

Juliano Rodrigues Machado

**SISTEMA EMBARCADO EM CAMINHÕES PARA O ABASTECIMENTO DE
MATERIAIS SÓLIDOS - SECAMS**

SOROCABA – SP

2025

JULIANO RODRIGUES MACHADO

**SISTEMA EMBARCADO EM CAMINHÕES PARA O ABASTECIMENTO DE
MATERIAIS SÓLIDOS - SECAMS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Automação.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Cesar Germano Martins.

Sorocaba

2025

M149s	Machado, Juliano Rodrigues Sistema embarcado em caminhões para o abastecimento de materiais sólidos – SECAMS / Juliano Rodrigues Machado. -- Sorocaba, 2025 83 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba Orientador: Antonio Cesar Germano Martins 1. Transporte. 2. Sistemas embarcados (Computadores). 3. Controle automático. I. Título.
-------	---

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Sistema embarcado em caminhões para o abastecimento de materiais sólidos - SECAMS

AUTOR: JULIANO RODRIGUES MACHADO

ORIENTADOR: ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, área: Automação pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Ambiental / UNESP / Câmpus de Sorocaba - ICTS

Prof. Dr. DIEGO COLON (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle / Universidade de São Paulo (USP)

Prof. Dr. ALEXANDRE DA SILVA SIMÕES (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Controle e Automação / UNESP / Câmpus de Sorocaba - ICTS

Sorocaba, 03 de novembro de 2025.

Rogério Moreno

Rosa:08251308836

Supervisor Técnico de Seção/Seção de Graduação e Pós-Graduação

Assinado de forma digital por
Rogério Moreno
Rosa:08251308836
Dados: 2025.12.09 13:25:12 -03'00'

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado de um longo período de dedicação, esforço e aprendizado, que só foi possível graças ao apoio e à colaboração de muitas pessoas que, de diferentes formas, contribuíram para a sua realização. Expresso aqui minha imensa gratidão a todos que estiveram ao meu lado nessa jornada acadêmica e pessoal.

Em primeiro lugar, gostaria de manifestar minha profunda gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Cesar Germano Martins, por sua inestimável contribuição ao longo dessa trajetória. Sua orientação precisa, paciência e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Acolheu esta pesquisa com entusiasmo, compartilhando ensinamentos valiosos e proporcionando um ambiente acadêmico inspirador. Sua competência e comprometimento com a ciência são admiráveis, assim como sua preocupação com o crescimento de seus alunos, tanto da graduação quanto da pós-graduação. Seu incentivo constante e sua forma generosa de transmitir conhecimento me motivaram a buscar sempre a excelência e a superar desafios.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Alexandre da Silva Simões e Prof. Dr. Diego Colon, expresso meus sinceros agradecimentos pelas contribuições ricas e pertinentes. Suas observações e questionamentos agregaram valor ao trabalho, aprimorando a qualidade da pesquisa e proporcionando reflexões importantes para meu crescimento acadêmico e profissional. A dedicação e a seriedade com que analisaram este estudo demonstram o compromisso com a ciência e com a formação de pesquisadores.

Meus agradecimentos também se estendem aos professores do Instituto de Ciências e Tecnologias da Unesp, por todo o conhecimento transmitido durante minha formação na pós-graduação. Cada disciplina cursada e cada orientação recebida foram essenciais para a construção da base teórica e metodológica deste trabalho. Aprendi muito não apenas com as aulas e projetos, mas também com as discussões acadêmicas e com o exemplo de profissionalismo e dedicação de cada docente. Aos funcionários do Instituto, expresso igualmente minha gratidão pelo suporte prestado ao longo do curso, seja no esclarecimento de dúvidas administrativas, na organização das atividades acadêmicas ou no auxílio prático ao dia a dia da universidade.

Agradeço imensamente aos meus pais, Sr. Luis Antonio Machado e Sr^a. Elisabete Maria de Melo Machado, pelo apoio incondicional, pelo incentivo constante e por terem me proporcionado uma vida repleta de oportunidades. Seu esforço e dedicação sempre foram fontes de inspiração para que eu buscasse meus objetivos com determinação. O conforto, a segurança e o carinho que recebi ao longo da minha vida foram fundamentais para que eu pudesse trilhar essa jornada acadêmica com confiança e tranquilidade. Suas palavras de motivação e sua

presença constante, mesmo nos momentos mais difíceis, foram essenciais para que eu seguisse em frente.

Minha gratidão especial à minha esposa, Fernanda Albuquerque Litholdo Machado, que esteve ao meu lado durante todo esse percurso. Seu amor, paciência e compreensão foram fundamentais para que eu pudesse me dedicar a este trabalho. Em muitos momentos, tive que abrir mão de estar presente em algumas ocasiões importantes, e sua compreensão e apoio incondicional fizeram toda a diferença. Seu incentivo diário, sua escuta atenta e sua capacidade de me motivar foram essenciais para que eu superasse os desafios encontrados ao longo do caminho.

Aos meus filhos, Luis Felipe e Ana Beatriz, dedico um agradecimento especial. Vocês são minha maior inspiração e fonte de renovação de energia. Nos momentos de dificuldade, o simples fato de estar ao lado de vocês me dava forças para continuar. Suas demonstrações de carinho e afeto sempre me lembraram do que realmente importa na vida e foram fundamentais para que eu encontrasse equilíbrio entre a vida acadêmica e familiar.

Não poderia deixar de expressar minha gratidão aos amigos que estiveram comigo nessa jornada. Alison, José Roberto, Roberta e Nilton, vocês foram fundamentais durante essa fase desafiadora. A convivência, as conversas, as palavras de incentivo e a paciência nos momentos de tensão tornaram essa trajetória mais leve e motivadora. O apoio mútuo e o companheirismo foram essenciais para que todos nós conseguíssemos avançar e conquistar nossos objetivos.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, seja com palavras de apoio, auxílio técnico ou incentivo moral, deixo aqui o meu mais sincero muito obrigado. Este trabalho não é apenas o resultado do meu esforço individual, mas também da colaboração, do apoio e da inspiração recebidos de todas essas pessoas incríveis que fazem parte da minha vida.

RESUMO

O transporte e abastecimento de materiais sólidos a granel, como areia, brita, cimento, fertilizantes, entre outros, são operações críticas para diversas indústrias. Atualmente, a ineficiência logística, a alta dependência de equipamentos auxiliares e os riscos operacionais representam gargalos significativos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um Sistema Embarcado em Caminhões para o Abastecimento de Materiais Sólidos (SECAMS), com o objetivo de propor solução que otimize o processo de transferência desses materiais para silos. Foi concebido um projeto conceitual do SECAMS modular que pode ser acoplado a caminhões convencionais. O sistema proposto integra componentes mecânicos, hidráulicos e de controle, permitindo ao veículo realizar a descarga de materiais de forma automática, precisa e controlada, sem a necessidade de equipamentos adicionais, como pás carregadeiras ou guindastes. Para validar o conceito, foram realizadas análises de viabilidade técnica e estrutural do sistema proposto, além de simulações computacionais e a implantação física em um caminhão Mercedes Benz ATEGO 1719. As simulações confirmaram a robustez estrutural do SECAMS, enquanto as análises de dinâmica veicular demonstraram que o sistema não compromete a estabilidade do caminhão durante a operação. No caminhão onde foi implantado o SECAMS, obteve-se um ciclo de transferência de material de 2000kg a cada 3 minutos.

Em conclusão, este estudo demonstrou a viabilidade técnica e potencial do desenvolvimento de implementos especiais embarcados que podem contribuir para a logística de materiais sólidos. Durante os testes finais de validação do SECAMS, o sistema atingiu 100% de eficiência referente à transferência de material estipulada no início deste desenvolvimento. Estes resultados fornecem uma base sólida para o desenvolvimento de novos sistemas que contribuem para a inovação e o avanço da tecnologia no setor de transporte e logística.

Palavras-chave: Transportadores; sistemas embarcados; SECAMS especiais.

ABSTRACT

The transportation and supply of bulk solid materials, such as sand, gravel, cement, fertilizers, and others, are critical operations for various industries. Currently, logistical inefficiency, high reliance on auxiliary equipment, and operational risks represent significant bottlenecks. This work presents the development of a Truck-Mounted System for Solid Material Supply (SECAMS), with the goal of proposing a solution that optimizes the process of transferring these materials to silos. Based on this assessment, a conceptual design was developed for a modular TMSSM system that can be attached to conventional trucks. The proposed system integrates mechanical, hydraulic, and control components, allowing the vehicle to unload materials automatically, precisely, and in a controlled manner, without the need for additional equipment such as loaders or cranes. To validate the concept, technical and structural feasibility analyses of the proposed system were performed, along with computer simulations and physical implementation on a Mercedes-Benz ATEGO 1719 truck. The simulations confirmed the structural robustness of SECAMS, while vehicle dynamics analysis demonstrated that the system does not compromise the truck's stability during operation. The truck where TMSSM was implemented achieved a material transfer cycle of 2,000 kg every 3 minutes.

In conclusion, this study demonstrated the technical feasibility and potential of developing special onboard implements that can contribute to the logistics of solid materials. During the final validation tests of TMSSM, the system achieved 100% efficiency regarding the material transfer stipulated at the beginning of this development. These results provide a solid foundation for the development of new systems that contribute to innovation and technological advancement in the transportation and logistics sector.

Keywords: Conveyors; Embedded Systems; Special Implements.

Lista de Figuras

FIGURA 01 – VEÍCULO PARA TRANSFERÊNCIA DE MATERIAL SÓLIDO	14
FIGURA 02 – VEÍCULO PARA TRANSFERÊNCIA DE MATERIAL SÓLIDO EM OPERAÇÃO	14
FIGURA 03 – PARÂMETROS PARA DIMENSIONAMENTO DO HELICOIDE	17
FIGURA 04 – COMPONENTES DE UM TRANSPORTADOR HELICOIDAL	18
FIGURA 05 – MOTOR HIDRAULICO ORBITAL DE PISTÕES.	19
FIGURA 06 – CILINDRO HIDRAULICO.....	19
FIGURA 07 – BOMBA HIDRAULICA	19
FIGURA 08 - CAIXA DE TRANSFERENCIA DE TORQUE	21
FIGURA 09 – COMPONENTES DE UM MICROCONTROLADOR.	21
FIGURA 10 - APLICAÇÕES DO MICRONTROLADOR EM CAMINHÕES.	22
FIGURA 11 - DIAGRAMA DE BLOCOS PARA DESENVOLVIMENTO DO SECAMS	24
FIGURA 12 - CONCEITUAL DO SECAMS ESPECIAL NO CAMINHÃO	25
FIGURA 13 - INTERFACE HOMEM MÁQUINA DO SECAMS	26
FIGURA 14 - CONTROLADOR CAN MC024-110	27
FIGURA 15 - RESERVATÓRIO DE ÓLEO	28
FIGURA 16 - VÁLVULAS DE CONTROLE DO SISTEMA HIDRÁULICO	29
FIGURA 17 - CILINDRO DE ABASTECIMENTO DO SILO DO SECAMS	29
FIGURA 18 - CILINDRO DE INCLINAÇÃO DO SECAMS.....	30
FIGURA 19 - CILINDRO DE GIRO DO SECAMS.	30
FIGURA 20 - CILINDRO DE ABERTURA/FECHAMENTO DA VÁLVULA DE SAÍDA	31
FIGURA 21 - DIMENSÕES DOS TRANSPORTADORES HELICOIDAL DO SECAMS: (A) INFERIOR, (B) VERTICAL E (C) SUPERIOR	32
FIGURA 22 - TRANSPORTADORES HELICOIDAI POSICIONADOS NO RESERVATÓRIO	35
FIGURA 23 - MOTOR HIDRÁULICO ROSCA INFERIOR	35
FIGURA 24 - MOTOR HIDRÁULICO TRANSPORTADORES VERTICAIS.	36
FIGURA 25 - MOTOR HIDRÁULICO DO TRANSPORTADOR DE SAÍDA.....	36
FIGURA 26 - REPRESENTAÇÃO CAIXA DE TRANSFERÊNCIA E BOMBAS HIDRÁULICAS.....	37
FIGURA 27 - REPRESENTAÇÃO DIMENSIONAL DO VEÍCULO.	37
FIGURA 28 - SENSOR FTM20A-AG25A	38
FIGURA 29 - LOCALIZAÇÃO DOS SENSORES INSTALADOS NO SILO DE DESCARGA.....	38
FIGURA 30 - ESTRUTURA DE MONTAGEM DO SISTEMA DE DESCARGA	39
FIGURA 31 - ESTRUTURA DE MONTAGEM DO DUTO DE DESCARGA.....	39
FIGURA 32 – BOMBA PARA LUBRIFICAÇÃO DO SECAMS	40
FIGURA 33 - SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE GRAXA PROGRESSIVO	41
FIGURA 34 – PONTOS DE LUBRIFICAÇÃO AUTOMÁTICO NO SISTEMA	41
FIGURA 35 - FLUXO DE SAÍDA DO MATERIAL NO SECAMS	42
FIGURA 36 - DETALHAMENTO DO GIRO VERTICAL E HORIZONTAL DO SECAM	43
FIGURA 37 - REPRESENTAÇÃO DOS ELEMENTOS FINITOS PARA SECAMS.....	43
FIGURA 38 - REPRESENTAÇÃO DOS ESFORÇOS MECÂNICOS NO SECAMS	44
FIGURA 39 - IMAGEM DA SIMULAÇÃO NO: (A) TRANSPORTADOR INFERIOR, (B) VERTICAL E (C) SUPERIOR	45
FIGURA 40 - SIMULAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO	46
FIGURA 41 - SIMULAÇÃO MOVIMENTAÇÃO TRANSPORTADOR SUPERIOR.....	46
FIGURA 42 - INTERLIGAÇÕES ELÉTRICAS DAS FONTES DE ALIMENTAÇÃO	47
FIGURA 43 - PAINEL ELÉTRICO: (A) VISTA FRONTAL, (B) LAYOUT DA PLACA DE MONTAGEM ..	48
FIGURA 44 - ESQUEMA ELÉTRICO DE ALIMENTAÇÃO 24VCC DOS PAINÉIS DO SECAM	49

FIGURA 45 - INTERLIGAÇÕES ELÉTRICAS DO CONTROLADOR PRINCIPAL	50
FIGURA 46 - EXEMPLOS DE INFORMAÇÕES DO VEÍCULO	52
FIGURA 47 - FUNÇÕES MÓDULO PSM: (A) FUNÇÕES ADAPTÁVEIS (B), EXEMPLOS DE FUNÇÕES PSM	53
FIGURA 48 - CONEXÕES DE SINAIS DE ENTRADA E SAÍDA NO PAINEL DE CONTROLE	54
FIGURA 49 - CONEXÕES DOS SENSORES NO PAINEL DE CONTROLE	55
FIGURA 50 - CONEXÕES DE SINAIS DE ENTRADA E SAÍDA NO PAINEL DE CONTROLE PARA CAIXA DE TRANSFERÊNCIA DE TOQUE	56
FIGURA 51 - CONEXÕES DE SINAIS DE SAÍDA NO PAINEL DE CONTROLE PARA OS TRANSPORTADORES HELICOIDAIS	57
FIGURA 52 - CONEXÕES DE SINAIS DE SAÍDA NO PAINEL DE CONTROLE PARA SISTEMA DE DESCARGA	58
FIGURA 53 - CONEXÕES DE SINAIS DE ENTRADA DE SENSORES DO SISTEMA	59
FIGURA 54 - TOPOLOGIA DE INTERLIGAÇÃO DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS	60
FIGURA 55 - TELA INICIAL DO SISTEMA	61
FIGURA 56 - TELA PRINCIPAL DOS MODOS DE OPERAÇÃO DO SECAMS	62
FIGURA 57 - REPRESENTAÇÃO DE SINAL ATIVO E NÃO ATIVO NO SISTEMA	63
FIGURA 58 - REPRESENTAÇÃO DO MODO RODAS ATIVO NO SISTEMA	63
FIGURA 59 - REPRESENTAÇÃO DO MODO ABASTECIMENTO ATIVO NO SISTEMA	64
FIGURA 60 - CONDIÇÕES PARA ACIONAMENTO DO MODO ABASTECIMENTO	64
FIGURA 61 - CONDIÇÕES PARA ACIONAMENTO DOS TRANSPORTADORES HELICOIDAIS	65
FIGURA 62 - SINAIS DE INTERFACE DOS MOTORES E TRANSPORTADORES HELICOIDAIS.	65
FIGURA 63 - CARACTERÍSTICAS DO CONTROLADOR MC024-118.	66
FIGURA 64 - DIMENSÕES DO CONTROLADOR MC024-118	67
FIGURA 65 - LÓGICA DE INTERFACE DO CONTROLADOR COM O VEÍCULO	68
FIGURA 66 - LÓGICA DE INTERTRAVAMENTO DO CONTROLADOR COM O VEÍCULO	69
FIGURA 67 - LÓGICA DE CONTROLE PARA CÁLCULO DE VELOCIDADE EM RPM	70
FIGURA 68 - LÓGICA DE CONTROLE PARA INÍCIO DO PROCESSO DE DESCARREGAMENTO	71
FIGURA 69 - LÓGICA DE CONTROLE PARA TOTALIZAÇÃO DE MATERIAL ABASTECIDO	72
FIGURA 70 - RESERVATÓRIO DE GRAXA PARA SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO AUTOMÁTICA.....	74
FIGURA 71 - POSICIONAMENTO MOTOR HIDRÁULICO TRANSPORTADOR INFERIOR E DO SENSOR DE NÍVEL MÍNIMO	74
FIGURA 72 - POSICIONAMENTO DO TRANSPORTADOR VERTICAL E CILINDROS HIDRÁULICOS.75	
FIGURA 73 - POSICIONAMENTO DO DUTO DE SAÍDA DO TRANSPORTADOR SUPERIOR	75
FIGURA 74 - POSICIONAMENTO PAINÉIS NO VEÍCULO	76
FIGURA 75 - PAINEL DE CONTROLE.....	77
FIGURA 76 - PAINEL DE COMANDO COM JOYSTICK.....	77
FIGURA 77 - RESERVATÓRIO DE MATERIAL POSICIONADO NO VEÍCULO.	77
FIGURA 78 - DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA HIDRÁULICO USADO NO SECAM.	78
FIGURA 79 - SISTEMA DE GIRO DO TRANSPORTADOR HELICOIDAL VERTICAL.....	78

LISTA DE TABELAS:

TABELA 01 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO VEÍCULO LDF DO FABRICANTE HENCON.....	15
TABELA 02 – PARÂMETROS DO TRANSPORTADOR HELICIODAL.....	34
TABELA 03 – LISTA FINAL DE ENTRADAS E SAÍDAS DO CONTROLADOR	73
TABELA 04 – AJUSTES DE VELOCIDADE DOS TRANSPORTADORES DURANTE PRIMEIRO TESTE COM CARGA.....	79
TABELA 05 – AJUSTES DE VELOCIDADE DOS TRANSPORTADORES APÓS TESTE VALIDADO ...	79

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos Gerais	16
1.2	Objetivos Específicos	16
2.	COMPONENTES DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE DE MATERIAL SÓLIDO	17
2.1	Transportador Helicoidal	17
2.2	Motores Hidraulicos	18
2.3	Cilindros Hidraulicos	19
2.4	Bomba Hidraulica	20
2.5	Caixa de Transferencia de Torque.....	20
2.6	Mcrocontroladores	20
2.7	Rede de Comunicação CAN	21
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	Conceito Geral do Projeto	24
3.2	Sistema de Operação e Interface do Projeto	26
4.	PROJETO E DIMENSIONAMENTO DO SECAMS	28
4.1	Sistema hidráulico	28
4.2	Conjunto moto-bomba.....	28
4.3	Conjunto de controle Hidráulico	29
4.4	Cilindros Hidráulicos.....	29
4.5	Definição dos Transportadores Helicoidais	31
4.6	Especificação dos Motores Hidraulicos	33
4.7	Sistema de Abastecimento / Layout de Sensores	37
4.8	Sistema de Descarga	38
4.9	Sistema de lubrificação automático	39
5.	SIMULAÇÃO E ANÁLISE MECÂNICA DO SECAMS	42
6.	DETALHAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE E CONEXÕES.....	43
6.1	Desenhos elétricos do Sistema	47
6.2	Procedimentos operacionais (Botões, Joystick e IHM).....	61
6.3	Procedimentos operacionais – Ativação do modo rodas	63
6.4	Procedimentos operacionais – Ativação do modo Abastecimento	64
6.5	Lógica de programação e características construtivas do controlador	66
6.6	Lógica de programação do controlador.....	67
7.	IMPLANTAÇÃO FÍSICA DO SECAMS E RESULTADOS	74
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
	REFERÊNCIAS	82

1. INTRODUÇÃO

A movimentação de materiais sólidos em industriais está em constante expansão devido à sua complexidade e importância em diversos processos produtivos. Esta logística é muito importante pois é o local onde o tempo de transferência de materiais influencia diretamente na eficiência produtiva pois enquanto o produto ou matéria prima está em movimento, a produtividade da linha de produção fica reduzida.

Nas indústrias, as máquinas de transporte são peças fundamentais para movimentar desde as matérias primas necessárias para os processos produtivos até os produtos acabados. Neste contexto, os sistemas de transporte são importantes em qualquer processo produtivo em uma indústria pois é através deste elemento que se define o ritmo de produção e que os processos sejam executados em menos tempo possível.

Para que as máquinas e sistemas de transporte sejam eficientes, seria também necessário a utilização de sistemas de controle e automação responsáveis pela coleta e tomada de decisões baseada em critérios estabelecidos entre o controle de processo e os demais elementos a serem utilizados (DA ROSA, 2019).

Um sistema de automação pode ser definido como qualquer sistema baseado ou não em computadores, que substitua o trabalho manual com o objetivo de potencializar a capacidade de realização de tarefas dos mais diversos segmentos.

A indústria está em transformação em uma grande velocidade, impulsionada pelo desenvolvimento e utilização de novas tecnologias de controle de processos e aquisição de dados através de sensores que torna o sistema de controle um dos principais elementos para o desenvolvimento de novos processos produtivos com maior qualidade e eficiência.

Atualmente, grande parte das empresas com processos de automação implementados necessita da utilização e manutenção de sistemas de controle, monitoramento de variáveis de processos, sistemas de banco de dados e dispositivos de campo capazes de enviar informações de processo aos controladores, que implica na escolha correta do controlador para cada tipo de aplicação e controle a ser executado.

Um caminhão completo é uma combinação de produtos fornecidos por dois setores industriais. O primeiro é responsável pela produção do veículo automotor, composto por cabine, chassi e sistema de motor e tração, e o segundo é responsável pela fabricação dos produtos acessórios e complementares ao caminhão (reboques, semi-reboques, caçambas e carrocerias), que são chamados de implementos especiais embarcados, que permitem ao veículo cumprir efetivamente sua função de transporte de cargas e materiais. Usualmente, os fabricantes de implementos especiais embarcados em caminhões trabalham à base de encomendas devido ao seu alto custo de desenvolvimento, projeto e fabricação dos sistemas e a produção local tem de

ajustar-se às demandas de cada cliente específico, por isso é fundamental a constante inovação dos produtos oferecidos, bem como investimentos em tecnologia.

Atualmente existem poucos fabricantes de implementos especiais voltados a transporte de materiais sólidos e a grande parte destes fabricantes estão localizados fora do Brasil o que dificulta o desenvolvimento e fornecimento deste tipo de dispositivo em território nacional. Um exemplo simples é mostrado na figura 01 onde é exemplificado um implemento especial de transferência de material sólido LDF de uma empresa holandesa chamada *Hencon* a qual é fabricante de veículos especiais voltados as empresas siderúrgicas.

Figura 01 – Veículo para transferência de material sólido.



Fonte: *Hencon* (2023)

O veículo mostrado acima além de ser totalmente dedicado a somente essa aplicação, possui somente abastecimento inferior o que muitas vezes não atende os requerimentos de outros tipos de empresas. A figura 02 representa um exemplo de abastecimento utilizando este tipo de veículo.

Figura 02 – Veículo para transferência de material sólido em operação.



Fonte: *Hencon* (2023)

A tabela 01 represente as características técnicas deste veículo.

Tabela 01 – Características gerais do Veículo LDF do fabricante *Hencon*.

GENERAL				
Vehicle		Low Discharge Feeder		
Type		LDF		
Drawing number		DI 1531/1E		
TECHNICAL DATA		QTY.		Units
Dimensions	Length:	5.070	mm	
	Width:	1.850	mm	
	Height:	3.445	mm	
Wheelbase		2500	mm	
Turning radius		4.300	mm	
MAX AXLE LOAD		WEIGHT REPORT IN KG		
		LEFT	RIGHT	
FRONT	~8.000	1490	1540	3030
	-	-		-
REAR	~8000	1740	2050	3790
		Total weight empty		6820
		Capacity		
		Total weight full		13.200
FUNCTIONAL DATA		QTY.		UNITS
Speed max.		13	Km / h	
Gradient max		10	%	
Electrical system		24	Volt	
Hydraulic system	Pressure Max.	420	Bar	
Pneumatic system	Pressure Max.		Bar	
Hopper capacity		~ 6	M3, net	
Outlet hight		~350	mm	
Outlet reach		~950	mm	

Fonte: *Hencon* (2023)

Este veículo possui a capacidade de carga de aproximadamente 6.000kg e uma taxa de transferência material sólido de 500kg/min conforme informações do fabricante. Para realizar a transferência de material sólido, este veículo utiliza um transportador helicoidal em conjunto com cilindro hidráulico responsável por movimentar o duto de saída de material para o local de descarga.

Baseado nesse contexto, a seguir serão mostrados os objetivos gerais e específicos dessa dissertação.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo é desenvolver e realizar a validação física de um sistema especial para a transferência de materiais sólidos de caminhões para silos e deverá ter as seguintes características:

- Permitir a transferência de materiais sólidos de caminhões para silos;
- Utilizar somente transportadores helicoidais para transferência de materiais;
- Utilizar sensores e componentes eletrônicos capazes de coletar informações do funcionamento do sistema;
- Implementar um processo de controle que permita o acionamento automático do sistema de transferência.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar os componentes mecânicos;
- Realizar o posicionamento dos componentes mecânicos necessários para a realização da transferência dos materiais sólidos;
- Elaborar projeto elétrico para interligação dos diversos periféricos necessários para a transferência dos materiais sólidos;
- Projetar e desenvolver o controle com conexão direta com o caminhão através do protocolo de comunicação disponível no veículo.

2. Componentes de um Sistema de Transporte de Material Sólido

2.1. Transportador Helicoidal

Um transportador helicoidal ou também chamado de “rosca transportadora” é um dispositivo utilizado para realizar a transferência de materiais sólidos como grãos, cavacos, pós entre outros materiais.

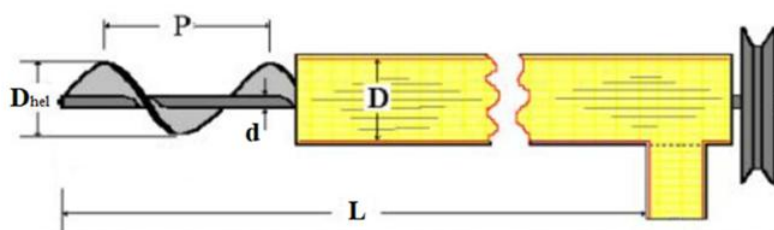
O transportador helicoidal pode ser classificado como um elemento arrastador de materiais sólidos ou também pode ser utilizado como um elemento elevador de materiais podendo ser posicionado nos eixos horizontal, vertical ou inclinado dependendo da necessidade do processo que será implementado (SCHEIBEL, 2018).

A rosca transportadora é um dos meios mais simples e antigos para deslocamento de materiais sólidos a granel. Seu princípio construtivo baseia-se em um helicoide em rotação dentro de uma calha fechada ou aberta. O material que é depositado na calha é transportado ao longo de seu comprimento pela rotação do conjunto chamado helicoide.

Os transportadores helicoidais apresentam uma boa forma de controle da taxa de transporte associado a uma estrutura de fácil fabricação e com boa eficiência, custo reduzido e manutenção relativamente fácil se comparada com outros sistemas de transporte disponíveis. Uma desvantagem desse sistema seria que não são recomendados para distâncias muito longas devido à sua estrutura específica de funcionamento, porém em algumas aplicações podem variar o comprimento entre 1,0 m a 30,0 m (LEITE, 2020).

Para a realização do dimensionamento dos transportadores se faz necessário um conhecimento mais detalhado de alguns parâmetros dimensionais do equipamento como mostrado na figura 03:

Figura 03 – Parâmetros para dimensionamento do helicoide.

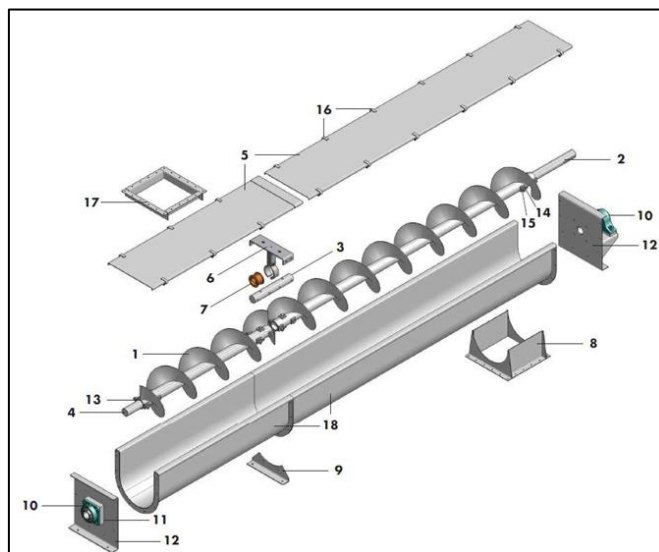


Parâmetros do transportador	Descrição
P	Passo do helicoide
D_{hel}	Diâmetro do helicoide
d	Diâmetro do eixo
D	Diâmetro do cocho
L	Comprimento do helicoide

Fonte: Conveyor E&M (2012)

Na Figura 04, são mostradas as principais partes de uma rosca transportadora baseada no modelo de transportador fornecido pela empresa Conveyor E&M (2012).

Figura 04 - Componentes de um transportador helicoidal.



Fonte: Conveyor E&M (2012)

Os principais elementos estão listados e numerados sendo (1) Helicoide, (2) Eixo de transmissão, (3) Eixo de acoplamento, (4) Eixo final, (5) Capa de movimentação, (6) Suporte geral, (7) Suporte de apoio de rolamento, (8) Saída de material, (9) Base flangeada, (10) Rolamento de mancal de transmissão, (11) Vedação do eixo final, (12) Placas de extremidade de apoio, (13) Buchas internas do helicoide, (14) Parafusos de fixação do acoplamento, (15) Base Parafusos, (16) Travas/abraçadeiras para tampa de proteção, (17) Entrada e (18) Calha de movimentação de material.

2.2. Motores Hidráulicos

Motor hidráulico orbital é um dispositivo mecânico responsável por converter a energia hidráulica de um fluido em movimento rotativo. Normalmente o fluido utilizado no sistema é óleo pressurizado sendo transferido por um circuito hidráulico fechado conectado nas portas de entrada e saída da carcaça do motor fazendo com que esse movimento do fluido pressurizado seja convertido em movimento mecânico rotativo.

Os motores hidráulicos orbitais podem ser divididos em três modelos como mostrado a seguir:

- Motores de Engrenagem: Motores que utilizam engrenagens internas para movimentação do eixo rotativo principal do motor.
- Motores de palhetas: Este tipo de motor possui palhetas internas que se movimentam dentro da estrutura interna do veículo quando impulsionadas pelo óleo pressurizado.

- Motores de pistões: Este tipo de motor utiliza pistões que se movimentam em cilindros existentes internamente ao motor para gerar o movimento rotativo.

A figura 05 apresenta uma imagem de um motor hidráulico orbital de pistões os quais foram utilizados para o acionamento dos transportadores helicoidais deste desenvolvimento.

Figura 05 – Motor hidráulico orbital de pistões.



Fonte: Danfoss (2025)

Como os transportadores helicoidais possuem características distintas com relação ao comprimento, os motores selecionados para este desenvolvimento também serão diferentes para que seja possível realizar o acionamento de forma correta.

2.3. Cilindros Hidráulicos

Os cilindros hidráulicos podem ser definidos como atuadores que possuem a função de realizar a conversão da energia hidráulica proveniente da injeção de óleo em alta pressão em energia mecânica (Gomes, 2021). Esses elementos são compostos por um pistão interno que quando existe a inserção de óleo em seu interior, ocorre a movimentação do eixo principal sendo que o sentido é definido conforme a entrada e saída de óleo do dispositivo.

A figura 06 apresenta um modelo de cilindro hidráulico padrão do fabricante Yusen (2025).

Figura 06 – Cilindro hidráulico.



Fonte: Yusen (2025)

2.4. Bomba Hidráulica

Bomba hidráulica é um tipo de componente responsável por realizar a conversão de energia mecânica em energia hidráulica, pois ela é utilizada de forma a movimentar e impulsionar um fluido que normalmente é o óleo, com o objetivo de criar um fluxo do fluido utilizado no sistema hidráulico para uso em outros dispositivos hidráulicos que compõem o sistema.

Na figura 07 é mostrada uma bomba hidráulica utilizada em sistemas de acionamento de sistemas especiais em veículos como caminhões, tratores entre outros.

Figura 07 – Bomba hidráulica.



Fonte: Huade (2024)

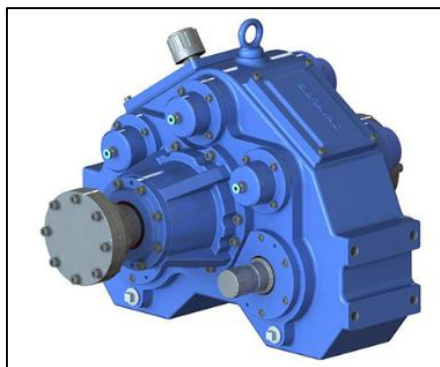
2.5. Caixa de Transferência de Torque

Este dispositivo é responsável pela distribuição da potência mecânica fornecida por um motor para outro eixo dianteiro ou traseiro com o objetivo de realizar o acionamento da bomba hidráulica.

Este tipo de dispositivo é muito utilizado em caminhões, tratores, equipamentos de mineração onde se faz necessário a utilização da rotação de um motor para os dispositivos auxiliares instalados.

A figura 08 apresenta uma caixa de transferência de torque que será utilizada ao longo deste estudo.

Figura 08 – Caixa de transferência de torque.

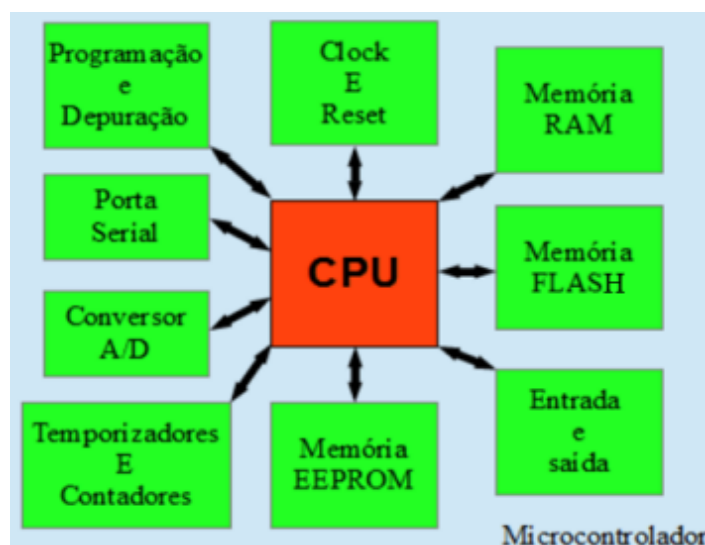


Fonte: Sibravac (2025)

2.6. Microcontroladores

Microcontroladores são equipamentos programáveis de pequeno porte e de baixo custo que possui uma unidade de processamento, memória, entrada e saída e que tem como função realizar ações de controle de forma remota (Santos, 2019). Pode-se dizer que os microcontroladores são pequenos computadores em um circuito integrado responsável pelo seu funcionamento. A figura 09 ilustra os elementos básicos de um microcontrolador.

Figura 09 - Componentes de um Microcontrolador.



Fonte: Kerschbaumer (2019)

Os microcontroladores podem ser utilizados em praticamente todos os dispositivos eletrônicos digitais, como por exemplo, centrais de controle, monitores, computadores, etc. (Kerschbaumer, 2019).

Devido à sua grande aplicabilidade e ao seu baixo custo, praticamente qualquer sistema eletrônico pode fazer uso dos microcontroladores. A figura 10 mostra algumas aplicações dos microcontroladores em um caminhão. (Kerschbaumer, 2019).

Figura 10 - Aplicações do microcontrolador em caminhões.



Fonte: Autor (2025)

As grandes vantagens do uso de microcontroladores em sistemas automotivos são a robustez e a confiabilidade nas informações a serem enviadas e recebidas pelos diversos controladores espalhados pelo veículo (Kerschbaumer, 2019).

2.7. Rede de Comunicação CAN

O protocolo de comunicação serial CAN foi desenvolvido pela empresa BOSCH com o principal objetivo de utilização em aplicações voltados a indústria automotiva com foco principal em sistemas de controle e acionamento de elementos em veículos.

Durante seu desenvolvimento, este sistema tinha como principal objetivo a substituição e simplificação de ligações elétricas que utilizavam uma grande quantidade de fios e cabos por um único barramento de comunicação de dados (Borth, 2016).

O protocolo CAN é baseado no modelo tipo *broadcast*, ou seja, todos os elementos de um barramento de comunicação são aptos a receber mensagens transmitidas através do barramento de dados do sistema.

Este tipo de protocolo suporta eficientemente sistemas isolados e distribuídos de tempo real e, entre as aplicações no qual o CAN se enquadra, pode-se citar as redes de alta velocidade (1 Mbps) até sistemas de controle multiplexados de baixo custo (Borth, 2016).

O CAN possui uma grande utilização em sistemas de controle na linha automotiva leve como os automóveis, linha automotiva pesada como por exemplo caminhões e ônibus, vários tipos de máquinas agrícolas, elementos de transporte voltados a construção civil e também para indústria em geral. O fato de ser amplamente utilizado deve-se ao fato de este sistema possuir as seguintes características:

- Microcontroladores e controladores compatíveis com a rede CAN estão disponíveis a um baixo custo;
- Permite a utilização de cabos de comunicação de baixo custo;
- A rede CAN é flexível à novas configurações, ou seja, novos elementos e dispositivos podem ser incluídos na rede sem a necessidade de alteração dos equipamentos já existentes e em funcionamento.

3. Materiais e Métodos

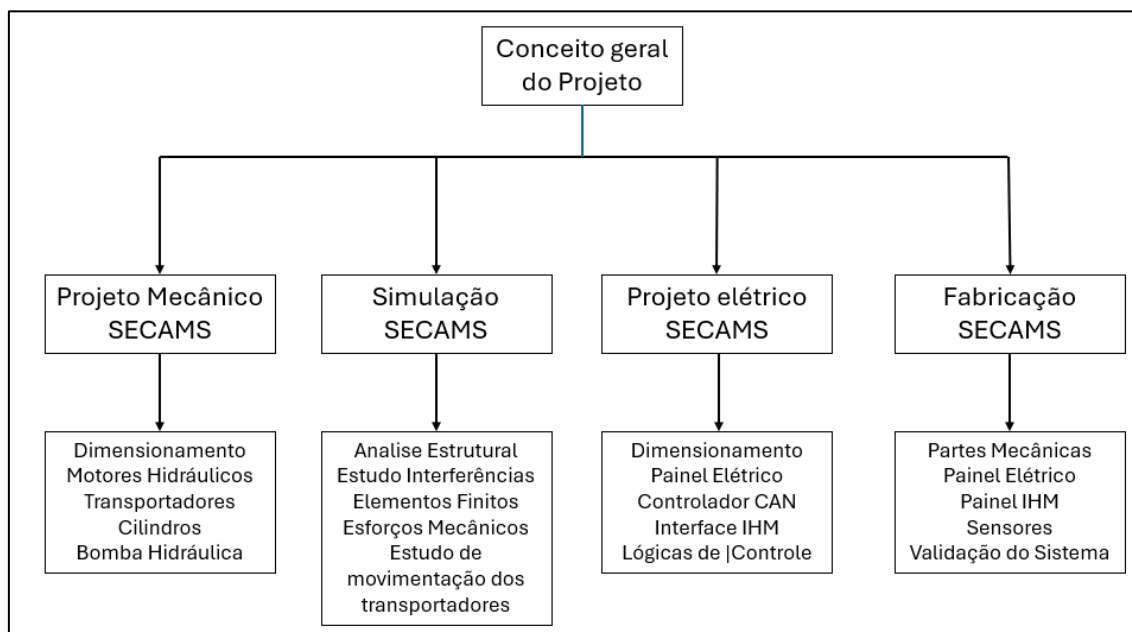
No desenvolvimento do SECAMS, inicialmente foram feitos os projetos do sistema utilizando o softwares da plataforma CAD/CAE.

Após realizadas as simulações do sistema, foram escolhidos os componentes de mercado que pudessem ser utilizados na construção e implantação física no caminhão.

Tendo integrado todos os componentes e estabelecida a comunicação do SECAMS com o caminhão, foram realizados teste de velocidade de transferência do material sólido.

O diagrama de blocos representado na figura 11 apresenta a sequência adotada para o desenvolvimento do SCEMS.

Figura 11 – Diagrama de blocos para desenvolvimento do SECAMS.



Fonte: Autor (2025)

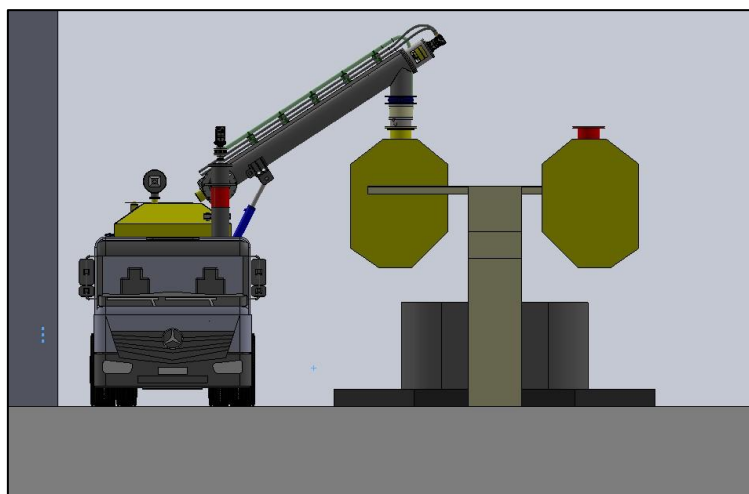
A seguir são apresentados detalhes gerais do SECAMS.

3.1 Conceito Geral do Projeto:

Na área fabril considerada neste trabalho são utilizados silos ao longo da planta com a finalidade de receber materiais sólidos. Cada silo possui uma capacidade máxima de armazenamento de 6000 kg.

O SECAMS se propõe a abastecer esses silos através de seus bocais utilizando transportadores helicoidais. Para isso, deve ser projetado para atender tanto ao traslado do material bem como o posicionamento adequado para a descarga de material nos silos. A figura 12 mostra o esquema conceitual do projeto.

Figura 12 - Proposta conceitual de funcionamento do SECAMS.



Fonte: Autor (2023)

Para este desenvolvimento foram adotados os seguintes requerimentos de processo:

- Capacidade de armazenamento do silo acoplado ao veículo: 6000kg;
- Vazão de saída dos dispositivos de alimentação: 2000kg em um período de 3 minutos.

O SECAMS possui um sistema hidráulico que é responsável pela transferência de óleo para a movimentação dos cilindros, motores e transportadores, devendo possuir capacidade de aproximadamente 800 litros de óleo AW100, montado em reservatório especialmente construído para a aplicação, dotado de sistema para a otimização da circulação e troca de calor com suas paredes.

Um conjunto de moto-bomba tem a finalidade de realizar a circulação do óleo AW100 localizado no reservatório para todos os componentes hidráulicos do sistema que são os motores responsáveis pelo acionamento dos transportadores helicoidais e dos cilindros hidráulicos responsáveis pela movimentação e posicionamento dos transportadores nos locais de abastecimento.

Para a especificação dos transportadores helicoidais foram consideradas as limitações mecânicas e de espaço disponível para o funcionamento do sistema. Para este desenvolvimento decidiu-se utilizar 3 transportadores helicoidais que serão responsáveis em realizar a transferência de material sólido armazenado do silo do SECAMS para os silos externos. Um estará posicionado na base e será responsável para captar o material sólido por gravidade. Outro estará na vertical e um terceiro será móvel e responsável por se conectar a entrada do silo.

Neste projeto o comprimento máximo dos transportadores seria de 2400mm para que o veículo possa realizar as movimentações dentro da área que será utilizado de forma segura e com maior facilidade.

O SECAMS utiliza 3 motores hidráulicos que são responsáveis em realizar o acionamento dos transportadores helicoidais para transferência de material para os silos externos. Após a movimentação e posicionamento dos transportadores, os motores serão acionados para transferência de material.

No reservatório do SECAMS que armazena os materiais sólidos são acoplados sensores de nível que monitoram o volume de material. Também são utilizados sensores cuja finalidade é indicar a abertura e fechamento da tampa escotilha para entrada material.

Esse último movimento é realizado por um pistão de forma manual. No reservatório de abastecimento existem ainda sensores para detecção de nível mínimo e máximo de óxido de alumínio.

3.2 Sistema de Operação e Interface do Projeto:

Este sistema é constituído por um conjunto compostos por dois painéis, sendo um deles dedicado ao *joystick* modelo 83058848 que possui a rede CAN incorporada em seu sistema, responsável pelo acionamento das partes moveis do veículo, e outro ao IHM modelo DM430E que exibe os parâmetros relacionados ao processo.

Esses, por sua vez, se comunicam com o controlador MC024-110 por meio de uma interface CAN já abordada nas seções anteriores. Todos os itens listados neste tópico são fabricados pela empresa *DANFOSS*. As figuras 13, 14 apresentam os componentes elétricos utilizados para o controle e interface do SECAMS com o usuário do sistema.

Figura 13 – Interface Homem Máquina do SECAMS.



Fonte: Danfoss (2023)

Figura 14 – Controlador CAN MC024-110.



Fonte: Danfoss (2023)

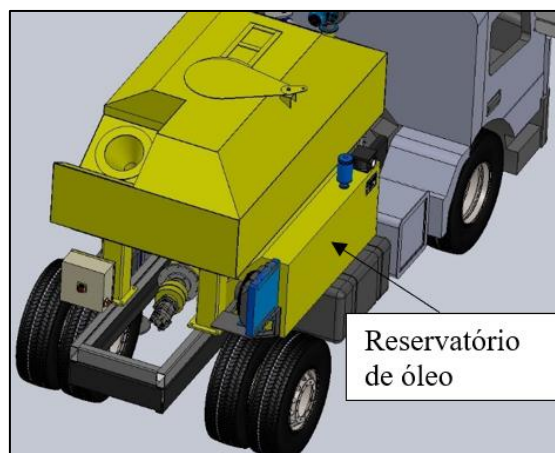
4. Projeto e dimensionamento do SECAMS

Nesta seção serão apresentados os detalhes de cada parte do sistema e as especificações dos componentes utilizados.

4.1. Sistema hidráulico

Visores de nível localizados na parte lateral do reservatório devem ser inspecionados diariamente antes do início das operações visando o bom funcionamento de todo sistema. A figura 15 apresenta o modelo de tanque de óleo desenvolvido para esta aplicação.

Figura 15 – Reservatório de óleo.



Fonte: Autor (2023)

O circuito projetado de forma a atender a demanda de produção e basicamente composto pelos seguintes conjuntos:

- Conjunto de fornecimento de energia hidráulica para o sistema (conjunto motor bomba);
- Conjunto de controle do bloco hidráulico;
- Atuadores hidráulicos;

4.2. Conjunto moto-bomba:

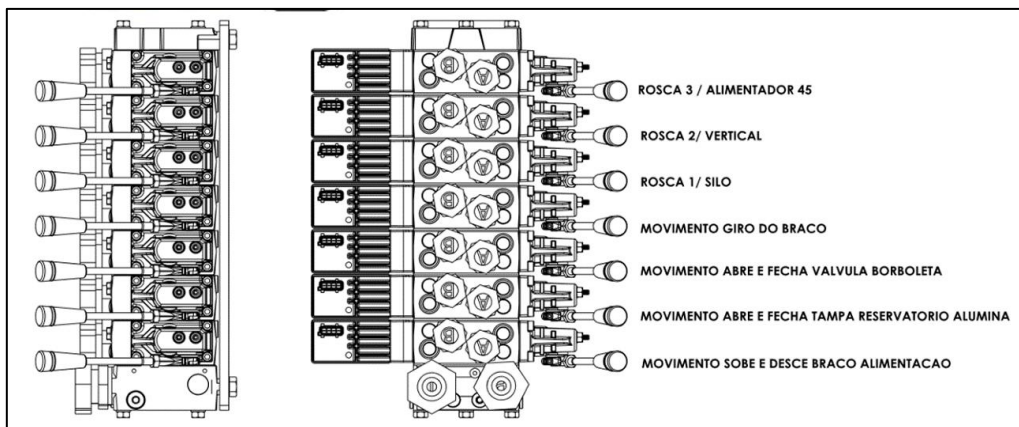
Dotado de um motor a diesel, que além das funções de alimentação da máquina, também é responsável por um circuito fechado para movimentação e frenagem do veículo, e nele acoplado as bombas de circuito fechado (movimentação e frenagem) e a bomba de pistão variável que aqui a chamaremos de bomba de funções de alimentação. Neste caso, trata-se de uma bomba da marca Huade HD-A10VSO-100 DFR1/31R PPA 12 N00, responsável por atender as necessidades de força e vazão de todo o sistema, a fim de alcançar a produtividade necessária. Para esta aplicação, consideramos a rotação do motor a diesel acima de 2200 rpm.

4.3. Conjunto de controle hidráulico:

O controle hidráulico de todas as funções de alimentação do sistema é feito através de um bloco hidráulico, instalado na lateral do caminhão, com fácil acesso a manutenção. Através dele todas as funções são comandadas, denominado de forma simplificada de PVG modelo PVG32 3F + ECO80 4F PVH da marca DANFOSS.

A figura 16 apresenta o módulo hidráulico utilizado no SECAMS.

Figura 16 – Válvulas de controle do sistema Hidráulico.



Fonte: Autor (2023)

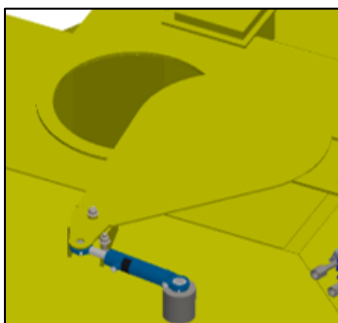
4.4 Cilindros Hidráulicos:

Os cilindros hidráulicos possuem a função de movimentação dos transportadores, abertura e fechamento de válvulas e travamento da suspensão do veículo.

O cilindro hidráulico modelo CDL2MP5-40/25/130mm com as dimensões de 40 mm x 25 mm x 130 mm é responsável pela abertura e fechamento da tampa do silo de abastecimento de material. O acionamento deste cilindro é realizado através de comandos na interface homem máquina (IHM) desenvolvida para esse equipamento.

A figura 17 apresenta o posicionamento do cilindro abordado anteriormente.

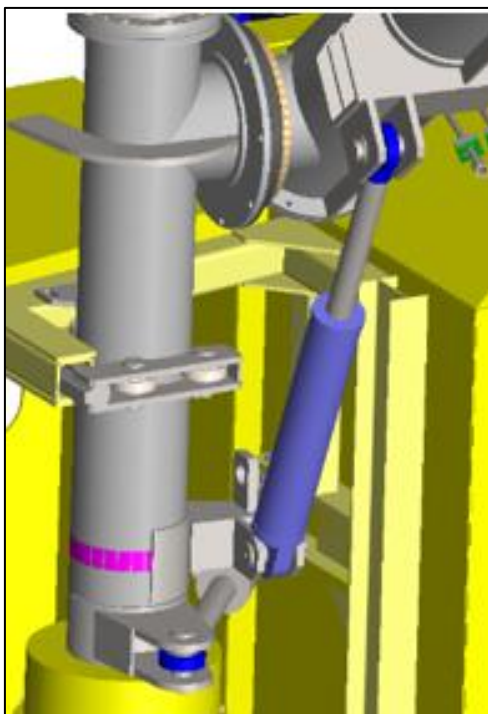
Figura 17 – Cilindro abastecimento do silo do SECAMS.



Fonte: Autor (2023)

Outro cilindro hidráulico modelo CDL2MP5-100/63/550 mm, com as dimensões de 100 mm x 63 mm x 550 mm será responsável pela inclinação do braço de alimentação nos locais onde o SECAM será utilizado. A figura 18 representa o posicionamento deste cilindro abordado acima.

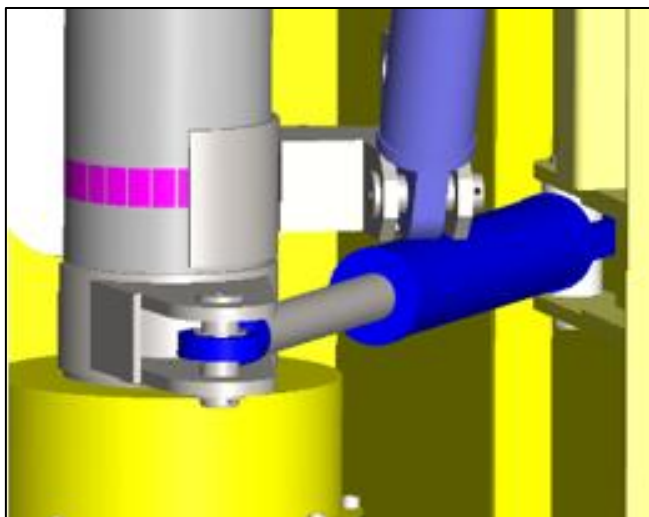
Figura 18 – Cilindro de inclinação do SECAMS.



Fonte: Autor (2023)

O cilindro hidráulico modelo Y-MP5-100/63/500-S, com as dimensões de 100 mm X 63 mm X 500 mm e responsável pelo giro do transportador helicoidal. A figura 19 representa o posicionamento deste cilindro.

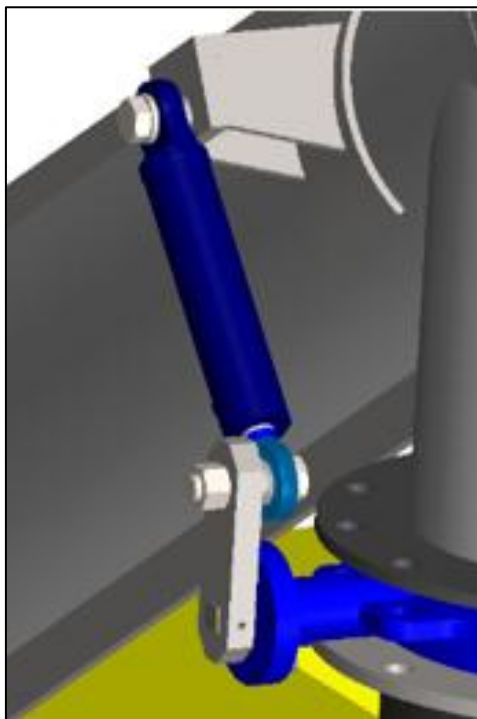
Figura 19 – Cilindro de giro do SECAMS.



Fonte: Autor (2023)

O cilindro hidráulico modelo CDL2MP5-50/28/170mm, com as dimensões de 50 mm X 28 mm X 170 mm será responsável pela abertura e fechamento da válvula borboleta instalada na saída do transportador de alimentação dos silos externos. A figura 20 representa o posicionamento deste cilindro.

Figura 20 – Cilindro de abertura/fechamento da válvula de saída.



Fonte: Autor (2023)

4.5. Definição dos transportadores helicoidais

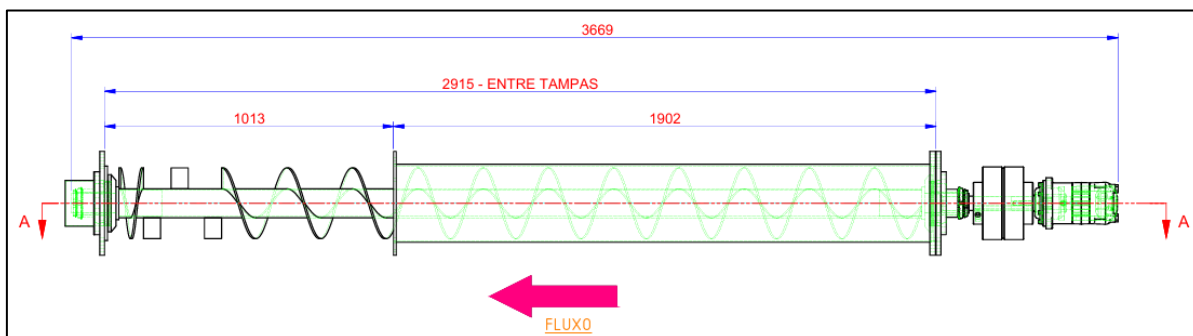
Para diminuir o desgaste do transportador e calhas foi utilizado aço do tipo AR400. Cada transportador helicoidal foi dimensionado individualmente.

Devido às limitações de espaço no veículo, foi necessário adotar um diâmetro de rosca de 9 polegadas para os transportadores helicoidais inferior e vertical e de 12 polegadas para o transportador superior.

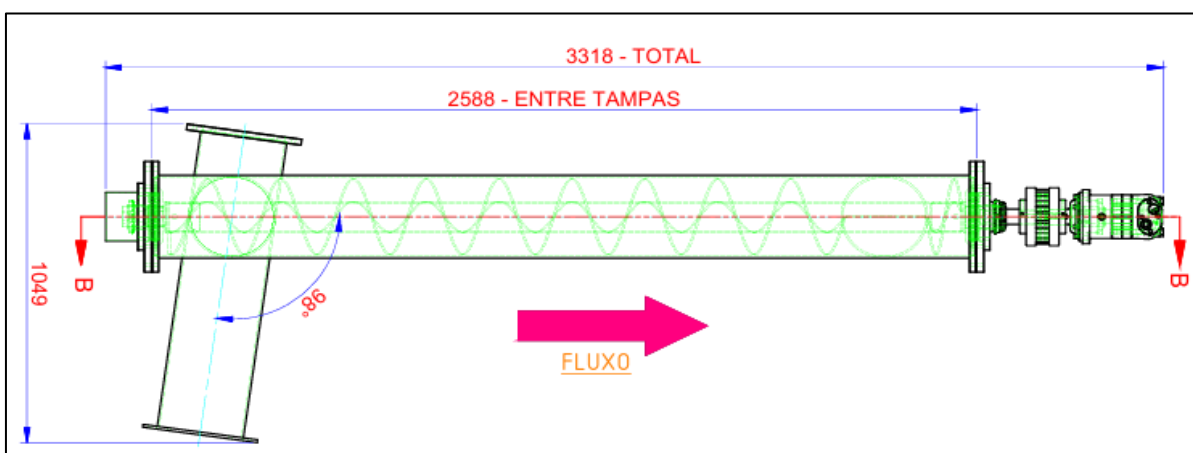
Os transportadores helicoidais inferior e vertical possuem 9 polegadas de passo, 1/4 de polegada de espessura de hélice montado em tubo de 3,5 polegadas diâmetro nominal com uma espessura nominal *schedule-40*, com solda contínua em ambos os lados.

Já o transportador superior possui helicoidais seccionados de 12 polegadas de diâmetro, 12 polegadas de passo e 1/4 de polegada de espessura de hélice em aço AR400, montado em tubo de 3,5" diâmetro nominal *schedule-40*, também com solda contínua em ambos os lados. A Figura 21 apresenta os detalhamentos de cada transportador.

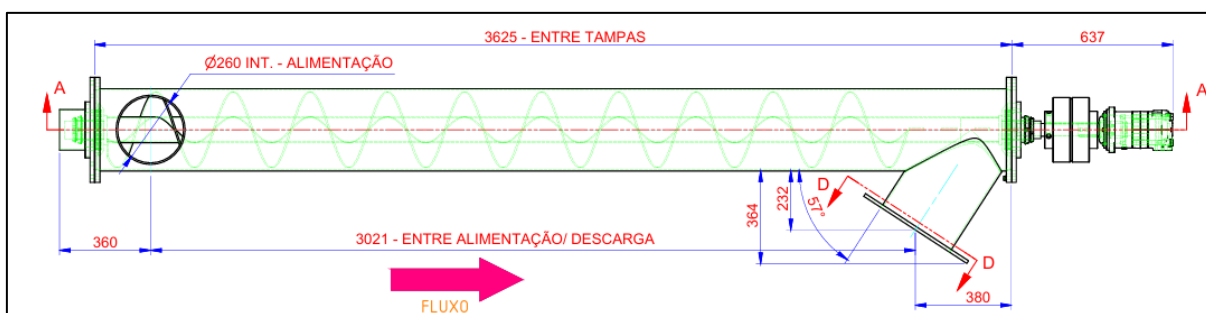
Figura 21 – Dimensões dos transportadores helicoidal do SECAMS: (a) inferior, (b) vertical e (c) superior.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor (2023)

Para a realização da estimativa de velocidade máxima dos transportadores helicoidais, foram utilizadas as informações obtidas no manual de dimensionamento “Screw Conveyor components & design” (2012) do fabricante *Conveyor Engineering & Manufacturing*, e a regulamentação da *Conveyor Equipment Manufacturers Association* para transportadores helicoidais (CEMA, 2009).

Baseado nessas referências foi considerado o modelo abaixo para determinação da velocidade máxima do transportador.

A rotação máxima do eixo helicoidal é pela equação abaixo baseada na regulamentação da CEMA, 2019:

$$N_{RPM} = \frac{C}{C_1 \cdot D^3 \cdot \gamma \cdot \lambda \cdot K}$$

onde:

Capacidade Mássica (C) – É o cálculo na capacidade solicitada para o processo de transferência sendo 2000 kg em 6 minutos:

$$\frac{2T}{6 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1h} = 20t/h$$

Diâmetro de Rosca (D) – Diâmetro total do transportador em polegadas

Densidade a Granel (γ) – É a densidade do material a ser transportado. No caso deste projeto foi considerado o óxido de alumínio sendo adotado o valor de $1,8t/m^3$.

Fator de Enchimento (λ) – É a porcentagem da área da seção da calha ou do tubo que será ocupada pelo material durante o processo de transferência de material.

Fator de correção vertical (K) – É o coeficiente usado para ajustar a velocidade do transportador em função da sua inclinação.

Constante de Proporcionalidade (C1) – É um fator de conversão necessário para garantir que as unidades de medida estejam em t/h.

Para os transportadores inferior e superior foi adotado $K=1$ para inclinação de 5 graus em relação ao chassis do veículo e para o vertical foi adotado o coeficiente de $K=0,90$ sendo a inclinação do transportador em relação ao chassis do caminhão.

A Tabela 02 apresenta os demais parâmetros adotados para os três transportadores.

Tabela 02 – Parâmetros do transportador helicoidal.

Parâmetro	Símbolo	Valor
Capacidade Mássica	C	20 t/h
Diâmetro Selecionado	D	9 polegadas
Densidade a Granel – Considerando óxido de Alumínio	ρ	1,8 t/m ³
Fator de Enchimento	Λ	0,25
Constante de Proporcionalidade	C1	23,5
Fator de correção vertical	K	1

Fonte: Autor (2023)

Substituindo os valores em (1) resulta em uma velocidade máxima estimada do transportador inferior de 154,18 rpm. Devido ao óxido de alumínio possuir uma alta abrasão, a estimativa inicial de velocidade para este transportador será de 42 rpm com a finalidade de reduzir o desgaste dos elementos mecânicos dos transportadores devido a alta abrasão do óxido de alumínio e também para evitar o acúmulo de material sólido na saída do transportador vertical e entrada do transportador superior pois caso exista material em excesso neste ponto, pode ocorrer o travamento de todo o sistema.

Para o transportador vertical, a velocidade máxima estimada é de 138 rpm. Como não existe a possibilidade de aumento do diâmetro do transportador helicoidal para que seja possível a redução da velocidade, foi atribuído o valor de velocidade inicial de 120 rpm para que seja realizado os testes, sendo 120 rpm um valor de referência que teve um resultado satisfatório em outro desenvolvimento de transportador helicoidal com as características semelhantes.

A estrutura mecânica superior do sistema proporcionou uma acomodação de um transportador helicoidal de 12 polegadas para a transferência vertical de material até a válvula de descarga do sistema, o que dá maior segurança no processo de descarga. A velocidade estimada utilizando (1) foi de 66,7 rpm mas, para o início dos testes físicos foi adotado uma velocidade inicial deste transportador de 42 rpm para evitar a movimentação do mesmo com pouco material sólido em sua calha de entrada o que ocasiona vibrações excessivas quando o transportador está em posição de abastecimento.

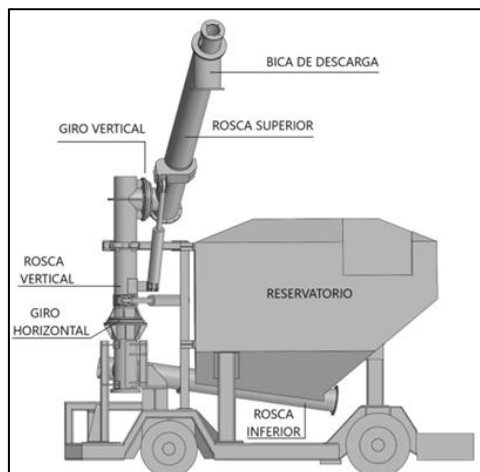
Após determinadas as dimensões dos transportadores, os mesmos foram posicionados no projeto em conjunto com o silo de armazenamento.

Para que fosse possível a movimentação dos transportadores helicoidais nos eixos horizontal e vertical, são utilizados dois rolamentos especiais de grande porte para permitir a movimentação de sistemas estruturais. O rolamento a ser utilizado é o modelo FUN 505 20 00

CC LM desenvolvido pela empresa QCB Bearings. Devido ao uso destes rolamentos especiais e demais itens de movimentação, é necessária a utilização de um sistema de lubrificação automático periódico para estes elementos, o qual será apresentado nas próximas seções.

A figura 22 apresenta o posicionamento dos transportadores junto ao silo de armazenamento.

Figura 22 – Transportadores helicoidais posicionados no reservatório.



Fonte: Autor (2023)

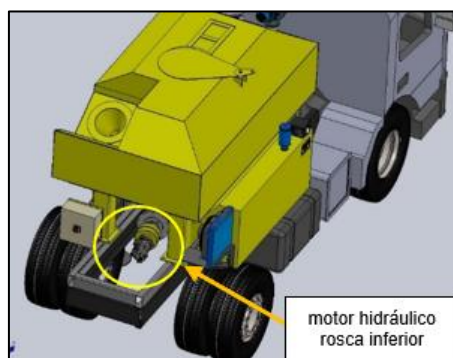
4.6 Especificação dos Motores Hidráulicos:

Após definição das velocidades dos transportadores helicoidais, foi realizada a especificação dos motores hidráulicos em conjunto com as aplicações existente na área do usuário no site da empresa DANFOSS, onde foram selecionados os motores hidráulicos abaixo baseado na velocidade máxima dos transportadores e dimensionais mecânicos dos motores.

O primeiro motor hidráulico está localizado no conjunto de roscas logo abaixo do silo de alimentação e acionado através do joystick durante todo processo de alimentação. Devido as suas características, escolheu-se usar o MOTOR OMV 800 CIL.50MM- STD - G1 - G1 da empresa DANFOSS que possui regulagem de velocidade entre 0 e 50 rpm.

A figura 23 apresenta o posicionamento deste elemento no SECAM.

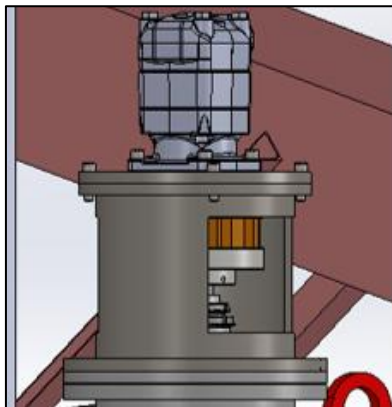
Figura 23 – Motor Hidráulico Rosca Inferior.



Fonte: Autor (2023)

O Segundo motor é responsável pelo acionamento do transportador vertical, localizado na parte superior como representado na figura 24. Optou-se por usar o MOTOR OMT 500 - CIL.40MM- STD 125mm - G3/4 – G da empresa DANFOSS com regulagem de velocidade de 0 a 160 rpm.

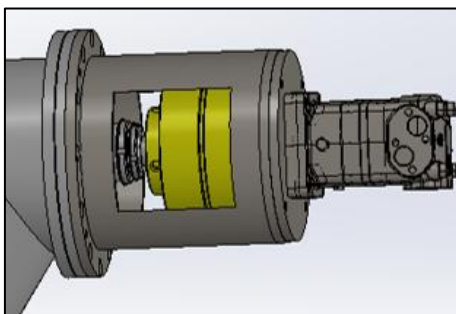
Figura 24 – Motor Hidráulico transportadores verticais



Fonte: Autor (2023)

O terceiro motor hidráulico é responsável pelo acionamento do transportador de saída conforme representado pela figura 25. Será usado o MOTOR OMT 315 - CIL.40MM- STD 125mm - G3/4 – G da DANFOSS com regulagem de velocidade entre 0 a 50 RPM.

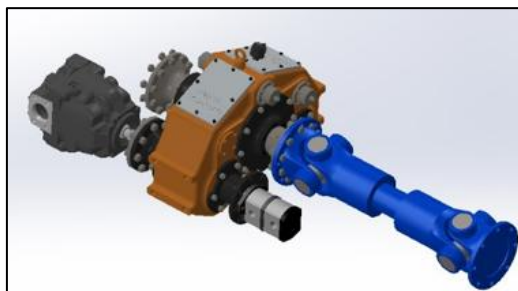
Figura 25 – Motor Hidráulico do transportador de saída.



Fonte: Autor (2023)

Para o acionamento do sistema hidráulico é utilizada uma caixa de transferência responsável por realizar a movimentação da bomba hidráulica para a circulação de óleo do reservatório ao longo do circuito. Quando o caminhão estiver no modo giro das rodas, as bombas não serão movimentadas, e quando estiver selecionado o modo de abastecimento, a caixa irá desacoplar a tração traseira do caminhão e irá acoplar os conjuntos de bombas para movimentação dos conjuntos do SECAMS. A figura 26 apresenta a caixa de transferência bem como as bombas hidráulicas responsáveis pela circulação de óleo para movimentação dos cilindros e motores hidráulicos.

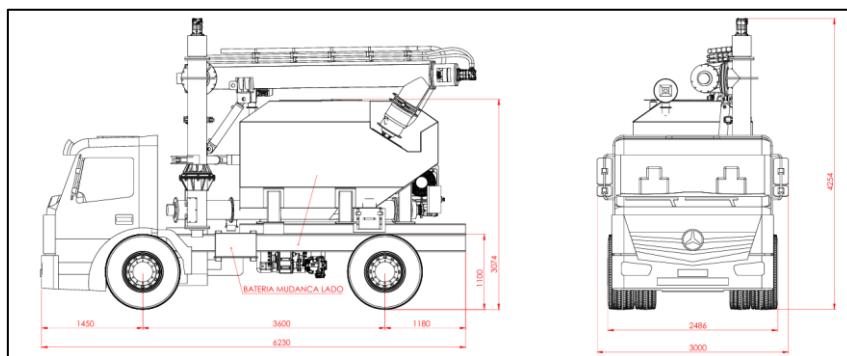
Figura 26 – Representação caixa de transferência e bombas hidráulicas.



Fonte: Autor (2023)

Após o detalhamento de cada um dos elementos relacionados a motorização do SECAMS, se tem o posicionamento desses elementos no veículo conforme mostrado na figura 27 onde se é possível verificar os dimensionais esperados para o veículo.

Figura 27 – Representação dimensional do veículo



Fonte: Autor (2023)

4.7. Sistema de abastecimento / Layout de sensores

Para o monitoramento do volume dentro do reservatório do sistema e indicação da abertura e fechamento da escolhia de entrega do material, esta aplicação será utilizado o sensor FTM20-AG25A da empresa *ENDRESS+ HAUSER*.

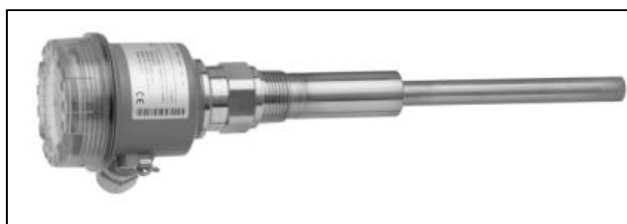
O sensor Endress+Hauser FTM20A-AG25A faz parte de uma linha de equipamentos de detecção de nível pontual e opera baseado no princípio de medição por vibração. O princípio de funcionamento de sensores é usado para a detecção de nível em sólidos a granel (como pó, grânulos, ou materiais finos).

Abaixo está detalhamento o funcionamento deste tipo de sensor segundo informações obtidas no manual do sensor:

- A haste do sensor vibra com uma frequência ressoante específica. Quando o sensor está no ar (ou seja, não há material cobrindo a haste), ele vibra livremente, e o circuito eletrônico monitora essa frequência de vibração.

- Quando o sólido a granel (pó, grânulo, etc.) atinge e cobre a haste vibratória, a vibração é amortecida (abafada). O amortecimento da vibração provoca uma mudança notável na frequência de ressonância e um aumento no consumo de energia do oscilador.
- O circuito eletrônico incorporado ao sensor detecta essa mudança de frequência e/ou aumento de consumo de energia.
- Essa detecção aciona um sinal de saída digital do sensor indicando que o nível limite foi atingido podendo ser "nível mínimo" ou "nível máximo".

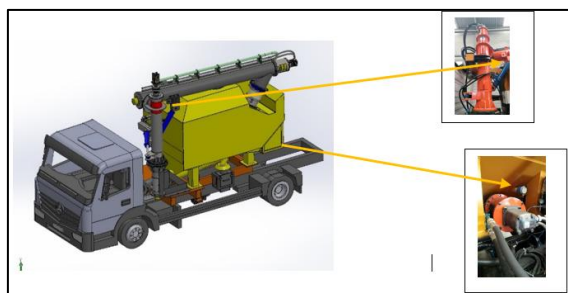
Figura 28 – Sensor FTM20A-AG25A.



Fonte: Endress+Hauser (2024)

A figura 29 apresenta a localização dos sensores de nível no silo de descarga.

Figura 29 – Localização dos sensores instalados no silo de descarga



Fonte: Autor (2024)

4.8. Sistema de descarga

Esse sistema se refere às partes móveis que realizam a transferência do conteúdo do reservatório acoplado ao veículo para o local de destino do material. Os transportadores que comportam as roscas de alimentação 2 e 3 integram também um conjunto de pistões responsáveis pela rotação e inclinação do braço, comandados através do painel do *joystick*. O duto de saída do sistema é formado por uma válvula borboleta em conjunto com um cilindro que realiza sua abertura e fechamento para saída de material. Sua estrutura inclui ainda um duto de exaustão que é conectado a um exaustor de 0,5 cv por intermédio de mangueiras, com objetivo

de realizar sucção das partículas suspensas retornando-as para a caixa de retorno localizada na parte inferior do veículo.

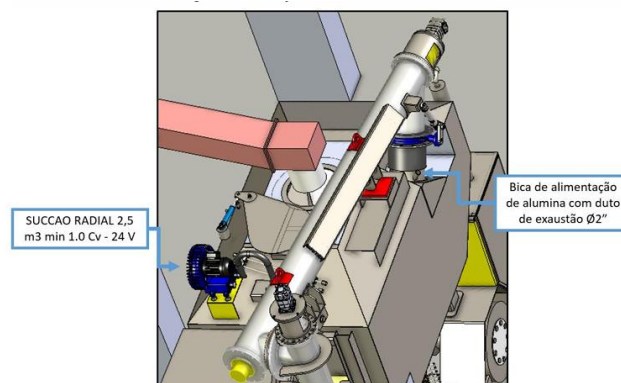
Figura 30 – Estrutura de montagem do sistema de descarga.



Fonte: Autor (2024)

O sistema de exaustão tem a finalidade de remover o excesso de material que ficaria depositado após o duto de saída, evitando que o material em excesso seja desperdiçado quando os transportadores são retirados dos silos de abastecimento. Este material retorna ao reservatório principal do veículo através de dutos instalados especialmente para esta função em conjunto com um exaustor que é acionado por um motor de 1,0CV. A figura 31 apresenta com maiores detalhes o sistema de descarga e o sistema de exaustão do dispositivo.

Figura 31 – Estrutura de montagem do duto de descarga.



Fonte: Autor (2024)

4.9 Sistema de lubrificação automático

Os sistemas de lubrificação automática embarcada para veículos de transporte têm como agente motriz do sistema, a unidade de bombeamento (bomba) que faz o bombeamento e a pressurização do lubrificante até os distribuidores progressivos, que têm a função de destinar um volume pré-definido de lubrificante a cada ponto de consumo, de maneira progressiva, um de cada vez. O distribuidor é inteiramente hidráulico e independente, sendo o lubrificante o próprio agente motor do sistema.

Projetado para operação intermitente (perda total), o sistema consiste basicamente de uma bomba dosadora acionada por motor de 24 Vcc, válvulas de alívio, distribuidores e linhas de distribuição do lubrificante, formando um circuito aberto.

O controle automático da lubrificação é realizado através do controlador, que aciona o sistema em intervalos de tempos ajustados de acordo com a necessidade do veículo para as condições de trabalho. O tempo de lubrificação será ajustado para garantir volume de graxa que dê um ciclo completo de lubrificação, garantindo que todos os pontos recebam o volume previsto de graxa. Para este desenvolvimento foi atribuído o ciclo de engraxamento dos pontos a cada 2 horas de funcionamento do sistema.

Por ser um sistema progressivo, cada ponto receberá graxa de uma vez, em uma sequência constante, e caso haja alguma obstrução em uma das saídas haverá a indicação na saída da válvula de alívio.

A figura 32 apresenta o sistema de lubrificação utilizado no SECAMS.

Figura 32 – Bomba para lubrificação do SECAMS.



Fonte: Autor (2024)

A figura 33 apresenta o sistema de distribuição progressivo de graxa para os mancais do equipamento e rolamentos.

Figura 33 – Sistema de distribuição de graxa progressivo.



Fonte: Autor (2024)

O sistema de distribuição de graxa é conectado nos mancais de sustentação dos transportadores, rolamentos e motores como mostrado na Figura 34.

Figura 34 – Pontos de lubrificação automático no sistema.



Fonte: Autor (2024)

Baseado no projeto conceitual do equipamento, a próxima seção será uma análise estrutural do conjunto para a análise estrutural de esforços mecânico do SECAM. Esse estudo foi realizado utilizando o softwares CAD/CAE.

5 Simulação e análise mecânica do SECAMS

Conforme já abordado anteriormente, o sistema transportador é composto por 3 helicoides de alimentação acionados hidráulicamente sendo: um helicóide inferior, um helicóide vertical e outro helicóide superior.

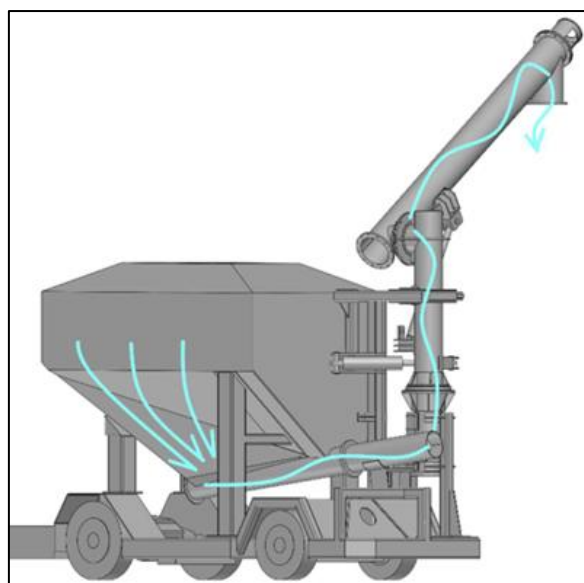
O helicóide inferior é posicionado sob o silo de armazenamento, o qual é abastecido por gravidade, a qual desloca o material sólido até o helicóide vertical que desloca o material até o helicóide superior e, este último, desloca e descarrega o material através do duto de descarga.

O objetivo deste estudo é prever como o sistema projetado se comportará sob condições de carga e restrição, antes de ser fabricado, garantindo sua integridade estrutural e otimizando seu design. Para que esse processo seja eficiente, foi realizado o uso do modelo 3D do sistema já desenvolvido em CAD.

Após a realização da configuração e carregamento em CAD/CAE do projeto do SECAMS, foi feita a simulação com o carregamento do reservatório e dos transportadores para que seja possível a realização da análise de esforços na estrutura do equipamento.

A figura 35 representa o fluxo de material sólido nos transportadores durante a operação.

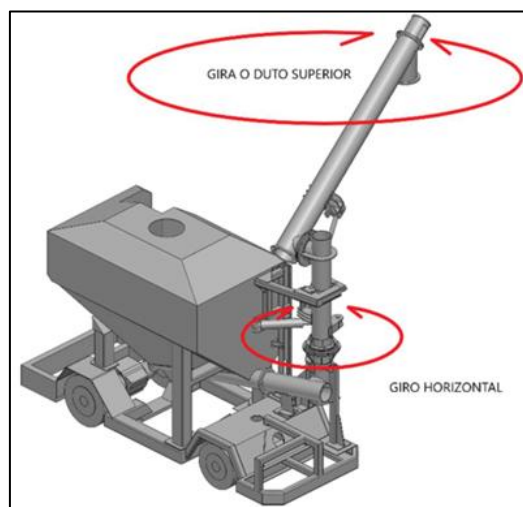
Figura 35 – Fluxo de saída do material no SECAMS.



Fonte: Autor (2024)

O sistema conta com dois pontos de giro com rolamentos sendo um rolamento horizontal, o qual propicia a rotação / giro do duto vertical e outro rolamento vertical, o qual propicia a elevação / giro do duto superior conforme mostrado na figura 36.

Figura 36 – Detalhamento do giro vertical e horizontal do SECAMS.



Fonte: Autor (2024)

Após carregamento do projeto são definidas todas as propriedades dos materiais utilizados no projeto como por exemplo: tipos de material (aço carbono, alumínio, bronze entre outros).

Após realizada as definições acima, é realizado a criação da malha onde o projeto é dividido em muitos pequenos elementos geométricos simples interconectados chamados de elementos finitos onde as conexões entre eles são chamadas de nós. A figura 37 representa os elementos finitos elaborados para o SECAMS.

Figura 37 – Representação dos elementos finitos para SECAMS.



Fonte: Autor (2024)

Um ponto importante durante a simulação é o refinamento da malha com elementos menores para aumentar a precisão durante a simulação. Após realizado o refinamento da malha se inicia o processo de aplicação de esforços nos elementos a serem estudados. A aplicação de esforços na estrutura a ser simulada poder ser nas seguintes unidades:

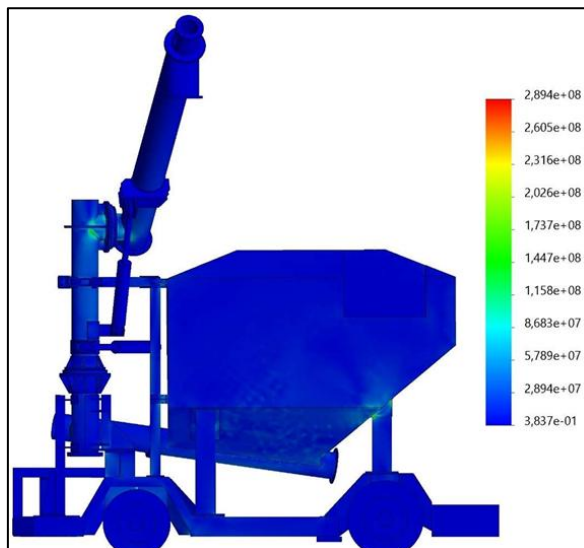
- Força : (N, kN)
- Pressão: (Pa, psi)
- Torque: (N.m).
- Condições Térmicas caso seja uma análise termomecânica.

Para uma melhor visualização do comportamento do projeto em função dos esforços submetidos, o software utiliza um mapa de cores para mostrar os resultados obtidos sendo:

- **Vermelho/Cores Quentes:** Indicam áreas com valores mais altos (maior risco/concentração de tensão).
- **Azul/Cores Frias:** Indicam áreas com valores mais baixos (menor esforço).

A figura 38 representa um exemplo das cores quentes e frias e alguns locais onde indicam maiores pontos de tensão na estrutura.

Figura 38 – Representação dos esforços mecânicos no SECAMS.

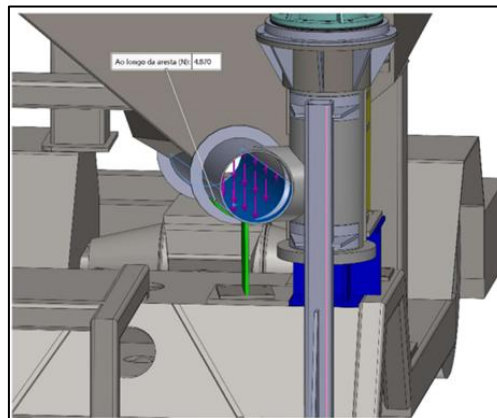


Fonte: Autor (2024)

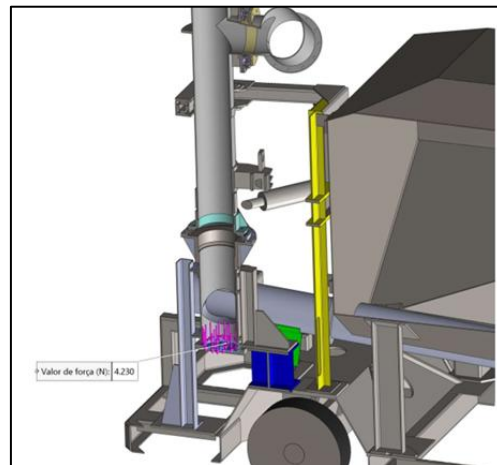
Para nosso estudo foi considerado aplicação de força na unidade de Newton (N) como será mostrado ao longo desta seção.

Durante o processo de simulação realizada e *software CAD/CAE*, foi obtida uma força de 4.870N para o transportador inferior, 4.230N para o vertical e 5.380N para o superior, como é apresentado na Figura 39.

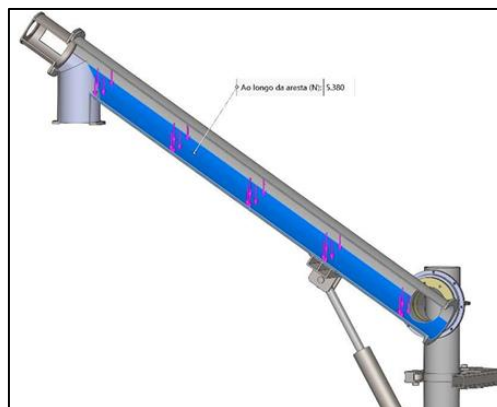
Figura 39 – Imagem da simulação: (a) transportador inferior, (b) vertical e (c) superior.



(a)



(b)

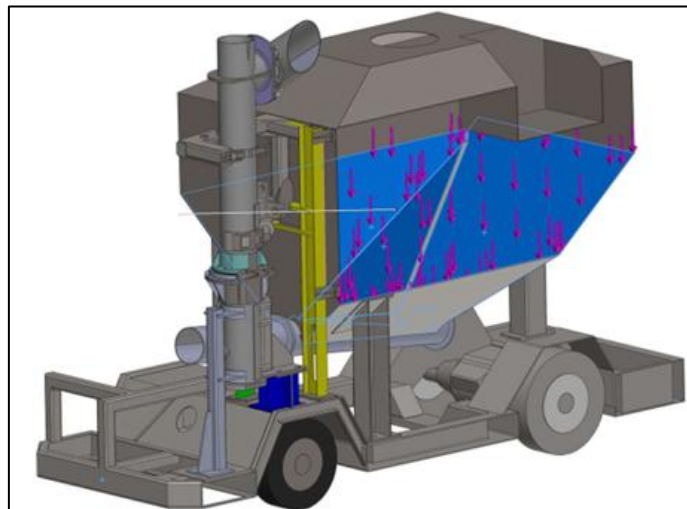


(c)

Fonte: Autor (2024)

Durante o processo de simulação para o reservatório, foi obtido uma força de 60.000N com 6000kg de material sólido armazenado no mesmo, como é possível verificar na figura 40.

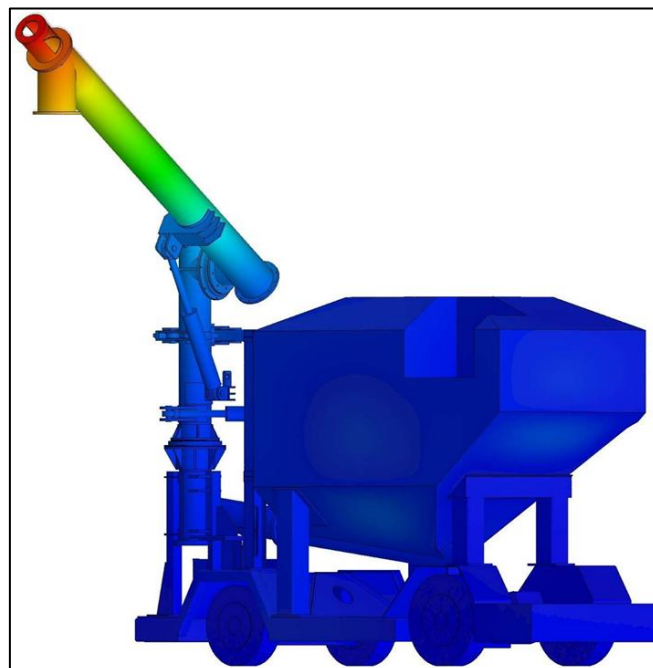
Figura 40 – Simulação do reservatório de armazenamento.



Fonte: Autor (2024)

Após finalizados os cálculos estruturais do sistema mecânico, observou-se que o veículo só poderá entrar em movimento, ou ser movimentado com o duto superior totalmente recolhido em sua posição inicial, devido a possibilidade de tombamento do veículo como é possível ser visto na figura 41.

Figura 41 – Simulação movimentação transportador superior.



Fonte: Autor (2024)

6 Detalhamento do sistema de controle e conexões

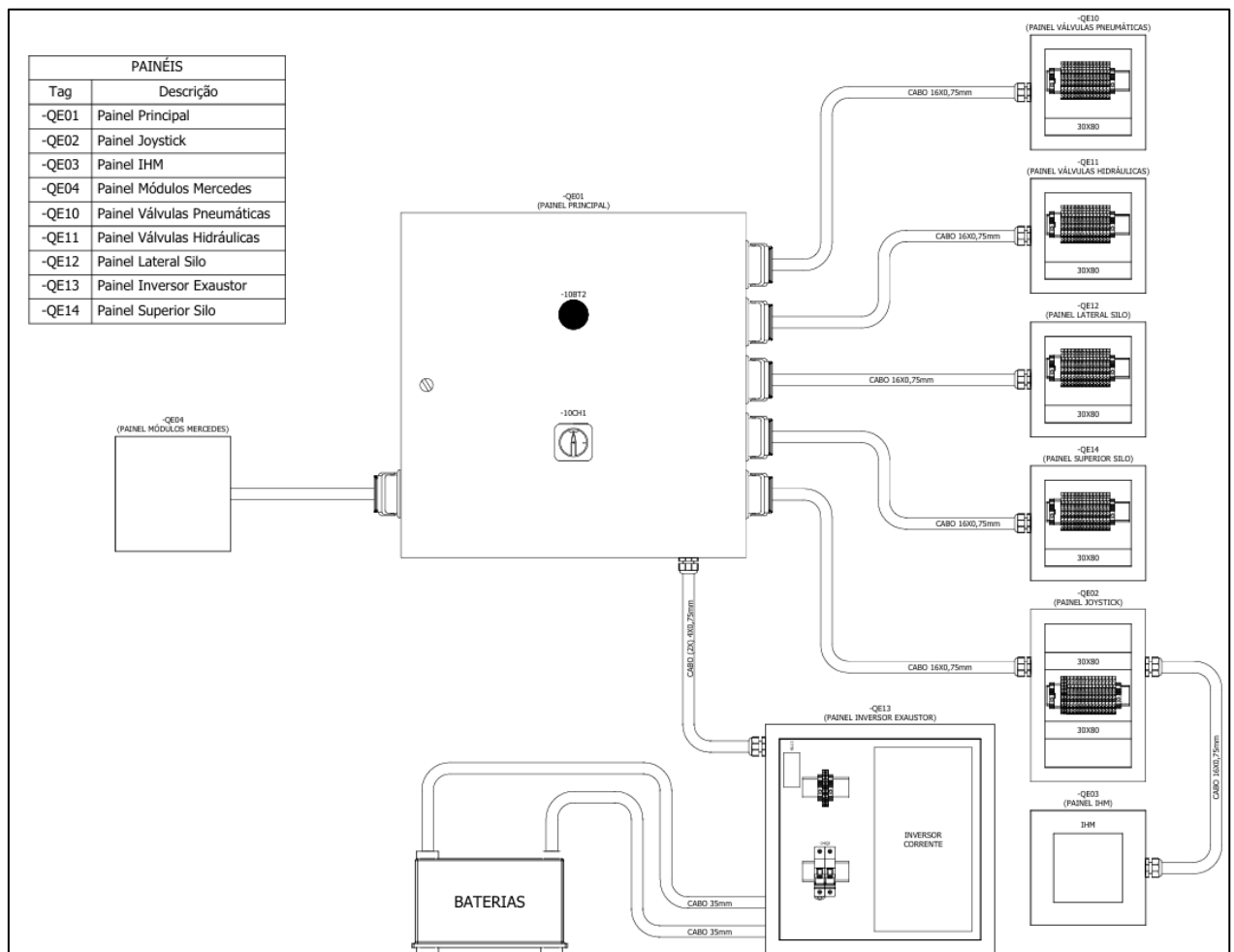
Nesta seção serão detalhadas as seguintes fases do desenvolvimento baseados nos requerimentos de processo e proteções para o sistema mecânico:

- Desenhos elétricos do sistema
- Topologia de interligação dos componentes eletrônicos;
- Procedimentos operacionais (Botões, Joystick e IHM);
- Telas operacionais para análise do estado dos sensores/atuadores;
- Sistema de lubrificação automática dos rolamentos.

6.1 Desenhos elétricos do sistema:

A figura 42 apresenta uma visão geral do sistema de alimentação elétrica baseado em baterias já existentes no veículo e interligações dos dispositivos baseados em ligação ponto a ponto dos sensores e demais periféricos do sistema embarcado especial.

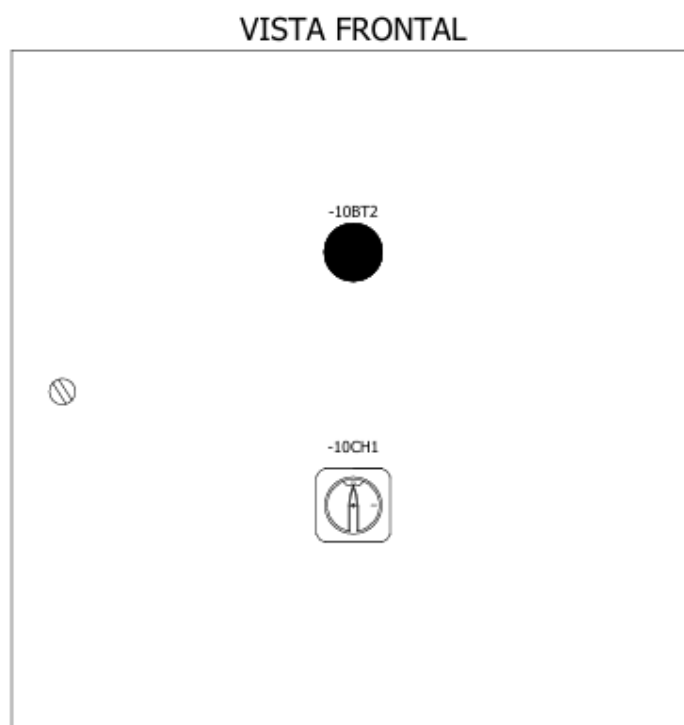
Figura 42 – Interligações elétricas das fontes de alimentação



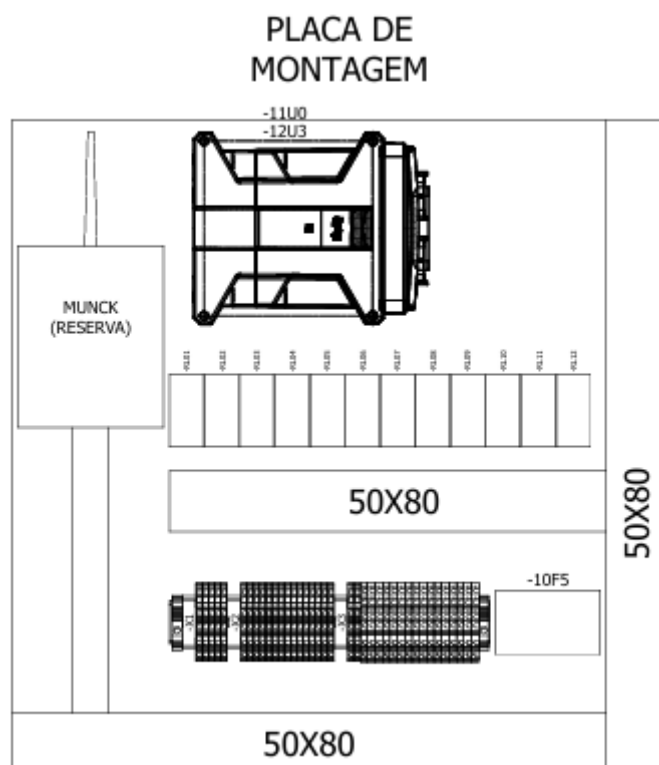
Fonte: Autor (2024)

A figura 43 apresenta o *layout* de montagem do controlador e dos demais componentes necessários para o acionamento do SECAMS.

Figura 43 – Painel elétrico: (a) Vista Frontal, (b) layout da placa de montagem.



(a)

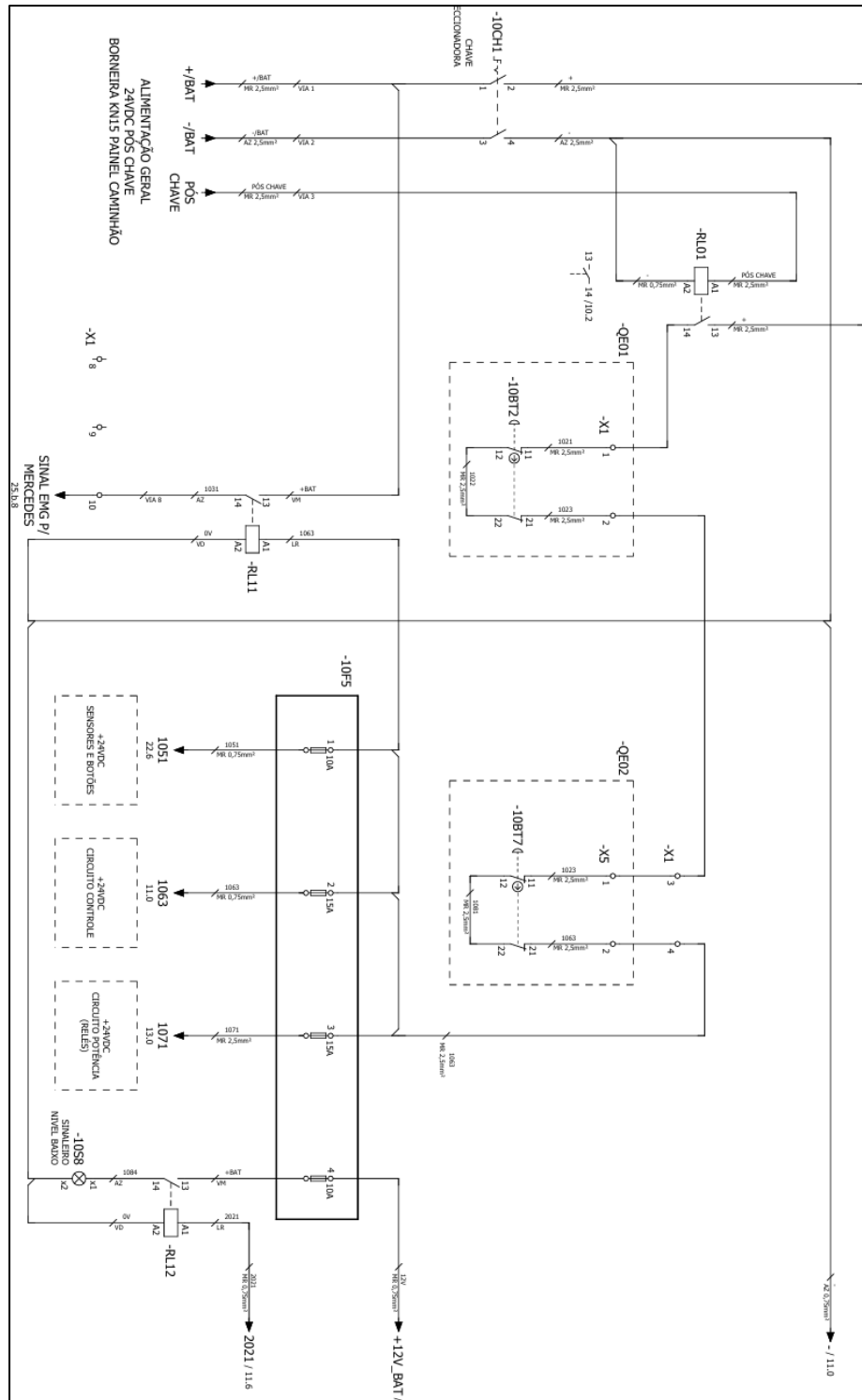


(b)

Fonte: Autor (2024)

O sistema de alimentação do painel é detalhado na figura 44 onde é possível se verificar que a alimentação do painel é realizada após o acionamento da ignição do veículo para evitar que a bateria do veículo seja descarregada caso o veículo esteja desligado. Também é possível verificar que as alimentações dos sensores e demais itens do SECAMS também são feitas por este ponto de alimentação.

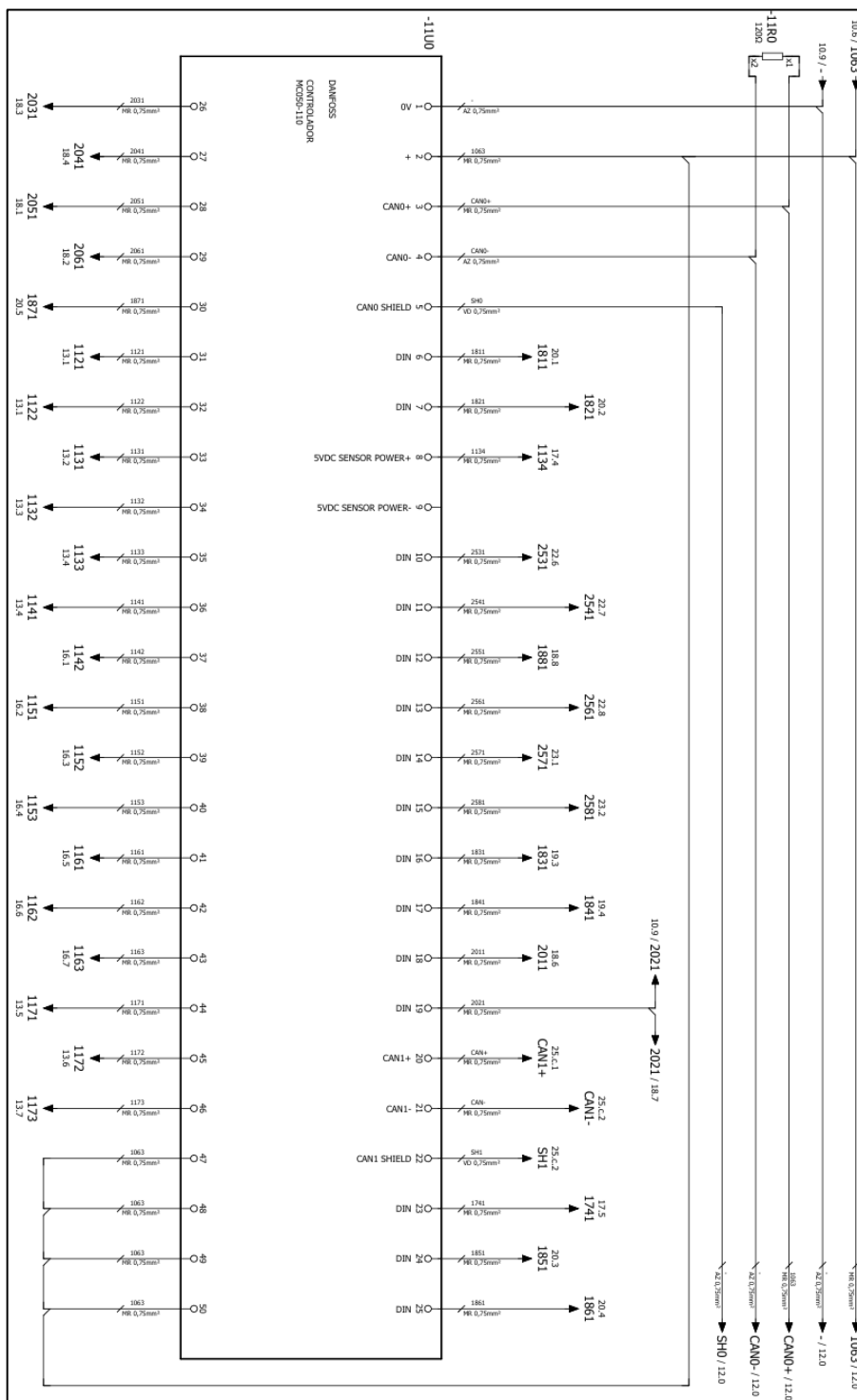
Figura 44 – Esquema elétrico de alimentação 24VCC dos painéis do SECAMS



Fonte: Autor (2024)

Observando a Figura 44 é possível verificar que a alimentação geral dos sistemas de controle são realizadas exclusivamente através das baterias localizadas no veículo a ser utilizado. A Figura 45 representa as conexões elétricas realizadas entre o controlador responsável pelo controle do sistema embarcado e também a conexão em rede CAN entre o controlador e os módulos do veículo.

Figura 45 – Interligações elétricas do controlador principal.



Fonte: Autor (2024)

O controlador MC024-118 é um microcontrolador programável utilizado em equipamentos onde a rede CAN está disponível para uso. Sua função pode ser como “mestre” ou “escravo” em um sistema de controle, recebendo dados de diversos sensores e *joysticks* e, em seguida, controlando atuadores, motores ou, mais comumente, válvulas hidráulicas proporcionais.

Observando a Figura 45 é possível identificar que existem duas redes CAN neste controlador sendo:

Rede CAN 0+ e CAN 0 realizam as comunicações entre o controlador responsável pelo acionamento dos dispositivos da caixa de transferência e para interface entre o display e o joystick responsável por controlar os movimentos dos transportadores do sistema de abastecimento.;

Rede CAN 1+ e CAN 1 realizam as comunicações entre os controladores do sistema embarcado especial com o módulo de controle do veículo.

Para a comunicação do controlador com o veículo Mercedes Atego 1719 se faz necessário que o veículo possua o Módulo Especial Programável (PSM) (Mercedes-Benz, 2023).

A Mercedes-Benz oferece o PSM que é um sistema eletrônico totalmente multiplexado em rede com o sistema de barramento CAN dos veículos e caminhões, sendo que é o único *gateway* analógico e digital aprovado pela Mercedes-Benz para o sistema eletrônico do veículo. O PSM fornece uma interface entre os sistemas eletrônicos auxiliares e cria uma série de possibilidades para a atualização do veículo.

O PSM é instalado na base do assento esquerdo, e os fusíveis do PSM estão localizados na caixa de fusíveis na estrutura da caixa do banco esquerdo, sendo desenvolvido especificamente para fornecer acesso de hardware e software a tipos individuais de dados de barramento CAN para instalações elétricas e integração funcional total de sistemas embarcados. O acesso aos dados do barramento CAN via PSM permite que controladores adicionais leiam informações específicas do veículo e as usem para controlar outras funções específicas. As informações do veículo do barramento CAN através do PSM podem ser avaliadas e encaminhadas para o barramento CAN do fabricante da carroceria ou para as entradas e saídas multifuncionais do PSM ao equipar ou instalar equipamentos eletrônicos de reposição.

O hardware e o software da unidade de controle PSM e as funções correspondentes diferem entre os modelos de veículos disponíveis. Algumas das funções descritas a seguir podem estar disponíveis apenas em um modelo de veículo específico.

O PSM serve como uma interface entre o veículo e as melhorias elétricas, podendo diminuir ou eliminar qualquer fiação adicional ou lógica de relé devido à sua integração direta na fonte de alimentação integrada.

O PSM se conecta diretamente ao CAN da carroceria e pode acessar informações de status do veículo e controlar suas funções. Além disso, o PSM oferece até 10 entradas, analógicas e digitais, e 19 saídas disponíveis para componentes específicos do usuário.

O PSM usa um controlador lógico programável interno (PLC), um módulo com blocos de função lógica livremente programáveis que se interconectam livremente entre si para criar quaisquer *links* de sinal solicitados.

O *software* PSM contém um total de 12 grupos de controladores lógicos programáveis (PLC), e cada grupo de PLC possui 8 blocos de funções lógicas. Vários sinais de veículos estão disponíveis para PSM, e esses sinais podem ser combinados para criar blocos de função com combinações lógicas. Os sinais podem se conectar com outros sinais usando os seguintes conjuntos de operadores lógicos e funções:

- E, NAND, OU, NOR, XOR, XNOR
- temporizador, contador, flip-flop, interruptores de limiar, interruptores de limiar com histerese
- blocos de cálculo, filtros, diferenciadores/integradores, comparadores, características, opções de memória não volátil, constantes livremente definíveis.

Os sinais PSM em coordenação com as funcionalidades descritas, possibilitam que se crie programas para melhorar o uso do veículo, como economia de combustível e segurança do veículo e dos passageiros.

Os modos de operação do PSM diferem entre os veículos. Devido a alterações de *software*, os modelos 2019 e posteriores possuem versões diferentes dos modelos 2018.

É possível observar que algumas funções podem estar disponíveis apenas em modelos de veículos específicos.

Veículos do mesmo tipo de *software* básico só podem transferir conjuntos de dados personalizados para outros veículos com o mesmo tipo de *software* básico.

A figura 46 apresenta alguns exemplos de informações que o módulo consegue disponibilizar através da rede CAN.

Figura 46 – Exemplos de informações do veículo.

Exemplos de informações do veículo	
Status do veículo	Portas abertas/fechadas; Portas trancadas/destrancadas; Travão de mão aplicado
Status da luz	Luzes laterais; luzes de freio; piscas; Luzes de estrada
Informações CAN do motor	Velocidade do veículo; velocidade do motor; posição do seletor de marchas; Status do compressor AC

Fonte: Mercedes Benz (2024)

A imagem 47 apresenta algumas funções adaptáveis que podem ser utilizadas para acionamento do sistema embarcado a ser implementado pelo veículo. Com a utilização destas funções adaptáveis, é possível ajustar e realizar a programação do sistema embarcado conforme algumas informações que o veículo disponibiliza via rede de comunicação.

Figura 47 – Funções módulo PSM: (a) funções adaptáveis (b), exemplos de funções PSM

Exemplos de função adaptável do veículo	
Ativação da luz interior/exterior	Ligue faróis altos, faróis baixos, luzes de pé, piscas à esquerda e/ou à direita
Ativação de alarme	Ative a campainha interna, buzina e/ou luzes de advertência de perigo
Controle de travamento central	Trave ou destrave todo o veículo, seção da cabine e/ou seção de carga
Limpadores de para-brisa	Ative os limpadores de para-brisa em diferentes configurações e velocidades
Áudio mudo	Silencie o rádio quando, por exemplo, quando o veículo estiver em marcha à ré ou dirigir
Prevenção de partida do motor	Enquanto o motor já está desligado, a partida do motor é impedida
Exibições de texto no painel de instrumentos	Exibir textos solicitados de um conjunto de textos disponíveis (por exemplo, 'Rádio silenciado', 'Farol alto ligado', 'Cobertura aberta')
Controle do Power Windows	Abertura e fechamento manual e automático de janelas

(a)

Exemplos de funções PSM	
Função de alarme	1. A porta de carga abre → 2. O PSM fornece sinal alto para o pino de saída designado → 3. O pino alimenta o alarme de reposição
Função de desbloqueio	1. Botão de reposição conectado à entrada PSM ativado → 2. PSM recebe sinal de entrada alto → 3. Destravamento das portas de carga via PSM
Função das luzes de aviso de perigo	1. Botão de reposição conectado à entrada do PSM ativado → 2. O PSM recebe sinal de entrada alto → 3. Luzes de advertência de perigo ativadas
Função de luz de reposição	1. Seta esquerda acionada manualmente → 2. O PSM fornece sinal baixo ao pino de saída designado → 3. O pino alimenta a luz de reposição.

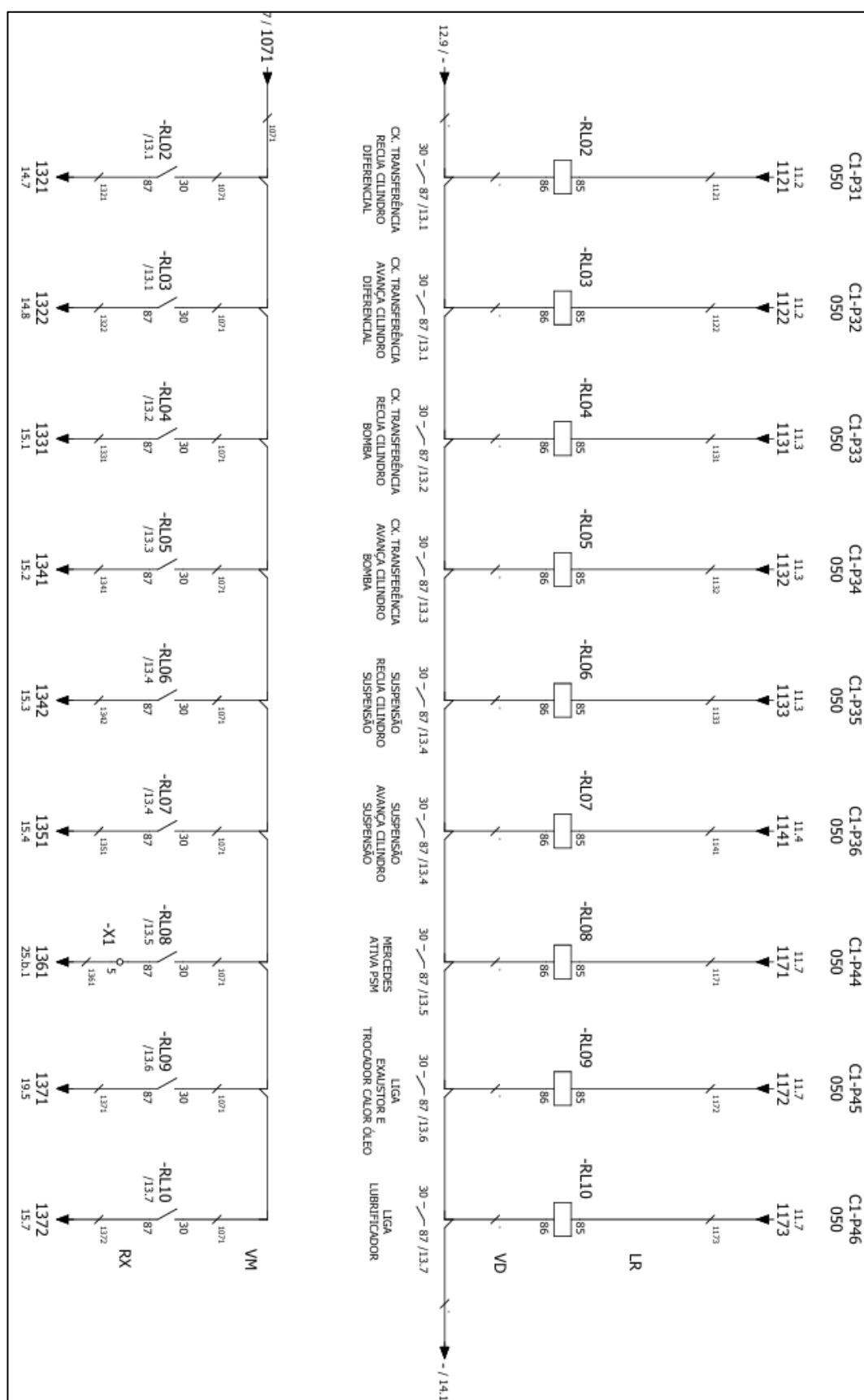
(b)

Fonte: Mercedes Benz (2024)

Baseado nas informações que podem ser disponibilizadas pelo veículo com a utilização

A figura 48 apresenta com maiores detalhes as conexões dos sinais de saídas digitais via reles de interface para acionamento dos cilindros da caixa de transferência de torque com o qual as devidas funcionalidades e lógicas de programação utilizadas serão abordadas nas próximas seções.

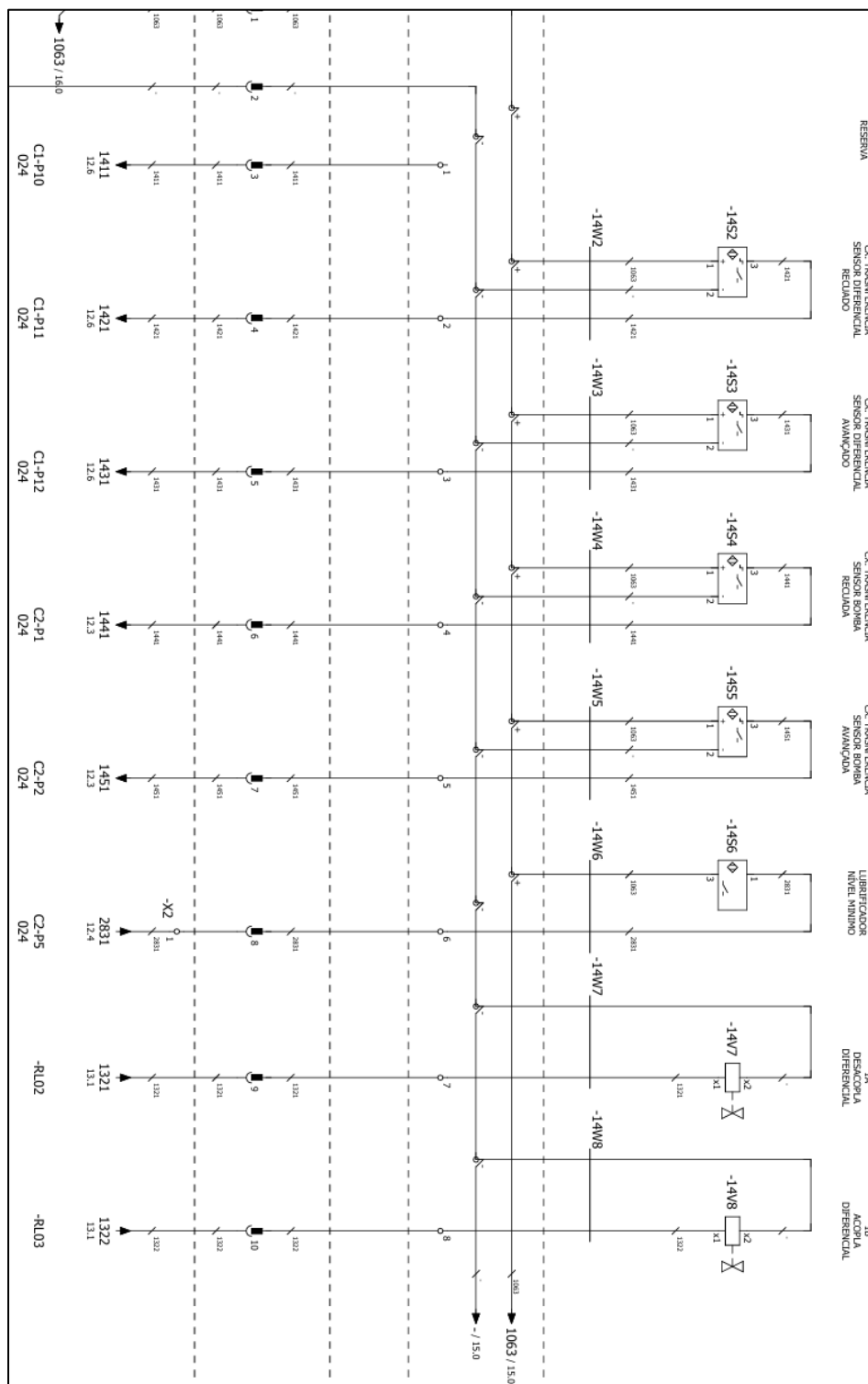
Figura 48 – Conexões de sinais de entrada e saída no painel de controle



Fonte: Autor (2023)

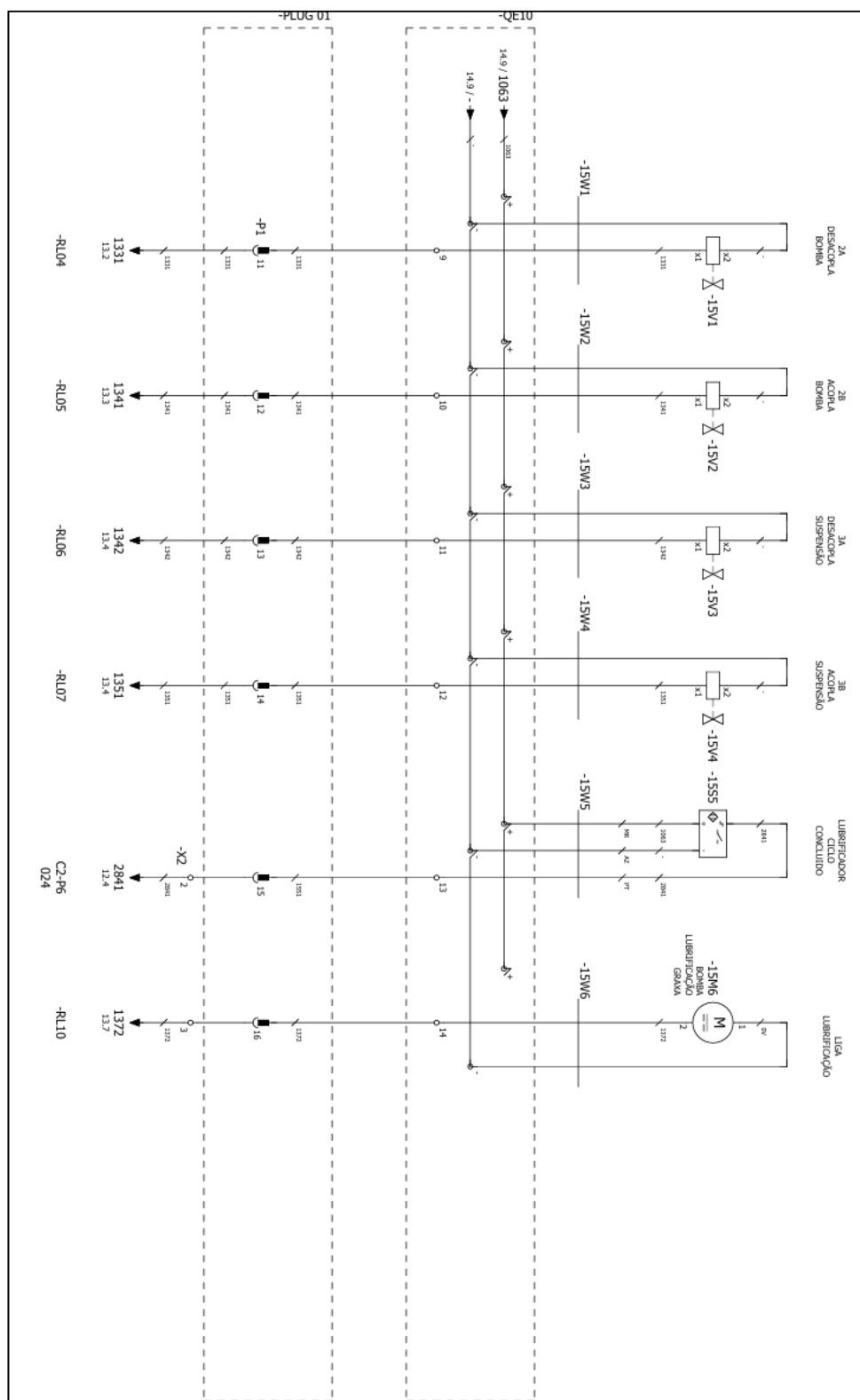
Após feito o acionamento dos reles de interface, são mostradas nas Figuras 49 , 50 e 51 as conexões dos sensores e válvulas de controle responsáveis pelo acionamento do SECAMS, sistema de acionamento dos motores hidráulicos e sinalização.

Figura 49 – Conexões dos sensores no painel de controle.



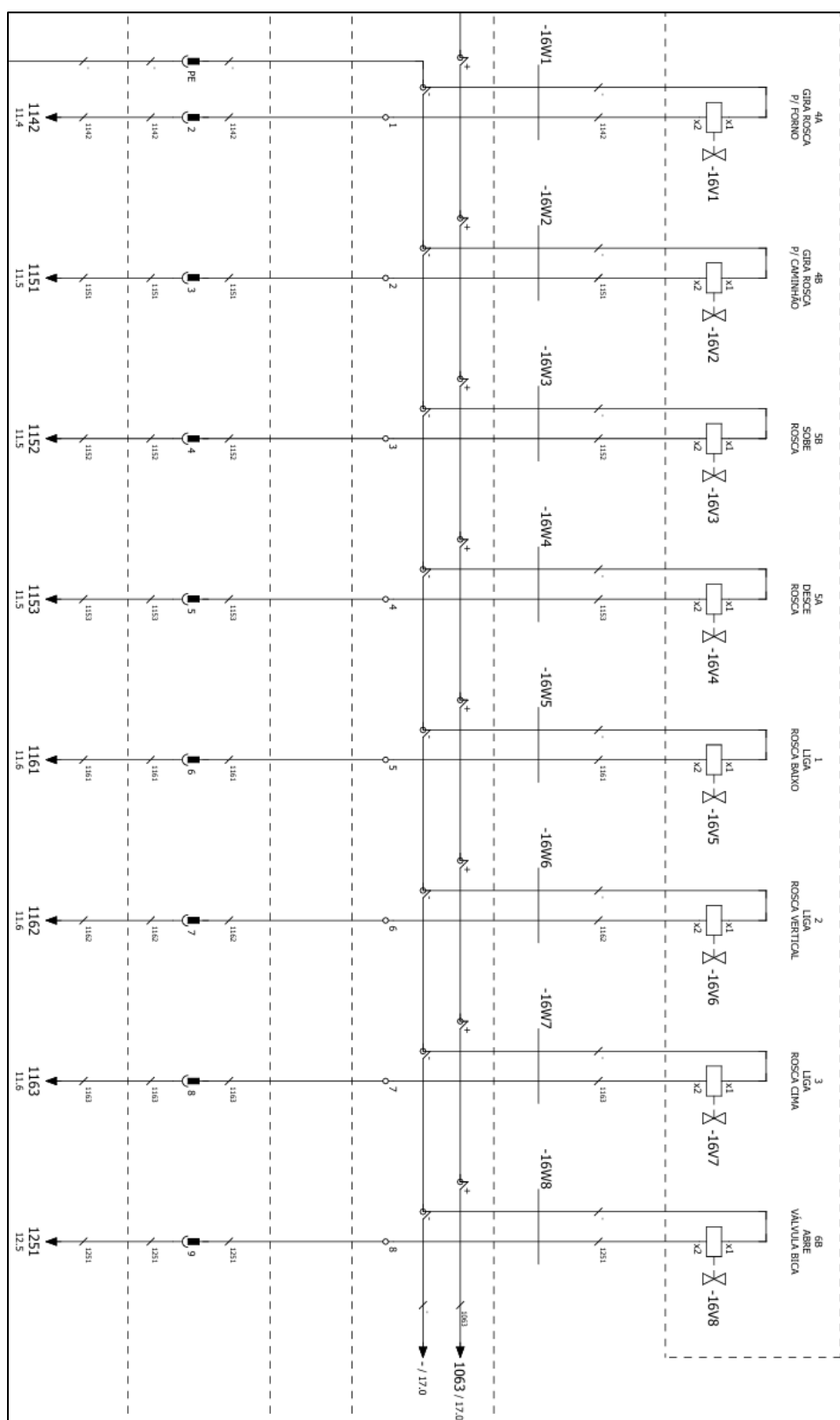
Fonte: Autor (2023)

Figura 50 – Conexões de sinais de entrada e saída no painel de controle para caixa de transferência de toque.



Fonte: Autor (2023)

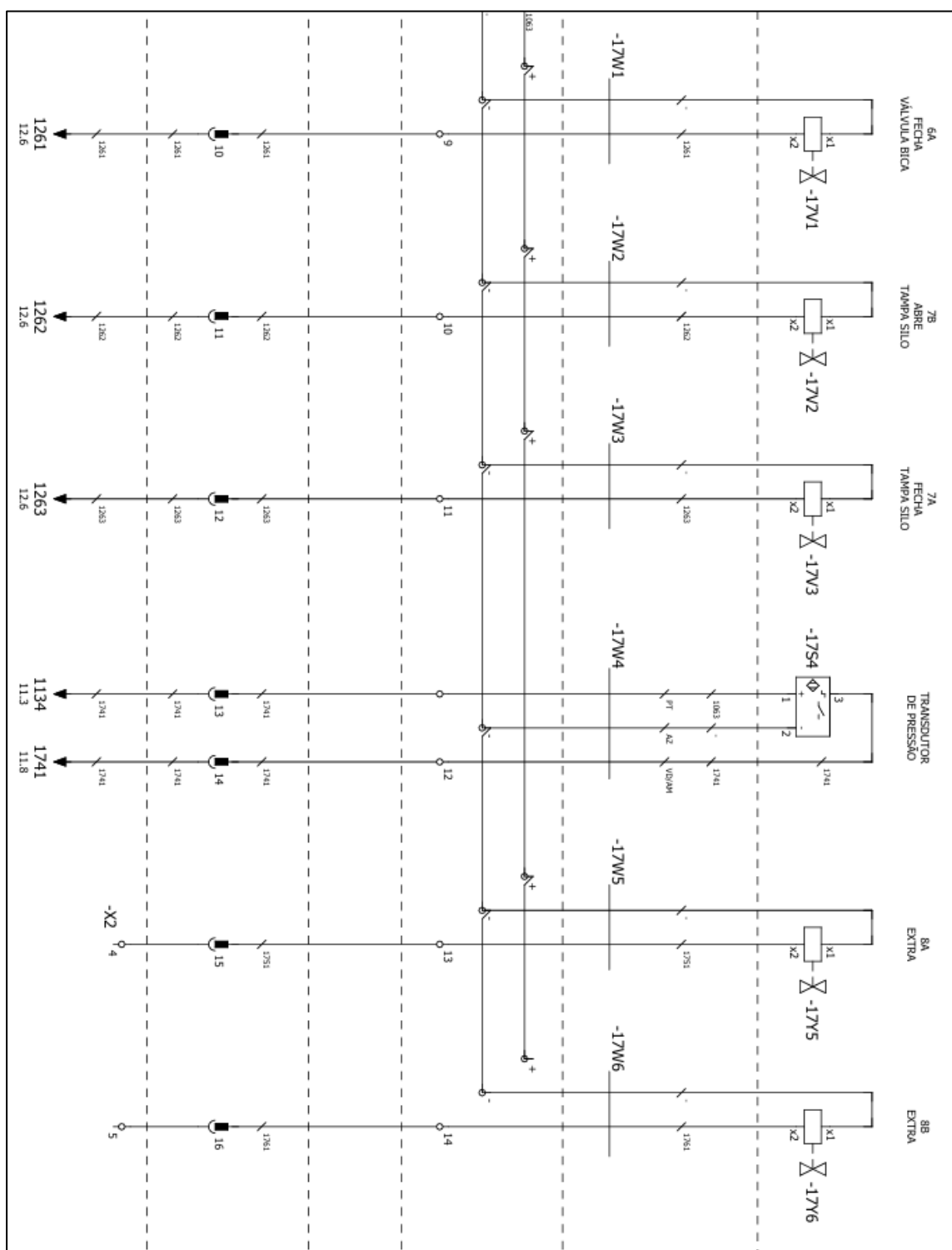
Figura 51 – Conexões de sinais de saída no painel de controle para os transportadores helicoidais.



Fonte: Autor (2023)

A figura 52 apresenta as conexões dos sensores e válvulas de controle para abertura e fechamento do sistema de saída de material do sistema.

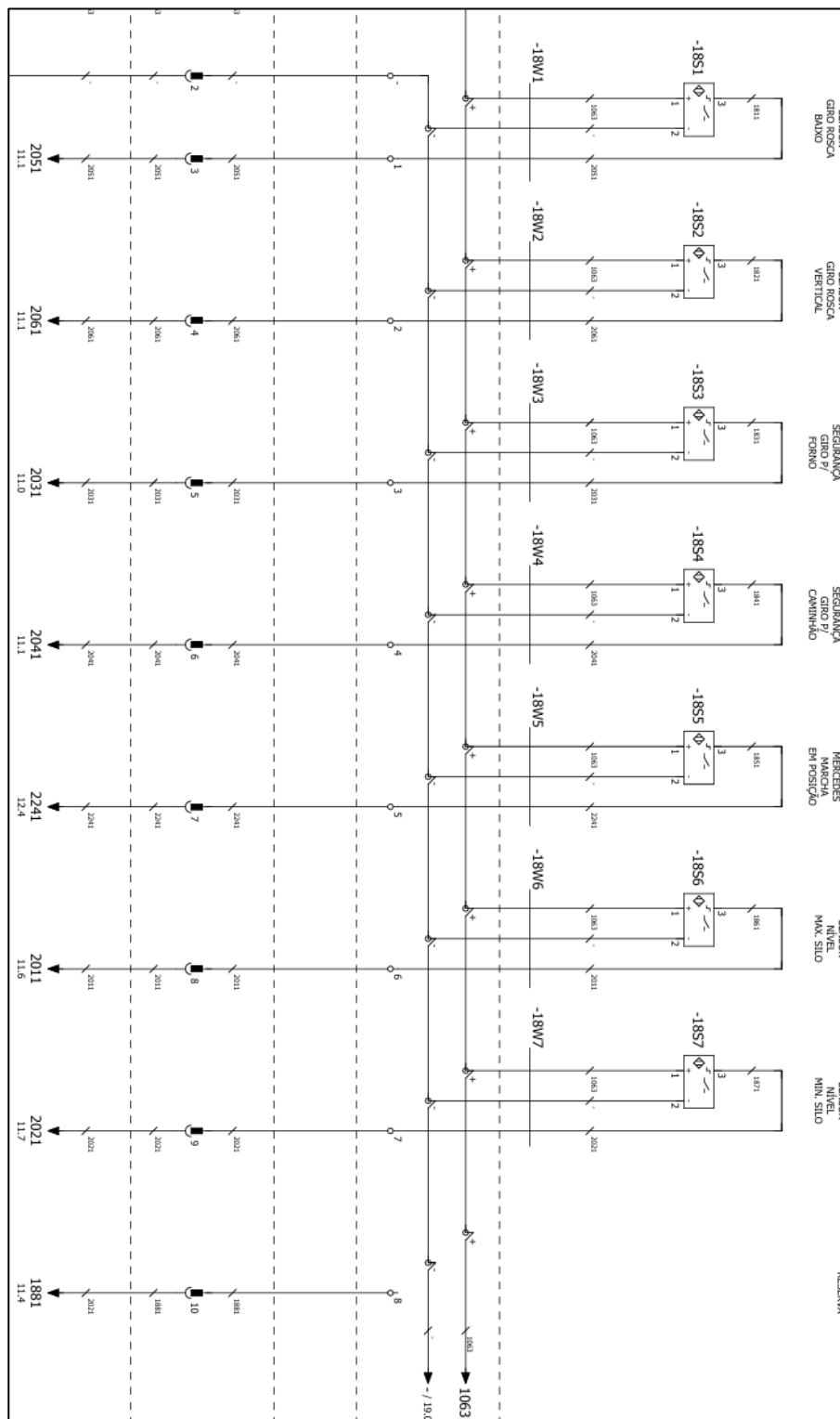
Figura 52 – Conexões de sinais de saída no painel de controle para sistema de descarga.



Fonte: Autor (2024)

A figura 53 apresenta os sinais de rotação de velocidade dos transportadores helicoidais, nível de material no reservatório instalado no veículo e sinais de segurança para proteção da funcionalidade do veículo com o SECAMS.

Figura 53 – Conexões de sinais de entrada de sensores do sistema.

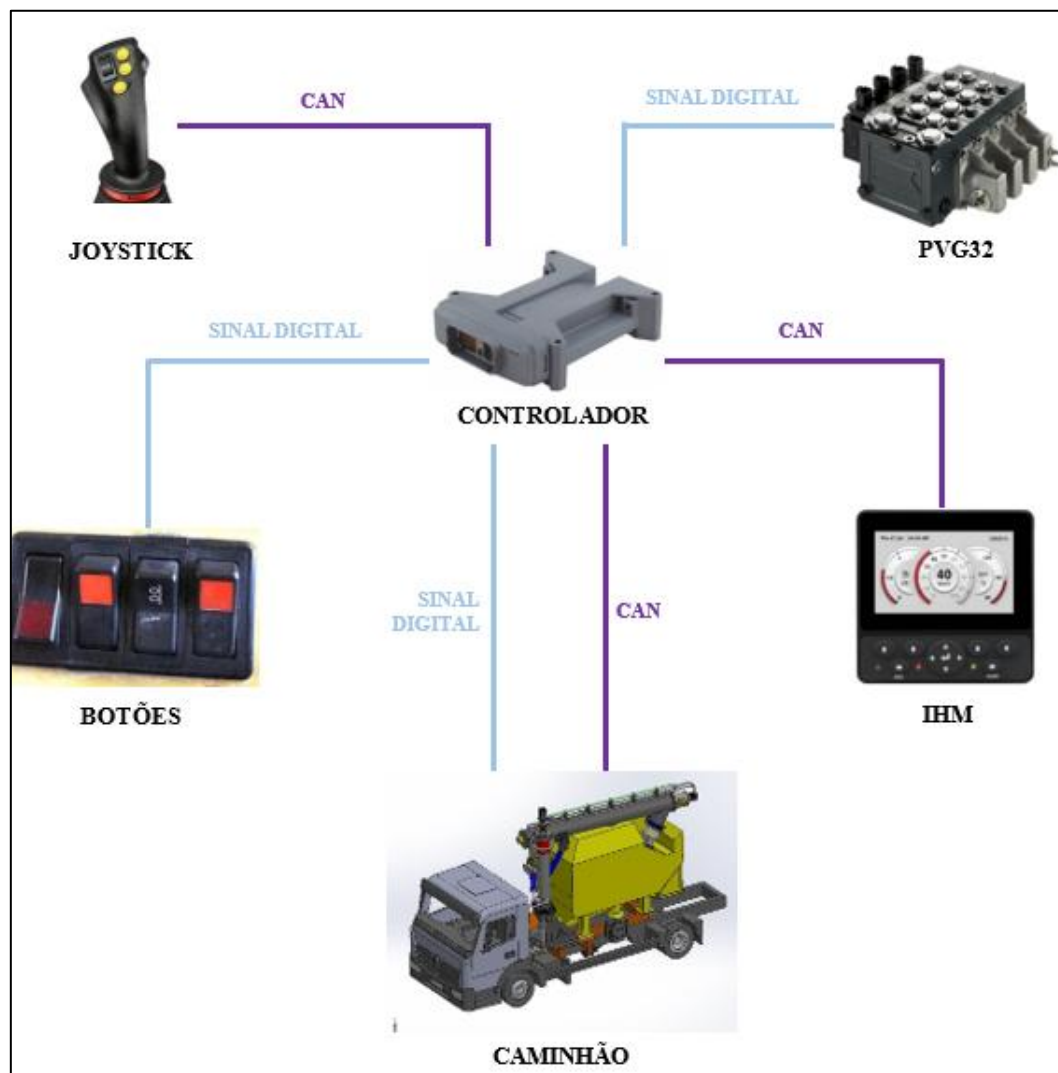


A topologia de interligação dos componentes elétricos e demais periféricos está baseada na arquitetura de rede CAN, já abordada anteriormente, sendo responsável pela interligação do controlador, interface homem-máquina módulo de válvulas e o sistema de controle do caminhão para coleta de informações necessárias para o intertravamento e funcionamento adequado do sistema.

Neste desenvolvimento também foi necessário o uso de sinais digitais para comunicação ponto a ponto entre o controlador e o módulo hidráulico e para os botões de liberação do sistema de abastecimento.

A figura 54 representa a topologia de interligação dos componentes adotada para esse desenvolvimento.

Figura 54 – Topologia de Interligação dos Componentes eletrônicos.



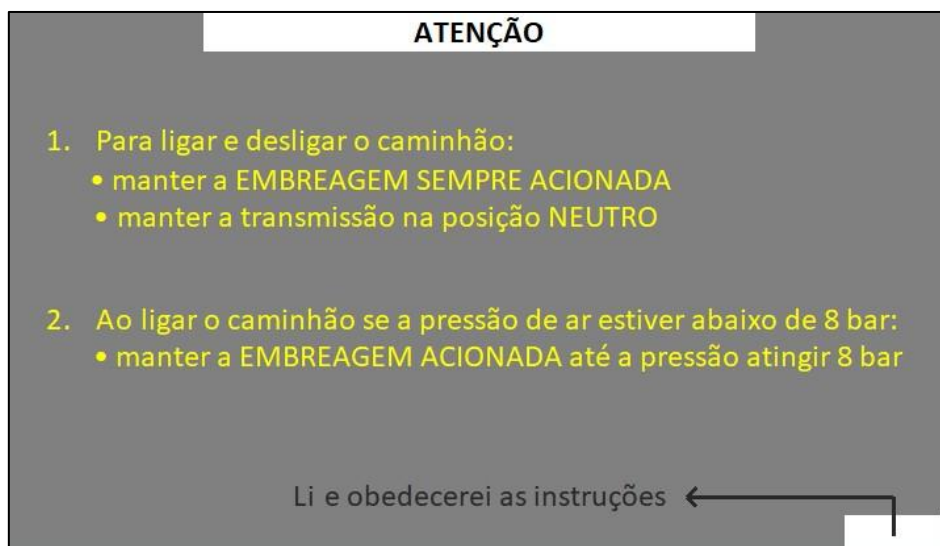
Fonte: Autor (2024)

6.2 Procedimentos operacionais (Botões, Joystick e IHM):

O veículo possui dois modos de operação sendo um modo de movimentação normal com a tração do veículo para as rodas do sistema e outro modo de operação para que o dispositivo inicie o processo de abastecimento. A necessidade destes dois modos de operação é devido a possibilidade de colisão do dispositivo caso o mesmo não esteja na posição inicial durante o processo de operação normal do veículo e também para evitar que a caixa de transferência e transmissão do veículo seja danificada. Existem intertravamentos específicos para que esse processo não seja realizado os quais serão detalhados nas seções seguintes.

Ao ligar a chave do veículo, é exibida uma tela com procedimentos de extrema importância que devem ser seguidos durante a operação do veículo. A figura 55 apresenta as informações iniciais para o início do funcionamento do sistema.

Figura 55 – Tela inicial do sistema.

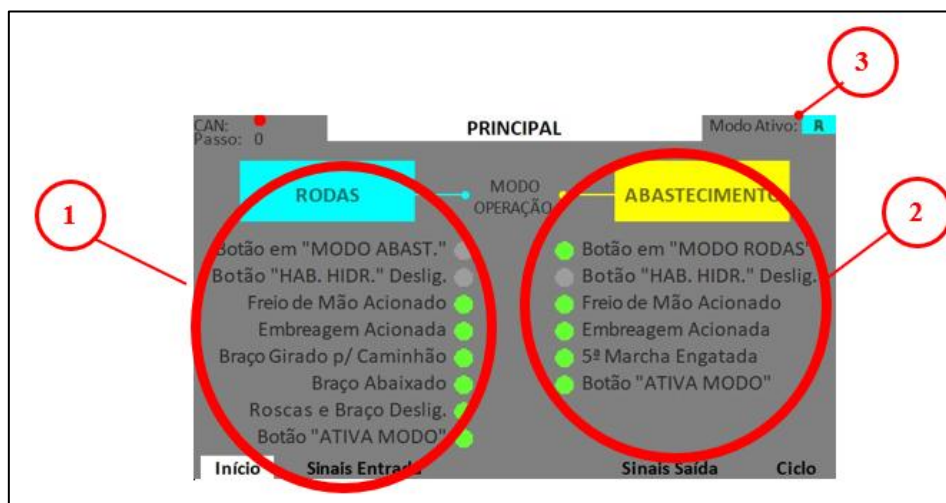


Fonte: Autor (2024)

Ao pressionar o botão “Li e obedecerei às instruções” (Figura 52), o usuário é direcionado à tela principal de operação do sistema onde deverá selecionar as funções e operação existentes no dispositivo e também as condições necessárias para o funcionamento correto do sistema e do veículo.

Para este sistema embarcado especial foi implementado no veículo dois modos de operação nomeados como modo “RODAS” e modo “ABASTECIMENTO”, apresentados na Figura 56.

Figura 56 – Tela principal dos modos de operação do SECAMS.



Fonte: Autor (2024)

O modo “RODAS” representado pelo número “1” na figura 56 tem a função de realizar o acoplamento do motor do veículo com as rodas para que o veículo realize a sua movimentação. Para que seja possível a realização da movimentação do veículo, as seguintes condições devem ser atingidas na lógica de controle:

1. Modo “RODAS” selecionado no display do controlador;
2. Sistema hidráulico deve estar desabilitado;
3. Freio de mão do veículo deve estar acionado;
4. Embreagem do dispositivo deve estar acionada;
5. Sistema de abastecimento na posição inicial, ou seja recolhidos no veículo;

Motores hidráulicos das roscas de abastecimento devem estar desligados.

O modo “ABASTECIMENTO” representado pelo número “2” na Figura 53, tem a função de realizar a retirada do material existente no silo do veículo para os tanques de abastecimento localizados ao longo de toda a área fabril ou local a ser utilizado.

Para que seja possível a realização do sistema de abastecimento do sistema, as seguintes condições devem ser atingidas na lógica de controle:

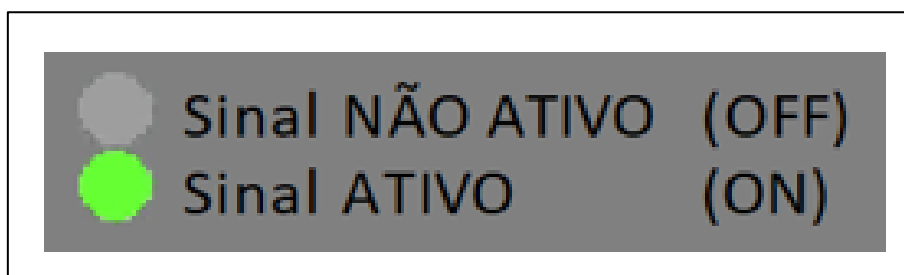
- Modo “ABASTECIMENTO” ativado no display do controlador;
- Sistema hidráulico deve estar acionado;
- Freio de mão deve estar acionado para o processo de abastecimento;
- Embreagem acionada;

O câmbio do veículo deve estar acionado na 5 marcha para que seja possível atingir a velocidade de 1500RPM na caixa de transferência para que, com isso, ocorra uma melhor eficiência no sistema hidráulico para movimentação dos motores e pistões de movimentação das roscas.

O item “3” da Figura 56 apresenta a indicação de qual modo está ativado, sendo R o modo RODAS que ativa as rodas e permite o deslocamento do caminhão e A o modo ABASTECIMENTO que ativa o sistema e permite o abastecimento dos tanques na área fabril.

Para ativar um modo de operação é necessário que todas as condições (sinais) do respectivo modo estejam ligadas. A figura 57 mostra a representação do sinal ativo e não ativo.

Figura 57 – Representação de sinal ativo e não ativo no sistema .



Fonte: Autor (2024)

Vale salientar que é possível a operação de apenas um dos modos por vez, ou seja, modo “RODAS”, ou modo “ABASTECIMENTO”. Não é possível ativar e operar os dois modos de operação simultaneamente.

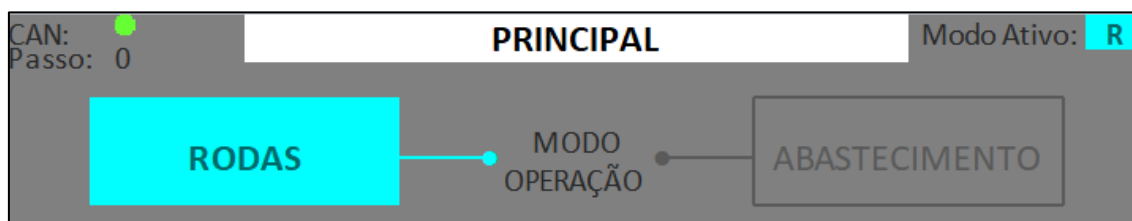
6.3 Procedimentos operacionais – Ativação do modo RODAS:

Para ativar o modo “rodas” será necessário manter ativas todas as condições indicadas na seção 6.2 e por fim pressionar o botão “ativa modo” localizado no painel do Joystick.

A bomba hidráulica do sistema será desabilitada e as rodas do caminhão serão ativadas.

Será exibida na IHM a indicação apresentada pela figura 58.

Figura 58 – Representação do modo rodas ativo no sistema.



Fonte: Autor (2024)

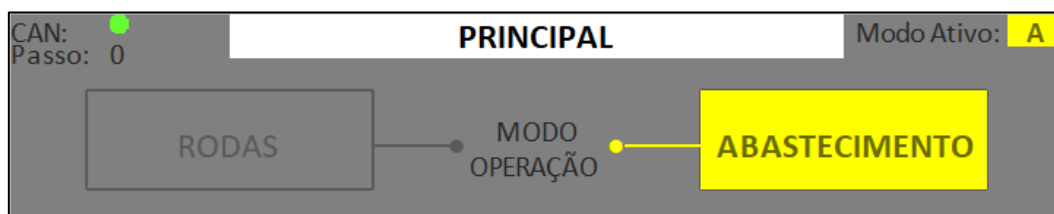
A partir deste momento, o veículo está apto para se locomover e se posicionar para o início do processo de abastecimento.

6.4 Procedimentos operacionais – Ativação do modo ABASTECIMENTO:

Para ativar o modo abastecimento, serão necessárias todas as condições indicadas na figura 56 ativadas e por fim pressionar o botão “ativa modo” localizado no painel do *joystick*.

As rodas do caminhão serão desabilitadas e a bomba hidráulica do braço/roscas será ativada. A figura 59 apresenta o informativo de qual modo foi selecionado, nesse caso a seleção foi para o modo ABASTECIMENTO.

Figura 59 – Representação do modo abastecimento ativo no sistema.



Fonte: Autor (2024)

Ao soltar a embreagem a bomba hidráulica estará ativa, porém nenhum acionamento hidráulico ainda estará habilitado.

Neste momento, automaticamente aparecerá a tela ciclo de trabalho do sistema de abastecimento do veículo. Nela o usuário é orientado pelo sistema para a ativação dos acionamentos hidráulicos.

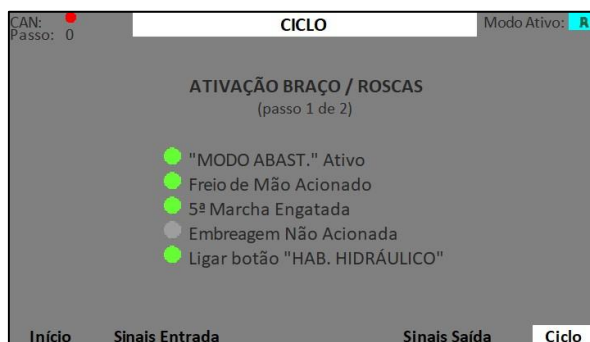
Basicamente será necessário realizar duas ações por parte do usuário:

Passo 1 – ligar o botão “Habilita Hidráulico”;

Passo 2 – pisar e soltar a embreagem.

A figura 60 mostra os itens necessários para a ativação do modo abastecimento do sistema.

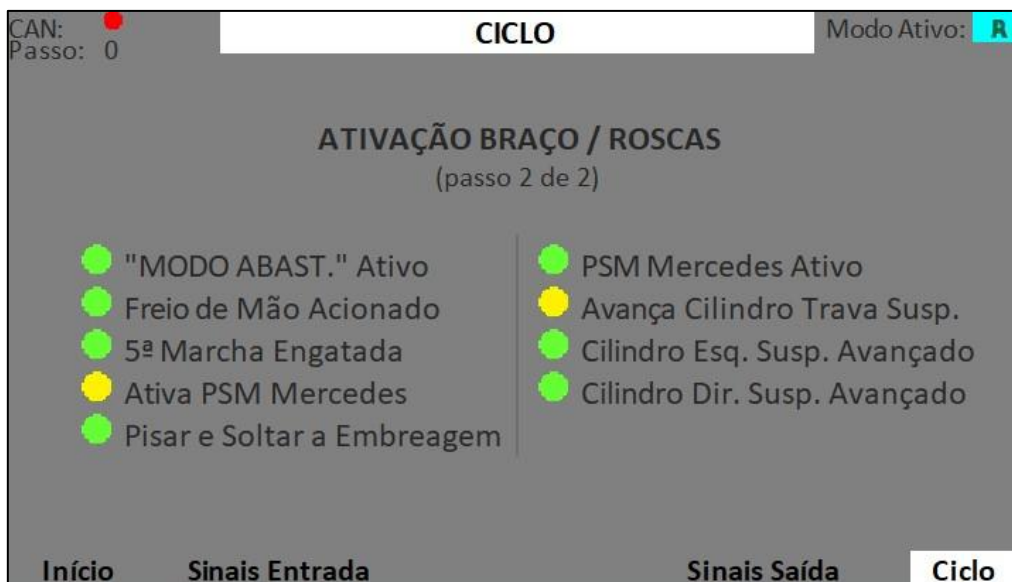
Figura 60 –Condições para acionamento do modo abastecimento.



Fonte: Autor (2024)

A figura 61 apresenta as condições necessárias para início do processo de abastecimento e ativação dos transportadores helicoidais responsável pela transferência do material a ser abastecido na área fabril.

Figura 61 –Condições para acionamento dos transportadores helicoidais.



Fonte: Autor (2024)

A figura 62 apresenta o status de cada um dos elementos necessários para a realização do processo de abastecimento que é controlado através do *joystick* que possui a função de realizar os comandos, acionamento dos transportadores e também para o acionamento dos cilindros hidráulicos responsáveis pela movimentação dos transportadores nos eixos X, Y e Z.

Figura 62 – Sinais de interface dos motores e transportadores helicoidais.



Fonte: Autor (2024)

A tela de status apresenta as seguintes informações:

- Sinais operacionais durante a operação das Roscas;
- Sinais e instruções para operação do Braço / Roscas;
- Sinais operacionais dos processos secundários (abertura de tampa de silo, engraxador, exaustor, etc.).

Após concluir o abastecimento é só desligar o botão “habilita hidráulico” e para retornar à tela principal, mudar o botão de seleção do “modo operação” (primeiro botão à esquerda) para o “ modo rodas ” ou pressionar na IHM o botão “Início”.

6.5 Lógica de programação e características construtivas do controlador

Nessa seção será mostrado algumas lógicas de programação que foram necessárias para a realização das proteções e intertravamentos mecânicos e elétricos do SECAMS.

Para esta aplicação será utilizado o controlador da empresa DANFOSS modelo MC024-118. A seleção deste controlador se baseia no fato de a sua tensão de operação possuir uma faixa de 9 a 36VDC, temperatura de operação até 70°C e corrente de saída de 8A. A figura 63 apresenta as características técnicas do controlador.

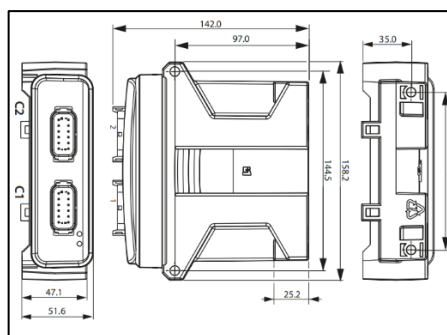
Figura 63 – Características do controlador MC024-118.

Supply voltage	9 to 36 V _{DC}
Operating (ambient) / Programming temperature	-40°C to 70°C [-40°F to 158°F]
Storage temperature	-40°C to 85°C [-40°F to 185°F]
IP rating (with mating connector)	IP 67
EMI/RFI rating	100 V/m
Weight	0.40 kg [0.88 lb]
Vibration/Shock	IEC 60068-2: 64/27 test Ea
Max. current (source/sink)	8 A

Fonte: Danfoss (2023)

A figura 64 apresenta as dimensões do controlador, a partir da quais é possível constatar seu tamanho reduzido, o que facilita a instalação do dispositivo em sistemas embarcados onde o espaço é limitado.

Figura 64 – Dimensões do controlador MC024-118.



Fonte: Danfoss (2023)

6.6 Lógica de programação do controlador:

O veículo adotado neste trabalho é um caminhão do fabricante Mercedes Benz modelo ATEGO 1719 que possui algumas informações já disponibilizadas no protocolo CAN para a realização da integração entre sistemas embarcados.

Este veículo possui duas baterias de 12 V associadas em série para alimentação do veículo com tensão nominal de 24 V e capacidade de corrente de 100 Ah.

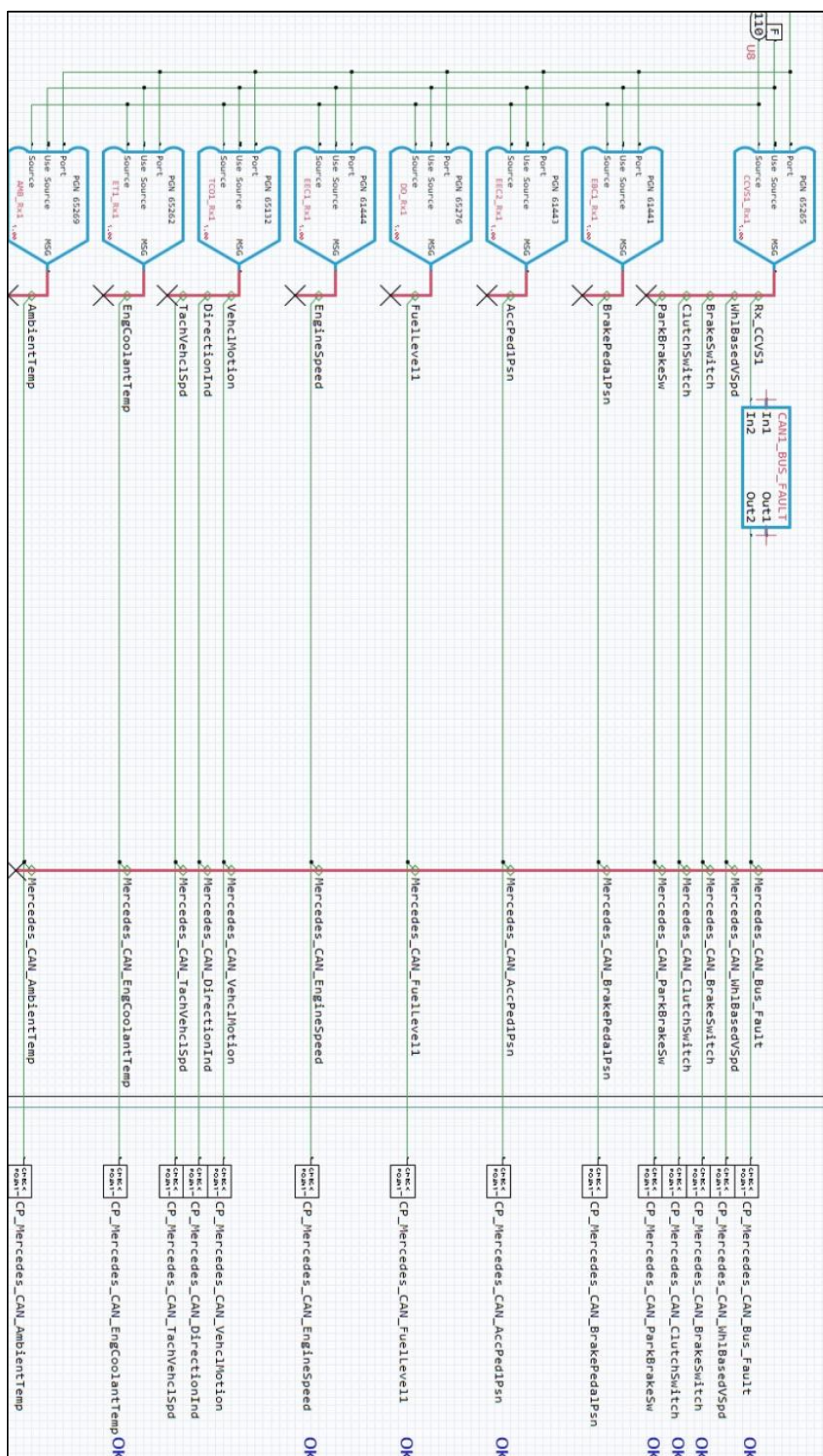
Para o desenvolvimento do software responsável pela integração entre o SECAMS e os módulos controladores do veículo, onde foi construída toda a lógica de programação do SECAMS e a interface entre os controladores do veículo.

A seguir serão detalhados os blocos de controle e programação utilizados para o funcionamento e proteção do SECAMS no veículo.

A Figura 65 apresenta uma programação do controlador com a lógica de interface entre os controladores do caminhão e do SECAMS a ser desenvolvido. Conforme já dito anteriormente, estes sinais são transferidos pela rede CAN disponível no controlador para o módulo PSM disponível no veículo. Nesta etapa de programação foi possível verificar que o módulo PSM possui uma grande quantidade de sinais que são disponibilizados ao controlador. Para este desenvolvimento foram utilizados os seguintes sinais:

- Rede CAN em falha;
- Freio do veículo acionado;
- Nível de combustível do veículo;
- Comando de embreagem para definição de qual marcha está acoplada ao sistema de transferência;

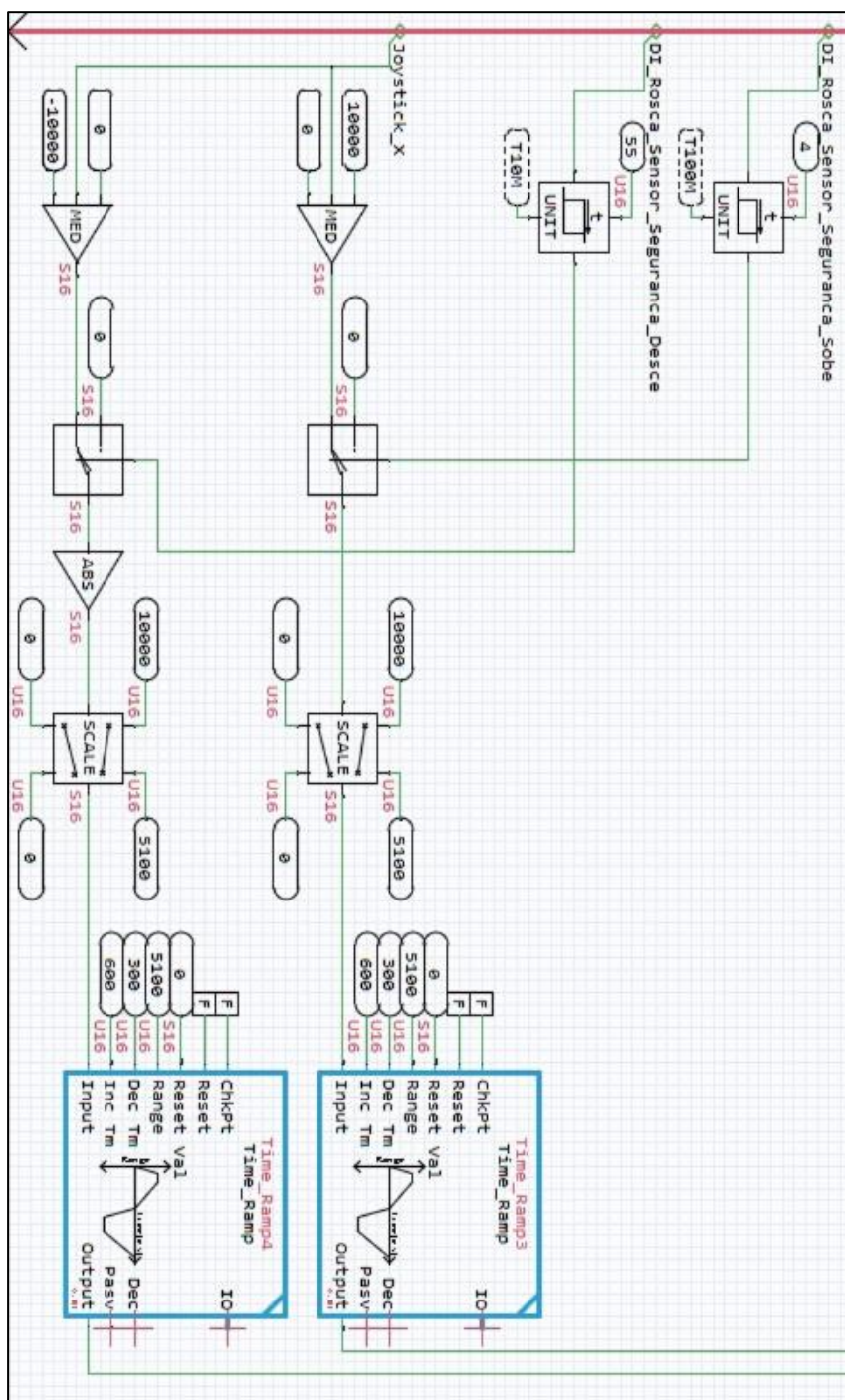
Figura 65 – Lógica de interface do controlador com o veículo.



Fonte: Autor (2024)

A Figura 66 representa a lógica de intertravamento do sistema de controle com as necessidades do desenvolvimento. Como visto anteriormente o veículo não pode ser movimentar com os transportadores em operação e também o transportador superior deve estar em sua posição inicial. Como se tem um joystick que é responsável pelo controle dos movimentos dos transportadores, está lógica também está inserida.

Figura 66 – Lógica de intertravamento do controlador com o veículo.



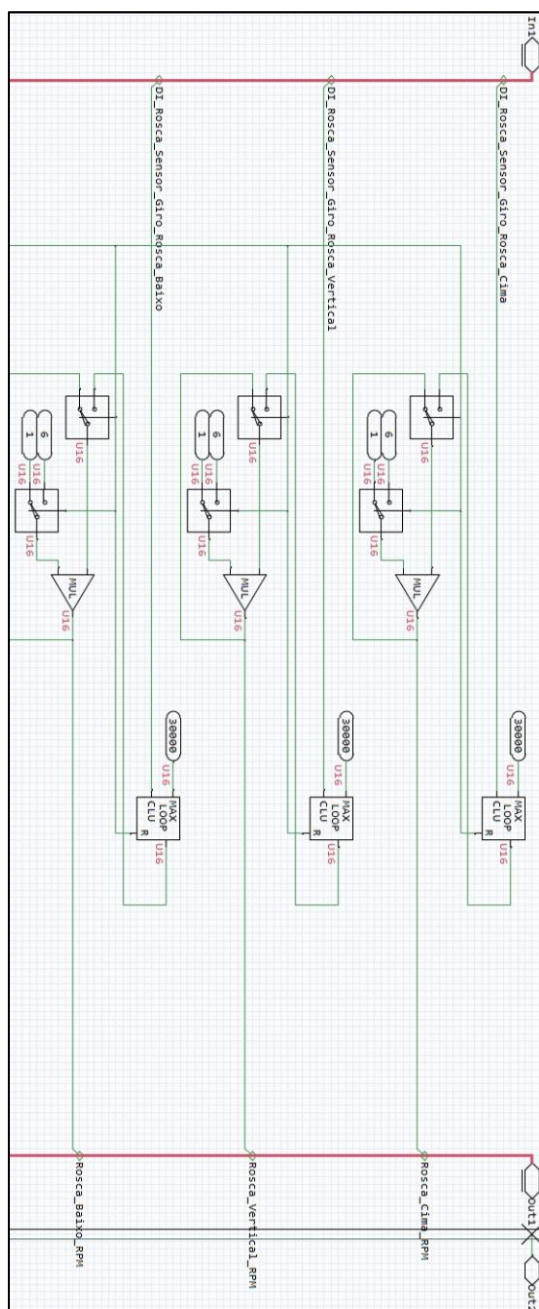
Fonte: Autor (2021)

Um elemento importante desta lógica é o uso do bloco de instrução TIME-RAMP cuja função é ajustar a velocidade de movimentação dos transportadores conforme os movimentos feitos pelo *joystick* para posicionamento do sistema de descarregamento.

Os sensores de segurança de subida e descida do transportador também estão incluídos na programação para que em caso ocorra uma movimentação fora do estipulado na escala, o movimento é bloqueado para evitar eventuais colisões do transportador.

A figura 67 apresenta a lógica de programação utilizada para o ajuste das velocidades dos transportadores e respectivos cálculos em rpm.

Figura 67 – Lógica de controle para cálculo de velocidade em RPM.

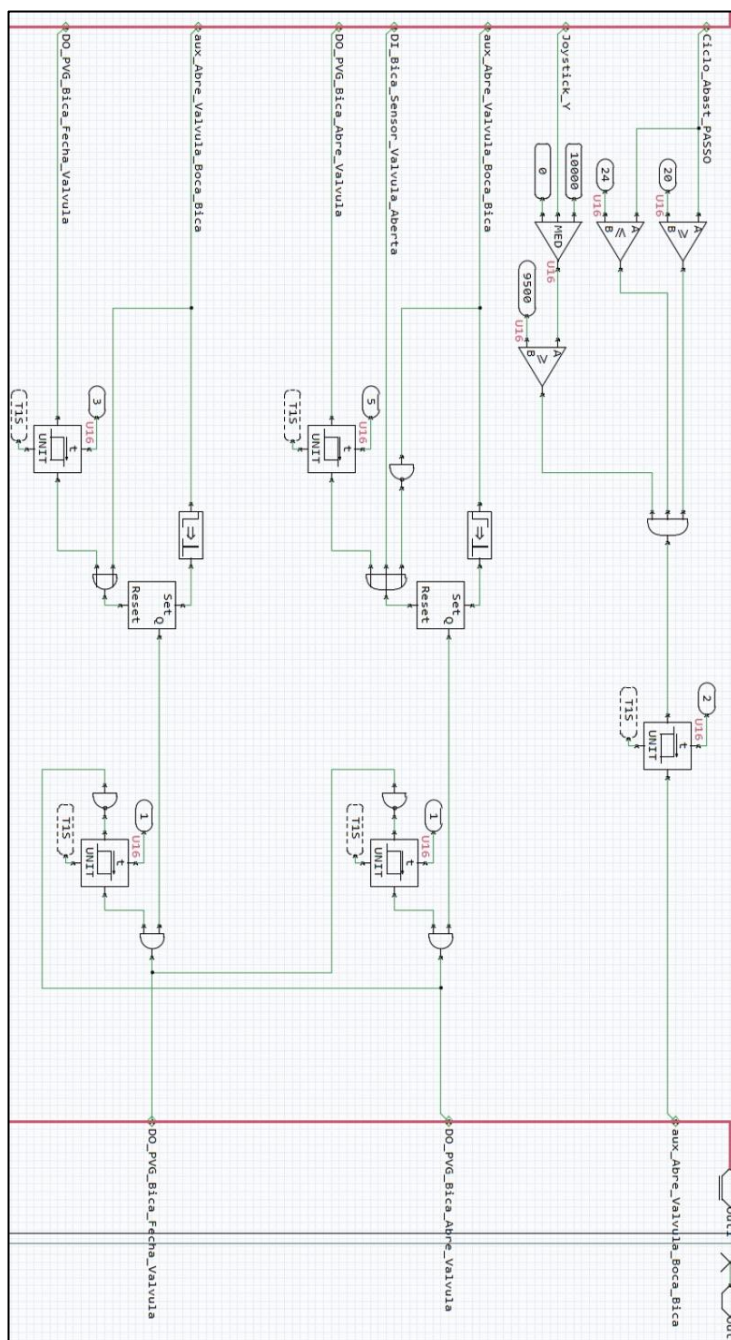


Fonte: Autor (2024)

É possível observar na Figura 66 que para este cálculo foi utilizado um sinal digital proveniente de sensores indutivos acoplados ao transportador para que seja possível obter a velocidade do transportador.

A figura 68 mostra a lógica de programação responsável pelo início do processo de descarregamento do material. É possível observar que este processo somente se inicia quando o transportador superior está em posição de abastecimento.

Figura 68 – Lógica de controle para início do processo de descarregamento.

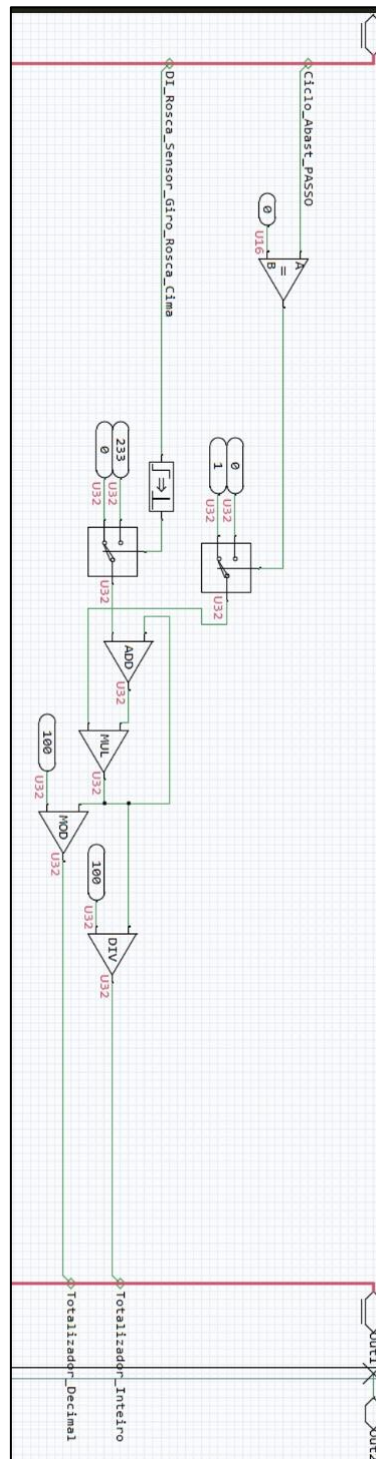


Fonte: Autor (2024)

Neste momento os motores também são acionados e o processo de abastecimento é iniciado. O mesmo será finalizado quando o totalizador de abastecimento atinge o limite estipulado ou quando o sensor de nível localizado no duto de saída é acionado pelo material.

A lógica de programação do sistema de totalização é mostrada na figura 69.

Figura 69 – Lógica de controle para totalização de material abastecido.



Fonte: Autor (2024)

A partir dos estudos e comandos inseridos para a realização da lógica de programação do sistema, foi elaborada a tabela 03 onde é mostrada a lista final de sinais de entrada e saída utilizados neste desenvolvimento.

Tabela 03 – Lista final de entradas e saídas do controlador.

Entradas			Saídas		
Seq	Tipo	Descrição	Seq.	Tipo	Descrição
1	Digital	Reservatório Cheio	1	Digital	Libera Freio Veículo
2	Digital	Nível Máximo Silo Veículo	2	Digital	Acionamento Exaustor
3	Digital	Nível Mínimo Silo Veículo	3	Digital	Ligar Rosca 1
4	Digital	Tampa Silo Aberta	4	Digital	Ligar Rosca 2
5	Digital	Tampa Silo Fechada	5	Digital	Ligar Rosca 3
6	Digital	Sensor Giro Rosca 1	6	Digital	Abre Sist. Descarga
7	Digital	Sensor Giro Rosca 2	7	Digital	Fecha Sist. Descarga
8	Digital	Sensor Giro Rosca 3	8	Digital	Abre Tampa Silo
9	Digital	Abertura Tampa Silo	9	Digital	Fecha Tampa Silo
10	Digital	Fechamento Tampa Silo	10	Proporcional	Válvula Sobe/Desce
11	Digital	Acionamentos Roscas 1,2,3	11	Proporcional	Válvula Direita/Esq.
12	Digital	Acionamento Freio			
13	Digital	Com. Joystick Liga Roscas			
14	Proporcional	Com. Joystick Sobe/Desce			
15	Proporcional	Com. Joystick Direita/Esq.			

Fonte: Autor (2024)

7. Implantação Física do SECAMS e Resultados.

Após a definição e aquisição, todos os componentes elétricos e mecânicos do SECAMS foram instalados no caminhão de teste.

A figura 70 apresenta o posicionamento do sistema de lubrificação automático dos mancais na estrutura do equipamento.

Figura 70 – Reservatório de graxa para sistema de lubrificação automática.



Fonte: Autor (2024)

A figura 71 apresenta o posicionamento do motor do transportador inferior e também do sensor de nível mínimo de abastecimento localizados na parte inferior da estrutura.

Figura 71 – Posicionamento motor hidráulico transportador inferior e do sensor de nível mínimo.



Fonte: Autor (2024)

A figura 72 apresenta o posicionamento do transportador helicoidal vertical já montado em conjunto com o reservatório de material na estrutura do veículo. Também se é possível observar o posicionamento dos cilindros hidráulicos responsável pelos movimentos verticais e horizontais do sistema.

Figura 72 – Posicionamento transportador vertical e cilindros hidráulicos.



Fonte: Autor (2024)

A figura 73 apresenta o duto de saída localizado no transportador superior já posicionado em condições de liberação do sistema de tração do veículo.

Figura 73 – Posicionamento duto de saída do transportador superior.



Fonte: Autor (2024)

A figura 74 apresenta o posicionamento dos painéis do controlador e do painel composto pelo *joystick* responsável pelas movimentações dos transportadores helicoidais. Os posicionamentos destes painéis foram realizados com o objetivo de facilitar a utilização do usuário do sistema.

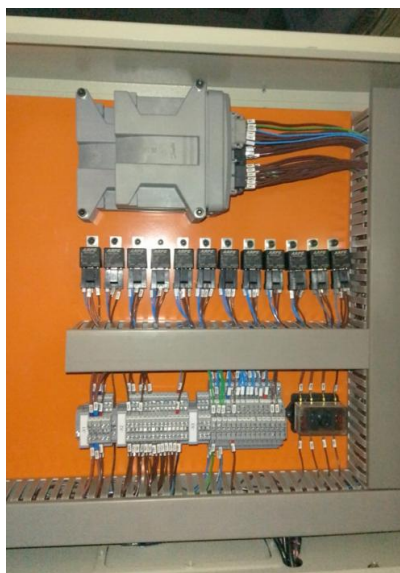
Figura 74 – Posicionamento painéis no veículo.



Fonte: Autor (2024)

A figura 75 mostra com maiores detalhes o painel de controle do SECAM para a realização dos movimentos dos transportadores helicoidais, início do ciclo de abastecimento e comunicação em rede CAN com o veículo.

Figura 75 – Painel de controle.



Fonte: Autor (2024)

A figura 76 mostra com maiores detalhes o painel de interface do usuário para a realização dos movimentos dos transportadores helicoidais.

Figura 76 – Painel de comando com joystick.



Fonte: Autor (2024)

A figura 77 apresenta a estrutura do reservatório de material sólido com os transportadores helicoidais, duto de saída entre outros componentes necessários.

Figura 77 – Reservatório de material posicionado no veículo.



Fonte: Autor (2024)

A figura 78 apresenta o posicionamento das tubulações do sistema hidráulico ao longo do SECAMS. Para facilitar o processo de montagem, foram utilizadas mangueiras hidráulicas de alta pressão nas curvas e conexões ao bloco de válvulas proporcionais utilizadas no projeto.

Figura 78 – Distribuição do sistema hidráulico usado no SECAMS.



Fonte: Autor (2024)

A figura 79 representa o posicionamento da estrutura responsável pelo giro do transportador helicoidal e da estrutura de sustentação do transportador no silo de armazenamento de material. Também se é possível observar o posicionamento dos sensores de limite de giro do transportador helicoidal vertical.

Figura 79 – Sistema de giro do transportador helicoidal vertical.



Fonte: Autor (2024)

Durante os testes de ciclo de transferência foram realizadas várias tomadas de testes de tempos de ciclo de transferência de material para verificar os melhores valores de velocidade dos transportadores para atendimento dos requerimentos do processo. No primeiro teste de ciclo foi obtido o tempo de ciclo de 6 minutos como é possível observar na Tabela 04.

Tabela 04 – Ajustes de velocidade dos transportadores durante primeiro teste com carga.

Velocidade transportador inferior (RPM)	Velocidade transportador Vertical (RPM)	Velocidade transportador Superior (RPM)	Quantidade de Material transferido (Kg)	Tempo de ciclo de transferência de Material (Minutos)
42	120	42	2000	6

Fonte: Autor (2024)

Neste primeiro ajuste foi obtido uma taxa de transferência de 333,33kg/min e conforme apresentado nas seções anteriores, o ciclo de trabalho esperado para este processo de transferência é de 2.000kg para um período de 3 minutos sendo o valor de 666,66kg/min.

Para que fosse atendido a transferência esperada, foram realizados os ajustes de velocidade dos transportadores como mostrado na Tabela 05.

Tabela 05 – Ajustes de velocidade dos transportadores após teste validado.

Velocidade transportador inferior (RPM)	Velocidade transportador Vertical (RPM)	Velocidade transportador Superior (RPM)	Quantidade de Material transferido (Kg)	Tempo de ciclo de transferência de Material (Minutos)
46	155	48	2000	3

Autor (2024)

Um ponto importante a ser destacado é a necessidade de manter a velocidade do transportador inferior a 46 com a finalidade de reduzir o desgaste dos elementos mecânicos dos transportadores devido à alta abrasão do óxido de alumínio para evitar o acúmulo de material sólido na saída do transportador vertical e entrada do transportador superior pois caso exista material em excesso neste ponto, podendo ocorrer o travamento do transportador inferior.

Com estes novos ajustes de velocidade foi obtido a transferência esperada de 666,66kg/min conforme esperado durante o desenvolvimento do projeto.

8. Considerações Finais:

O processo de transferência de materiais sólidos, conforme tratado neste trabalho, não é apenas uma operação logística, mas se configura como uma etapa crítica que define a eficiência e a qualidade em diversas cadeias produtivas, sendo que o sucesso dessa operação está intrinsecamente ligado à otimização do fluxo de material e à seleção estratégica da tecnologia de transporte. A escolha de transportadores helicoidais, em particular, demonstrou-se uma solução eficaz para este tipo de aplicação pois foi possível uma taxa de transferência maior do que o veículo *hencon* utilizado neste estudo comparativo. Sua combinação de alta capacidade de transferência com um *design* compacto oferece uma vantagem competitiva, especialmente para a integração de sistemas embarcados. Esta característica não só otimiza o espaço, um recurso valioso em ambientes industriais, mas também melhora a ergonomia e a segurança da operação.

O desempenho do sistema depende do controle preciso da transferência do material. Durante os testes com o SECAMS fisicamente instalado no caminhão, observou-se que a velocidade excessiva pode levar à segregação e à quebra de partículas, comprometendo as características do material e seu desempenho em fases posteriores da produção.

Nota-se que a decisão por um tipo de transportador não pode ser isolada, devendo ser acompanhada de um estudo detalhado sobre o material a ser transportado e as metas de qualidade do produto.

Além da eficiência e da qualidade, a segurança operacional é um pilar de igual importância. Com os testes na implantação física pode-se observar a relevância da integração de sensores de nível no sistema de controle que atuam não somente como medidores de quantidades, mas também são importantes para prevenir tensões excessivas que poderiam comprometer a longevidade do equipamento.

Paralelamente, a pesquisa sobre a comunicação entre sistemas revelou a grande utilidade do protocolo CAN para controle de sistemas embarcados em veículos que disponibilizam esta ferramenta de programação. A adoção desse protocolo como interface de comunicação entre o SECAMS e o veículo não é apenas uma escolha técnica, mas uma decisão estratégica que eleva o nível de segurança e funcionalidade. A arquitetura robusta do CAN permite a transmissão de múltiplos sinais com grande confiabilidade. Isso possibilita a implementação de intertravamentos funcionais complexos, garantindo que as operações só sejam executadas quando todas as condições de segurança são satisfeitas. Como um exemplo tem-se a operação do transportador só pode ser iniciada se o veículo estiver em uma posição segura e com o sistema de freio acionado, evitando acidentes e danos ao equipamento.

A capacidade de troca de dados em tempo real também permite a análise preditiva e a manutenção preventiva. Ao monitorar constantemente o desempenho dos componentes e a carga de trabalho, é possível prever falhas antes que elas ocorram, reduzindo o tempo de inatividade e os custos de manutenção.

Em síntese, o trabalho mostrou que a transferência de materiais sólidos é um sistema complexo cuja otimização depende da sinergia entre múltiplos fatores: a escolha criteriosa do

transportador, a implementação de sistemas de controle e a adoção de protocolos de comunicação eficientes. As descobertas sobre o desempenho do transportador helicoidal, a importância dos sensores de nível e a robustez do protocolo CAN pavimentam o caminho para a criação de sistemas de logística industrial mais seguros, eficientes e confiáveis.

No entanto, é fundamental reconhecer as limitações deste trabalho. A pesquisa concentrou-se em um tipo específico de material e transportador, o que sugere a necessidade de futuras investigações para testar a aplicabilidade e o desempenho do sistema em cenários mais diversificados. Seria relevante, por exemplo, analisar o comportamento do sistema com materiais pulverizados ou altamente abrasivos, bem como em diferentes condições climáticas. Outra área de aprofundamento é a otimização energética. Uma futura pesquisa poderia focar na análise do consumo de energia do sistema, buscando soluções para reduzir o uso de veículos a combustão da operação, alinhando a eficiência produtiva com as metas de sustentabilidade ambiental.

Referências:

BORTH, Tiago Fernandes. Analisando os impactos do uso do protocolo CAN FD em aplicações automotivas – estudo de caso. 2016. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Acesso em: 18 ago. 2024.

CEMA. 2009. CEMA Standard No.300. Conveyor Equipment Manufactures Association. Naples, Florida, Estados Unidos da América: s.n., 2009. Acesso em: 13 fev. 2024.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. Rumo à Indústria 4.0. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016. Acesso em: 25 set. 2024

CONVEYOR E&M. Screw Conveyor components & design. Miltona: Conveyor Engineering & Manufacturing Company, 2012. Acesso em: 22 fev. 2024.

DANFOSS. Motores hidráulicos industriais. [S. l.]: Danfoss, [2025]. Disponível em: <https://www.danfoss.com/pt-br/products/dps/motors/#tab-industrial-motors>. Acesso em: 7 set. 2025.

DA ROSA, João Paulo Hildebrandt et al. A evolução dos transportes terrestres: tecnologia e comodidade. In: MOSTRA INTERATIVA DA PRODUÇÃO ESTUDANTIL EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 2018, UNIJUI. Anais... Ijuí: UNIJUI, 2018. Acesso em: 18 ago. 2025.

ENDRESS+HAUSER. Level measurement. Endress+Hauser. [Reinach, Suíça]: Endress+Hauser, [2024]. Disponível em: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/level-measurement>. Acesso em: 02 dez. 2024.

GLOBAL HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA. Bombas hidráulicas: o que são e como funcionam? [S. l.], [2025]. Disponível em: <https://www.globalhp.com.br/bombas-hidraulicas-o-que-sao-e-como-funcionam/>. Acesso em: 7 set. 2025.

GOMES, Marllon Ananias Almeida. Vedações para cilindros hidráulicos. 2023. Acesso em: 18 nov. 2024.

GUALBERTO, Victor Soares. Projeto preliminar de transportador helicoidal aplicado a indústria salineira de Mossoró e região. 2019. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2019. Acesso em: 10 jan. 2025.

HENCON. Hencon – Serving progress. c2025. Disponível em: <https://www.hencon.com/hencon-serving-progress/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

KERSCHBAUMER, Ricardo. Microcontroladores: Estudo dirigido para aplicações automotivas. Luzerna: Instituto Federal Catarinense, [s.d.]. Acesso em: 25 abr. 2024.

LEITE, Phillipe Del Corno. Concepção analítica de tubo de perfuração helicoidal para condições de perfuração do pré-sal. 2020. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020. Acesso em: 07 mai. 2024.

MERCEDES-BENZ. [S.l.]: Mercedes-Benz, [2025]. Disponível em: <https://www.mercedes-benz.com/en/>. Acesso em: 20 set. 2024.

QCB SLEWING RINGS. [S. l.], [2025]. Disponível em: <https://qcbslewingrings.com/>. Acesso em: 7 set. 2025.

QUEIROS, Ralfe Luiz Grote Chaves Machado de. Projeto preliminar de um transportador helicoidal para ração de peixes. 2023. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2023. Acesso em: 29 abr. 2025.

SANTOS, J. W e LARA JR, R. C. Sistema de automatização residencial de baixo custo controlado pelo microcontrolador esp32 e monitorado via smartphone. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Acesso em: 11 nov. 2025.

SCHEIBEL, Matheus. Avaliação e dimensionamento de um sistema de transporte pneumático em uma indústria de leite em pó. 2018. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2018. Acesso em: 11 mar. 2025.

SIBRAVAC MECÂNICA SALTENSE LTDA. **Home**. [Salto, SP]: Sibravac, [2023]. Disponível em: <https://www.sibravac.com.br/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

SKF. Página inicial do Grupo SKF. [S. l.], [2025]. Disponível em: <https://www.skf.com/>. Acesso em: 7 set. 2025.

SCREW CONVEYOR CORPORATION. Screw Conveyor Catalog & Engineering Manual, 2020. Acesso em 14 jul. 2024.

YUSEN BRASIL. Cilindros hidráulicos. [S. l.], [2025]. Disponível em: <https://yusenbrasil.com/cilindros-hidraulicos/>. Acesso em: 7 set. 2025.