

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
Campus Ibirubá**

JOÃO HENRIQUE VIERA GATTO

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Desenvolvimento de um sistema hidráulico para implemento agrícola**

**Ibirubá
2023**

João Henrique Viera Gatto

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Desenvolvimento de um sistema hidráulico para implemento agrícola

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Projeto, fabricação e automação industrial.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Machado Cirino

Ibirubá
2023

GATTO, João Henrique Viera

Desenvolvimento de um sistema hidráulico para implemento agrícola. / João Henrique Viera Gatto, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Machado Cirino.

68 páginas, ilustrado.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Ibirubá, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. Sistemas hidráulicos . 3. Implementos agrícolas. 4. Pressão hidráulica. I. Cirino, Luciano Machado II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá. Curso de Graduação em Engenharia Mecânica.

Desenvolvimento de um sistema hidráulico para implemento agrícola.

João Henrique Viera Gatto

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Ibirubá, 06 de Dezembro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luciano Machado Cirino
IFRS campus Ibirubá

Prof. Dr. Cristiano Kulman
IFRS campus Ibirubá

Prof. Me. Hermes José Gonçalves Junior
IFRS campus Ibirubá

Dedico este trabalho aos meus pais Jaime Antonio Gatto (In Memoriam) e Roseli Claudia Gatto por colocarem-se em segundo plano para priorizar o bem-estar dos filhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por ter me acompanhado ao longo de todos os anos da minha graduação.

Agradeço a todos os familiares que me apoiaram ao longo desta jornada, com destaque para minha noiva Marília Sonda, que foi minha principal fonte de incentivo durante este desafiador período da graduação.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à empresa Stara S/A, pelo valioso suporte fornecido durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradecimento especial aos colegas de trabalho Tainan Ramon do Santos e Samuel Lopes de Souza, que não mediram esforços para auxiliar-me no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores do IFRS – Campus Ibirubá, especialmente ao Prof. Dr. Luciano Machado Cirino, pela orientação excepcional na realização deste trabalho.

“Até aqui nos ajudou o senhor”.

1 Samuel 7:12

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo apresentar um estudo de caso que envolveu uma proposta de melhoria no sistema hidráulico de um implemento agrícola fabricado pela empresa Stara S/A, com o propósito principal de desenvolver um mecanismo à prova de erros operacionais. Como metodologia, foi utilizado o *software* Fluidsim para projetar e simular o novo circuito proposto. Além disso, foi empregado instrumentos de medição de vazão e pressão para a instrumentação e validação das melhorias sugeridas. Após a conclusão da instrumentação e dos experimentos no circuito, se conseguiu definir os parâmetros ideais para o funcionamento do sistema, alcançando assim os principais objetivos deste trabalho.

Palavras chave: Hidráulica, Válvula de sequência, Pressão, Falha.

ABSTRACT

The present work aimed to present a case study that involved a proposal to improve the hydraulic system of an agricultural implement manufactured by the company Stara S/A, with the main purpose of developing an operational error-proof mechanism. As a methodology, the Fluidsim software was used to design and simulate the new proposed circuit. Furthermore, flow and pressure measuring instruments were used for instrumentation and validation of the suggested improvements. After completing the instrumentation and experiments in the circuit, it was possible to define the ideal parameters for the functioning of the system, thus achieving the main objectives of this work.

Keywords: Hydraulics, Sequence valve, Pressure, Failure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Implemento agrícola Bruttus 25000	14
Figura 2 - Trava elevada no modo transporte	15
Figura 3 - Implemento em modo transporte	15
Figura 4 – Trava e abafador suscetível à falha	16
Figura 5 - Diagrama hidráulico atual simplificado	17
Figura 6 - Circuito hidráulico original	18
Figura 7 - Representação de pressão hidráulica em um cilindro	22
Figura 8 - Exemplo de funcionamento da prensa hidráulica	23
Figura 9 - Diagrama circuito equipado com válvula de sequência	26
Figura 10 - Construção interna válvula de sequência	26
Figura 11 - Diagrama circuito equipado com válvula contrabalanço	27
Figura 12 - Simbologia válvula retenção simples	28
Figura 13 - Simbologia válvula retenção com desbloqueio hidráulico	28
Figura 14 - Simbologia válvula Poppet Type 2/2 vias . Acionamento por solenóide, reposicionada por mola	29
Figura 15 - Construção válvula direcional <i>Sliding spool</i> 4/3 vias, com acionamento por solenóide	30
Figura 16 - Construção interna cilindro de dupla ação	30
Figura 17 - Instrumentação do Bruttus 25000	32
Figura 18 - Exemplo de diagnósticos visíveis durante instrumentação	33
Figura 19 - Ilustração do <i>Parker Service Master Plus Measuring Device</i> P/N:K-SCM-500-01-00	34
Figura 20 - Medidor de vazão <i>Hydraulic Flow Meter</i> P/N SCFT-300-02-02	35
Figura 21 - Sensor de pressão P/N: SCPT 600-02-02	35
Figura 22 - Exemplo de gráficos gerados pelo software <i>SensoWin</i>	36
Figura 23 - Simulação no software FluidSim	37
Figura 24 - Diagrama destacando os pontos de medição da pressão	39
Figura 25 - Posição de medição do cilindro principal	40
Figura 26 - Posição de medição do desarme das travas	40
Figura 27 - Posição de medição da entrada do circuito	41
Figura 28 - Posição da regulagem na válvula de sequência	41

Figura 29 - Posição para instalação do <i>Flow Meter</i> ...	42
Figura 30 - Diagrama hidráulico demonstrando o ponto de medição da vazão	43
Figura 31 - Simulação no Software Fluidsim	44
Figura 32 - Diagrama hidráulico Hydac, do bloco direcional	45
Figura 33 - Diagrama hidráulico Hydac, do Bloco de Sequência	46
Figura 34 - Circuito completo proposto	47
Figura 35 - Fluxo de óleo para fechamento do implemento	49
Figura 36 - Fluxo de óleo para abertura do implemento	50
Figura 37 - Fluxo de óleo para travamento do implemento	51
Figura 38 - Fluxo de óleo para destravamento do implemento	52
Figura 39 - Gráfico de Pressão (bar) X Tempo (segundos) - Regulagem 186 bar	53
Figura 40 - Gráfico de Pressão (bar) X Tempo (segundos) - Regulagem 160 bar	55
Figura 41 - Gráfico de Pressão (bar) X Tempo (segundos) - Regulagem 140 bar	56
Figura 42 - Gráfico de Pressão (bar) X Tempo (segundos) - Regulagem 118 bar	57
Figura 43 - Gráfico de Pressão (bar) X Tempo (segundos) - Regulagem 38 bar	58
Figura 44 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (minutos) - Regulagem 12 l/min	59
Figura 45 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (minutos) - Regulagem 15 l/min	60
Figura 46 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (minutos) - Regulagem 24 l/min	60
Figura 47 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (segundos) - Regulagem 32 l/min	61
Figura 48 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (segundos) - Regulagem 38 l/min	61
Figura 49 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (segundos) - Regulagem 50 l/min	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	O IMPLEMENTO BRUTTUS 25000 E FALHAS OPERACIONAIS	14
1.1.1	Circuito hidráulico original do implemento	17
1.2	JUSTIFICATIVA	18
1.3	OBJETIVO	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	HIDRÁULICA	21
2.2.1	Pressão	22
2.2.2	Lei de pascal	22
2.2.3	Vazão Hidráulica	23
2.3	HIDRÁULICA MOBIL	23
2.4	VÁLVULAS	24
2.4.1	Válvulas de controle de pressão	25
2.4.2	Válvulas de bloqueio	25
2.4.3	Válvulas de controle direcional	27
2.5	ATUADORES HIDRÁULICOS	28
2.6	<i>POKA YOKE</i>	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	APARATO EXPERIMENTAL	32
3.1.1	Sistema de aquisição portátil	32
3.1.2	Medidor de vazão	33
3.1.3	Medidor de pressão	34
3.1.4	Software para análise de dados	35
3.1.5	Software para simulação de circuito proposto	35
3.2	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	36
3.2.1	Influência da regulagem na válvula de sequência	37
3.2.2	Influência da vazão na entrada no sistema	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1	NOVO CIRCUITO PROPOSTO	44
4.1.1	Circuito Completo	46
4.1.2	Bloco Direcional	47
4.1.3	Bloco de Sequência	48

4.2	INFLUÊNCIA DA REGULAGEM NA VÁLVULA DE SEQUÊNCIA	52
4.2.1	Válvula regulada em 186 Bar	52
4.2.2	Válvula regulada em 160 Bar	54
4.2.3	Válvula regulada em 140 Bar	56
4.2.4	Válvula regulada em 118 Bar	57
4.2.5	Válvula regulada em 55 e 38 Bar	58
4.3	INFLUÊNCIA DA VAZÃO NA ENTRADA DO SISTEMA	58
4.3.1	Vazão regulada em 12 l/min	59
4.3.2	Vazão regulada em 15 l/min	60
4.3.3	Vazão regulada em 24 l/min	60
4.3.4	Vazão regulada em 32 l/min	61
4.3.5	Vazão regulada em 38 l/min	61
4.3.6	Vazão regulada em 50 l/min	62
4.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	62
5	CONCLUSÃO	64
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS	64
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio no Brasil sempre teve papel fundamental na geração de riquezas e na economia do país. Estima-se que no ano de 2023 o setor venha a produzir 24,5% do PIB (CANAL RURAL, 2023). Diante disso, o setor de fabricação de máquinas e implementos agrícolas tem cada vez mais se desenvolvido, visando buscar soluções inteligentes e inovadoras para o agronegócio, de modo que o produtor rural tenha alto rendimento operacional e qualidade nas suas aplicações.

Neste âmbito, a empresa Stara S/A, fabricante de implementos agrícolas, com mais de 60 anos em atuação no mercado brasileiro e internacional, desenvolveu o implemento Bruttus 25000 (Figura 1). Esse implemento tem como principal finalidade a aplicação de corretivos agrícolas, se diferenciando dos demais implementos, pelo fato de distribuir o produto por meio de esteiras que aplicam o mesmo por gravidade e não em forma de lanço¹, como os demais concorrentes do mercado (STARA, 2023).

A operação eficiente do BRUTTUS 25000 depende em grande parte, do sistema hidráulico, que desempenha a realização de tarefas como:

- abertura e fechamento da máquina;
- acionamento das travas;
- abertura das grades;
- acionamento do sistema de taxa variável.

No entanto, é importante destacar que, assim como qualquer equipamento complexo, o BRUTTUS 25000 está sujeito a possíveis falhas operacionais, especialmente quando submetido a um uso inadequado. Desta forma, este trabalho visa explorar em detalhes as funcionalidades hidráulicas desse implemento agrícola e analisar as potenciais fontes de falhas que podem surgir devido a práticas impróprias de manuseio e propor soluções para que estas falhas sejam evitadas.

¹ O lanço é um método para aplicação de corretivos e fertilizantes agrícolas, no qual o mesmo é arremessado por discos equipados com palhetas direcionadoras por meio de força centrífuga.

Figura 1 – Implemento agrícola Bruttus 25000



Fonte: Stara (2023)

1.1 O IMPLEMENTO BRUTTUS 25000 E FALHAS OPERACIONAIS

O estudo de caso neste trabalho, aborda três falhas operacionais que podem ocorrer em caso de descuido do operador, durante os acionamentos hidráulicos no implemento BRUTTUS 25000.

O projeto da máquina permite que a função de travamento seja acionada enquanto a máquina está no modo de transporte (fechada), conforme ilustrado na Figura 2. Nesta posição, o operador não consegue visualizar a posição das travas, observando o implemento de dentro da cabine do trator, conforme mostra a Figura 3. Como resultado, ao acionar a máquina para abri-la, as travas colidem com a esteira transportadora e o chassi, causando danos nos mesmos. Para incidentes deste tipo, o custo médio para a substituição das peças, juntamente com as despesas relacionadas às horas técnicas para remuneração da concessionária, podem totalizar um montante em torno de R\$ 7.000,00.

Figura 2 - Trava elevada no modo transporte



Fonte: O autor (2023)

Figura 3 - Implemento em modo transporte



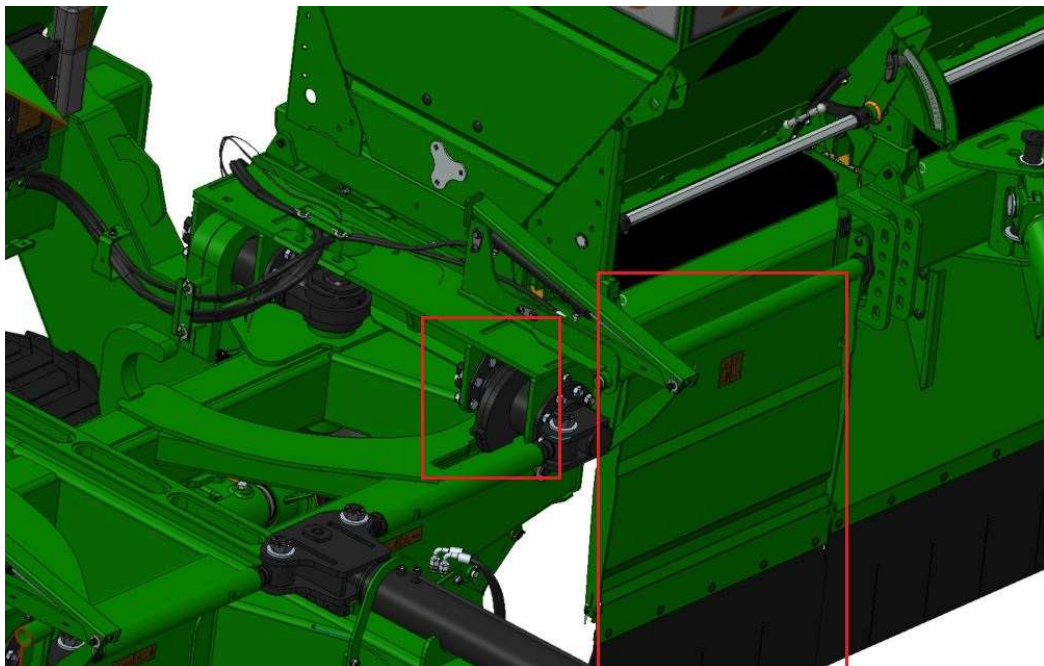
Fonte: Stara (2023)

A segunda possível falha seria a tentativa de fechamento do implemento com as travas acionadas e os abafadores² abaixados. Isso pode gerar defeitos estruturais nas travas, consequentemente causando avarias catastróficas no equipamento, caso não sejam reparadas, pois é função das mesmas garantir a fixação do módulo lateral do chassi durante a operação.

Por fim, a terceira possível falha, seria a possibilidade de as travas baixarem, porém os abafadores não subirem, devido ao fato de ambos estarem ligados em paralelo no mesmo acionamento. Consequentemente, o óleo iria para o os pontos que tivessem menor restrição, no caso o cilindro trava, e só após isso os abafadores iriam começar a se movimentar. Caso os abafadores não subam no momento do fechamento da máquina, os mesmos podem colidir com o próprio chassi central, vindo a sofrer danos.

A Figura 4 ilustra os pontos suscetíveis as falha caso ocorra estes dois tipos de acionamentos incorretos.

Figura 4 – Trava e abafador suscetível à falha



Fonte: Autor (2023)

² Diagrama hidráulico do atual sistema está exposto no tópico 1.2.1 “Circuito Hidráulico Original do Implemento”.

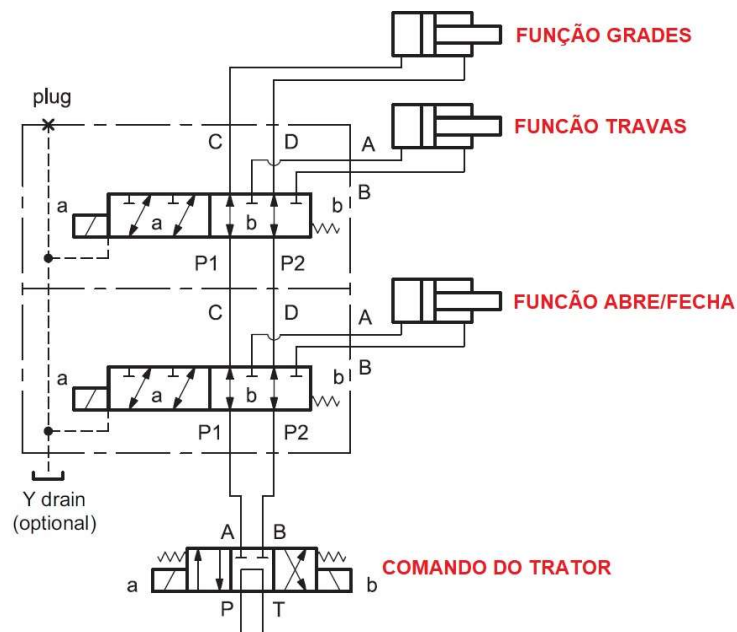
1.1.1 Circuito hidráulico original do implemento

O circuito original da máquina é formado pela união de duas válvulas direcionais modelo *sliding spool* de P/N BFD06 fabricadas pela Duplomatic (DUPLOMATIC, 2023). Estas duas são válvulas direcionais 6/2 vias, acionadas por solenóide e reposicionada por mola. Sua função é realizar o acionamento da abertura e fechamento, tanto da máquina quanto das grades superiores, além disso é responsável pelo travamento e destravamento do implemento, no qual tem a função de abafadores ligados em paralelo.

A Figura 5 ilustra o diagrama hidráulico simplificado, destacando cada função de acionamento. A função para acionamentos das grades será acionada quando não tiver nenhuma solenóide energizada, a partir do momento que existir alimentação na função “abre/fecha” ou “travas” o óleo será desviado para respectiva função, não sendo mais direcionado para as grades. Já a Figura 6 mostra as válvulas direcionais montadas no circuito hidráulico da máquina.

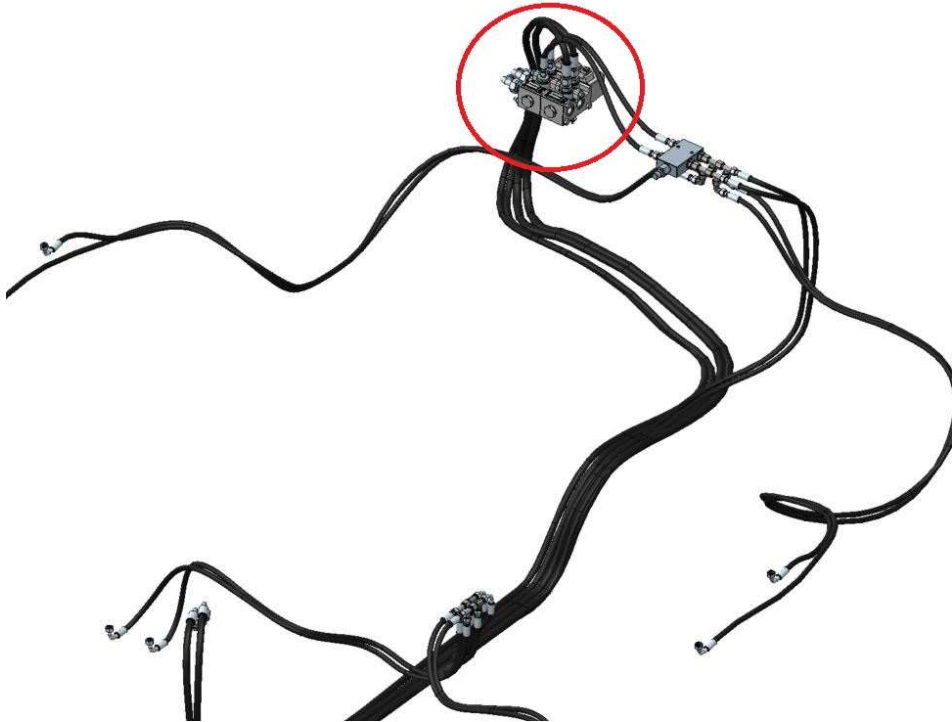
Neste modelo de circuito, cada função é realizada de forma individualizada, sendo de responsabilidade do usuário do implemento, seguir as devidas instruções para operação do mesmo, de modo que se evite qualquer tipo de dano.

Figura 5 - Diagrama hidráulico atual simplificado



Fonte: Duplomatic (2023)

Figura 6 - Circuito hidráulico original



Fonte: Autor (2023)

1.2 JUSTIFICATIVA

Os danos em implementos agrícolas devido as falhas operacionais é uma preocupação de extrema relevância no desenvolvimento de produtos para a agricultura. Esses danos frequentemente resultam em consequências catastróficas para o implemento.

Tais falhas acarretam em custos de manutenção e perda de produtividade, impactando negativamente tanto nos clientes quanto a empresa fabricante. Do ponto de vista do cliente, a redução desses custos e riscos é crucial para a eficiência e rentabilidade de suas operações. Já do ponto de vista da empresa, a implementação bem-sucedida de um sistema que não falhará, resultará em melhorias significativas na produtividade, diminuição dos chamados para manutenção e fortalecimento do relacionamento com os clientes, tornando-se assim uma medida estratégica essencial para o sucesso e competitividade no mercado, contribuindo para a retenção e fidelidade dos clientes.

Na etapa de desenvolvimento do projeto, é necessário considerar medidas para evitar que falhas operacionais ocorram. Uma ferramenta eficaz para atingir essa meta

é o *Poka Yoke*, que se trata de um conceito que foca na operação à "prova de erros", e que impede que o usuário cometa falhas mesmo ao tentar realizar ações de forma incorreta (VIDOR, 2010).

No caso de um implemento, no qual a grande maioria das funções é acionada e controlada por componentes hidráulicos, é essencial compreender seu funcionamento, para aí sim, aplicar técnicas eficientes e robustas que evitem falhas operacionais. Essas técnicas visam não apenas atender às necessidades da empresa fabricante, mas também garantir o benefício do cliente que adquire o equipamento. Uma ferramenta valiosa para a simulação e diagramação de circuitos hidráulicos é o aplicativo *Fluidsim* (Festo, 2023), que permite que o usuário projetista seja assertivo no momento do desenvolvimento dos circuitos hidráulicos, podendo simular as funções antes mesmo de uma prototipagem física do sistema³.

A implementação do conceito *Poka Yoke* em circuitos de máquinas agrícolas, aliada à utilização de simulações por meio dos aplicativos apropriados, desempenha uma função fundamental na garantia de um projeto robusto, reduzindo significativamente o tempo de desenvolvimento.

1.3 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver e implementar melhorias no sistema hidráulico do implemento agrícola Bruttus 25000 da empresa Stara S/A, visando eliminar as operações que possam levar a danos estruturais no equipamento e à interrupção de sua operação. O foco central é projetar um sistema à prova de erros, empregando o conceito *poka yoke*, buscando a prevenção de falhas operacionais e aprimorando a eficiência geral do implemento.

O problema atual surge porque o implemento é capaz de realizar certos acionamentos hidráulicos sem a garantia de que partes mecânicas específicas da máquina não serão prejudicadas durante esse processo, resultando em danos às mesmas.

³ Mais informações em relação ao Fluidsim serão abordadas no capítulo 3 "MATERIAIS E MÉTODOS".

Concernente aos objetivos específicos:

- Analisar o projeto hidráulico do implemento Bruttus 25000 (Stara S/A);
- Levantar indicadores de falha, baseados nas falhas ocorridas em campo;
- Analisar os problemas do sistema hidráulico atual e identificar outras possíveis fontes de falha.
- Desenvolver possíveis soluções e dentro do possível implementar as melhorias apoiando-se no conceito *poka yoke*;
- Realizar testes e validar as melhorias propostas em um protótipo de máquina;
- Analisar resultados para determinar se as soluções realmente diminuem as falhas advindas de erros operacionais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão explorados de maneira sintética conceitos sobre os sistemas hidráulicos. Começa-se traçando a evolução histórica da hidráulica, desde suas origens antigas até sua aplicação contemporânea. Em seguida serão abordados quais são os componentes específicos, como as válvulas reguladoras de pressão, válvulas de sequência, válvulas direcionais e cilindros de dupla ação, detalhando suas funções e destacando sua relevância nos sistemas hidráulicos.

Além disso, será discutido o conceito de *Poka Yoke*, uma técnica japonesa para prevenir erros humanos em processos, e a importância da hidráulica na engenharia moderna.

2.1 HIDRÁULICA

O termo "Hidráulica" tem origem do idioma grego, surgindo da combinação das palavras "hydra" (água) + "aulos" (condução/tubo). É um campo da física que se dedica aos estudos dos comportamentos de líquidos em repouso e movimento. Este campo de estudo é responsável de adquirir os conhecimentos das leis que regem a transferência e a transformação de energia, o ajuste e o monitoramento dos fluidos, considerando suas múltiplas variáveis (pressão, vazão, temperatura, viscosidade). (FIALHO, 2019).

Desde tempos remotos, a engenharia já registrava a fabricação de dispositivos como bombas e rodas d'água, evidenciando a habilidade humana em criar soluções inovadoras. No entanto, o campo específico da hidráulica, que desempenha um papel crucial no contexto deste trabalho, só começou a ganhar destaque a partir do século XVII. Foi nessa época que o francês Blaise Pascal desencadeou uma revolução nas ciências da engenharia com suas descobertas pioneiras. Suas pesquisas focavam em aproveitar os princípios dos fluidos para transmitir e multiplicar forças, bem como modificar o movimento, estabelecendo as bases para o desenvolvimento posterior da hidráulica como a conhecemos hoje. (MOREIRA, 2012).

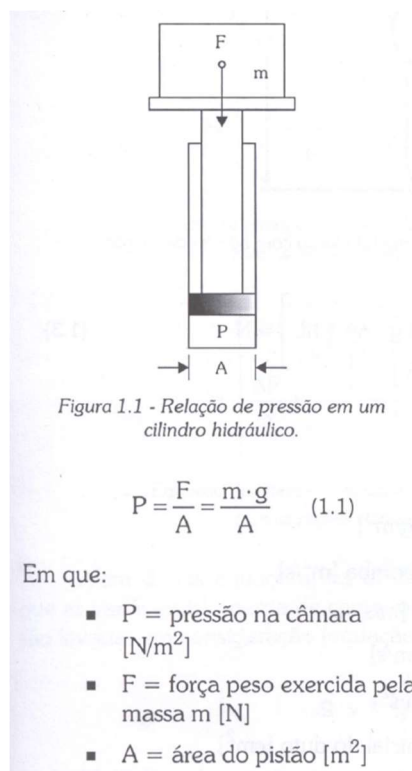
2.2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA HIDRÁULICA

2.2.1 Pressão

No campo da hidrostática, a pressão é definida como a medida da força que um fluido exerce sobre a superfície de um recipiente por unidade de área. Em termos do Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade padrão de pressão é o pascal (Pa), equivalente a newtons por metro quadrado (N/m^2). No entanto, ainda é comum encontrar outras unidades de pressão em uso, como atmosferas (atm), bares, quilogramas-força por milímetro quadrado (kgf/cm^2) e libras por polegada quadrada (lib/in^2), que servem para representar a pressão de forma conveniente em diferentes sistemas de medida. (FIALHO, 2019).

A figura 7 ilustra o conceito da pressão em um cilindro hidráulico juntamente com sua fórmula básica. (FIALHO, 2004)

Figura 7 - Representação de pressão hidráulica em um cilindro

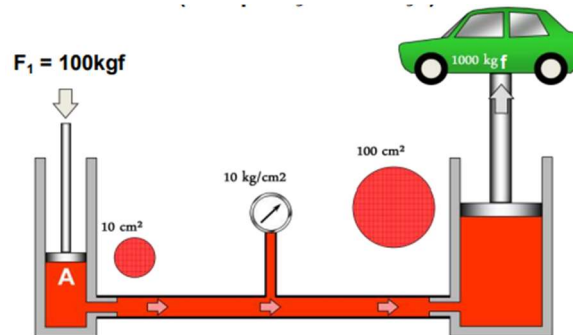


Fonte: Fialho (2004)

2.2.2 Lei de pascal

A Lei de Pascal estabelece que a pressão em um líquido estático é uniforme em todas as direções e exerce forças idênticas em áreas equivalentes. Isso se traduz em um princípio fundamental onde, ao aplicar uma força de 10 kgf em uma área de 1 cm², a pressão interna resultante é de 10 kgf/cm², distribuindo-se uniformemente por toda a parede do recipiente, conforme ilustrado na Figura 8. Essa descoberta pioneira de Pascal desempenhou um papel crucial na Revolução Industrial, culminando na construção da primeira prensa hidráulica, desenvolvida pelo mecânico Joseph Bramah (GOMES, 2008).

Figura 8 - Exemplo de funcionamento da prensa hidráulica



Fonte: Gomes (2008)

2.2.3 Vazão Hidráulica

Conforme Fialho (2019), a vazão é uma variável fundamental na hidráulica e pode ser definida como o volume de fluido descarregado por uma bomba por unidade de tempo.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade padrão de vazão é o metro cúbico por segundo (m³/s). No entanto, na prática hidráulica, é comum encontrar vazão expressa em litros por minuto (l/min), galões por minuto [g.p.m.], ou cm³/min, proporcionando uma representação mais prática e útil em muitos contextos. Litros por minutos (l/min) tem destaque como expressão mais usual.

2.3 HIDRÁULICA MOBIL

De acordo com Linsingen (2001), o campo de aplicação da hidráulica pode ser categorizado em seis grandes grupos:

- Industrial;
- Siderurgia;
- Móbil;
- Naval;
- Técnicas especiais;
- Aplicações gerais.

No contexto deste trabalho, a **hidráulica móbil** assume um papel de destaque, uma vez que se concentra no estudo e aplicação de sistemas hidráulicos em máquinas agrícolas e veículos *off-road*.

Segundo Gomes (2008), os componentes essenciais de um sistema hidráulico móbil incluem:

- Fluido Hidráulico: geralmente é o óleo hidráulico mineral, que é praticamente incompressível e transmite a pressão de maneira eficiente;
- Bomba Hidráulica: responsável por fornecer a vazão necessária ao sistema;
- Válvulas: controlam e direcionam o fluxo do fluido, permitindo que as máquinas realizem tarefas específicas;
- Cilindros Hidráulicos: convertem a vazão hidráulica em movimento mecânico, como levantar ou baixar um implemento;
- Motores Hidráulicos: convertem a vazão hidráulica em movimentos rotativos;
- Mangueiras e Conexões: transmitem o fluido entre os componentes;
- Reservatório: armazena o fluido e ajuda a regular sua temperatura;
- Filtros e Válvulas de Alívio: garantem a limpeza do fluido e protegem o sistema contra pressões excessivas.

Fialho (2004), relata que existe uma infinidade de tipos de circuito hidráulico, porém todos eles seguem sempre um padrão de construção, os quais podem ser divididos em três partes principais:

- Sistema de geração: Constituído por bombas, acumuladores e outros;
- Sistema de distribuição: Constituído por válvulas em geral;
- Sistema de aplicação de energia: Constituído pelos atuadores hidráulicos.

2.4 VÁLVULAS

As válvulas são dispositivos fundamentais para o controle do fluido em circuitos hidráulicos, são delas a responsabilidade de controlar, regular e direcionar o fluxo de óleo no sistema. Neste contexto, este tópico explorará diversos tipos de válvulas, destacando suas funções e aplicações.

2.4.1 Válvulas de controle de pressão

De acordo com Gomes (2008), as válvulas de controle de pressão desempenham um papel essencial no controle da pressão de fluidos nos circuitos hidráulicos. Elas são empregadas para: limitar a pressão máxima do sistema; regular a pressão em áreas específicas do circuito e; executar outras atividades relacionadas à mudança na pressão de operação. A operação dessas válvulas é baseada em um equilíbrio entre pressão e força da mola, permitindo que a válvula assuma várias posições, desde totalmente fechada até completamente aberta.

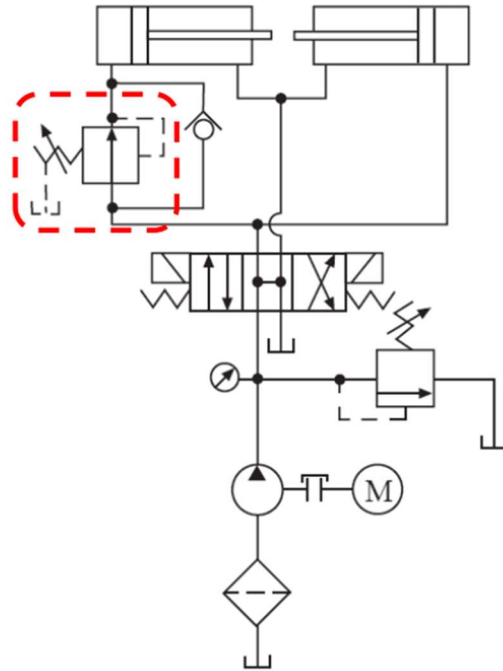
O autor supracitado divide as válvulas em 6 grupos:

- Válvula de Segurança;
- Válvula de Seqüência;
- Válvula de Descarga;
- Válvula Redutora de Pressão;
- Válvula de Frenagem;
- Válvula de Contrabalanço.

A válvula de **sequência** é montada em circuitos com a finalidade de não permitir que uma função seja acionada antes de outra, por meio do mecanismo interno de controle de pressão. Esse modelo de válvula, somente permite a passagem de fluido depois de o circuito atingir a pressão de abertura regulada na mesma. A Figura 9 ilustra um exemplo de diagrama básico em que a mesma está instalada, já a Figura 10 mostra a construção interna de uma válvula do fabricante Hydac P/N: DZM06020-01 (HYDAC, 2023).

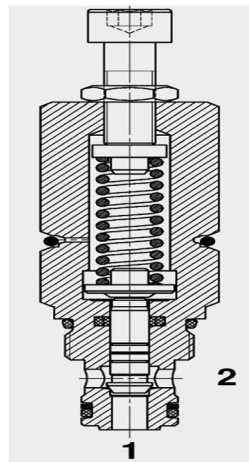
No contexto deste trabalho, destaca-se este modelo de válvula devido à sua aplicação na resolução do problema discutido no capítulo anterior.

Figura 9 - Diagrama circuito equipado com válvula de seqüência



Fonte: Gomes (2008)

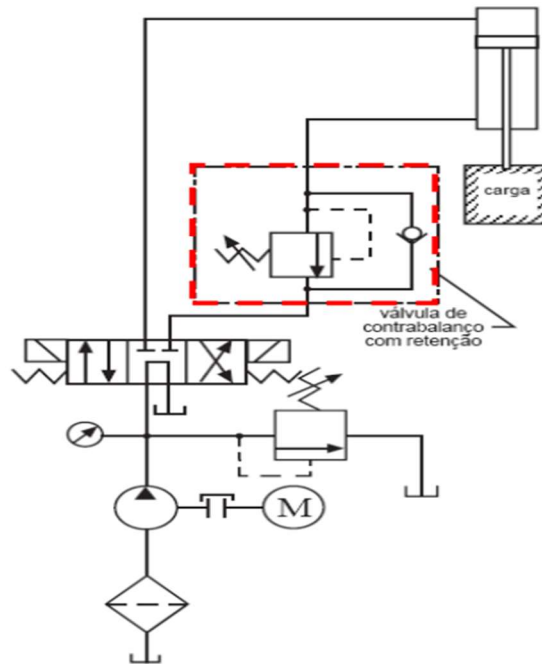
Figura 10 - Construção interna válvula de seqüência



Fonte: Hydac (2023)

Conforme Moreira (2012), as válvulas de **contrabalanço** são controladoras de pressão normalmente fechadas (N/F). São montadas em circuitos para controlar o movimento involuntário de cilindros posicionados na vertical que esteja sustentando cargas. As válvulas evitam que a força da gravidade atue sobre o sistema. A Figura 11 ilustra um diagrama básico de aplicação da mesma.

Figura 11 - Diagrama circuito equipado com válvula contrabalanço



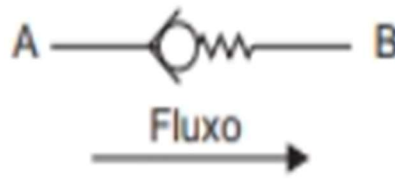
Fonte: Fonte: Gomes (2008)

2.4.2 Válvulas de bloqueio

Esses elementos desempenham a função de bloquear o fluxo de um fluido em uma direção determinada, permitindo-lhe fluir livremente na direção oposta. Fialho (2015) classifica esses elementos em quatro grupos de aplicação distintos: retenção simples; retenção com desbloqueio hidráulico; retenção pilotada geminada e; sucção.

A válvula com **retenção simples** recebe esse nome devido ao fato de o óleo fluir por ela somente em uma trajetória. O corpo dessa válvula é rosqueado diretamente à tubulação, criando uma sede para um pistão móvel ou uma esfera em seu interior (FIALHO, 2015). A Figura 12 ilustra a simbologia do dispositivo, evidenciando que o fluxo do fluido ocorre apenas da posição 'A' para 'B', o contrário não é possível.

Figura 12 - Simbologia válvula retenção simples

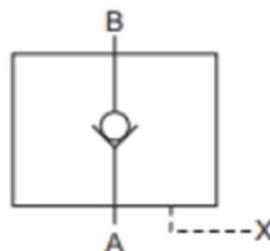


Fonte: Fialho (2015)

As válvulas de retenção com **desbloqueio hidráulico**, popularmente conhecidas como válvulas de retenção pilotada, possuem um pórtilo de pilotagem que permite a abertura da válvula em função de atuação e pressões ocorridas em outras partes do sistema. Conforme ilustrado na Figura 13, são projetadas para possibilitar o fluxo no sentido oposto 'B' para 'A' quando o pórtilo de pilotagem 'X' é ativado. A passagem de 'A' para 'B' sempre é aberta.

São instaladas em sistemas que demandam operação segura, uma vez que mantêm o sistema bloqueado sob pressão, impedindo o retorno indesejado da carga, ou em alguma explicação que horas o circuito precisa estar com a passagem de óleo fechada e se acionada precisa liberar o fluxo. (FIALHO, 2015).

Figura 13 - Simbologia válvula retenção com desbloqueio hidráulico



Fonte: Fialho (2015)

2.4.3 Válvulas de controle direcional

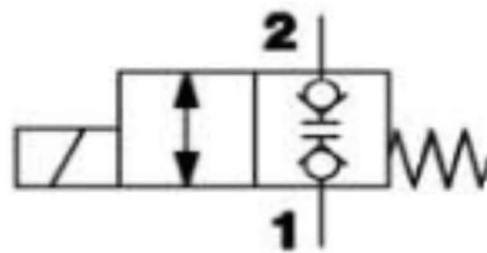
Conforme Fialho (2015), as válvulas direcionais desempenham um papel fundamental nos sistemas hidráulicos, direcionando o fluido para permitir a extensão ou retração de atuadores lineares; o acionamento ou inversão de atuadores rotativos (motores hidráulicos) e; o direcionamento do fluxo para locais específicos onde

demandam acionamentos. A nomenclatura das válvulas direcionais refere-se ao número de conexões úteis (vias) e às posições de acionamento.

Válvulas direcionais são classificadas em quatro tipos: Tipo pistão ou esfera (*poppet type*); tipo carretel deslizante (*sliding spool*); tipo carretel rotativo (*rotary spool*); e tipo proporcional (*proportional valves*).

A válvula **pistão ou esfera**, também conhecidas como válvulas de retenção (*check valves*), possuem boas características de vedação, devido seu formato construtivo, que conta com um assentamento de válvula apoiado sobre uma mola, conforme ilustrado na sua simbologia (Figura 14). Sua função em um sistema hidráulico é permitir fluxo livre em um sentido e impedir o fluxo no sentido contrário quando acionada, ou vice versa.

Figura 14 - Simbologia válvula Poppet Type 2/2 vias . Acionamento por solenóide, reposicionada por mola

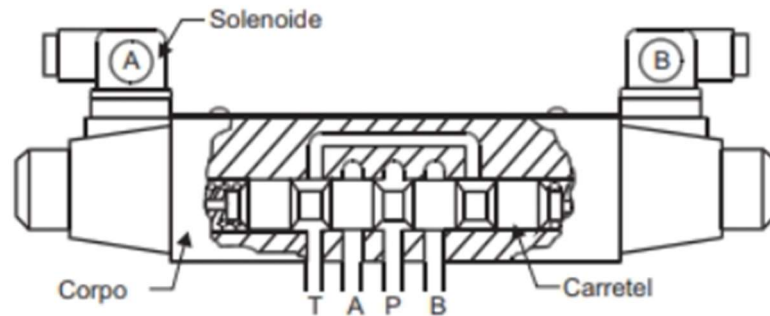


Fonte: Autor (2023)

Conforme descrito por Fialho (2015), a válvula de **carretel deslizante** é usinado com ranhuras e rebaixos, que consistem em variações de diâmetro. Este carretel desliza com uma folga mínima dentro de um corpo, no qual são usinados diversos furos para a entrada e saída do fluido.

Os rebaixos presentes no carretel são utilizados para interconectar vários pórticos para entrada e saída de fluido no corpo, determinando a direção do fluxo. A Figura 15 apresenta uma vista em corte que ilustra sua construção.

Figura 15: Construção válvula direcional *Sliding spool* 4/3 vias, com acionamento por solenóide



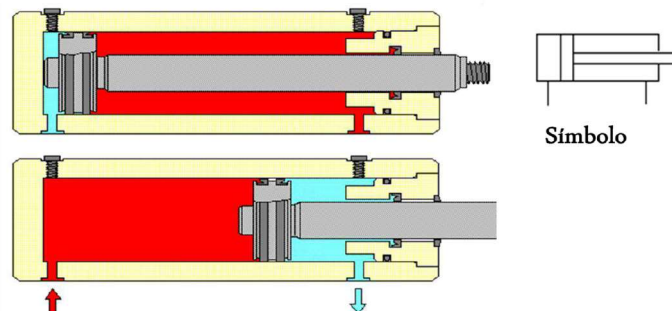
Fonte: Fialho (2015)

2.5 ATUADORES HIDRÁULICOS

No circuito hidráulico, os atuadores desempenham sua função, na conversão de energia de trabalho em energia mecânica, onde se materializa toda a atividade visível. De maneira geral, os atuadores hidráulicos podem ser categorizados em dois tipos distintos: os lineares e os rotativos (PARKER, 1999).

Um cilindro consiste de uma camisa de cilindro, de um pistão móvel e de uma haste ligada ao pistão. Os cabeçotes são presos ao cilindro por meio de roscas, prendedores, tirantes ou solda. Conforme a haste se move para dentro ou para fora, ela é guiada por embuchamentos removíveis (PARKER, 1999). Na Figura 16 é ilustrado o **cilindro de dupla ação**, no qual a pressão do fluido é aplicada ao elemento móvel em qualquer uma das direções, para que o cilindro seja efetuado o avanço ou o retorno do mesmo.

Figura 16 - Construção interna cilindro de dupla ação



Fonte: Gomes (2008)

2.6 POKA YOKE

A expressão japonesa "*Poka Yoke*" é utilizada para descrever a ideia de que algo é "à prova de erros" ou "à prova de falhas". Este conceito tem suas raízes na indústria manufatureira japonesa, mais especificamente na fábrica da Toyota, como parte integrante do Sistema Toyota de Produção (TPS) ou Manufatura Enxuta. O *Poka Yoke* é um elemento fundamental que visa evitar erros humanos e defeitos, de acordo com Consul (2015).

De acordo com Patel (2001) os *poka-yokes* são dispositivos que visam prevenir erros causados por falta de conhecimento do operador e sua displicência em relação ao processo, lapsos de memória, ausência de instruções e padrões de trabalho.

Poka Yoke é fundamentado em alguns princípios-chave, conforme Vidor (2010):

- Identificação de Erros: o primeiro passo consiste em identificar cuidadosamente erros ou falhas potenciais em um processo. Isso envolve uma análise minuciosa de cada etapa do processo e a compreensão das possíveis fontes de erro.
- Prevenção de Erros: o objetivo principal do *Poka Yoke* é evitar que os erros ocorram. Isso pode ser alcançado por meio de projetos mais simples e intuitivos; dispositivos de proteção e alarmes visuais ou sonoros que alertam os operadores sobre erros iminentes.
- Detecção Imediata de Erros: caso um erro ocorra, o *Poka Yoke* também visa detectá-lo imediatamente. Isso permite que correções sejam realizadas o mais rápido possível, reduzindo o impacto no processo e nos produtos.

Dessa forma, o *Poka Yoke* é uma abordagem histórica e altamente eficaz para melhorar a qualidade e a eficiência dos processos de fabricação e produtos, minimizando a ocorrência de erros humanos e defeitos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo está dividido em duas seções principais, que são elas: Aparato Experimental e Procedimento Experimental. A primeira descreve os instrumentos utilizados durante os ensaios, e a segunda, a metodologia utilizada para conduzir os experimentos.

3.1 APARATO EXPERIMENTAL

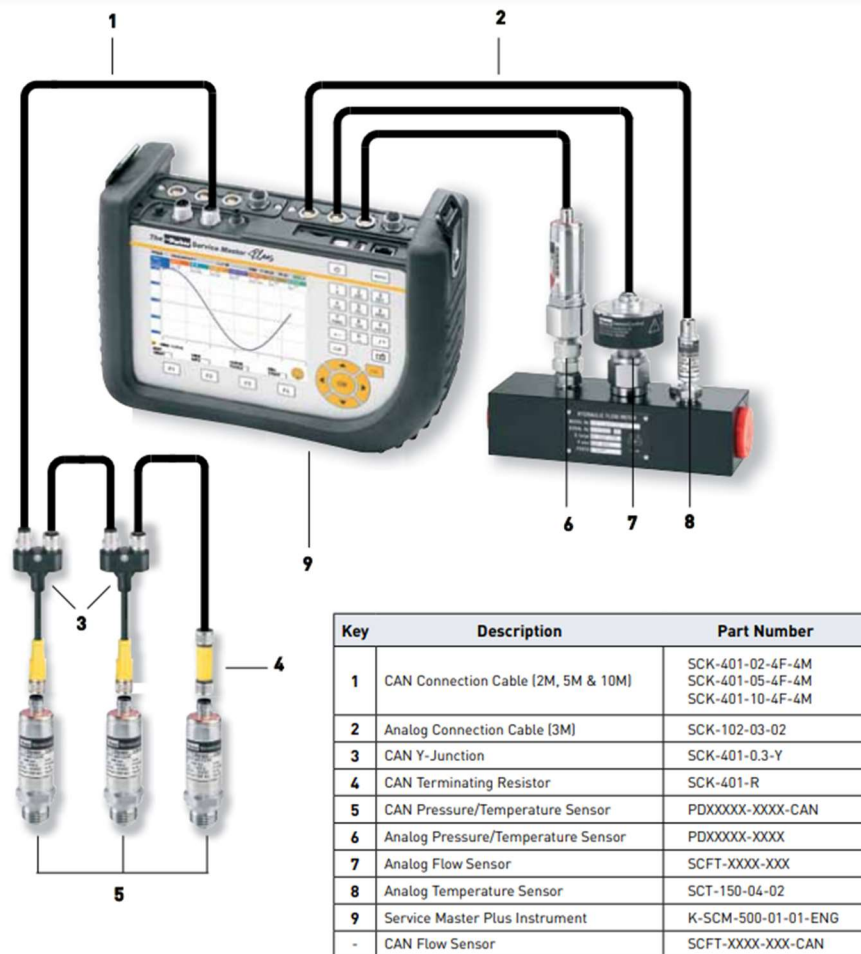
Esta seção tem como finalidade oferecer a visão abrangente dos instrumentos e recursos empregados no decorrer deste estudo. A Figura 17 mostra o implemento Bruttus 25000, durante o processo de instrumentação com os devidos sensores instalados.

Figura 17 - Instrumentação do Bruttus 25000



Fonte: Autor (2023)

Figura 19 - Ilustração do *Parker Service Master Plus Measuring Device* P/N:K-SCM-500-01-00



Fonte: Parker (2009)

3.1.2 Medidor de vazão

O instrumento utilizado para medir a vazão durante os testes foi o *Hydraulic Flow Meter* P/N SCFT-300-02-02 (Parker, 2023), fabricado pela empresa Parker Hannifin Corporation. Conforme mostra a Figura 20, o mesmo é equipado com uma turbina interna que é acionada pelo fluxo de óleo, onde as frequências assim produzidas são processadas pela eletrônica digital. Sua faixa de operação permite medir vazões de até 300 l/min.

Figura 20 - Medidor de vazão *Hydraulic Flow Meter* P/N SCFT-300-02-02



Fonte: Parker (2023)

3.1.3 Medidor de pressão

O sensor de pressão foi o P/N: SCPT 600-02-02 (Parker, 2022) fabricado pela empresa Parker Hannifin Corporation, no qual permite trabalhos com faixa de operação de 0 até 60 MPa (0 a 600 Bar). A Figura 21 traz uma fotografia deste sensor.

Figura 21 - Sensor de pressão P/N: SCPT 600-02-02



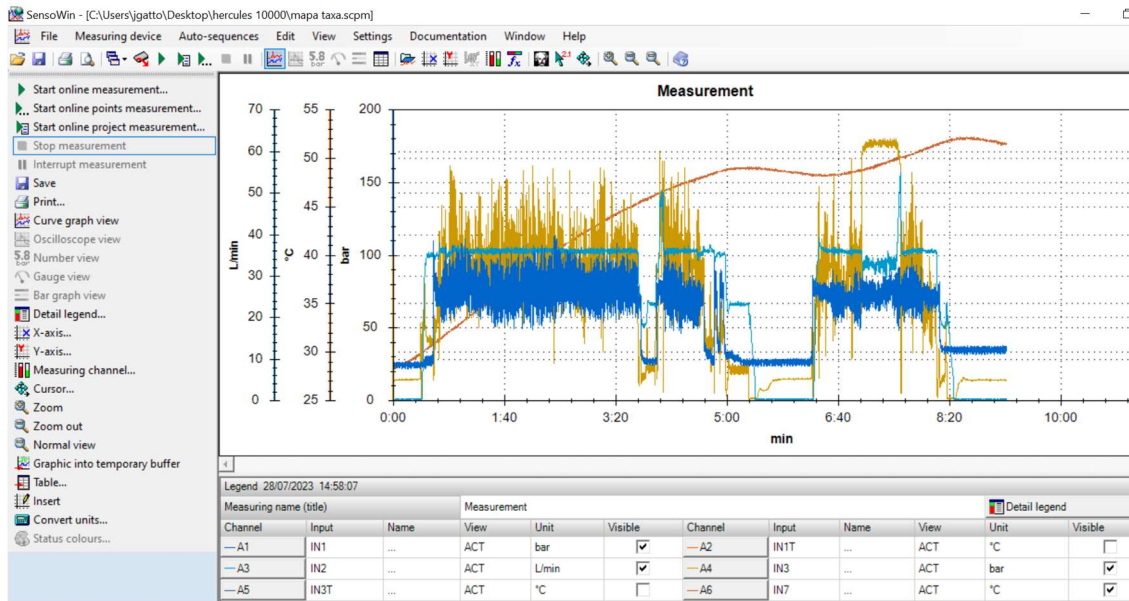
Fonte: Parker (2022)

3.1.4 Software para análise de dados

Para analisar as informações geradas pelo sistema de aquisição de dados e seus respectivos sensores, os arquivos são extraídos e executados no *software*

SensoWin, Versão 7.1.9, que o próprio fabricante Parker, disponibiliza junto a aquisição do *Parker Service Master Plus Measuring Device*. A Figura 22 ilustra os gráficos que o mesmo é capaz de gerar, para aí então realizar uma análise do comportamento do circuito⁵.

Figura 22 - Exemplo de gráficos gerados pelo software *SensoWin*



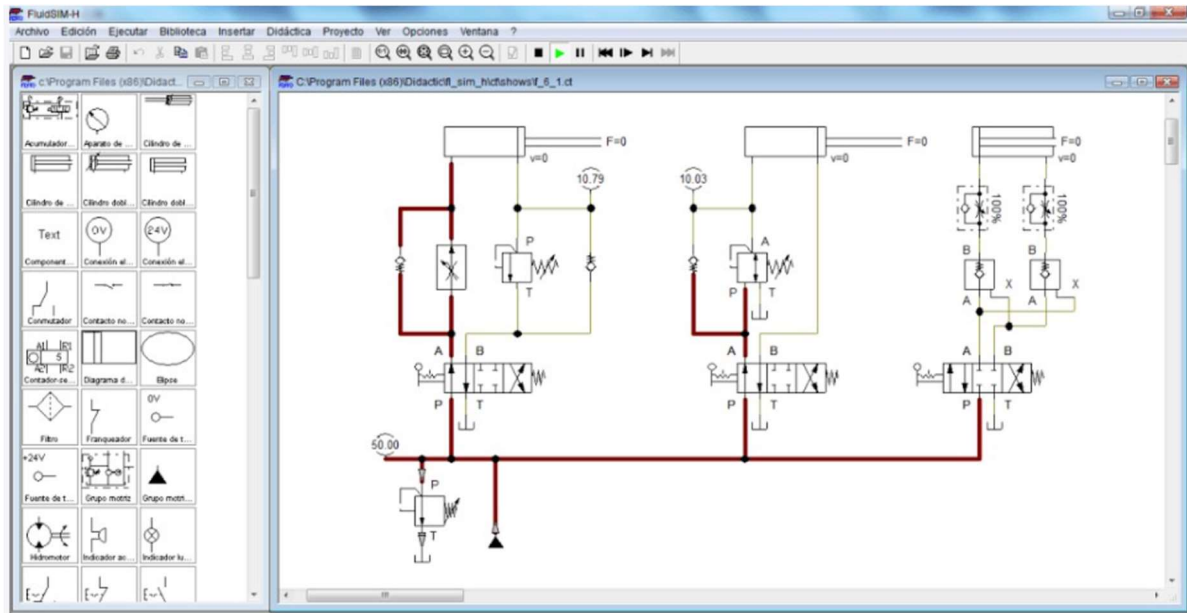
Fonte: Autor (2023)

3.1.5 Software para simulação de circuito proposto

O *software* utilizado para realizar o projeto e a simulação do novo circuito hidráulico proposto foi o FluidSim (Festo, 2023), produzido pela empresa Festo. Trata-se de um aplicativo abrangente para criar e simular circuitos eletro-hidráulicos, além de realizar simulações de mudanças de estado e operações de comutação, os usuários também podem intervir ativamente, acionando interruptores ou comutando válvulas para identificar diretamente os efeitos resultantes. Figura 23 mostra o diagrama de um circuito genérico criado, realizando as simulações.

⁵ Os gráficos gerados pelo *Sensowin* serão mostrados e explicados com maior detalhamento no capítulo 4 “RESULTADOS E DISCUSSÕES”.

Figura 23 - Simulação no software FluidSim



Fonte: Festo (2023)

3.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Este tópico tem como objetivo demonstrar quais os métodos foram utilizados para validação do novo sistema proposto. Neste trabalho há dois grupos de experimentos que serão demonstrados, são eles:

1. Influência da regulagem na válvula de seqüência no sistema e;
2. Influência da vazão na entrada no sistema.

Para cada grupo de experimentos foi dado um título para identificá-lo durante a exposição dos resultados no capítulo seguinte.

3.2.1 Influência da regulagem na válvula de seqüência

Nesta primeira etapa foram avaliadas quais são os comportamentos dos atuadores hidráulicos conforme a pressão da válvula de seqüência é alterada. O principal objetivo que se deseja obter nessa etapa, é saber qual a pressão necessária de regulagem na válvula de seqüência, de modo que o cilindro principal da máquina não se mova antes que as travas baixem e os abafadores subam, evitando danos ao implemento.

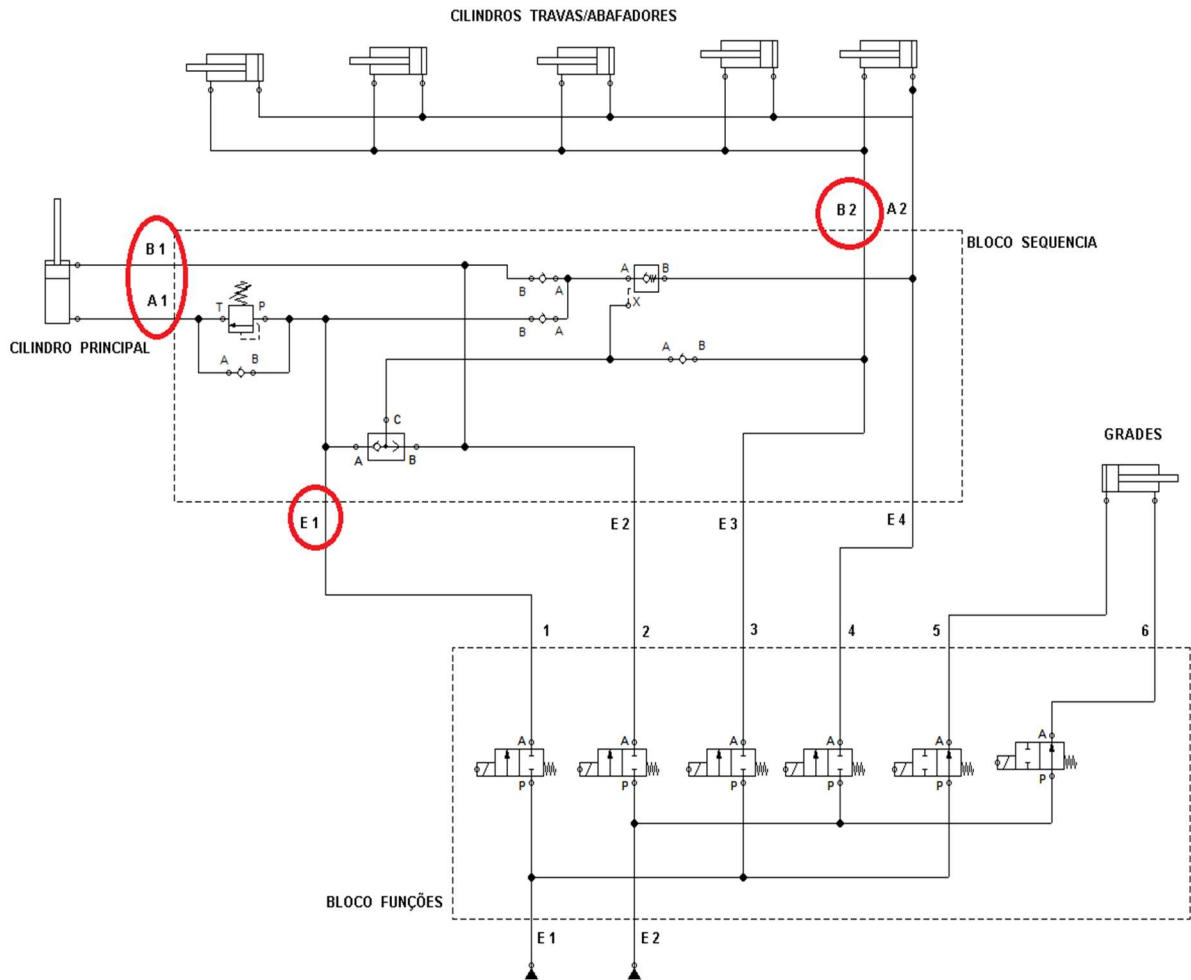
Os pontos de instrumentação da máquina são ilustrados conforme a Figura 24, onde os pórticos “B1 e A1” são as vias de trabalho do cilindro principal da máquina, responsável pela abertura e fechamento do implemento; o “B2” se trata da saída do bloco para acionamento do desarme das travas, e por fim o “E1” que é a pressão de entrada do sistema. O instrumento utilizado foi o Sensor de pressão P/N: SCPT 600-02-02.⁶

Para todas as variações na regulagem de pressão da válvula de sequência, o teste respeitou a seguinte ordem:

- Regular a mínima vazão disponível no comando do trator e manter até o final do experimento;
- Com a máquina aberta e travada iniciar o registro de coleta de dados no sistema de aquisição portátil;
- Acionar a função **fechamento** da máquina até que os cilindros das travas e dos abafadores cheguem ao final do curso, e o cilindro principal da máquina comece a se mover;
- Coletar registro das pressões da válvula de sequência, e a pressão na entrada do cilindro principal;
- Coletar tempo entre o acionamento do destravamento do sistema e o início da movimentação do cilindro principal da máquina.

⁶ O diagrama hidráulico demonstrando o novo circuito proposto, e a explicação completa do funcionamento das travas e abafadores será detalhado no capítulo 4 “RESULTADOS E DISCUSSÕES”.

Figura 24 - Diagrama destacando os pontos de medição da pressão



Fonte: Autor (2023)

A seguir a ilustração dos pontos físicos da máquina, que foram coletados os dados:

- Pressão de entrada e saída do cilindro principal da máquina, responsável pela abertura e fechamento da mesma. (Figura 25);
- Pressão de saída do bloco de sequência para acionamentos do desarme das travas e movimentação dos abafadores. (Figura 26);
- Pressão no bloco de sequência que monitora a pressão de entrada do circuito. (Figura 27).

Figura 25 - Posição de medição do cilindro principal



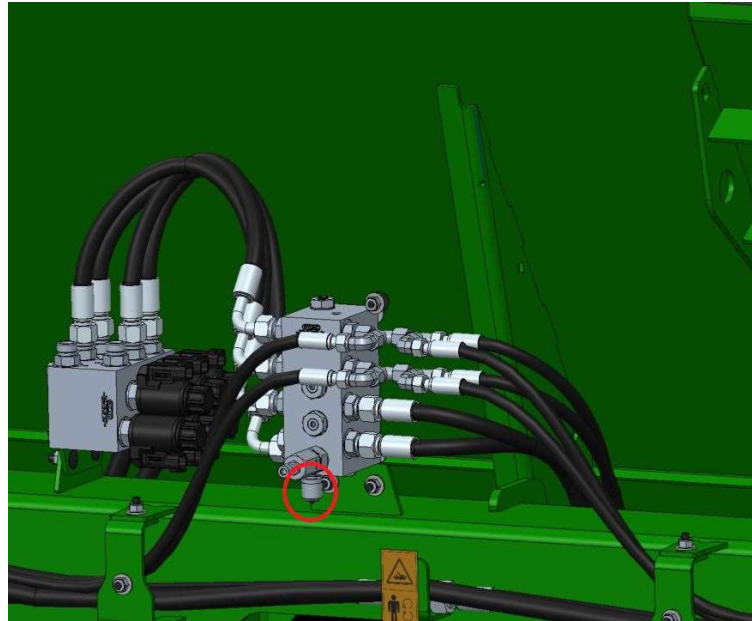
Fonte: Autor (2023)

Figura 26 - Posição de medição do desarme das travas



Fonte: Autor (2023)

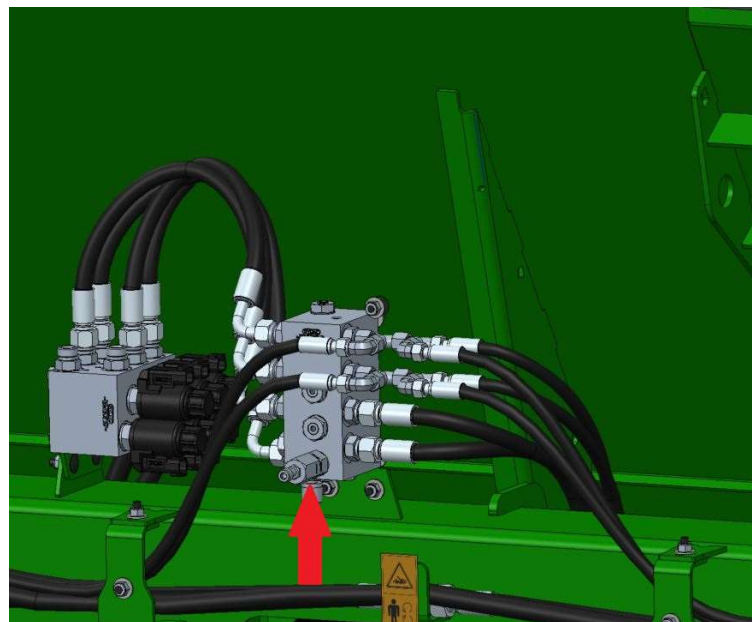
Figura 27 - Posição de medição da entrada do circuito



Fonte: Autor (2023)

O experimento inicialmente partiu de uma regulagem máxima na válvula de seqüência, no qual será reduzido gradativamente até que se encontre o valor ideal para um funcionamento perfeito do sistema. A Figura 28 mostra o local onde se realiza a regulagem da válvula de seqüência.

Figura 28 - Posição da regulagem na válvula de seqüência



Fonte: Autor (2023)

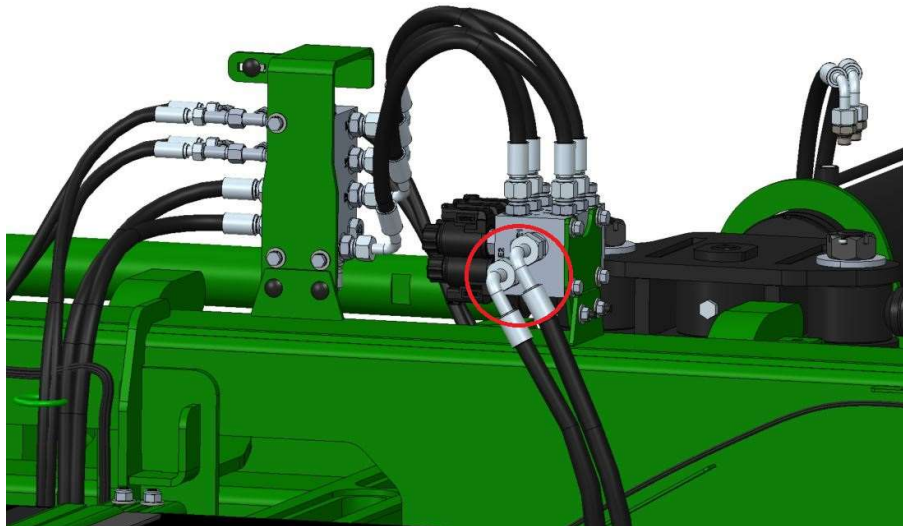
3.2.2 Influência da vazão na entrada no sistema

Após definida a pressão ideal, foram avaliados quais os impactos no circuito quando a vazão originada do comando hidráulico do trator é variada. Existe essa necessidade devido ao tempo para abertura de fechamento do implemento ser um fator crucial para o funcionamento da máquina. A partir deste experimento serão definidas quais as regulagens de vazão que a Stara S/A recomendará para o funcionamento ideal do equipamento.

O experimento utilizou o medidor de vazão, *Hydraulic Flow Meter*, P/N SCFT-300-02-02, e foi instalado na entrada do circuito conforme ilustrado na Figura 29. Os pórticos “E1” e “E2” destacados na Figura 30, representam os pontos de medição no diagrama do circuito.

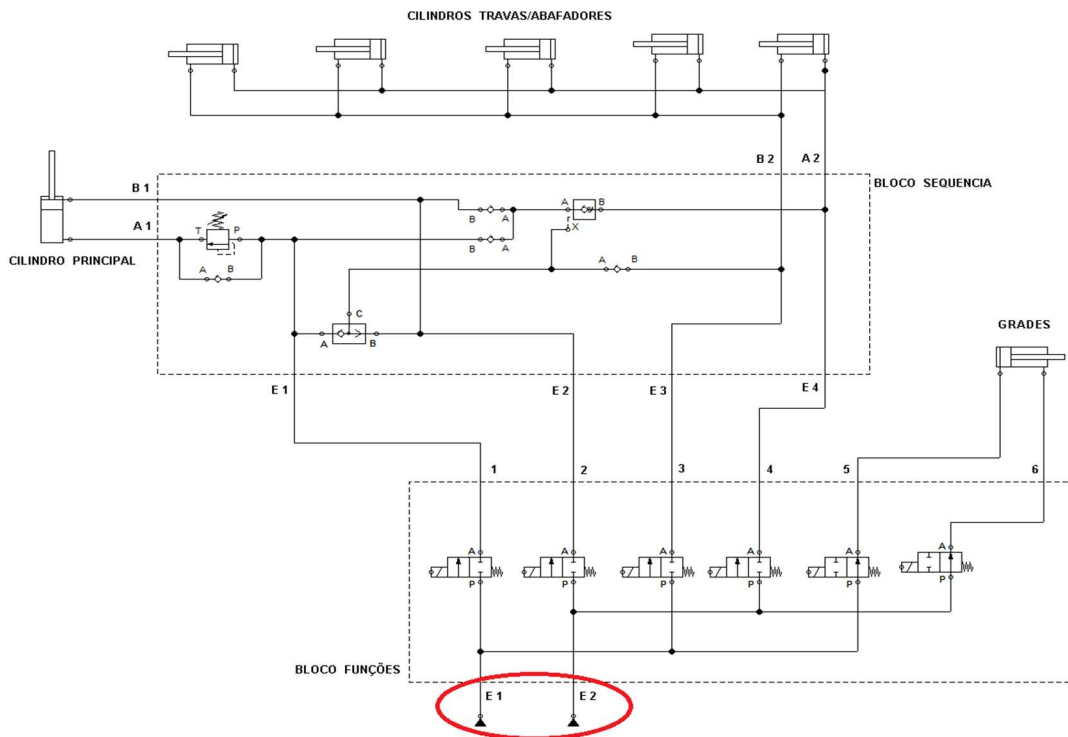
Inicialmente foi regulado a vazão do trator em 12 l/min e aumentado gradativamente, para avaliar qual o tempo que o equipamento levará para abrir e fechar para todas as regulagens de vazão.

Figura 29 - Posição para instalação do *Flow Meter*



Fonte: Autor (2023)

Figura 30 - Diagrama hidráulico demonstrando o ponto de medição da vazão



Fonte: Autor (2023)

Para todas as variações na regulagem de vazão no comando do trator, o teste respeitou a seguinte ordem:

- Regular vazão desejada no comando do trator;
- Regular a pressão da válvula de seqüência na condição ideal de funcionamento, e manter tal regulagem até o final do experimento;
- Com a máquina aberta e travada iniciar o registro de coleta de dados no sistema de aquisição portátil;
- Acionar a função **fechamento** da máquina até que a máquina feche completamente. Deixar o sistema pressurizado no final de curso de modo que se obtenha a pressão máxima do sistema;
- Acionar a função **abertura** da máquina até que a máquina abra completamente. Deixar o sistema pressurizado no final de curso de modo que se obtenha a pressão máxima do sistema;
- Coletar registro de vazão dos sensores instalados no pórticos “E1” e “E2”;
- Coletar registro do tempo para abertura e fechamento da máquina.

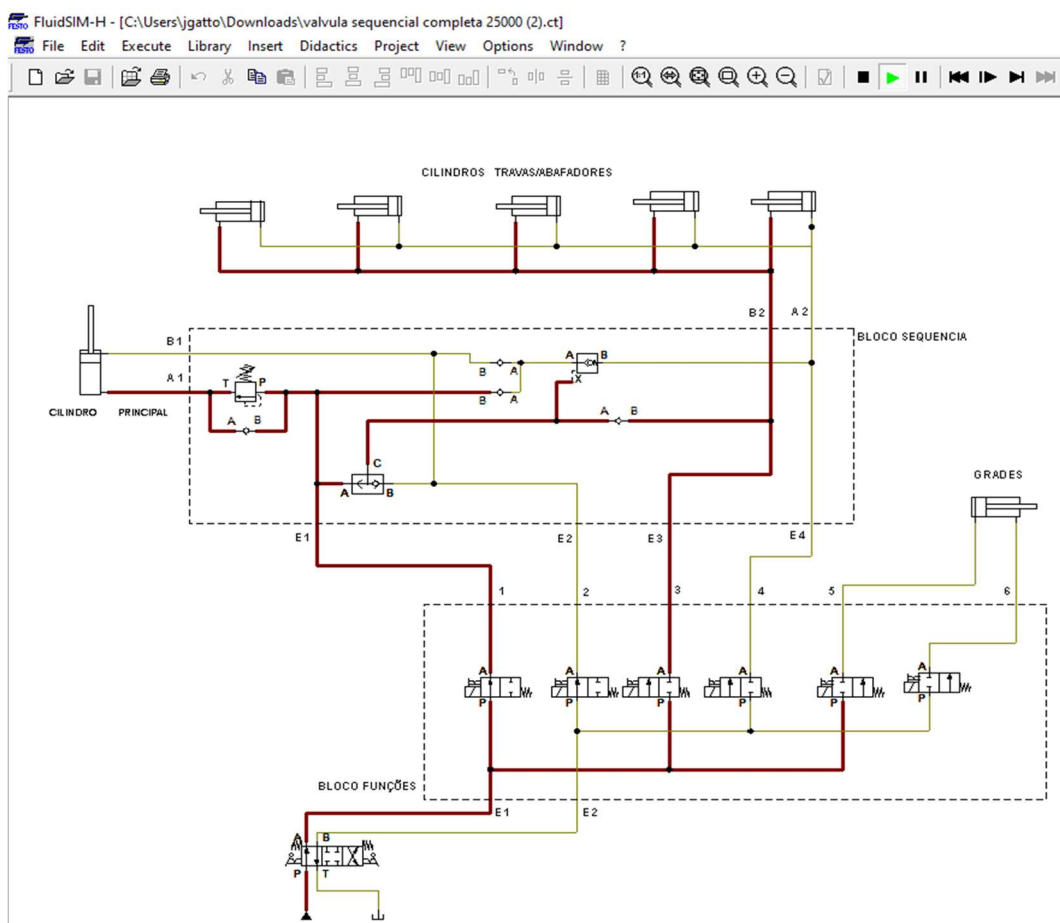
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é detalhado o novo circuito hidráulico proposto. Além disso, é demonstrado os resultados obtidos para cada grupo de experimentos, seguindo os procedimentos e metodologias definidos no capítulo anterior.

4.1 NOVO CIRCUITO PROPOSTO

Conforme já mostrado nas Figura 24 e 30 (capítulo anterior), o uso do *software* Fluidsim permitiu a criação de um diagrama hidráulico completo para o circuito, de forma com que o projeto já fosse previamente elaborado e simulado, conforme mostra a Figura 31. A criação do novo circuito hidráulico levou em consideração o conceito *poka yoke*, prevendo minimizar a possibilidade de falha operacional durante o processo de abertura e fechamento do implemento.

Figura 31 - Simulação no Software Fluidsim

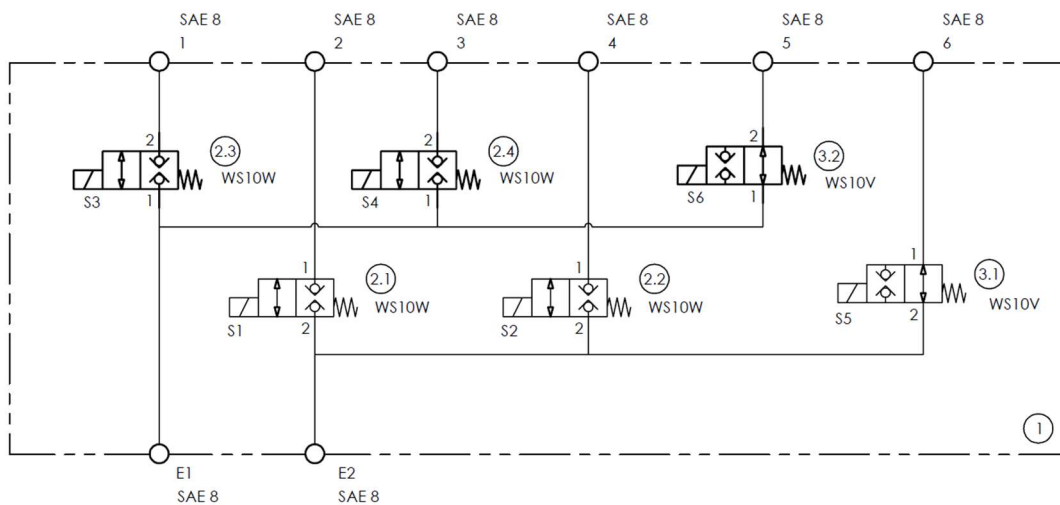


Fonte: Autor (2023)

Posterior a criação do diagrama feito na Stara S/A, (utilizando o software Fluidsim), foi encaminhado o projeto do diagrama à empresa Hydac (Hydac, 2023) para a elaboração de seu próprio diagrama. Após a validação por parte da Stara S/A dos diagramas feitos pela Hydac, foi autorizada a fabricação das amostras de protótipo. Este processo se faz necessário devido ao fato de a Stara S/A não ser fabricante da solução hidráulica, sendo de responsabilidade da empresa Hydac, a fabricação e padronização dos blocos, seguindo a necessidade de aplicação do cliente. Neste caso a Stara S/A. As Figuras 32 e 33 mostram respectivamente o diagrama do bloco direcional e do bloco de sequência.

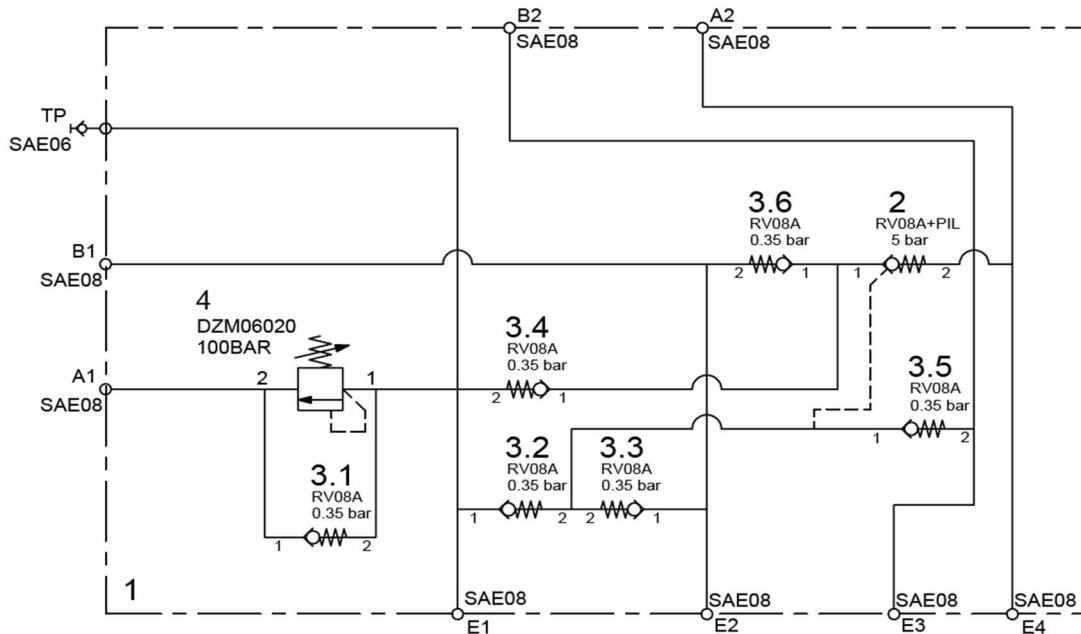
Esse processo demonstra a integração bem-sucedida entre o projeto realizado pela Stara S/A e a empresa fabricante da solução hidráulica Hydac, destacando a aplicabilidade prática e a eficácia da abordagem adotada neste estudo.

Figura 32 - Diagrama hidráulico Hydac, do bloco direcional



Fonte: Hydac (2023)

Figura 33 - Diagrama hidráulico Hydac, do Bloco de Sequência



Fonte: Hydac (2023)

As simbologias mostradas nas Figuras 32 e 33, denominadas: RV08A; DZM06020; WS10W; WS10V, remetem ao ⁷*datasheet*, de cada componente utilizado para a fabricação dos blocos hidráulicos. Já as simbologias denominadas SAE08 e SAE06 referem-se ao padrão de rosca utilizado na usinagem nos pórticos dos blocos. A explicação para a pressão inicial do projeto ser 100 bar no componente DZM06020, foi abordada no capítulo 4.2 “INFLUÊNCIA DA REGULAGEM NA VÁLVULA DE SEQUÊNCIA”.

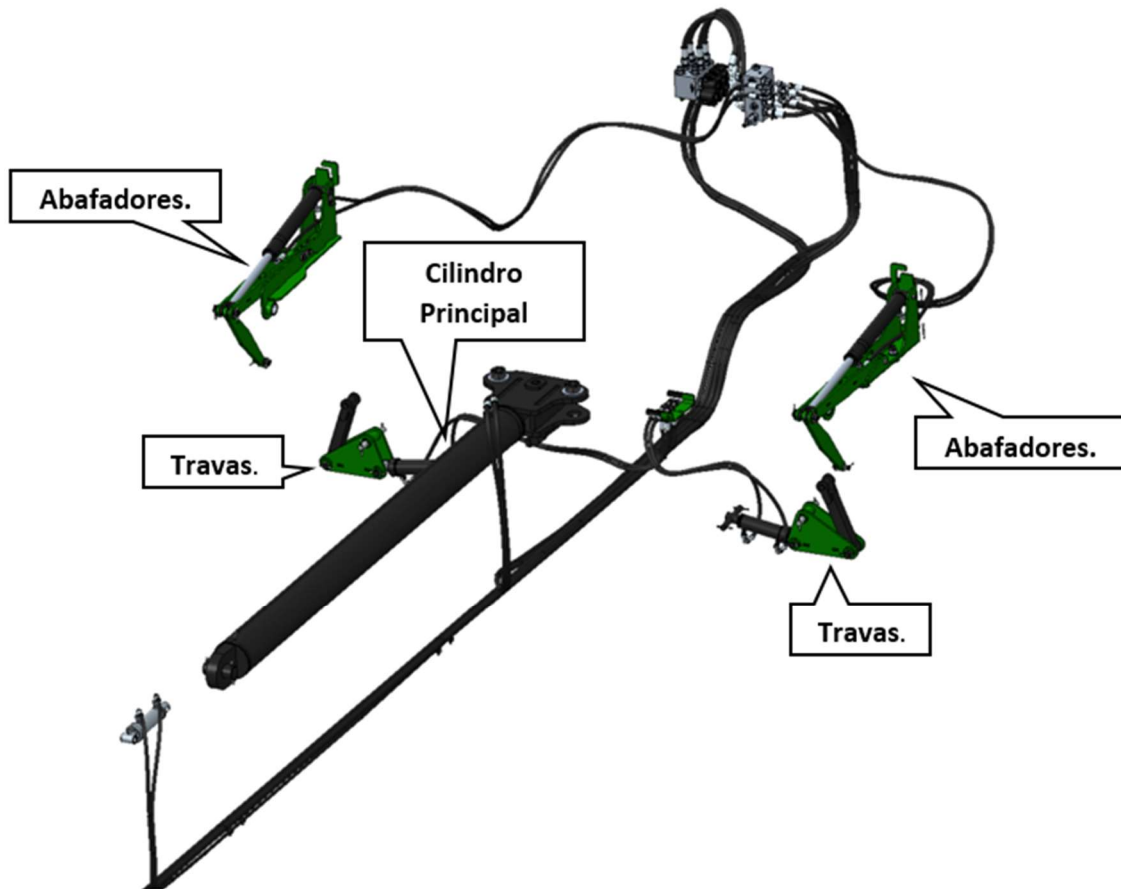
4.1.1 Circuito Completo

O circuito completo proposto está ilustrado na Figura 34, onde se pode ter uma visão clara dos atuadores acoplados nos seus mecanismos de travas e abafadores. Além disso, estão destacados os blocos e as mangueiras do circuito.

O diagrama hidráulico completo do mesmo está detalhado nos Figuras 24 e 30, no tópico “3.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS”.

⁷ *Datasheet* é a ficha técnica que reúne os dados e especificações de um determinado produto ou componente, em um único documento.

Figura 34 - Circuito completo proposto



Fonte: Autor (2023)

4.1.2 Bloco Direcional

O bloco direcional tem um conceito de funcionamento simplificado, se comparado ao bloco de sequência. O mesmo é responsável por receber a vazão hidráulica do comando do trator por meio dos pórticos “E1” e “E2”, e direcionar para as funções listadas no tópico acima, através dos pórticos “1” e “2”(abertura e fechamento) e “3” e “4” (travamento e destravamento). A Figura 32 ilustra o diagrama hidráulico completo do mesmo.

As saídas dos pórticos “5” e “6” são direcionadas exclusivamente para o sistema de elevação das grade do implemento, e tem o seu funcionamento separado do restante do sistema.

Todas as válvulas deste bloco são do modelo *poppet type 2/2 VIAS*, acionadas eletricamente através de bobinas e de retorno com mola.

Única particularidade é que as válvulas “S6” e “S5” são N/A (normalmente abertas), devido a característica de funcionamento da máquina, onde é necessário que se tenha o fluxo de óleo entre o comando do trator e a máquina, para movimentação das grades durante a operação.

4.1.3 Bloco de Sequência

Neste tópico será descrito o funcionamento do bloco de sequência, detalhando seu diagrama hidráulico. Foram enfatizadas as quatro funções da máquina de forma individual, que são elas:

- Fechamento (Avanço do cilindro principal);
- Abertura (Retorno do cilindro principal);
- Travamento;
- Destravamento.

As Figura 24 e 30 servem de apoio para o melhor entendimento do circuito completo.

Fechamento - Conforme destacado na Figura 35, para que seja realizada essa função, o fluido hidráulico deverá entrar pelo pósito “E1”, e sair no “A1” que está conectado ao cilindro principal da máquina que é responsável pelo fechamento do implemento. Porém a válvula de sequência⁸ “4” está montada em série no meio desta passagem. Conseqüentemente irá gerar uma restrição, e o óleo seguirá para o caminho de menor resistência, passando pelas retenções “3.2” e “3.5” até que chegue no pósito “B2”, que é a saída do bloco responsável pela função de **destravamento** da máquina e pela movimentação dos abafadores. Após os cilindros hidráulicos das travas e abafadores chegarem no seu final de curso, automaticamente a pressão desta linha aumentara, até que se equalize com a pressão na linha de entrada da válvula de sequência “4”, ou seja, a pressão aumenta até atingir a pressão de abertura da válvula de sequência que permite a passagem de óleo para “A1”. Somente a partir daí o fluxo de óleo será liberado para a função de **fechamento** da máquina. A retenção pilotada “2” tem a função de permitir o retorno do óleo das travas e abafadores para o pósito “E2” durante o processo de destravamento do implemento.

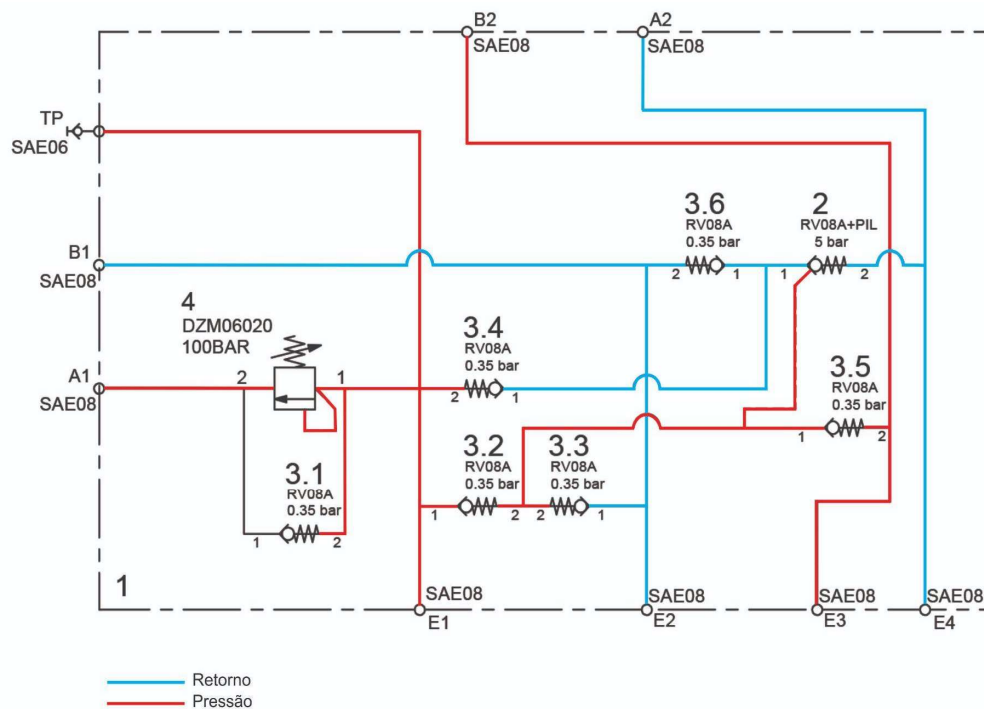
⁸ Definição referente a regulagem ideal da pressão da válvula de sequência será abordada no tópico 4.2 (INFLUÊNCIA DA REGULAGEM NA VÁLVULA DE SEQUÊNCIA.)

O retorno do óleo que está armazenado no cilindro principal também ocorre através do pórtico “E2”.

Desta forma, mesmo que o usuário tente fechar a máquina com as travas elevadas, o próprio sistema realizará seu destravamento e a elevação dos abafadores antes que se inicie o fechamento do implemento. Ou seja, não importa qual acionamento se realize a sequência de eventos será sempre: Destravamento e elevação de abafadores e depois fechamento do implemento.

Vale destacar que, os pórticos “E3” e “E4”, tem sua passagem de óleo bloqueada, devido ao acionamento elétrico feito nas bobinas do bloco direcional, impossibilitando a passagem do fluido pelos mesmos. Já o pórtico “TP” se trata de um tomador de pressão normalmente fechado (N/F).

Figura 35 - Fluxo de óleo para fechamento do implemento



Fonte: Autor (2023)

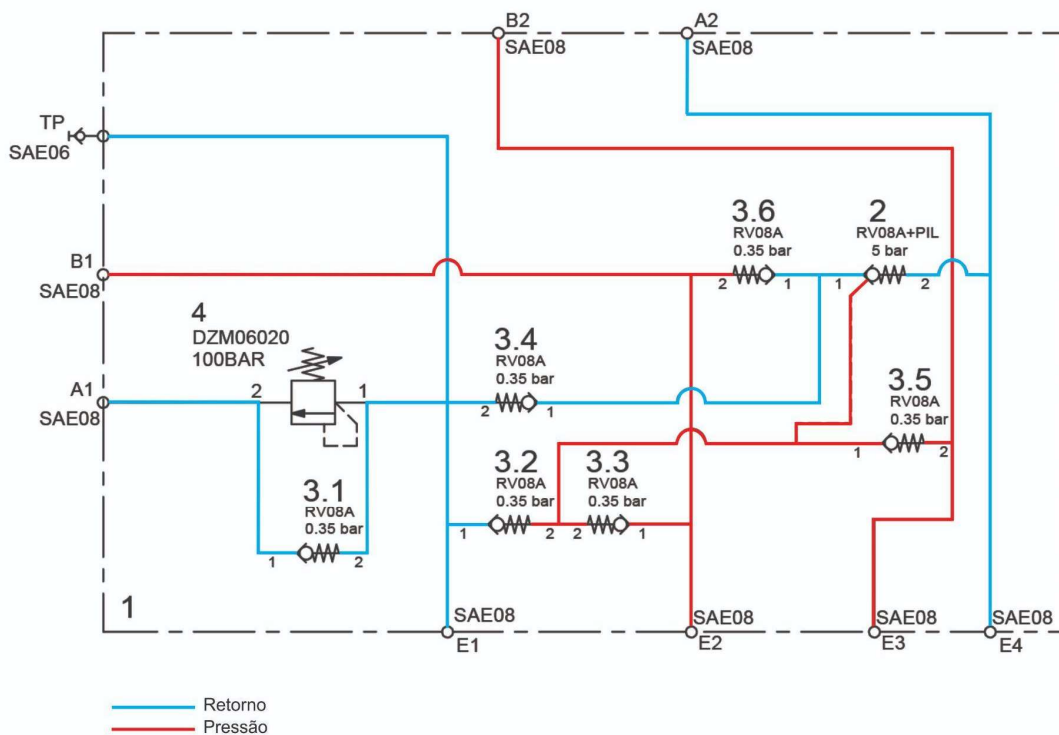
Abertura - Conforme destacado na Figura 36, para que seja realizada essa função, o fluido hidráulico deverá entrar pelo pórtico “E2”, e sair no “B1” no qual está conectado ao cilindro principal da máquina que é responsável pela abertura do implemento. Devido ao fato de a pressão necessária para acionar o cilindro ser superior a pressão de 0,35 bar da válvula de retenção “3.3”, o óleo em um primeiro momento desviará para o pórtico “B2” que é responsável pelo **destravamento**, fluindo

através das retenções “3.3” e “3.5”. Automaticamente as travas irão baixar de forma instantânea, caso estejam elevadas, para aí então iniciar o movimento de **abertura** da máquina. O retorno do óleo que está armazenado nos cilindros ocorrem através do pórtico “E1”.

Desta forma, será totalmente garantido que não irá ocorrer qualquer tipo de avaria no equipamento, mesmo que o usuário esteja operando de forma incorreta, pois o próprio sistema acionará o destravamento antes de qualquer movimento de abertura do implemento.

Vale destacar que, os pórticos “E3” e “E4”, tem sua passagem de óleo bloqueada, devido ao acionamento elétrico feito nas bobinas do bloco direcional, impossibilitando a passagem do fluido pelos mesmos. Já o pórtico “TP” se trata de um tomador de pressão normalmente fechado (N/F).

Figura 36 - Fluxo de óleo para abertura do implemento

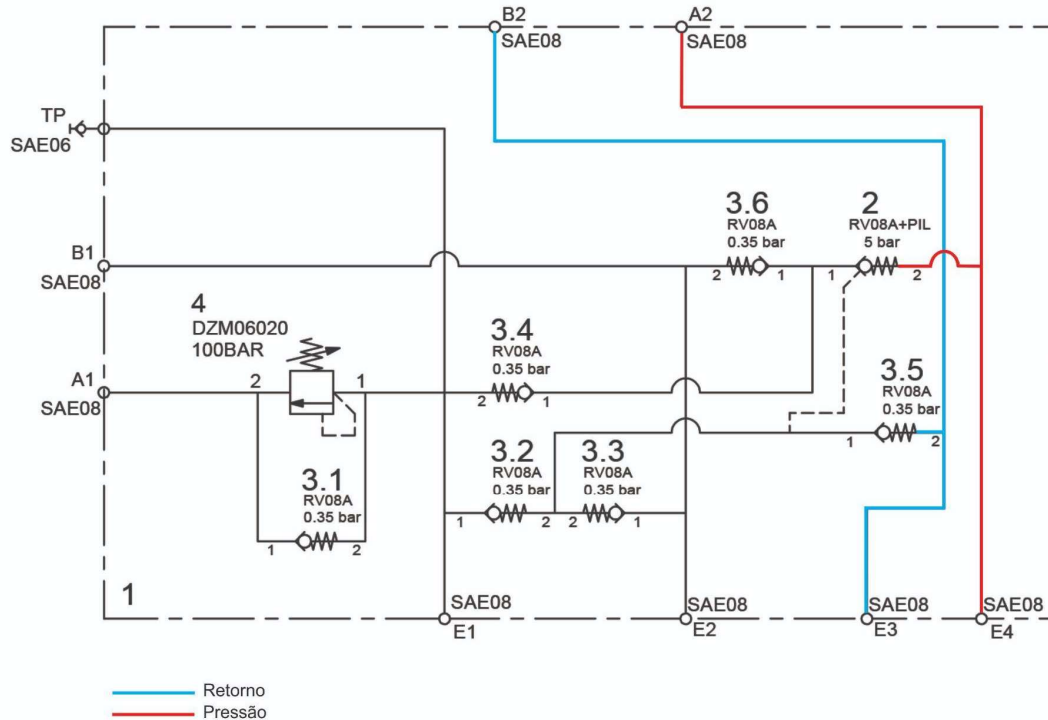


Fonte: Autor (2023)

Travamento - Conforme destacado na Figura 37, a função de travamento da máquina é feita de maneira separada das funções de abertura e fechamento. Para que isso aconteça o óleo deve percorrer do pórtico “E4” até a saída “A2”, que está ligado aos cilindros de travamento da máquina. O retorno do óleo que está

armazenado nos cilindros percorre do pórtilo “B2” até o “E3”. As válvulas de retenção “2” e “3.5” não permitem a passagem de óleo para qualquer outra função do sistema enquanto somente a função **travamento** estiver acionada.

Figura 37 - Fluxo de óleo para travamento do implemento

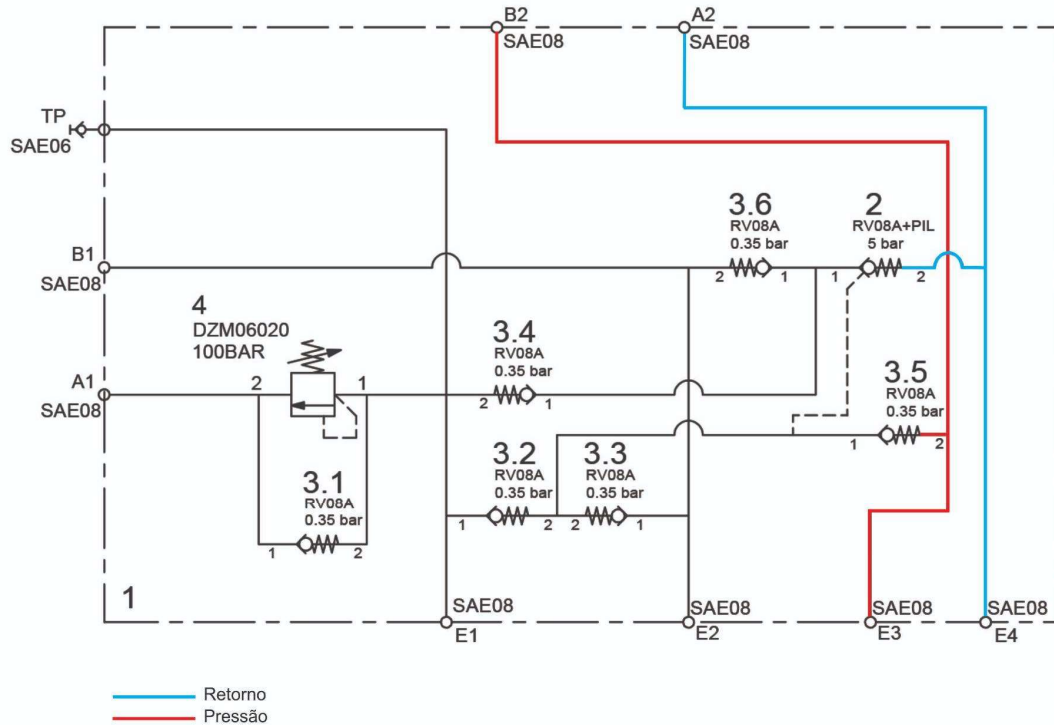


Fonte: Autor (2023)

Destravamento - Além de ser acionada de forma automática, em qualquer momento que o usuário acionar a abertura ou o fechamento da máquina, a função de destravamento também pode ser acionada de forma individual conforme destacado na Figura 38.

Para que isso aconteça o óleo deve ser direcionado do pórtilo “E3” até a saída “B2”, no qual está interligado os cilindros hidráulicos responsáveis pelo **destravamento** da máquina e elevação dos abafadores. O retorno do óleo que está armazenado nos cilindros percorre do pórtilo “A2” até o “E4”. As válvulas de retenção “2” e “3.5” não permitem a passagem de óleo para qualquer outra função do sistema enquanto somente a função destravamento estiver acionada.

Figura 38 - Fluxo de óleo para destravamento do implemento



Fonte: Autor (2023)

4.2 INFLUÊNCIA DA REGULAGEM NA VÁLVULA DE SEQUÊNCIA

Este experimento foi montado para determinar a pressão de abertura da válvula de seqüência. Foi realizado utilizando as seguintes regulagens de pressão de abertura na válvula de seqüência: 186 bar, 160 bar, 140 bar, 118 bar, 83 bar, 55 bar, 38 bar.

Não foi possível alterar as pressões de forma linear entre um experimento e outro, devido à grande sensibilidade da regulagem mecânica na válvula de seqüência. Porém procurou-se manter uma diferença de aproximadamente 20 bar entre uma coleta e outra. A vazão utilizada para todos os ensaios foi de 12 l/min.

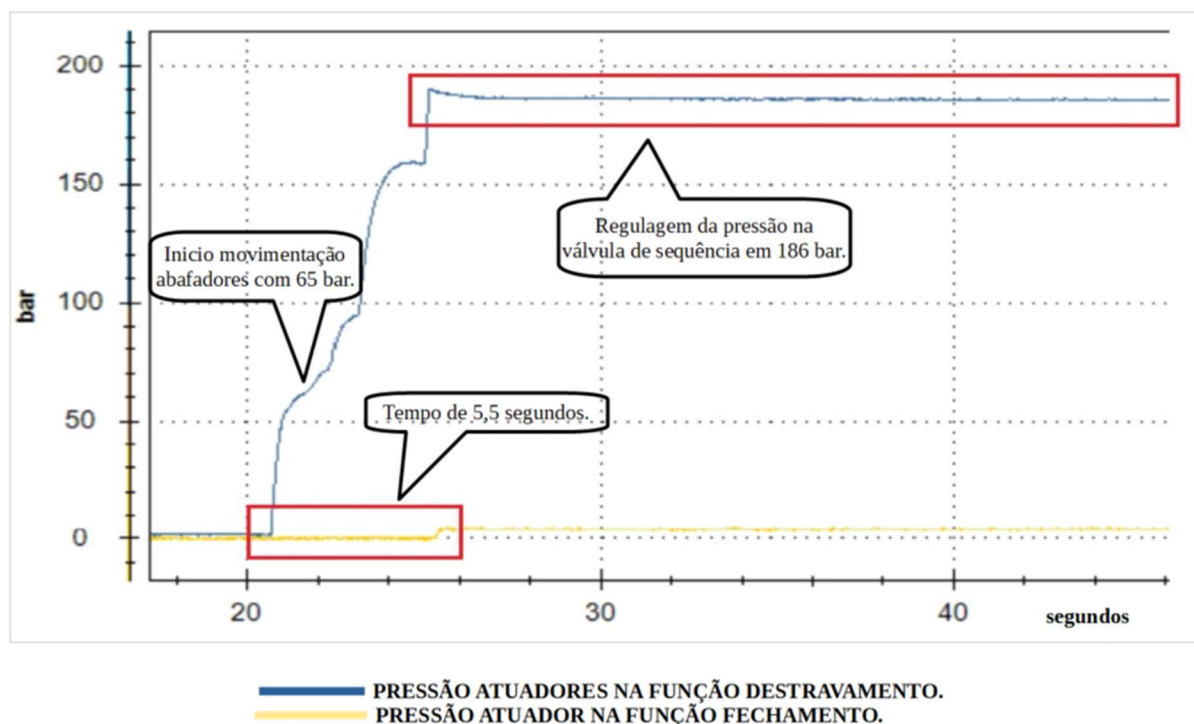
4.2.1 Válvula regulada em 186 Bar

O comportamento do sistema com a regulagem em 186 bar, permitiu que tanto o destravamento da máquina, quanto a elevação completa dos cilindros dos abafadores fossem realizados antes do início da movimentação do cilindro principal. Na parte superior da Figura 39 é destacado o limite de pressão regulado no sistema,

sendo a linha azul a representação da pressão das travas e dos abafadores para destravamento do implemento.

O tempo entre o acionamento da função “Fechamento” até o início real de sua movimentação durou 5,5 segundos, conforme destacado na parte inferior da Figura 39, sendo a linha amarela, a representação da pressão do cilindro principal da máquina, que parte de 0 bar, e após os 5,5 segundos recebe óleo em seu êmbolo, consequentemente aumentando a pressão no sistema. A pressão para movimentação do cilindro nesta condição é baixa (4 bar) devido ao fato de a pressão de alívio do trator⁹ estar regulada em 190 bar, ou seja, 186 bar foram disponibilizados para pressurizar o sistema de travas e abafadores devido a regulagem da válvula de seqüência estar em 186 bar e os outros 4 bar foram disponíveis para o acionamento do cilindro principal da máquina. Essa é uma característica natural de uma válvula reguladora de pressão, no caso funcionando como uma válvula de seqüência, que está ligada em série em um circuito.

Figura 39 - Gráfico de Pressão (bar) X Tempo (segundos) - Regulagem 186 bar



Fonte: Autor (2023)

⁹ O trator utilizado para os experimentos foi o modelo 7300, fabricado pela Massey Ferguson. (FERGUSON, 2023)

No gráfico mostrado na Figura 39, fica evidente que o sistema de destravamento do sistema é instantâneo, e que o cilindro dos abafadores necessita em torno de 65 bar para iniciar sua movimentação. Esse comportamento de movimentação dos abafadores, a partir do momento que atinge essa pressão, se repetirá nos demais testes, devido a carga e o mecanismo não se alterarem.

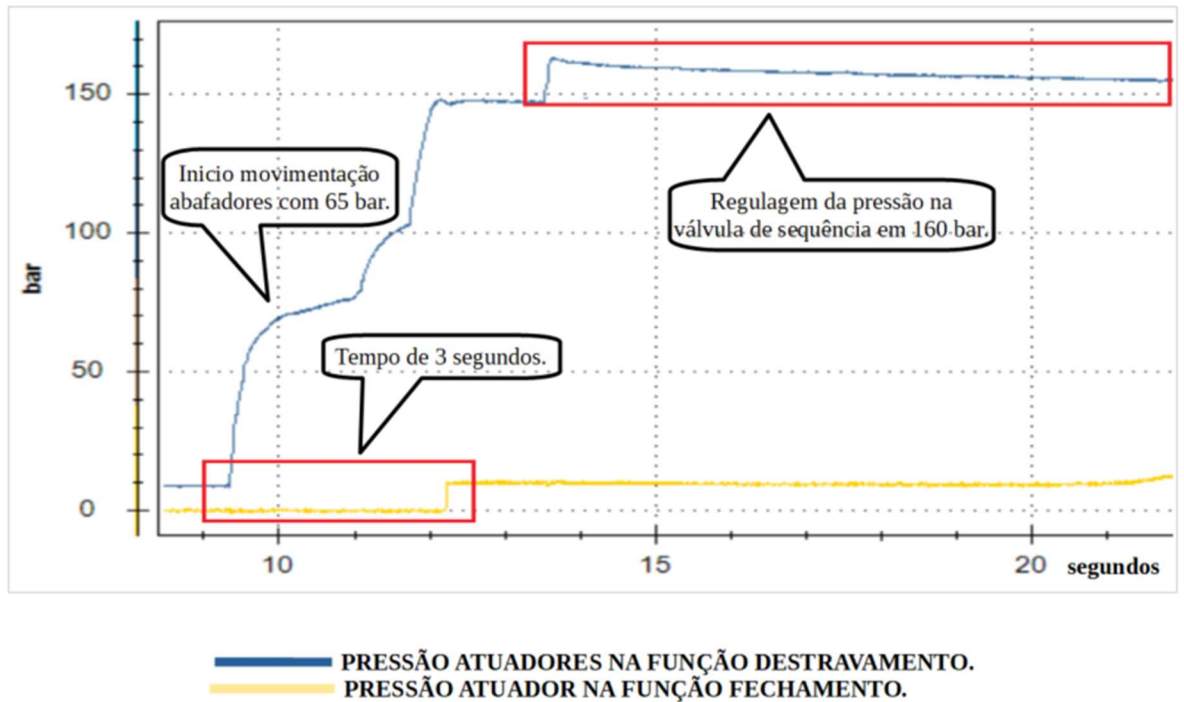
No começo do estudo, havia se estimado, por meio de cálculos, utilizando a decomposição das forças do mecanismo dos abafadores, que o sistema necessitaria de 70 Bar para realizar a movimentação dos abafadores, devido a isso, foi definido a regulagem da válvula de sequência em 100 bar, conforme mostra o diagrama completo da Figura 33.

4.2.2 Válvula regulada em 160 Bar

O comportamento do sistema com a regulagem em 160 Bar, permitiu que tanto o destravamento da máquina, quanto a elevação completa dos cilindros dos abafadores fossem realizados antes do início da movimentação do cilindro principal. Na parte superior da Figura 40 é destacado o limite de pressão regulado no sistema, sendo a linha azul a representação da pressão das travas e dos abafadores para destravamento do implemento.

O tempo entre o acionamento da função “Fechamento” até o início real de sua movimentação durou 3 segundos, conforme destacado na parte inferior da Figura 40, sendo a linha amarela, a representação da pressão do cilindro principal da máquina, que parte de 0 bar, e após os 3 segundos recebe óleo em seu êmbolo, consequentemente aumentando a pressão no sistema.

Figura 40 - Gráfico de Pressão (bar) X Tempo (segundos) - Regulagem 160 bar



Fonte: Autor (2023)

Em uma breve comparação entre o ensaio com 186 Bar e o de 160 Bar, já percebeu-se duas mudanças significativas no comportamento do sistema.

A primeira é a redução do tempo de resposta entre o início do acionamento e o início da movimentação do cilindro principal, que anteriormente era de 5.5 segundos e agora passou para 3 segundos. A segunda é o aumento da pressão disponível para o cilindro principal atuar.

Ambos fenômenos são explicados devido a pressão de alívio da válvula reguladora de pressão do trator, estar regulada em 190 bar, ou seja, no primeiro teste só restavam 4 Bar de pressão para movimentação do cilindro principal, fazendo com que todo o sistema ficasse lento. Já o experimento com 160 Bar de pressão, permitiu que tivesse em torno de 30 bar disponíveis para movimentação do cilindro principal. Este comportamento é natural, em situações em que o circuito hidráulico necessita operar com sua pressão máxima, onde automaticamente a válvula do trator, que faz esse controle, irá se abrir retornando o óleo para o tanque, diminuindo a vazão disponível, enquanto o circuito estiver operando com a pressão máxima da regulagem, neste caso 190 bar.

Considerando que a pressão de regulagem do trator se manterá 190 bar, quanto menor a pressão de abertura da válvula de sequência, mais rápido ocorrerá a

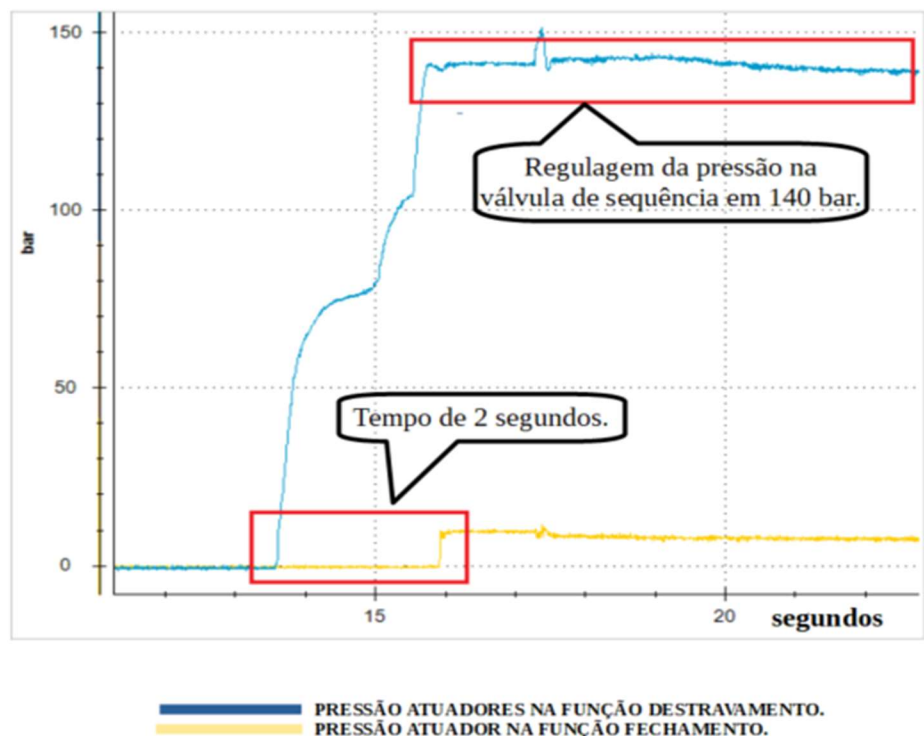
movimentação do cilindro principal. O problema é justamente o limite onde a pressão de abertura é baixa demais e cilindro principal começa se mover antes dos cilindros das travas e abafadores.

4.2.3 Válvula regulada em 140 Bar

O comportamento do sistema com a regulação em 140 Bar, permitiu que tanto o destravamento da máquina, quanto a elevação completa dos cilindros dos abafadores fossem realizados antes do início da movimentação do cilindro principal. Na parte superior da Figura 41 é destacado o limite de pressão regulado no sistema sendo a linha azul a representação da pressão das travas e dos abafadores para destravamento do implemento.

O tempo entre o acionamento da função “Fechamento” até o início real de sua movimentação durou 2 segundos, conforme destacado na parte inferior da Figura 41, sendo a linha amarela, a representação da pressão do cilindro principal da máquina, que parte de 0 bar, e após o 2 segundos recebe óleo em seu êmbolo, consequentemente aumentando a pressão no sistema.

Figura 41 - Gráfico de Pressão (bar) X Tempo (segundos) - Regulagem 140 bar



4.2.4 Válvula regulada em 118 Bar

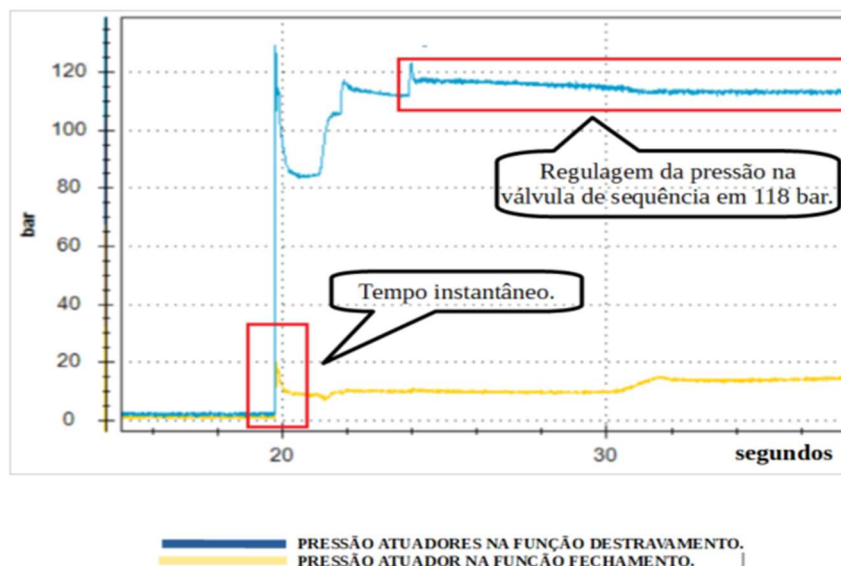
O comportamento do sistema com a regulagem em 118 Bar, não permitiu que o destravamento da máquina e a elevação completa dos cilindros dos abafadores fossem realizados antes do início da movimentação do cilindro principal, pois toda a movimentação ocorreu no mesmo instante.

Na parte superior da Figura 42 é destacado o limite de pressão regulado no sistema. O tempo entre o acionamento da função “Fechamento” até o início real de sua movimentação foi instantâneo, conforme destacado na parte inferior da Figura 42.

A partir deste experimento pode-se concluir que, caso a válvula esteja regulada com uma pressão igual ou inferior a 118 Bar, o sistema já está sob risco de avarias nas travas, pois não existe garantia que as mesmas irão destravar antes de que o cilindro principal se movimente.

Logo a regulagem mínima na válvula de sequência para que não ocorra movimentação dos abafadores e travas antes do cilindro principal é um valor entre 118 e 140 bar, pois o mesmo comportamento obtido neste experimento pode ocorrer com uma faixa de pressão de 130 bar por exemplo.

Figura 42 - Gráfico de Pressão (bar) X Tempo (segundos) - Regulagem 118 bar

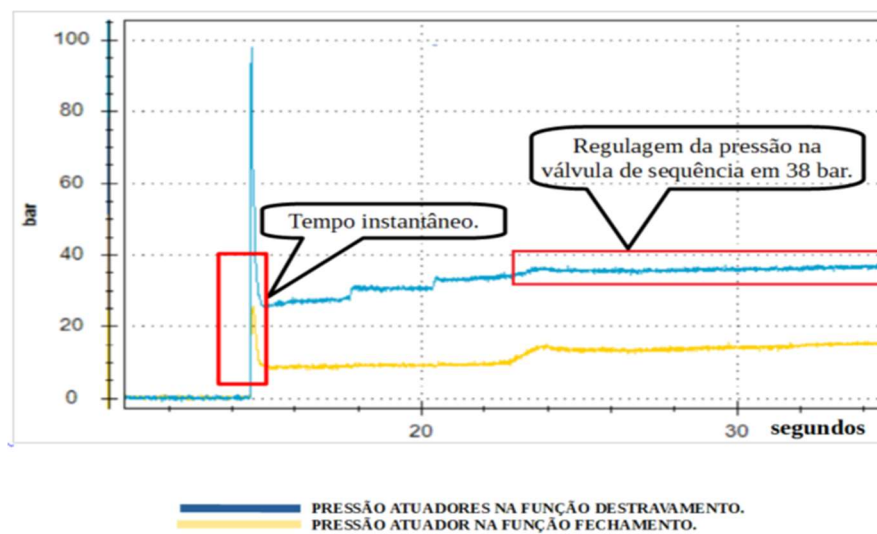


Fonte: Autor (2023)

4.2.5 Válvula regulada em 55 e 38 Bar

Conforme Figura 43, os testes realizados com regulagem de 55 e 38 bar apresentaram um resultado semelhante. No qual o sistema não teve pressão suficiente para elevar os abafadores, pois conforme já havia sido verificado nos experimentos anteriores, a pressão mínima necessária para elevação dos mesmos seria 65 bar.

Figura 43 - Gráfico de Pressão (bar) X Tempo (segundos) - Regulagem 38 bar



Fonte: Autor (2023)

4.3 INFLUÊNCIA DA VAZÃO NA ENTRADA DO SISTEMA.

O experimento foi realizado utilizando as seguintes regulagens de vazão no comando do trator: 12 l/min, 15 l/min, 24 l/min, 32 l/min, 38 l/min e 50 l/min. Não foi possível alterar as vazões de forma linear entre um experimento e outro, devido à grande sensibilidade da regulagem mecânica na válvula reguladora de vazão no qual o trator foi equipado.

A regulagem de pressão na válvula de sequência definida para o experimento, foi de 175 bar. A justificativa para tal regulagem, se deu, devido aos resultados obtidos no experimento anterior, (4.2 INFLUÊNCIA DA REGULAGEM NA VÁLVULA DE SEQUÊNCIA).

Com esta regulagem (175 bar), percebeu-se que o sistema está seguro, conforme proposto no objetivo do trabalho. Desta forma é garantido que os cilindros

das travas e abafadores chegaram ao seu final de curso, para somente a partir daí, iniciar a movimentação do cilindro principal da máquina, garantindo assim um sistema robusto e a prova de erros, caracterizado pelo *poka yoke*.

Além disso, caso o trator tenha uma regulagem de pressão de alívio de 190 bar, ou superior a isso, o cilindro principal da máquina terá disponível 15 bar ou mais para atuar. Essa pressão já é suficiente para a movimentação do mesmo.

Os gráficos mostrados nos próximos tópicos ilustram dois momentos do experimento:

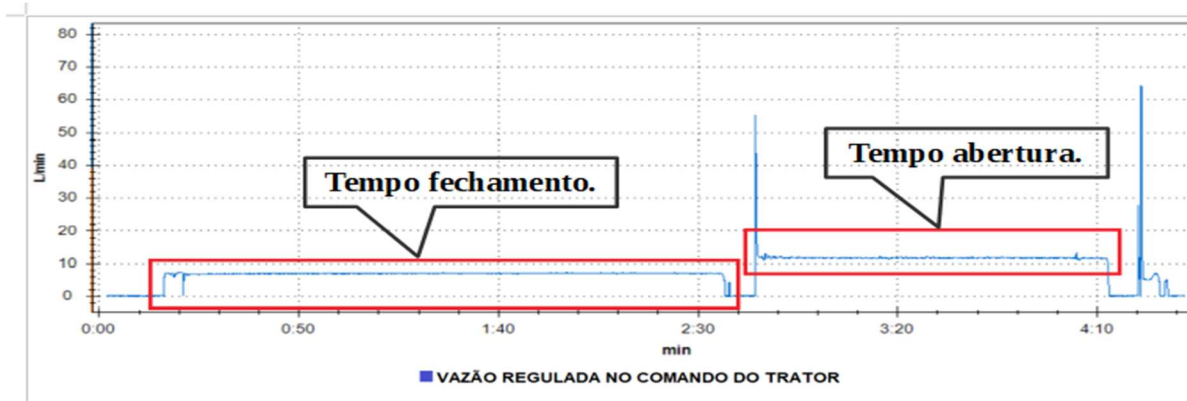
O primeiro deles é o tempo de **fechamento** do implemento (avanço do cilindro principal), no qual a sua vazão é reduzida devido a neste instante, o sistema operar com válvula de pressão do trator aberta, reduzindo a vazão disponível para o implemento, pois o circuito está operando com 190 bar, que é sua respectiva pressão de regulagem de alívio.

Já o segundo momento, é o tempo de **abertura** do implemento (retorno do cilindro principal), no qual o sistema trabalha sem as restrições impostas pela válvula de sequência, conseqüentemente, operando com as pressões necessárias equivalentes somente para a movimentação da máquina. Para este experimento foram consideradas as pressões de **abertura** do implemento como padrão.

4.3.1 Vazão regulada em 12 l/min

A vazão de 12 l/min permitiu com que o fechamento da máquina fosse realizado em 140 segundos e sua abertura em 87 segundos. A Figura 44 destaca os tempos empregados para ambas as funções.

Figura 44 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (minutos) - Regulagem 12 l/min

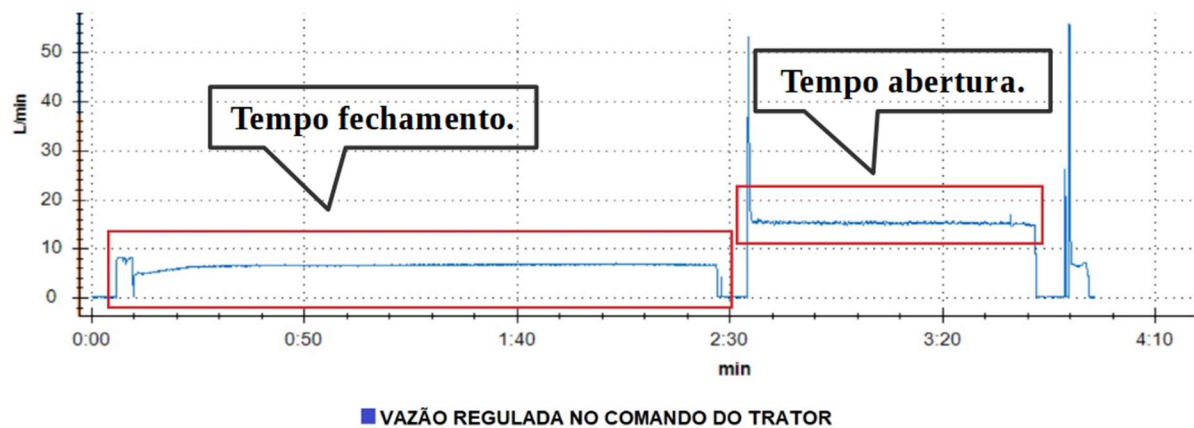


Fonte: Autor (2023)

4.3.2 Vazão regulada em 15 l/min

A vazão de 15 l/min permitiu com que o fechamento da máquina fosse realizado em 130 segundos e sua abertura em 67 segundos. A Figura 45 destaca os tempos empregados para ambas funções.

Figura 45 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (minutos) - Regulagem 15 l/min

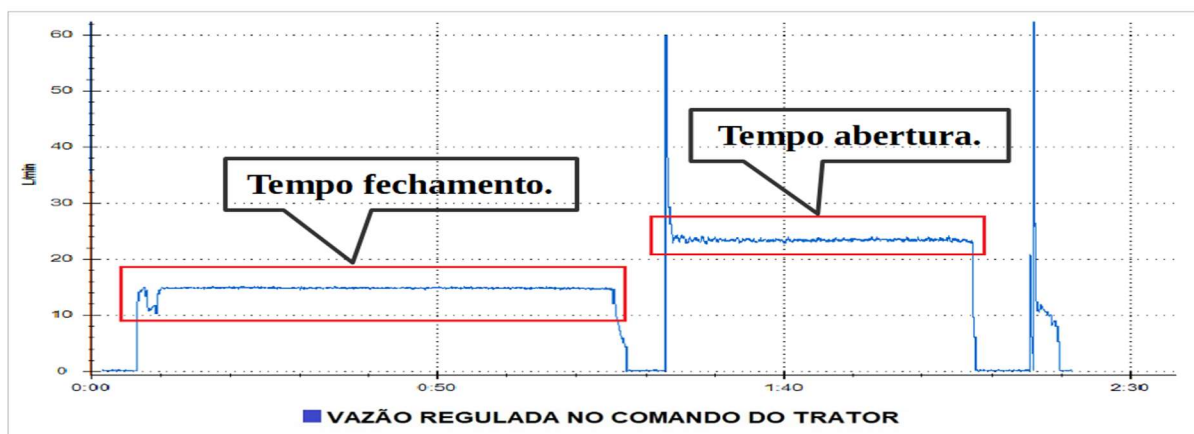


Fonte: Autor (2023)

4.3.3 Vazão regulada em 24 l/min

A vazão de 24 l/min permitiu com que o fechamento da máquina fosse realizado em 70 segundos e sua abertura em 45 segundos. A Figura 46 destaca os tempos empregados para ambas funções.

Figura 46 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (minutos) - Regulagem 24 l/min

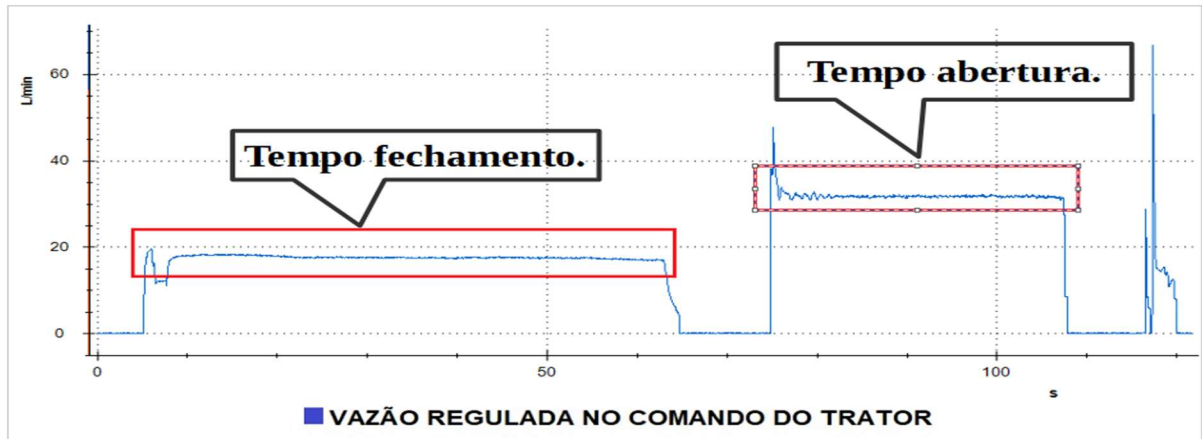


Fonte: Autor (2023)

4.3.4 Vazão regulada em 32 l/min

A vazão de 32 l/min permitiu com que o fechamento da máquina fosse realizado em 60 segundos e sua abertura em 32 segundos. A Figura 47 destaca os tempos empregados para ambas funções.

Figura 47 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (segundos) - Regulagem 32 l/min

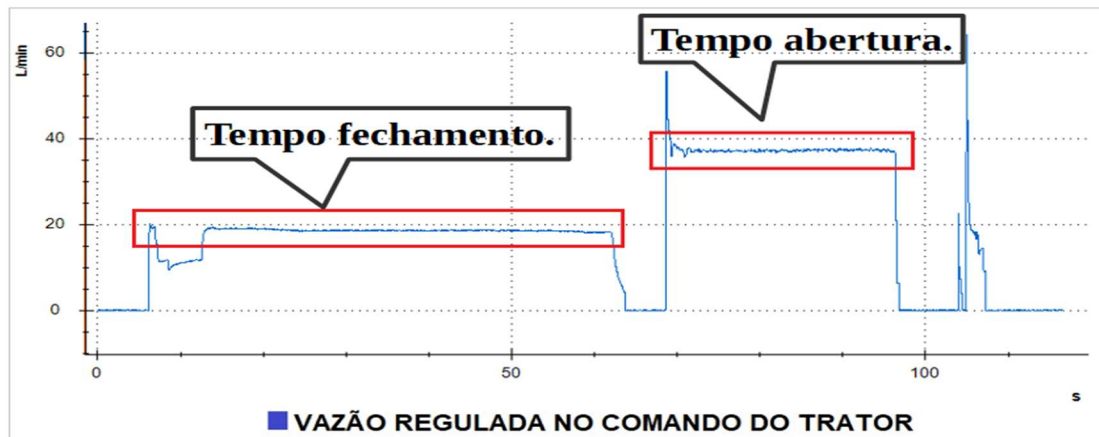


Fonte: Autor (2023)

4.3.5 Vazão regulada em 38 l/min

A vazão de 38 l/min permitiu com que o fechamento da máquina fosse realizado em 58 segundos e sua abertura em 28 segundos. A Figura 48 destaca os tempos empregados para ambas funções.

Figura 48 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (segundos) - Regulagem 38 l/min

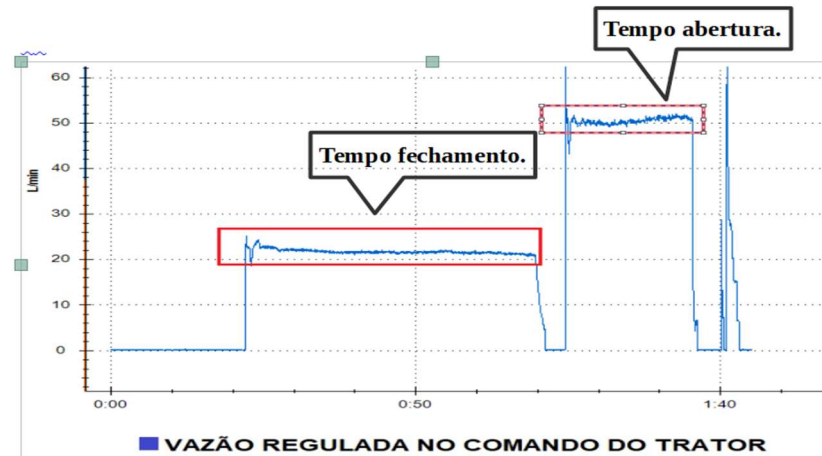


Fonte: Autor (2023)

4.3.6 Vazão regulada em 50 l/min

A vazão de 50 l/min permitiu com que o fechamento da máquina fosse realizado em 50 segundos e sua abertura em 22 segundos. A Figura 49 destaca os tempos empregados para ambas funções.

Figura 49 - Gráfico de Vazão (l/min) X Tempo (segundos) - Regulagem 50 l/min



Fonte: Autor (2023)

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos experimentos realizados, concluiu-se quais seriam os parâmetros ideais para o perfeito funcionamento do sistema, visando sempre o objetivo de prevenir todas as potenciais falhas anteriormente discutidas no tópico “1.2 - O IMPLEMENTO BRUTTUS 25000 E FALHAS OPERACIONAIS”.

A regulagem definida para o perfeito funcionamento da válvula de sequência foi 175 Bar. Chegou-se a essa conclusão, através dos testes descritos no tópico 4.2 - INFLUÊNCIA DA REGULAGEM NA VÁLVULA DE SEQUÊNCIA.”, pois ficou evidente que quanto menor a pressão, mais rápido o cilindro principal da máquina irá se mover.

Em contrapartida, caso a pressão da válvula de sequência seja mais elevada (maior que 175 bar), dependendo da capacidade de pressão de alívio do trator, o mesmo não terá força o suficiente para movimentar o cilindro principal da máquina, deixando o atuador estático ou muito lento. Isso ocorre devido a válvula de sequência estar ligada em série com a função “Fechamento” da máquina.

É de conhecimento que a pressão de alívio dos tratores em modo geral varia entre 180 e 200 bar, ou seja, como os testes foram realizados com um modelo de trator com a pressão de alívio regulada em 190 bar, podemos considerar que o valor regulado na válvula de sequência de 175 bar é ideal para qualquer tipo de trator que o implemento Bruttus possa vir trabalhar em conjunto.

Por intermédio dos experimentos descritos no tópico “4.3 - INFLUÊNCIA DA VAZÃO NA ENTRADA DO SISTEMA”, chegou-se a conclusão que a vazão ideal para um perfeito funcionamento do sistema é de 35 a 40 l/min, pois desta forma a máquina irá fechar completamente em um tempo médio de 55 segundos, e abrir em 25 segundos.

Porém é de conhecimento, que durante as operação no campo, ocorra muita troca de tratores e seus respectivos comandos hidráulicos, além disso os usuários finais muitas vezes não estão instruídos quando a regulagem da vazão do trator e também não contam com os equipamentos adequados para realizar este tipo de aferição. Por isso, mesmo que o sistema esteja trabalhando com faixas de vazão maiores que 40 l/min e menores que 35 l/min, o sistema mecânico do implemento não será afetado. A única diferença será o tempo de abertura da máquina, que reduzirá ou aumentará conforme a regulagem optada. Essa garantia se dá devido a regulagem da válvula de sequência ser 175 bar.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver melhorias no sistema hidráulico de um implemento agrícola, visando eliminar as possíveis falhas operacionais durante o funcionamento da máquina. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o principal objetivo do trabalho foi atingido com êxito.

Além do desenvolvimento do sistema hidráulico, este trabalho serviu como base, para a implementação do sistema proposto ser integrado à produção em série do implemento Bruttus 25000. Atualmente, o modelo proposto, sai montado de fábrica, fazendo parte das configurações padrões originais do equipamento.

Do ponto de vista empresarial, as simulações realizadas por intermédio do *software* Fluidsim, combinadas ao conhecimento adquirido durante a graduação, desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento deste trabalho. Esses recursos tecnológicos, aliados à formação acadêmica, foram essenciais para a concepção e aprimoramento do sistema proposto, fornecendo uma base sólida e prática para as soluções desenvolvidas.

Por fim, do ponto de vista do usuário final que adquire o equipamento, há uma confiança ampliada ao operá-lo, sabendo que mesmo em tentativas de procedimentos incorretos, a garantia de funcionamento sem falhas é assegurada. Isso resulta em maior confiança e credibilidade nos produtos da empresa Stara S/A.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS

- Prosseguir com os experimentos em uma máquina com mais de um ano de operação, visando identificar eventuais disparidades no comportamento do circuito hidráulico de maneira abrangente. Isto se justifica pelo fato de os experimentos descritos neste estudo, terem sido conduzidos em uma máquina nova, na qual todas as suas articulações mecânicas estavam em perfeitas condições. A extensão desses experimentos para uma máquina em uso há mais tempo permitirá uma comparação direta e a análise das diferenças de desempenho do circuito hidráulico ao longo do tempo de operação.
- Projetar e avaliar a viabilidade de um novo sistema hidráulico com movimentações sensorizadas, capaz de realizar automaticamente todas as operações de abertura e fechamento da máquina a partir de um único

acionamento no controlador eletrônico do implemento. Esta proposta visa integrar sensores para detecção de movimento, permitindo um funcionamento automatizado que responde de maneira precisa e eficiente a comandos eletrônicos, simplificando e otimizando as operações do equipamento.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, Endeavor. **Poka Yoke: como ter uma empresa à prova de erros**. 2021. Disponível em: <https://endeavor.org.br/estrategia-e-gestao/poka-yoke/>. Acesso em: 18 set. 2023.
- BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos**. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2008.
- CONSUL, Josiel Teixeira. **Implementação de Poka Yoke em processos de caldeiraria**. Ipa, Porto Alegre,RS , 2015.
- CORPORATION, Parker Hannifin. **SensoControl**: diagnostic test equipment for hydraulics. Switzerland: European Headquarters, 2022.
- DIPLOMATIC. **SIX WAYS BANKABLE FLOW DIVERTER**. 2023. Disponível em: <https://diplomaticmotionsolutions.com/assets/SchedeTecnica/GB/44200.pdf>. Acesso em: 01 nov. 23.
- FERGUSON, Massey. **MF 7300 Dyna-3**. 2023. Disponível em: https://www.masseyferguson.com/pt_br/product/tractors/mf-7300.html. Acesso em: 12 out. 2023.
- FESTO. **FluidSIM**. 2023. Disponível em: https://www.festo.com/br/pt/e/educacao/aprendizagem-digital/simulacao-e-modelacao-virtual/fluidsim-id_1663056/. Acesso em: 18 set. 23.
- FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação Hidráulica: Projetos, Dimensionamento e análise de circuitos..** 7. ed. Pinheiros, SP: Saraiva, 2019.
- FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação Hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos..** 2. ed. São Paulo,SP: Erica, 2004.
- FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automatismos Hidráulicos - Princípios Básicos, Dimensionamentos de Componentes e Aplicações Práticas**. São Paulo,SP: Erica, 2015.
- GMBH, Parker Hannifin. **The Parker Service Master Plus**. Bielefeld, Germany: Tube Fittings Division Europe, 2009.
- GOMES, Marcio Rodriguez. **Apostila de Hidráulica**. Santo Amaro, BA: Cefet/Ba, 2008.
- HYDAC. **DZM06020-01-C-N-100V**. Disponível em: <https://www.hydac.com/shop/pt-br/3361011>. Acesso em: 01 nov. 2023.
- MOREIRA, Ilo da Silva. **Sistemas Hidráulicos Industriais**. 2. ed. São Paulo, SP: Senai-SP, 2012.
- PARKER. **Tecnologia Hidráulica Industrial**. Jacareí,SP: Parker Hannifin, 1999.

PARKER. **Turbine flow meter SCFT / SensoControl**. 2023. Disponível em: <https://ph.parker.com/us/en/product/turbine-flow-meter-scft/scft-300-02-02>. Acesso em: 20 set. 23.

PATEL S. **Set-up time reduction and mistake proofing methods: an examination in precision component manufacturing**. The TQM Magazine. 2001.

PUPO, Rafael Pérez. **Sistemas Hidráulicos en la maquinaria agrícola**. Riobamba: Epoch, 2008.

RURAL, Redação Canal. **Agronegócio deve responder por 24,5% do PIB do Brasil em 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/agronegocio/agronegocio-deve-responder-por-245-do-pib-do-brasil-em-2023/#:~:text=Considerando%20tamb%C3%A9m%20o%20desempenho%20geral,dos%2025%25%20registrados%20em%202022..> Acesso em: 18 set. 2023.

SIERRA, Jacinto Gil. **ELEMENTOS HIDRÁULICOS**: en los tractores y maquinas agrícolas. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1998.

STARA. **Bruttus 25000**. Disponível em: <https://stara.com.br/produtos/maquinas-agricolas/distribuidores-maquinas-agricolas/bruttus-25000/>. Acesso em: 18 set. 2023.

VIDOR, Gabriel. **Diretrizes para avaliação de sistemas de gestão de poka yoke**. 2010. Curso de Engenharia de Produção, Ufrgs, Porto Alegre,RS , 2010.

LINSINGEN, Irlan. **Fundamentos de sistemas hidráulicos**. Florianópolis, SC: Ufsc, 2001.