

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GUSTAVO DUTRA DA SILVA

**ANÁLISE DE PERDAS E MELHORIA EM ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DE
INFILTRAÇÕES DE ÁGUA EM TRATORES CABINADOS**

SÃO LEOPOLDO
2022

GUSTAVO DUTRA DA SILVA

**ANÁLISE DE PERDAS E MELHORIA EM ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DE
INFILTRAÇÕES DE ÁGUA EM TRATORES CABINADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador(a): Prof. Dr. Eng. Mec. Walter Andrey Fontana

SÃO LEOPOLDO

2022

A minha avó que, com toda a certeza, de onde estiver, me acompanha a cada passo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família que sempre me apoiou, em especial a minha mãe, Angela, que fez de tudo e mais um pouco para que nunca nos faltasse nada. A Suellen, minha irmã, que sempre tem uma palavra de apoio e muito carinho para compartilhar. E aos meus avós, José e Vera, falavam que o estudo poderia me levar ao lugar que eu quisesse.

Ao primo, Gui, que ficou insistindo até o momento em que concordei ir junto prestar o vestibular, que fez, no primeiro semestre, junto comigo a disciplina de Introdução à Engenharia Mecânica e que no semestre seguinte me abandonou dizendo que isso não era pra ele, mas, apesar de pensar assim, sempre me incentivou a seguir em frente.

Ao grande amigo que a dança me deu, Jhony, que além de amigo dos palcos, virou padrinho de casamento, colega e carona para as aulas. Se não fossem tuas caronas, alguns semestres teriam sido muito difíceis para estar presente. Esse cara que um dia não foi a aula e mandou eu ir com seu carro e que quando retornei me xingou por ter abastecido com meu dinheiro. Nunca vou esquecer deste dia.

E ao meu amor, minha esposa Fernanda, que nunca me deixou desistir, mesmo nos momentos de maior desânimo e, principalmente, nos momentos em que duvidei se este era o caminho que deveria seguir. Esteve sempre me apoiando, incentivando e, em momentos mais conturbados, deixando que eu não me preocupasse com outros assuntos a não ser a graduação.

RESUMO

Este trabalho apresenta análise de proposta de ensaio de infiltrações de água em tratores cabinados, o qual, atualmente, é realizado de modo paliativo. As instalações do ensaio paliativo não garantem que ele seja realizado sempre com mesmas condições e, conseqüente, não apresentando qualidade na realização e não atendendo normas de Engenharia de Produto. Para o desenvolvimento do novo ensaio de infiltrações, juntamente com os interessados no projeto, foram avaliadas diferentes propostas e selecionada a que melhor atendesse os requisitos de Engenharia de Produto e Engenharia de Qualidade. Para avaliar os ganhos de tal proposta foram analisados o ensaio atual e o ensaio proposto com base nas 7 perdas da manufatura enxuta, nas normas para ensaios de infiltrações e nos custos envolvidos no processo. A partir destas verificações constatou-se redução de 78,8% nas perdas por movimentação e 90,8% nos custos do processo, além de apresentar *Payback* após 8 meses e 15 dias de implementação da proposta. A partir destas análises e resultados, conclui-se que o ensaio proposto atinge os objetivos definidos com grande redução de perdas.

Palavras-chave: tratores; cabinados; ensaio de infiltrações; manufatura enxuta.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de ensaio de infiltração.....	22
Figura 2 – Diagrama de Blocos da Metodologia aplicada.	26
Figura 3 – Estrutura do ensaio atual. As setas sinalizam o fluxo de água.	27
Figura 4 – Fluxo Ensaio Atual.	28
Figura 5 – Atividade de definição do escopo do produto.....	30
Figura 6 – Diagrama de Moody para determinação do fator de atrito.	32
Figura 7 – Chuveiro.....	34
Figura 8 – Lava jato.....	34
Figura 9 – Terreno inclinado.....	35
Figura 10 – Chuveiro operando com baixa vazão.....	36
Figura 11 – Ensaio sob pressão de lavagem.	37
Figura 12 – Controle do Ensaio Atual.....	37
Figura 13 – Fluxograma de processos.....	39
Figura 14 – Distância entre ensaio e processos.....	40
Figura 15 – Área de descarga.....	40
Figura 16 – Fluxo de caminhões para descarga.....	41
Figura 17 – Fluxo das ruas internas.....	41
Figura 18 – Proposta 01.....	49
Figura 19 – Proposta 02.....	50
Figura 20 – Chuveiro.....	51
Figura 21 – Proposta 03.....	52
Figura 22 – Layout Cabine de Lavagem.....	54
Figura 23 – Detalhamento Layout Cabine de Lavagem.....	55
Figura 24 – Chuveiro Ensaio Proposto.....	56
Figura 25 – Detalhamento sistema hidráulico Cabine 01.....	57
Figura 26 – Detalhamento sistema hidráulico Cabine 02.....	57
Figura 27 – Diagrama de Moody com a determinação do fator de atrito.....	60
Figura 28 – Curva característica (seta).....	62
Figura 29 – Diâmetro do impelidor (seta).....	63
Figura 30 – <i>NPSH</i> requerido (seta).....	63
Figura 31 – Potência de trabalho.....	64
Figura 32 – Fluxo Ensaio Proposto.....	66

Figura 33 – Controle Teste Hídrico.	67
Figura 34 – Enumeração da cabine no RSGQ-0548.	69
Figura 35 – Controle Teste Hídrico Preenchido.	69
Figura 36 – Fluxograma de processos.	71
Figura 37 – Dados de Ensaios Estratificados.	74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Deslocamento Ensaio Atual vs Ensaio Proposto	72
Gráfico 2 – Custo Combustível Ensaio Atual vs Ensaio Proposto.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de deslocamento de máquina para realizar o ensaio.	42
Tabela 2 – Volume médio de ensaios.	42
Tabela 3 – Tempo de deslocamento de operador.	43
Tabela 4 – Tempo de deslocamento para máquinas reprovadas.	44
Tabela 5 – Tempo de deslocamento para ensaio.	44
Tabela 6 – Custo Mão de Obra Direta – Operador Empresa Terceira.	46
Tabela 7 – Consumo de Combustível Mensal.	47
Tabela 8 – Preço de Distribuição Óleo Diesel B S10 – Comum.	48
Tabela 9 – Custo com Combustível na Movimentação de Máquinas Ensaio Atual. ...	48
Tabela 10 – Dados adotados para cálculos.	58
Tabela 11 – Tubulação selecionada para cálculos.	59
Tabela 12 – Dados do sistema de bombeamento para cálculos.	59
Tabela 13 – Perda de carga em acessórios.	60
Tabela 14 – Resultados obtidos a partir dos cálculos.	61
Tabela 15 – Resultados obtidos a partir dos cálculos com Fator de Segurança.	61
Tabela 16 – Dados da bomba selecionada.	64
Tabela 17 – Verificação do <i>NPSH</i>	65
Tabela 18 – Perdas de Movimentos Ensaio Atual vs Ensaio Proposto.	73
Tabela 19 – Consolidação de Testes Realizados.	75
Tabela 20 – Custo com Combustível na Movimentação de Máquinas Reprovadas. ...	77
Tabela 21 – Custo com Combustível Ensaio Atual vs Ensaio Proposto.	78
Tabela 22 – Investimentos e Custos Projeto.	79
Tabela 23 – <i>Payback</i> do Projeto.	79

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área, m ²
d	Massa específica, kg/m ³
D _h	Diâmetro hidráulico, m
D _i	Diâmetro interno, m
f	Fator de atrito
g	Aceleração da gravidade, m/s ²
H	Altura total, m
h	Altura, m
h _d	Altura manométrica de descarga, m
h _f	Perda de carga em acessórios, m
h _{fs}	Perda de carga em acessórios na sucção, m
h _s	Altura manométrica de sucção, m
h _{tub}	Perda por atrito, m
K	Constante de perda
L	Comprimento da tubulação, m
p _{atm}	Pressão atmosférica, Pa
Pe	Perímetro molhado, m
p _s	Pressão manométrica, Pa
p _v	Pressão de vapor, Pa
Q	Vazão, m ³ /h
Re	Número de Reynolds
V	Velocidade, m/s
Z _d	Altura de descarga, m
Z _s	Altura de sucção, m
γ	Peso específico, N/m ³
ε	Rugosidade, m
μ	Viscosidade dinâmica, Pa.s
ν	Viscosidade cinemática, m ² /s
π	Pi
ρ	Massa específica, kg/m ³

LISTA DE SIGLAS

CIF	Custos indiretos de fabricação
CQ	Controle de Qualidade
disp	Disponível
DPU	Defeitos por Unidade
ET	Especificação de Teste
FIFO	<i>First In, First Out</i>
FRONT.	Frontal
IHM	Interface Homem-Máquina
L. DIR.	Lado Direito
L. ESQ.	Lado Esquerdo
MD	Material direto
MO	Mão de Obra
MOD	Mão de Obra Direta
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NOK	Não OK
<i>NPSH</i>	<i>Net Positive Suction Head</i> ou altura líquida positiva acima da pressão de vapor
QG	<i>Quality Gate</i>
Re	Número de Reynolds
req	Requerida
SI	Sistema Internacional
TRAS.	Traseira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	13
1.2 DEMILIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.3 PROBLEMA	14
1.4 OBJETIVOS	14
1.4.1 Objetivo geral	14
1.4.2 Objetivos específicos.....	14
1.5 JUSTIFICATIVA	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 PERDAS DE PROCESSO APLICADOS	16
2.1.1 Perdas por Superprodução	17
2.1.2 Perdas por Espera.....	18
2.1.3 Perdas por Transporte	19
2.1.4 Perdas por Processamento	19
2.1.5 Perdas por Estoque.....	19
2.1.6 Perdas por Movimento.....	20
2.1.7 Perdas por Elaboração de Produtos Defeituosos	21
2.2 NORMAS DE ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO	21
2.3 CUSTO DE PROCESSOS DE ENSAIOS	22
2.3.1 Tipo de Custos	23
2.3.2 Metodologia de Cálculos de Custos.....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ENSAIO	27
3.1.1 Condições do Ensaio Atual	27
3.1.2 Perdas do Processo	28
3.1.3 Custos	28
3.2 PROJETO DO SISTEMA DE ENSAIO	29
3.2.1 Requisitos	29
3.2.2 Propostas de Ensaios	29
3.2.3 Projeto Detalhado.....	30
3.2.3.1 Sistema de Bombeamento	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34

4.1 CONDIÇÕES DO ENSAIO ATUAL	34
4.1.1 Instalações Ensaio Atual	35
4.1.2 Controle Ensaio Atual	37
4.1.3 Perdas Ensaio Atual.....	38
4.1.3.1 Perdas por Movimento	38
4.1.3.2 Perdas por Espera	45
4.1.3.3 Perdas por Elaboração de Produtos Defeituosos.....	45
4.1.4 Custos do Ensaio Atual	45
4.1.4.1 Mão de Obra Direta	45
4.1.4.2 Custos Indiretos de Fabricação.....	46
4.2 PROPOSTAS DE ENSAIOS	49
4.2.1 Proposta 01	49
4.2.2 Proposta 02.....	50
4.2.3 Proposta 03.....	51
4.3 DEFINIÇÃO DA PROPOSTA	53
4.4 PROJETO DETALHADO.....	53
4.4.1 Chuveiro.....	55
4.4.2 Sistema de Bombeamento.....	56
4.4.3 Automação do Ensaio.....	65
4.4.4. Ensaio Sob Pressão de Lavagem	66
4.5 CONDIÇÕES DO ENSAIO PROPOSTO.....	66
4.5.1 Instalações do Ensaio Proposto	66
4.5.2 Controle do Ensaio Proposto	67
4.5.3 Perdas do Ensaio Proposto.....	70
4.5.3.1 Perdas por Movimento	72
4.5.3.2 Perdas por Espera	73
4.5.3.3 Perdas por Elaboração de Produtos Defeituosos.....	74
4.5.4. Custos do Ensaio Proposto	76
4.5.4.1 Mão de Obra Direta	76
4.5.4.2 Custos Indiretos de Fabricação.....	77
4.5.4.3 <i>Payback</i>	78
5 CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXO A – TUBOS EM AÇO CARBONO COM COSTURA.....	84

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, apesar da pandemia da Covid-19, o mercado agrícola apresenta crescimento nas vendas de máquinas e implementos agrícolas. A recuperação econômica geral incentiva investimentos. Segundo Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Implementos (Abimaq), somente no primeiro quadrimestre do ano de 2021 houve aumento de faturamento de 63% e prevê aumento real de 30% do setor de máquinas agrícolas e movimentação de R\$ 33 bilhões em negócios no ano de 2021. Este crescimento é impulsionado pelo Plano Safra do Governo Federal e promete aquecer ainda mais o mercado.

Dentro deste crescimento do mercado agrícola, cresceu a procura do agricultor por mais conforto durante a realização de suas atividades no campo. Com isso, foi aumentada a procura por tratores cabinados, que são tratores que possuem cabine fechada e/ou climatizada.

A cabine oferece maior segurança e conforto ao condutor, possibilitando maior rendimento do operador. Para isto a cabine deve apresentar, além da segurança estrutural, condições de manter a área interna da cabine isenta de poeira e água, seja água da chuva ou água utilizada durante a lavagem do veículo.

Visando isto, este trabalho visa realizar o desenvolvimento de um novo ensaio de verificação de infiltrações de água em cabines de tratores, simulando situação de chuva e situação de lavagem para garantir que serão oferecidos aos clientes tratores com cabines vedadas e sem entrada de água.

1.1 TEMA

O presente trabalho tem como metodologia a análise de perdas em ensaio de verificação de infiltrações de água em tratores cabinados dentro de uma empresa fabricante de tratores.

1.2 DEMILIMITAÇÃO DO TEMA

O desenvolvimento do ensaio de infiltrações será realizado a partir do diagnóstico do sistema de ensaio utilizado atualmente analisando condições das instalações, perdas e custos envolvidos neste ensaio buscando melhorar as

condições dos equipamentos e reduzir e/ou eliminar perdas e custos que possam estar agregados a este sistema.

1.3 PROBLEMA

O sistema atual de ensaio de infiltrações foi instalado de modo paliativo e deveria ser utilizado por um pequeno período até que fosse desenvolvido um ensaio de infiltrações em local e com instalações adequadas. Porém, o novo teste não foi desenvolvido e não há registros que garantam a eficácia do ensaio realizado atualmente.

1.4 OBJETIVOS

Os objetivos são divididos em geral e específicos.

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver o sistema de ensaio de verificação de infiltração de água em tratores cabinados, reduzindo e/ou eliminando perdas e custos existentes no processo aplicado atualmente e que atenda aos requisitos mínimos impostos pela Engenharia de Produto.

1.4.2 Objetivos específicos

O presente trabalho tem como objetivos específicos:

- a) Verificar o ensaio de infiltrações realizado atualmente;
- b) Realizar análise de condições, perdas e custos deste ensaio;
- c) Verificar requisitos determinados pela Engenharia de Produto para a realização de ensaio de infiltrações;
- d) Propor novos ensaios de infiltrações atendendo requisitos da Engenharia de Produto;
- e) Definir ensaio de infiltrações a partir das propostas;
- f) Avaliar a proposta de ensaio.

1.5 JUSTIFICATIVA

Os equipamentos utilizados não garantem eficácia na verificação e o ensaio encontra-se distante dos outros processos do fluxo de processos o qual está inserido gerando grande deslocamento de máquinas para a sua realização. Não existe um controle de processo dos testes onde possa ser verificada a quantidade de máquinas testadas, bem como a fração de máquinas reprovadas, os motivos destas reprovações e as ações tomadas para correção dos defeitos.

Com isso, verificou-se a necessidade da criação de teste adequado, dentro do fluxo de processo e, também, a criação de controle deste processo para que possam ser analisadas as ocorrências, suas causas raízes e correção do processo na linha de produção de cabines, diminuindo, assim, a ocorrência de máquinas reprovadas no teste de verificação de infiltração de água.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento do teste de infiltração de água em tratores cabinados se dá observando três pontos importantes: perdas de processos aplicados, normas de ensaios de infiltrações e custo de processos de ensaios. O estudo da análise de perdas de processos aplicados será baseado nas 7 perdas da manufatura enxuta, as normas de ensaios de infiltrações são normas definidas pela Engenharia de Produto da empresa onde o projeto está sendo desenvolvido e os custos de processos de ensaios serão baseados nos custos do processo paliativo aplicado atualmente.

2.1 PERDAS DE PROCESSO APLICADOS

De acordo com Tubino (2015, p. 19),

Dado que definimos a manufatura enxuta como uma estratégia de produção focada na diferenciação, baseada em um conjunto de práticas, oriundas do Sistema Toyota de Produção, cujo objetivo é melhorar continuamente o sistema produtivo por meio da eliminação das atividades que não agregam valor ao cliente, chamadas de desperdícios, há necessidade de apresentarmos com um pouco mais de detalhe, antes de discutirmos o conjunto de práticas enxutas, estes dois princípios básicos que fazem parte da nossa definição: a melhoria contínua com a eliminação de desperdícios.

O foco da produção enxuta é alcançar um fluxo de materiais, informações ou clientes que ofereça exatamente o que os clientes desejam, em quantidades exatas, exatamente quando for necessário, exatamente onde for necessário e com o menor custo possível (SLACK, 2018).

Segundo Slack (2018, cap. 15),

Comprovadamente, a parte mais significativa da filosofia enxuta é seu foco na eliminação de todas as formas de desperdício. Desperdício pode ser definido como qualquer atividade que não agrega valor. Por exemplo, estudos frequentemente mostram que não mais do que 5% do tempo total de atravessamento é realmente gasto diretamente agregando valor. Isso significa que, durante 95% de seu tempo, uma operação está agregando custo ao serviço ou produto, mas não agregando valor.

As perdas de produção, em uma visão tradicional, se resumiam a desperdícios físicos, como matérias-primas, materiais, componentes e produtos, correspondendo apenas a fatores palpáveis. As noções históricas de perdas começam no início do século XX, com as ideias de Taylor e Ford (LOZADA, 2016).

De acordo com Lozada (2016, p. 115),

Para Taylor, as perdas estão associadas a questões como ausência de uma visão de gerenciamento e deficiências ocasionadas por causa dessa ausência, que comprometiam a organização da produção e do trabalho. A partir dessa visão ampla de Taylor surgiram conceitos gerais da administração científica. Que sinalizava a necessidade do desenvolvimento de um sistema de gestão baseado na ciência, incluindo aspectos como treinamento e formação das pessoas e o adequado gerenciamento dos recursos (físicos e humanos).

Segundo Lozada (2010), Ford acreditava que as perdas estavam associadas ao fato da disponibilidade abundante de recursos naturais, que superavam as necessidades da indústria na época, considerando que “[...] os materiais nada valem, adquirindo importância na medida em que chegam às mãos dos industriais [...]” (FORD, 1927, p. 113)

Desperdício é tudo aquilo que não agrega valor ao cliente, ao comprar rolos de malha acabadas para cortar e fazer camisetas, ou quando comprar motores elétricos para montar uma motobomba, ou ração para o cachorro, se gostaria de pagar aquelas atividades que no sistema produtivo dos fornecedores (externos ou internos) transformaram matérias-primas e componentes em produtos acabados (TUBINO, 2015).

Para Lozada (2010, p. 123), “Como ponto de partida para a tomada de ações em busca da eliminação das perdas, o Sistema Toyota de Produção propõe a tipologia denominada “Sete Grandes Perdas”, que seriam:”

1. Perdas por superprodução;
2. Perdas por espera;
3. Perdas por transporte;
4. Perdas por processamento;
5. Perdas por estoques;
6. Perdas por movimento;
7. Perdas por elaboração de produtos defeituosos.

2.1.1 Perdas por Superprodução

Existem dois tipos de superprodução: a quantitativa – fazer mais produto do que o necessário – e a antecipada – fazer o produto antes de que ele seja necessário. (SHINGO¹, 2017).

Segundo Shingo (2017, p. 103),

Por exemplo, um produto é feito para exportação com um tempo de atravessamento muito pequeno até a expedição. Para prevenir a falta do produto devido a defeitos que possam vir a ocorrer, a empresa produz 100 peças a mais do que as 5 mil encomendadas. Se houver apenas alguns poucos defeitos, as peças excedentes serão desperdiçadas. Esta é a *superprodução quantitativa*.

Por outro lado, se esta encomenda tem entrega prevista para o dia 20 de dezembro, mas foram concluídas no dia 15 do mesmo mês, está caracterizada *superprodução antecipada* (SHINGO¹, 2017).

Para Tubino (2015, p. 30),

[...] o desperdício de superprodução leva a um consumo desnecessário de material e capital antes do tempo e a uma ocupação também desnecessária dos recursos produtivos (máquinas, mão de obra e espaços físicos). E como estamos com a fábrica trabalhando em algo que não é necessário nesse momento, fica difícil responder a demandas novas de programação de curto prazo, a não ser, é claro, com estoques formados anteriormente, que induzem a novas superproduções.

2.1.2 Perdas por Espera

De acordo com Lozada (2010, p. 155, grifo do autor),

[...] as **perdas por espera** são associadas aos espaços de tempo durante os quais os trabalhadores e/ou as máquinas não estão sendo utilizados nas atividades da produção, ocorrendo a inatividade dos recursos produtivos. No entanto, mesmo durante esse período sem produzir, os custos (assim como a remuneração dos trabalhadores) permanecem, sem que deles seja obtida qualquer contribuição para o acréscimo de valor ao produto, serviço ou sistema para os quais foram destinados.

Conforme Tubino (2015, p. 33) “Espera é aquele tempo que o produto passa na fábrica sem ser processado, movimentado ou inspecionado, portanto, não se está agregando nenhum valor para o cliente”.

O resultado desses desperdícios de espera é o aumento no tempo de conclusão dos lotes [...], a necessidade de espaço físico junto às máquinas (área nobre na fábrica), bem como a geração de problemas técnicos de qualidade (por exemplo, uma malha não pode ficar mais do que cinco horas após sair de um tingimento esperando para ser seca e fixada na rama). (TUBINO, 2015, p. 34).

2.1.3 Perdas por Transporte

Para Shingo (2017, p. 59),

O transporte, ou movimentação dos materiais, é um custo que não agrega valor ao produto. A maioria das pessoas tenta melhorar o transporte, utilizando empilhadeiras, correias transportadoras, calhas de transporte e outros, o que na verdade melhora apenas o trabalho de transporte. Melhorias reais de transporte eliminam a função de transporte tanto quanto possível. A meta consiste em aumentar a eficiência da produção, o que é conseguido com o aprimoramento do layout dos processos.

De acordo com Lozada (2010, p.141),

Nesse contexto, é importante diferenciar dois aspectos relacionados ao transporte: o processo e o trabalho de transporte. O processo está relacionado à produção em si, representada pelos postos de trabalho e pelas movimentações ocorridas entre eles, ao longo da linha de produção. Já o trabalho de transporte corresponde à atividade de transporte propriamente dita ou o ato de transportar de um local a outro, podendo ser realizado de forma manual ou mecânica.

2.1.4 Perdas por Processamento

De acordo com Lozada (2010, p.141, grifo do autor),

As **perdas por processamento** em si, ou a fabricação propriamente dita, consistem, basicamente, na execução de atividades desnecessárias, ou seja, o ato de processar ou fabricar algo que não interfere ou colabora para que o produto alcance suas características básicas de qualidade, tendo como foco a adição de valor ao produto e a sua percepção pelo cliente.

“As consequências são operadores executando tarefas desnecessárias, com aumento de custo sem agregação de valor para o cliente.” (TUBINO, 2015, p. 35).

Essas perdas ocorrem, basicamente, pela falta de atenção a dois aspectos fundamentais. O primeiro é a verificação se o produto ou serviço deve realmente ser produzido/realizado. E o segundo é, se a produção realmente for necessária, verificar se o método a ser utilizado é o mais adequado para este produto/serviço (LOZADA, 2010).

2.1.5 Perdas por Estoque

De acordo com Tubino (2015, p. 31),

Um efeito direto da superprodução é a necessidade de se ter que armazenar a sobra do que se produziu e não foi consumido no momento da produção. Logo, a origem desse desperdício é a mesma que gerou a superprodução, ou seja: lotes econômicos grandes, demandas instáveis passadas diretamente para a fábrica com programação empurrada e falta momentânea de capacidade produtiva.

A consequência dessa necessidade de armazenamento de materiais e produtos adicionais é a utilização de espaços físicos da fábrica, bem como sistemas de controle e pessoas envolvidas nesse processo. Além destes custos diretos, o armazenamento de materiais por muito tempo pode gerar outros problemas, como qualidade e dificuldade para seguir a regra para manter o estoque saudável por meio da aplicação de FIFO (o primeiro que entra é o primeiro que sai) (TUBINO, 2015).

Conforme Shingo (2017, p.68),

Esperas de processo ocorrem como resultado de desequilíbrios e instabilidades entre processamento, inspeção, transporte e outros elementos em processos associados com aquele em estudo. Há geração de estoque à medida que tentamos compensar os pontos fracos. Infelizmente, quanto mais aumenta o estoque, mais se mascaram os problemas que não estão visíveis e torna-se mais difícil atacá-los diretamente. A simples eliminação do estoque, no entanto, não resolve esses problemas básicos. O que deve ser eliminado, em primeiro lugar, são as causas da instabilidade. Na medida em que um fluxo irregular de produção, defeitos, quebras de máquina, tempos excessivos de preparação, etc., são corrigidos, os estoques vão aos poucos diminuindo e, como consequência, vão sendo eliminados.

2.1.6 Perdas por Movimento

Conforme Lozada (2010, p.155, grifo do autor),

Já as **perdas por movimento (operação)** correspondem basicamente à execução de movimentos desnecessários durante a realização das principais atividades do processo de produção, nas máquinas ou nos postos de trabalho que compõem a linha de produção. São aqueles movimentos que poderiam ser eliminados, sem que isso representasse prejuízo ao produto, já que tais movimentos não agregam valor, apenas geram custos.

De acordo com Tubino (2015, p. 37),

Como consequência, os operadores executam funções que aumentam os tempos e os custos, sem padrão operacional, o que leva normalmente a problemas de qualidade. Não raro ocorrem também problemas ergonômicos em decorrência desses movimentos improdutivos [...].

As perdas podem estar associadas a operações desorganizadas e desorientadas, *layout* inadequado, disposição imprópria das estações de trabalho e do acesso a materiais e ferramentas, divisão de tarefas inadequada e ausência de parâmetros para o controle do trabalho e do ritmo da produção (LOUZADA, 2010).

2.1.7 Perdas por Elaboração de Produtos Defeituosos

Para Lozada (2010, p.143, grifo do autor),

As **perdas pela elaboração de produtos defeituosos** têm origem na fabricação de produtos não conformes, resultando em uma produção que não atende às especificações de qualidade predeterminadas no projeto. Nesse cenário, o monitoramento da produção é um fator de extrema relevância, podendo representar o princípio capaz de detectar e/ou prevenir a ocorrência dos defeitos e a consequente perda ocasionada por eles. (LOZADA, 2010, p. 143, grifo do autor).

Segundo Tubino (2015, p. 38),

A origem dos defeitos pode vir de procedimentos incorretos, de lotes econômicos muito grandes que escondem os problemas, ou então, de equipamentos desregulados sem manutenção. A solução convencional para isso é a inspeção por amostragem, que não garante 100% de qualidade, e leva a clientes (internos e externos) insatisfeitos, identificação tardia dos problemas, produtos rejeitados e retrabalhos com atrasos em cascata na produção.

De acordo com Lozada (2010, p.146, grifo do autor),

No que diz respeito às **perdas pela elaboração de produtos defeituosos**, é evidente a necessidade de monitoramento da produção, ao longo de todo o processo produtivo. Esse monitoramento se dá por meio de verificações, que são denominadas inspeções, correspondendo às estratégias que têm o objetivo de identificar a origem dos produtos defeituosos.

2.2 NORMAS DE ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

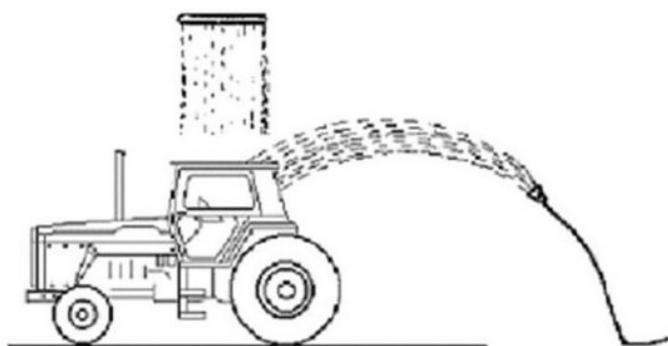
Para ensaios de infiltração para validação da cabine, para a Engenharia de Produto, segue-se a Norma ET100001 (norma interna da empresa), destacando-se os principais pontos da norma,

- I. As portas e janelas da cabina deverão estar hermeticamente fechadas.
- II. Deixar cair em torno da cabina um chuveiro de água de 22 l/min, como mostrado na Figura 1.

- III. Durante o teste de chuva, o ventilador deve estar operando em velocidade máxima e o motor pelo menos a 1200 rpm.
- IV. A cabina deverá ser submetida às condições acima durante 10 minutos sem evidenciar entrada de água no interior da mesma.
- V. Deverá ser avaliado também com a janela traseira na posição totalmente aberta e o chuva diretamente sob o teto, durante 10 minutos.
- VI. A máquina completa deverá ser submetida à pressão de lavagem durante 10 minutos sem evidenciar entrada de água ou danos em qualquer conjunto do trator.

O ventilador mencionado no item III refere-se ao sistema de ar condicionado da máquina. A Figura 1 exemplifica o modo de realização do ensaio de infiltrações com o chuva sobre a cabine e, ao redor da cabine, o ensaio à pressão de lavagem.

Figura 1 – Modelo de ensaio de infiltração.



Fonte: Norma ET100001.

Para que a cabine seja considerada aprovada, não deve haver qualquer tipo de infiltração de água no seu interior. Esta norma determina o teste ao qual a cabine deve ser submetida para validação junto a Engenharia de Produto, ou seja, para o teste a ser inserido no Fluxo de Valor não necessariamente necessita ser seguido na sua totalidade, mas deve ser utilizado como base para a definição do ensaio a ser utilizado no fluxo.

2.3 CUSTO DE PROCESSOS DE ENSAIOS

De acordo com Bornia (2010, p. 11),

A contabilidade de custos surgiu com o aparecimento das empresas industriais (Revolução Industrial) com o intuito de determinar os custos dos produtos fabricados. Antes disso, os artigos normalmente eram produzidos por artesãos que, via de regra, não constituíam pessoas jurídicas, e praticamente só existiam empresas comerciais, as quais utilizavam a contabilidade financeira basicamente para a avaliação do patrimônio e apuração do resultado do período.

“As informações relativas à contabilidade de custos devem ser fornecidas adequadamente para embasar a tomada de decisão das organizações, tanto em nível gerencial, quanto estratégico” (ALVES, 2018, p.17).

Segundo Alves (2018, p. 18), “Diante da concorrência do mercado e da globalização, torna-se indispensável o gerenciamento dos custos para garantir que a organização tenha continuidade com lucratividade no mercado em que está inserida”.

Para Bornia (2010, p. 3),

Uma das principais diferenças entre a empresa atual e a antiga é a constante procura pela melhoria de suas atividades. As empresas precisam necessariamente concentrar esforços na busca constante de seu aprimoramento, não apenas com inovações tecnológicas, mas também com eliminação de desperdícios existentes no processo. A empresa que não se atualizar será suplantada por concorrentes mais competentes, pois, normalmente, todas as atividades de uma empresa podem ser aprimoradas de alguma forma, e é isso que os estoques da empresa moderna procuram fazer, sem descanso.

A eliminação dos desperdícios é peça de fundamental importância, assim como a melhoria de atividades que não agregam valor ao produto, mas são imprescindíveis como a preparação de máquinas e a movimentação de materiais. (BORNIA, 2010).

2.3.1 Tipo de Custos

De acordo com Bruni e Famá (2019, cap. 1), “A depender do interesse e da metodologia empregada, diferentes são as classificações empregadas na contabilidade de custos”.

Segundo Alves (2018), custos se referem a gastos para se obter um produto ou serviço e os componentes destes custos podem ser determinados a partir de um princípio técnico de análise de valor ou relevância. Com base nisto, existem as seguintes classificações: matéria-prima, material direto ou indireto, mão de obra direta e mão de obra indireta.

“Os principais elementos que influenciam no resultado de qualquer entidade são representados por meio das receitas auferidas, dos custos, diretos ou indiretos, e despesas incorridas” (BRUNI; FAMÁ, 2019, cap. 1).

[...] enquanto os custos diretos podem ser facilmente associados aos produtos fabricados, os custos indiretos precisam passar por etapa intermediária, denominada

rateio, para, a partir daí, serem incorporados aos produtos” (BRUNI; FAMÁ, 2019, cap. 1).

Em relação ao custo da produção, pode ser expresso pela composição de três elementos básicos, como: material direto (MD), mão de obra direta (MOD) e custos indiretos de fabricação (CIF). Já outros gastos significativos não classificados como custos são agrupados como despesas diversas. (BRUNI; FAMÁ, 2019).

“O material direto, ou, simplesmente, MD, é formado pelas matérias-primas, embalagens, componentes adquiridos prontos e outros materiais utilizados no processo de fabricação, que podem ser associados diretamente aos produtos” (BRUNI; FAMÁ, 2019).

“**Custo com mão de obra:** são os custos envolvidos com a mão de obra utilizada dentro da empresa. Tais custos são representados pelos salários, pelos encargos sociais e por outros custos ligados à mão de obra” (ALVES, 2018, p. 74, grifo do autor).

Conforme Bruni e Famá (2019),

Os Custos Indiretos de Fabricação ou, simplesmente, CIFs são os gastos identificados com a função de produção ou elaboração do serviço a ser comercializado e que, como o próprio nome já revela, não podem ser associados diretamente a um produto ou serviço específico. Exemplo: algumas despesas de depreciação, salários de supervisores de diferentes linhas de produção etc.

2.3.2 Metodologia de Cálculos de Custos

De acordo com Bruni e Famá (2019),

No Brasil, em decorrência dos altos níveis de encargos sociais, estes devem ser incorporados no custo horário da MOD de forma variável: quanto maior a MOD, maiores são alguns encargos. Da mesma forma, embora no Brasil seja possível contratar funcionários remunerados com base no número de horas trabalhadas, a legislação assegura um mínimo de 220 horas, o que torna a MOD um custo fixo na maior parte dos casos.

Conforme Bruni e Famá (2019, grifo do autor),

É importante observar que, embora a mão de obra direta seja tratada como variável já que está associada aos volumes produzidos, no Brasil, em função das restrições legais, os salários e encargos devem ser considerados como **fixos**. A eventual diferença entre o gasto total com mão de obra e mão de obra direta, alocada ao produto, representa a ociosidade ou a perda do trabalho pago, porém não utilizado, podendo ser agrupado genericamente na categoria de mão de obra indireta.

Existindo a possibilidade de conhecer o valor de mão de obra aplicada ao produto de forma direta quantitativamente, existe a mão de obra direta (ALVES, 2018).

De acordo com Bruni e Famá (2019),

Como o próprio nome revela, custos indiretos são os que não podem ser alocados diretamente aos produtos. Sob sua classificação, agrupam-se inúmeros gastos de diversas naturezas produtivas, como depreciações industriais, gastos com mão de obra indireta, materiais consumidos de forma indireta e muitos outros.

Segundo Bruni e Famá (2019),

Algumas entidades optam por simplificar o processo de controle e alocação de custos indiretos de fabricação por meio do uso de taxas predefinidas de CIFs. A predeterminação dos CIFs consiste em estimar qual será o valor destes num período futuro, qual será o critério de alocação (rateio) dos CIFs e sua previsão futura e, posteriormente, empregar esse gasto pré-estimado para apurar o custo de produção do período.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este projeto será seguida a metodologia apresentada no Diagrama de Blocos na Figura 2:

Figura 2 – Diagrama de Blocos da Metodologia aplicada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente serão avaliadas as condições do ensaio de infiltrações que é realizado atualmente (paliativo), verificando suas condições, perdas inerentes durante a sua realização e custos envolvidos. Estas análises se fazem importantes para verificar os principais pontos a serem melhorados na proposta do novo ensaio de infiltrações.

Após a verificação dos pontos acima citados serão verificados os requisitos mínimos determinados pela Engenharia de Produto da presente empresa para que o novo ensaio de infiltrações seja elaborado de acordo com estes requisitos e, conseqüentemente, seja satisfatório.

Com os requisitos de Engenharia de Produto determinados poderá ser iniciado o projeto do novo ensaio de infiltrações. Este projeto também buscará inserir o ensaio de infiltrações em um melhor fluxo de processos, bem como instalá-lo com o menor investimento possível, contribuindo para a redução dos custos que serão levantados e analisados posteriormente.

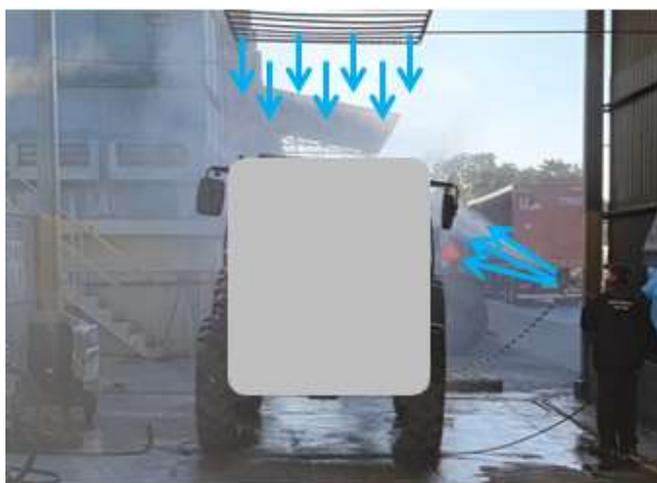
Com o projeto instalado poderão ser analisados e comparados os principais pontos entre o ensaio paliativo e o novo ensaio: condições, perdas e custos.

3.1 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ENSAIO

O ensaio atual, como citado anteriormente, é um ensaio paliativo que foi concebido para que as máquinas não fossem enviadas aos clientes sem a verificação de infiltrações na cabine.

O ensaio atual é realizado, conforme apresentado na Figura 3, onde as setas indicam o fluxo de água direcionado para a cabine. Acima do trator existe instalado um chuveiro realizando o ensaio simulando situação de chuva e ao lado um operador realizando ensaio sob pressão de lavagem utilizando lava jato.

Figura 3 – Estrutura do ensaio atual. As setas sinalizam o fluxo de água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.1 Condições do Ensaio Atual

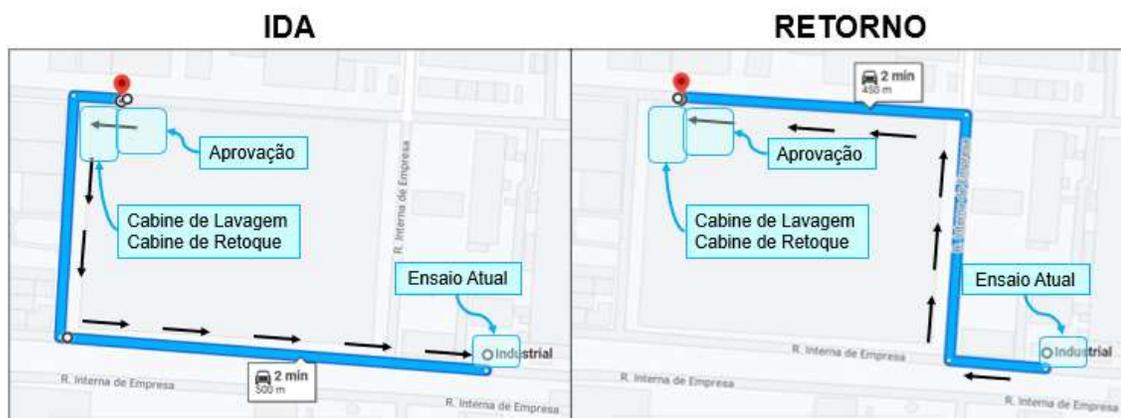
Para realizar a análise do ensaio atual serão verificados os equipamentos utilizados para sua realização bem com o método utilizado durante o ensaio. Em análise inicial foi verificado que o chuveiro está operando sem água na sua totalidade, prevendo a necessidade de instalação de bomba garantir volume de água durante ensaio de infiltrações.

Além disso, será verificado se há registros dos ensaios realizados bem o seu detalhamento para verificação posterior e tratamento dos defeitos encontrados.

3.1.2 Perdas do Processo

A Figura 4 apresenta o fluxo atual para a realização do ensaio de infiltrações,

Figura 4 – Fluxo Ensaio Atual.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando o processo atual de verificação de infiltrações verificou-se que as principais perdas relacionadas ao processo são: Perdas por Movimento, Perdas por Espera e Perdas por Elaboração de Produtos Defeituosos. Sendo assim, a proposta de projeto para o novo ensaio de verificação de infiltrações terá como um de seus objetivos diminuir/eliminar estas perdas.

Para verificar as Perdas por Movimento e Perdas por Espera serão cronometrados os tempos de movimentação de máquinas e deslocamento de operadores, bem como, analisados o tempo em que máquinas ficam paradas aguardando para serem submetidas ao ensaio.

Para as Perdas por Elaboração de Produtos Defeituosos será verificado o método utilizado para o registro de defeitos encontrados durante o ensaio atual.

3.1.3 Custos

Para a análise de custos do ensaio atual serão verificados os custos envolvidos no ensaio atual, material direto (MD), mão de obra direta (MOD) e os custos indiretos de fabricação (CIF). Com os custos levantados, poderá ser possível avalia-los e verificar quais custos podem ser reduzidos e/ou eliminados na proposta do novo ensaio de infiltrações.

3.2 PROJETO DO SISTEMA DE ENSAIO

Neste tópico serão apresentados os requisitos para a realização do ensaio de infiltrações, requisitos definidos juntamente a Engenharia de Produto e a Engenharia de Qualidade da presente empresa.

A partir destes requisitos poderá ser definido o projeto mecânico das instalações necessárias para atender estes requisitos.

3.2.1 Requisitos

No que diz respeito aos requisitos do projeto pode-se dividi-los em duas etapas. Primeiramente os requisitos de ensaio e posteriormente os requisitos de instalações. A realização do ensaio deve atender dois requisitos mínimos: teste de infiltrações no teto (chuveiro) e teste de infiltrações nas vedações no entorno da cabine (pressão de lavagem).

Para verificar as condições do ensaio de infiltrações serão considerados duas condições (II e VI) da Norma interna ET100001:

- a) Deixar cair em torno da cabine um chuveiro de água de 22 l/min;
- b) A máquina completa deverá ser submetida à pressão de lavagem.

Além destas condições, para o item a) será considerado um tempo de teste igual a 10 minutos.

3.2.2 Propostas de Ensaio

O desenvolvimento do projeto mecânico do ensaio de filtrações em questão foi realizado e analisado no que diz respeito ao atendimento dos requisitos mínimos de Engenharia de Produto. Mas, para a determinação do novo ensaio a metodologia de planejamento do produto (ensaio de infiltrações) foi baseada na metodologia de Rozenfeld *et al.* (2010), apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Atividade de definição do escopo do produto.



Fonte: Rozenfeld et al. (2010).

Para a definição do escopo do produto, conforme Rozenfeld *et al.* (2010), foram definidos os interessados no projeto, que são os envolvidos e/ou afetados e que podem manifestar ou sofrer influências relativas ao projeto. A partir da definição dos interessados no projeto poderão ser analisadas as condições do ensaio atual e propostas de novos ensaios, são eles: Engenharia de Produto, Engenharia de Qualidade, área de Aprovação, Manufatura (responsável pela cabine de lavagem).

3.2.3 Projeto Detalhado

3.2.3.1 Sistema de Bombeamento

O dimensionamento e projeto adequado de sistemas de bombeamento é fundamental para minimizar os custos de operação de uma bomba, ou seja, minimizar a energia consumida durante o tempo de operação do sistema.

Para isto o projeto considera a interação entre a bomba e os demais acessórios do sistema, possibilitando a determinação do ponto de trabalho da bomba.

Sabe-se que atrito nas tubulações e em acessórios estão associados à perda de energia em função do escoamento do fluido. Com isso, para manter o escoamento

na tubulação, a função da bomba é fornecer uma quantidade de energia correspondente à energia perdida pelo atrito (MACAGNAN, 2020).

A perda por atrito é determinada pela Equação 1, onde f é o fator de atrito de Darcy; L é o comprimento da tubulação, D_h é o diâmetro hidráulico, V é a velocidade média do fluido e g é a aceleração da gravidade.

$$h_{tub} = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (1)$$

O diâmetro hidráulico, D_h , é calculado pela Equação 2:

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{Pe} \quad (2)$$

onde A é a área da seção transversal da tubulação e Pe é o perímetro molhado da tubulação, que, para tubo circular, é calculado pela Equação 3, onde D_i é o diâmetro interno da tubulação.

$$Pe = \pi \cdot D_i \quad (3)$$

Para determinar o fator de atrito, f , é preciso determinar o padrão de escoamento que é descrito pelo número de Reynolds, Re , conforme a Equação 4.

$$Re = \frac{V \cdot D_h}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot D_h}{\mu} \quad (4)$$

Pois, na Equação 5, onde ν é a viscosidade cinemática, μ é a viscosidade dinâmica.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (5)$$

E, na Equação 6, onde Q é a vazão e A é a área transversal da tubulação.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Segundo Macagnan (2020, p.7) "O número de Reynolds é um número adimensional que expressa a relação entre as forças de inércia e as forças viscosas no fluido, utilizado para descrever o tipo de escoamento. Assim":

- $Re < 2300 \rightarrow$ escoamento laminar;
- $2300 < Re < 5000 \rightarrow$ região de transição;
- $Re > 5000 \rightarrow$ escoamento turbulento."

Caso o resultado apresente o padrão de escoamento como escoamento laminar, o fator de atrito para escoamento é obtido independentemente da rugosidade da tubulação, conforme Equação 7:

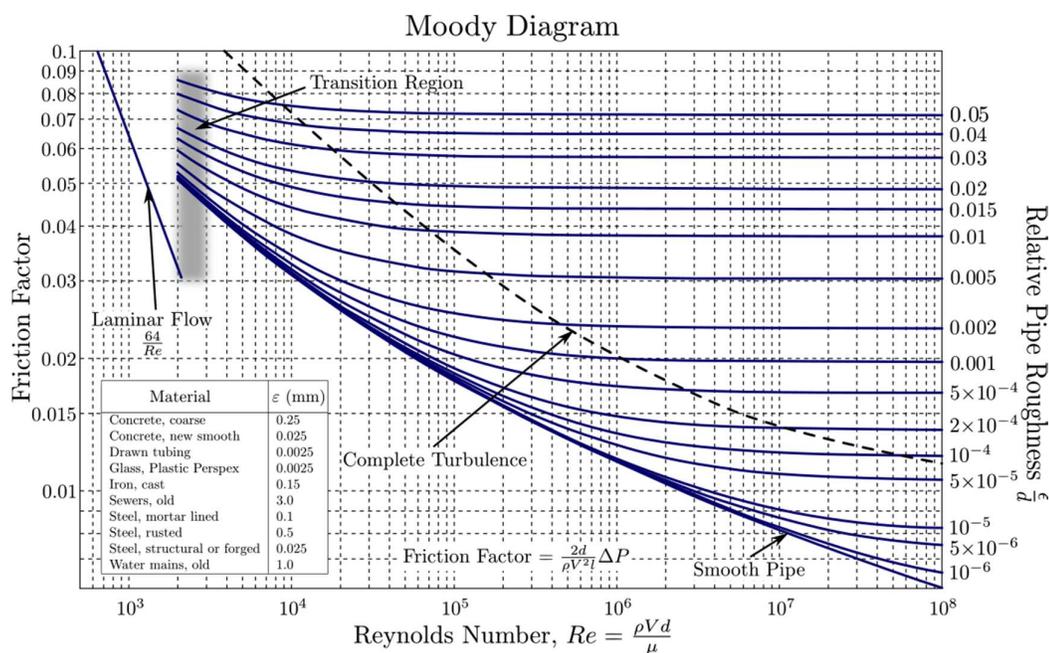
$$f = \frac{64}{Re} \quad (7)$$

Caso o número de Reynolds apresente o padrão de escoamento como turbulento, o fator de atrito depende de Reynolds e da rugosidade relativa da tubulação que é obtida através da relação entre rugosidade e o diâmetro interno da tubulação, conforme a Equação 8:

$$\frac{\varepsilon}{D_i} \quad (8)$$

Neste caso, o fator de atrito é obtido a partir do Diagrama de Moody, Figura 6.

Figura 6 – Diagrama de Moody para determinação do fator de atrito.



Fonte: Mattos (1998).

Além da perda por atrito, há a perda de carga em acessórios que ocorre quando o fluido escoar através de válvulas, curvas, tês e dispositivos (trocadores de calor, filtros, etc). Estas perdas são calculadas conforme a Equação 9 e independem do diâmetro da tubulação.

$$h_f = \sum K \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

onde K é uma constante, dependendo do tipo de acessório.

Determinadas as perdas por atrito e perdas por acessório é possível calcular a altura manométrica de sucção para sistema com reservatório de sucção aberto, Equação 10, e a altura manométrica de descarga livre, Equação 11.

$$h_s = z_s - h_{tub} - h_f \quad (10)$$

$$h_d = z_d + h_{tub} + h_f \quad (11)$$

onde h_s e h_d são altura manométrica de sucção e altura manométrica de descarga, respectivamente, e z_s e z_d são altura de sucção e altura de descarga, respectivamente.

Após estes cálculos é possível calcular a altura total, H , fornecida pela bomba que é a energia fornecida ao líquido, conforme Equação 12.

$$H = h_d - h_s \quad (12)$$

Determinada a altura manométrica do sistema, sua localização na curva característica da bomba define o ponto de trabalho.

A partir da curva característica foram definidos o ponto de trabalho, NPSH requerido, eficiência e potência de trabalho da bomba. Seleccionada a bomba e verificada as curvas características, é necessário verificar se a mesma não sofrerá cavitação durante o processo.

Cavitação, segundo Macagnan (2020, p. 2), “um fenômeno que ocorre quando bolhas de vapor (do líquido que está sendo bombeado) se formam e se movem ao longo das pás de um impelidor”. Ela pode acarretar na queda de desempenho hidráulico da bomba, alteração das curvas características e, principalmente, dano mecânico, diminuindo a vida útil do equipamento.

Para realizar a análise de cavitação será considerada que a cavitação tenha origem no olho do impelidor, e, para isso, deverá ser analisado através do *NPSH (Net Positive Suction Head* ou altura líquida positiva acima da pressão de vapor) requerido, encontrado nas curvas características da bomba, comparando-o com o *NPSH* disponível pelo sistema que pode ser calculado através da Equação 13.

$$NPSH_{disp} = \pm z_s + \frac{p_s + p_{atm} - p_v}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} - h_{fs} \quad (13)$$

onde p_s é a pressão manométrica, calculada conforme a Equação 14, p_{atm} é a pressão atmosférica no local da instalação, p_v é a pressão de vapor e γ é o peso específico do fluido.

$$p_s = dgh \quad (14)$$

onde d é a massa específica do fluido, em kg/m^3 e h a altura do fluido que ocupa o recipiente, em m.

Assim é possível verificar se haverá cavitação na bomba. Para que não haja cavitação o $NPSH_{disp}$ deve ser maior que o $NPSH_{req}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONDIÇÕES DO ENSAIO ATUAL

Para a realização do ensaio de infiltrações são utilizados um chuveiro, Figura 7, simulando uma situação de chuva no teto da cabine, e um lava jato, Figura 8, utilizado no entorno da cabine verificando vedações da cabine, vidros, portas e janela traseira sob pressão de lavagem.

Figura 7 – Chuveiro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 – Lava jato.



Fonte: Rm Locações (2014).

O ensaio é realizado sempre por dois operadores (Operador 1 e Operador 2): o Operador 1 (operador de empresa terceira) fica na parte externa e realiza a abertura da válvula que libera água para o chuveiro, que fica posicionado acima do teto da cabine, para que a água caia sobre o mesmo simulando uma situação de chuva.

Este operador, enquanto o chuveiro está com a válvula aberta realizando o teste de infiltrações no teto, realiza o teste sob pressão de lavagem no entorno da

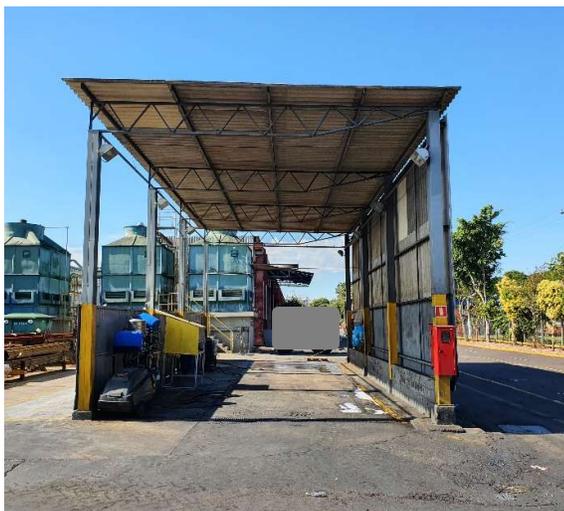
cabine (para-brisa, portas e traseira) para verificar se há infiltrações nas vedações dos vidros, portas e janela traseira. Após realizar o teste sob pressão de lavagem o operador realiza o fechamento da válvula de água do chuveiro. No caso de máquinas reprovadas no ensaio de infiltrações, o Operador 1 é responsável por avaliar e realizar as ações corretivas necessárias.

O Operador 2 (operador da empresa fabricante), durante toda a realização do teste na parte externa do trator, permanece dentro da cabine para verificar se há ou não infiltrações. Este operador faz verificações no teto, nos difusores (saídas do ar-condicionado) e nas vedações das portas e vidros para validar o ensaio.

4.1.1 Instalações Ensaio Atual

Como pode ser observado na Figura 9, o terreno onde o ensaio é realizado atualmente possui certa inclinação o que pode “mascarar” algum ponto de possível infiltração do lado da cabine que ficar na parte mais alta do solo inclinado podendo gerar aprovações de máquinas com problemas que serão constatados somente no campo quando a máquina já estiver sob posse do cliente.

Figura 9 – Terreno inclinado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O chuveiro utilizado para o ensaio foi confeccionado com tubos de PVC, posicionado acima de uma estrutura metálica para sua sustentação e esta estrutura metálica encontra-se suspensa através de cabos/arames que foram presos a estrutura do telhado.

O fornecimento de água para o chuveiro se dá diretamente da rede de água e, junto à tubulação onde está conectada a fonte de água do chuveiro, estão ligadas outras três instalações que podem estar operando simultaneamente ao ensaio de infiltrações. Estas instalações fazem com que a vazão e a pressão de água fornecidas ao chuveiro não sejam constantes durante os ensaios.

Analisando o ensaio sendo realizado sob a variabilidade de vazão, constatou-se que a instalação do chuveiro com certa inclinação pode ter sido proposital, pois com todas as instalações operando simultaneamente, todos os pontos de água sendo utilizados, cenário em que a vazão para o chuveiro é menor, observou-se que o chuveiro não opera com água em sua totalidade, como mostrado na Figura 10. Com o chuveiro operando sem água em sua totalidade, assim como solo inclinado, é outro ponto que pode contribuir para aprovações de máquinas com pontos de infiltração que só serão constatados pelos clientes no campo.

Figura 10 – Chuveiro operando com baixa vazão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro ponto observado é em relação ao ensaio sob pressão de lavagem. Na Figura 11, fica evidenciado que não existe padrão na distância em que o Operador 1 fica do trator para a realização deste teste, isto porque, por conta da posição que se encontra instalado o chuveiro, o trator não pode ser posicionado ao centro da estrutura onde é realizado o ensaio. Como o trator é posicionado abaixo do chuveiro, a distância do trator para as paredes laterais não é a mesma para ambas.

Figura 11 – Ensaio sob pressão de lavagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Controle Ensaio Atual

No início do acompanhamento do teste, observou-se como era realizado o controle de máquinas testadas. A Figura 12 mostra uma folha plastificada onde o Operador 1 deve anotar a quantidade de máquinas testadas ao longo do dia, indicando a quantidade de máquinas aprovada (linha OK) e a quantidade reprovada (linha N.OK). Havendo máquinas reprovadas o operador deve indicar a quantidade de máquinas que apresentaram infiltrações em cada uma das posições indicadas na folha de controle (frontal, traseira, lado direito e lado esquerdo).

Figura 12 – Controle do Ensaio Atual.

CONTROLE TESTE HÍDRICO -- CABINES		MÊS: ABRIL										
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
QTD:	7	7	10	8	18	19	15	7	2	10	5	
OK:	7	6	7	7	18	17	10	8	8	3		
N.OK:	1	1	3	1	2	5	4	2	2			
Posição:		1			1		2		2		1	
Frontal:	1				3	1	2	3	2	2	1	
LD:	1				1	3	1	2	3	2	1	2
LE:							1	2		2	1	

CONTROLE TESTE HÍDRICO -- CABINES		MÊS: ABRIL									
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
QTD:											
OK:											
N.OK:											
Posição:											
Frontal:											
LD:											
LE:											

Fonte: Elaborado pela empresa.

O problema deste tipo de controle é que ele não apresenta nenhum detalhe referente as máquinas testadas: não apresenta modelos testados, modelo das

máquinas reprovadas, o ponto de falha em cada modelo – se uma máquina apresentou mais de um defeito – e, por se tratar de uma folha plastificada, este controle não fica registrado em nenhum local, pois ao iniciar um novo mês o operador apaga os dados do mês anterior e inicia as anotações do novo mês. Por conta deste tipo de controle não há, além dos registros citados anteriormente, registros do número de máquinas testadas por dia e nem o percentual de reprovação.

Outro ponto observado é que os operadores que realizam o teste nem sempre são os mesmos. No caso do Operador 2, que fica dentro da cabine, realiza o teste o operador do setor de Aprovação que se deslocou junto com a máquina até a área do teste. Por serem operadores deste setor, todos estão capacitados a realizá-lo.

Já no caso do Operador 1, que realiza o teste na parte externa da máquina, a empresa terceira pode fazer a substituição do operador por diversos motivos: férias, falta, desligamento do operador, entre outros. Porém, a empresa terceira não notifica a empresa fabricante que o operador foi substituído e o operador novo realiza o teste com base na instrução de outros operadores que, provavelmente, não tem conhecimento detalhado de como executar o teste.

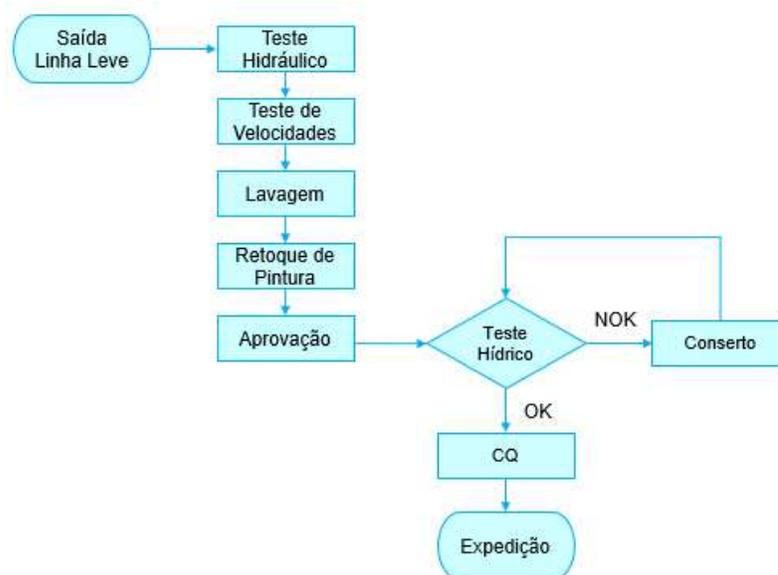
4.1.3 Perdas Ensaio Atual

A análise de perdas de processo foi realizada com base nas três perdas citadas anteriormente: Perdas por Movimento, Perdas por Espera e Perdas por Elaboração de Produtos Defeituosos.

4.1.3.1 Perdas por Movimento

Para a realização do teste, a principal perda verificada é a Perda por Movimento. O fluxograma de processos, Figura 13, apresenta a sequência dos processos de testes e aprovações que as máquinas são submetidas após a conclusão de montagem (Saída de Linha).

Figura 13 – Fluxograma de processos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que após dois testes (Teste Hidráulico e Teste de Velocidades) as máquinas passam pela Cabine de Lavagem e Cabine de Retoque de Pintura. Após isto seguem para a Aprovação, onde é realizada a análise da documentação verificando se existe algum apontamento que possa ter sido realizado em algum posto de *Quality Gate* e, caso não há apontamentos a máquina passa pela verificação e testes. Esta seria a última avaliação da máquina para que ela, se aprovada, pudesse ser enviada a expedição.

Como visto no fluxograma, este não é o fluxo ideal. Após liberado pela Aprovação, o trator é levado a área externa para a realização do ensaio de infiltrações. A Figura 14 mostra a distância, aproximadamente, entre a área de Aprovação e a área de ensaio de infiltrações.

Figura 14 – Distância entre ensaio e processos.



Fonte: Google Maps.

Para quantificar a perda por movimento foi cronometrado o tempo de deslocamento entre estas áreas.

Esta perda tem um agravante, pois depende do fluxo de descarga de materiais, já que a rua interna, indicada na cor vermelha na Figura 15, é o local onde ficam estacionados os caminhões e carretas dos quais estão sendo realizadas descargas de materiais na planta.

Figura 15 – Área de descarga.



Fonte: Google Maps.

Quando o fluxo de caminhões está alto, existe a dificuldade para manobrar o trator para entrar e sair da área de ensaio, devido ao pouco espaço na rua interna. A Figura 16 mostra o pouco espaço entre dois caminhões para que os tratores possam realizar a manobra.

Figura 16 – Fluxo de caminhões para descarga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro problema enfrentado em dias de alto fluxo de descarga é o fato desta rua interna não ser uma rua destinada a fluxo em dois sentidos. Caminhões e carretas se deslocam somente no sentido de “IDA” indicado na Figura 17, mesmo fluxo que os tratores percorrem para se deslocarem a área de ensaio. Para retornar área de liberação, o trator percorre o fluxo contrário no início do percurso. Caso tenha caminhões em trânsito, a preferência de fluxo é do caminhão por estar no fluxo correto.

Figura 17 – Fluxo das ruas internas.



Fonte: Google Maps.

Os tempos obtidos nesta análise estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Tempo de deslocamento de máquina para realizar o ensaio.

Tomada	Ida	Retorno
T1	00:04:10	00:03:56
T2	00:04:34	00:04:03
T3	00:03:48	00:03:35
T4	00:03:54	00:03:42
T5	00:03:40	00:03:52
Média	00:04:01	00:03:50

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos dados levantados serão considerados, a partir da média, como tempo de ida a área de Ensaio 04min01s e tempo de retorno a área de Aprovação 03min50s gerando o total de 7min51s de deslocamento para a realização do ensaio, convertendo este tempo para horas resulta em 0,1308 horas de deslocamento por máquina.

Para calcular a perda média dentro de um único mês, é necessário calcular a média de ensaios realizados. Para determinar o volume médio de ensaios realizados por mês serão considerados os volumes para os meses apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Volume médio de ensaios.

Mês / Ano	Testes Realizados (Quantidade)
Agosto / 21	307
Setembro / 21	252
Outubro / 21	430
Novembro / 21	440
Fevereiro / 22	573
Março / 22	548
Abril / 22	441
Média	427

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o volume médio de ensaios realizados mensalmente e a determinação do tempo médio de deslocamento por máquina foi possível calcular o tempo médio mensal de deslocamento. Sendo assim, considerando somente o deslocamento de máquina para a realização do ensaio, a perda mensal por movimento é de aproximadamente 55,8 horas.

Além da perda por movimentos de máquinas, no caso de reprovação no ensaio de infiltrações, haverá a perda por movimento do operador que guiou a máquina até

a área de ensaio, pois com a reprovação o mesmo retorna caminhando até sua área enquanto é realizado o conserto da máquina. E, após a realização do conserto o operador deverá retornar a área de ensaio para buscar a máquina, agora aprovada, e guia-la de volta até a área de Aprovação.

Para quantificar a Perda por Movimento do operador no caso de máquinas reprovadas foi cronometrada a caminhada da área de Ensaio até a área de Aprovação e vice e versa. Foram cronometrados 5 deslocamentos e cada deslocamento foi realizado seguindo uma das opções de trajetos que o operador possa realizar, seja por dentro dos prédios da fábrica ou pelos caminhos externos aos prédios. Os tempos obtidos nesta análise estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Tempo de deslocamento de operador.

Tomada	Volta	Ida
T1	00:06:10	00:05:56
T2	00:06:34	00:06:03
T3	00:06:48	00:05:35
T4	00:05:54	00:05:42
T5	00:05:40	00:06:52
Média	00:06:13	00:06:02

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos tempos obtidos é considerado que, caminhando, o operador, entre ir a área de Aprovação e retornar a área de Ensaio para buscar a máquina gasta aproximadamente 12min15s, resultando em 0,2042 horas de deslocamento de operador por máquina reprovada. Considerando este valor e acrescentando o tempo de deslocamento de máquina para realização do ensaio tem-se, como tempo total gasto em deslocamento com máquinas reprovadas, os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Tempo de deslocamento para máquinas reprovadas.

Mês / Ano	Máquinas Reprovadas (Quantidade)	Deslocamento Máquina (horas)	Deslocamento Operador (horas)	Deslocamento Total (horas)
Agosto / 21	15	1,9620	3,0630	5,0250
Setembro / 21	21	2,7468	4,2882	7,0350
Outubro / 21	49	6,4092	10,0058	16,4150
Novembro / 21	70	9,1560	14,2940	23,4500
Fevereiro / 22	36	4,7088	7,3512	12,0600
Março / 22	43	5,6244	8,7806	14,4050
Abril / 22	50	6,5400	10,2100	16,7500
Total	284	37,1472	57,9928	95,1400
Média	41	5,3067	8,2847	13,5914

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da Tabela 4 é possível observar que, somente com máquinas reprovadas, o tempo médio de deslocamento é igual a 13,5914 horas por mês, sendo 5,3067 horas de deslocamento das máquinas reprovadas e 8,2847 horas de deslocamento do operador. Considerando as Perdas de Movimentos de máquina e de operador pode-se consolidar os dados conforme apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tempo de deslocamento para ensaio.

Mês / Ano	Testes Realizados (Quantidade)	Máquinas Reprovadas (Quantidade)	Deslocamento Máquina (horas)	Deslocamento Operador (horas)	Deslocamento Total (horas)
Agosto / 21	307	15	40,1556	3,0630	43,2186
Setembro / 21	252	21	32,9616	4,2882	37,2498
Outubro / 21	430	49	56,2440	10,0058	66,2498
Novembro / 21	440	70	57,5520	14,2940	71,8460
Fevereiro / 22	573	36	74,9484	7,3512	82,2996
Março / 22	548	43	71,6784	8,7806	80,4590
Abril / 22	441	50	57,6828	10,2100	67,8928
Total	2991	284	391,2228	57,9928	449,2156
Média	427	41	55,8890	8,2847	64,1737

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir destes dados, pode-se afirmar, considerando mês de operação total, ou seja, sem férias da operação, que há uma perda de 64,1737 horas com movimentação para a realização de ensaios na área atual.

4.1.3.2 Perdas por Espera

Pelo fato de as análises e ações corretivas serem de responsabilidade do Operador 1, outra grande perda associada ao processo atual é a Perda por Espera, pois por vezes ocorre de ser deslocado um operador com trator para a realização do ensaio de infiltrações e ao chegar na área o Operador 1 estar envolvido na análise e correção de máquinas que foram reprovadas anteriormente.

Quando ocorre esta situação o Operador 2 (que se deslocou com o trator) tem duas escolhas possíveis: esperar o Operador 1 finalizar a correção da máquina reprovada e, após a correção, realizar juntamente com o Operador 1 o novo ensaio da máquina anteriormente reprovada para verificar se a correção foi efetiva e, depois, realizar o ensaio da máquina a qual estava conduzindo. Ou deixar o trator na área de ensaios e retornar caminhando para a área de Aprovação e seguir com outras demandas de sua área.

4.1.3.3 Perdas por Elaboração de Produtos Defeituosos

O fato de não haver o controle adequado dos ensaios realizados bem como a análise posterior dos dados, ocorre que os defeitos encontrados durante o teste de infiltrações por muitas vezes se repetem por longos períodos até que essas informações sejam repassadas ao Técnico de Processos da área para que possam ser corrigidas na linha de montagem.

Ainda relativo à análise de defeitos encontrados no ensaio de infiltrações é que ao não serem analisados e nem haver histórico arquivado, ao ser realizada a substituição o Operador 1, o operador substituto inicialmente não saberá por qual componente iniciar sua investigação no caso de encontrar infiltrações na cabine, aumentando o tempo investido na análise de falhas bem como na ação corretiva.

4.1.4 Custos do Ensaio Atual

4.1.4.1 Mão de Obra Direta

Para a realização do Ensaio Atual, considerando Ensaio de Infiltrações e Cabine de Lavagem, são necessários quatro operadores: 02 operadores na Cabine

de Lavagem (são dois estágios, ou seja, 01 operador em cada estágio) e 02 operadores no Ensaio de Infiltrações (Operador 01 e Operador 02).

Para este projeto está sendo considerado somente os custos com a MOD da empresa terceira. Os custos relacionados a esta MOD, no ano de 2021, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Custo Mão de Obra Direta – Operador Empresa Terceira.

Mês / Ano	Despesa Mensal (R\$)	Mão de Obra (pessoas)
Janeiro / 21	3.000,67	2
Fevereiro / 21	10.950,57	2
Março / 21	8.501,73	2
Abril / 21	6.590,00	1
Mai / 21	6.301,87	1
Junho / 21	6.743,83	1
Julho / 21	14.741,77	2
Agosto / 21	13.511,17	3
Setembro / 21	8.763,50	2
Outubro / 21	9.226,25	2
Novembro / 21	10.223,00	2
Dezembro / 21	7.979,75	3
Total:	106.534,11	-
Média	8.877,84	1,92

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado, o custo médio no ano de 2021 foi R\$8.877,84 com MOD, custo que será eliminado no novo ensaio.

4.1.4.2 Custos Indiretos de Fabricação

A maior perda observada ao longo das análises está ligada a movimento de máquina, ou seja, deslocamento de máquina para a realização do ensaio. Relacionado a esta perda, o maior custo envolvido é o de Custos Indiretos de Fabricação e, no caso do ensaio atual, está condicionado ao custo com combustível para a realização destas movimentações de máquinas.

Sabe-se, por informação interna, que considerando os diferentes modelos de tratores produzidos na presente unidade fabril, que a média de consumo de combustível é de 9 l/h (nove litros por hora) de trator ligado.

Considerando o tempo médio de deslocamento apresentado na Tabela 1 (0,1308 horas por máquina) e o volume de ensaios realizados, pode-se calcular o consumo mensal de combustível para realização de ensaios, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo de Combustível Mensal.

Mês / Ano	Testes Realizados (quantidade)	Deslocamento para Ensaio (horas)	Deslocamento Total (horas)	Consumo Combustível por Hora (litros)	Consumo Combustível Total (litros)
Maio / 21	114	0,1308	14,9112	9	134,20
Junho / 21	153	0,1308	20,0124	9	180,11
Julho / 21	156	0,1308	20,4048	9	183,64
Agosto / 21	307	0,1308	40,1556	9	361,40
Setembro / 21	252	0,1308	32,9616	9	296,65
Outubro / 21	430	0,1308	56,2440	9	506,20
Novembro / 21	440	0,1308	57,5520	9	517,97
Dezembro / 21	273	0,1308	35,7084	9	321,38
Janeiro / 22	262	0,1308	34,2696	9	308,43
Fevereiro / 22	573	0,1308	74,9484	9	674,54
Março / 22	548	0,1308	71,6784	9	645,11
Abril / 22	441	0,1308	57,6828	9	519,15

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para obter o custo provindo deste consumo de combustível foi considerado, para fins de cálculo, o preço de distribuição do ÓLEO DIESEL B S10 – COMUM para o estado do Rio Grande do Sul, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Preço de Distribuição Óleo Diesel B S10 – Comum.

MÊS	PREÇO MÉDIO DE DISTRIBUIÇÃO (R\$/l)
Maio / 21	3,981
Junho / 21	4,018
Julho / 21	4,108
Agosto / 21	4,114
Setembro / 21	4,218
Outubro / 21	4,511
Novembro / 21	4,806
Dezembro / 21	4,744
Janeiro / 22	4,931
Fevereiro / 22	4,993
Março / 22	5,579

Fonte: Adaptado de Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2022).

Compilando os dados da Tabela 7 e Tabela 8 tem-se o custo de combustível, em R\$, em cada mês por conta da movimentação para a realização do ensaio, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Custo com Combustível na Movimentação de Máquinas Ensaio Atual.

Mês / Ano	Testes Realizados (quantidade)	Consumo Combustível Total (litros)	Preço Médio de Distribuição (R\$/l)	Custo de Combustível por Movimentação (R\$)
Agosto / 21	307	361,40	4,114	1.486,890
Setembro / 21	252	296,65	4,218	1.251,330
Outubro / 21	430	506,20	4,511	2.283,699
Novembro / 21	440	517,97	4,806	2.489,282
Fevereiro / 22	573	674,54	4,993	3.367,703
Março / 22	548	645,11	5,579	3.599,275
Total	2.550	3.001,86	-	14.478,180
Média	425	500,31	4,704	2.413,030

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na linha *Total*, no período de controle o custo de combustível foi de R\$14.478,180 até março (valor referente a abril não disponível na data em que foi acessado).

4.2 PROPOSTAS DE ENSAIOS

Juntamente com os interessados no projeto foram levantadas três propostas de ensaio de infiltrações que serão apresentadas a seguir. A partir destas três propostas será avaliada as condições para a instalação de cada uma delas a fim de definir qual proposta será a instalada.

4.2.1 Proposta 01

A primeira proposta de ensaio é a instalação de uma cabine, conforme a Figura 18, existente em outra unidade da presente empresa. A cabine possui tubulações instaladas no entorno de toda a cabine e na parte superior com bicos aspersores simulando situação de chuva.

Figura 18 – Proposta 01.



Fonte: Elaborado pela empresa.

Para a instalação desta proposta é necessário a instalação da estrutura completa com cabine, tubulações com aspersores, sistema de bombeamento de água, bem como definição do Prédio onde será realizada a instalação da cabine de ensaios – no Prédio 02, posterior ao final da linha de montagem de cabines, no Prédio 01, anterior ao acoplamento da cabine no monobloco (parte inferior contendo eixos, motores e etc).

A Proposta 01 apresenta como pontos positivos: o ensaio ser realizado logo após a conclusão da montagem da cabine dentro de fluxo de valor claro e definido;

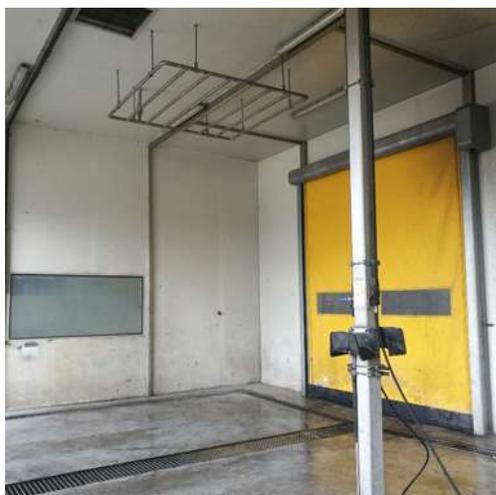
caso a cabine apresente alguma infiltração – teste NOK – o reparo será efetuado imediatamente; eliminação de Perdas por Movimento e Perdas por Espera; e, a necessidade de apenas um operador para a sua realização, pois não será necessário um operador no lado externo realizando o teste de pressão de lavagem.

Como pontos negativos para seguir com esta proposta, avaliou-se o alto investimento para a sua concepção, pois além da estrutura da cabine e suas instalações internas, será necessário a instalação do sistema hidráulico, tanto para abastecer a cabine de ensaio com água, quanto para o reaproveitamento (ou descarte) da água utilizada. Além disso a possibilidade de piso molhado gerado pela água que escorrerá da cabine do trator ao sair da cabine de ensaios, gerando risco de segurança.

4.2.2 Proposta 02

A proposta 02 de ensaio, Figura 19, é uma instalação existente em outra unidade da presente empresa.

Figura 19 – Proposta 02.



Fonte: Elaborado pela empresa.

Para esta instalação é necessária, primeiramente, a definição de um local para o ensaio e, posteriormente, realizar a instalação de um chuveiro, Figura 20, além da instalação do sistema de bombeamento tanto para o chuveiro quanto para o sistema que será utilizado para o ensaio sob pressão de lavagem que também será necessária a instalação.

Figura 20 – Chuveiro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Proposta 02 apresenta como pontos positivos o baixo orçamento necessário para sua concepção, pois visa utilizar estrutura já existente na planta e realizar somente a instalação de um chuveiro adequado e que atenda aos requisitos de Engenharia de Produto.

Como pontos negativos é evidente que com esta proposta serão mantidos pontos negativos do ensaio atual. Essa proposta irá manter a realização de ensaio fora de fluxo de valor e, com isso, serão mantidas as Perdas por Movimento e Perdas por Espera. Além disso, assim como a Proposta 01, haverá a necessidade de instalação de sistema de água tanto para realizar o teste como para realizar o reaproveitamento da água.

4.2.3 Proposta 03

A proposta 03 é uma proposta que não possui instalação igual em outra unidade da empresa. Esta proposta visa realizar a instalação de equipamentos dentro da cabine de lavagem (Figura 21).

Figura 21 – Proposta 03.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para esta instalação é necessário realizar a instalação de um chuveiro, Figura 20, e sistema de bombeamento para o chuveiro. Para a realização do ensaio sob pressão de lavagem, as Cabines de Lavagem já possuem sistema pressurizado que é utilizado para a lavagem da parte inferior do trator.

A Proposta 03 apresenta como pontos positivos para sua concepção: necessidade de baixo investimento, pois, assim como a Proposta 02, visa utilizar estrutura já existente, que possui sistema hidráulico instalado, tanto para a realização do teste como sistema de reaproveitamento; ensaio será realizado ao final da linha de montagem de tratores, ou seja, dentro de fluxo de processos; eliminação das Perdas por Movimento e Perdas por Espera; maior capacidade de realização de ensaios, visto que existem duas cabines de lavagem lado a lado.

Como pontos negativos: caso a cabine do trator apresente infiltrações – teste NOK – a mesma deverá ser deslocada até próximo ao fluxo de valor de montagem de cabines para a realização do conserto ou um operador deste fluxo de valor será deslocado até a máquina para o realiza-lo, portanto, para cabines NOK haverá Perda por Movimentos; necessidade de mais dois operadores nas cabines de lavagem, pois atualmente, as cabines possuem dois operadores, um para cada cabine, que realizam

a lavagem, estes realizariam, além da lavagem, o teste sob pressão de lavagem, mas há necessidade de um operador dentro do trator durante o teste, necessitando, assim, de um operador para cada cabine.

4.3 DEFINIÇÃO DA PROPOSTA

Considerando as três propostas apresentadas e analisando seus pontos positivos e negativos, bem como o atendimento aos requisitos de Engenharia de Produto, eliminação/diminuição das perdas de manufatura enxuta e baixo orçamento necessário para a concepção, a proposta selecionada, tanto pelos envolvidos quanto pelos afetados pela alteração do ensaio de infiltrações, foi a Proposta 03.

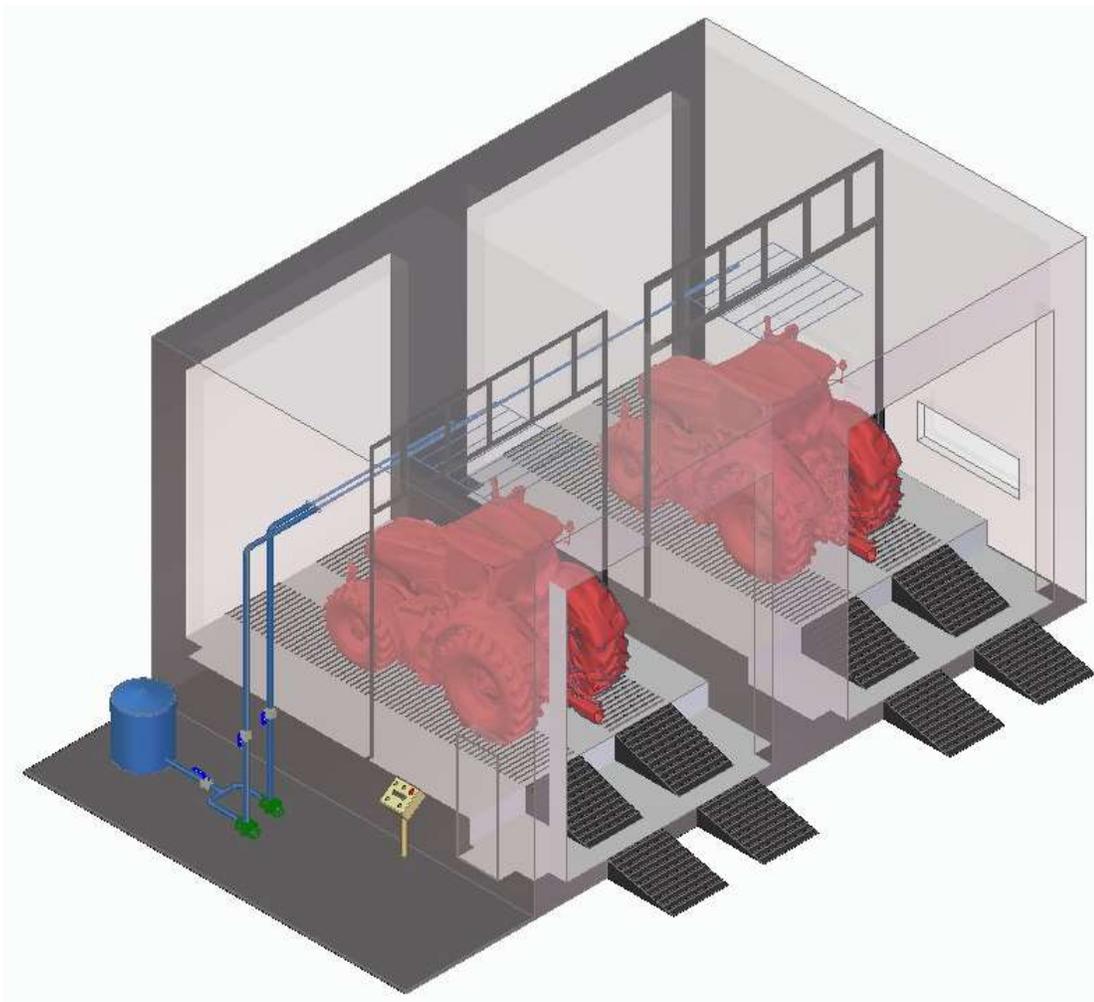
Durante as análises de qual proposta selecionar, verificou-se que, apesar da necessidade de realização do ensaio em todas as unidades, a empresa não possui padrão para a sua realização. A única documentação existente é a Norma ET100001, citada anteriormente, que está ligada a validação de cabines de novos projetos ou alteração dos já existentes, ou seja, quando há a concepção de um novo projeto de cabines ou alteração de um projeto existente, são realizados ensaios conforme a Norma ET100001 para sua validação.

Com isso, foram considerados dados das três propostas para a definição de dados técnicos para a concepção do projeto.

4.4 PROJETO DETALHADO

Os equipamentos do Ensaio Proposto serão instalados na Cabine de Lavagem. A Figura 22 apresenta o layout macro da Cabine de Lavagem.

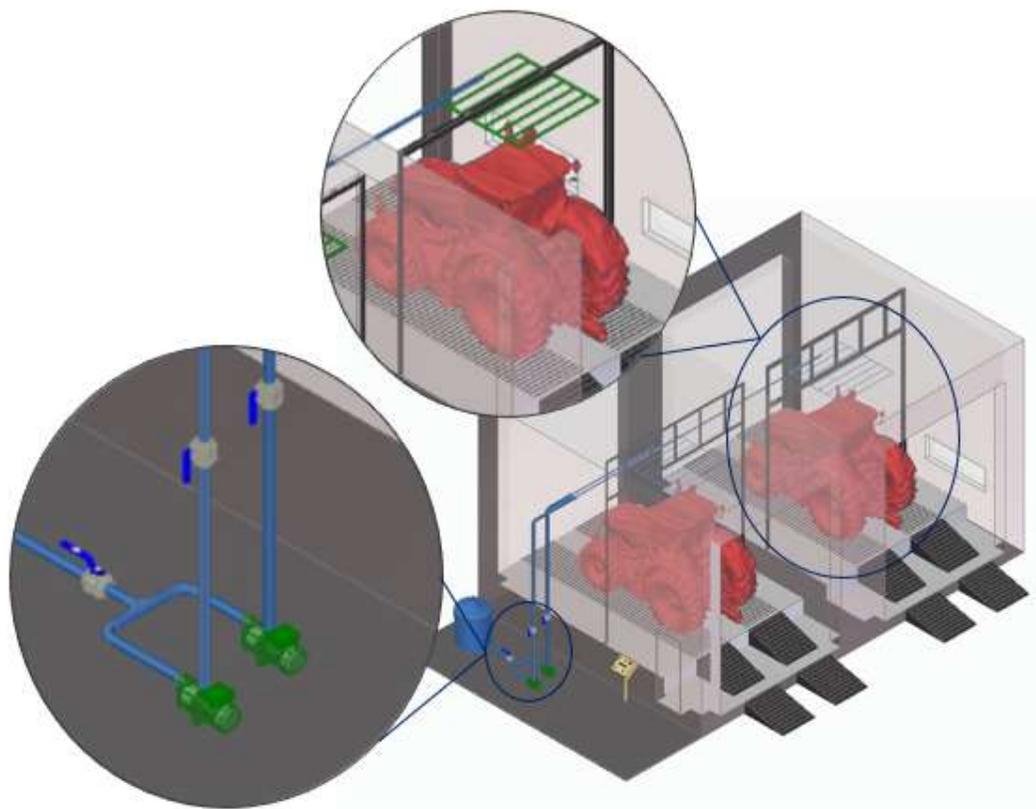
Figura 22 – Layout Cabine de Lavagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O detalhamento do layout da cabine é apresentado na Figura 23 indicando o local de instalação dos chuveiros, suas respectivas bombas e acessórios ao longo da tubulação.

Figura 23 – Detalhamento Layout Cabine de Lavagem.



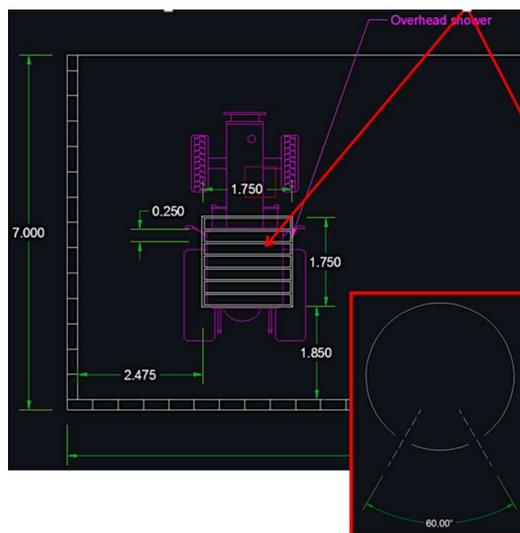
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.1 Chuveiro

Como não há padrão para a realização do ensaio, inicialmente os ensaios serão realizados com o chuveiro operando, ou seja, água caindo sobre a cabine, por 10 minutos e, durante este tempo, o Operador 1 irá realizar o teste sob pressão de lavagem e a lavagem do trator.

Para a confecção do chuveiro, considerou-se as dimensões, como apresentado na Figura 24, do chuveiro apresentado na Proposta 01.

Figura 24 – Chuveiro Ensaio Proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

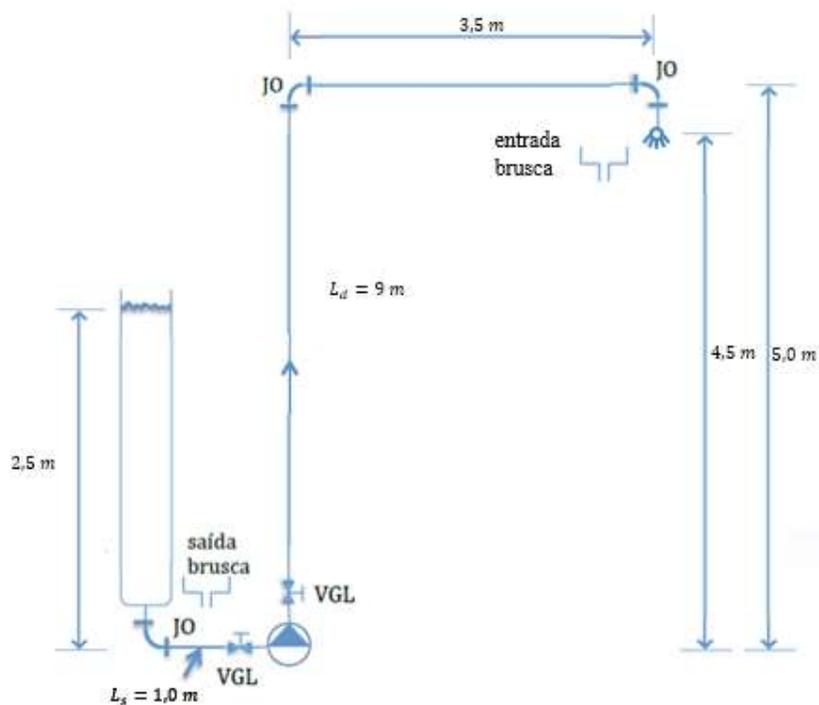
O chuveiro deve possuir 1750 mm x 1750 mm, possuindo 8 tubos paralelos com distância entre centros de 250 mm. A furação ao longo da estrutura deve possuir 60° entre os furos e a distância entre cada par de furos deve ser igual a 250 mm. Deverá ser confeccionado em tubos ½” de aço inoxidável AISI 304. Deverá haver, também, espera para conexão com a rede de água.

Para garantir que haja água na totalidade do chuveiro durante os ensaios, problema encontrado no ensaio atual, deverá ser instalado um sistema de bombeamento com vazão mínima de 22 l/min que, para ser controlada, terá após sua saída instalado um medidor de vazão. Ele irá operar, inicialmente, em ciclos de 10 minutos. Para controlar e garantir que este tempo de ensaio seja respeitado, deverá ser instalado um sistema de automação.

4.4.2 Sistema de Bombeamento

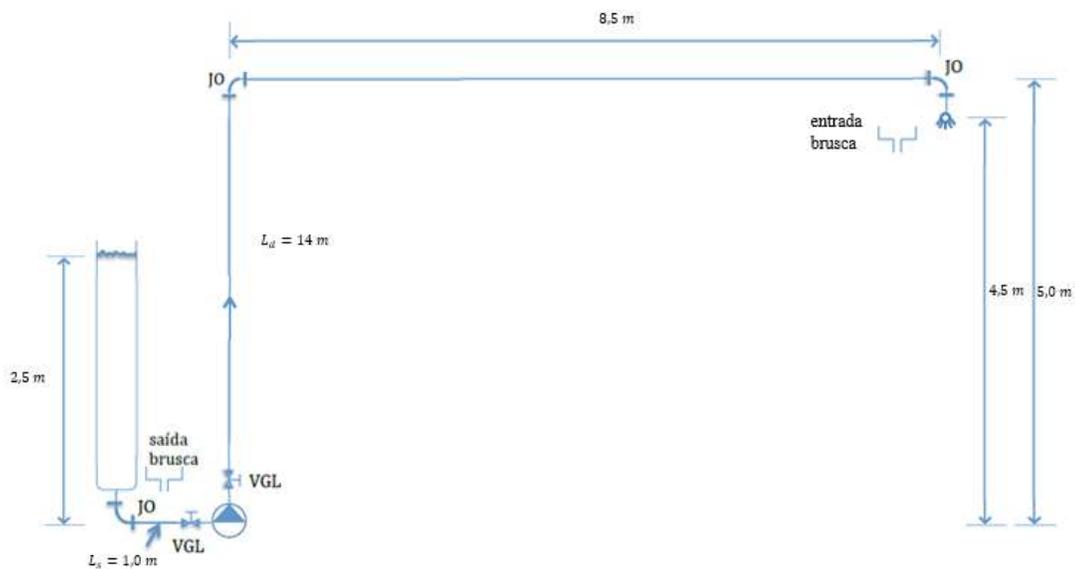
A partir do layout apresentado na Figura 22 e do sistema hidráulico apresentado na Figura 25 e Figura 26, foi possível realizar o dimensionamento das bombas a serem utilizadas.

Figura 25 – Detalhamento sistema hidráulico Cabine 01.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26 – Detalhamento sistema hidráulico Cabine 02.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando as dimensões apresentadas acima, para o dimensionamento de ambas as bombas serão utilizados os comprimentos de tubulações da cabine 02 por

apresentarem maior comprimento e, conseqüentemente, maior perda de carga por atrito.

Como o ensaio é realizado utilizando água, foram adotados os dados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Dados adotados para cálculos.

Temperatura da água	20°C
Massa específica da água	998 kg/m ³
Viscosidade dinâmica da água	1,01x10 ⁻³ Ns/m ²
Aceleração da gravidade	9,81 m/s ²
Vazão	22 l/min (1,32 m ³ /h ou ainda 0,3667 l/s)

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Mattos (1998), é possível, a partir do valor de vazão determinado, fixar a velocidade do fluido para determinação do diâmetro da tubulação.

Segundo Sulzer Pumps Inc (1998), a velocidade de sucção pode variar entre 1 a 2 m/s. Considerando estas informações, foi estipulado a velocidade teórica de 1,5 m/s para definição do diâmetro da tubulação.

Com isso, foi possível calcular o diâmetro teórico para tubulação de sucção, conforme a Equação 15.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} = 0,0176m \quad (15)$$

Onde D é o diâmetro, em m; Q é a vazão, em m³/s e V é a velocidade, em m/s.

Com a definição do diâmetro teórico foi possível, junto ao catálogo de fornecedor, selecionar tubulação com diâmetro comercial que atenda às necessidades.

A Tabela 11 apresenta os dados de diâmetros externo, interno e espessura dos tubos de diâmetro ½" e ¾" que foram selecionados, a partir do Anexo A, para dar seguimento as análises, bem como a velocidade recalculada para cada diâmetro, conforme a Equação 16.

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_i^2} \quad (16)$$

Tabela 11 – Tubulação selecionada para cálculos.

Diâmetro Nominal (in)	Diâmetro Externo (mm)	Espessura (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Velocidade Recalculada (m/s)
	Básico	Leve	Leve	
1/2	21	2,25	16,8	1,65
3/4	27	2,25	22,4	0,93

Fonte: Grupo Açotubos (2016).

Seguindo o sugerido por Sulzer Pumps Inc (1998), foi selecionado o tubo leve de 1/2", tanto para sucção quanto para descarga.

Para dar seguimento no dimensionamento e seleção da bomba para o ensaio de infiltrações informações como altura de sucção e descarga, comprimento da tubulação e acessórios que geram perda de carga foram obtidas considerando a Figura 26 e estão apresentadas na Tabela 12:

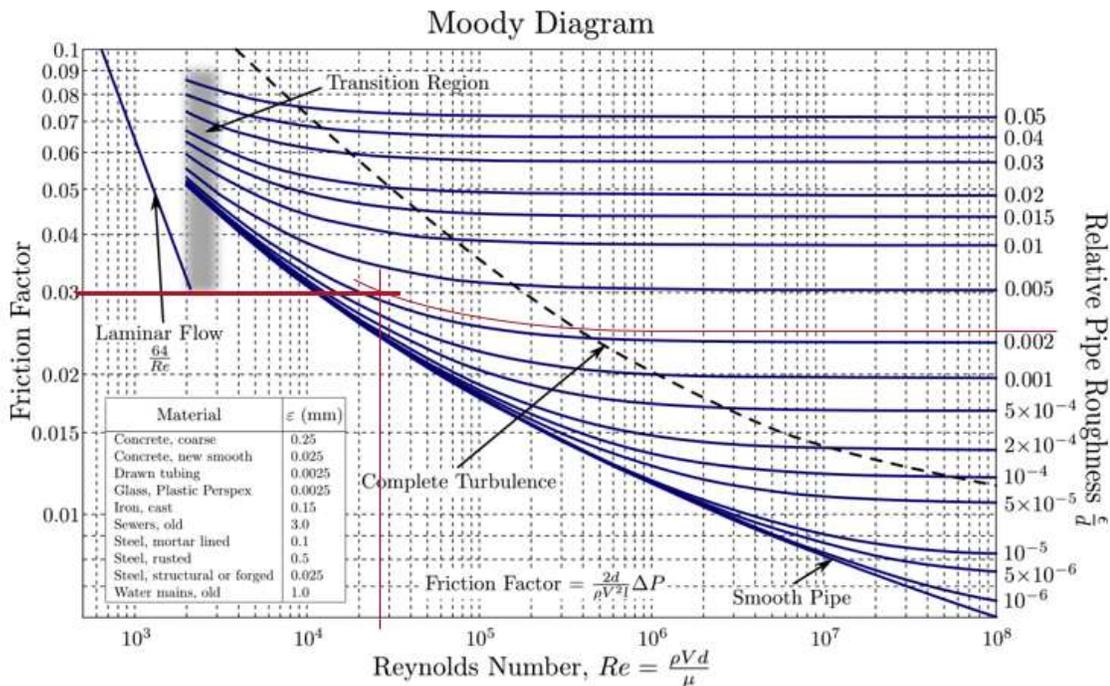
Tabela 12 – Dados do sistema de bombeamento para cálculos.

Diâmetro interno da tubulação	0,0168 m
Rugosidade da tubulação	0,045 mm
Altura de sucção	2,5 m
Comprimento da tubulação de sucção	1 m
Altura de descarga	5 m
Comprimento da tubulação de descarga	14 m
Área da seção transversal da tubulação	0,0002 m ²
Velocidade média do fluido	1,65 m/s
Perímetro molhado da tubulação	0,0528 m
Diâmetro hidráulico	0,0168 m
Número de Reynolds	27458,79
Padrão de escoamento	Turbulento
Rugosidade relativa da tubulação	0,0027.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do número de Reynolds e da rugosidade relativa foi possível obter o fator de atrito para escoamento turbulento utilizando o diagrama de Moody, conforme Figura 27.

Figura 27 – Diagrama de Moody com a determinação do fator de atrito.



Fonte: Mattos (1998).

A partir do diagrama de Moody foi obtido o valor abaixo:

- Fator de atrito para escoamento turbulento: $f=0,03$.

A Tabela 13 apresenta as conexões utilizadas no projeto proposto e suas respectivas constantes K . Com o valor de f e das constantes abaixo é possível calcular as alturas de atrito das tubulações, as perdas de carga nos acessórios e a altura manométrica de sucção e descarga.

Tabela 13 – Perda de carga em acessórios.

Sucção		Descarga	
Acessório	K	Acessório	K
Fluxo com Ramificações (Tê)	1,5	Saída Brusca	1,0
Entrada Brusca	0,5	Joelho Raio Longo 90°	0,5
Joelho Raio Longo 90°	0,5	Válvula Globo	8,0
Válvula Globo	8,0		

Fonte: Mattos (1998).

Obteve-se os resultados apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados obtidos a partir dos cálculos.

Alturas de atrito da tubulação de sucção	0,2490 m
Perda de carga nos acessórios de sucção	1,4643 m
Altura manométrica de sucção	0,7867 m
Alturas de atrito da tubulação de descarga	3,4863 m
Perda de carga nos acessórios de descarga	1,6734 m
Altura manométrica de descarga	10,1598 m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Obtendo assim:

- Altura total: $H=9,4567$ m.

Em geral, utiliza-se de “fatores de segurança” para estimar perdas por atrito devido às incertezas e/ou compensar o envelhecimento da tubulação, causado pela incrustação no interior da tubulação. Sendo normalmente indicados fatores de segurança entre 15 a 20%.

Considerando 15% de fator de segurança, foi realizado novo cálculo das alturas de atrito e, conseqüentemente, da altura manométrica de sucção e descarga, resultando nos valores apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados obtidos a partir dos cálculos com Fator de Segurança.

Alturas de atrito da tubulação de sucção	0,2864 m
Perda de carga nos acessórios de sucção	1,4643 m
Altura manométrica de sucção	0,7494 m
Alturas de atrito da tubulação de descarga	4,0093 m
Perda de carga nos acessórios de descarga	1,6734 m
Altura manométrica de descarga	10,6827 m

Fonte: Elaborado pelo autor.

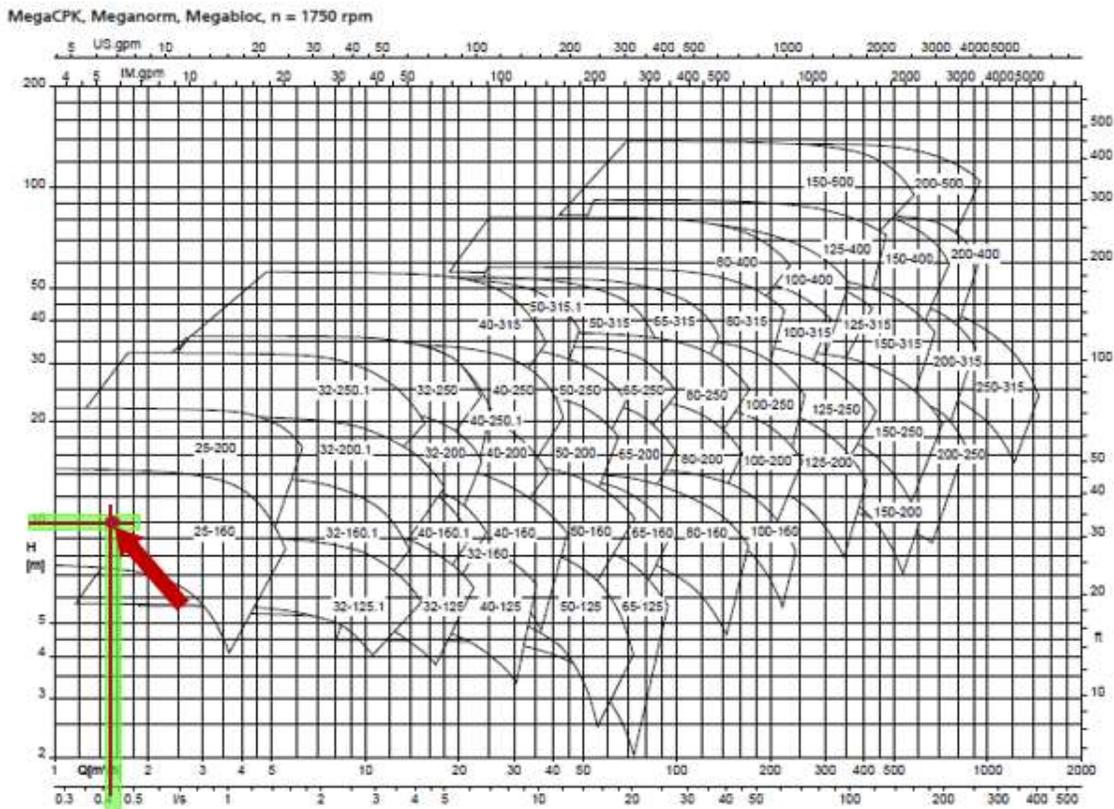
Obtendo:

- Altura total: $H_{CS}=9,9333$ m.

Antes de determinar o ponto de trabalho na curva característica da bomba, “na seleção da vazão de trabalho, considera-se a vazão nominal somado de 20%” (MACAGNAN, 2020, p.48). Com isso, a vazão nominal que é de 22 l/min (1,32 m³/h), para a determinação do ponto de trabalho, será considerada 26 l/min (1,58 m³/h).

A partir destas informações é possível determinar o ponto de trabalho na curva característica da bomba, Figura 28. As curvas utilizadas são da bomba Meganorm, que opera a 1.750 rotações por minuto e frequência de 60 Hz, da KSB.

Figura 28 – Curva característica (seta).

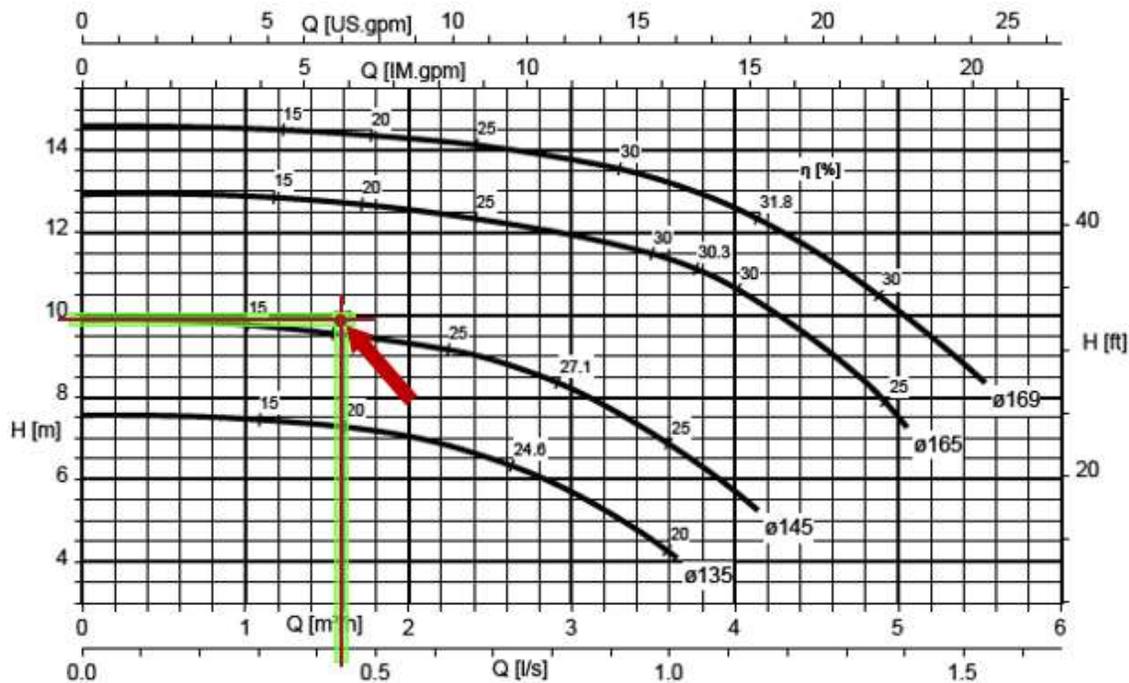


Os tamanhos 40-160.1, 40-250.1 und 50-315.1 estão disponíveis apenas na Europa.

Fonte: KSB Bombas Hidráulicas AS (2014).

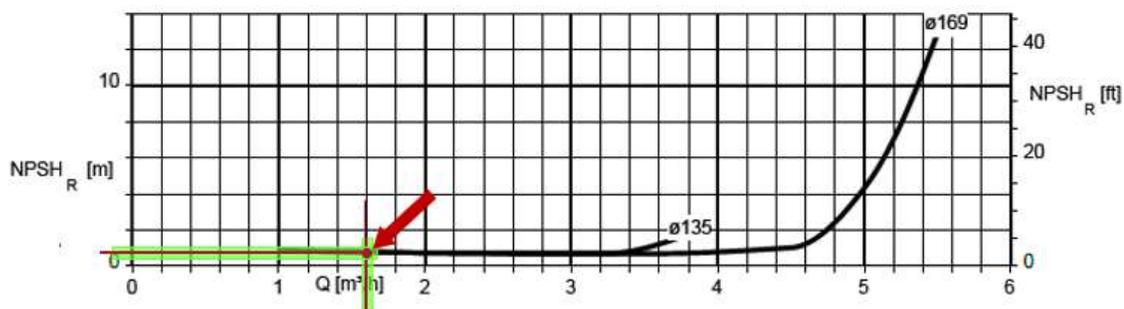
Com a determinação do ponto de trabalho foi selecionado o modelo de bomba 25-160. A Figura 29 apresenta a seleção do diâmetro do impelidor que atenda as necessidades do projeto.

Figura 29 – Diâmetro do impelidor (seta).



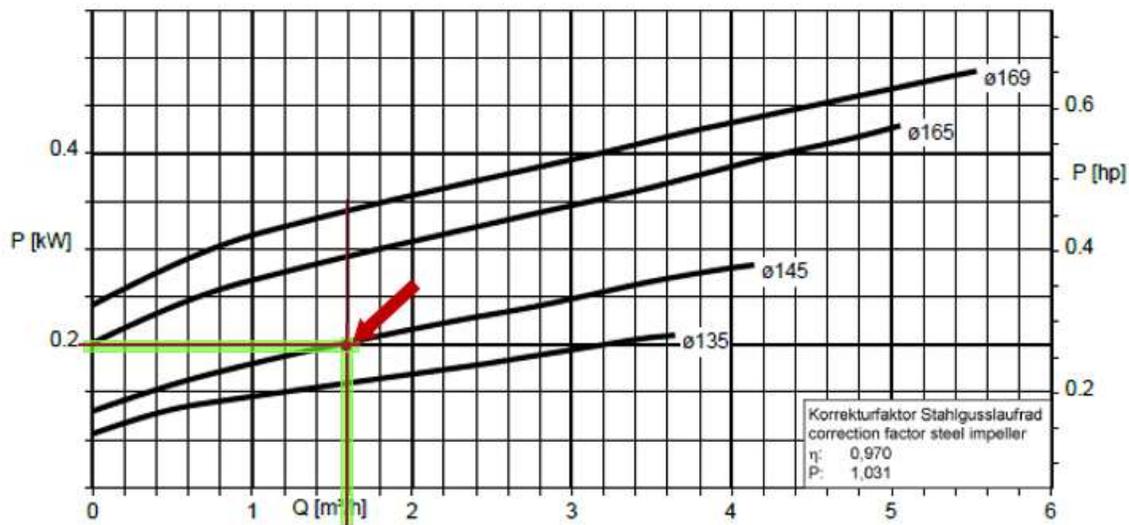
Fonte: KSB Bombas Hidráulicas AS (2014).

Com base nas curvas da Figura 29 foi selecionado o impelidor com diâmetro de 145 mm, que apresenta eficiência próximo a 20%. Definido o diâmetro do impelidor é possível verificar, na Figura 30, o *NPSH* requerido pela bomba e, Figura 31, a potência de trabalho.

Figura 30 – *NPSH* requerido (seta).

Fonte: KSB Bombas Hidráulicas AS (2014).

Figura 31 – Potência de trabalho.



Fonte: KSB Bombas Hidráulicas AS (2014).

A Tabela 16 apresenta os dados da bomba selecionada.

Tabela 16 – Dados da bomba selecionada.

Parâmetros	
Modelo Bomba	25-160 (n=1.750rpm / 60Hz)
Diâmetro Impelidor	145 mm
Eficiência	20%
<i>NPSH</i> requerido	1 m
Potência	0,2 kW (0,27 hp)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para verificar se a bomba selecionada atende o projeto e não sofrerá com efeito da cavitação, foi realizado o cálculo, conforme a Equação 13, e os resultados estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Verificação do *NPSH*.

	Parâmetros
Altura de sucção, z_s	2,5 m
Densidade do fluido, d	998 kg/m ³
Altura do fluido, h	2,5 m
Pressão manométrica, p_s	24475,95 Pa
Pressão atmosférica, p_{atm}	101325 Pa
Pressão de vapor, p_v	2340 Pa
Peso específico, γ	9810 N/m ³
Aceleração da gravidade, g	9,81 m/s ²
Velocidade do fluido, V_s	1,6541 m/s
Perda de carga em acessórios, h_{fs}	1,4643 m
<i>NPSH</i> disponível	13,76 m
<i>NPSH</i> requerido	1 m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o $NPSH_{disp} > NPSH_{req}$, ou seja, a bomba atende as especificações de trabalho e não haverá problemas com cavitação.

4.4.3 Automação do Ensaio

Para instalação da automação de acionamento do pressurizador deverá ser utilizado a estrutura do painel principal, adequado a NR12, existente externamente a cabine de lavagem assim como as calhas para realizar a conexão com o pressurizador e instalação do acionamento dentro da cabine. Deverá ser instalada a IHM. Informações como tempo de ciclo do pressurizador, bem como a possível alteração deste tempo e pressão d'água após a saída da bomba deverá ser observada nesta IHM. Para a verificação da pressão após a saída do pressurizador deve haver um manômetro instalado e conectado ao CLP.

Para realizar o acionamento do pressurizador é necessária a instalação de caixa de botoeiras com 03 (três) botoeiras (Start, Stop e botoeira de emergência). As botoeiras serão instaladas na área interna da cabine de lavagem e, por isso, deverão ser botoeiras com capa de silicone visando proteger a instalação da água utilizada durante o processo, a botoeira deverá ser ligada em CAT-3 a um relé de segurança. Também, deverá ser confeccionado um controle remoto para que o operador que estará dentro do trator durante a realização do teste possa ter o controle deste acionamento.

O controle remoto se faz necessário para que, caso haja infiltrações, o Operador 2 realize o desligamento do sistema do chuveiro, pois havendo entrada de água na cabine logo início do ensaio, sem o controle remoto, ficaria entrando água na cabine durante os 10 minutos de ensaio, que poderá prejudicar outras instalações da cabine.

4.4.4. Ensaio Sob Pressão de Lavagem

Para a realização do ensaio sob pressão de lavagem, com a realização dentro da cabine de lavagem será possível padronizar a distância em que o Operador 01 ficará do trator, pois o chuveiro será instalado ao centro da cabine fazendo com que o trator também fique centralizado na área da cabine.

4.5 CONDIÇÕES DO ENSAIO PROPOSTO

Com a definição da Proposta a ser instalada, serão realizadas análises das condições do ensaio – instalações e controle de ensaios –, das perdas de processo e custos envolvidos para sua realização após a instalação.

4.5.1 Instalações do Ensaio Proposto

A Figura 32, apresenta o local do ensaio proposto.

Figura 32 – Fluxo Ensaio Proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a instalação do ensaio proposto serão diminuídos/eliminados alguns problemas encontrados no ensaio atual.

Com a instalação do sistema de bombeamento que enviará água para o chuveiro será eliminado o problema atual de não haver água na totalidade do chuveiro durante a realização do ensaio.

Por se tratar de cabine com terreno plano, também será eliminado o problema de o ensaio estar sendo realizado em terreno inclinado que pode estar acarretando em falsas aprovações.

O sistema de automação para acionamento do pressurizador garantirá que o ensaio seja realizado conforme o tempo determinado pela área de Qualidade juntamente com Engenharia de Produto e Engenharia de Manufatura. Atualmente, o ensaio é realizado sem que haja o controle de tempo em que o chuveiro permanece aberto. O Operador 01 realiza a abertura da válvula de liberação da água e realiza o fechamento quando lhe convém. Com a automação é possível padronizar este tempo e, caso seja necessário interromper o funcionamento do pressurizador por conta de infiltração, o operador irá acionar seu superior indicando o motivo para que o mesmo realize a liberação do sistema para o próximo ensaio.

4.5.2 Controle do Ensaio Proposto

Antes mesmo do desenvolvimento da proposta do novo ensaio de infiltrações, foi realizada a alteração no modo como é realizado o controle do ensaio. O controle que era realizado de maneira simples onde não ficava evidenciado quais modelos de máquinas foram testadas, quais modelos apresentaram falhas, que falhas foram estas e como esta falha foi tratada, foi substituído pelo controle apresentado na Figura 33.

Figura 33 – Controle Teste Hídrico.

CONTROLE TESTE HÍDRICO - CABINES							MÊS: _____
	DATA	MODELO	WO	OK	NOK	LOCAL DA FALHA (R SGG-0548)	AÇÃO
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Fonte: Elaborado pelo autor.

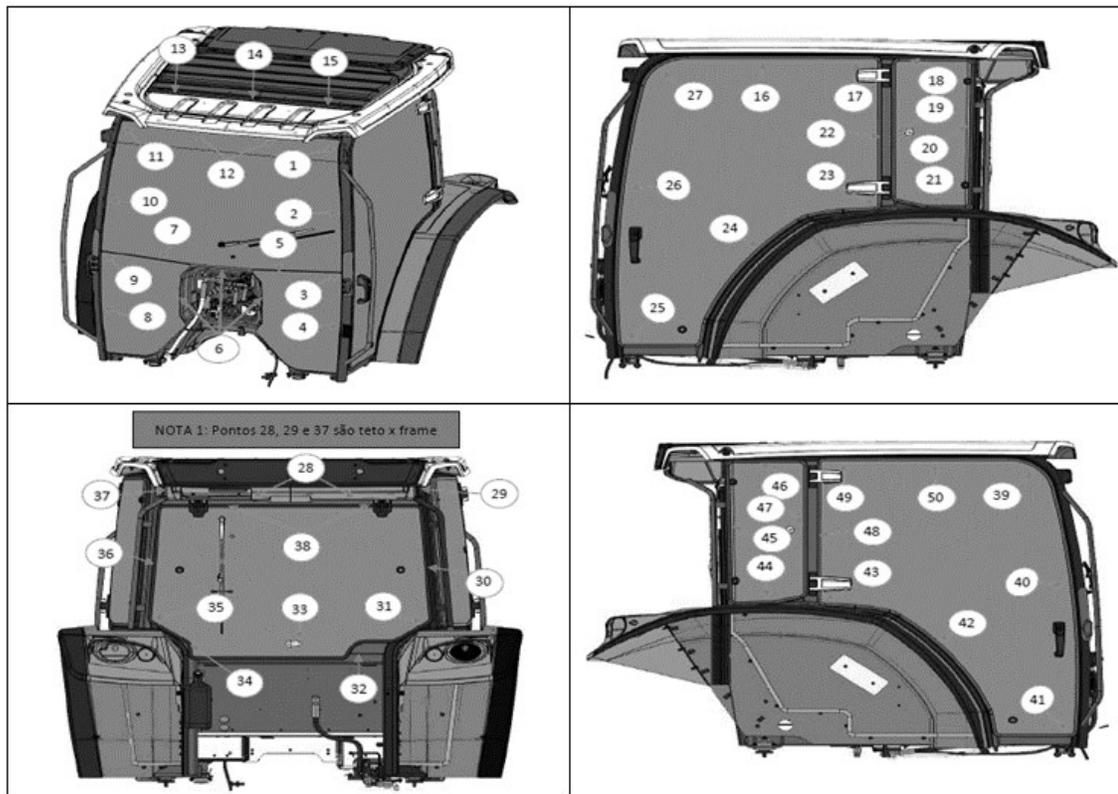
O preenchimento é realizado de modo que se possa ter todos os controles necessários para futuras verificações nos testes realizados. O preenchimento é realizado da seguinte maneira:

- DATA: data em que foi realizado o ensaio;
- MODELO: modelo da máquina;
- WO: rastreabilidade da máquina;
- OK: máquina aprovada no ensaio sem necessidade de ações corretivas;
- NOK: máquina reprovada necessitando de ação corretiva;
- LOCAL DA FALHA (RSGQ-0548): numeração do local da falha, conforme documento RSGQ-0548, Figura 34;
- AÇÃO: ação realizada para corrigir ponto de falha.

Um trator, após iniciar seu fluxo de montagem recebe, ao longo dos diversos processos, documentos de verificações que devem acompanhá-lo até o momento em que é devidamente aprovado e liberado para a expedição. Nestes documentos são preenchidos diversos itens de acordo com cada processo. Se tratando do ensaio de infiltrações existe o RSGQ-0548, documento que apresenta itens de verificação relacionados tanto ao ensaio de infiltrações realizado com água (presente trabalho) quanto ao de ultrassom, que realiza a verificação em determinados pontos soldados da estrutura da cabine.

Neste documento é possível verificar que a cabine é enumerada em diversos pontos para facilitar o apontamento, no momento da verificação, caso a cabine apresente falhas. Para facilitar o apontamento e controle do Teste Hídrico, utilizou-se desta enumeração para realizar preenchimento da planilha de controle. A Figura 34 apresenta a disposição destas numerações.

Figura 34 – Enumeração da cabine no RSGQ-0548.



Fonte: RSGQ-0548.

Com as informações acima é possível realizar o preenchimento da planilha de controle. A Figura 35 apresenta um exemplo de preenchimento do controle de ensaios realizado no mês de março.

Figura 35 – Controle Teste Hídrico Preenchido.

CONTROLE TESTE HÍDRICO - CABINES						MÊS: MARÇO	
	DATA	MODELO	WO	OK	NOK	LOCAL DA FALHA (RSGQ-0548)	AÇÃO
1	08/03/2022	AAA	1111	X			
2	08/03/2022	BBB	2222	X			
3	08/03/2022	BBB	3333		X	27 BORRACHA MAL AJUSTADA	AJUSTE CORRETO DA BORRACHA
4	08/03/2022	CCC	4444	X			
5	08/03/2022	BBB	5555	X			
6	08/03/2022	CCC	6666		X	10 FALHA COLAGEM	APLICADO COLA
7	08/03/2022	AAA	7777		X	12 FALHA COLAGEM	APLICADO COLA
8	08/03/2022	AAA	8888	X			
9	08/03/2022	AAA	9999	X			
10							

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do preenchimento do controle de ensaios observam-se 9 tratores que foram submetidos ao ensaio de infiltrações no dia 08 de março. Destes, 3 apresentaram problema, sendo um trator de cada modelo. Os tratores dos modelos AAA, BBB e CCC apresentaram falha no local 12, 27 e 10, respectivamente (conforme RSGQ-0548, Figura 34), sendo os modelos AAA e CCC falha na aplicação da cola e o trator de modelo BBB falha no ajuste da borracha. Na última coluna é possível verificar a ação tomada para cada falha.

Os demais tratores que passaram pelo teste foram aprovados sem necessidade de ação corretiva. Após o preenchimento deste controle, a folha é entregue ao técnico da área de cabines que repassa os dados para planilha eletrônica para realizar a estratificação dos dados.

Com os dados de ensaios consolidados a partir do controle apresentado na Figura 33 é possível estratificar os dados necessários para análises. Com esta consolidação também é possível ter histórico dos ensaios realizados, algo que não era possível antes.

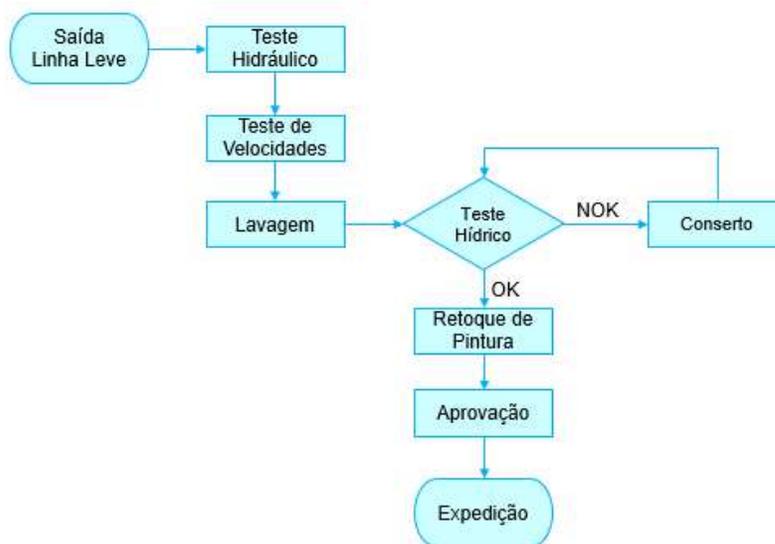
4.5.3 Perdas do Ensaio Proposto

A proposta do novo ensaio de infiltrações visa, além de melhorar as condições do ensaio em si, reduzir e/ou eliminar as perdas provindas do ensaio atual. Com a definição de alteração do local de ensaio para dentro da cabine de lavagem, o ensaio passará a integrar o fluxo de processos de modo otimizado.

A análise de perdas de processo foi realizada com base nas três perdas citadas anteriormente: Perdas por Movimento, Perdas por Espera e Perdas por Elaboração de Produtos Defeituosos.

Com a alteração de local do ensaio de infiltrações ele ficará localizada dentro do fluxo de processos, como mostra a Figura 36.

Figura 36 – Fluxograma de processos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com esta alteração de local e o ensaio adequado ao fluxo de processos deverá ser reduzida ou eliminada a perda por movimento e, também, poderá ser eliminada a perda por espera, pois o trator estará seguindo um melhor fluxo de processos.

No caso de Perdas por Movimento, foi realizado o levantamento dos tempos de deslocamento para a realização do ensaio. Foi visto que há movimento de máquina e movimento da mão de obra.

O trajeto percorrido entre a área de Aprovação e a área de Ensaios está apresentado na Figura 17. Primeiramente foi realizado o levantamento da movimentação de máquinas. Para esta análise foram cronometrados os tempos de movimentação de 5 máquinas, cada uma guiada por um operador diferente e em dias diferentes, com isso, foi calculada a média de movimentação dessas tomadas de tempo para fins deste estudo.

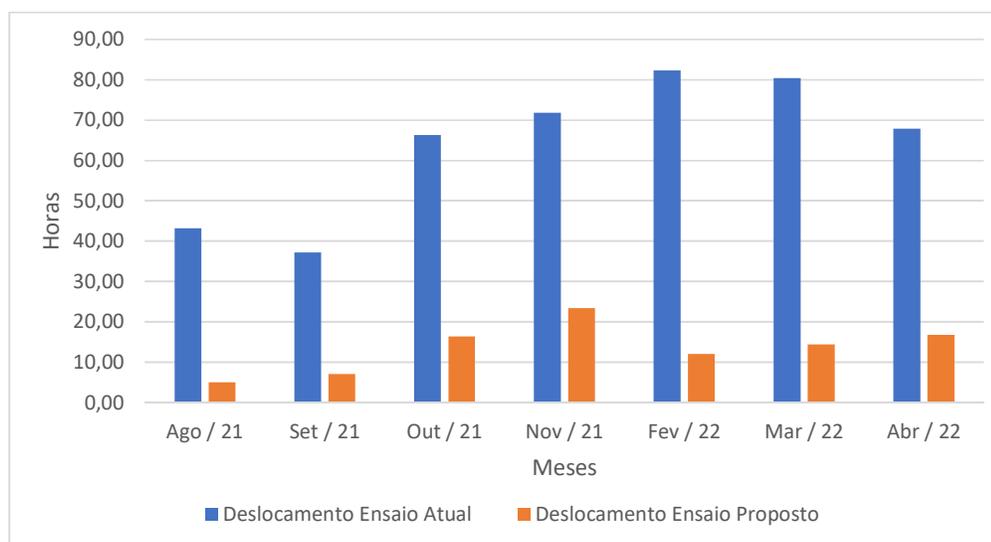
Além disso, será possível inserir a avaliação do ensaio no sistema de avaliação de DPU (Defeitos por Unidade), que é o sistema utilizado para o apontamento dos defeitos encontrados no *Quality Gate* (QG) de cada área, fazendo com que as informações de máquinas defeituosas e seus defeitos sejam registradas podendo reduzir a perda por elaboração de produtos defeituosos.

4.5.3.1 Perdas por Movimento

Com a realização do ensaio proposto dentro da Cabine de Lavagem, haverá grande diminuição da Perda de Movimento, pois a movimentação apresentada na Figura 17, será realizada somente por máquinas reprovadas.

Considerando que este novo cenário proposto com os volumes de ensaios e reprovações apresentados na Tabela 5 já estivessem sendo realizados no novo Fluxo de Processos ter-se-ia a redução de horas de deslocamento apresentadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Deslocamento Ensaio Atual vs Ensaio Proposto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para este novo cenário, a redução por Perdas de Movimento, quando comparadas com o Ensaio Atual, são conforme apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Perdas de Movimentos Ensaio Atual vs Ensaio Proposto.

Mês / Ano	Testes Realizados (Quantidade)	Máquinas Reprovadas (Quantidade)	Deslocamento Ensaio Atual (horas)	Deslocamento Ensaio Proposto (horas)	Redução do Deslocamento (%)
Agosto / 21	307	15	43,2186	5,0250	-88,4%
Setembro / 21	252	21	37,2498	7,0350	-81,1%
Outubro / 21	430	49	66,2498	16,4150	-75,2%
Novembro / 21	440	70	71,8460	23,4500	-67,4%
Fevereiro / 22	573	36	82,2996	12,0600	-85,3%
Março / 22	548	43	80,4590	14,4050	-82,1%
Abril / 22	441	50	67,8928	16,7500	-75,3%
Total	2991	284	449,2156	95,1400	-78,8%
Média	427	41	64,1737	13,5914	-78,8%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos dados apresentados na Tabela 18 observa-se redução média de 78,8% de movimento para a realização do ensaio de infiltrações.

4.5.3.2 Perdas por Espera

No que diz respeito a Perdas por Espera, com a alteração do local de ensaios e o deslocamento até a área atual de ensaio, onde também se encontra a área de conserto, somente pelas máquinas reprovadas, esta perda sofrerá grande redução.

Na situação atual, enquanto o operador realiza a ação corretiva em uma máquina, a próxima máquina fica aguardando para que possa ser submetida ao ensaio. Dentro do fluxo proposto as máquinas serão submetidas ao ensaio no tempo determinado e aprovadas ou reprovadas seguem para o próximo estágio. Ou seja, não haverá máquina esperando o operador realizar o conserto de outra máquina ou finalizar qualquer outra atividade, pois o novo fluxo de processos prevê que o conserto não seja realizado pelos operadores que realizam o ensaio para que não haja esta Perda por Espera.

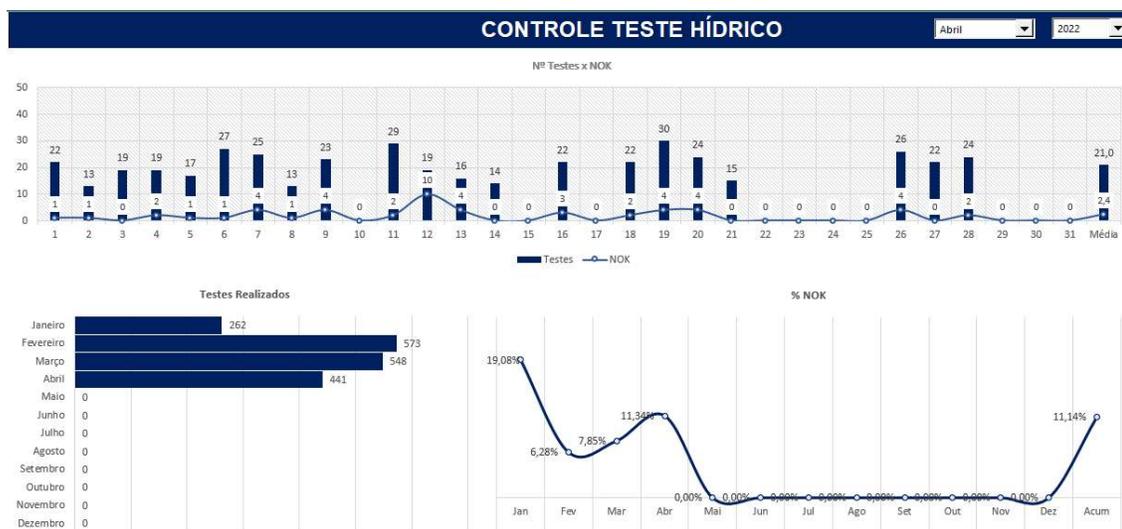
Por outro lado, o operador da área de conserto estará designado a realizar o conserto de máquinas e a validação destes consertos, pois atualmente este se divide na realização de ensaios e conserto de máquinas.

4.5.3.3 Perdas por Elaboração de Produtos Defeituosos

Na Figura 37 é possível verificar o *dashboard* criado a partir dos dados registrados. O primeiro gráfico acima apresenta, em colunas, o número de ensaios realizados diariamente, enquanto a linha indica o número de máquinas reprovadas no respectivo dia.

O gráfico inferior à esquerda da imagem apresenta o número total de ensaios realizados mensalmente e o gráfico a sua direita indica o percentual de reprovações ao longo dos meses. Como pode ser observado no canto superior direito há duas caixas seletoras para que possa ser realizada a análise gráfica dos ensaios do mês e o ano selecionados.

Figura 37 – Dados de Ensaio Estratificados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para melhor visualização dos dados apresentados na Figura 37, eles estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Consolidação de Testes Realizados.

Mês / Ano	Testes Realizados (Quantidade)	Máquinas Reprovadas (Quantidade)	Máquinas Reprovadas (%)
Mai / 21	114	13	11,40%
Junho / 21	153	10	6,54%
Julho / 21	156	1	0,64%
Agosto / 21	307	15	4,56%
Setembro / 21	252	21	8,33%
Outubro / 21	430	49	11,40%
Novembro / 21	440	70	15,91%
Dezembro / 21	273	29	10,62%
Janeiro / 22	262	50	19,08%
Fevereiro / 22	573	36	6,28%
Março / 22	548	43	7,85%
Abril / 22	441	50	11,34%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado, os três primeiros meses deste modelo de controle (maio, junho e julho de 2021) são meses com números inferiores de testes registrados quando comparados com os outros meses. Por este motivo, são considerados como meses de “criação de cultura” ou implementação de processo, pois até então o modelo existente não era detalhado e, mesmo assim, o preenchimento não era realizado corretamente.

Sendo assim, para as futuras análises deste trabalho, caso forem considerados valores médios de testes, aprovações ou reprovações, os três primeiros meses de dados serão desconsiderados.

Em relação ao percentual de máquinas reprovadas podem ser feitas duas análises. A primeira é que no mês de novembro de 2021 observa-se que 15,91% das máquinas submetidas ao ensaio foram reprovadas. Ao longo do mês de outubro foi realizado o *ramp-up* – início gradual de novo processo de produção – do processo de colagem de vidros de um determinado modelo de cabine. Logo, em novembro foram realizados os testes dos primeiros modelos provindas do novo processo. Antes disso, todas as cabines eram recebidas de fornecedores com os vidros colados.

A segunda análise possível é em relação ao mês de janeiro de 2022. Neste mês, por conta de férias coletivas, o número de máquinas submetidas ao ensaio foi inferior aos meses de novembro e fevereiro, meses onde a fábrica produziu com operação completa. Neste mês, parte dos colaboradores ainda estava em férias

quando a fábrica retomou a produção. Por isso, algumas operações foram realizadas por montadores que não estavam devidamente treinados, ocasionando maior índice de reprovações de máquinas.

Só foi possível realizar estas duas análises a partir do momento que o controle de ensaios passou a ser realizado de maneira correta proporcionando sua consolidação e gerando histórico.

4.5.4. Custos do Ensaio Proposto

Para a análise de custos do ensaio proposto, após a instalação do novo ensaio, foram reavaliados os custos levantados e analisados referentes ao ensaio atual verificando possíveis ganhos e perdas quando comparados. São eles: custos de mão de obra direta (MOD) e os custos indiretos de fabricação (CIF).

O custo de MOD foi como principal objetivo avaliar a mão de obra terceira presente no ensaio atual. Para o Estado Atual utiliza-se desta mão de obra da empresa terceira, porém para o Ensaio Proposto todos os operadores envolvidos serão efetivos da presente empresa.

Na análise de custo CIF foi realizada análise referente ao combustível consumido durante a movimentação de máquinas da área de aprovação até a área de ensaio bem como o seu retorno a área de aprovação.

4.5.4.1 Mão de Obra Direta

A partir destes custos e com a redução das Perdas por Movimento e grande redução do deslocamento dos operadores da área de Aprovação, decidiu-se pela retirada do operador da empresa terceira, eliminando este custo.

Para substituir esta mão de obra (MO) não será necessário realizar a contratação de nova MO, pois, para a realização do teste sob pressão de lavagem serão utilizados os operadores que realizam a lavagem dos tratores e a verificação interna da cabine será realizada pelos operadores da área de Aprovação, pois são operadores aptos para tal, que já realizam no ensaio atual, porém sem a Perda por Movimento, pois a área de Aprovação fica ao lado das cabines de Lavagem.

4.5.4.2 Custos Indiretos de Fabricação

Considerando que neste mesmo período os ensaios tivessem sido realizados no fluxo proposto, o custo de combustível teria sido o apresentado na Tabela 20.

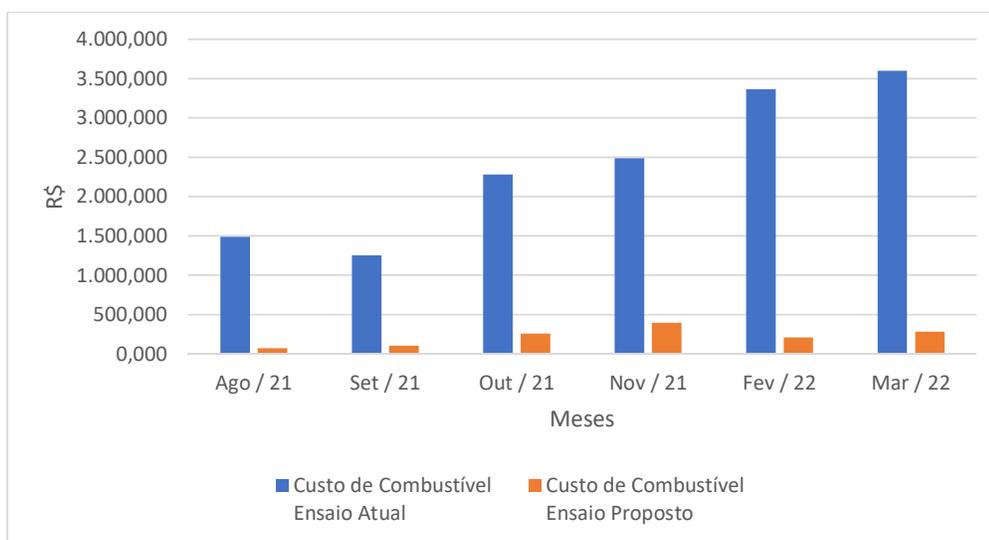
Tabela 20 – Custo com Combustível na Movimentação de Máquinas Reprovadas.

Mês / Ano	Máquinas Reprovadas (Quantidade)	Consumo Combustível Total (litros)	Preço Médio de Distribuição (R\$/l)	Custo de Combustível por Movimentação (R\$)
Agosto / 21	15	17,66	4,114	72,649
Setembro / 21	21	24,72	4,218	104,277
Outubro / 21	49	57,68	4,511	260,235
Novembro / 21	70	82,40	4,806	396,022
Fevereiro / 22	36	42,38	4,993	211,583
Março / 22	43	50,62	5,579	282,425
Total	234	275,46	-	1.327,193
Média	39,00	45,91	4,704	221,199

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 2 apresenta a comparação do custo com combustível do Ensaio Atual e do Ensaio Proposto. Já a Tabela 21 apresenta, além desta comparação, apresenta a redução percentual deste custo.

Gráfico 2 – Custo Combustível Ensaio Atual vs Ensaio Proposto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 21 – Custo com Combustível Ensaio Atual vs Ensaio Proposto.

Mês / Ano	Custo de Combustível Ensaio Atual (R\$)	Custo de Combustível Ensaio Proposto (R\$)	Redução do Custo de Combustível (%)
Agosto / 21	1.486,890	72,649	-95,1%
Setembro / 21	1.251,330	104,277	-91,7%
Outubro / 21	2.283,699	260,235	-88,6%
Novembro / 21	2.489,282	396,022	-84,1%
Fevereiro / 22	3.367,703	211,583	-93,7%
Março / 22	3.599,275	282,425	-92,2%
Total	14.478,180	1.327,193	-
Média	2.413,030	221,199	-90,9%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado, a redução média de custo com combustível é de 90,9% com a alteração do ensaio de infiltrações.

4.5.4.3 Payback

Para a concepção do projeto do ensaio proposto foram contatados diversos fornecedores. Mesmo o projeto não apresentando grande complexidade de execução quando comparados separadamente os itens solicitados (chuveiro, bomba e automação), todos entendem que o ideal é apenas um fornecedor fornecer e instalar os equipamentos, ou seja, fornecer o projeto completo.

Com isso, apenas um fornecedor apresentou *know-how* e, conseqüentemente, apresentou proposta para fornecimento do projeto solicitado. Os itens orçados estão na Tabela 22 (Materiais e serviços de projetos, além de MOD (mão de obra direta)). Considerando que há duas cabines de lavagem, foi apresentada proposta que atendesse a instalação do sistema de ensaio de infiltração para ambas, melhor dizendo, proposta contemplando a instalação de dois chuveiros, duas bombas e automação independente para cada cabine.

Com os custos de Mão de Obra Direta, Custos Indiretos de Fabricação e o Custo para a concepção do novo ensaio, é possível calcular o *Payback* deste projeto, em outras palavras, em quanto tempo a empresa terá o retorno financeiro do valor investido para sua concepção.

Para calcular o *Payback* do Projeto foram considerados os valores apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Investimentos e Custos Projeto.

Descrição Investimento / Custo	Tipo	Investimento / Custo (R\$)
Materiais Projeto	Investimento	59.962,36
Serviços Projeto	Investimento	36.073,33
MOD (Empresa Terceira)	Custo	8.877,84
Custo Combustível	Custo	2.413,03

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os investimentos apresentados na Tabela 22 são referentes a proposta para instalação do Ensaio Proposto, já os custos, são as médias dos custos de MOD com operador de empresa terceira (Tabela 6) e média do custo com combustível (Tabela 9) que serão eliminados com o novo ensaio.

Os custos que serão eliminados com a implementação do ensaio proposto são chamados de *Saving*. Logo o valor total de *Saving* é a soma dos custos que serão eliminados, ou seja, R\$ 11.290,87.

Agora, com o total de investimento de R\$ 96.035,69 e de *Saving* Mensal R\$ 11.290,87, foi possível calcular o *Payback*, conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – *Payback* do Projeto.

Período (meses)	Fluxo de Saving (R\$)	<i>Payback</i> (R\$)
0	-96.035,69	-96.035,69
1	11.290,87	-84.744,82
2	11.290,87	-73.453,95
3	11.290,87	-62.163,07
4	11.290,87	-50.872,20
5	11.290,87	-39.581,33
6	11.290,87	-28.290,46
7	11.290,87	-16.999,58
8	11.290,87	-5.708,71
9	11.290,87	5.582,16

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 23 mostra que no mês 9 após a implementação do ensaio proposto, o saldo de *Payback* já estará positivo, ou seja, a empresa terá o retorno financeiro durante o mês 8. Para ser mais preciso quanto ao tempo de retorno do investimento, realiza-se a divisão do valor de *Payback* do mês 8 (último mês com *Payback* negativo) pelo valor de *Saving* do mês seguinte, ou seja, mês 9.

Agora, o valor resultante desta divisão deve ser multiplicado por 30 (dias do mês) para verificar após passados quantos dias do mês a empresa terá efetivamente o retorno do total investido no projeto.

Sendo assim, a empresa terá o retorno de seu investimento, o *Payback*, 8 meses e 15 dias após a implementação do ensaio proposto.

5 CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas, definições para o ensaio proposto e resultados obtidos, principalmente quando comparados, o ensaio proposto se apresenta superior ao ensaio atual. O ensaio proposto, primeiramente, não foi um projeto desenvolvido único e tão somente pelo responsável pelo projeto e sim, envolvendo as diversas partes e áreas interessadas e afetadas por ele.

Para a definição do ensaio proposto foi contatada a Engenharia de Produto para que o ensaio fosse desenvolvido atendendo os requisitos mínimos por eles determinados e, a partir destes requisitos, foram desenvolvidas diferentes propostas.

Para analisar e definir a melhor proposta foram envolvidas as áreas afetadas para que não ocorrer deste projeto afetar projetos e/ou processos sem o conhecimento das áreas. Com isso, o ensaio proposto, além de atender os requisitos da Engenharia de Produto, é um ensaio que não afeta negativamente outros processos, e sim, apresenta diversos resultados positivos.

O novo formato de controle de ensaios permite que hoje haja histórico de ensaios realizados permitindo a possibilidade de análises caso alguma cabine apresente falha em campo o que não era possível quando foram iniciadas as análises para o realizar o projeto.

O ensaio proposto apresenta, em relação ao ensaio atual, reduções de 78,8% nas perdas de movimentos e 90,9% dos custos para sua realização, além de ter *Payback* em 8 meses e 15 dias.

Expostos os resultados obtidos, conclui-se que o ensaio proposto atingiu seus objetivos com eficácia.

Porém, ainda se faz necessário realizar a instalação do ensaio proposto a fim de validar fisicamente a eficiência das instalações apresentadas no presente trabalho e, além disso, há a possibilidade de serem realizadas melhorias no que diz respeito ao controle de ensaios realizados como, por exemplo, a realização de tal por meios eletrônicos para facilitar ainda mais a geração de histórico, controle e evidências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Preços de distribuição de combustíveis**. Brasília, DF: ANP, 18 mar. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-distribuicao-de-combustiveis>. Acesso em: 04 mai. 2022.

ALVES, Aline et al. **Análise de custo**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595024427/pageid/0>. Acesso em: 14 nov. 2021.

BORNIA, Antonio Cezar. **Análise gerencial de custos**: aplicação em empresas modernas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522485048/pageid/0>. Acesso em: 14 nov. 2021.

BRUNI, Adriano Leal; FAMÁ, Rubens. **Gestão de custos e formação de preço**: com aplicações na calculadora HP 12C e Excel. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019. *E-book* (não paginado). Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597021059/epubcfi/6/2\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcover!\]/4/2/2%4051:1](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597021059/epubcfi/6/2[%3Bvnd.vst.idref%3Dcover!]/4/2/2%4051:1). Acesso em: 14 nov. 2021.

CANOAS RS. *In*: GOOGLE maps. Mountain View: Google, 2021. Disponível em: <https://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR>. Acesso em: 17 out. 2021.

FOX, Robert. W. *et al.* **Introdução à Mecânica dos Fluidos**, LTC, 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. *E-book*. Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521635000/epubcfi/6/2\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcover!\]/4/2/2%4051:1](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521635000/epubcfi/6/2[%3Bvnd.vst.idref%3Dcover!]/4/2/2%4051:1). Acesso em: 25 nov. 2021.

GRUPO AÇOTUBO. **Catálogo de Tubos de Aço**, [s.l.], ago. 2016. Disponível em: <https://acotubo.com.br/produtos/tubos-de-aco/>. Acesso em: 17 mai. 2022.

KSB Bombas Hidráulicas SA. **Folheto de curvas características 50 Hz**: MegaCPK, Meganorm, Megabloc São Paulo, 23 abr. 2014. Disponível em: <http://www.ksb.com.br/ksb-br-pt/pesquisa.php?q=Meganorm>. Acesso em: 28 mai. 2022.

LIKER, Jeffrey K.; MEIER, David. **O modelo Toyota**: manual de aplicação: um guia prático para a implementação dos 4Ps da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2007. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788577800308/pageid/0>. Acesso em: 30 out. 2021

LOCAÇÕES, Rm. Lavajato Karcher HDS 12/15 S. Disponível em: <http://www.rmlocacoes.com.br/produto?id=71&nome=Lavajato%20Karcher%20HDS%2012/15%20S>. Acesso em: 06 nov. 2021.

LOZADA, Gisele Cristina da Silva (Org.). **Administração da produção e operações**. Porto Alegre: SAGAH, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788569726616/pageid/125>. Acesso em: 18 out. 2021.

MACAGNAN, Mario H. (2020). *Cavitação e NPSH*. [PowerPoint de apoio à disciplina de Máquinas de Fluidos, lecionada na UNISINOS].

MACAGNAN, Mario H. (2020). *Determinação da Curva do Sistema*. [PowerPoint de apoio à disciplina de Máquinas de Fluidos, lecionada na UNISINOS].

MATTOS, Edson E.; DE FALCO, Reinaldo. **Bombas industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2010. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788502111868/pageid/0>. Acesso em: 28 nov. 2021.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção**. Porto Alegre, Bookman 2017. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788577800995/pageid/0>. Acesso em: 28 out. 2021.

SILVA, Eliana. Setor de máquinas agrícolas prevê alta de 30% nas vendas e faturamento recorde em 2021. *In*: GLOBO RURAL. [S.l.], 22 jun. 2021. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Economia/noticia/2021/06/setor-de-maquinas-agricolas-preve-alta-de-30-nas-vendas-e-faturamento-recorde-em-2021.html>. Acesso em: 15 nov. 2021.

SLACK, Nigel. **Administração da produção**. 8. Rio de Janeiro Atlas 2018. *E-book* (não paginado). Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597015386/epubcfi/6/62\[%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter15\]!/4](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597015386/epubcfi/6/62[%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter15]!/4). Acesso em: 28 out. 2021.

SULZER PUMPS. **Sulzer centrifugal pump handbook**. 2. ed. Oxford: Elsevier Advanced Technology, 1998.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manufatura enxuta como estratégia de produção**: a chave para a produtividade industrial. São Paulo: Atlas, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597001402/pageid/0>. Acesso em: 28 out. 2021.

ANEXO A – TUBOS EM AÇO CARBONO COM COSTURA

Tubos em Aço Carbono com costura

Para uso comum na condução de fluidos - conforme NBR 5580 e DIN 2440/EN 10255

Diâmetro x espessura x massa

Diâmetro Nominal (")	Diâmetro externo mm			Espessura mm			Massa do tubo preto Kg/m		
	Básico	min.	máx.	Leve	Média	Pesada	Leve	Média	Pesada
1/4	13,5	13,2	13,9	2,00	2,25	3,00	0,57	0,62	0,78
3/8	17,2	16,7	17,4	2,00	2,25	3,00	0,75	0,83	1,05
1/2	21,3	21,0	21,7	2,25	2,65	3,00	1,06	1,22	1,35
3/4	26,9	26,5	27,1	2,25	2,65	3,00	1,37	1,58	1,77
1	33,7	33,3	34,0	2,65	3,35	3,75	2,03	2,51	2,77
1.1/4	42,4	42,0	42,7	2,65	3,35	3,75	2,60	3,23	3,57
1.1/2	48,3	47,9	48,6	3,00	3,35	3,75	3,35	3,71	4,12
2	60,3	59,7	60,7	3,00	3,75	4,50	4,24	5,23	6,19
2.1/2	76,1	75,3	76,3	3,35	3,75	4,50	6,01	6,69	7,95
3	88,9	88,0	89,4	3,35	4,00	4,50	7,07	8,38	9,37
3.1/2	101,6	100,3	102,1	3,75	4,25	5,00	9,05	10,20	11,91
4	114,3	113,1	114,9	3,75	4,50	5,60	10,22	12,18	15,01
5	139,7	138,5	140,8	-	4,75	5,60	-	15,81	18,52
6	165,1	163,9	166,5	-	5,00	5,60	-	19,74	22,03

Fonte: Grupo Açotubos (2016).