel, combustível predominantemente fóssil e por isso sua participação na emissão de gases de efeito estufa (GEE) é de cerca de 44% do total. Um estudo realizado por uma empresa de gerenciamento de frotas (AMBIENTE BRASIL, 2011) constatou que o transporte de lixo é o que mais emite dióxido de carbono (CO₂) por quilômetro rodado. Neste cenário é evidente a demanda por soluções que reduzam o consumo de diesel e promovam a utilização de combustíveis renováveis. Frente ao Diesel, o Biometano é um combustível sustentável e apresenta redução no ruído, redução na emissão de óxido nitroso (NO_x), material particulado (MP) e dióxido de carbono (CO₂). Outra opção seria a utilização do Etanol que também se caracteriza como um combustível limpo e apresenta maior disponibilidade quando comparado ao Biometano. Entretanto algumas limitações impedem a simples substituição dos combustíveis, são elas: taxa de compressão, estado físico e octanagem dos combustíveis. O propósito do presente trabalho é desenvolver uma solução para a inadequação dos motores a Diesel que movem caminhões de coleta de lixo a combustíveis renováveis. Para tanto, escolheram-se três vertentes como alvo de estudo: utilização de Etanol aditivado, utilização de um *Dual-fuel* Diesel-Biometano e a Ottolização do motor ciclo Diesel. Após estudos e com a utilização de uma matriz de decisão optou-se pela adequação do motor ciclo Diesel para ciclo Otto utilizando Etanol e Biometano. Adotou-se como premissa o veículo funcionar em três possíveis modos de operação com proporção estequiométrica variável, sendo elas exclusivamente com Etanol, exclusivamente com Biometano e a mistura de ambos. O projeto será norteado pelos ajustes necessários no conjunto do motor para garantir desempenho adequado à aplicação e redução nas emissões de NO_x, MP e CO₂.

Palavras-chave: Biometano. Etanol. *Kit* de conversão. Caminhão de coleta de lixo.

ABSTRACT

There is a growing global concern about pollutant emissions and their impact on health and quality of life, in this sense one of the main detractors of the indicator are internal combustion engine vehicles. According to the Vehicle Pollution Control Plan, prepared by the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB), although trucks make up only 3% of the total fleet, they are powered by diesel, predominantly fossil fuel, and therefore their participation in the emission of greenhouse effect (GHG) is about 44% of the total. A study carried out by a fleet management company (AMBIENTE BRASIL, 2011) found that the transport of garbage is the one that emits the most carbon dioxide (CO₂) per kilometer driven. In this scenario, the demand for solutions that reduce diesel consumption and promote the use of renewable fuels is evident. Compared to Diesel, Biomethane is a sustainable fuel and presents a reduction in noise, reduction in the emission of nitrous oxide (NO_x), particulate matter (PM) and carbon dioxide (CO₂). Another option would be to use Ethanol, which is also characterized as a clean fuel and has greater availability when compared to Biomethane. However, some limitations prevent the simple substitution of fuels, they are: compression ratio, physical state and octane of fuels. The purpose of the present work is to develop a solution for the inadequacy of Diesel engines that move garbage collection trucks to renewable fuels. Therefore, three aspects were chosen as the study target: use of Ethanol with additives, use of a Dual-fuel Diesel-Biomethane and the Ottolization of the Diesel cycle engine. After studies and using a decision matrix, it was decided to adapt the Diesel cycle engine to the Otto cycle using Ethanol and Biomethane. It was adopted as a premise that the vehicle works in three possible modes of operation with variable stoichiometric proportions, being them exclusively with Ethanol, exclusively with Biomethane and the mixture of both. The project will be guided by the necessary adjustments to the engine set to ensure adequate performance for the application and reduction in NO_x, PM and CO₂ emissions.

Keywords: Biomethane. Ethanol. Conversion Kit. Garbage collection truck.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Média de expectativa de vida perdida por pessoa	16
Figura 2 - Painel dinâmico produção de etanol no Brasil	18
Figura 3 - Panorama do biogás no Brasil	19
Figura 4 - Frota circulante no Brasil por categoria (%)	21
Figura 5 - Programas brasileiros e europeus de controle de emissões para veículos de grande porte	26
Figura 6 - <i>Golden Circle Biometruck</i>	29
Figura 7 - Análise rápida de viabilidade.....	30
Figura 8 - Ottolização do ciclo diesel para etanol/gás	32
Figura 9 - Matriz de decisão - <i>Biometruck</i>	34
Figura 10 - <i>Storyboard Biometruck</i>	36
Figura 11 - <i>Boundary Diagram</i>	37
Figura 12 - Lógica de construção diagrama <i>FAST</i>	39
Figura 13 - Diagrama <i>FAST Biometruck</i>	39
Figura 14 - <i>Target</i> do projeto.....	41
Figura 15 - <i>SCAMPER</i> do projeto.....	41
Figura 16 - Quadro morfológico.....	42
Figura 17 - Estrutura do <i>Business Model Canvas</i>	44
Figura 18 - <i>Business Model Canvas Biometruck</i>	45
Figura 19 - Cilindro de gás	49
Figura 20 - Redutor de pressão.....	51
Figura 21 - Filtro de gás	52
Figura 22 - Controle eletrônico de vazão de gás.....	53
Figura 23 - Tubos de alta pressão.....	53
Figura 24 - Válvula do cilindro	54
Figura 25 - Válvula de abastecimento	56
Figura 26 - Manômetro	57
Figura 27 - Unidade de controle eletrônico.....	58
Figura 28 - Tanque de etanol	59
Figura 29 - Bomba de baixa pressão.....	60
Figura 30 - Pré-filtro de combustível.....	61
Figura 31 - Filtro de combustível	61
Figura 32 - Regulador de pressão	62

Figura 33 - Linha de combustível de etanol.....	62
Figura 34 - Válvula borboleta eletrônica	63
Figura 35 - Vela de ignição.....	64
Figura 36 - Sonda lambda	65
Figura 37 - Modelo desenvolvido no <i>software</i> AVL <i>Boost</i>	67
Figura 38 - Gráfico comparativo de potência entre ficha técnica do fabricante e modelos simulados.....	69
Figura 39 - Gráfico comparativo de torque entre ficha técnica do fabricante e modelos simulados	69
Figura 40 - Ciclo de condução urbano FTP-75.....	70
Figura 41 - Gráfico de emissões do motor diesel	72
Figura 42 - Gráfico de emissões do motor biometano e etanol	73
Figura 43 - Cálculos das reduções de emissões	74
Figura 44 - Comparativo entre o <i>target</i> e os resultados obtidos.....	74
Figura 45 - Custo de Implementação por sistema	76
Figura 46 - Variação do custo operacional	77

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Classificação de critérios.....	47
Tabela 2 - Tabela de classificação ocorrência	47
Quadro 1 - Especificações do caminhão usado como base	23
Quadro 2 - Emissão de gases de efeito estufa.....	24
Quadro 3 - Análise de valor - Componente x Função.....	38
Quadro 4 - Análise de valor - Função x Classificação	38
Quadro 5 - Requisitos e especificações técnicas do cilindro de gás	50
Quadro 6 - Especificações técnicas redutor de pressão	51
Quadro 7 - Requisitos e especificações técnicas válvula do cilindro.....	55
Quadro 8 - Requisitos e especificações técnicas da válvula de abastecimento	56
Quadro 9 - Requisitos e especificações técnicas da unidade de controle eletrônico	58
Quadro 10 - Dados usados no modelo do veículo.....	71
Quadro 11 - Dados usados para o powertrain no AVL Cruise.....	71

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 ETANOL	17
2.2 BIOMETANO	18
3 ANÁLISE DE MERCADO	21
3.1 CONSUMO E CUSTO OPERACIONAL	22
3.2 PARÂMETROS PARA A APLICAÇÃO	22
3.3 ESPECIFICAÇÃO DE CAMINHÃO DIESEL UTILIZADO NA COLETA	23
4 EMISSÕES	24
5 NORMA E LEGISLAÇÃO	25
6 PROJETO	28
6.1 PROBLEMATIZAÇÃO	28
6.2 PROPÓSITO	28
6.3 GOLDEN CIRCLE	28
6.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	29
7 BENCHMARKING	31
7.1 ETANOL ADITIVADO	31
7.2 DUAL-FUEL DIESEL-BIOMETANO	31
7.3 OTTOLIZAÇÃO PARA ETANOL-BIOMETANO.....	31
7.4 MATRIZ DE DECISÃO	32
8 FERRAMENTAS DE ENGENHARIA	35
8.1 STORYBOARD	35
8.2 BOUNDARY DIAGRAM	36
8.3 ENGENHARIA REVERSA.....	37
8.4 ANÁLISE DE VALOR/ DIAGRAMA FAST	37
8.5 DIAGRAMA DE PARÂMETROS (P-DIAGRAM).....	40
8.6 TARGET DO PROJETO.....	40
8.7 SCAMPER.....	41
8.8 QUADRO MORFOLÓGICO.....	42
8.9 CANVAS DE NEGÓCIOS.....	42
8.10 FMEA	45

8.11 FMEA DE PROJETO.....	46
8.12 SFMEA BIOMETRUCK	47
9 COMPONENTES	49
9.1 Cilindro de Gás.....	49
9.2 Redutor de pressão	50
9.3 Filtro de gás.....	51
9.4 Controle eletrônico de vazão de gás	52
9.5 Tubos de alta pressão	53
9.7 Válvula do cilindro	54
9.8 Válvula de abastecimento	55
9.9 Manômetro	56
9.10 Unidade de controle eletrônico (ECU)	57
9.11 Válvula injetora de combustível	58
9.12 Tanque de etanol.....	59
9.13 Bomba de baixa pressão	59
9.14 Pré-filtro	60
9.15 Filtro de combustível	61
9.16 Regulador de pressão	61
9.17 Linha de combustível (Etanol)	62
9.18 Válvula borboleta eletrônica	63
9.19 Vela de ignição	63
9.20 Bobina pencil coil.....	64
9.21 Sonda lambda	64
9.22 Conversor catalítico.....	65
10 DESENVOLVIMENTO	66
10.1 MELHORIA PROPOSTA.....	66
10.2 MOTOR BASE.....	66
10.3 SIMULAÇÃO	66
10.4 AVL BOOST	66
10.5 AVL CRUISE	70
11 RESULTADOS	74
11.1 RESULTADOS X TARGET	74
11.2 Estimativa de Custos dos componentes.....	75

12 CONCLUSÃO	78
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE A – DIAGRAMA P	85
APÊNDICE B - ENGENHARIA REVERSA	86
APÊNDICE C - S-FMEA	88
APÊNDICE D- Desenho cad 3D	93
APÊNDICE E- Desenho cad 2D	94

1 INTRODUÇÃO

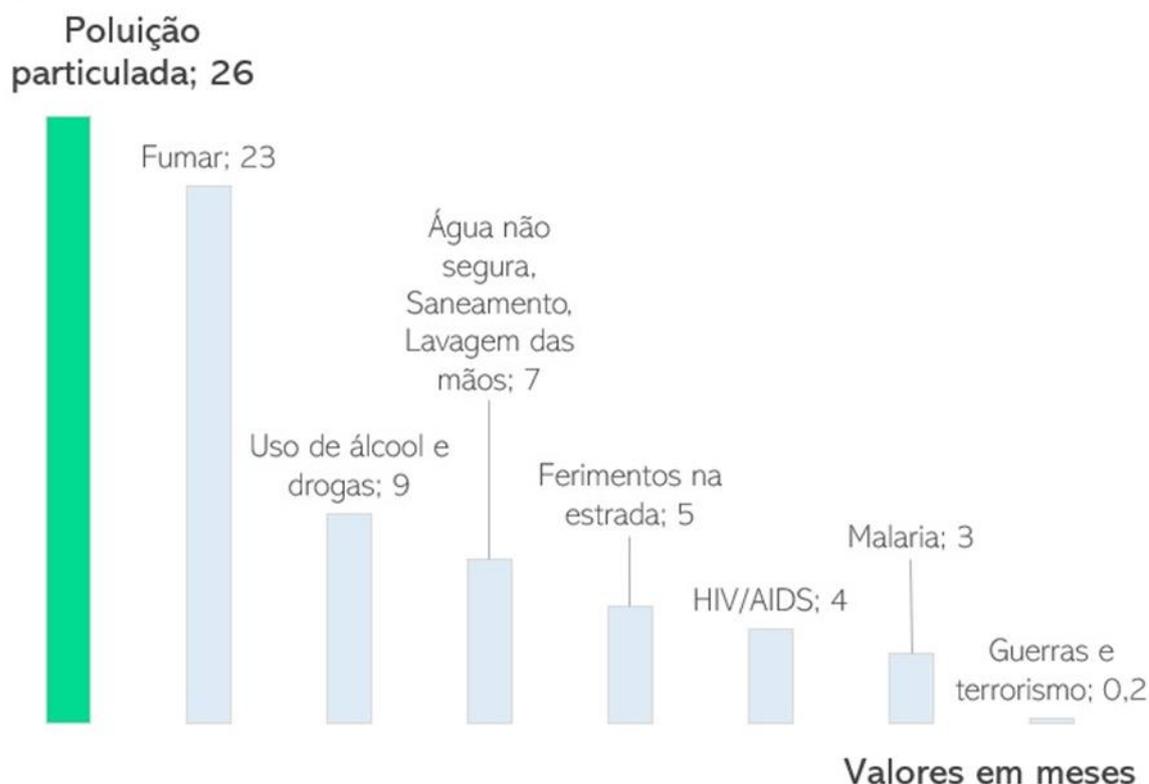
O desenvolvimento econômico, juntamente com o crescimento da população de uma cidade traz consigo diversos desafios, entre eles, a coleta de resíduos sólidos. Grande parte destes resíduos podem ser reaproveitados desde que a coleta e o manuseio sejam feitos de forma adequada.

O serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU) pode ser prestado por empresas públicas ou privadas que devem destinar estes resíduos a aterros sanitários. O transporte da massa de resíduos sólidos é realizado por diversos tipos de veículos que podem variar em relação às regionalidades do país. No Brasil a maior parte da frota é formada por caminhões (basculante, carroceria ou baú e compactadores), porém existem algumas cidades do interior do país que utilizam carroças com tração animal.

Em levantamento realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), do qual participaram 4.589 municípios (82,4% dos 5.570 do país), existem aproximadamente 31,7 mil veículos de coleta de lixo. Estes veículos destinados a coleta utilizam, em sua maioria, óleo diesel, um combustível predominantemente fóssil e não renovável, responsável pela emissão de, entre outros poluentes, dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL; SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO, 2021). Um estudo realizado com 15,7 mil veículos em todo o Brasil constatou que o transporte de lixo é o que mais emite dióxido de carbono (CO₂) por quilômetro rodado. De acordo com o levantamento realizado por uma empresa de gerenciamento de frotas (AMBIENTE BRASIL, 2021) foi identificado que caminhões de coleta de lixo emitem cerca de 1,24 kg de CO₂ por quilômetro rodado.

A presença destes poluentes na atmosfera causa impacto direto na qualidade do ar e por consequência na saúde da população. De acordo com um estudo elaborado pelo *Energy Policy Institute*, da Universidade de Chicago, dos Estados Unidos (figura 1), a má qualidade do ar é mais perigosa para a saúde do que o uso de cigarro, álcool e drogas (BBC NEWS BRASIL, 2020).

Figura 1 - Média de expectativa de vida perdida por pessoa



Fonte: Adaptado de BBC NEWS BRASIL, 2020

Com o intuito de reduzir as emissões, em 1986 o CONAMA a partir da resolução 18 estabeleceu o Proconve – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores. Em 2018 o Conama publicou as Resoluções 490 e 492 que trazem as novas fases do Proconve com uma redução significativa no limite de NO_x e MP.

Existem diversas soluções e tecnologias aplicadas a novos veículos com o objetivo de diminuir a demanda por combustíveis fósseis, o presente projeto, entretanto, se limita a adequação de motores existentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os biocombustíveis são fontes de energia produzidas a partir de biomassa (matéria orgânica de origem animal ou vegetal) e por isso são considerados combustíveis renováveis, já que podem se recompor num ritmo capaz de suportar sua utilização sem risco de esgotamento.

São consideradas fontes de biomassa: plantas, resíduos florestais e da agropecuária (bagaço de cana-de açúcar, esterco), óleos vegetais (buriti, babaçu, mamona, dendê, etc), resíduos urbanos (aterro sanitário, lodo de esgoto) e alguns resíduos industriais (da indústria madeireira, de alimentos e bebidas, de papel e celulose, beneficiamento de grãos).

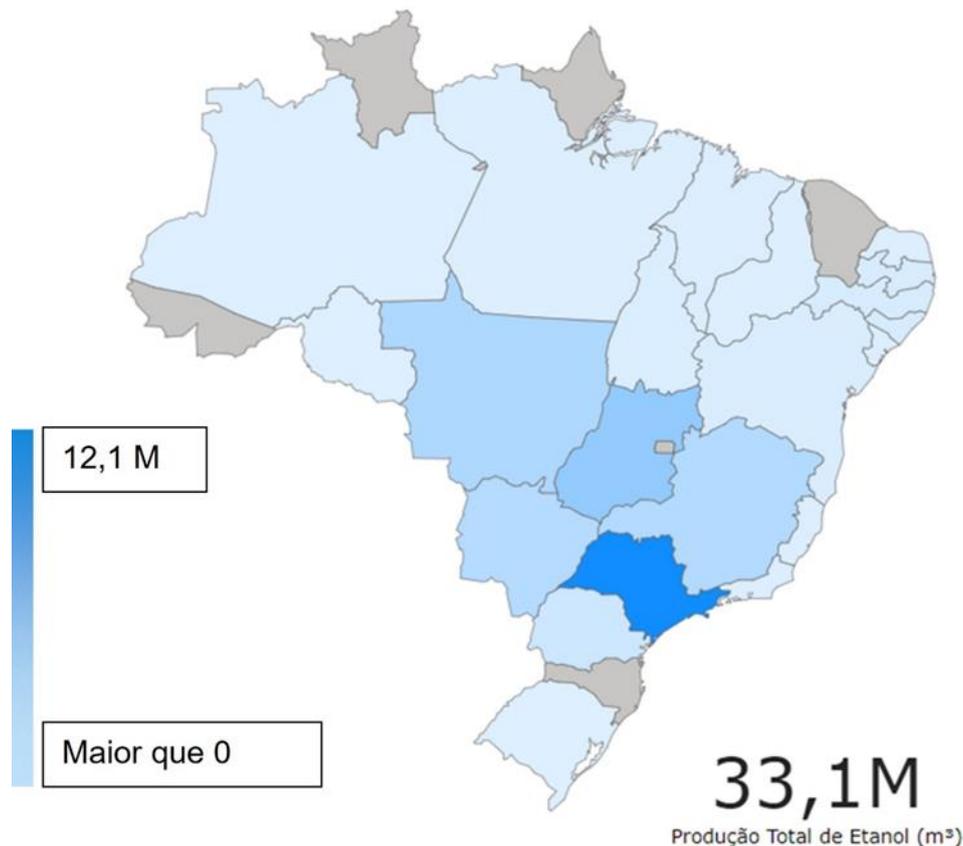
Os biocombustíveis podem substituir parcial ou integralmente combustíveis de origem fóssil e sua principal vantagem é que não contribuem para o acúmulo de gases do efeito estufa na atmosfera. Os biocombustíveis mais utilizados para veículos automotores são etanol, biodiesel e biometano.

2.1 ETANOL

O etanol, também chamado álcool etílico - na linguagem popular, é uma substância química com fórmula molecular C_2H_6O , produzida especialmente via fermentação de açúcares, hidratação do etileno ou redução a acetaldeído 12. (ETANOLVERDE, s.d)

Em 2020, a produção brasileira de etanol foi de 33,1 milhões de m^3 (figura 2), 43% mais do que 2011 quando a produção foi de 22,9 milhões de m^3 . Atualmente o país conta com 356 instalações produtoras de etanol, com previsão de inauguração de mais sete novas instalações até o fim de 2023 (GOV.BR, 2020).

Figura 2 - Painel dinâmico produção de etanol no Brasil



Fonte: Gov.br, 2020

No Brasil o etanol começou a ser utilizado como combustível no início da década de 1920, aumentando seu uso na década de 1970, a partir do Proálcool (Programa Nacional do Álcool) que incentivava tanto o desenvolvimento de veículos adaptados ao etanol como a produção do combustível pelos usineiros.

2.2 BIOMETANO

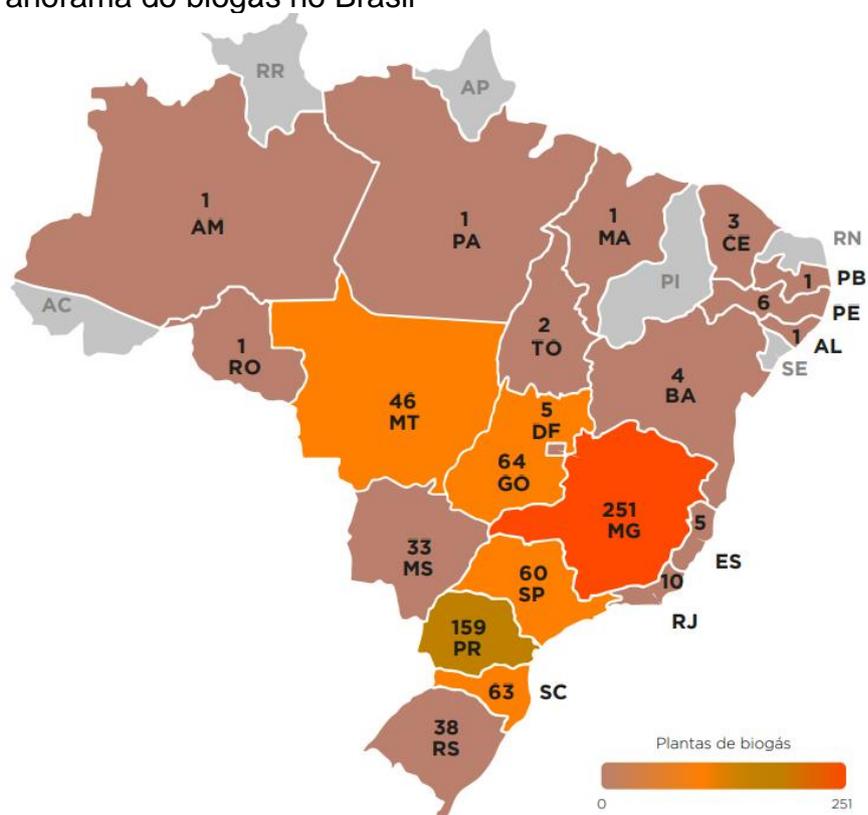
Biometano é um biocombustível gasoso obtido a partir do processamento do biogás. Por sua vez, o biogás é produzido a partir da decomposição de materiais orgânicos (de origem vegetal ou animal) que pode ser obtido de resíduos provenientes das atividades agropecuárias ou por meio do processamento do lixo de aterro sanitário e de estações de tratamento de esgoto (CIBIOPAS ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2012).

O biometano pode ser obtido ao purificar o biogás, para isso recomenda-se a remoção de impurezas como umidade, dióxido de carbono (CO₂), sulfeto de hidrogênio (H₂S) e siloxanos de modo a evitar problemas de corrosão e incrustação nos equipamentos (MIKI, 2018).

Após as etapas de purificação do biogás, obtém-se o biometano com elevado teor de metano em sua composição, que reúne características que o torna intercambiável com o gás natural em todas as suas aplicações ou passível de ser transportado na forma de gás comprimido ou na forma de gás liquefeito, denominado biometano liquefeito.

Atualmente existem no país 811 plantas de biogás (figura 3) com uma produção anual de 2,82 bilhões de Nm³ e capacidade teórica instalada de 84,6 bilhões. Estas plantas utilizam em sua maioria o biogás para aplicações em energia térmica, elétrica e mecânica e apenas 13 utilizam este biogás para produção de biometano (CIBIOGAS ENERGIAS RENOVÁVEIS, s.d).

Figura 3 - Panorama do biogás no Brasil



Fonte: CibioGas energias renováveis, s.d

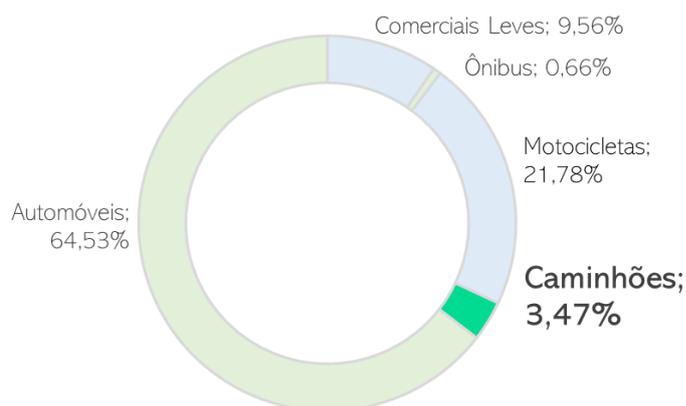
Os substratos utilizados para produção de biogás no Brasil podem ser divididos em três categorias quanto a fonte: agropecuária, industriais (agroindústrias) e de saneamento. Em 2021 o setor de saneamento foi responsável por 74% do volume total de biogás produzido, seguido pelos setores industrial (16%) e agropecuário (10%).

3 ANÁLISE DE MERCADO

A frota brasileira em circulação é de cerca de 65,8 milhões de veículos (figura 4). Destes, 7 milhões são de veículos comerciais leves, picapes e furgões (9,56%), 376,5 mil de ônibus (0,66%) e 2 milhões de caminhões (3,47%).

Em 2020, de acordo com os dados da ANFAVEA, a frota brasileira cresceu menos de 1,0% em comparação ao ano anterior. Considerando no cálculo a taxa de sucateamento aplicada pelo estudo da Sindipeças/Abipeças, contabilizaram-se 46,2 milhões de unidades em circulação, entre automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus, contra 45,9 milhões em 2019 (ANFAVEA, 2021).

Figura 4 - Frota circulante no Brasil por categoria (%)



Fonte: Sindipeças e abipeças, 2021

Em 2020, os automóveis *flex* representaram 71,4% da frota circulante no Brasil e os veículos à gasolina, 17,4%. A participação daqueles movidos a diesel se manteve estável próximo a 11%. No caso dos veículos híbridos e elétricos, embora a quantidade, quando comparada às demais categorias ainda seja muito pequena, registraram-se 37,5 mil unidades em 2020, o que corresponde a cerca de 0,1% em relação à frota total.

Com a alta dos mercados do agronegócio e mineração e o aumento das necessidades decorrentes das entregas do e-commerce e o maior volume das exportações, a frota de caminhões conseguiu avançar em 2020. Ela alcançou 2 milhões de unidades, com incremento de 1,2% em relação ao ano anterior. Como a produção de caminhões em 2019 foi reduzida drasticamente, o incremento ainda foi inferior à passagem de 2018 para 2019 (2,3%).

3.1 CONSUMO E CUSTO OPERACIONAL

O segmento de transporte comporta em média 70% do total do consumo energético de combustíveis derivados do petróleo no país, sendo o setor de transporte rodoviário responsável por mais de 90% do segmento. O óleo diesel avançou como combustível de maior presença relativa na matriz de combustível veicular, com participação média de 45% nos últimos 10 anos (EPE, 2020).

A dependência do diesel no transporte de cargas no Brasil está ligada a uma logística de fornecimento de insumos baseada na utilização do modal rodoviário, em função das limitações da malha ferroviária e pela falta da infraestrutura dos outros modais. De acordo com dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, o consumo de diesel no Brasil em 2019 foi cerca de 10,3 bilhões de litros/ano. Desse total, a dependência externa foi de cerca de 30% em 2019 (GOV.BR, 2020).

O custo operacional de um veículo de carga pode ser dividido em custos relacionados à segurança, despesas administrativas, custos fixos (como salários dos motoristas), licenciamento, IPVA e seguro DPVAT, depreciação do veículo e manutenção preventiva e custos variáveis como gastos com combustível, pneus e pedágios. Aproximadamente 58% do custo operacional total corresponde ao consumo de combustível (CNT, 2019).

3.2 PARÂMETROS PARA A APLICAÇÃO

Para a determinação do motor base do projeto, é necessário estudar os requisitos que a aplicação do veículo exige. Tratando-se de um veículo denominado para a coleta de resíduos, segundo um estudo realizado pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), a velocidade média de coleta varia entre 4 a 6,5 km/h, que foi preferencialmente medida em roteiros de coleta existentes, dependendo do sistema viário, da topografia, quantidade de lixo a ser coletada por unidade de distância (kg/km) e carregamento. Já a velocidade média do veículo varia entre 15 e 30 km/h, nos percursos entre a garagem, setor e ponto de descarga, medida em campo, dependendo das condições locais de trânsito e carregamento do veículo (CEMPRE, 2018).

Além disso, este estudo também diz respeito à distância percorrida pelos caminhões de lixo, que varia entre 12 a 15 km por trajeto, no caso de caminhões compactadores. Por fim, foi analisado o torque necessário para esta aplicação, entre 400 a 600 Nm. Desta maneira, o veículo será capaz de superar rampas mesmo estando carregado, pior cenário possível (CEMPRE, 2018).

3.3 ESPECIFICAÇÃO DE CAMINHÃO DIESEL UTILIZADO NA COLETA

Por ser amplamente utilizado para a aplicação de coleta de lixo, foi escolhido o motor MB OM 924 LA Proconve P-7, que é utilizado nos veículos da Mercedes-Benz, modelo Atego 1719 4x2 2021.

As especificações técnicas estão listadas abaixo (quadro 1):

Quadro 1 - Especificações do caminhão usado como base

Modelos	MB1719 4x2
Capacidade	15m ³
Peso Bruto Total (PBT)	17.100
Capacidade de Combustível	210L / 300L*
Modelo do Motor	MB OM 924 LA
Potência Máx.	208cv/153kW @ 2200 rpm
Torque Máx.	780Nm @ 1200 ~ 1600 rpm

Fonte: Mercedes-Benz, 2021

Analisando o torque máximo, pode-se concluir que existe um superdimensionamento nestes veículos, tendo em vista que no geral, a aplicação exige até 600 Nm.

4 EMISSÕES

O setor de Coleta de Lixo, que é o foco deste projeto, utiliza caminhões entre semi-levés a pesados, a categoria que mais emite CO₂ equivalente (CO₂e) de acordo com as informações contidas no Plano de Controle de Poluição Veicular (2021), onde foram estabelecidas as quantidades de CO₂ emitidas por categoria de veículo, conforme o quadro 2 (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2021):

Quadro 2 - Emissão de gases de efeito estufa

Categoria		Combustível	CO ₂ e (mil t)
Automóveis		Gasolina, Etanol e Flex	10478
Comerciais Leves		Gasolina, Etanol, Flex e Diesel	4990
Caminhões	de Semi leves a Pesados	Diesel	17002
Ônibus	Urbanos, Micro-ônibus e Rodoviários	Diesel	4931

Fonte: Governo do estado de São Paulo, 2021

Importante ressaltar outro estudo bastante relevante, realizado pela Ambiente Brasil (2011), onde foram levantadas as emissões CO₂e por quilômetro rodado para diferentes categorias de veículos em que os caminhões de lixo, pela natureza de sua utilização em baixas velocidades, paradas constantes e alta carga, foram os maiores emissores. Com 1,24 kg CO₂e/km, os caminhões utilizados na coleta de lixo superaram os utilizados pela indústria química em quase 12%. É evidente portanto o impacto deste setor no total das emissões e a importância da busca por soluções mais sustentáveis para essa aplicação.

5 NORMA E LEGISLAÇÃO

Visto que se trata de um estudo que envolve veículos comerciais e suas emissões, o grupo deve se atentar e atender as especificações previstas nas normas e leis brasileiras que se aplicam ao projeto.

Abaixo estão as principais normas que devem ser atendidas:

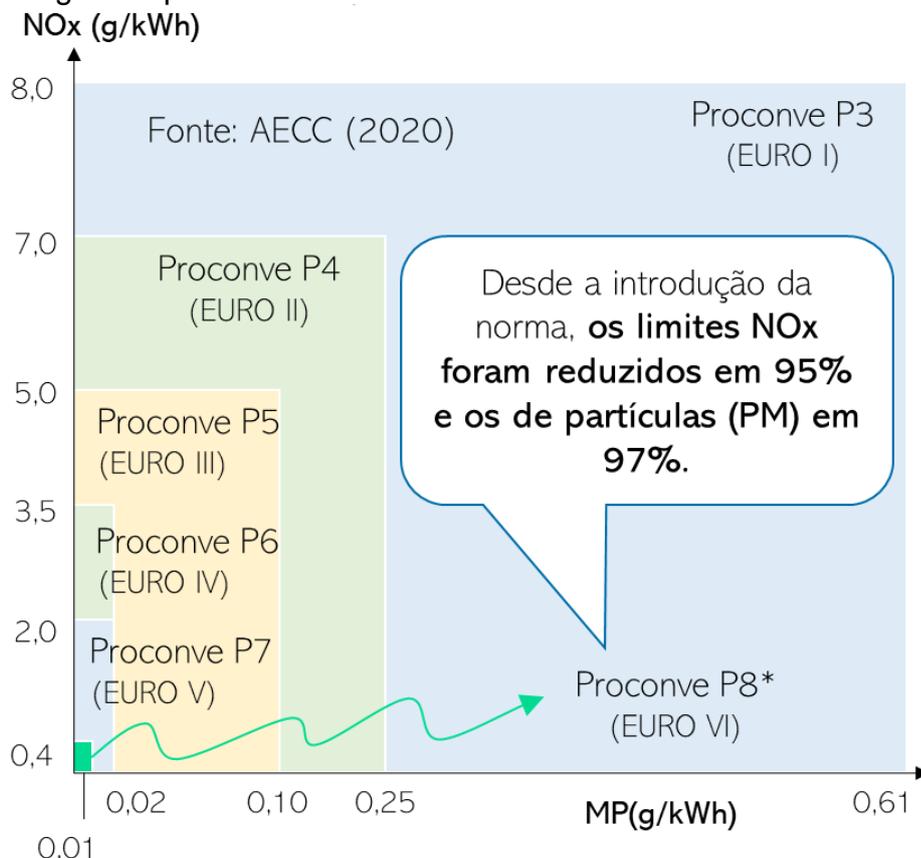
a) Proconve

O PROCONVE (Programa de Controle de Emissões Veiculares) foi instituído a partir da Resolução CONAMA nº18 de 6 de maio de 1986, e teve suas determinações reforçadas pela lei 8723 de 28 de outubro de 1993, estabelecendo assim algumas especificações de emissões de poluentes, como monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e material particulado, a fim de atender os padrões de qualidade do ar, especialmente nos grandes centros urbanos (COMANA, 1986).

Após sua implementação, o programa passou por novas fases, com a adição de novas resoluções, onde foram estabelecidos limites de ruído externo e reduzidos gradativamente os limites de emissões de poluentes (figura 5).

Dividiu-se também o PROCONVE por categoria de veículo e fase, sendo as mais recentes: MAR-1 (Máquinas Agrícolas e Rodoviárias), L-7 (Veículos leves) e P-8 (Veículos pesados), sendo que, para o projeto, deve-se levar em conta os limites estabelecidos pelo P-8, na resolução 490/2018 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Figura 5 - Programas brasileiros e europeus de controle de emissões para veículos de grande porte



Fonte: Ministério do meio ambiente, 2018

b) NBR 11353

Esta norma estabelece os parâmetros para funcionamento e abastecimento de veículos com gás, definindo requisitos a serem seguidos para os cilindros de gás, pelo sistema de abastecimento etc. (LEGISWEB, s.d).

c) Renovabio

O RenovaBio é uma política, instituída pela Lei nº 13.576/2017, de reconhecimento do papel estratégico dos combustíveis na matriz energética brasileira, com relação à segurança energética, à previsibilidade do mercado e à mitigação de emissões dos gases causadores do efeito estufa. O programa é dividido em três eixos estratégicos: Metas de Descarbonização, Certificação da Produção de Biocombustíveis e Crédito de Descarbonização (CBIO) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, s.d).

d) ANP

A ANP, Agência Nacional do Petróleo, Biocombustíveis e Gás Natural, que foi instituída em agosto de 1997 pela lei nº 9.478, é a agência responsável pelas regras e resoluções de exploração, produção, refino, comercialização e transporte do petróleo e seus derivados no Brasil (BRASIL, 1997).

Para este projeto, foram destacadas algumas resoluções da ANP julgadas mais relevantes, como:

- Resolução nº 8/2015

Aplica-se ao biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015)

- Resolução nº 685/2017

Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS, 2017).

6 PROJETO

6.1 PROBLEMATIZAÇÃO

A atual frota de caminhões de lixo ainda é majoritariamente movida por combustível fóssil, não sustentável e poluente. Os malefícios associados à queima de diesel, estão principalmente relacionados ao material particulado e ao NO_x, que são prejudiciais à saúde humana.

Estudamos, portanto, a possibilidade de adaptá-los ao uso de combustíveis mais adequados às necessidades atuais de emissões e sustentabilidade, como o biometano e o etanol.

6.2 PROPÓSITO

Seguindo as tendências mundiais de redução de emissão de poluentes e de aumento da utilização de combustíveis mais sustentáveis, a proposta do projeto é de desenvolver uma solução para os motores diesel existentes para que possam utilizar biocombustíveis. Desta forma, espera-se reduzir significativamente a emissão de gases poluentes e material particulado, de maneira a manter os requisitos básicos que a aplicação solicita. Como por exemplo, durabilidade, autonomia, torque e potência.

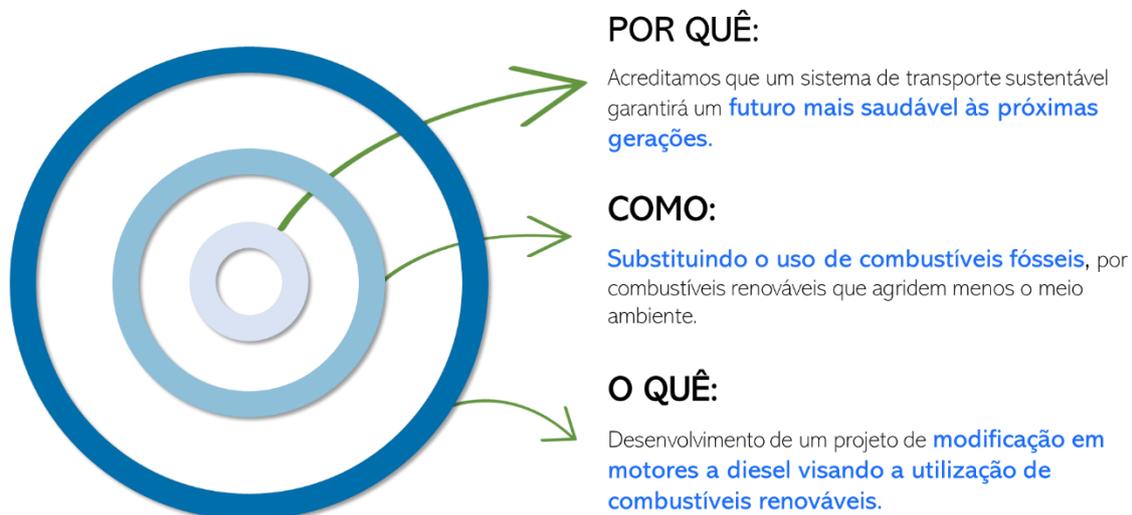
6.3 GOLDEN CIRCLE

O *Golden Circle* é uma ferramenta criada pelo escritor, palestrante e especialista em liderança Simon Sinek que tem como metodologia orientar empresas e líderes a buscarem um propósito ao desenvolverem uma nova ideia sistematizando novos modos de agir, pensar e se comunicar. O *Golden Circle* possui três perguntas partindo do círculo central até a camada externa:

- a) Por quê;
- b) Como;
- c) O quê.

Estas perguntas foram respondidas abaixo alinhadas com o propósito do projeto, conforme a figura 6, abaixo:

Figura 6 - *Golden Circle Biometruck*



Fonte: Autores

6.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE

A análise de viabilidade é um processo que envolve uma série de estudos sobre a proposta do projeto e seu mercado, e que tem como finalidade avaliar a relevância e a viabilidade de uma ideia antes da fase de desenvolvimento, para que assim se possa seguir de uma forma mais assertiva.

Sabendo que o problema está baseado nas emissões causadas pela queima do diesel em caminhões de coleta de lixo, afetando o meio ambiente e a expectativa de vida, e que nossos clientes são as empresas públicas ou privadas de coleta, transporte e processamento do lixo, foi considerada uma proposta viável de alteração da matriz energética somada a uma redução de custo relacionado ao combustível, além do possível aproveitamento do biometano gerado dentro dos próprios aterros sanitários. Somado a isso, com a redução nas emissões de GHG, aquele que o faça, terá direito a créditos de carbono. Toda essa estrutura está esquematizada na figura 7, abaixo:

Figura 7 - Análise rápida de viabilidade



Fonte: Autores

7 BENCHMARKING

Foi realizado benchmarking com três soluções possíveis em motores de combustão interna usando etanol, diesel e biometano em diferentes tipos de ciclos.

7.1 ETANOL ADITIVADO

O uso deste combustível quando utilizado em ciclo diesel requer alterações mecânicas na linha de combustível por uma de maior vazão, a fim de suportar a quantidade de combustível necessária. Dentre as alterações tem-se a troca dos pistões, para aumentar a taxa de compressão, e o uso de aditivo que permite a ignição por compressão. Este aditivo deve ser capaz de reduzir a octanagem e aumentar o número cetano do combustível, proporcionando propriedades que o permitem ser utilizado no ciclo de ignição por compressão.

A utilização do etanol aditivado reduz as emissões e incentiva a produção nacional de aditivos. Como desvantagem, tem-se o consumo maior quando comparado ao diesel e a consequente redução da autonomia, além de aumentar o custo caso o aditivo seja importado.

7.2 DUAL-FUEL DIESEL-BIOMETANO

A segunda solução estudada foi o sistema *dual-fuel*, diesel e biometano. Para que o motor funcione nesta configuração, além da instalação das peças necessárias, é preciso que a injeção de biometano seja feita adicionando uma pequena quantidade de diesel, para que se possa iniciar a combustão.

A vantagem desse sistema é que a vida útil do motor não é alterada, visto que o ciclo diesel é mantido e fornece uma flexibilidade de abastecimento, podendo funcionar apenas com diesel, entretanto ainda se mostra dependente do petróleo e permite que apenas uma porcentagem de gás seja admitida, limitada pela função de ignição do diesel.

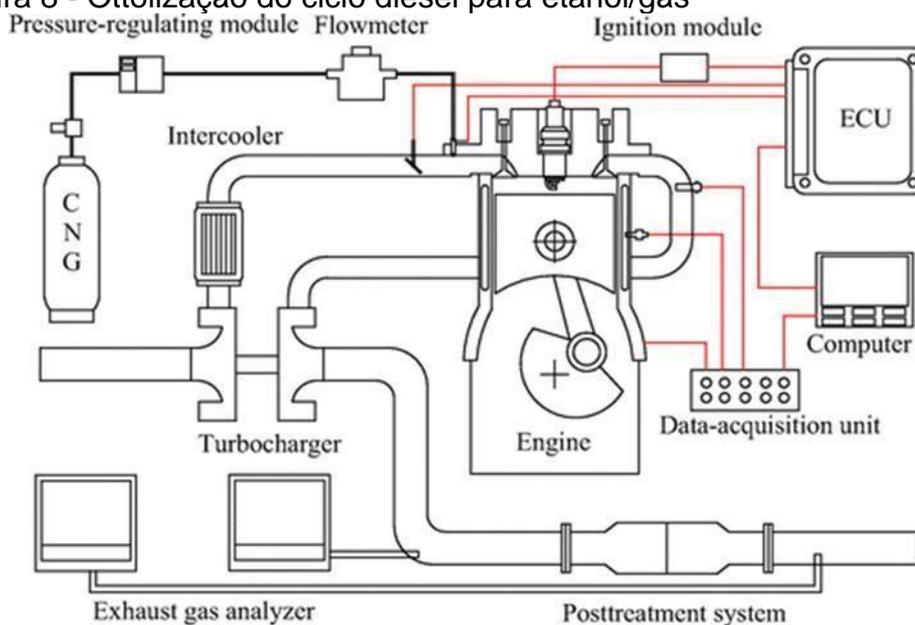
7.3 OTTOLIZAÇÃO PARA ETANOL-BIOMETANO

A solução adotada pelo grupo foi a de realizar a Ottolização deste motor diesel (figura 8), implementando uma vela de ignição no cabeçote e reduzindo a taxa de compressão através da usinagem dos componentes do motor. Isso permite a utilização do etanol e do biometano, descartando a emissão de material particulado provenientes do diesel. A ignição, controlada por módulos eletrônicos, pode ser ajustada para a temperatura em que se tem a melhor condição de funcionamento.

Através desse sistema de injeção, tem-se um controle maior na temperatura de combustão, aumentando a eficiência energética, permitindo a possibilidade de se usar biogás gerado pelos aterros, mantendo-se a autonomia dos motores diesel.

Para que haja o correto funcionamento desse motor é necessário ter uma intervenção maior no conjunto do motor, além do aumento do peso devido a instalação dos tanques, gerando um custo mais alto de implementação.

Figura 8 - Ottolização do ciclo diesel para etanol/gás



Fonte: Costa, 2017

7.4 MATRIZ DE DECISÃO

Em grande parte dos projetos de engenharia deve-se empregar diversos critérios para avaliação de soluções propostas. Para o projeto em questão utilizamos a matriz de decisão, uma ferramenta que estabelece uma pontuação para cada um dos critérios previamente estabelecidos pelo grupo, auxiliando na decisão da solução mais adequada, as soluções propostas pelo grupo foram:

- a) Ciclo Diesel – Combustível Diesel;
- b) Ciclo Diesel – Combustível Diesel + Biogás;
- c) Ciclo Diesel – Combustível Etanol Aditivado;
- d) Ciclo Diesel Ottolizado – Combustível Etanol;
- e) Ciclo Diesel Ottolizado – Combustível Etanol + Biogás.

O primeiro passo foi listar quais são os atributos que fundamentam a escolha da melhor solução e seu peso, ou seja, alguns atributos possuem mais impacto que outros, os critérios definidos e seus respectivos pesos foram os seguintes:

- 1- Autonomia (3)
- 2 - Emissões de gases poluentes (5);
- 3 - Confiabilidade do motor (3);
- 4 - Facilidade na adaptação do sistema (3);
- 5 - Inovação (3);
- 6 - Frequência de manutenção (3);
- 7 - Custo de instalação (2);
- 8 - Retorno sobre o investimento (4);
- 9 - Disponibilidade na matriz energética brasileira (4);
- 10 - Disponibilidade do combustível (4).

Em seguida, o grupo construiu uma tabela relacionando os dez critérios e as cinco soluções propostas que foram pontuadas de acordo com uma escala de “1” a “5”, onde “1” significa um desempenho “Muito Pior” em relação às demais soluções e “5” um desempenho “Muito Melhor”.

Os valores atribuídos foram multiplicados aos pesos de cada critério que resultou em uma pontuação total conforme a figura 9 a seguir:

Figura 9 - Matriz de decisão - *Biometruck*

Matriz de Decisão						
Adaptação de motores ciclo diesel para funcionamento através de um sistema dual-fuel com biocombustíveis (etanol/biogás)						
Critérios	Temas	Ciclo Diesel			Ciclo Diesel Ottolizado	
		Peso do Critério	Utilizando Diesel	Utilizando Diesel+Biogás	Utilizando Etanol Aditivado	Utilizando Etanol
Autonomia	3	-	4	2	2	3
Emissões de gases poluentes	5	-	4	5	5	5
Confiabilidade do motor	3	-	1	3	2	1
Facilidade na adaptação do sistema	3	-	2	3	2	2
Inovação	3	-	4	4	4	5
Frequência de manutenção	3	-	2	2	2	2
Custo de instalação	2	-	2	2	1	1
Retorno sobre o investimento	4	-	4	2	2	5
Disponibilidade na matriz energética brasileira	4	-	4	4	4	5
Disponibilidade do combustível	4	-	3	2	4	5
Total	34	-	107	103	103	126

Legenda 1 - Muito Pior 2 - Pior 3 - Igual 4 - Melhor 5 - Muito Melhor Amplitude da escala de notas 1 a 5
Amplitude do peso 1 a 5

Fonte: Autores

Considerando os resultados da Matriz de Decisão, o grupo optou por seguir com a proposta de solução que utiliza um Ciclo Diesel Ottolizado com combustíveis Etanol e Biogás (biometano).

8 FERRAMENTAS DE ENGENHARIA

Foram aplicadas ferramentas de engenharia com o objetivo de ampliar o conhecimento do projeto e promover possíveis novas soluções e aplicações que atinjam os mesmos (ou até melhores) resultados.

Ao desenvolvê-las, temos como objetivo identificar as peças a serem utilizadas e os principais sistemas envolvidos, além de mapear as falhas, riscos e suas respectivas tratativas.

8.1 STORYBOARD

O *Storyboard* (figura 10) ou Esboço sequencial, são maneiras gráficas de se representar um fluxo tendo como objetivo a fácil visualização da sequência que se queira apresentar.

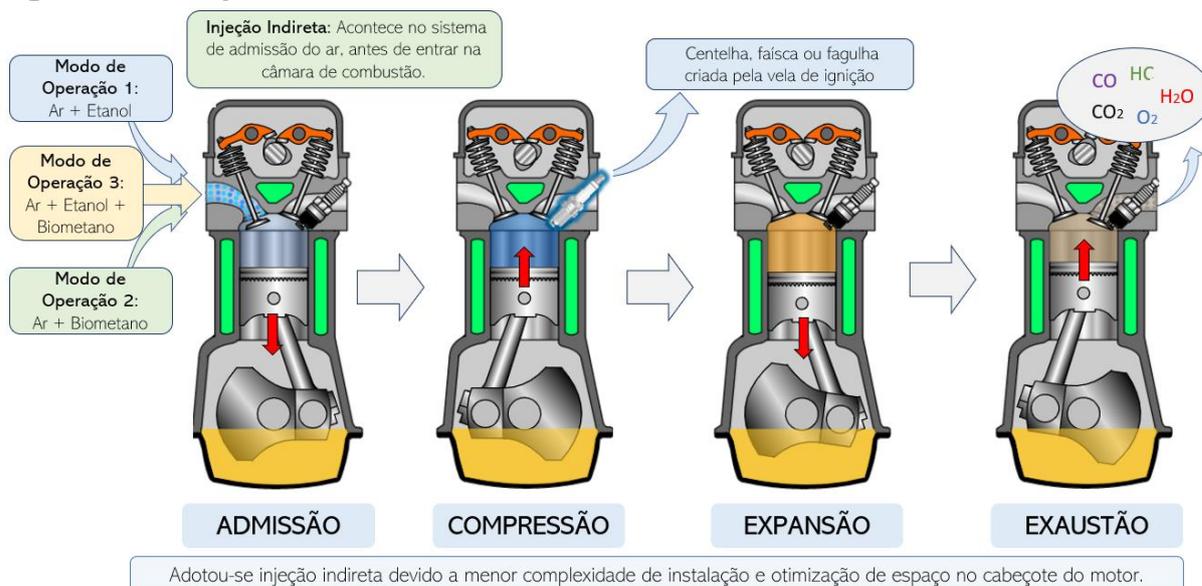
Referente ao projeto *Biometruck*, é possível visualizar a operação do motor após suas modificações, funcionando no ciclo Otto, com 4 tempos e com injeção indireta de combustível. A fim de manter a estrutura do motor original foram mantidos os quatro tempos, no entanto, por conta da natureza dos combustíveis empregados, foi necessário utilizar o ciclo Otto. Com relação à injeção, foi escolhida a indireta por sua menor complexidade e por uma maior otimização do cabeçote do motor.

Para fins de operação identificamos três modos, com diferentes opções de combustíveis empregados, conforme abaixo:

- a) Modo de operação 1: Ar + Etanol;
- b) Modo de operação 2: Ar + Biometano;
- c) Modo de operação 3: Ar + Etanol + Biometano.

Foi definida como prioridade o modo de operação 2.

Figura 10 - *Storyboard Biometruck*

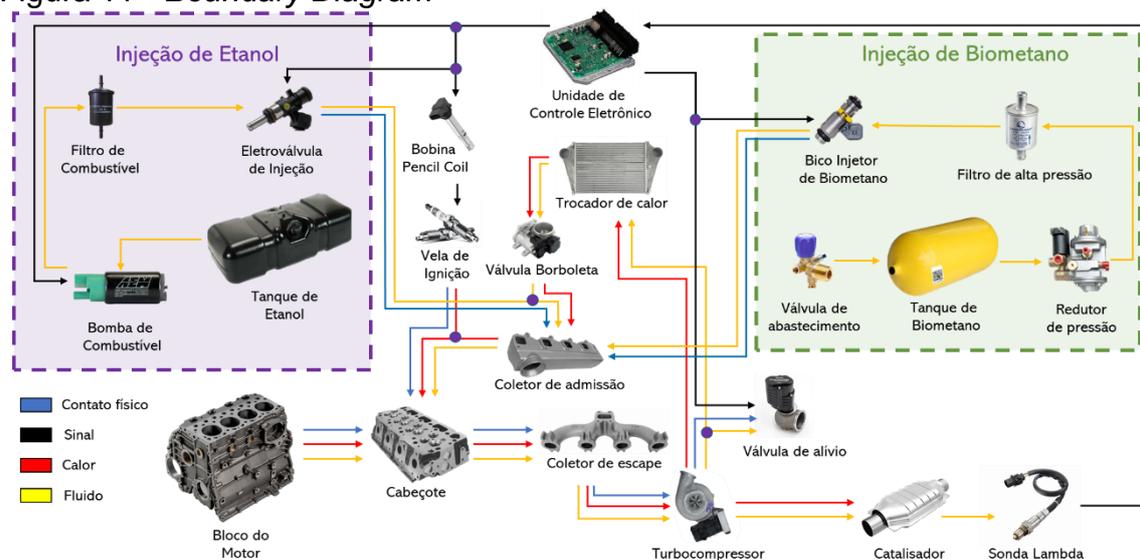


Fonte: Adaptado de Stefanelli.eng, 2022

8.2 BOUNDARY DIAGRAM

O *Boundary Diagram* (figura 11) ou Diagrama de Fronteiras, é uma representação esquemática do sistema analisado, ilustrando os limites de interação do sistema, assegurando que nenhum componente seja afetado indevidamente pelas modificações do projeto.

Ao diagramar o projeto, segmentamos em três principais áreas: a injeção de etanol, a injeção de biometano e os componentes centrais e auxiliares do motor, ligadas por interações diferenciadas entre contato, sinal, calor e fluido. Com essa ferramenta observa-se a interação entre os diferentes sistemas e a importância de garantir um sistema de injeção e ignição bastante ajustados, além de garantir um sistema de controle de gases adequado, reduzindo as emissões.

Figura 11 - *Boundary Diagram*

Fonte: Autores

8.3 ENGENHARIA REVERSA

A engenharia reversa é utilizada para detalhar o sistema através das características de cada componente a fim de aprofundar o conhecimento sobre o funcionamento do produto e as tecnologias utilizadas.

Por meio dessa ferramenta foi possível determinar os componentes a serem utilizados no projeto e suas características, permitindo a estimativa do peso e dimensões do *kit* além dos possíveis fornecedores. Na tabela são mostradas as seguintes informações:

- Processo de fabricação;
- Material;
- Fornecedores;
- Dimensões básicas (mm);
- Massa (kg).

Com o uso dessa ferramenta, foram definidos os componentes utilizados no projeto *Biometruck* e suas respectivas informações.

As tabelas completas se encontram no Apêndice B – Engenharia Reversa.

8.4 ANÁLISE DE VALOR/ DIAGRAMA FAST

A metodologia da Análise de Valor permite identificar e classificar as funções dos componentes do projeto em:

- a) Básica ou secundária;
- b) Indesejada, irrelevante ou relevante;
- c) Função de uso ou de aparência.

A análise de valor do projeto com os componentes e suas classificações, encontram-se nos quadros 3 e 4.

Quadro 3 - Análise de valor - Componente x Função

Componente	Função	Componente	Função
Velas	Produzir centelha	Tubo de Alta pressão	Transportar biometano
	Iniciar a combustão	Manômetro	Indicar a pressão do gás
Bobina Pencil Coil	Transformar tensão	Bico Injetor	Injetar biometano
	Fornecer energia	Tanque de Etanol	Armazenar etanol
Gerenciar o motor	Permitir o abastecimento		
Unidade de Controle Eletrônico	Entregar potência	Pré-filtro	Separar contaminantes
	Gerenciar autonomia	Filtro de Etanol	Reter impurezas
	Controlar atuadores	Bomba de Baixa Pressão e Regulador	Transportar etanol
	Coletar informações		Pressurizar etanol
Sensor Indutivo	Coletar informações	Eletroválvula de injeção	Injetar etanol
	Dimensionar injeção		Controlar fluxo
Redutor e Regulador de Pressão	Despressurizar o biometano	Sensor de Temperatura	Coletar informações
Controle Eletrônico de Vazão de Gás	Coletar informações	Sensor de posição do pedal acelerador	Coletar informações
	Controlar fluxo		Demandar potência
Sonda Lambda	Avaliar mistura	Sensor de nível do tanque	Coletar informações
	Coletar informações	Linha de Etanol (tubulação)	Transportar etanol
Cilindro de Gás	Armazenar biometano	Válvula borboleta eletrônica	Regular admissão
Filtro de Gás	Reter impurezas	Catalisador 3 vias	Converter gases
Válvula da Cabeça do Cilindro	Permitir o abastecimento		

Fonte: Autores

Quadro 4 - Análise de valor - Função x Classificação

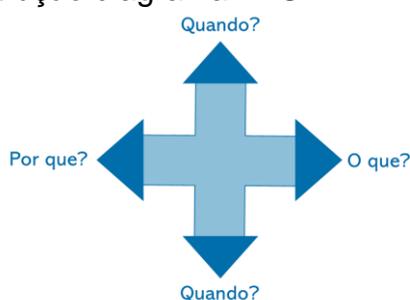
Função	Classificação			Função	Classificação		
	B/S	-/0/+	U/A		B/S	-/0/+	U/A
Produzir centelha	B	+	U	Permitir o abastecimento	B	+	U
Iniciar a combustão	B	+	U	Reter impurezas	B	+	U
Transformar tensão	S	+	U	Transportar biometano	B	+	U
Fornecer energia	B	+	U	Indicar a pressão do gás	B	+	U
Gerenciar o motor	B	+	U	Injetar biometano	B	+	U
Entregar potência	S	+	U	Armazenar etanol	B	+	U
Gerenciar autonomia	S	+	U	Separar contaminantes	B	+	U
Controlar atuadores	B	+	U	Transportar etanol	S	+	U
Coletar informações	S	-	U	Pressurizar etanol	B	+	U
Dimensionar injeção	B	+	U	Injetar etanol	B	+	U
Despressurizar o biometano	B	+	U	Demandar potência	B	+	U
Controlar fluxo	B	+	U	Converter gases	B	+	U
Avaliar mistura	B	+	U	Regular admissão	B	+	U
Armazenar biometano	B	+	U				

B/S: Básica/Secundária | -/0/+ : Indesejada/Irrelevante/Relevante | U/A: Uso/Aparência

Fonte: Autores

Depois de classificadas, as funções são dispostas no diagrama FAST (*Function Analysis System Technique*), que permite uma visualização e maior entendimento do funcionamento do produto. Para isso, as funções devem ser posicionadas de forma que se estabeleça uma relação lógica entre elas. Isso é feito através das perguntas “Como?”, “Por quê?” e “Quando?”, que são respondidas pelas próprias funções no diagrama, como na Figura 12.

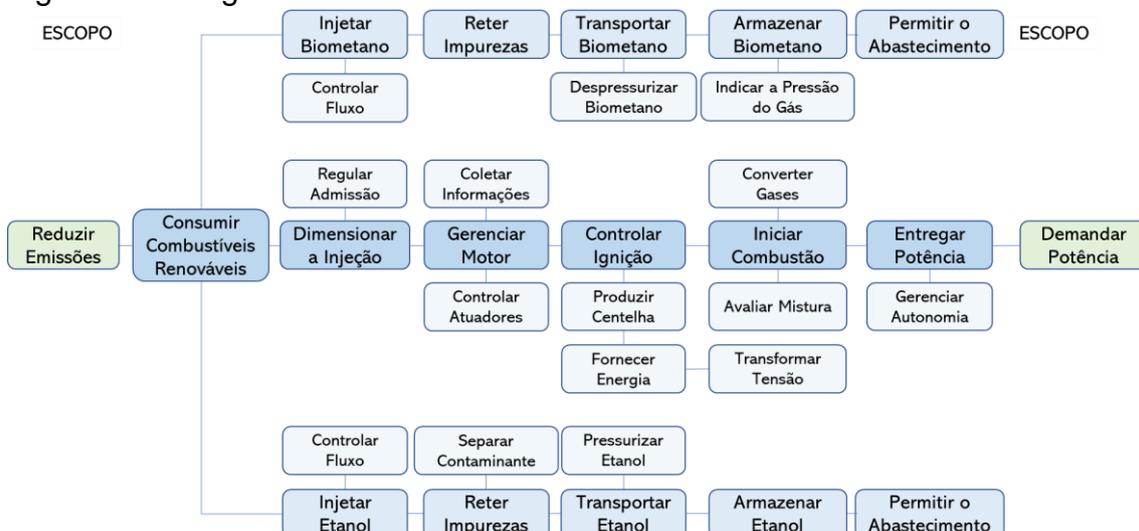
Figura 12 - Lógica de construção diagrama FAST



Fonte: Autores

O diagrama FAST, referente ao projeto Biometruck, foi segmentado na parte superior referente ao sistema gás e na parte inferior referente ao etanol, a fim de facilitar a visualização e entendimento. Ao centro observa-se a linha principal de funcionamento do sistema (figura 13).

Figura 13 - Diagrama FAST Biometruck



Fonte: Autores

8.5 DIAGRAMA DE PARÂMETROS (P-DIAGRAM)

O Diagrama de Parâmetros (ou *P-Diagram*) é uma ferramenta de engenharia que auxilia no entendimento das relações entre as funções do produto. Por meio da ferramenta mostramos as entradas e saídas esperadas do sistema, com base em fatores de controle, assim como os estados de erro, causados por fatores não controláveis ou não esperados pela equipe de projeto em situações de uso (fatores de ruído).

Em nosso projeto, entram e se misturam no motor o biometano e o etanol, e as saídas esperadas são, além de torque, potência e autonomia suficientes para a aplicação, também a emissão de gases com menor impacto ambiental.

Os fatores que devem ser controlados para que tal processo ocorra de forma correta são: tempo de injeção de combustível, proporção biometano/etanol, proporção ar/combustível, avanço de ignição, pressão de turbo, pressão da linha de combustível, carga das bobinas, carga da bateria, temperatura de admissão, entre outros.

Entretanto, o sistema é suscetível a fatores de ruído, que podem aparecer tanto na fase de processo de produção quanto devido a desgastes por tempo de uso, ou até mesmo devido à interação com o ambiente externo (como tipo de pavimento, condição climática etc.), que podem levar o sistema à condição de erro, como alto consumo de combustível, perda de potência, desgaste prematuro, falhas eletrônicas, altas temperaturas dos gases de escape, baixa lubrificação dos componentes etc.

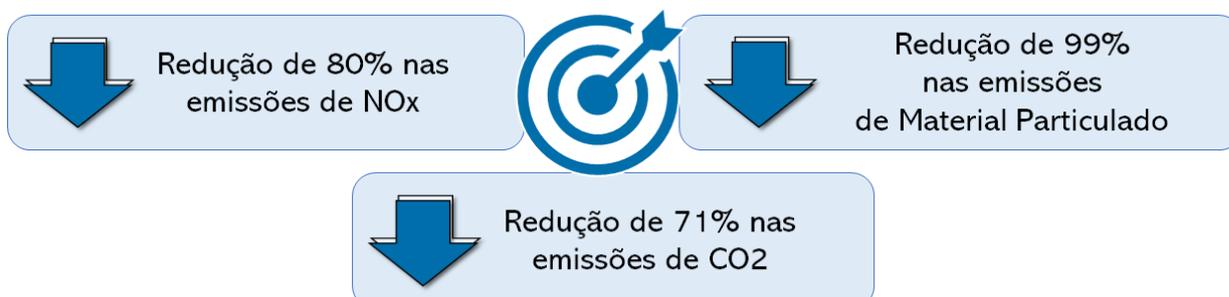
O diagrama de parâmetros, referente ao projeto *Biometruck*, se encontra no Apêndice A – Diagrama P.

8.6 TARGET DO PROJETO

Nessa ferramenta busca-se definir os objetivos a serem alcançados com o projeto. Para isso, utilizamos como base um estudo similar (Probiogás – “Biometano Como Combustível Veicular” 1ª Edição Ministério das Cidades Brasília, 2016) (BIOGÁS, 2016), no qual um caminhão movido a diesel foi modificado e passou a operar com gás, onde atingiram uma redução de 80% nas emissões de NO_x, de 99% na emissão de material particulado e de 71% nas emissões de CO₂e. Definimos,

portanto, como target a redução significativa desses mesmos parâmetros com nossa solução, conforme a figura 14:

Figura 14 - Target do projeto



Fonte: Autores

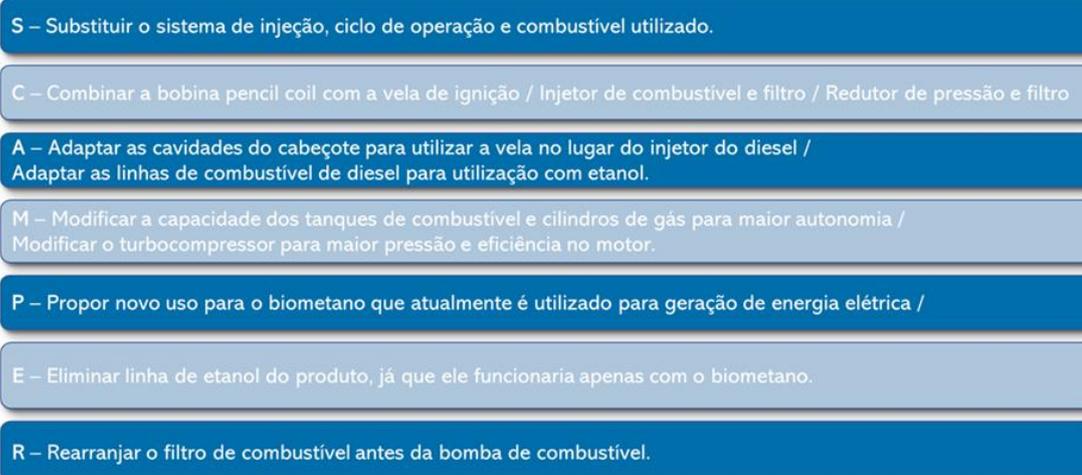
8.7 SCAMPER

Desenvolvida com o propósito de estruturar e organizar as sessões de “*brainstorming*”, a ferramenta *SCAMPER* foi criada como uma técnica de geração de novas ideias, constituindo uma sequência de conceitos que ajudam a fazer associações entre ideias a fim de promover novas formas de enxergar a situação.

SCAMPER é uma sigla que está relacionada aos conceitos básicos desta técnica, que são: substituir, combinar, adaptar, modificar, propor (novas aplicações ou usos), eliminar e reorganizar.

Portanto, ao aplicar esta ferramenta ao projeto, surgiram algumas ideias, como pode ser visto na figura 15 abaixo:

Figura 15 - *SCAMPER* do projeto



Fonte: Autores

Contudo, após o levantamento de ideias, concluímos que não seria possível aplicá-las em nosso projeto, devido ao grande impacto no custo e/ou no projeto em si, não sendo viáveis no cenário abordado.

8.8 QUADRO MORFOLÓGICO

O quadro morfológico é uma ferramenta de auxílio para a identificação de todas as soluções práticas para um problema. O propósito da ferramenta é a construção de uma tabela com os parâmetros utilizados no projeto e, para cada um dos parâmetros, apresentar as soluções parciais possíveis (figura 16). Desta forma, as combinações das opções para cada parâmetro geram uma enorme quantidade de soluções práticas diferentes, assim podemos analisar e escolher as mais adequadas.

Figura 16 - Quadro morfológico

Parâmetros	Soluções Parciais					
Alimentar o motor	Etanol + Biogás	Diesel	Diesel + Biogás	Etanol	Etanol Aditivado	Biogás
Injetar combustível	Indireta	Direta				
Quantidade de cilindros	4	5	6	8		
Ciclo termodinâmico	Otto	Diesel	Atkinson	Miller		
Sobrealimentar o motor	Turbo	Supercharger	Óxido Nitroso	Nenhum		
Iniciar a combustão	Centelha	Compressão				
Produzir centelha	Pencil Coil	Distribuidor	Bobina Estática			

Fonte: Autores

Após a construção e análise do quadro para nosso projeto, identificamos a oportunidade de otimizar o projeto com a utilização da bobina *Pencil Coil*, abandonando os distribuidores e cabos de vela.

8.9 CANVAS DE NEGÓCIOS

Conhecido globalmente como *Business Model Canvas* (figura 17), esta ferramenta, baseada em conceitos de *Design Thinking*, foi criada pelo suíço Alex Osterwalder, em 2004. A fim de auxiliar os empresários de maneira bastante visual, o *Canvas* fomenta a importância de colocar as ideias no papel como um mapa visual de todo o negócio em apenas uma página ou slide. Tem a função de criação, melhoria ou inovação de empresas. Ajudando na organização das ideias.

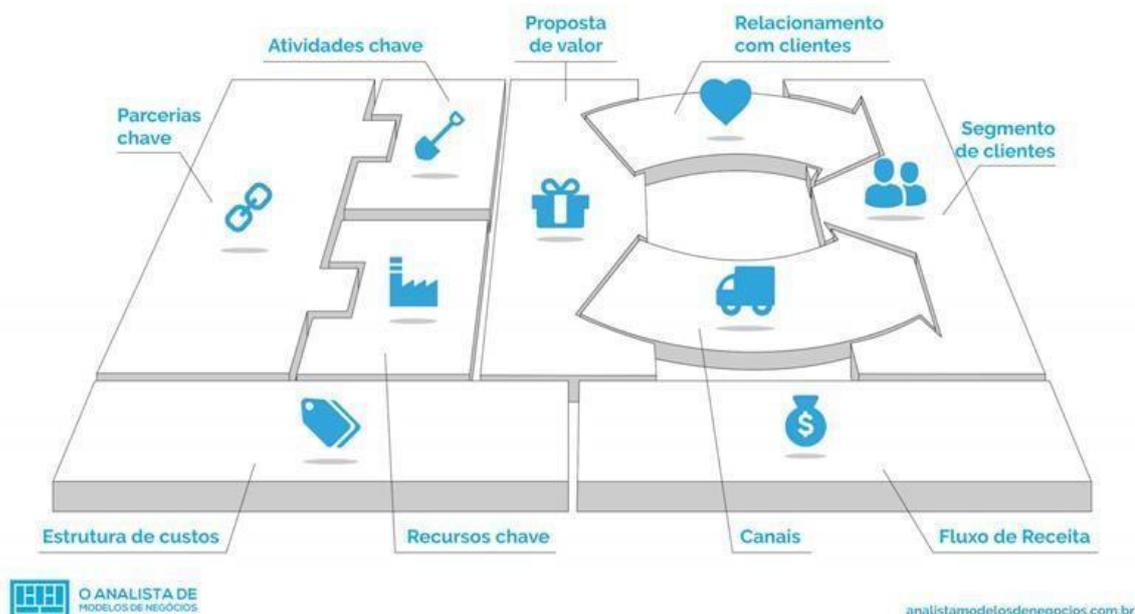
Listados abaixo, os maiores benefícios da ferramenta:

- a) Pensamento visual;
- b) Visão sistêmica;
- c) Simplicidade.

Estruturalmente, o *Canvas* é dividido em 9 blocos, são eles:

- 1 - Proposta de valor;
- 2 - Segmentos de clientes;
- 3 - Relacionamento com os clientes;
- 4 - Canais;
- 5 - Atividade chave;
- 6 - Recursos chave;
- 7 - Parceiros chave;
- 8 - Estrutura de custos;
- 9 - Fluxo de receitas.

Figura 17 - Estrutura do *Business Model Canvas*



Fonte: O Analista de Modelo de Negócios, 2016

Como proposta de valor, temos o objetivo de aplicar uma solução que reduza os custos operacionais do veículo, além de reduzir a emissão de CO₂ e material particulado. Por consequência, a empresa terá direito a créditos de carbono.

Como segmentos de clientes, focaremos em empresas de coleta, transporte e processamento de lixo. Tanto empresas públicas como privadas, detentoras de veículos que realizam a coleta deste material e que já produzem o biogás proveniente dos aterros.

Como relacionamento com os clientes, identificamos que um suporte personalizado que gere soluções ajustadas para cada necessidade atingirá melhores resultados. Somado a isto, um serviço de manutenção e reparo periódicos nos veículos que passaram pela nossa solução.

Como canal, a comunicação deve ser realizada através de pós-vendas, feiras do setor, anúncio em materiais de divulgação física e tráfego pago na internet que através de algoritmos direciona com grande eficiência nosso material aos possíveis clientes.

Como atividade chave, acreditamos que os pilares que norteiam o escopo do projeto são: Compras; Logística; Montagem; Qualidade; Vendas; Homologação (figura 18). Somente assim conseguiremos desenvolver os *kits* para nossos clientes.

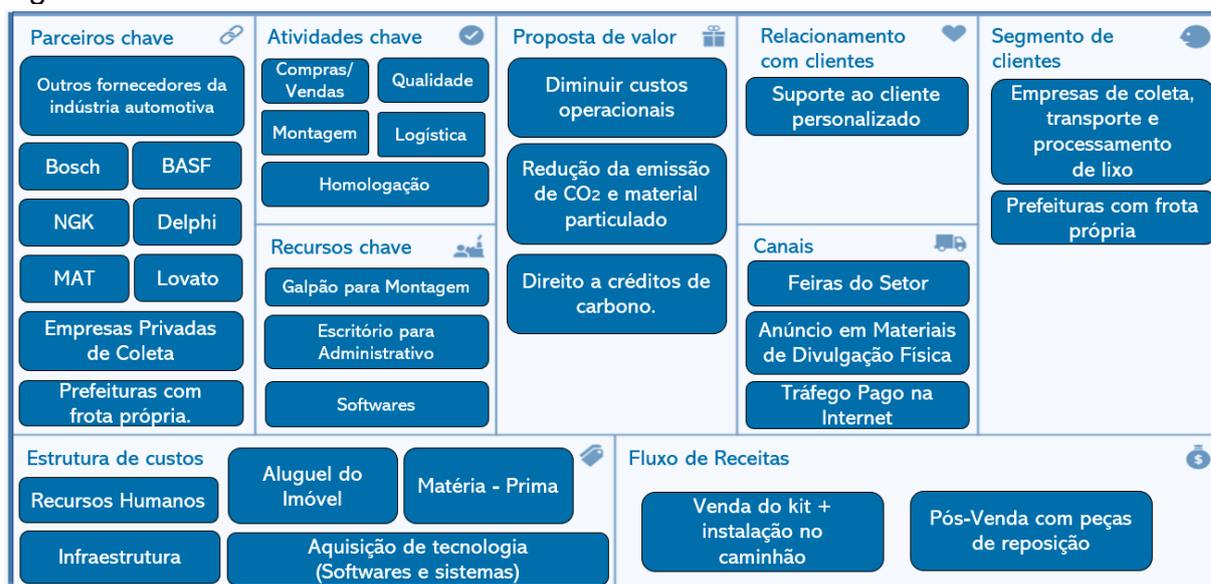
Como recursos chave, selecionamos tanto o espaço físico de montagem dos *kits*, quanto o escritório que a administração e desenvolvedores trabalharão em conjunto. Além disso, a utilização de softwares de engenharia e financeiro, tornam-se indispensáveis.

Como parceiros chave, devemos citar os principais fornecedores de componentes demandados pelo *kit*, sendo eles: Bosch, BASF, NGK, Delphi, MAT, Lovato dentre outros. Também dos nossos clientes, empresas privadas de coleta e prefeituras com frota própria.

Como estrutura de custos, os mais relevantes dizem respeito aos recursos humanos, infraestrutura, aluguel de espaço físico, matéria – prima e aquisição de tecnologia (softwares e sistemas).

Como fluxo de receitas, podemos separar em dois segmentos. O primeiro referente a venda do *kit* e instalação no veículo. E o segundo, pós-venda com peças de manutenção/reposição.

Figura 18 - *Business Model Canvas Biometruck*



Fonte: Autores

8.10 FMEA

O FMEA (do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*) é um método de análise que visa um mapeamento de todas as possíveis maneiras que um processo ou produto possa falhar. A fim de compreender, analisar e corrigir potenciais falhas.

Para o preenchimento correto da ferramenta é aconselhável uma análise interna dos processos e produtos, além de conversar com os clientes e ouvir as principais queixas daqueles que utilizam os serviços com frequência.

Abaixo, estão listados os principais benefícios do FMEA:

- a) Implementar um processo produtivo com maior qualidade;
- b) Operar com maior confiabilidade e segurança;
- c) Operar com menor custo e menores avarias;
- d) Reduzir a probabilidade de falhas nos processos e produtos.

8.11 FMEA DE PROJETO

A fim de padronizar o preenchimento da ferramenta, a análise divide o produto em componentes e sistemas que devem seguir uma lógica para categorização dos possíveis modos de falha.

Para potencializar os benefícios, o FMEA deve ser finalizado antes do fechamento do projeto. Os itens que deverão ser preenchidos são:

- a) Item;
- b) Função;
- c) Requisitos;
- d) Modo de falha potencial;
- e) Efeito potencial da falha;
- f) Severidade;
- g) Causa potencial de falha;
- h) Controles atuais de prevenção;
- i) Ocorrência
- j) Controles atuais de detecção;
- k) Detecção;
- l) RPN;
- m) Ações recomendadas.

Tabela 1 - Classificação de critérios

Classificação	Efeito	Crítérios
10	Falha em atender a Requisitos e/ou Normas Regulatórias e de Segurança	Falha afeta a segurança na operação do produto ou envolve não conformidade com regulamentação governamental sem aviso prévio ou Pode trazer perigo para o operador na máquina ou na montagem sem aviso antecipado.
9	Falha em atender a Requisitos e/ou Normas Regulatórias e de Segurança	Falha afeta a segurança na operação do produto ou envolve não conformidade com regulamentação governamental avisada com antecedência ou Pode trazer perigo para o operador na máquina ou na montagem mesmo avisado previamente.
8	Perda ou Interrupção Total do Produto ou Processo	Funções Primárias inoperável mas não afeta a segurança ou Refugado 100% do lote de produção, parada na linha de produção ou parada na expedição
7	Grande Perda ou Interrupção Significante	Funções Primárias com desempenho reduzido ou Parcela do lote de produção refugado, redução na produção e acréscimo de mão de obra
6	Perda ou Interrupção Moderada	Funções de conforto ou conveniência estão inoperáveis ou Necessário retrabalho de 100% do lote de produção fora da linha e aceito
5	Perda ou Interrupção Moderada	Funções de conforto ou conveniência com desempenho reduzido ou Necessário retrabalho de uma parcela do lote de produção fora da linha e aceito
4	Perda ou Interrupção Menor	Aparência ou Ruído não conforme e percebido por mais de 75% dos clientes ou Retrabalho de 100% do lote de produção antes de ser processado
3	Perda ou Interrupção Menor	Aparência ou Ruído não conforme e percebido por mais de 55% dos clientes ou Retrabalho de uma parcela do lote de produção antes de ser processado
2	Incomodo ou Desconforto	Aparência ou Ruído não conforme e percebido por menos de 25% dos clientes ou Pequena inconveniência para o processo ou para o operador
1	Nenhum Efeito	Nenhum efeito perceptível

Fonte: FMEA, 2019.

Tabela 2 - Tabela de classificação ocorrência

Classificação	Probabilidade da Falha Ocorrer	Crítérios: Quantidade de Ocorrência
10	Altíssima	A probabilidade de ocorrência é igual ou maior que 1 em 10 ou 10%
9	Muito Alta	A probabilidade de ocorrência é de 1 em 20 ou 5%
8	Alta	A probabilidade de ocorrência é de 1 em 50 ou 2%
7	Alta	A probabilidade de ocorrência é de 1 em 100 ou 1%
6	Moderada	A probabilidade de ocorrência é de 1 em 500 ou 0,2%
5	Moderada	A probabilidade de ocorrência é de 1 em 2.000 ou 0,05%
4	Moderada	A probabilidade de ocorrência é de 1 em 10.000 ou 0,01%
3	Baixa	A probabilidade de ocorrência é de 1 em 100.000 ou 0,001%
2	Baixa	A probabilidade de ocorrência é de 1 em 1.000.000 ou 0,0001%
1	Baixíssima	Através de controle preventivo é possível eliminar a falha

Fonte: FMEA, 2019

8.12 SFMEA BIOMETRUCK

Após análise da ferramenta, o componente que apresenta maior RPN é a válvula borboleta eletrônica, cujo acionamento de maneira incorreta pode acarretar o aumento do consumo, marcha lenta irregular e falha/desligamento do motor. Como medidas de controle, deverá haver instruções para uma instalação adequada, utilizar materiais de qualidade, realizar a manutenção preventiva do componente e testes de funcionalidade/estanqueidade.

Em seguida, o cilindro de gás, apresenta alto RPN, pois qualquer tipo de vazamento ou falha no armazenamento pode ter consequências desde a perda de combustível e pressão, até uma possível explosão. Como medidas de controle, devem ser feitos testes de estanqueidade, controle rígido da pressão, e inspeções periódicas junto com a manutenção do conjunto.

Para mais detalhes, o SFMEA *Biometruck* encontra-se no Apêndice B - SFMEA.

9 COMPONENTES

9.1 CILINDRO DE GÁS

O cilindro de gás é o componente de maior massa a ser acrescentado no sistema com cerca de 83,66 kg, o cilindro de alta pressão que armazena gás natural (GNV) ou biometano para utilização em automóveis no ciclo Otto deve ser confeccionado a partir de um tubo de Aço-liga Cromo-Molibdênio, sem costura e com espessura de parede de 8 a 10 mm (CONNECTED SMART CITIES, 2021). A pressão de trabalho dos sistemas automotivos é de 200 bar à temperatura de 15°C.

Com a análise do modelo do caminhão escolhido, concluímos que a instalação de quatro cilindros seria ideal tanto para que não houvesse um aumento drástico no peso total do veículo, podendo refletir na capacidade de coleta, quanto para a segurança da operação.

Com a seleção do modelo de cilindro MAT de 356 mm de diâmetro e 1010 mm de comprimento com a capacidade de 20 m³ a 15°C e 80 L de volume, com pressão máxima de 260 bar (Figura 19).

Figura 19 - Cilindro de gás



Fonte: Guigaz, s.d

Quadro 5 - Requisitos e especificações técnicas do cilindro de gás

Requisitos		
Pressão de trabalho	200	bar
Espessura de parede	8 a 10	mm
Processo de fabricação	Sem costura	-
Especificações Técnicas		
Material	Aço-Liga Cromo-Molibdênio	-
Peso	83,66	kg
Dimensões	1010x356	mm
Pressão máxima*	260	bar
Pressão de trabalho*	200	bar
Volume	80	L
Capacidade	20	m ³
Espessura de parede	10	mm
Processo de fabricação	Sem costura/Hot spinning	m ³

*Pressões a 15°C

Fonte: Autores

9.2 REDUTOR DE PRESSÃO

A pressão média da linha de combustível de veículos com injeção eletrônica que utilizam GNV e biometano é de 2 bar, para isso é necessário um redutor/regulador de pressão para diminuir a pressão do gás que vem dos cilindros em 200 bar, de modo que a injeção do combustível no motor seja realizada de maneira estável e de acordo com o regime requerido.

O redutor escolhido foi o modelo *Tomasetto At12 Super* (figura 20), que possui dois estágios de redução de pressão que pode ser ajustada pela unidade de controle eletrônica, buscando como referência a pressão no coletor de admissão do motor, também conta com um sistema de aquecimento para evitar o congelamento das partes internas, pois a expansão do gás é uma reação endotérmica que diminui a temperatura dentro do redutor.

Figura 20 - Redutor de pressão



Fonte: Tomasetto Achille, s.d a

Quadro 6 - Especificações técnicas redutor de pressão

Especificações Técnicas		
Material	Alumínio	-
Peso	1,77	kg
Dimensões	110x155x175	mm
Pressão máxima de entrada	260	bar
Pressão de saída*	de 1,2 a 2,5	bar
Tensão da bobina	12	V
Potência da bobina (consumo)	15	W
Conexão de entrada	Ø 6	mm
Conexão de saída	Ø 12,5	mm
Aplicação (Potência do motor)	até 250	kW

*Ajustável pela ECU

Fonte: Autores

9.3 FILTRO DE GÁS

O filtro de gás é instalado na saída do redutor de pressão, e após a realização da filtragem o combustível deve seguir para as válvulas injetoras que serão instaladas no coletor de admissão para que seja feita a injeção no motor de forma indireta. O filtro tem função de reter as impurezas contidas no biometano. O filtro selecionado deve suportar a pressão de 2 bar da linha de combustível.

Foi escolhido o filtro Landirengo F-781 (figura 21), com uma entrada e uma saída de 14mm, feito em alumínio, com pressão máxima de 10,5 bar.

Figura 21 - Filtro de gás



Fonte: Landirengo, 2019a

9.4 CONTROLE ELETRÔNICO DE VAZÃO DE GÁS

O dispositivo eletrônico de controle de vazão dos gases é utilizado para o monitoramento e controle do fluxo do combustível determinados pela unidade de controle eletrônica, garantindo que o fluxo e a pressão do biometano estejam de acordo com a demanda do motor.

O controlador escolhido foi o Aalborg DFC 36 (figura 22) e como princípio de funcionamento o dispositivo separa os gases em duas vias nas quais o fluxo é mantido em regime laminar e em vazões constantes. Onde estão posicionados dois enrolamentos de detecção de temperatura nos tubos que são aquecidos e, quando o

fluxo ocorre, o gás transporta o calor dos enrolamentos de um tubo a outro e a diferença de temperatura resultante é proporcional à mudança na resistência dos enrolamentos, sendo possível realizar a medição do fluxo do combustível.

Figura 22 - Controle eletrônico de vazão de gás



Fonte: Aalborg, s.d

9.5 TUBOS DE ALTA PRESSÃO

Para a conexão dos componentes do sistema de injeção de biometano serão utilizados tubos de alta pressão (figura 23), conectando os cilindros ao redutor de pressão, em seguida ao filtro de gás, ao controlador de pressão e por fim ao conjunto de injetores. Como requisito principal os tubos precisam suportar 200 bar de pressão, valor máximo do sistema obtido na saída dos cilindros.

Figura 23 - Tubos de alta pressão



Fonte: Gnv shop, s.d

9.7 VÁLVULA DO CILINDRO

Essa válvula é acoplada na rosca do cilindro e permite a entrada do gás na operação de abastecimento e a saída do combustível para o funcionamento do veículo. É um item essencial para a segurança do conjunto, pois apresenta uma manopla de fechamento rápido, na qual a sua posição varia entre a contenção do gás e sua liberação, outro dispositivo que garante a manutenção do sistema é acionado em caso de pressão e temperaturas elevadas, atuando na liberação do gás para a atmosfera, também possui uma trava de acionamento automático, em uma situação de aumento excessivo de fluxo, como em um possível acidente em caso de ruptura da tubulação de alta pressão.

A definição da seleção da válvula do cilindro (figura 24) deve suprir o requisito de pressão de trabalho do cilindro, na aplicação em motores de combustão interna ciclo Otto em pressão de trabalho de 200 bar.

Figura 24 - Válvula do cilindro



Fonte: Tomasetto Achille, s.d b

Quadro 7 - Requisitos e especificações técnicas válvula do cilindro

Requisitos		
Pressão de trabalho	200	bar
Pressão máx	260	bar
Especificações Técnicas		
Material	Latão forjado	-
Peso	0,43	kg
Pressão de trabalho	200	bar
Pressão máx	260	bar
Rosca	NGT 3/4	pol
Temperatura de trabalho	-40 a 120	°C

*Pressões a 15°C

Fonte: Autores

9.8 VÁLVULA DE ABASTECIMENTO

Essa válvula tem como função abastecer os cilindros com o biometano, além da conexão com o bico de abastecimento, a válvula (Figura 25) possui um dispositivo de retenção, para que não tenha retorno do combustível a fonte de alimentação do gás, o sistema tem um registro de fechamento rápido que possibilita a interrupção do fluxo do gás em caso de emergência ou manutenção do motor. Tem-se a opção de conexão com um manômetro para que seja feito o monitoramento da pressão de abastecimento. Para que as normas sejam cumpridas, a pressão de trabalho de 200 bar e pressão limite de 250 bar dos conjuntos de cilindros também devem ser requisitos para a seleção da válvula.

Figura 25 - Válvula de abastecimento



Fonte: Tomasetto Achille, s.d.c

Quadro 8 - Requisitos e especificações técnicas da válvula de abastecimento

Requisitos		
Pressão de trabalho	200	bar
Pressão máxima	260	bar
Especificações Técnicas		
Material	Latão forjado	-
Peso	0,43	kg
Pressão de trabalho	200	bar
Pressão máxima	260	bar
Conexão de saída	M12x1	mm
Temperatura de trabalho	-40 a 120	°C

*Pressões a 15°C

Fonte: Autores

9.9 MANÔMETRO

O monitoramento do abastecimento é feito por um manômetro (Figura 26) que pode ser instalado junto a válvula de abastecimento, que mede a pressão do gás e envia a informação até a unidade de controle eletrônica do veículo.

Figura 26 - Manômetro



Fonte: Landirengo, 2019b

9.10 UNIDADE DE CONTROLE ELETRÔNICO (ECU)

O ECU tem função de monitorar os parâmetros de funcionamento do motor, controlar a mistura de ar-combustível, a proporção das injeções dos combustíveis e otimizar a ignição. A unidade de controle (figura 27) também controla o sistema de escape que através das leituras da sonda lambda faz o ajuste da mistura de maneira que se reduza a emissão de poluentes.

Figura 27 - Unidade de controle eletrônico



Fonte: Landirengo, 2019c

Quadro 9 - Requisitos e especificações técnicas da unidade de controle eletrônico

Requisitos		
Tipo de injeção	Indireta	-
Número de cilindros	4	-
Especificações Técnicas		
Material	Carcaça de alumínio	-
Peso	0,3	kg
Dimensões	150x100	mm
Número de cilindros	2 a 8	-
Tipo de injeção	adaptável	-
Conexão	CAN standard	-

Fonte: Autores

9.11 VÁLVULA INJETORA DE COMBUSTÍVEL

Responsável pela injeção de combustível no coletor de admissão, a válvula é acionada pela ECU, que pode variar o tempo de abertura, aumentando ou diminuindo a quantidade de combustível que é injetado no coletor de acordo com a demanda do condutor no pedal do veículo. As válvulas são acionadas

eletromagneticamente, possuem em seu interior um filtro na entrada, para a retenção de partículas sólidas, um terminal que é conectado com o módulo de controle, uma bobina que recebe um impulso elétrico da unidade de controle criando um campo eletromagnético capaz de movimentar uma mola que mantém uma agulha na sua extremidade impedindo o fluxo do combustível. Quando a bobina gera uma força sobre a mola consegue deslocar a agulha, abrindo espaço no qual o combustível pode fluir.

9.12 TANQUE DE ETANOL

É onde o combustível fica armazenado no veículo, portanto tem como principal característica funcional a estanqueidade, uma vez que qualquer tipo de vazamento pode, além de comprometer o funcionamento do conjunto, trazer grande risco de causar acidentes devido à alta inflamabilidade do etanol.

Para a aplicação do projeto foi designado um tanque polimérico (figura 28) utilizado nos modelos Mercedes-Benz Atego de 300 litros.

Figura 28 - Tanque de etanol



Fonte: Bepo, s.d

9.13 BOMBA DE BAIXA PRESSÃO

A bomba é responsável por transferir o etanol do tanque até o sistema de injeção através da linha de combustível, a bomba possui um pequeno motor elétrico

integrado que faz o trabalho de bombeamento do fluido. É posicionada dentro do tanque ligada ao pré-filtro e ao sensor de nível do tanque.

O resfriamento da bomba é feito pelo próprio combustível, no caso do etanol essa lubrificação não é tão eficiente quanto a gasolina, portanto as bombas que trabalham com sistema *Flex* (gasolina e etanol) (figura 29), ou apenas etanol, possuem o coletor revestido de carbono para evitar o desgaste excessivo do componente.

Figura 29 - Bomba de baixa pressão



Fonte: Bosch, 2022

9.14 PRÉ-FILTRO

É um componente montado junto a bomba dentro do tanque de combustível e tem a função de impedir a circulação de impurezas no sistema de alimentação do etanol, evitando sobrecargas no trabalho da bomba.

O pré-filtro escolhido foi o modelo DS-1301 (figura 30), confeccionado em malha polimérica e compatível com a bomba Bosch selecionada.

Figura 30 - Pré-filtro de combustível



Fonte: DS, 2022a

9.15 FILTRO DE COMBUSTÍVEL

Tem como função filtrar o combustível líquido, eliminando as impurezas e resíduos para que o etanol chegue às válvulas injetoras livres de quaisquer sujeiras que possam prejudicar a performance do motor, esses contaminantes afetam a mistura ar/combustível prejudicando a eficiência da combustão, impactando a geração de energia térmica. O filtro tem formato cilíndrico e duas extremidades: por onde o etanol entra e após passar por uma malha de filtros, volta a linha de combustível.

Modelo selecionado Tecfil GI04/7 (figura 31), utilizado em motores *flex* (gasolina ou etanol).

Figura 31 - Filtro de combustível



Fonte: Tecfil, s.d

9.16 REGULADOR DE PRESSÃO

O regulador tem a função de ajustar e manter a pressão constante na linha de combustível até as válvulas injetoras, quando há um aumento na pressão o regulador

libera o circuito de retorno ao tanque garantindo que o etanol chegue à injeção de maneira constante permitindo funcionamento integral em diferentes rotações e condições de carga. O regulador de pressão selecionado para o projeto foi o modelo DS 1128 (figura 32), desenvolvido para a utilização em veículos flex (gasolina ou etanol).

Figura 32 - Regulador de pressão



Fonte: DS, 2022b

9.17 LINHA DE COMBUSTÍVEL (ETANOL)

A tubulação irá conectar o tanque ao sistema de injeção de etanol, a linha de combustível utilizada deve resistir à pressão da linha e apresentar boa resistência química e alta resistência à fadiga.

A tubulação escolhida foi a Luciflex (figura 33), resistente a pressão de 60 bar e temperaturas de -40°C a 125°C.

Figura 33 - Linha de combustível de etanol



Fonte: Luciflex, 2015

9.18 VÁLVULA BORBOLETA ELETRÔNICA

A válvula borboleta é um componente do sistema de admissão, responsável pelo controle do ar admitido na mistura, com a admissão do ar a unidade de controle do motor pode calcular a quantidade de combustível que será necessário na injeção. A válvula responde à ECU que determina o ângulo de abertura de acordo com o acionamento do pedal pelo motorista, entregando a massa de ar necessária para os diferentes regimes de carga demandados pelo ciclo. A válvula selecionada foi o modelo Delphi TB10046 (figura 34).

Figura 34 - Válvula borboleta eletrônica



Fonte: Gamapeças, s.d

9.19 VELA DE IGNIÇÃO

Nos motores ciclo Otto a combustão é originada pela geração de centelha na câmara de combustão, diferente dos motores funcionando no ciclo Diesel onde a combustão é realizada pela compressão do óleo diesel que sofre autoignição. No ciclo Otto a vela emite a centelha entre os eletrodos central e lateral, alimentados pelas bobinas individuais, no final da fase de compressão da mistura. No projeto serão necessárias quatro velas responsáveis pela ignição em cada um dos cilindros do motor.

A vela de ignição selecionada foi o modelo multi combustível da Bosch de construção do eletrodo em níquel-ítrio (Figura 35), resistente ao maior poder corrosivo do etanol.

Figura 35 - Vela de ignição



Fonte: Bosch, 2019

9.20 BOBINA PENCIL COIL

São bobinas de ignição individuais que funcionam como um transformador, amplificando a tensão por meio de um campo magnético gerado nos enrolamentos internos da bobina, assegurando energia necessária para a vela gerar a faísca que realiza a queima da mistura na câmara de combustão. Serão utilizadas quatro bobinas *pencil coil*, uma para cada cilindro do motor OM924LA do veículo Mercedes-Benz Atego 1719.

9.21 SONDA LAMBDA

A sonda lambda é posicionada após o coletor de escape e antes do catalisador e faz a medição de oxigênio presente nos gases de escape e os dados coletados são processados pela unidade de controle e utilizados pelo módulo da injeção para obter o ponto de mistura estequiométrico, como etanol e o biometano possuem poderes caloríficos diferentes, a sonda lambda (figura 36) emite um sinal elétrico para o módulo de controle para corrigir a razão ar-combustível de acordo com a demanda do veículo.

Figura 36 - Sonda lambda



Fonte: Bosch, 2020

9.22 CONVERTOR CATALÍTICO

O catalisador de três vias é um componente do sistema de escape que tem a função de controlar as emissões do veículo através da conversão de gases poluentes que têm suas emissões controladas, principalmente monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x), no catalisador é feita a redução dos óxidos de nitrogênio em oxigênio (O₂) e nitrogênio (N₂), e a oxidação dos hidrocarbonetos não queimados e do monóxido de carbono (CO) em dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O).

Os desenhos técnicos dos componentes se encontram no Apêndice D – CAD 2D.

10 DESENVOLVIMENTO

10.1 MELHORIA PROPOSTA

O cálculo do target foi definido através de um estudo similar em que um motor a diesel foi modificado para operar com gás. Com isso, temos o target em uma redução de 80% de emissões de NO_x, 99% das emissões de materiais particulados e 71% nas emissões de CO₂e em relação ao uso do diesel.

10.2 MOTOR BASE

O motor escolhido como base para o desenvolvimento do projeto foi o MB OM 924 LA. O motor equipa o caminhão Atego 1719 da Mercedes-Benz, que é amplamente empregado como coletor de lixo. Algumas de suas características principais são:

- a) 4 cilindros verticais em linha;
- b) Volume: 4800 cm³;
- c) Potência máxima: 153 kW (208 cv) a 2200 rpm;
- d) Torque máximo: 780 Nm (79,6 mkgf) de 1200 a 1600 rpm.

10.3 SIMULAÇÃO

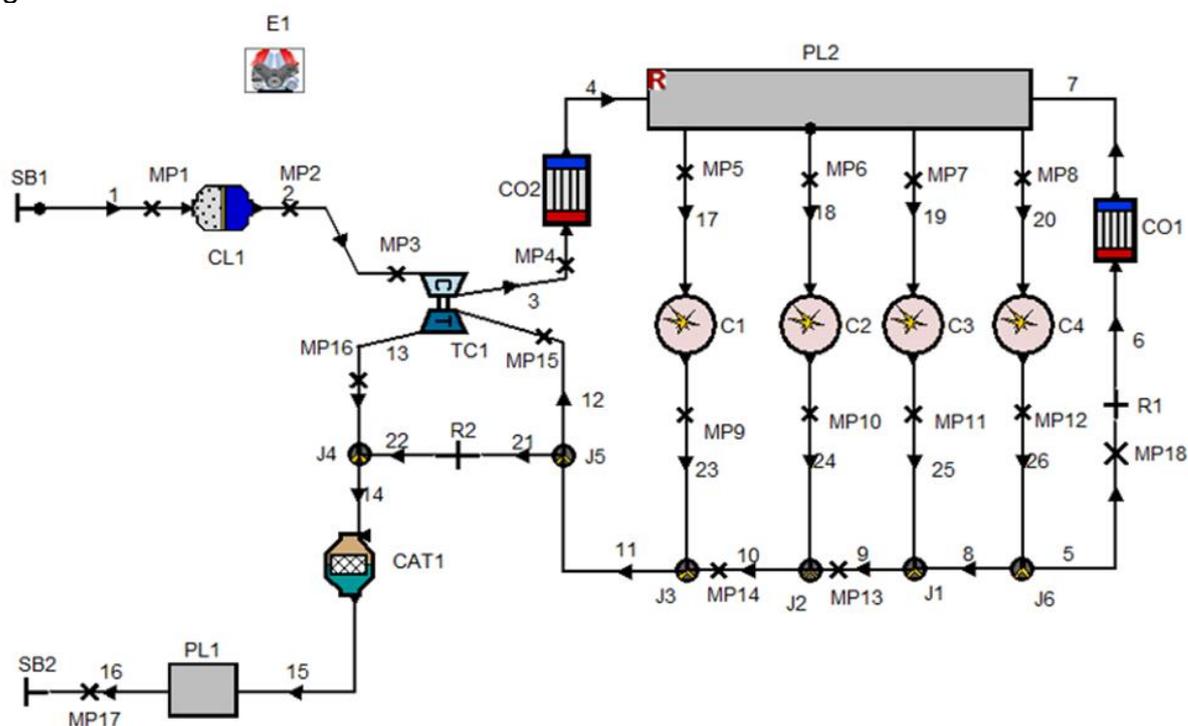
As simulações foram realizadas usando os *softwares* AVL *Boost* e AVL *Cruise*. O desenvolvimento de um modelo para simulação requer muitas informações, algumas das quais só poderiam ser fornecidas pelo fabricante do motor ou por meio da desmontagem e de ensaios práticos, o que tornaria o estudo muito mais custoso e demorado.

10.4 AVL BOOST

Na primeira simulação, com o *software* AVL *Boost*, foi utilizado um modelo padrão da biblioteca do software, no qual foram feitas alterações de taxa de compressão, diâmetro e curso dos pistões para que se aproximasse das

características do motor base escolhido. A figura 37 mostra o modelo desenvolvido com base em um dos modelos da biblioteca do *software*.

Figura 37 - Modelo desenvolvido no *software AVL Boost*



Fonte: Autores, *software AVL Boost*

Foram realizadas duas simulações no *AVL Boost*. A primeira com Diesel como combustível, com o objetivo de obter as curvas de torque e potência do modelo desenvolvido, de modo que os resultados fossem próximos aos dados fornecidos pela fabricante. A segunda simulação, com uma mistura de Biometano e Etanol, forneceu novas curvas de torque e potência. Quando comparadas ao resultado da primeira simulação, pode-se determinar a perda de potência e torque que haveria com a execução do projeto. Além disso, o *software* também fornece gráficos de emissões de poluentes e dióxido de carbono, que foram incluídos posteriormente como dados de entrada nas simulações do *AVL Cruise*.

O projeto contempla três diferentes modos de operação: somente com biometano, somente com etanol ou uma combinação dos dois. Primeiramente, o motor foi simulado em sua condição original, somente com Diesel, e depois, usando a ferramenta de combustíveis do *AVL Boost*, foi adotada uma proporção de 80% de biometano e 20% de etanol. Nesse caso, o biometano não consta na biblioteca do *software*, portanto foi utilizado o metano, que é o principal componente do biometano.

As propriedades da mistura de combustíveis são:

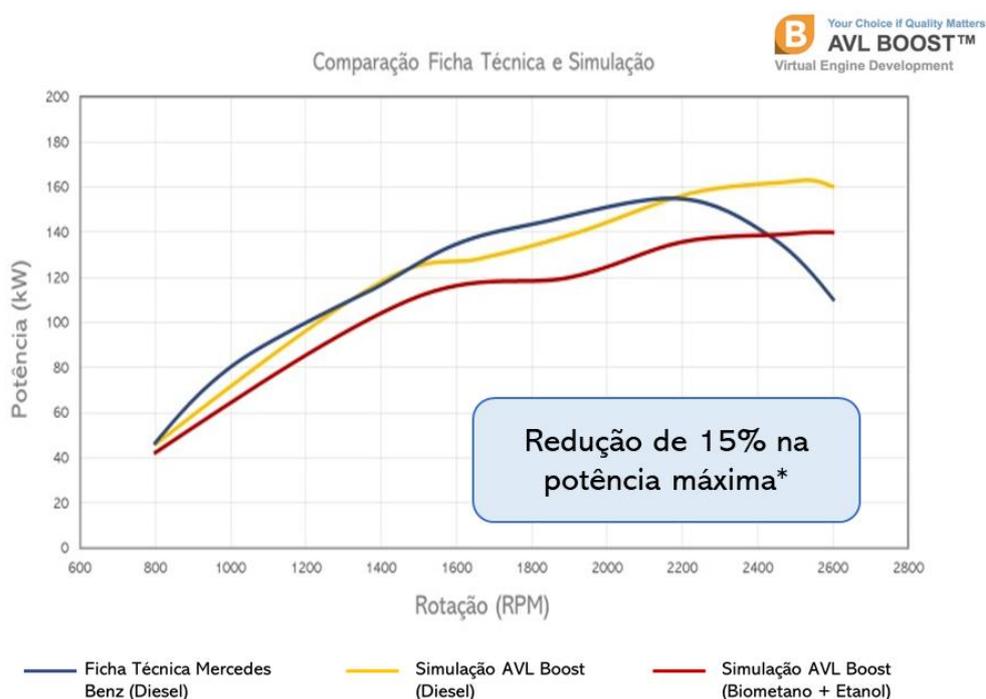
- a) Poder calorífico inferior: 45586 kJ/kg;
- b) Temperatura dos combustíveis: 25 °C;
- c) Fração relativa ar/combustível: 1.

Logo abaixo, nas figuras 38 e 39, estão os gráficos de torque e potência comparando os dados da ficha técnica do fabricante aos modelos simulados nas duas condições descritas acima.

A partir destes gráficos, pode-se concluir que os resultados obtidos com o modelo a Diesel simulado no AVL *Boost* se aproximaram dos gráficos do motor base do estudo. Nota-se que após os 2200 rpm há uma maior divergência entre eles. Nas curvas originais do fabricante, há uma queda acentuada de torque e potência a partir dessa rotação. Isso ocorre porque o veículo é limitado eletronicamente para evitar danos ao motor. Essa limitação não foi levada em consideração nas simulações, por isso as curvas não apresentam o mesmo comportamento.

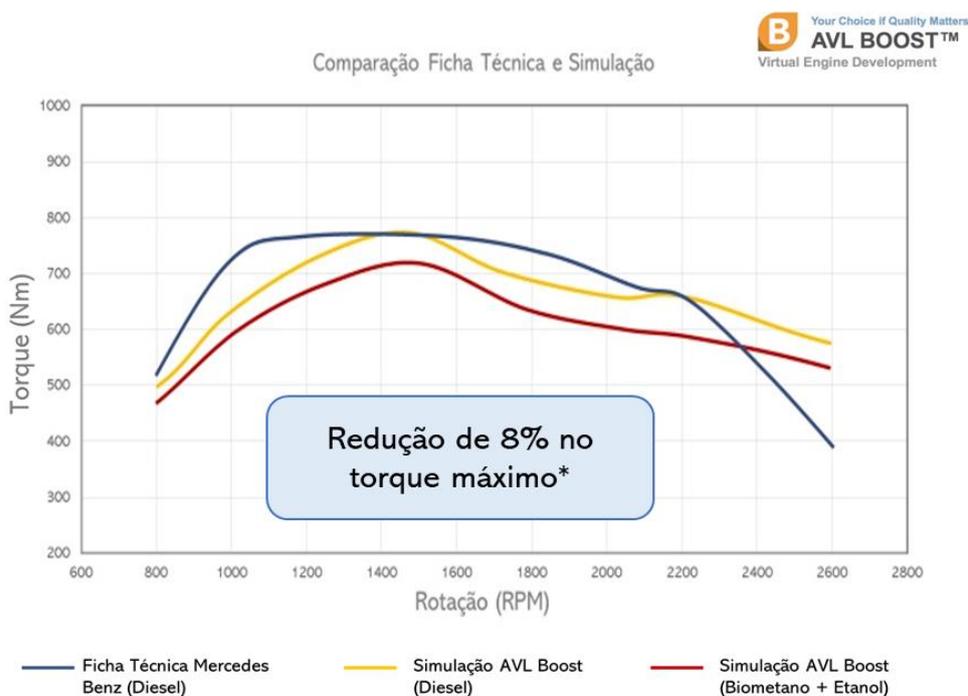
Também é possível observar que, quando comparados os dois resultados das simulações, com Diesel e com a mistura de Biometano e Etanol, o segundo caso apresentou menor desempenho. Houve uma queda de 15% na potência máxima e de 8% no torque máximo em relação ao Diesel. Essa diminuição era esperada devido às alterações no motor e o uso de outros combustíveis, porém o desempenho obtido ainda atende aos requisitos da aplicação de coleta de lixo.

Figura 38 - Gráfico comparativo de potência entre ficha técnica do fabricante e modelos simulados



Fonte: Autores, *software AVL Boost*

Figura 39 - Gráfico comparativo de torque entre ficha técnica do fabricante e modelos simulados



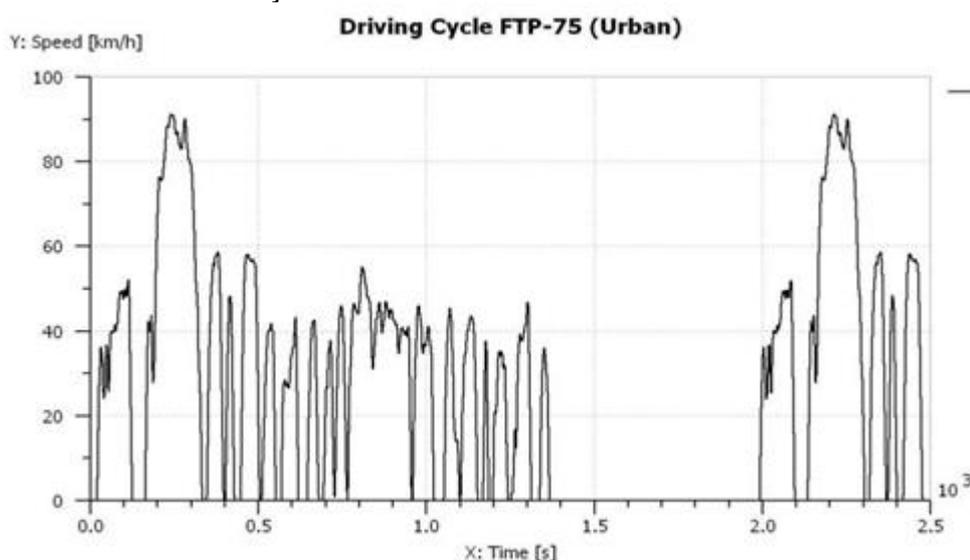
Fonte: Autores, *software AVL Boost*

10.5 AVL CRUISE

Os targets definidos para o projeto são de emissões de NO_x , CO_2 e material particulado do veículo. O AVL *Boost* não é capaz de fornecer as informações desejadas, pois simula somente o comportamento do motor e não é possível estudar as emissões em um ciclo de condução padrão. Por isso, foi utilizado o AVL *Cruise*, que permite a simulação de um modelo completo do veículo em um ciclo de condução. Para melhor aproximar a simulação de uma situação real de uso do caminhão, foi escolhido o ciclo urbano FTP-75, exibido na figura 40, e mais detalhado a seguir:

- a) Distância percorrida: 17,77 km;
- b) Duração: 2480 s;
- c) Velocidade média: 34,1 km/h.

Figura 40 - Ciclo de condução urbano FTP-75



Fonte: Bravo e Meirelles, 2015

Para a criação do modelo do veículo, foi usado como ponto de partida um modelo de caminhão padrão da biblioteca do software. As configurações do motor e algumas características do veículo foram alteradas para melhor aproximação do motor e do veículo base. Os outros parâmetros se mantiveram os mesmos do modelo padrão. Os quadros 10 e 11 mostram os dados usados nessas simulações:

Quadro 10 - Dados usados no modelo do veículo

Peso Bruto Total (PBT)	27.000 kg
Área Frontal	6,9 m ²
Coeficiente de Arrasto	0,52
Comprimento Total	6,25 m
Largura	2,48 m

Fonte: Autores

Quadro 11 - Dados usados para o *powertrain* no AVL *Cruise*

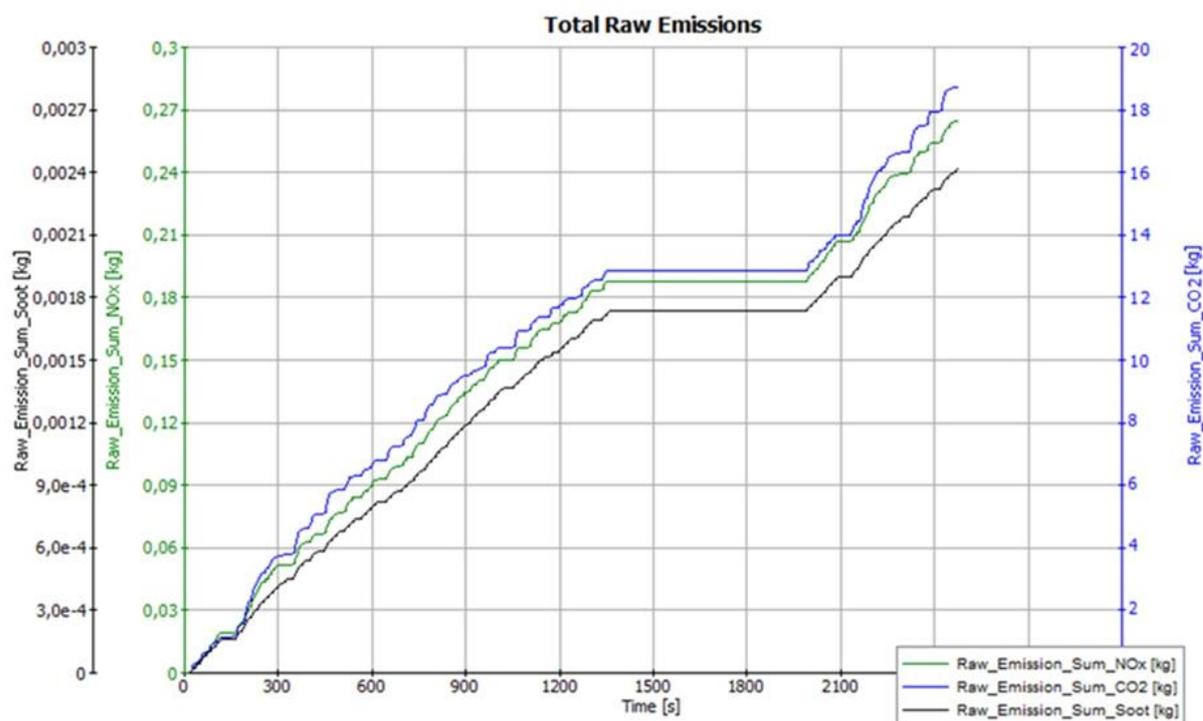
	Modelo Diesel	Modelo Ottolizado
Ciclo	Diesel	Otto
Cilindrada	4800 cm ³	4800 cm ³
Rotação Mínima	600 rpm	600 rpm
Rotação Máxima	2500 rpm	5000 rpm
Tempos	4	4
Taxa de Compressão	20	12
Número de Cilindros	4	4
Disposição dos Cilindros	Em Linha	Em Linha
Diâmetro do Cilindro	106 mm	106 mm
Curso do Pistão	136 mm	136 mm
Sobrealimentação	Turbocooler	Turbocooler
Combustível	Diesel	Biometano / Etanol
Transmissão	Manual	Manual
Número de Marchas	6	6
Regulamentação	PROCONVE P-7	PROCONVE P-7

Fonte: Autores

Além destes parâmetros, foram inseridos os dados de emissões de NO_x, Material Particulado e CO₂ obtidos nas simulações anteriores no AVL *Boost*.

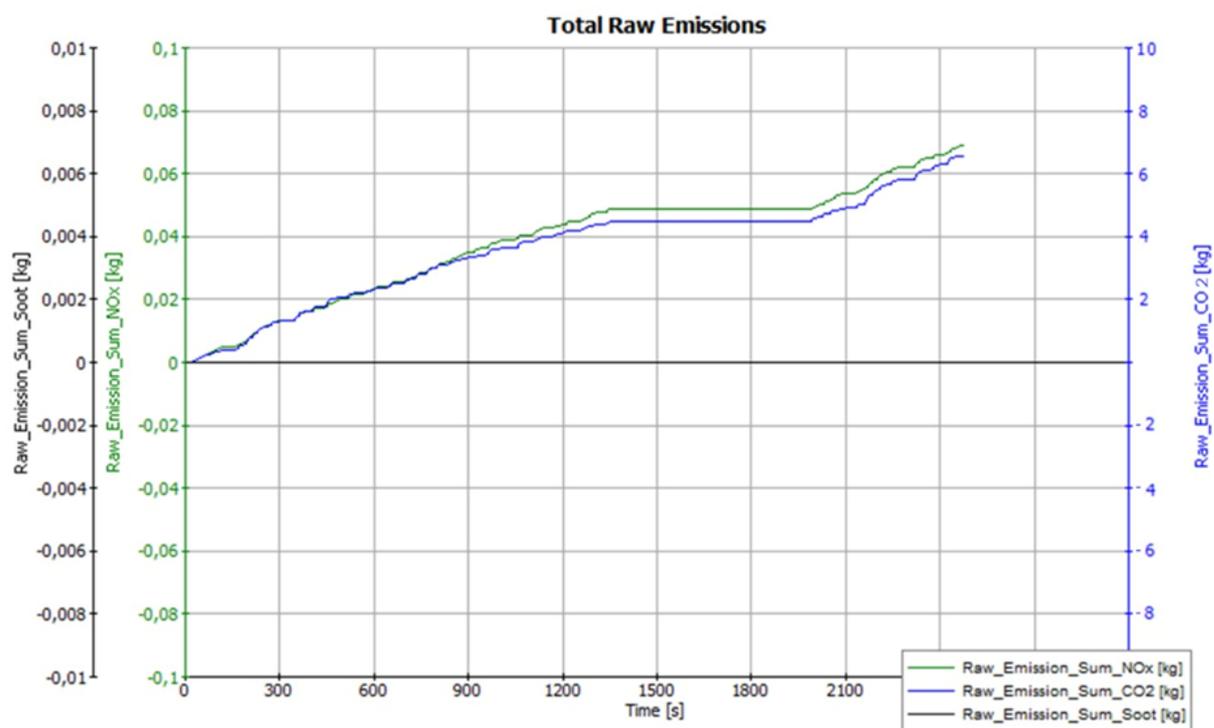
Por fim, as simulações dos dois modelos no AVL *Cruise* apresentaram os resultados das emissões durante o ciclo de condução FTP-75. A seguir, nas figuras 41 e 42, se encontram os gráficos produzidos:

Figura 41 - Gráfico de emissões do motor diesel



Fonte: Autores, *software AVL Boost*

Figura 42 - Gráfico de emissões do motor biometano e etanol



Fonte: Autores, *software AVL Boost*

11 RESULTADOS

11.1 RESULTADOS X TARGET

A proposta definida no target de redução significativa nas emissões de NO_x, CO₂ e material particulado, com base em um estudo similar, foi atingida através das simulações com alta acuracidade. Como pode ser visto nas figuras 43 e 44, foi alcançada uma redução de 73% na emissão de NO_x, 65% nas emissões de CO₂ e 99% nas emissões de particulado, chegando a 95% de acuracidade em relação aos valores propostos no target.

Figura 43 - Cálculos das reduções de emissões

Com os valores obtidos nos gráficos:

$$\% \text{ Redução NO}_x = \frac{0,26 - 0,07}{0,26} * 100 = 73,08 \%$$

$$\% \text{ Redução CO}_2 = \frac{18,8 - 6,5}{18,8} * 100 = 64,74 \%$$

$$\% \text{ Redução MP} = \frac{0,0024 - 0}{0,0024} * 100 = 100 \%$$

Fonte: Autores

Figura 44 - Comparativo entre o target e os resultados obtidos

	Target	Resultados
Redução de NO _x	80%	73%
Redução de CO ₂	71%	65%
Redução de MP	99%	99%

Fonte: Autores

Além disso, as metas de emissão foram alcançadas sem uma grande redução na performance do veículo estudado. Os números alcançados são menores quando comparados aos valores divulgados pela fabricante na ficha técnica do veículo (15% de redução na potência máxima e 8% de redução no torque máximo), no entanto trata-se de uma queda pequena e, o mais importante, ainda dentro do recomendado para a aplicação de coleta de lixo (CEMPRE, 2018).

11.2 ESTIMATIVA DE CUSTOS DOS COMPONENTES

Com o objetivo de estimar o custo dos componentes envolvidos na modificação, utilizando o método de cotação orçamentária, todos os componentes do sistema foram orçados.

Neste método, as variações da cotação orçamentária podem variar entre -10% até 20%.

Por se tratar de muitos itens, o orçamento foi separado em quatro sistemas, sendo eles: Sistema de controle de biometano, Sistema de controle do etanol, Sistema de injeção e Sistema de escapamento.

Além do preço, a figura 45 mostra o número de componentes por sistema e a massa total incluída.

Nota-se que o maior custo está relacionado ao sistema de controle do biometano, principalmente devido ao valor dos quatro cilindros de gás que deverão ser adquiridos.

Foram desconsiderados os custos referentes ao desenvolvimento do projeto e mão de obra para modificações no motor e sistemas complementares.

Figura 45 - Custo de Implementação por sistema

Custo de Implementação			
Sistema	Número de Componentes	Massa Incluída(kg)	Preço
Sistema de Controle do Biometano	8	121,5	R\$ 8.222,87
Sistema de Controle do Etanol	11	19,05	R\$ 4.385,63
Sistema de Ignição	4	5,4	R\$ 1.564,62
Sistema de Escape	2	1,6	R\$ 700,00
Total	25	147,55	R\$ 14.873,12

Fonte: Autores

11.3 PAYBACK

Para estimar o tempo de retorno da modificação do veículo, foi utilizado o indicador financeiro chamado *payback*. Com o resultado em dias, auxilia na visualização de viabilidade do mesmo.

Para cálculo do *payback*, foi utilizado como base a variação do custo operacional, relacionado ao custo de consumo de combustível.

De acordo com o estudo realizado pelo "IPT/CEMPRE 4ª Ed. (2018)" um percurso realizado por um caminhão compactador de coleta é, em média, de 25km. Adotou-se então, quatro percursos diários, totalizando 100km/dia.

A proporção de combustível adotada foi de 80% biometano e 20% etanol (CEMPRE, 2018)..

Com base no poder calorífico dos combustíveis:

- a) Poder calorífico do diesel: 44851 kJ/kg;
- b) Poder calorífico do etanol: 27200 kJ/kg;
- c) Poder calorífico do biometano: 25000 kJ/kg.

Preço dos combustíveis:

- a) Preço do diesel: R\$7,2/litro;
- b) Preço do etanol: R\$5,1/litro;
- c) Preço do biometano: R\$4,2/m³ - Considerando o custo do biometano comprado.

Figura 46- Variação do custo operacional

Variação do Custo Operacional		
Sistema	Custo	Redução (%)
Diesel	R\$ 288/dia	-
Etanol + Biometano	R\$ 148/dia	- 48%

Fonte: Autores

Portanto, com a redução no custo de combustível diário, vista na figura 46, de R\$140,00 é possível calcular o *payback*. Multiplicou-se o valor de investimento inicial por 1,2 devido ao método da cotação orçamentária utilizado no cálculo do custo de implementação, conforme a seguir:

- a) $payback = (\text{Investimento inicial}) / (\text{Ganho no período})$
- b) $payback = (R\$ 14873,12 * 1,2) / (R\$140,00/\text{dia})$
- c) $payback = 127 \text{ dias}$

12 CONCLUSÃO

Existem aproximadamente 31,7 mil veículos de coleta de lixo que utilizam, em sua maioria, óleo diesel, um combustível predominantemente fóssil e não renovável, responsável pela emissão de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL; SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO, 2021).

Felizmente existem regras cada vez mais rígidas, com limites menores de emissão dos gases de escapamento, partículas e ruído, exigindo das montadoras investimentos e desenvolvimento de novas tecnologias que permitam o cumprimento da legislação.

O presente trabalho permitiu analisar as modificações necessárias no motor à Diesel e componentes adjacentes com o objetivo de permitir o funcionamento através do ciclo Otto utilizando combustíveis renováveis como o biometano e o etanol. A partir das simulações computacionais realizadas, foi possível concluir que o impacto dessa modificação nas emissões de gases de efeito estufa são extremamente relevantes, com a redução de 73% na emissão de NO_x, 65% nas emissões de CO₂ e 99% nas emissões de material particulado.

É importante ressaltar que utilizando uma mistura de 20% etanol e 80% biometano, a adequação do motor ao novo ciclo provocou uma redução de torque e potência entregues, o que não foi considerado um impeditivo para a solução visto que os limites ainda atendem os requisitos da aplicação de coleta de lixo.

Concluimos então que embora a modificação exija uma grande intervenção no conjunto do motor, com inclusão de novos componentes e adequações em componentes já existentes, ela é extremamente atrativa para as empresas de coleta de lixo que podem utilizar biodigestores para produção de seu próprio biometano através dos resíduos orgânicos coletados promovendo assim uma operação sustentável e com menores custos operacionais.

O trabalho apresentado e os resultados obtidos sugerem novos trabalhos futuros, por exemplo: estudo do impacto do sistema na vida útil do motor; levantamento das curvas de potência e torque em um veículo real; validação dos resultados de redução de emissões em um veículo real; estudo do investimento necessário para construção de um parque de enriquecimento de biogás e produção

de biometano, cálculo da redução dos custos operacionais com a produção do próprio biometano, redução de vibração e ruído, entre outros.

REFERÊNCIAS

AALBORG. **DFC digital mass flow controller**, [s.d]. Disponível em: https://www.aalborg.com/dfc-digital-mass-flow-controller_o/24. Acesso em: 11 jun. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução nº 685, de 29 de junho de 2017. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-685-2017-estabelece-as-regras-para-aprovacao-do-controle-da-qualidade-e-a-especificacao-do-biometano-oriundo-de-aterros-sanitarios-e-de-estacoes-de-tratamento-de-esgoto-destinado-ao-uso-veicular-e-as-instalacoes-residenciais-industriais-e-comerciais-a-ser-comercializado-em-todo-o-territorio-nacional>. Acesso em: 12 jun. 2021.

AMBIENTE BRASIL. **Caminhões de lixo são os que mais emitem dióxido de carbono**, 2011. Disponível em: <https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2011/10/24/75973-caminhoes-de-lixo-sao-os-que-mais-emitem-dioxido-de-carbono.html>. Acesso em: 12 jun. 2021.

ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira**, 2021. Disponível em: <https://anfavea.com.br/anuario2021/anuario.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

BBC NEWS BRASIL. **O segundo maior perigo global à saúde humana (depois da covid-19) que encurta nossa vida em quase 2 anos**, 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-53782795>. Acesso em: 12 jun. 2021.

BEPO. **Tanque plástico auxiliar compatível com MB 1634/1938/1938S/Atego 2425/2426**, [s.d]. Disponível em: <http://www.bepo.com.br/produtos/linha-pesada/tanques-de-combustivel/tanques-de-combustivel-plastico/tanque-plastico-auxiliar-compativel-com-mb-1634-1938-1938s-atego-2425-2426>. Acesso em: 11 jun. 2021.

BIOGÁS. **Biometano como combustível veicular**. 1 ed. Brasília, 2016. Disponível em: https://www.giz.de/en/downloads/giz_biogas_como_combustivel_digital_simples.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022.

BOSCH. **Fuel Pumps**, 2022. Disponível em: <https://www.boschautoparts.com/p/fuel-pumps>. Acesso em: 11 jun. 2021.

BOSCH. **Sondas Lambda**, 2020. Disponível em: https://www.boschaftermarket.com/xrm/media/images/country_specific/br/downloads_19/pdf_9/catlogo_sondas_2020.pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

BOSCH. **Velas, cabos e bobinas de ignição**, 2019. Disponível em: https://www.boschaftermarket.com/xrm/media/images/country_specific/br/downloads_19/pdf_9/catlogo_velas_cabos_bobinas_2019.pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

BRASIL, **Lei nº 9.478**, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho

Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 12 jun. 2021.

BRAVO, D. M. and MEIRELLES, P. S. An evaluation study on the use of an auxiliary electric powertrain in conventional vehicles: improvements in fuel consumption and acceleration performance. IN: **23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering**, 2015, Rio de Janeiro, p.1-9.

CEMPRE. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 4 ed. São Paulo: Páginas & Letras, 2018. PDF. Disponível em: https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf. Acesso em: 12 jun. 2021.

CIBIOGAS ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Biogasmapp**, [s.d]. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiODc2NThhOGltOTc2Ny00ZDc1LWI5MTMtYjYwZTRiYjFiOWQ3liwidCI6ImMzOTg3ZmI3LTQ5ODMtNDA2Ny1iMTQ2LTc3MGU5MWE4NGViNSJ9&pageName=ReportSection6ed365e9760a3c113b0d>. Acesso em: 12 jun. 2021.

CIBIOGAS ENERGIAS RENOVÁVEIS. **O que é biogás?**, 2012. Disponível em: <https://cibioogas.org/blog-post/o-que-e-biogas/>. Acesso em: 12 jun. 2021.

CNT. **Nota à imprensa**: como baixar a pressão no transporte de cargas, 2019. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-transporte-cargas-preco-diesel>. Acesso em: 12 jun. 2021.

COMANA. Resolução Conama nº 18, de 6 de maio de 1986. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=4. Acesso em: 12 jun. 2021.

CONNECTED SMART CITIES. **ABNT orienta para a instalação e manutenção do sistema gnv segura em veículos automotivos**, 2019. Disponível em: <https://portal.connectedsmartcities.com.br/2021/10/19/abnt-orienta-para-a-instalacao-e-manutencao-do-sistema-gnv-segura/#:~:text=ABNT%20NBR%2011355%2D4%3A2007,Sistema%20de%20g%C3%A1s%20natural%20veicular.&text=Parte%204%3ACilindro%2C%20v%C3%A1lvulas%2C,e%20linha%20de%20alta%20press%C3%A3o>. Acesso em: 12 jun. 2021.

COSTA, R. B. R. **Estudo experimental da tecnologia dual-fuel em motor de combustão interna utilizando biogás, GNV e etanol**. 2017. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Belo Horizonte, 2017.

DS. **Pré-filtro da bomba do módulo de combustível**, 2022a. Disponível em: <https://www.ds.ind.br/pt/produtos/pre-filtro-da-bomba-do-modulo-de-combustivel/1301>. Acesso em: 11 jun. 2021.

DS. **Regulador de pressão**, 2022b. Disponível em: <https://www.ds.ind.br/pt/produtos/regulador-de-pressao/1128>. Acesso em: 11 jun. 2021.

EPE. **Balanço energético nacional 2020**, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites/pt/publicacoes/dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao479/topico521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf. Acesso em: 12 jun. 2021.

ETANOLVERDE. **Etanol: um atitude inteligente**, [s.d]. Disponível em: <https://unica.com.br/wp-content/uploads/2020/10/cartilha-etanol-uma-atitude-inteligente.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

FMEA. **O que é NPR? Você sabe como usá-lo?**, 2019. Disponível em: <https://fmea.com.br/dicas.php>. Acesso em: 11 jun. 2021.

GAMAPEÇAS. **Válvula eletrônica de aceleração** - Delphi TB10046, s.d. Disponível: <https://www.gamapecas.com.br/fabrica/delphi/codigo/tb10046>. Acesso em: 12 jun. 2021.

GNV SHOP. **Tubo de alta pressão encapado**, [s.d]. Disponível em: <https://www.gnvshop.com/tubo-de-alta-press-o-encapado>. Acesso em: 12 jun. 2021.

GOV.BR. **Painel dinâmico de produtores de etanol**, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-etanol>. Acesso em: 12 jun. 2021.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **PCPV: Plano de Controle de Poluição Veicular**, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2021/01/PCPV-Plano-de-Controle-de-Poluicao-Veicular-do-Estado-de-Sao-Paulo-2020-2022.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

GUIGAZ. **Cilindro GNV Usado Requalificado 80 L Aprox. 20m3**, [s.d]. Disponível em: <https://guigaz.com.br/produto/cilindro-gnv-usado-requalificado-110-litros-aprox-27-m3-nr-00162788/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

LANDIRENZO. **Filtro fl-781**, 2019a. Disponível em: <https://www.landirengo.com.br/produtos/fl-781>. Acesso em: 11 jun. 2021.

LANDIRENZO. **Manômetro**, 2019b. Disponível em: <https://www.landirengo.com.br/produtos/manometro>. Acesso em: 11 jun. 2021.

LANDIRENZO. **Central lovato easy fast ODB II**. 2019c. Disponível em: <https://www.landirengo.com.br/produtos/central-lovato-easy-fast-obd-ii-lovato/>. Acesso em: 12 jun. 2021.

LEGISWEB. **Anexo I**, [s.d]. Disponível em: [https://www.dinamicasistemas.com.br/upload/files/78\(1\).pdf](https://www.dinamicasistemas.com.br/upload/files/78(1).pdf). Acesso em: 12 jun. 2021.

LUCIFLEX. **Catálogo**: Mangueira de combustível e tubos, 2015. Disponível em: https://luciflex.com.br/CATALOGO_MANGUEIRA_TUBOS-LUCIFLEX.pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

MERCEDES-BENZ. **Ficha técnica**: Referência em ônibus, 2011. Disponível em: <https://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/onibus/onibus-urbano/dados-tecnicos/2020/OF-1721L-59-4x2.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

MIKI, R. E. Biometano produzido a partir de biogás de ETEs e seu uso como combustível veicular. **Revista DAE**, v. 66, n. 209, p.6-16, Mar. 2018. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_209_n_1707.pdf. Acesso em: 12 jun. 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Renovabio**, [s.d]. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio#:~:text=O%20RenovaBio%20%C3%A9%20uma%20pol%C3%ADtica,mercado%20e%20a%20mitiga%C3%A7%C3%A3o%20de>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Resolução nº 8, de 30 de janeiro de 2015. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-8-de-30-de-janeiro-de-2015-32367532>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL; SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. **Diagnóstico temático manejo de resíduos sólidos urbanos**: visão geral, ano de referência 2020, 2021. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 12 jun. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 490, de 16 de novembro de 2018. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=76. Acesso em: 12 jun. 2021.

O ANALISTA DE MODELO DE NEGÓCIOS. **Modelos de negócios de empresas**: O que é o Business Model Canvas, 2016. Disponível em: <https://analistamodelosdenegocios.com.br/o-que-e-o-business-model-canvas/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

SINDIPEÇAS E ABIPEÇAS. **Relatório da frota circulante**, 2021. Disponível em: https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2021/RelatorioFrotaCirculante_Marco_2021.pdf. Acesso em: 12 jun. 2021.

STEFANELLI.ENG. **Motor de quatro tempos à centelha ou fagulha – Ciclo Otto**, 2022. Disponível em: <https://www.stefanelli.eng.br/ciclo-otto-motor-quatro-tempos/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

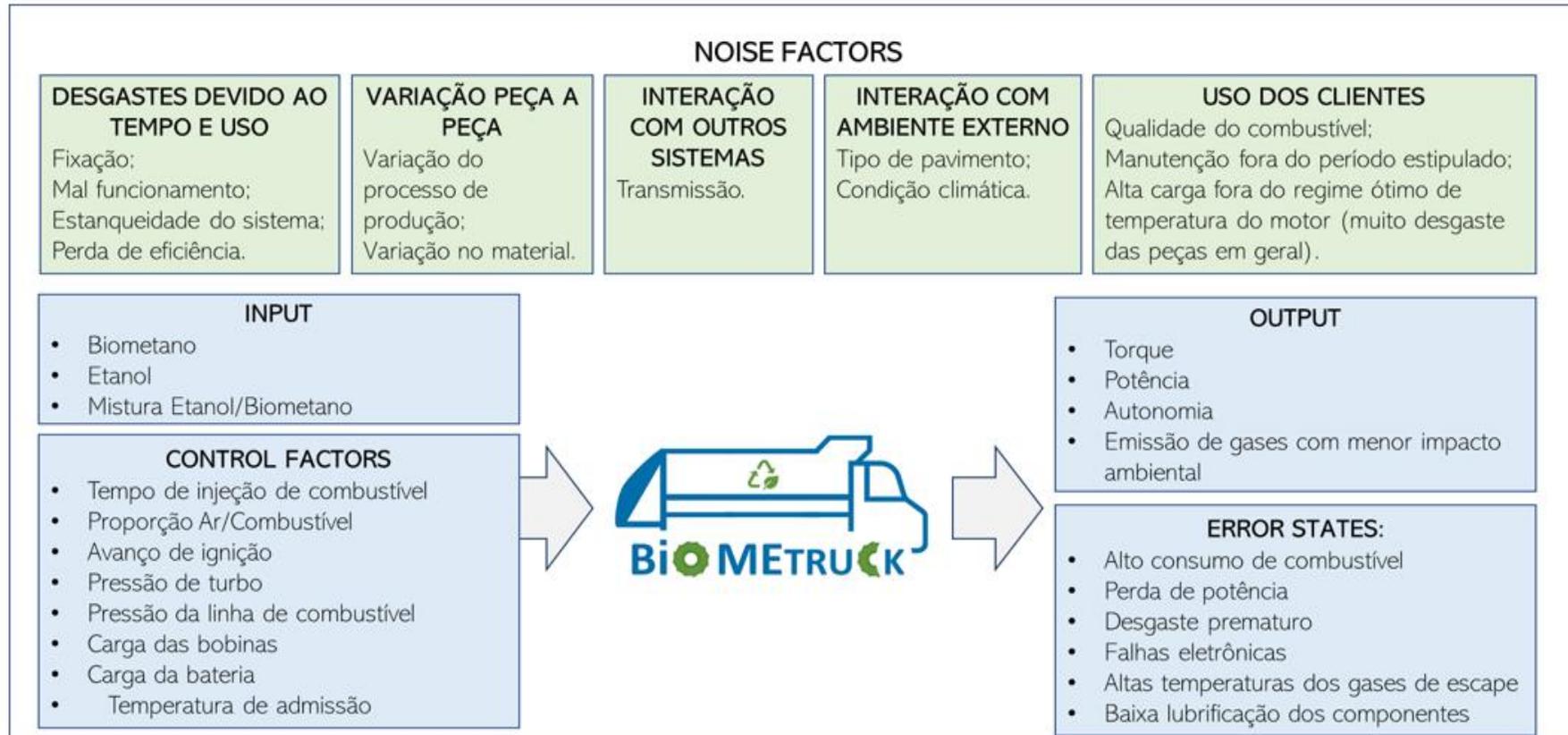
TECFIL. **Filtro de Combustível Blindado-Tecfil-GI04/7–Unitário**, [s.d]. Disponível em: <https://loja.tecfil.com.br/p/1008336/filtro-de-combustivel-blindado-tecfil-gi047-unitario>. Acesso em: 11 jun. 2021.

TOMASETTO ACHILLE. **CNG cylinder valves VM01 LIGHT**, [s.d]b. Disponível em: <https://www.tomasetto.com/product/cng-cylinder-valves-vm01-light/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

TOMASETTO ACHILLE. **CNG filling valves VM04 PICO**, [s.d]c. Disponível em: <https://www.tomasetto.com/product/cng-filling-valves-vm04-pico/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

TOMASETTO ACHILLE. **CNG reducers model AT12 super**, [s.d.]a. Disponível em: <https://www.tomasetto.com/product/cng-reducers-model-at12-super/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

APÊNDICE A – DIAGRAMA P



APÊNDICE B - ENGENHARIA REVERSA

Sistema	Novo sistema de controle do biometano							Novo sistema de ignição				
Componente	Redutor e regulador de pressão	Controle eletrônico de vazão de gás	Cilindro de gás	Válvula do cilindro	Filtro de gás	Tubo de Alta pressão	Manômetro	Bico injetor	Velas	Bobina Pencil Coil	Unidade de controle eletrônico	Sensor indutivo
Processo de Fabricação	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado
Material	Alumínio	Aço inox 316	Aço cromo-molibdênio	Aço	Alumínio	Aço	Caixa: Aço inox, Bourdon: Latão	Variável conforme potência do motor	Eletrodo de níquel-ítrio	Aço/cobre /polímero	Alumínio + componentes elet.	Invólucro: Latão Niquelado
Fornecedores	Tomasetto	Aalborg	MAT	Tomasetto	Landirenzo	Tomasetto	Landirenzo	Bosch	Bosch	NGK	Lovato	Pepperl + Fuchs
Dimensões básicas (mm)	115 x 190 x 110	133 x 157 x 18	Ø324/1710	Ø8/100	Ø50/94	Ø6/6000	Ø63	Variável conforme potência do motor	Desprezível	33 x 25 x 75	150 x 150	Desprezível
Massa (kg)	2	0,4	115	0,4	0,1	2,5	0,3	0,8	0,2	0,2	5	-

Sistema	Novo sistema de controle do etanol											Novo sistema de escape	
Componente	Tanque de Etanol	Pré-filtro	Filtro de combustível	Bomba de baixa pressão	Eletroválvula de injeção	Regulador de pressão	Sensor de nível do tanque	Linha de combustível (tubulação)	Válvula borboleta eletrônica	Sensor de temperatura	Sensor de posição do pedal acelerador	Sonda Lambda (com chicote)	Catalisador 3 vias
Processo de Fabricação	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado	Material Comprado
Material	Polímero	Tela Dupla	Polipropileno	Aço/Ferro Fundido	Alumínio/aço	Alumínio/aço	Polímero	Polímero	Alumínio	Aço	Polímero	Dióxido de zircônio	Materiais cerâmicos/ metais nobres
Fornecedores	Bepo	DS	DS	Bosch	Bosch	DS	Bosch	Luciflex	Delphi	Nobre Brasil Sensores	Carmotors ports	Bosch	BASF
Dimensões básicas (mm)	1000 x 660 x 660	90 x 40 x 80	340 x 134 (AxL)	200 x 80 x 80	Ø10,2 núcleo: 36,0 x 62,5 x 35,5.	198 x 107 x 42	25 x 25 x 10	Ø8/5000	135x90x100	Desprezível	64x60x55	Ø20/1600	100 x 100 x 100
Massa (kg)	90	0,3	1	3,5	0,9	0,15	-	2	1,2	-	-	0,1	1,5

APÊNDICE C - S-FMEA

Componente	Função	Requisito	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito(s) da Falha	Severidade	Potencial Causa da Falha	Mecanismos de Prevenção	Occurrence	Mecanismos de Detecção	Detecção	RPN	Recommended Action(s)
Bico Injetor	Injetar biometano	Realizar a injeção e propagação do biometano no coletor de admissão.	Insuficiência em suprir a demanda do motor. Entupimento do injetor. Volume, pressão e tempo de injeção.	Aumento no consumo de combustível, perda de potência, aceleração da marcha lenta e dificuldade na partida.	8	Combustível de baixa qualidade e com resíduos. Filtro com baixa eficiência. Desgaste do componente. Bomba de combustível fraca.	Manutenção e troca periódica do componente	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores).	2	160	Garantir o dimensionamento adequado do componente, tendo como base tipo de combustível e pressões do sistema.
Bobina pencil coil	Transformar tensão	Amplificador de baixa tensão vinda da bateria em alta tensão	Tensão insuficiente	Falhas de ignição, redução na potencia, aumento da emissão de poluentes e dificuldade na partida	7	Chicote danificado, mal encaixe dos conectores e superaquecimento	Instalação e fixação correta. Teste de funcionalidade.	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores).	2	140	Escolha do componente correto que gere a tensão necessária para o motor
	Distribuir eletricidade	Armazenar tensão	Dificuldade na geração da centelha	Falha de ignição	7	Mal contato entre bobina e velas	Instalação e fixação correta. Teste de funcionalidade.	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores).	2	140	Substituição do componente por outro com maior capacidade de ampliar a tensão
Bomba de Baixa Pressão e Regulador	Pressurizar etanol	Levar o combustível ao sistema de injeção na pressão adequada	Pressão elevada ou insuficiente	Consumo excessivo de combustível, motor não dar partida	7	Baixo nível de combustível chegando aos bicos injetores	Manutenção e troca periódica do componente	10	Teste verificador de pressão e vazão da bomba	5	350	Dimensionamento adequado do componente, manter filtros limpos, manutenção preventiva
	Transportar etanol	Bombear o combustível até o motor	Queima da bomba	Baixo desempenho e falhas no motor, consumo excessivo de combustível	6	Alimentação elétrica incorreta, conjuntos de filtros obstruídos	Manutenção e troca periódica do componente	10	Teste verificador de pressão e vazão da bomba	4	240	Dimensionamento adequado do componente, manter filtros limpos, manutenção preventiva
Catalisador 3 vias	Converter gases	Realizar a conversão de componentes poluidores.	Catálise redutora e oxidante não suficientes. Sensor de oxigênio inoperante ou desregulado.	Emissão de componentes prejudiciais ao meio ambiente, descumprimento das leis de emissões.	9	Envelhecimento do catalisador. Mal funcionamento dos sensores.	Manutenção e troca periódica do componente e limpeza.	10	Indicação de falha no painel do veículo	2	180	Substituição do componente, e verificação dos elementos responsáveis pelas reações químicas.

Componente	Função	Requisito	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito(s) da Falha	Severidade	Potencial Causa da Falha	Mecanismos de Prevenção	Occurrence	Mecanismos de Detecção	Detecção	RPN	Recommended Action(s)
Cilindro de Gás	Armazenar biometano	Estanqueidade no armazenamento do biometano	Vazamento de biometano do tanque/cilindro	Perda de combustível; Perda de pressão	9	Pressão excessiva; Trincas no tanque/cilindro e nas conexões	Controle da pressão; Inspeção do tanque/cilindro ; Teste de Estanqueidade	10	Queda da pressão no tanque; Empobrecimento da mistura de combustível; Problemas na combustão	4	360	Manutenção preventiva do componente e garantir o funcionamento do manômetro
Controle Eletrônico de Vazão de Gás	Controlar fluxo	Realizar o controle de vazão de gás por meio de válvula eletrônica	Falha no acionamento da válvula	Perda de potência/eficiência no motor	7	Desgaste dos atuadores; falha elétrica	Manutenção preventiva	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores).	2	140	Manutenção preventiva do componente; Seleção dos atuadores adequados para aplicação
	Coletar informações	Monitorar vazão de gás	Falha na leitura e/ou processamento dos dados	Controle ineficaz da operação	6	Danos nos cabos e conectores, defeito no sistema eletrônico	Manutenção preventiva	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores).	2	120	Seleção e dimensionamento adequados de cabos e conectores.
Eletroválvula de injeção	Injetar etanol	Pulverizar o combustível no coletor de admissão	Entupimento da válvula	Perda de potência; Consumo excessivo de combustível.	8	Combustível com impurezas chegando à válvula	Troca periódica do filtro	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores).	2	160	Seleção de materiais adequados e dimensionamento correto do componente.
	Controlar fluxo	Realizar o controle de vazão de etanol por meio de válvula eletrônica	Falha no acionamento da válvula	Perda de potência/eficiência no motor	7	Desgaste dos atuadores; falha elétrica	Manutenção preventiva	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores).	2	140	Manutenção do componente; Troca dos atuadores
Filtro de Etanol	Reter impurezas	Filtrar as impurezas presentes no combustível, impedindo que entrem na admissão do motor	Entupimento do filtro	Aumento da perda de carga, retardando e dificultando o tratamento do fluido	7	Desgaste da bomba, dificuldades na ignição e desempenho irregular	Manutenção e troca periódica do componente	10	Falta de potência, ruídos ou mal funcionamento do veículo.	4	280	Substituição periódica do componente e manutenção preventiva
Filtro de Gás	Reter impurezas	Reter possíveis impurezas presentes no gás para que esta não chegue ao motor e prejudique seu funcionamento.	Não reter as impurezas ou o vazamento do gás	Mal funcionamento do motor devido às impurezas presentes no combustível	8	Instalação incorreta ou não observar às manutenções preventivas	Teste de estanqueidade Manutenção e troca periódica do componente	10	Falta de potência, ruídos ou mal funcionamento do veículo	4	320	Substituição periódica do componente e manutenção preventiva

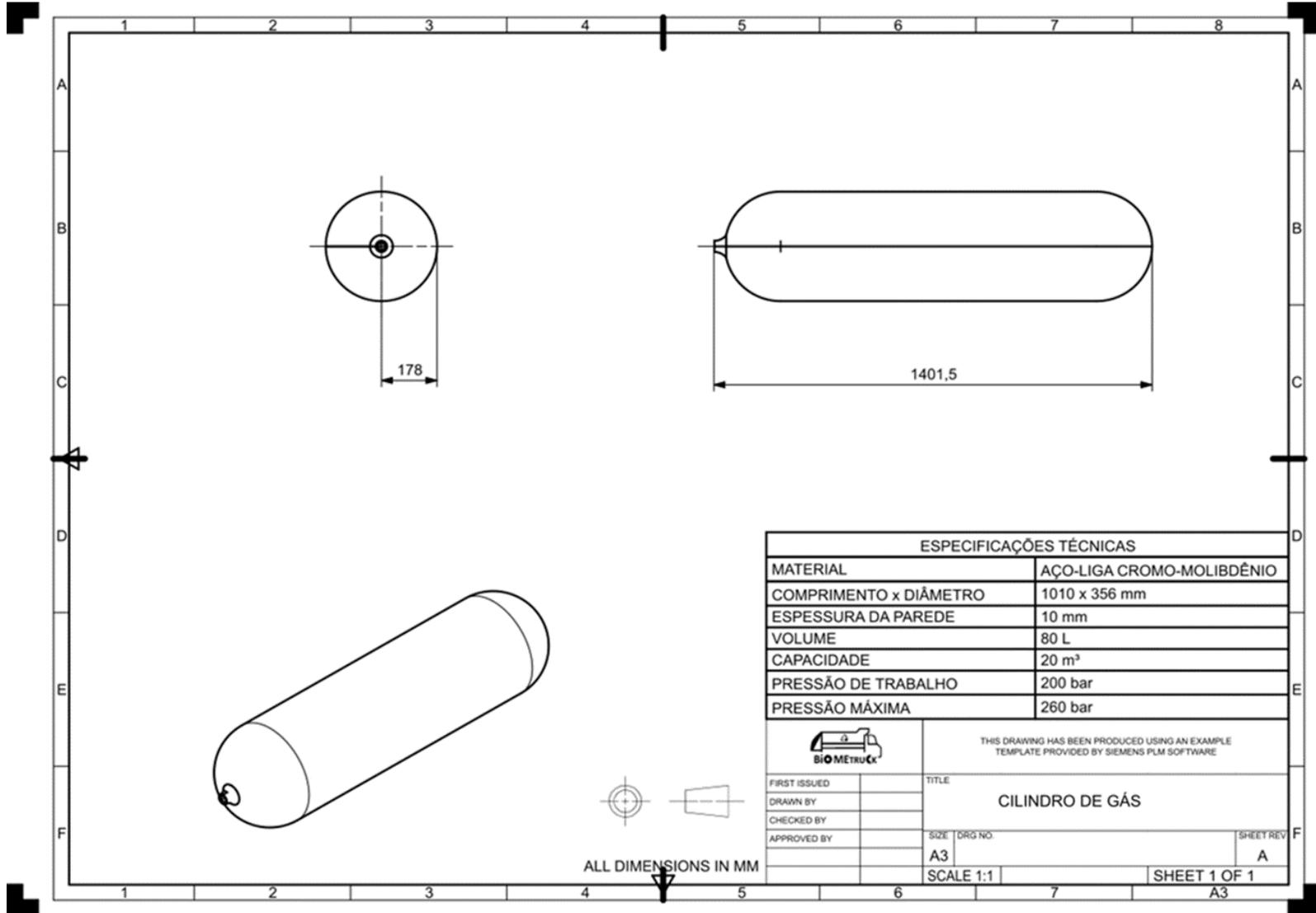
Componente	Função	Requisito	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito(s) da Falha	Severidade	Potencial Causa da Falha	Mecanismos de Prevenção	Occurrence	Mecanismos de Detecção	Detecção	RPN	Recommended Action(s)
Linha de combustível (tubulação)	Transportar etanol	Promover o transporte do etanol do tanque até a bomba e componentes de injeção.	Vazamento	Perda de combustível	6	Fissuras e trincas	Teste de estanqueidade	10	Inspeção visual	2	120	Garantir que o material é adequada para o tipo de fluido e pressão desta aplicação.
Manômetro	Indicar a pressão do gás	Indicar a pressão do gás armazenado no cilindro	Pressão elevada ou insuficiente considerando a resolução do equipamento	Pressão elevada prejudica durabilidade dos componentes	5	Instalação incorreta, envio incorreto do sinal eletrônico para a ECU.	Instalação e fixação correta. Teste de funcionalidade.	10	Sensores de pressão com conexão com a ECU	2	100	Recalibração; Substituição do componente, cabos e conectores
Pré-filtro	Separar contaminantes	Impedir a entrada de impurezas na bomba de combustível	Acumulo de impurezas na entrada da bomba	Diminuição do volume de combustível que chega a bomba	6	Queima da bomba, desgaste prematuro dos componentes do sistema de injeção	Manutenção e troca periódica do componente	10	Perda de desempenho do veículo	4	240	Substituição periódica do componente e manutenção preventiva
Redutor e Regulador de Pressão	Despressurizar o biometano	Redução da pressão do gás, vindo do tanque em alta pressão	Falha na redução da pressão do biometano	Pressão inadequada de combustível no motor	7	Dano nas membranas e/ou molas do redutor	Manutenção preventiva periódica	10	Testes com manômetro	4	280	Limpeza e manutenção preventiva do redutor; Substituição do componente
Sensor de nível do tanque	Coletar informações	Medir o nível de combustível no tanque.	Marcação incorreta ou ausente.	Pane seca.	8	Queima da sensor, imprecisão na marcação. Movimentação indevida do sensor.	Instalação e fixação correta. Teste de funcionalidade.	10	Marcação do nível no painel do veículo.	2	160	Substituição do componente, garantir a especificação adequada para a aplicação.
Sensor de posição do pedal acelerador	Coletar informações	Monitorar a posição do pedal do acelerador	Obtenção incorreta da posição do pedal	Resposta inconsistente do motor, perda de eficiência	7	Danos nos cabos e conexões, defeito no sistema eletrônico	Manutenção e troca periódica do componente	10	Inspeção visual, testes com osciloscópio e multímetro	3	210	Seleção e dimensionamento adequados de cabos e conectores.
	Demandar potência	Solicitar potência do motor	Demanda incorreta ou ausente do motor	Resposta inconsistente do motor, perda de eficiência	7	Danos nos cabos e conexões, defeito no sistema eletrônico	Manutenção e troca periódica do componente	10	Inspeção visual, testes com osciloscópio e multímetro	3	210	Seleção e dimensionamento adequados de cabos e conectores.

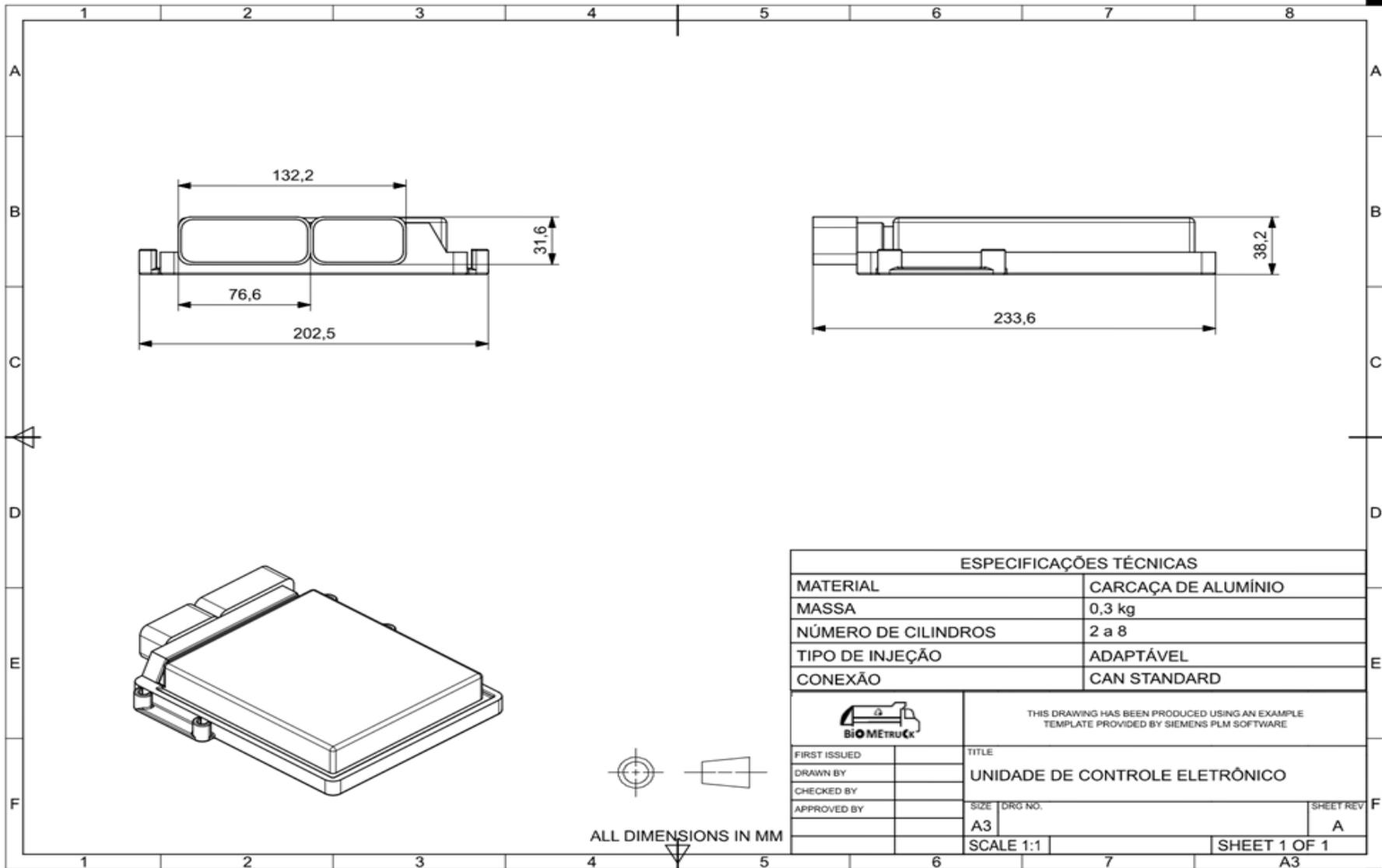
Componente	Função	Requisito	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito(s) da Falha	Severidade	Potencial Causa da Falha	Mecanismos de Prevenção	Occurrence	Mecanismos de Detecção	Detecção	RPN	Recommended Action(s)
Sensor de Temperatura	Coletar informações	Medir a temperatura do motor	Monitoramento incorreto	Superaquecimento do motor, consumo excessivo de combustível	7	Falha nos cabos e conectores, curto circuito no chicote	Manutenção e troca periódica do componente	10	Teste com scanner e multímetro	3	210	Seleção e dimensionamento adequados de cabos e conectores.
Sensor Indutivo	Dimensionar injeção	Definição dos parâmetros de injeção com base nos dados coletados	Adoção de parâmetros inadequados	Injeção inadequada de combustível	7	Falha na calibração e/ou instalação	Testes de calibração; Manutenção preventiva	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores); Testes com multímetro e osciloscópio	3	210	Calibração adequada do sensor; Seleção e dimensionamento adequados dos cabos e conectores
	Coletar informações	Transmitir os parâmetros coletados a unidade de gerenciamento eletrônico	Falha na leitura e/ou processamento dos dados	Controle ineficaz da operação	4	Danos nos cabos e conectores, defeito no sistema eletrônico	Manutenção e troca periódica do componente	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores); Testes com multímetro e osciloscópio	3	120	Seleção e dimensionamento adequados de cabos e conectores.
Sonda Lambda	Avaliar mistura	Monitorar os parâmetros da combustão através da leitura dos gases de escape	Conjunto fora de calibração	Envio de dados incorretos e desregulagem da mistura	7	Erro de calibração na instalação, curto circuito no chicote	Instalação e calibração adequada; Manutenção preventiva	10	Sinal de falha no controle eletrônico	2	140	Recalibração; Substituição do componente, cabos e conectores
	Coletar informações	Transmitir os parâmetros coletados a unidade de gerenciamento eletrônico	Falha no envio das informações	A falta de processamento dos sinais impossibilita o controle eficaz da operação	6	Falha nos cabos e conectores, curto circuito no chicote	Manutenção preventiva	10	Sinal de falha no controle eletrônico	2	120	Substituição do componente, cabos e conectores
Tanque de Etanol	Armazenar etanol	Atender o abastecimento servindo de reservatório de combustível	Vazamento	Perda de combustível	6	Fissuras e trincas	Teste de estanqueidade	10	Inspeção visual	2	120	Manutenção preventiva do componente e garantir o dimensionamento correto do tanque
	Permitir o abastecimento	Prover combustível para o funcionamento do veículo	Movimentação indevida do tanque	Dano ao tanque e aos outros componentes do sistema, desequilíbrio e instabilidade do veículo	6	Montagem mal executada, falta de aperto nos elementos de fixação	Instrução na montagem dos suportes de fixação	10	Inspeção visual	2	120	Manutenção preventiva do componente e garantir o dimensionamento correto do tanque

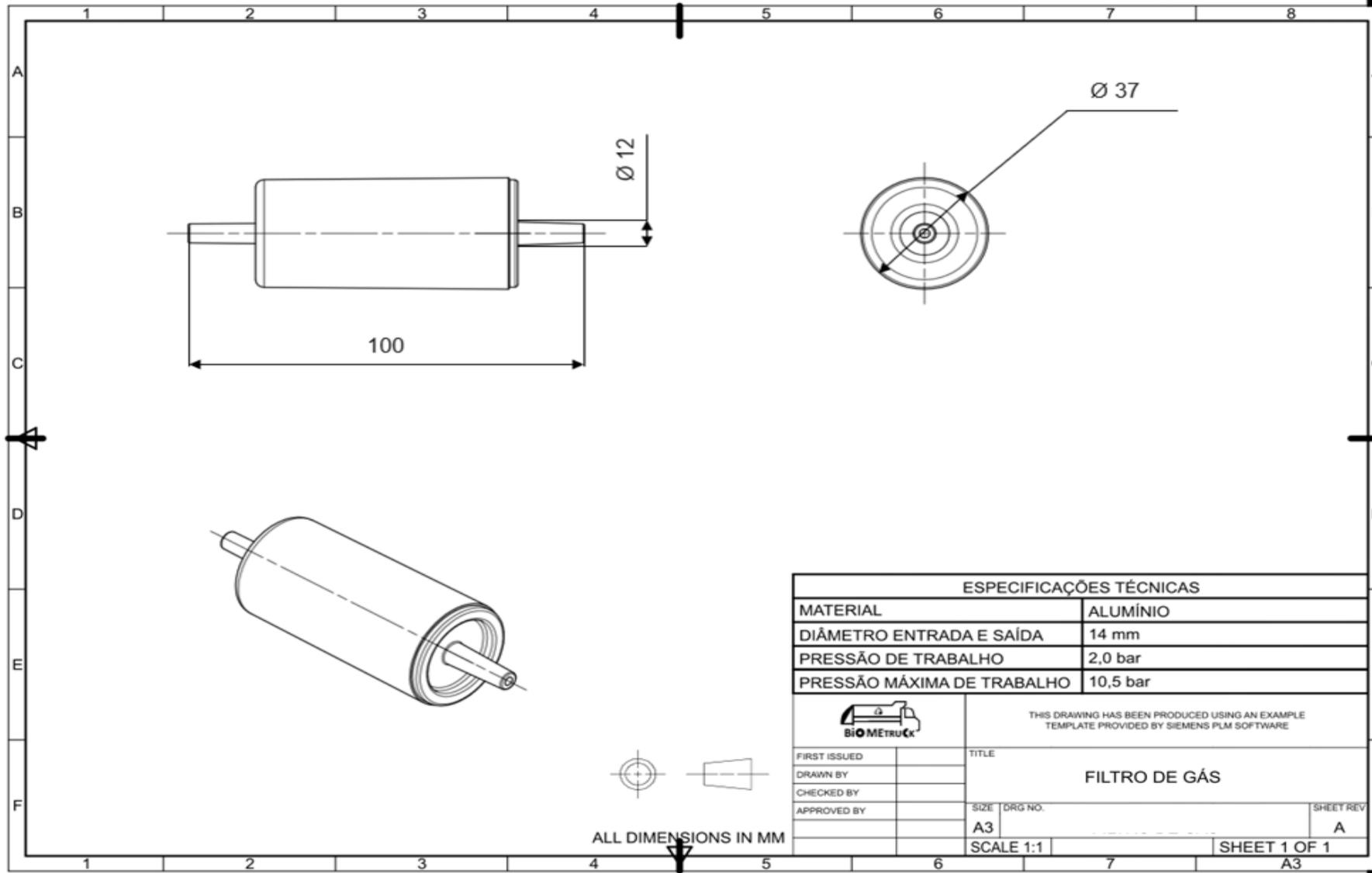
Componente	Função	Requisito	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito(s) da Falha	Severidade	Potencial Causa da Falha	Mecanismos de Prevenção	Occurrence	Mecanismos de Detecção	Detecção	RPN	Recommended Action(s)
Tubo de Alta pressão	Transportar biometano	Realizar o transporte do biometano do cilindro ao coletor de admissão	Vazamento, rompimento parcial ou total da tubulação	Perda de combustível	6	Instalação incorreta, falha ou desgaste do material	Teste de estanqueidade	10	Sensores de pressão e temperatura com conexão com a ECU	3	180	Substituição parcial ou manutenção da estanqueidade
Unidade de Controle Eletrônico	Entregar potência	Entregar potência necessária para a situação desejada pelo condutor	Fornecimento inadequado de potência	Consumo excessivo de combustível	7	Falha no processamento da informação	Instalação correta, teste de funcionalidade	10	Falta de potência e mal funcionamento do veículo	6	420	Utilização de materiais de qualidade e condições adequadas de aplicação
	Controlar atuadores	Enviar sinais para os atuadores	Atuadores com falha mecânica	Veículo em modo de proteção	7	Veículo com baixa potência para proteção do motor	Inspeção dos atuadores	10	Teste com scanner multímetro	3	210	Substituição do componente, garantir a especificação adequada para a aplicação.
	Permitir autonomia	Corrigir a mistura através do sinal enviado pelo sensor lambda	Sensor lambda em falha	Excesso ou falta de combustível	6	Danos ao motor	Instalação e calibração adequada	10	Teste com scanner multímetro	3	180	Utilização de materiais de qualidade e condições adequadas de aplicação
	Gerenciar o motor	Receber sinais dos sensores e enviar sinais aos atuadores	Leitura incorreta dos sensores	Entrar em modo de proteção de componentes	8	Elevado consumo de combustível	Instalação e calibração adequada	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores).	2	160	Seleção de sensores e componentes de qualidade
Válvula borboleta eletrônica	Regular admissão	Controlar o ar admitido para o funcionamento do motor	Acionamento da válvula incorretamente	Marcha lenta irregular, falha e/ou desligamento do motor. Aumento no consumo	7	Contaminação/sujeidade interna, presença de um ou mais vazamentos de vácuo	Instalação correta, teste de funcionalidade/ estanqueidade	10	Falta de potência e mal funcionamento do veículo	6	420	Utilização de materiais de qualidade e manutenção preventiva do componente
Válvula da Cabeça do Cilindro	Permitir o abastecimento	Permitir o abastecimento do tanque de biometano.	Não conseguir abastecer o tanque/cilindro de biometano.	Falta de combustível	8	Abastecimento ou instalação incorreta	Instalação e fixação correta. Teste de funcionalidade.	10	Sensor de pressão com conexão com a ECU	3	240	Utilização de materiais de qualidade e manutenção preventiva do componente

Componente	Função	Requisito	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito(s) da Falha	Severidade	Potencial Causa da Falha	Mecanismos de Prevenção	Occurrence	Mecanismos de Detecção	Detecção	RPN	Recommended Action(s)
Velas	Iniciar a combustão	Geração da centelha no instante determinado pela ECU	Atraso/adiantamento na geração da centelha	Perda de desempenho e aumento do consumo	8	Erosão no eletrodo gerador da centelha e superaquecimento do conjunto da vela.	Uso de ferramentas adequadas na instalação do conjunto.	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores).	2	160	Escolha com componente adequado. Simulação elementos finitos. Temperatura de trabalho adequada.
	Produzir centelha	Conduzir corrente elétrica suficiente para geração da centelha	Corrente insuficiente	Falha na partida e dificuldade de geração de torque	7	Desgaste da vela; Fuga de corrente na bobina.	Manutenção preventiva.	10	Luz de injeção acesa no painel (sensores).	2	140	Escolha com componente adequado. Simulação elementos finitos. Temperatura de trabalho adequada.

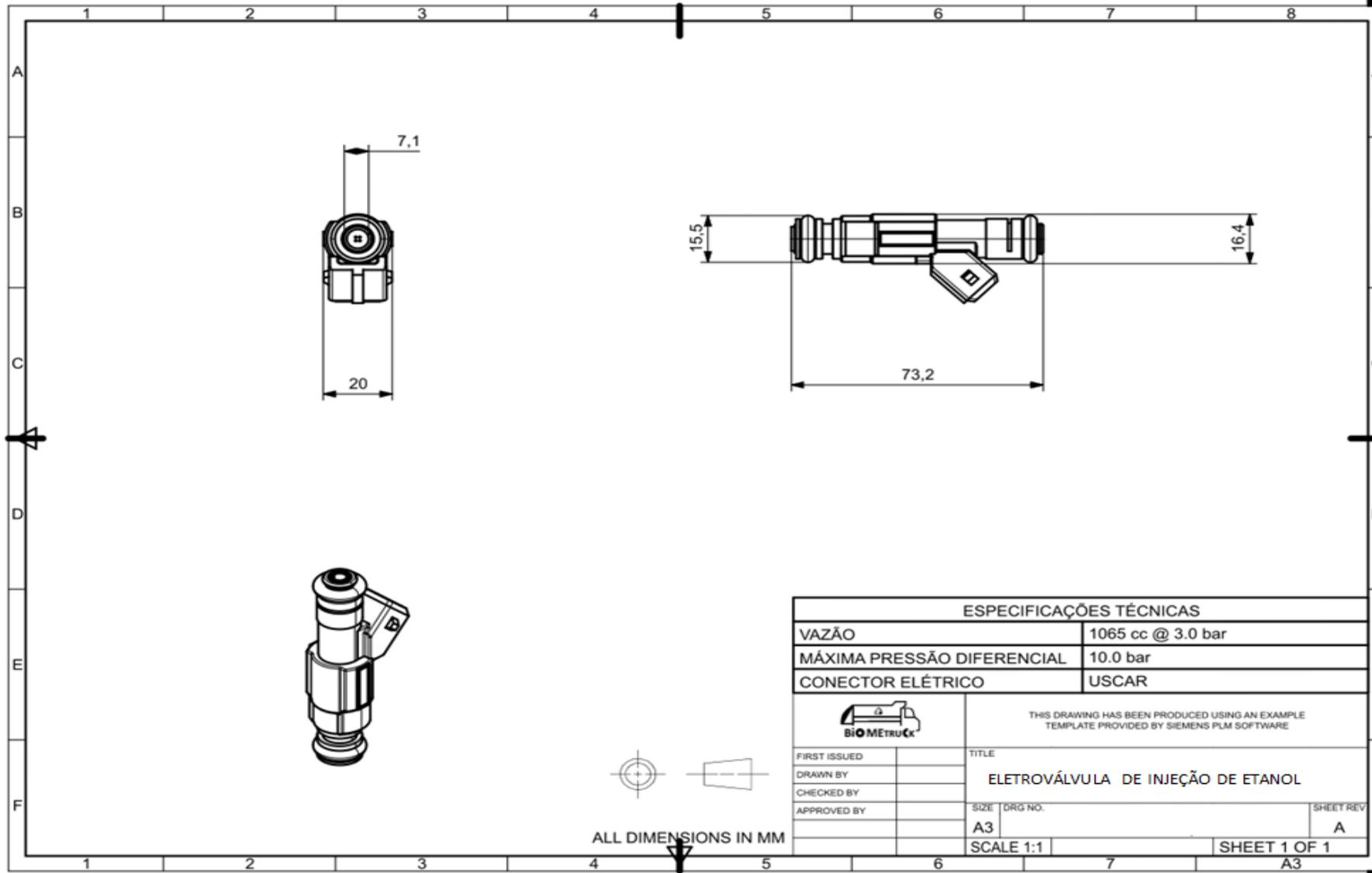
APÊNDICE E- DESENHO CAD 2D







ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS				
MATERIAL	ALUMÍNIO			
DIÂMETRO ENTRADA E SAÍDA	14 mm			
PRESSÃO DE TRABALHO	2,0 bar			
PRESSÃO MÁXIMA DE TRABALHO	10,5 bar			
		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE		
		TITLE		
FIRST ISSUED		FILTRO DE GÁS		
DRAWN BY				
CHECKED BY				
APPROVED BY				
		SIZE	DRG NO.	SHEET REV
		A3		A
		SCALE 1:1	SHEET 1 OF 1	
			A3	



ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
VAZÃO	1065 cc @ 3.0 bar
MÁXIMA PRESSÃO DIFERENCIAL	10.0 bar
CONECTOR ELÉTRICO	USCAR



THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

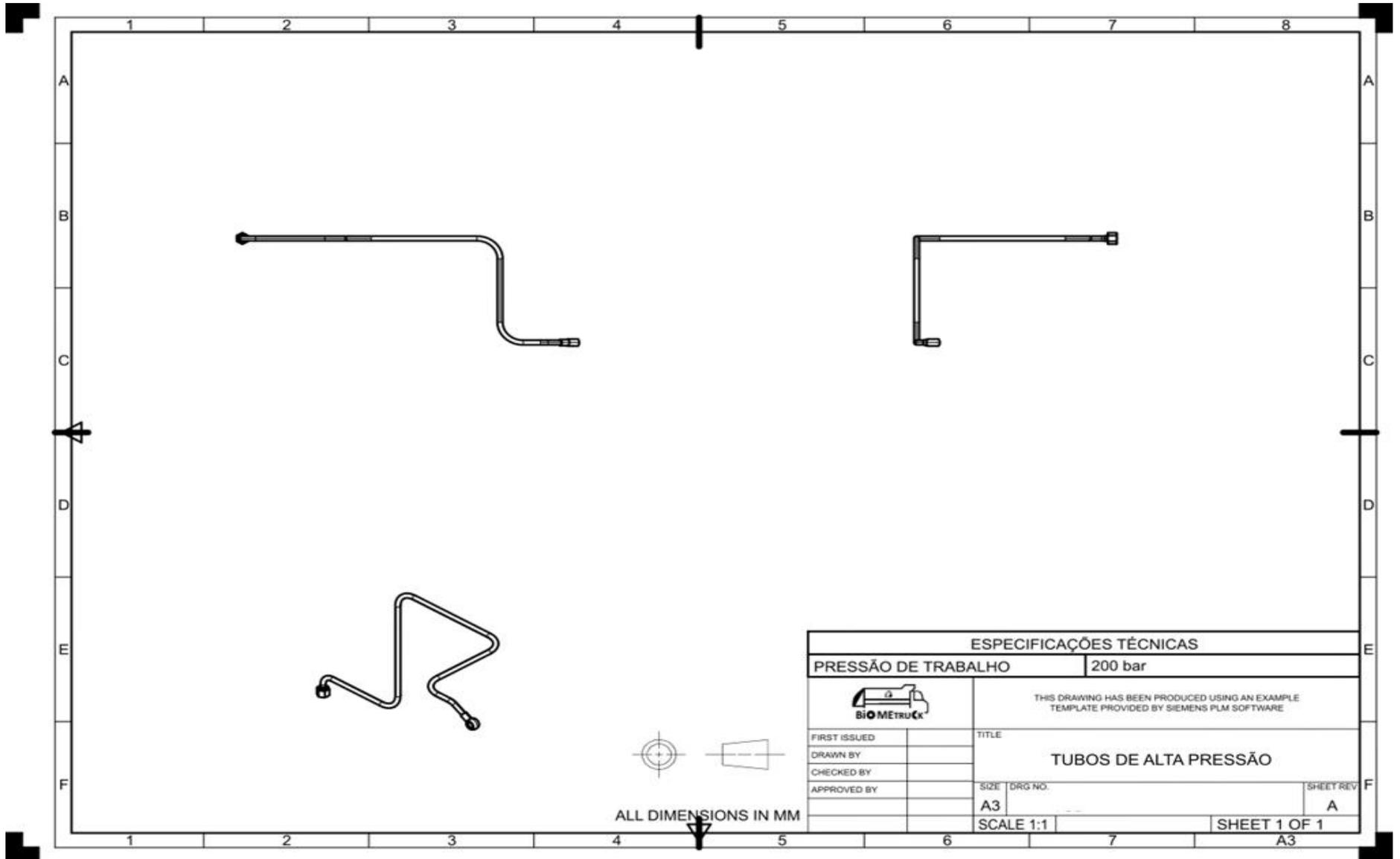
FIRST ISSUED	
DRAWN BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

TITLE		SHEET REV
ELETROVÁLVULA DE INJEÇÃO DE ETANOL		
SIZE	DRG NO.	A
A3		

ALL DIMENSIONS IN MM

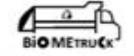
SCALE 1:1	SHEET 1 OF 1
-----------	--------------

A3



ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

PRESSÃO DE TRABALHO 200 bar



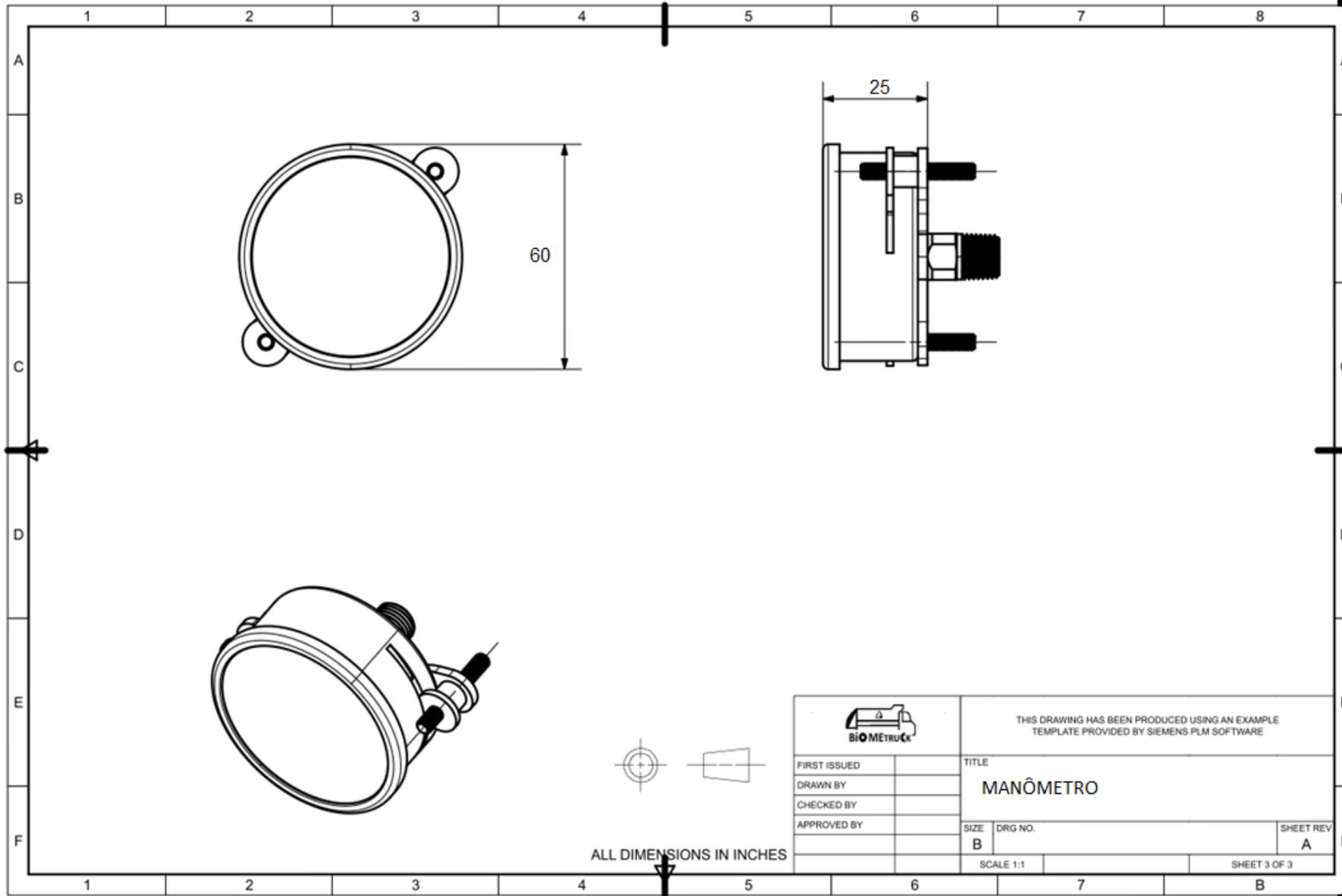
THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

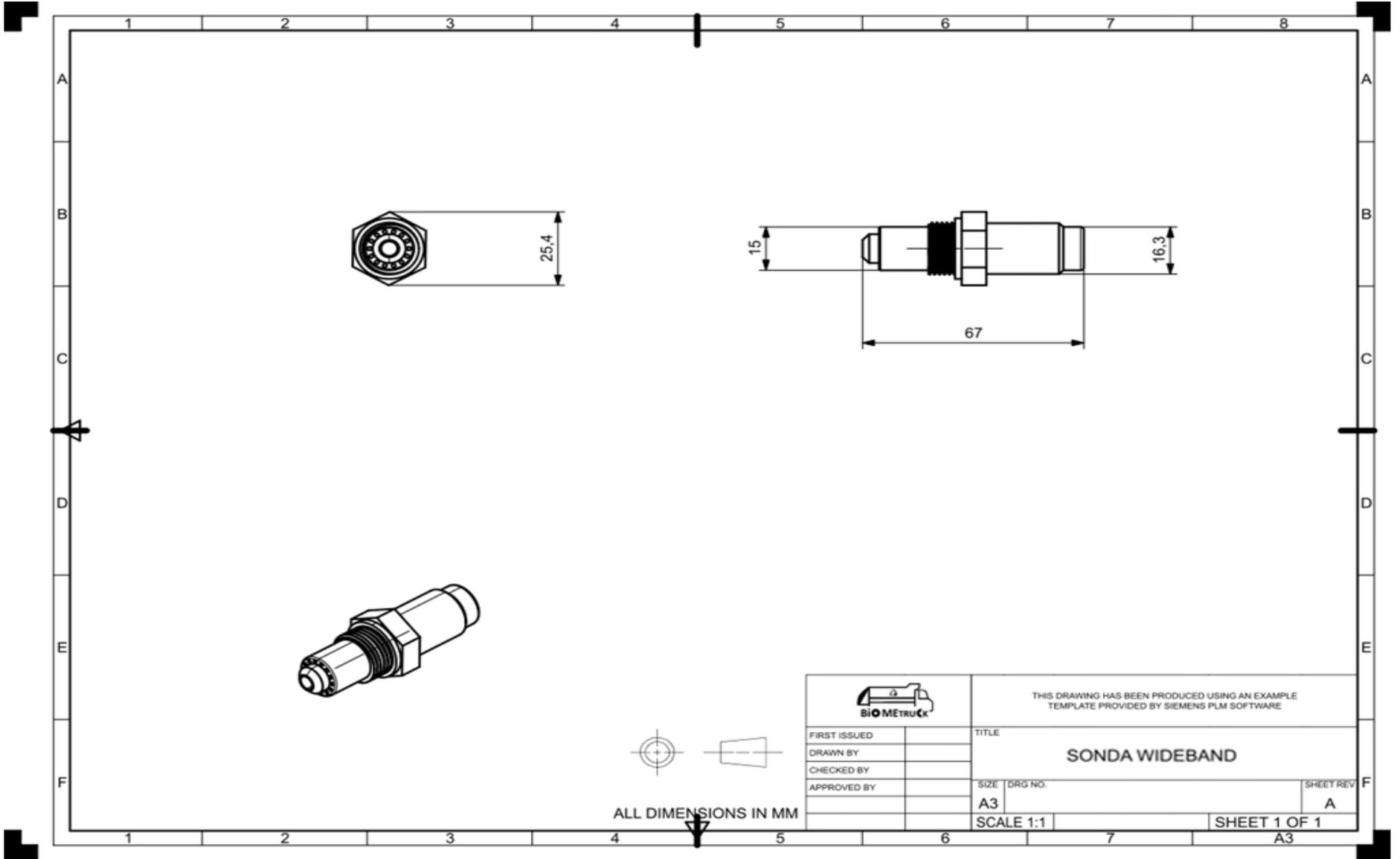
FIRST ISSUED
DRAWN BY
CHECKED BY
APPROVED BY

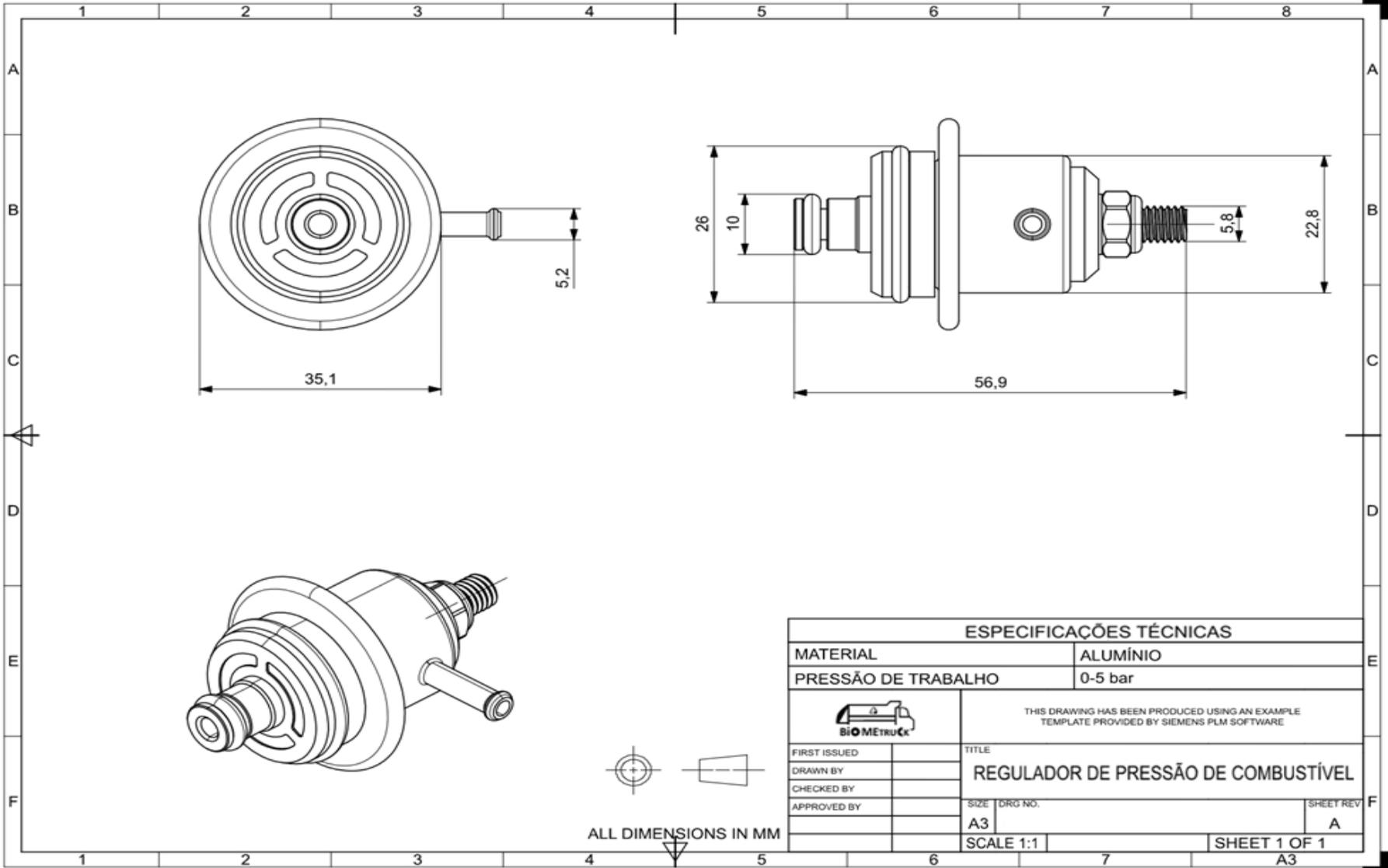
TITLE
TUBOS DE ALTA PRESSÃO
SIZE DRG NO. SHEET REV
A3 A

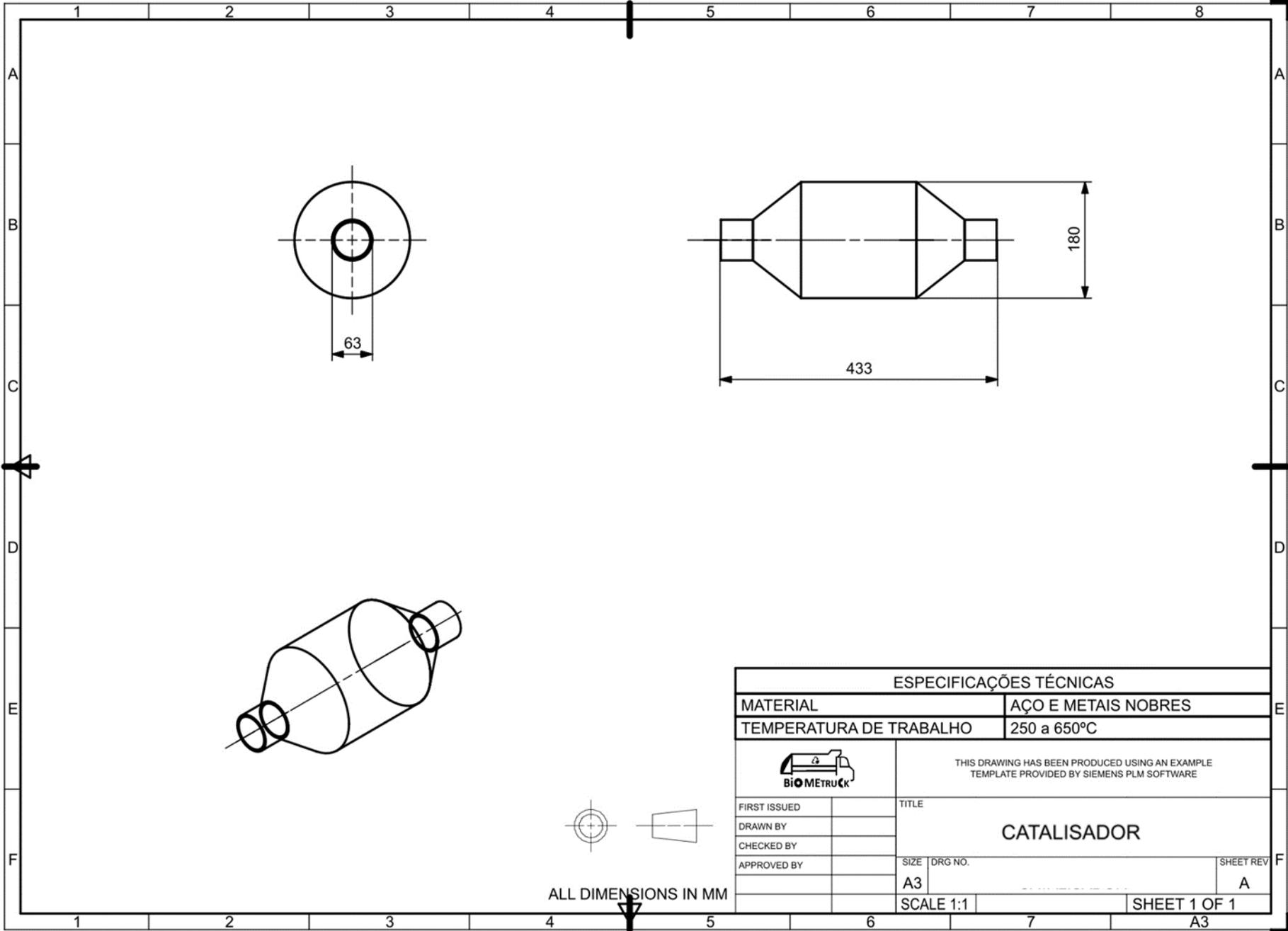
ALL DIMENSIONS IN MM

SCALE 1:1 SHEET 1 OF 1 A3





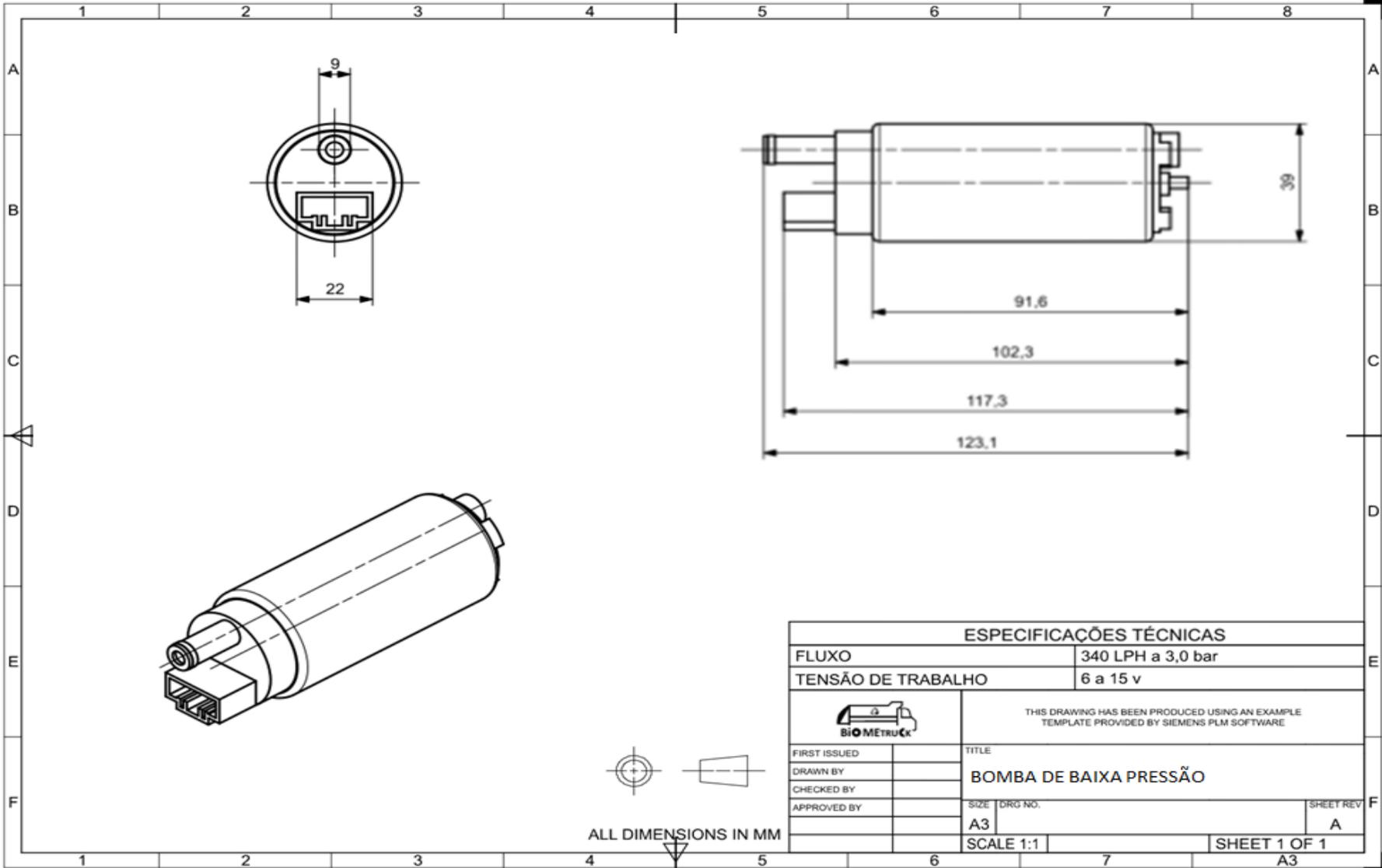


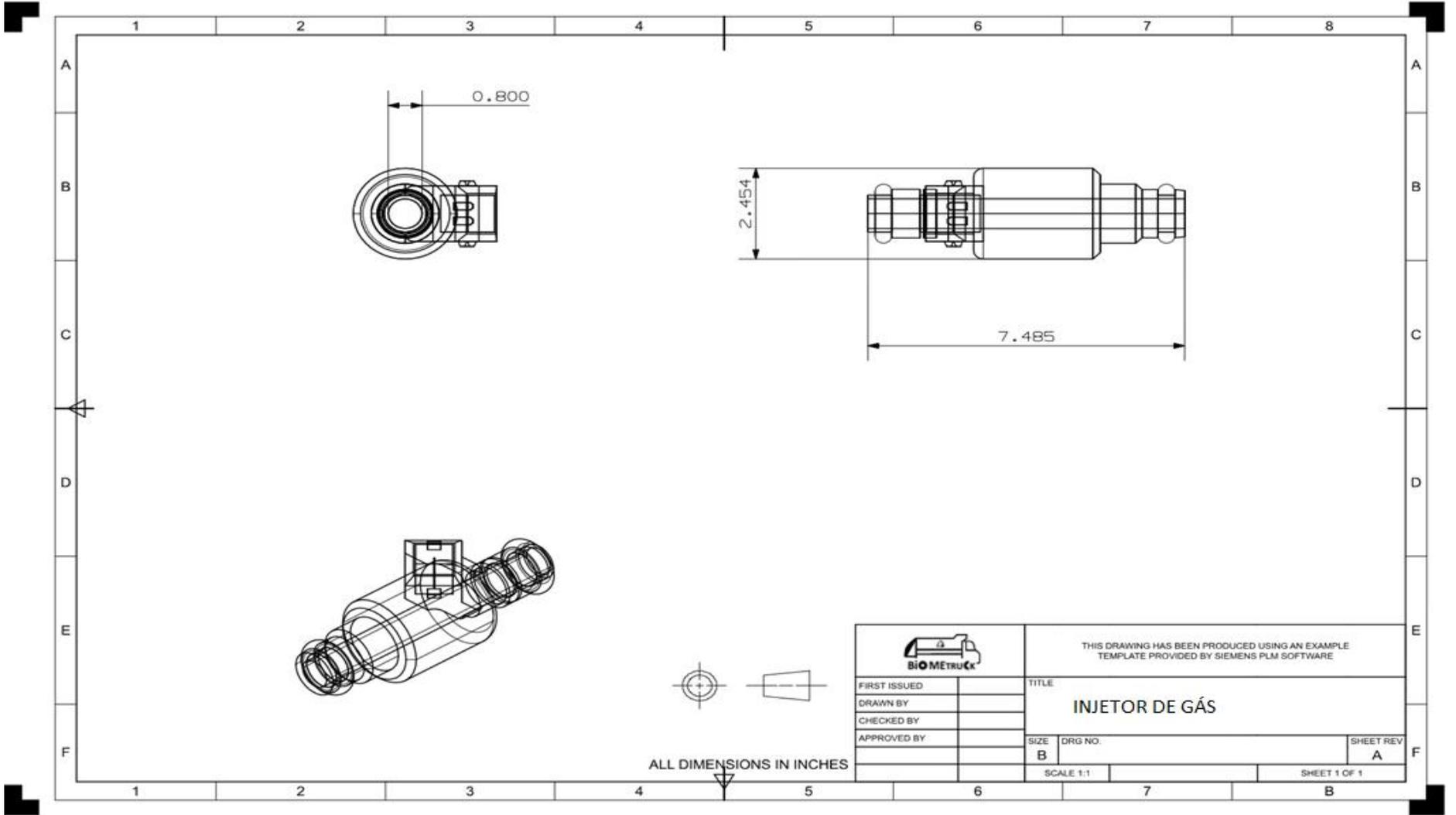


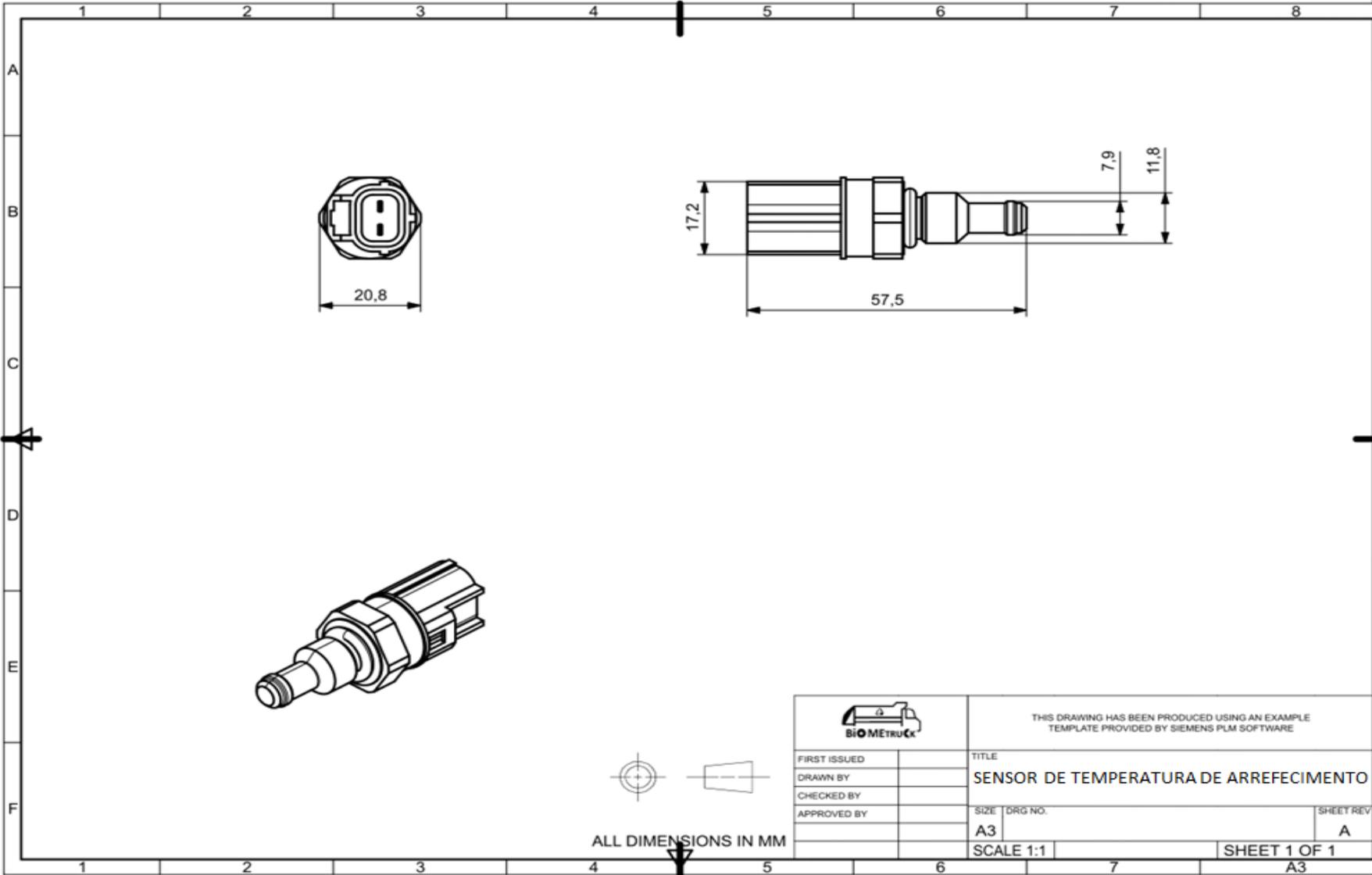
ALL DIMENSIONS IN MM

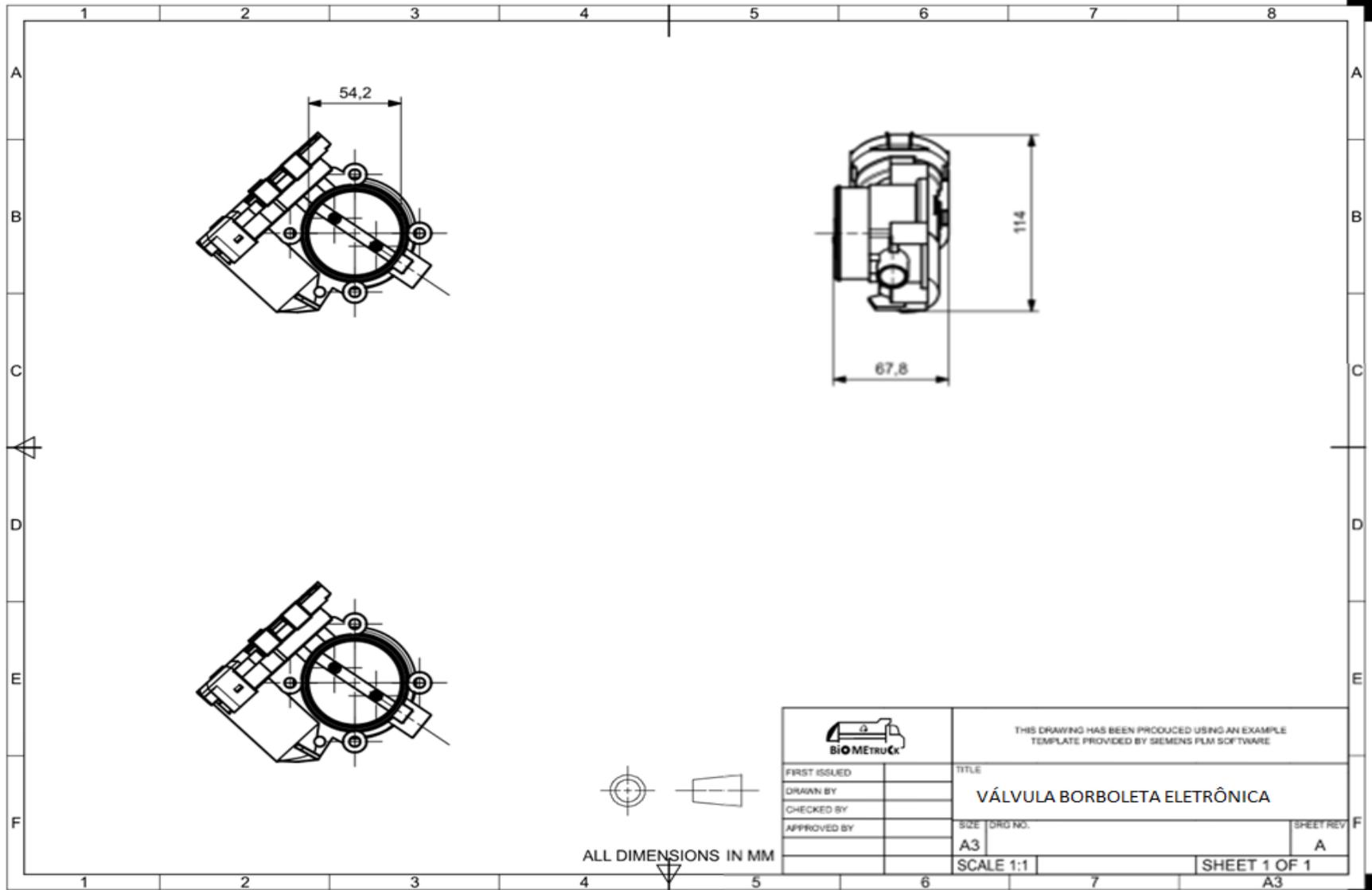
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS			
MATERIAL		AÇO E METAIS NOBRES	
TEMPERATURA DE TRABALHO		250 a 650°C	
		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE	
FIRST ISSUED		TITLE	
DRAWN BY		CATALISADOR	
CHECKED BY			
APPROVED BY		SIZE DRG NO.	SHEET REV
		A3	A
		SCALE 1:1	SHEET 1 OF 1

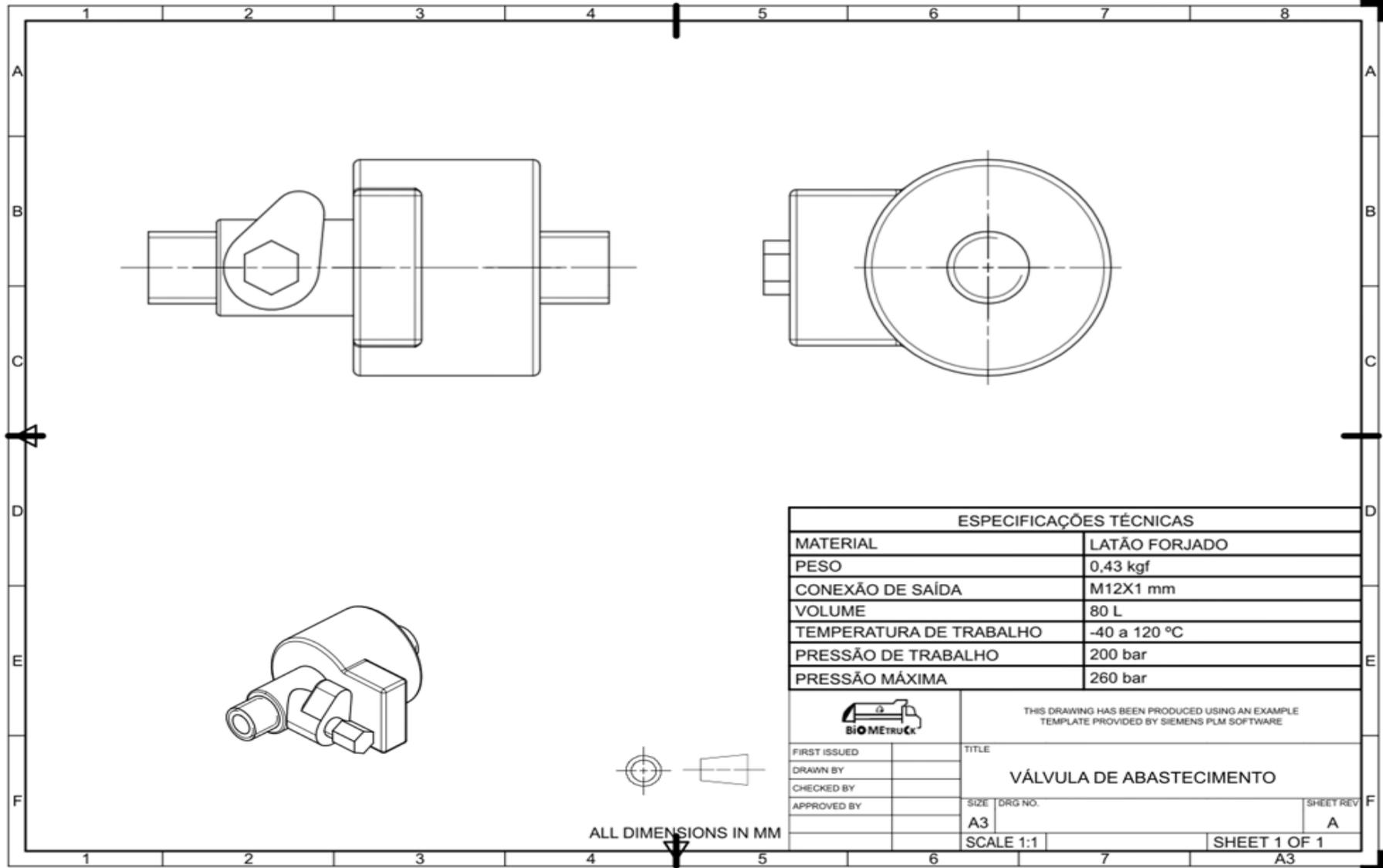
A3











ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
MATERIAL	LATÃO FORJADO
PESO	0,43 kgf
CONEXÃO DE SAÍDA	M12X1 mm
VOLUME	80 L
TEMPERATURA DE TRABALHO	-40 a 120 °C
PRESSÃO DE TRABALHO	200 bar
PRESSÃO MÁXIMA	260 bar

		<small>THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE</small>	
FIRST ISSUED		TITLE	
DRAWN BY		VÁLVULA DE ABASTECIMENTO	
CHECKED BY		SIZE	DRG NO.
APPROVED BY		A3	
		SCALE 1:1	SHEET 1 OF 1
		A3	

ALL DIMENSIONS IN MM

