

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

BÁRBARA DIESEL COSTA

**ESTUDO DE CASO DA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE
PRÉ-FILTRAGEM DE AR PARA TRATORES DE GRANDE PORTE E
ALTA POTÊNCIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
(Tcc2 - Nº de Inscrição - 27)

CURITIBA

2015

BÁRBARA DIESEL COSTA

**ESTUDO DE CASO DA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE
PRÉ-FILTRAGEM DE AR PARA TRATORES DE GRANDE PORTE E
ALTA POTÊNCIA**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Matos Germer

CURITIBA

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa " ESTUDO DE CASO DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE PRÉ-FILTRAGEM DE AR DE MOTOR PARA TRATORES DE GRANDE PORTE E ALTA POTÊNCIA", realizado pela aluna Bárbara Diesel Costa, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Eduardo Matos Germer
DAMEC, UTFPR
Orientador

Prof. Edmar Hinckel
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Prof. MSc Josmael Roberto Kampa.
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 14 de Junho de 2015

RESUMO

DIESEL COSTA, Bárbara (aluna). Estudo de caso da melhoria da eficiência do sistema de pré-filtragem de ar para tratores de grande porte e alta potência, 2015. 75f. Trabalho de conclusão de curso. - Bacharelado em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

A produtividade de máquinas agrícolas é de suma importância para a produção agropecuária. Sendo assim é fundamental que todo o maquinário e equipamento apresentem condições adequadas de funcionamento, trabalhando com uma alta eficiência e rendimento. Neste contexto foi feito um estudo de caso dentro de uma empresa fabricante de máquinas agrícolas envolvendo a melhoria do sistema de filtragem de um trator, uma vez que havia sido relatado pelo cliente uma recorrência de tempo de vida curto do filtro de ar do mesmo. O trabalho teve o intuito de elaborar uma alternativa para o atual conjunto de equipamentos de filtragem, que até então não era eficiente para os padrões agrícolas e de mercado, segundo a ISO 5011. O filtro primário do sistema de filtragem apresentava uma vida útil 6 vezes menor que o comum, de maneira que as paradas no trabalho agrícola para troca e manutenção eram muito mais frequentes que o usual, além de haver mais gastos com novos filtros a cada troca. Para que a execução dessa melhoria pudesse ser feita, foram levantadas diversas possibilidades de falhas que pudessem ter ocorrido e observado que a falha causadora do problema do curto tempo de vida do sistema de filtragem era o pré-filtro, pois o mesmo não apresentava uma eficiência satisfatória. Sabendo disso, os fornecedores de filtros para a empresa de tratores foram contatados e desenvolveram soluções de substituição para o pré-filtro e foi então estudada a que apresentava melhores condições de eficiência e aceitação pelo cliente, com a contribuição do fornecedor para a realização dos testes. Por fim foi apresentada uma solução que combina melhor preço, eficiência, aparência e satisfação do cliente.

Palavras-chave: Sistema de filtragem de ar, pré-filtro, melhoria, eficiência

ABSTRACT

DIESEL COSTA, Bárbara (aluna). Estudo de caso da melhoria da eficiência do sistema de pré-filtragem de ar para tratores de grande porte e alta potência, 2015. 75f. Trabalho de conclusão de curso. - Bacharelado em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

The agricultural machines efficiency and productivity is very important for the agriculture. Therefore is crucial that all equipments and devices feature good operational conditions, working with high efficiency and income. In this context, it was made a study inside a facility that manufactures agricultural machines involving the improvement of a tractor air-cleaner system, once that there was reported by a client a recurrence of an air-cleaner short life time. This project aims to create an alternative for the current air-cleaner equipments set, that wasn't so far efficient enough for agricultural standards, according to ISO 5011. The primary air-cleaner used to feature a life cycle 6 times above than the normal ones, so the agricultural activities stops for exchange and maintenance were more recurrent than usual, apart from the spending with new filters each exchange. To make this improvement, some possibilities of failures that could have happened were considered and then observed the one that caused the air-cleaner short life cycle problem was the pre-cleaner, since it was not featuring a satisfactory efficiency. Aware of it, some solutions for replacement of the pre-cleaner were proposed for the supplier it was sought a solution that presented the best efficiency conditions and acceptance from the client, with the contribution from our supplier for efficiency try-outs. Lastly it was presented a solution that combines best price, efficiency, appearance and client satisfaction.

Keywords: Air-cleaner system, pre-cleaner, improvement, efficiency

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Fotos do conjunto do Filtro de ar nas condições de rápida saturação ...	13
Figura 1.2 - Filtro saturado	14
Figura 1.3 - Filtro novo	14
Figura 2.1 - Fluxograma das etapas do trabalho.....	16
Figura 2.2 - Representação 3D do duto de ar seco / tubo de admissão de ar externo	19
Figura 2.3 - Foto do pré-filtro Donaldson mostrando os Spins / tubos	20
Figura 2.4 - Exemplos de modelos de conjuntos de pré-filtro e filtro principal que a Donaldson oferece - modelos verticais e horizontais, conforme a adaptabilidade ao trator Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013.....	20
Figura 2.5 - Representação 3D do Pré-Filtro, que é composto de furos (chamados de spins) onde o ar passa.....	21
Figura 2.6 - Material de que é composto o filtro primário Donaldson	21
Figura 2.7 - Representação 3D do Filtro Primário utilizado no problema em questão	22
Figura 2.8 - Elemento primário do filtro de ar radial.	22
Figura 2.9 - Filtro primário e secundário da Donaldson. A flecha aponta o filtro secundário (ou de segurança).....	23
Figura 2.10 - Outro exemplo de filtro secundário de ar para filtro radial.....	24
Figura 2.11 - Representação 3D do tubo de admissão de ar	25
Figura 2.12 - Representação 3D do conjunto completo do sistema de admissão de ar	26
Figura 2.13 - Representação 3D da sequencia de escoamento do pré filtro até a saída do filtro.....	27

Figura 3.1 - Elemento filtrante e esquema de fluxo de ar da linha AFCS da Parker	.28
Figura 3.2 - Esquema em corte do elemento filtrante da Parker com cores - filtro utilizado para as linhas AFCS051 - AFCS221	.....29
Figura 3.3 - Pré-filtros externos da Parker	.....30
Figura 3.4 - Pré-filtro externo da Parker AFAP414 mostrado em corte esquemático para visualização dos componentes que fazem parte da filtragem	.....31
Figura 3.5 - Representação do filtro ECOLITE da Parker	.....31
Figura 3.6 - Filtro de ar ENTARON XD da MANN+HUMMEL	.....32
Figura 3.7 - Elemento filtrante do fabricante MANN+HUMMEL	.....33
Figura 3.8 - Fluxo de acordo com a ISO 5011	.....34
Figura 3.9 - Vista 3D com corte do pré-filtro externo de ar Feetguard Sy-Klone da Cummins	.....34
Figura 3.10 - Filtro principal Cummins	.....35
Figura 3.11 - Elemento filtrante Cummins	.....36
Figura 3.12 - Corte transversal do elemento filtrante da Cummins, representando o fluxo de ar no seu interior	.....36
Figura 3.13 - Taxas de fluxo de acordo com a série do fornecedor Cummins	.....37
Figura 3.14 - Filtro principal de ar da Cummins e suas especificações	.....38
Figura 3.15 - Linha PowerCore® da Donaldson	.....39
Figura 3.16 - Esquema representando a tecnologia de filtragem do filtro primário	...40
Figura 3.17 - Filtro principal (contendo filtro primário e secundário), pré-filtro e peça fundida que protege o sistema	.....41
Figura 3.18 - Outro exemplo de vista explodida de linha PSD da Donaldson	.....41
Figura 3.19 - Desenho 2D computadorizado do conjunto filtro, pré-filtro e tampa fundida para proteção	.....42
Figura 3.20 - Fluxo de acordo com a ISO 5011	.....43
Figura 3.21 - Linha TopSpin da Donaldson	.....43
Figura 3.22 - Desenho em corte do TopSpin mostrando a direção do fluxo de ar	....44

Figura 3.23 - Corte TopSpin	44
Figura 3.24 - Vista em corte do pré-filtro externo da Ocuatro	45
Figura 3.25 - Esquema do pré-filtro mostrando como é seu interior.....	45
Figura 3.26 - Esquema do pré-filtro instalado num caminhão	46
Figura 4.1 – Cronograma das etapas feitas durante o projeto (2015)	54
Figura 4.2 - Modelo matemático de pré-filtro externo da Ocuatro	58
Figura 4.3 - Foto do Pré-filtro que era utilizado na empresa contendo 35 tubos.....	59
Figura 4.4 - À esquerda o desenho 2D apontando uma vista de perfil do TopSpin e à direita uma vista explodida mostrando os seus componentes	60
Figura 4.5 - Modelo matemático do conjunto pré-filtro com 35 tubos e o TopSpin....	61
Figura 4.6 - Parte de um desenho técnico do pré-filtro com 20 spins	62
Figura 4.7 - Resumo dos 4 modelos a serem apresentados	63
Figura 4.8 - Representação do componente TopSpin que será utilizado para teste de eficiência	64
Figura 4.9 - Gráfico de eficiência das opções de sistema de filtragem variando de acordo com a eficiência elaborado pelo fornecedor	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Análise de FMEA do problema de filtragem do ar	50
Tabela 4.2 - Dados de filtragem apresentados pelo atual filtro de ar	51
Tabela 4.3 - Análise 5W e 2H.....	53
Tabela 4.4 - Pontuação de requisitos importantes para o cliente.....	56
Tabela 4.5- Dados do TopSpin extraídos do Catálogo Donaldson e remanejados ...	60
Tabela 4.6- Prós e contras das soluções propostas.....	63
Tabela 4.7 - Preços dos equipamentos Donaldson.....	67
Tabela 4.8 – Investimento por trator.....	67
Tabela 4.9 - Comparação de resultados de eficiência de acordo com a vazão entre o sistema utilizado atualmente e a solução proposta.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

PDCA – *Plan, do, check and act* (planejar, fazer, checar e agir)

FMEA- *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise do Tipo e Efeito de Falha)

DMAIC - *Define, Measure, Analyze, Improve and Control* (definir, medir, analisar, melhorar e controlar)

RCA - *Root Cause Analysis* (análise de causa raiz da falha)

FTA – *Failure Tree Analysis* (análise da árvore de falhas)

CFM - *Cubic feet per minute* (pés cúbicos por minuto)

CMM - *Cubic meter per minute* (metros cúbicos por minuto)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Contexto do Tema	12
1.2	Caracterização do Problema	12
1.3	Objetivos	15
1.4	Justificativa	15
1.5	Etapas do Trabalho	16
2	o sistema de filtragem	17
2.1	Componentes do sistema de filtragem	18
2.2	Restrições	25
2.3	Sequência de Funcionamento	25
3	Estado da arte	28
3.1	PARKER	28
3.2	MANN+HUMMEL	32
3.3	CUMMINS	34
3.4	Donaldson	38
3.5	Ocuatro	45
3.6	Conclusão obtida com o estado da arte	47
4	METODOLOGIA	48
4.1	Planejamento (<i>Plan</i>)	48
4.1.1	Caracterização detalhada do problema	49
4.1.2	Perdas e ganhos com o projeto	52
4.1.3	Método 5W e 2H	52
4.1.4	META e Cronograma	54
4.2	Ação (<i>Do</i>)	54
4.2.1	O que o cliente procura	55
4.2.2	Pré-filtro atual	56
4.2.3	Catálogos de filtro	56
4.2.4	Análise dos dados	58
4.2.5	Testes pelo fornecedor	64
4.2.6	Resultados dos testes Donaldson e discussões	65
4.2.7	Comentários sobre os resultados	67
4.3	Checar (<i>Check</i>) e Act (<i>Agir</i>)	68
5	RESULTADOS	69
6	CONCLUSÕES	71
	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto do Tema

O trator agrícola é uma máquina de importância singular na produção agropecuária, estando presente em praticamente todas as fases do processo produtivo. O Brasil possui uma frota atual de quase um milhão de tratores, correspondendo ao 4º maior mercado de tratores agrícolas do mundo (PORTAL KLFF, 2015). A evolução de tecnologias de motores e sistemas a eles relacionados permitiu que houvesse um grande progresso na produção agrícola, já que o uso das máquinas envolvidas neste meio auxilia o trabalho, tornando-o mais rápido e prático. Entretanto, muitas vezes este maquinário não é utilizado da forma mais adequada possível, ou seja, é feita a utilização do equipamento com os componentes não estando em ideal estado de funcionamento. Isso pode ocasionar em redução da vida útil, maior custo operacional e baixa eficiência nas operações.

Dentre os elementos que compõem o trator e necessitam de condições de funcionamento adequadas, situa-se o filtro de ar, uma vez que são necessárias mais de 8 mil litros de ar limpo para cada litro de combustível que se queima. O filtro de ar retém e elimina as partículas impuras do ar que são direcionadas ao motor, a fim de manter o seu bom funcionamento. Quando o motor recebe muitas partículas impuras, elas podem chegar à câmara de combustão e aí ocorrer a vitrificação das partículas arenosas devido às altas temperaturas, o que vai desgastando o pistão. (FILTROS DE AIRE, 2015)

1.2 Caracterização do Problema

Inicialmente foi constatado por um cliente produtor de cana de açúcar que o sistema de filtragem de ar estava operando inadequadamente. A frequência de troca do filtro de ar, que é um componente da série PowerCore® PSD12 da marca Donaldson®, estava muito alta. Esse caso já era recorrente pelo cliente produtor de cana de açúcar, que precisava constantemente de auxílio técnico. A frequência média de troca do filtro é, segundo a empresa de tratores e o próprio fornecedor de filtros de ar, de 600 horas de funcionamento da máquina. O que significa que após

600 horas de operação do trator o filtro primário deve ser trocado. O sistema em questão estava funcionando de tal maneira que antes mesmo de 100 horas de trabalho o filtro primário tinha que ser substituído. Cada parada para troca do filtro pode levar até 48 horas para ser feita, já que para ser trocada a peça, é necessário o comparecimento de um técnico e da compra de um novo produto. Portanto, mesmo que a troca em si seja rápida, é necessário o pessoal especializado e do novo equipamento.

Em uma colheita de cana-de-açúcar, são colhidos em média 1,2 hectares por hora, que somados se equivalem a 18 hectares diários. Isso proporciona ao agricultor uma média de 500 a 600 reais por hora de trabalho. São em média R\$10.000,00 perdidos por dia por uma máquina parada, o que representa uma perda muito considerável ao agricultor (fonte: empresa de tratores).

Este é um problema que representa grandes perdas no meio agrícola, uma vez que o tempo em que a máquina está parada poderia estar convertido em tempo produtivo. Se a cada 100 horas de trabalho, são gastas mais 48 em paradas para troca, ao longo de 600 horas de trabalho são gastos 4 filtros e 32% desse tempo é ocioso. Logo, o produtor terá uma produtividade 32% menor.

A Figura 1.1 mostra o estado que se encontrava o conjunto de pré-filtro e filtro principal estudado neste trabalho. O estado em que ele se apresenta nas imagens é correspondente a um filtro que funcionou por 600 horas, entretanto o filtro em questão só apresentava 100 horas de funcionamento.



Figura 1.1 - Fotos do conjunto do Filtro de ar nas condições de rápida saturação

Fonte: Engenharia da empresa de tratores

A partir deste dado e estudos em cima da origem da falha, observou-se que o pré-filtro estava operando de maneira ineficiente, garantindo uma pré-filtragem em torno de 75% do ar admitido, valor obtido a partir de medições de bancada feitas pela empresa fornecedora de filtros de ar. Segundo o manual Donaldson®, a pré-filtragem ideal deve eliminar um nível mínimo de 85% das partículas impuras, valor já estipulado pela ISO5011. A Figura 1.2 abaixo mostra o estado do filtro quando saturado e a Figura 1.3 é um exemplo do estado de um filtro novo

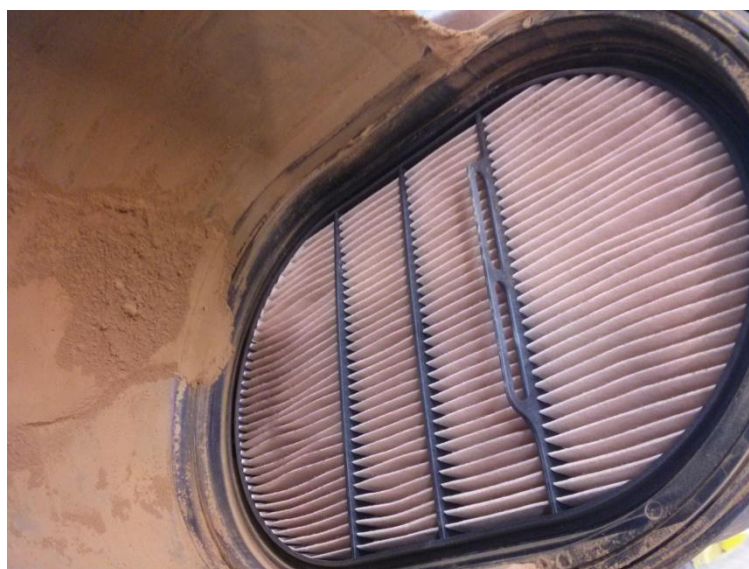


Figura 1.2 - Filtro saturado
Fonte: Engenharia empresa de tratores



Figura 1.3 - Filtro novo
Fonte: Engenharia empresa de tratores

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é encontrar uma solução para o sistema de filtragem atual da empresa estudada, que se apresenta ineficiente. Assim, busca-se uma alternativa para que o filtro principal apresente um tempo de 600 horas.

Para isso é necessário atingir vários pequenos progressos, também denominados objetivos específicos:

- a) Inicialmente são reunidos esforços para encontrar a falha que corresponda ao problema que é observado.
- b) A partir disto, devem ser encontradas opções válidas para substituição do pré-filtro de ar, que havia apresentando uma eficiência inferior a 80% de filtragem das partículas impuras.
- c) Além disso, é interessante que se continue com o mesmo fornecedor, pois a troca de fornecedor retarda o processo de busca por produtos novos, uma vez que são enfrentados alguns procedimentos técnicos e jurídicos para que seja acertado um acordo com um fornecedor novo.
- d) Busca-se também uma opção que se encontre dentro dos padrões de eficiência, custo-benefício e aceitação pelo cliente.

1.4 Justificativa

O filtro de ar é um componente de vital importância no conjunto do motor. Ele realiza a limpeza da mistura de ar, retendo, contaminantes, como poeira, umidade, poluentes, entre outros. Se o filtro apresenta funcionamento inadequado, ele pode vir a danificar partes do interior do motor.

Além disso deve ser atendida uma necessidade do cliente devido à uma reclamação prévia de que o tempo entre trocas do filtro primário era muito curto. Um cliente não satisfeito pode vir a querer procurar outra marca que melhor satisfaça seus interesses e tenha um serviço de assistência que se envolva mais com os interesses do cliente e busque mais resultados. O reporte do cliente também se

mostra como uma boa oportunidade de melhorar a qualidade dos produtos da empresa, além de melhorar a confiabilidade do cliente.

O resultado da melhoria no sistema de filtragem é proveitoso para o produtor agrícola, uma vez que o trator operando com menos trocas do filtro primário, esse tempo é convertido em produtividade, aumentando o rendimento da plantação e reduzindo tempo morto para o produtor agrícola.

1.5 Etapas do Trabalho

O trabalho é organizado de maneira a apresentar inicialmente os componentes e funcionamento do sistema de filtragem de ar, depois é feita uma mostra do que há no mercado ofertado por diversos fornecedores. Após isso é mostrada toda a metodologia envolvida no projeto, mostrando as opções obtidas como solução e os argumentos que levaram a escolha da resposta final. O fluxograma representado pela Figura 2.1 mostra um resumo das etapas do projeto, que compõem a metodologia.



Figura 2.1 - Fluxograma das etapas do trabalho

Fonte: Autoria própria

2 O SISTEMA DE FILTRAGEM

Tratores são máquinas agrícolas que proporcionam alto torque a baixas velocidades, designado a rebocar outras máquinas que fazem trabalho agrícola ou de tanques que contem do material recolhido durante a colheita.

Eles são equipados com motor a diesel que proporcionam uma elevada potência ao veículo, já que estas máquinas tem a função de puxar cargas muito pesadas. Essa conversão de potência é possível graças à utilização de um elevado torque em baixas velocidades. A caixa de embreagens faz a conversão de alta para baixa velocidade de rotação das rodas, aumentando desta maneira a força que é utilizada pelo trator. (Operação de Tratores Agrícolas, São Paulo, 2010)

Para que o motor tenha um funcionamento adequado é necessário que ar limpo seja admitido para dentro da câmara de combustão e assim haja a explosão. Dizer que o ar admitido deve ser limpo significa que ele deve conter o menor número de impurezas possível. No caso de partículas de poluentes (poeira) entrarem na câmara de combustão, podem ocorrer desgastes nas paredes dos cilindros e resultante disto, um "espelhamento" das camisas do cilindro, diminuindo a vida útil do motor. O "espelhamento" é o aspecto da camisa do cilindro causado pela fusão de partículas de poeira contidas no ar impuro. Um segundo problema que pode ser apontado é a disfunção de peças eletrônicas localizadas entre o tubo de admissão e a câmara de combustão. (dados da empresa fabricante de tratores)

Considerando estes problemas que podem ser ocasionados, é recomendado que seja feita manutenção e troca periódica do filtro primário (Ao longo do trabalho será esclarecido o papel de cada parte do sistema de admissão). O período de troca é pré-estabelecido pelo fabricante e deve ocorrer antes do filtro primário saturar, que é quando o filtro tem um aspecto sujo causado pela retenção das impurezas do ar. A troca do filtro primário é fundamental para evitar o aumento do consumo de combustível e o entupimento do carburados ou dos bicos injetores, com a consequente perda de potência e superaquecimento do motor. Outros danos causados pelo descuido com o sistema de filtragem é o aumento no consumo de óleo pelo motor. Deve ser dada, portanto, uma atenção para a troca e manutenção deste aparelho.(Verdades Genuínas, GM, 2011)

O sistema de filtragem possui diversos componentes que podem chegar a realizar a filtragem quase total do ar, em torno de 99% das partículas filtradas. Daí se pode explorar o conceito de eficiência de filtragem. A eficiência é medida de 0 a 100%, dividindo-se o número de partículas impuras que foram filtradas pelo sistema pelo número de partículas impuras totais que foram absorvidas juntamente com o ar pelo tubo de admissão. Se nenhuma partícula é filtrada, tem-se uma eficiência de 0%, ao passo que quando todas as partículas impuras são retidas pelo sistema de filtragem, a sua eficiência é considerada 100%.

2.1 Componentes do sistema de filtragem

Os componentes do sistema são:

- a) tubo de admissão
- b) pré-filtro
- c) filtro principal
 - a. filtro primário
 - b. filtro secundário / filtro de segurança
- d) tubo de admissão de ar para o motor (que apresenta potências de 200 a 400 hp)

O Tubo de admissão, também chamado de duto de ar seco, tem a função da admissão do ar externo para dentro do sistema de filtragem. O material de que é feito este componente é plástico e na parte superior, por onde o ar efetivamente é aspirado, o tubo é aberto, mas protegido com uma tela de metal trançada, onde já é feita uma pré-seleção de partículas grandes.

O ar passa por este tubo (Figura 2.2) em forma de escoamento turbulento de vido a sua alta velocidade.



Figura 2.2 - Representação 3D do duto de ar seco / tubo de admissão de ar externo

Fonte: Modelo 3D da empresa de tratores

O pré-filtro é um componente filtrante composto por vários tubos chamados spins, que apresentam alta eficiência de filtragem. O ar atinge os tubos, que são organizados de forma matricial, em forma de escoamento turbulento e, ao passar por eles, o choque com as paredes dos tubos faz com que as partículas pesadas caiam na câmara do pré-filtro. Essa poeira é eliminada juntamente pelo escape do pré-filtro, resultando numa perda de 7,5% do ar inicial absorvido. Essa vazão de impurezas e parte do ar que é expelida é chamada de vazão de escape.

O pré-filtro faz portanto uma pré-filtragem do ar de partículas menores que as que foram já pré-selecionadas na admissão pelo tubo de admissão. É convencionalizado pela empresa que ele apresente uma eficiência de filtragem superior a 85%, ou seja, que 85% das partículas impuras que estão no ar no momento da entrada no pré-filtro sejam eliminadas no processo de pré-filtragem.

As 3 figuras seguintes (Figura 2.3, Figura 2.4 e Figura 2.5) mostram esquemas de pré-filtro fabricados pelo mesmo fornecedor Donaldson e outros que são utilizados pela empresa, além do modelo matemático, que é elaborado para todos os componentes que fazem parte dos produtos da empresa.



Figura 2.3 - Foto do pré-filtro Donaldson mostrando os Spins / tubos

Fonte: Engenharia da empresa de tratores



Figura 2.4 - Exemplos de modelos de conjuntos de pré-filtro e filtro principal que a Donaldson oferece - modelos verticais e horizontais, conforme a adaptabilidade ao trator

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

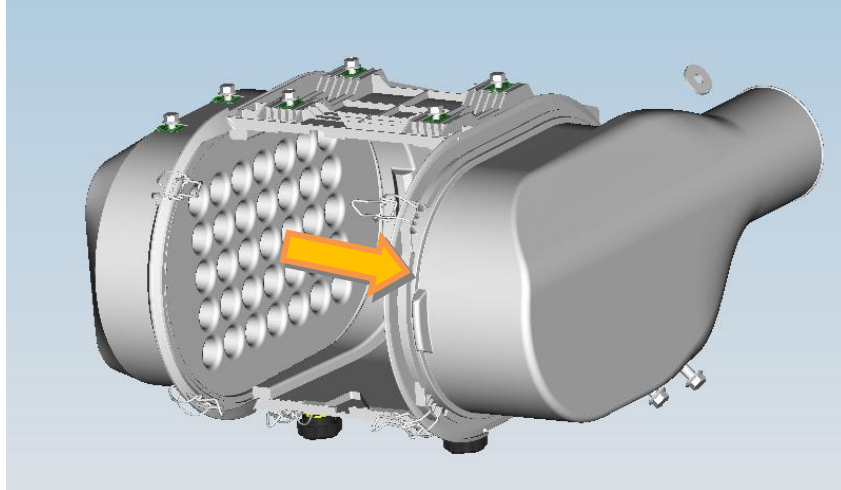


Figura 2.5 - Representação 3D do Pré-Filtro, que é composto de furos (chamados de spins) onde o ar passa

Fonte: Modelo 3D do fornecedor Donaldson utilizado pela empresa de tratores

O filtro principal é composto pelo filtro primário e o filtro secundário. O filtro primário é constituído de um material feito de celulose ou de um substrato de celulose sintética (Figura 2.6). Ele deve ser limpo sempre que for avisado pelo indicador de restrição. O indicador de restrição é um dispositivo mecânico do circuito de ar do sistema de alimentação de tratores agrícolas que avisa ao operador da necessidade de limpeza do elemento primário do filtro de ar. A restrição da passagem de ar pelo filtro reduz a eficiência do elemento filtrante, pode levar o motor a perder potência, aumentar o consumo e provocar superaquecimento (REIS et al., 1999). A Figura 2.7 mostra o modelo matemático considerado na empresa para o filtro de ar da Donaldson utilizado.

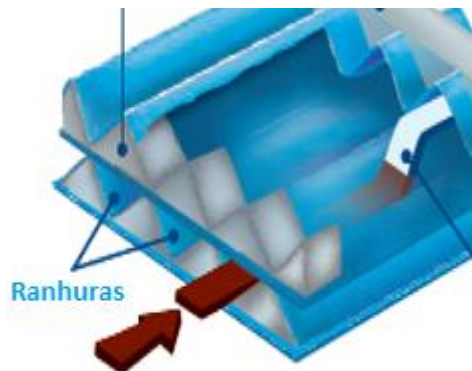


Figura 2.6 - Material de que é composto o filtro primário Donaldson

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

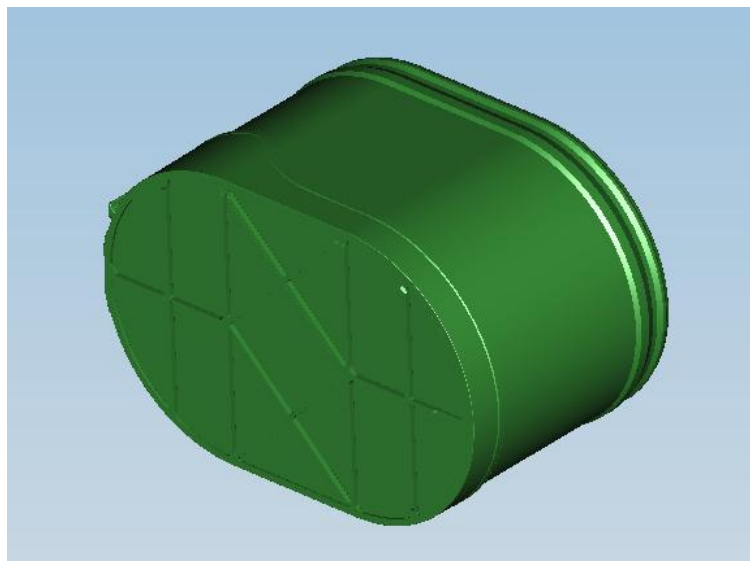


Figura 2.7 - Representação 3D do Filtro Primário utilizado no problema em questão
Fonte: Modelo 3D do fornecedor Donaldson utilizado pela empresa de tratores

Existem elementos primários apresentados de forma radial, como o da Figura 2.8 a seguir:



Figura 2.8 - Elemento primário do filtro de ar radial.
Fonte: Catálogos de filtros Donaldson, 2013

O ar sujo entra em um lado do filtro e devido a barreiras dentro das camadas do filtro, o ar é forçado para outras camadas adjacentes, sendo expelido do outro lado de forma limpa.

Enquanto o pré-filtro deve separar até 85% da poeira que é admitida no sistema de filtragem, o filtro primário detém o resto, resultando em um ar que vai para o motor livre de 99,99% de todas as impurezas admitidas no ar.

O filtro secundário ou filtro de segurança, como é mais comumente denominado pelos fornecedores, serve de reserva para o filtro primário e protege o motor quando o filtro primário tem que ser substituído. O filtro de segurança não é um filtro extra, ele trabalha justamente quando algo impede o funcionamento do filtro primário, não atuando em caso contrário.

Comparado ao filtro primário, o filtro de segurança é mais aberto para baixas restrições e é menos eficiente, não aumentando, contudo, a eficiência operacional do filtro principal. O filtro secundário existe para proteger o motor em caso de algum dano ao filtro primário - dano durante a limpeza, má instalação, filtro primário com tamanho ou forma não adequados. A Figura 2.9 abaixo mostra o filtro principal da linha PowerCore da Donaldson®.

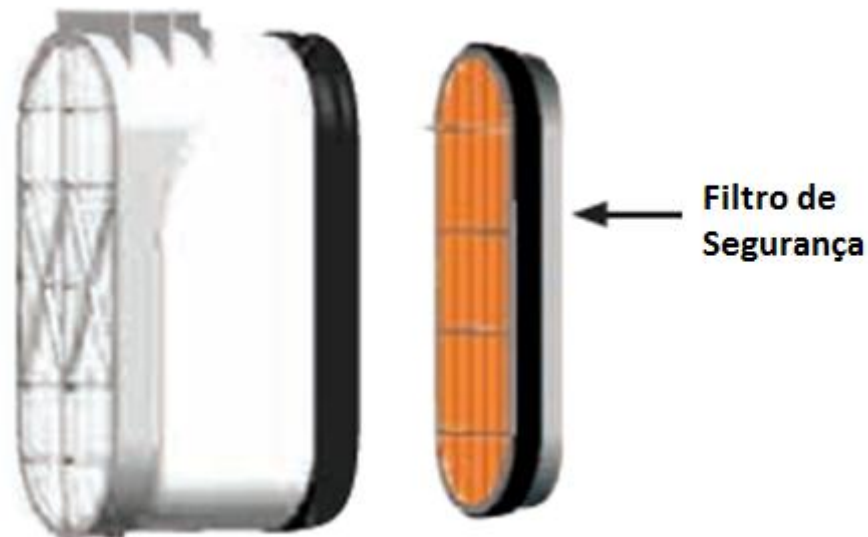


Figura 2.9 - Filtro primário e secundário da Donaldson. A flecha aponta o filtro secundário (ou de segurança)

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

O filtro secundário não aceita limpezas e apenas deve ser substituído periodicamente. Existem outros tipos de filtros secundários que não o da linha PowerCore®, há também filtros radiais que comportam filtros de segurança radiais, como o da Figura 2.10 abaixo.

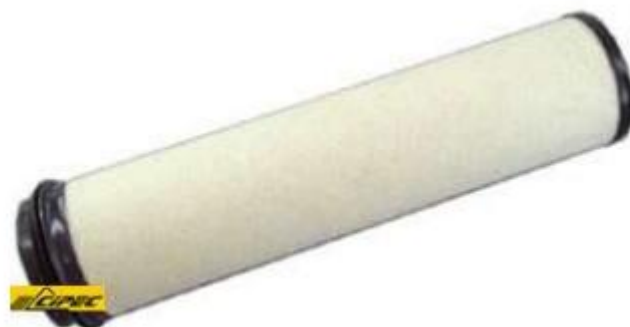


Figura 2.10 - Outro exemplo de filtro secundário de ar para filtro radial

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

Finalmente, o último componente aqui tratado é o tubo de admissão de ar para o motor. Este componente é o canal entre o ar filtrado e o motor. O ar limpo (com 99,99% das impurezas filtradas) é então direcionado ao coletor de admissão, que leva o ar até os cilindros do motor. A admissão do ar pode ser apenas por meio de vácuo criado pelo movimento descendente do pistão no interior dos cilindros, neste caso o motor é dito aspirado, ou sob pressão com auxílio de uma turbina denominados motores turbinados. A vazão que o motor admite é de 5 a 20CMM. A Figura 2.11 a seguir é um esquema 3D do software utilizado pela empresa deste duto.

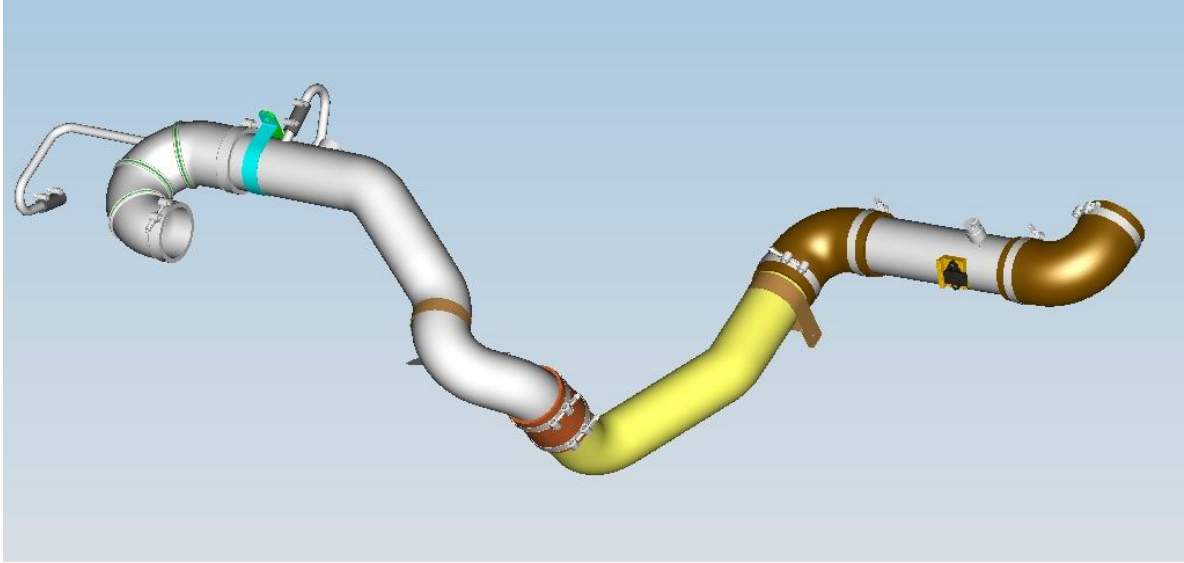


Figura 2.11 - Representação 3D do tubo de admissão de ar
 Fonte: Modelo 3D do fornecedor Donaldson utilizado pela empresa de tratores

2.2 Restrições

Restrição do sistema de filtragem de ar é a diferença em pressão estática entre a pressão atmosférica e o lado interno do sistema a ser medido. Portanto, quanto mais componentes, cotovelos e dobras houver no sistema, maiores as restrições e mais dificilmente o ar circulará. Deste modo, um dos pontos a se considerar em qualquer decisão tomada a respeito da adição ou mudança de componentes, devem ser consideradas as restrições implicadas ao sistema.

2.3 Sequência de Funcionamento

O funcionamento do sistema de filtragem de ar a seco:

O ar é primeiramente aspirado pelo tubo de admissão ou duto de ar seco. Somente partículas menores que 20 microns são capazes de passar pela grade do tubo. Ao adentrar o sistema, o ar percorre este duto em forma de escoamento turbulento, chegando até o pré-filtro. No pré-filtro, o ar escoando em regime turbulento sofre uma centrifugação, eliminando as partículas mais pesadas, que colidem com as paredes dos tubos do pré-filtro, pelo ejetor de poeira através do

escapamento. Alguns modelos de tratores dispõem de pré-purificadores externo a carcaça, com a função também de reter as impurezas maiores, por centrifugação.

Mais limpo, o ar passa pelo elemento filtrante principal de papel sanfonado, que é responsável pela retenção da maior parte das micro-partículas contidas no ar admitido e sequencialmente pelo elemento filtrante secundário, caso o primário não esteja apresentando bom funcionamento. Completamente filtrado, o ar é direcionado ao motor e aos cilindros.

A Figura 2.12 mostra o modelo 3D do sistema completo de admissão, filtragem e liberação do ar filtrado que é utilizado no motor do trator a ser estudado.

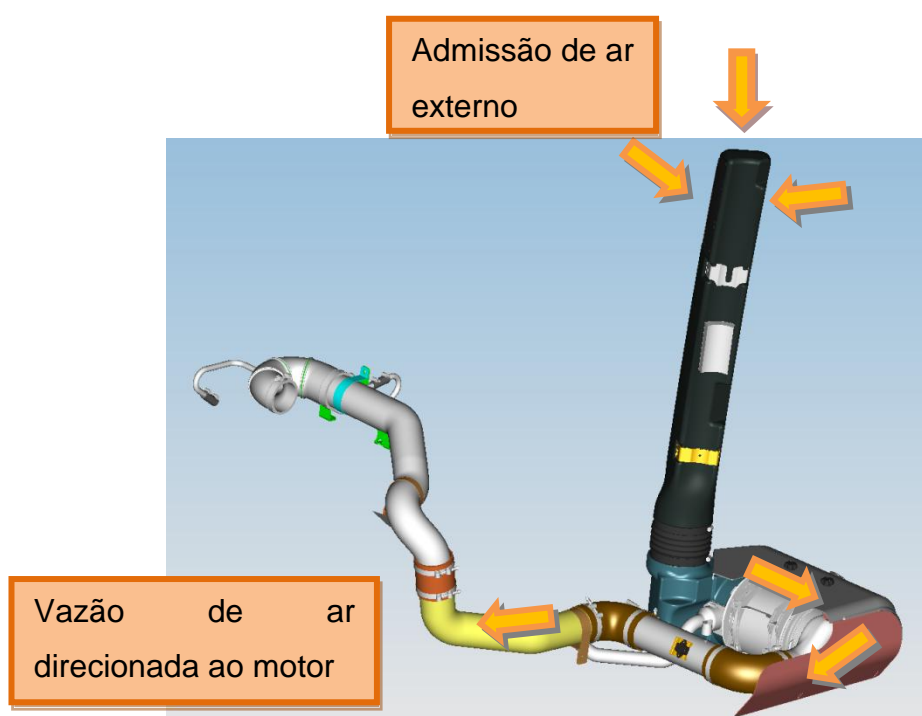


Figura 2.12 - Representação 3D do conjunto completo do sistema de admissão de ar
Fonte: Modelo 3D do fornecedor Donaldson utilizado pela empresa de tratores

A Figura 2.13 a seguir mostra o esquema de fluxo somente do pré-filtro e filtro principal de ar. O ar que entra no pré-filtro como mostra na figura provém do tubo de admissão de ar externo, que não aparece nesta imagem.

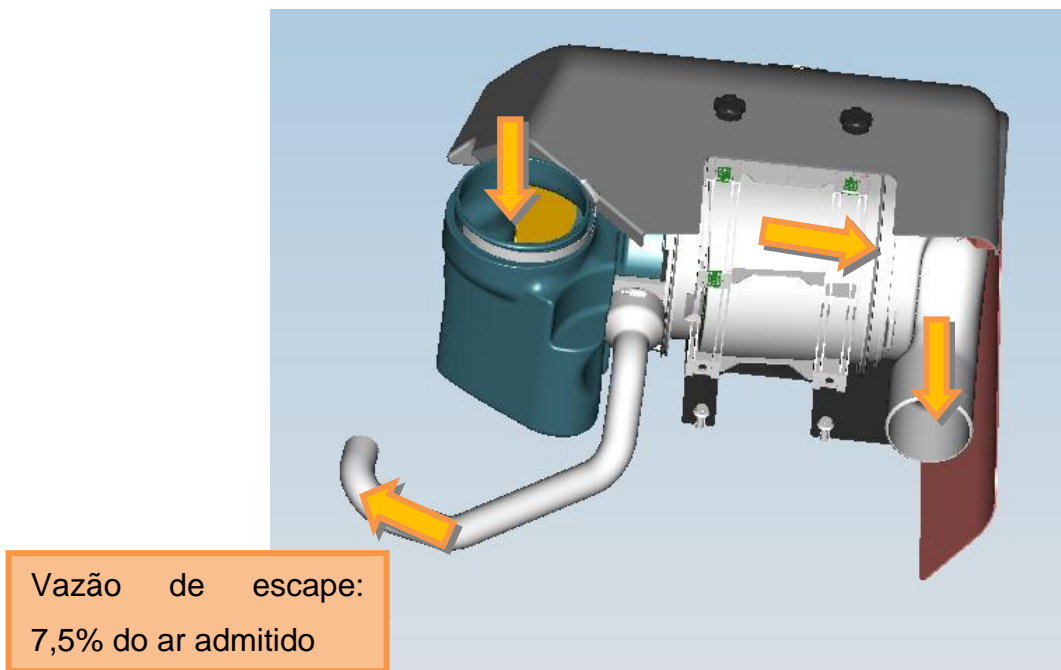


Figura 2.13 - Representação 3D da sequência de escoamento do pré filtro até a saída do filtro

Fonte: Modelo 3D do fornecedor Donaldson utilizado pela empresa de tratores

Caso haja obstrução da passagem de ar, por acúmulo de poeira no filtro principal, o indicador de restrição do sistema, localizado no condutor de admissão, será acionado, ascendendo uma lâmpada no painel do trator. Esse componente visa monitorar as condições de funcionamento do filtro, devendo ser seguido como referencial para manutenção conforme recomendação do fabricante do trator.

3 ESTADO DA ARTE

O Estado da Arte tem o desafio de mapear determinado produto ou produção, identificado o que se tem de tecnologia no mercado (JULIATTO, 2005). Neste caso foi feita uma procura sobre o que se tem de tecnologia de filtros e pré-filtros de tratores de alguns fornecedores.

Foram colhidas algumas informações sobre 5 fornecedores Parker, Mann & Hummel, Cummins, Donaldson e Ocuatro. Mesmo que um dos objetivos seja continuar com o mesmo fornecedor, é interessante buscar informações sobre outras propostas que podem ser feitas.

3.1 PARKER

A empresa Parker apresenta uma linha chama AFCS para pré-filtros de ar, que é focada em controle ecológico. Os filtros são adequáveis a uma faixa de 150 a 1000 hp (300 a 2000 CFM - *Cubic feet per minute* ou pés cúbicos por minuto ou 8,5 a 56,6 CMM - *Cubic meter per minute* ou metros cúbicos por minuto). O filtro principal apresenta um funcionamento de acordo com a seguinte imagem (Figura 3.1), em que o ar circula ao redor do elemento filtrante.



Figura 3.1 - Elemento filtrante e esquema de fluxo de ar da linha AFCS da Parker

Fonte: Catálogo de filtros Parker, 2009

Ela assegura assim uma distribuição uniforme do ar no interior do filtro, o que maximiza o tempo de vida.

A Parker possui uma linha de filtros e pré-filtros de ar AFCS - Especial para tratores. A combinação dinâmica de pré-filtros e filtros de ar da Parker é especificamente designada para ser conectada com a admissão do motor de gasolina ou Diesel. Dentre as vantagens do sistema, encontram-se o tamanho compacto e a fácil instalação e limpeza. O pré-filtro possui uma tecnologia de pré-filtragem que remove até 90% das impurezas do ar, reduzindo assim o tempo parado. (Catálogo de filtros Parker, 2009). A Figura 3.2 mostra o elemento filtrante da Parker.



Figura 3.2 - Esquema em corte do elemento filtrante da Parker com cores - filtro utilizado para as linhas AFCS051 - AFCS221

Fonte: Catálogo de filtros Parker, 2009

A Parker também possui uma linha de pré-filtros externos ao trator, chamada de série AFHP. As vazões admitidas para estes produtos situam-se entre 35 e 1411 CFM e o componente é todo feito de metal e é constituído de paletas giratórias.

O pré filtro é instalado acima do tubo de admissão de ar externo e em algumas situações ele pode ser montado diretamente ao filtro de ar. O ar entra através de uma pré-tela que remove detritos grandes e depois flui pelas paletas giratórias,

causando uma força centrífuga que separa poeira, sujeira insetos, chuva do sistema de fluxo de ar. O ar escoando em escoamento turbulento atinge uma alta velocidade ao chegar no rotor, que sopra elementos contaminados por pontos de descarga, de maneira que somente ar mais purificado chegue nos elementos filtrantes.

Pode ser utilizado para agricultura e construção. Na Figura 3.3 abaixo são mostrados alguns pré-filtros externos que o fornecedor oferece:



Figura 3.3 - Pré-filtros externos da Parker

Fonte: Catálogo de filtros Parker, 2009

Com o uso deles, o tempo de vida do motor é estendido, custos em combustível são poupados e a vida útil do motor e do turbo-charger são prolongados. Os elementos de segurança são padrões. A Figura 3.4 é bem interessante por mostrar em corte o pré-filtro externo, com seus elementos.



Figura 3.4 - Pré-filtro externo da Parker AFAP414 mostrado em corte esquemático para visualização dos componentes que fazem parte da filtração

Fonte: Catálogo de filtros Parker, 2009

A Parker possui uma linha para filtros de ar chamada ECOLITE, que permite ao ar que escoe em todas as direções, ou seja, o filtro pode ser montado em qualquer orientação. Ele permite vazões de 820 a 1900 CFM. A Figura 3.5 a seguir mostra uma imagem seguida pela representação em 2D da mesma.

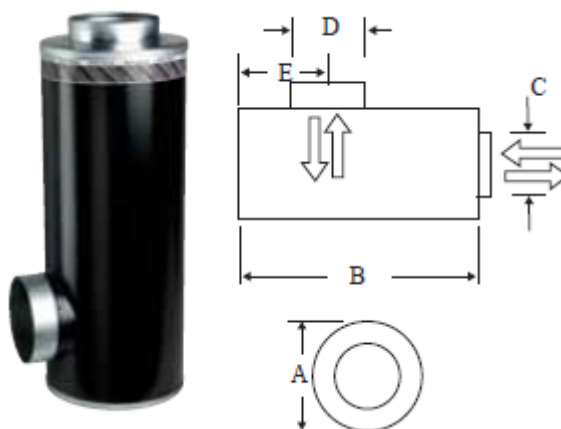


Figura 3.5 - Representação do filtro ECOLITE da Parker

Fonte: Catálogo de filtros Parker, 2009

3.2 MANN+HUMMEL

A Mann+Hummel possui uma linha desenvolvida para altos requerimentos, a série ENTARON XD, representada pela Figura 3.6 abaixo:



Figura 3.6 - Filtro de ar ENTARON XD da MANN+HUMMEL

Fonte: Catálogo de filtros Mann+Hummel, 2011

Esta série promete grande flexibilidade e flexibilidade de design, sistema de filtragem econômico, baseando-se em uma combinação de partes padrão, além de ser feito de um material anti-corrosivo, constituído de fibra de vibro e reforçado com plástico. A série também promete ser de fácil manuseio, dispensando o uso de ferramentas para fazer a troca. Possui um sistema de vedação completamente novo, constituído de elementos robustos, além de ser pró meio ambiente, pois não contém elementos metálicos em sua estrutura.

A série é adequada para uso em condições extremas de solo e qualidade do ar e possui uma instalação relativamente simples, e fácil adaptação à diferentes máquinas.

O fornecedor fabrica menos filtros com peças metálicas, aumentando partes que podem ser incineradas para que não fiquem com resíduos permanentes no ambiente. A empresa oferece para o mercado soluções de elementos ecológicos, sem adições de materiais metálicos (*metal-free*), trabalhando junto com montadoras de produto

O elemento filtrante é representado pela Figura 3.7 a seguir:

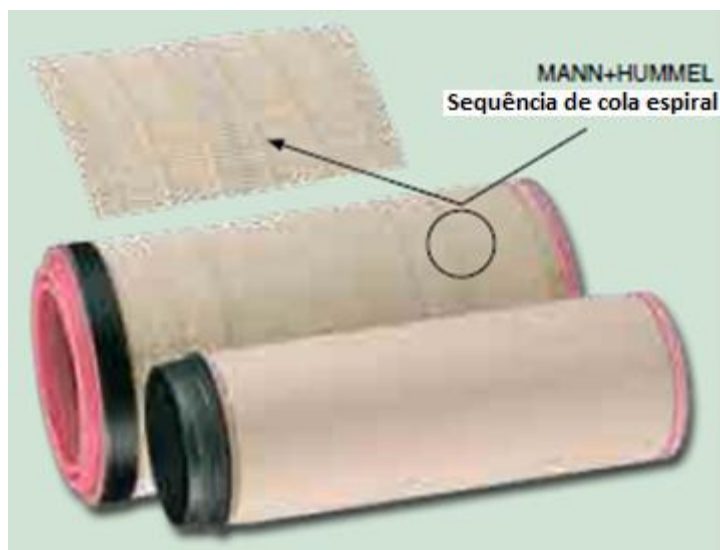


Figura 3.7 - Elemento filtrante do fabricante MANN+HUMMEL

Fonte: Catálogo de filtros Mann+Hummel, 2011

A eficiência de separação das partículas do pré-filtro está, em teoria, acima de 85%, sua carcaça possui uma tecnologia que é reforçada com plástico e fibra de vidro. Além disso, a vazão de ar admitida pelo motor é de 7 a 28 CMM. Segue na Figura 3.8 a seguir algumas estatísticas de resistência da pressão do fluido de acordo com a sua vazão, seguindo a ISO 5011, que apresentam em um filtro da MANN+HUMMEL.

... Para vazões de acordo com a ISO 5011

ENTARON XD 14

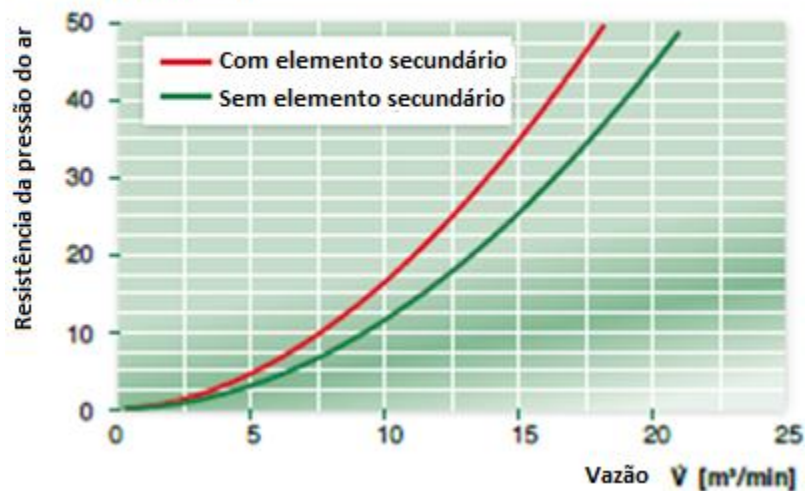


Figura 3.8 - Fluxo de acordo com a ISO 5011

Fonte: Catálogo de filtros Mann+Hummel, 2011

3.3 CUMMINS

A fabricante Cummins oferta um modelo de pré-filtro externo chamado de pré-filtro de ar Feetguard Sy-Klone (Figura 3.9), um elemento filtrante que vem antes do pré-filtro, que será chamado aqui de top pré-filtro.

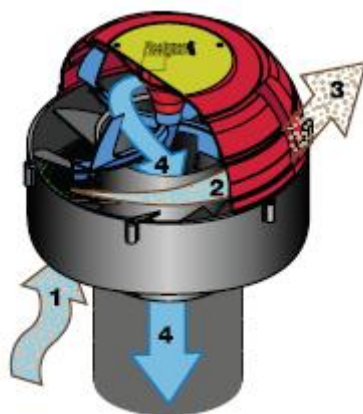


Figura 3.9 - Vista 3D com corte do pré-filtro externo de ar Feetguard Sy-Klone da Cummins

Fonte: Catálogo de filtros Cummins, 2010

A figura mostra o fluxo de ar que é filtrado no pré-filtro, passando pelos pontos de 1 a 4, onde o ar entra por 1 sofre filtragem, passando por 2 e 3 e direcionando-se finalmente para 4, onde irão para o tubo de admissão.

As partículas maiores não tem chance de adentrar neste modelo, pois logo em 1 há uma válvula que controla o tamanho das partículas que podem passar. As partículas seguem o movimento giratório gerado pelo top pré-filtro e batem nas paredes em função da aceleração centrífuga e a sujeira é expelida por fendas que se encontram ao longo da parede circular.

Este top pré-filtro é designado para estender o tempo de vida do filtro, reduzindo o a quantidade de poeira que atinge o pré-filtro. Isto reduz custos e tempo perdido com manutenção, além de preservar a performance do motor.

O Uso do Sy-Klone Pre-Cleaners é recomendado para práticas agrícolas em condições severas.

A Cummins possui uma tecnologia para filtros de ar patenteada, chamada OptiAir, que oferece vida útil prolongada e menor restrição. A empresa garante uma filtragem final de 99,9% do ar admitido.

A Figura 3.10 a seguir é um exemplo da carcaça do filtro principal.



Figura 3.10 - Filtro principal Cummins

Fonte: Catálogo de filtros Cummins, 2010

O elemento filtrante é representado pela Figura 3.11 a seguir:



Figura 3.11 - Elemento filtrante Cummins

Fonte: Catálogo de filtros Cummins, 2010

A Figura 3.12 a seguir representa o fluxo de ar na membrana filtradora radial. Esta promete ter uma área efetiva grande o suficiente para reter contaminantes, resultando em uma grande capacidade e vida útil estendida ao filtro.

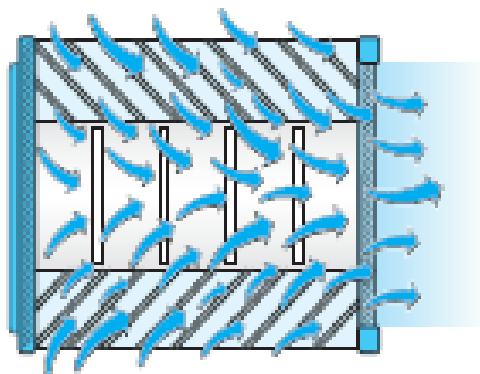


Figura 3.12 - Corte transversal do elemento filtrante da Cummins, representando o fluxo de ar no seu interior

Fonte: Catálogo de filtros Cummins, 2010

A linha completa assegurada pela tecnologia Fleetguard OptiAir atende a todos os requisitos de fluxo de ar de até 1100 CFM (31,15 CMM), isso significa que o modelo ideal a ser usado varia conforme a taxa de fluxo permitida pelo motor. Como

o motor utilizado apresenta vazões de 5 a 20 CMM, as séries a serem utilizadas seriam neste caso as 1000, 1100 e 1300, como mostra a Figura 3.13 a seguir.

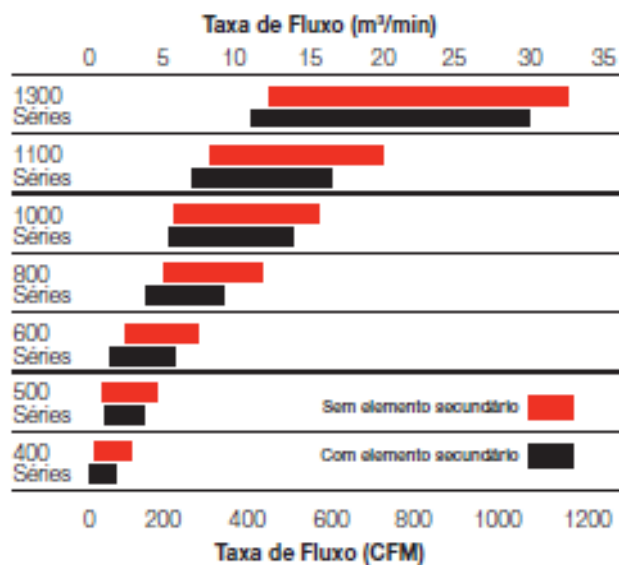


Figura 3.13 - Taxas de fluxo de acordo com a série do fornecedor Cummins
 Fonte: Catálogo de filtros Cummins, 2010

A Figura 3.14 a seguir mostra as partes do filtro e suas características.



Figura 3.14 - Filtro principal de ar da Cummins e suas as especificações

Fonte: Catálogo de filtros Cummins, 2010

3.4 Donaldson

A Donaldson apresenta a linha PowerCore® de filtros de ar, como mostra a Figura 3.15 a seguir:



Figura 3.15 - Linha PowerCore® da Donaldson

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

A linha PowerCore® foi concebida para apresentar um sistema com flexibilidade de design e material leve. A tecnologia inventada pela própria Donaldson é diferente da dos outros filtros apresentados anteriormente, pois apresenta os papéis de filtragem dispostos em linha reta (Figura 3.16). Essa tecnologia é 3 vezes mais eficiente que a média da tecnologia de filtros axiais (Catálogo de filtros Donaldson, 2013).

Esta família de filtros de ar oferece dois estágios de filtração, executando uma performance simples em uma unidade compacta.

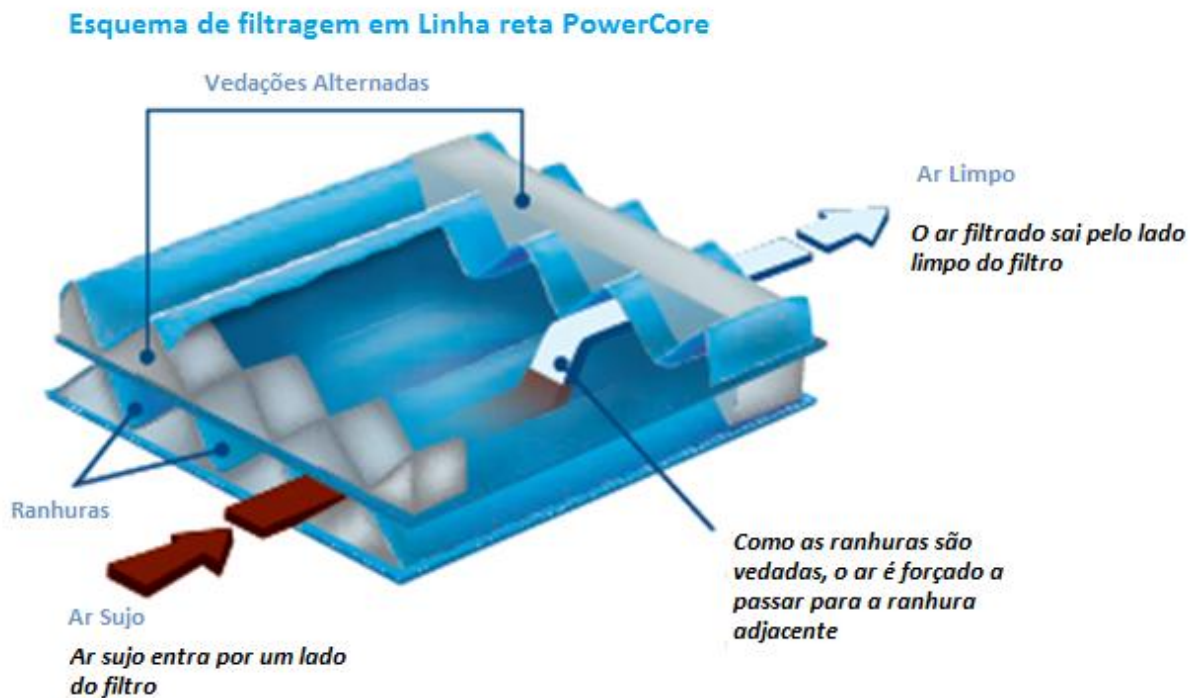


Figura 3.16 - Esquema representando a tecnologia de filtragem do filtro primário

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

O ar sujo entra em um lado do filtro e devido a barreiras dentro das camadas do filtro, o ar é forçado para outras camadas adjacentes, sendo expelido do outro lado de forma limpa. A tecnologia foi patenteada pela Donaldson, concebida para operar em condições de umidade, diferentemente de outros elementos constituídos de nanofibras. Possui diâmetro com uma estrutura de fibra otimizada, que se apresenta forte e resistente em todos os tipos de meios de trabalho. Apresenta alta eficiência e um tempo de vida duradouro do filtro. Além disso, o filtro possui uma capacidade maior se comparado com outros filtros, o que significa que ele pode absorver uma maior quantidade de partículas que outros filtros, fator que também contribui pra um tempo de vida mais longo.

A Figura 3.17 a seguir mostra o filtro PSD08, que é o filtro utilizado atualmente pela empresa 10172398, em partes. São mostrados na figura os 4 componentes principais na filtragem, que são o pré-filtro, o filtro principal, o filtro de segurança e a carcaça.

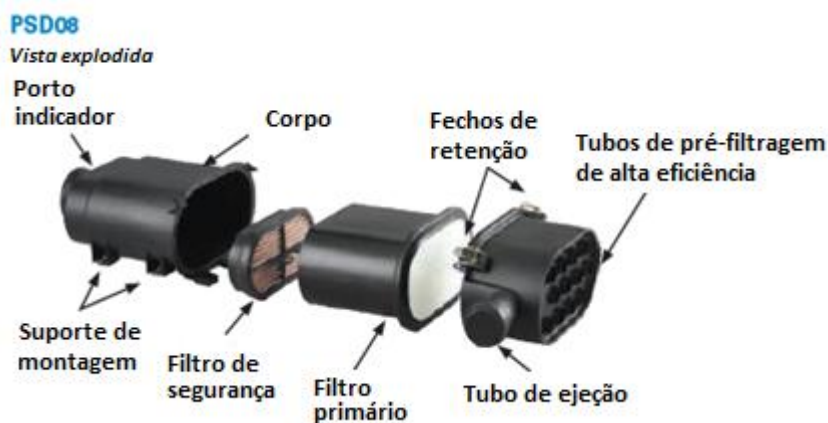


Figura 3.17 - Filtro principal (contendo filtro primário e secundário), pré-filtro e peça fundida que protege o sistema.

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

A seguinte imagem (Figura 3.18) é representativa para partes do PDS08, PSD09, PSD10, PSD12 e PSD14.

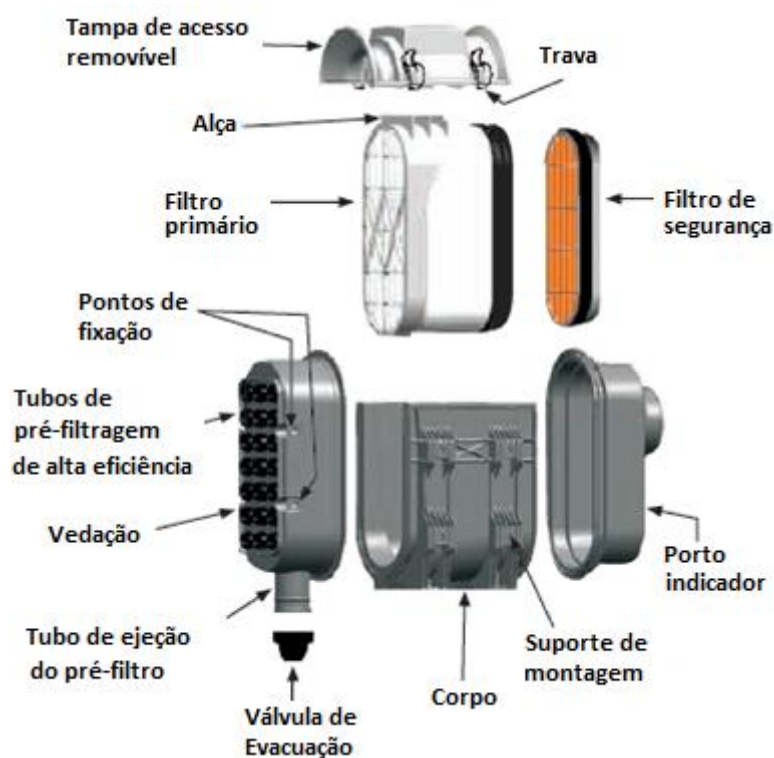


Figura 3.18 - Outro exemplo de vista explodida de linha PSD da Donaldson

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

O equipamento é preparado para suportar condições de grande quantidade de poeira, com fluxos de até 1490 CFM. Componentes de ejeção estão disponíveis, como o ejetor de exaustão e as válvulas de checagem. O formato da carcaça do filtro permite montagens mais estreitas ou com mais folga. Na Figura 3.19 têm-se uma representação 2D do conjunto pré-filtro e filtro principal.

Algumas características desta linha de filtros é que é o filtro é mais compacto para o nível da performance que ele exige, não possui partes metálicas, contém uma proteção para o motor elaborada - que não permite movimento, expansão, contração ou aglomeração - , hermética, alta eficiência promove um grande tempo de vida útil para o filtro, fácil manuseio e manutenção - por ser leve e compacto a troca é muito rápida- sem que se faça necessário o uso de ferramentas.

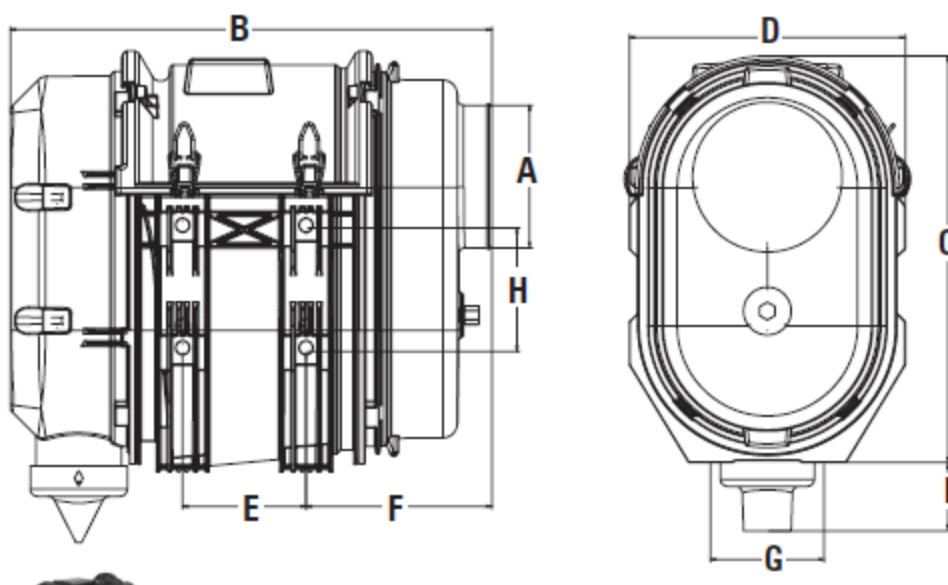


Figura 3.19 - Desenho 2D computadorizado do conjunto filtro, pré-filtro e tampa fundida para proteção

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

O gráfico (Figura 3.20) mostra respectivamente o aumento da restrição a capacidade de filtragem de poeira em relação ao fluxo de ar. Dessa maneira, quanto maior o fluxo de ar, maior a pressão no sistema, o que aumenta a restrição total.

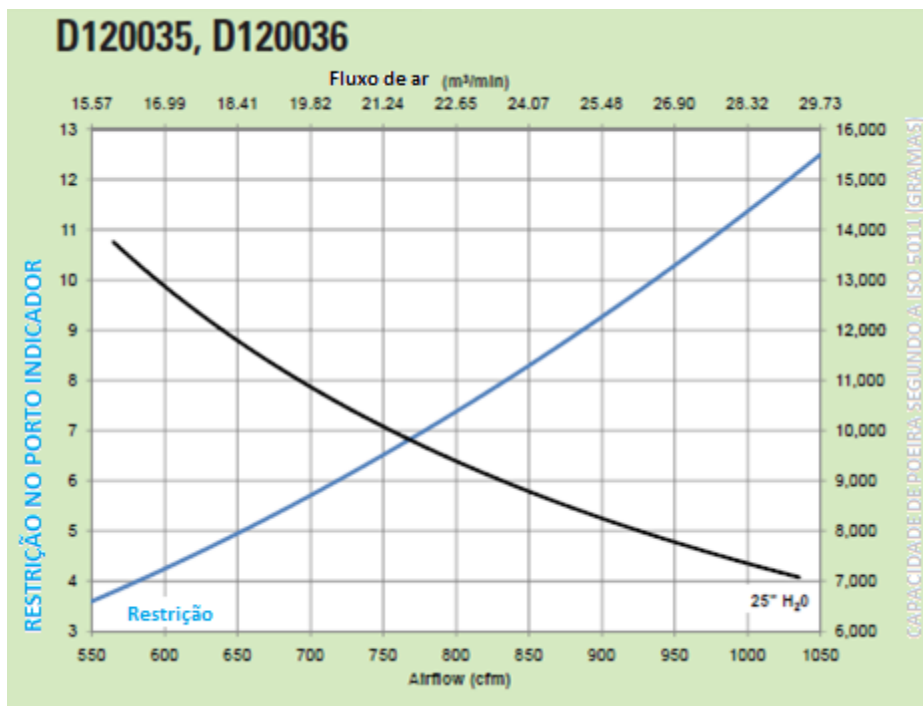


Figura 3.20 - Fluxo de acordo com a ISO 5011

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

A Donaldson também oferece o modelo Top Spin (Figura 3.21), por onde 99% da poeira acima de 20 microns é expelida.



Figura 3.21 - Linha TopSpin da Donaldson

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

As seguintes imagens (Figura 3.22 e Figura 3.23) mostram como o top spin é por dentro. A primeira imagem mostra o fluxo do ar a partir das setas azuis. O ar é

primeiramente admitido, filtrado e sequencialmente direcionado ao tubo de admissão.

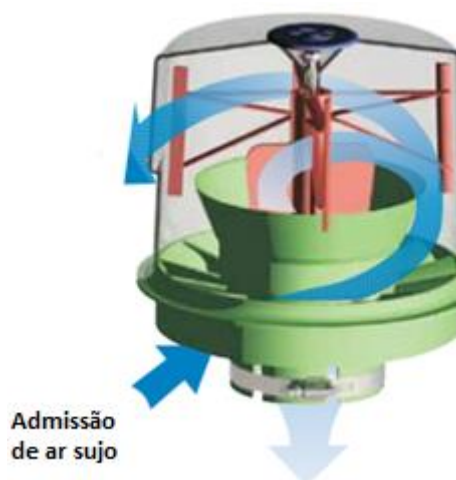


Figura 3.22 - Desenho em corte do TopSpin mostrando a direção do fluxo de ar

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

A Figura 3.23 a seguir mostra uma foto do Top Spin real por dentro, a partir de uma parte aberta do material.



Figura 3.23 - Corte TopSpin

Fonte: Catálogo de filtros Donaldson, 2013

3.5 Ocuatro

Os pré-filtros externos da Ocuatro oferecem economia e proteção ao motor, pois com a economia gerada pelo pré-filtro, não é necessário jatear o elemento filtrante com ar comprimido, o que ocasiona dilatação dos microfuros do papel. Um modelo do pré-filtro em corte é mostrado na Figura 3.24 abaixo.

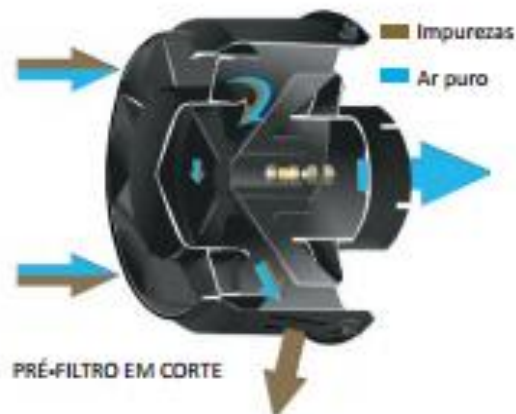


Figura 3.24 - Vista em corte do pré-filtro externo da Ocuatro

Fonte: <http://www.ocuatro.com.br/>

Os pré-filtros possuem um rotor (turbina móvel) que gira em alta rotação através da própria sucção de ar do motor, eliminando em média 85% das impurezas, segundo o fabricante, como mostra a Figura 3.25.

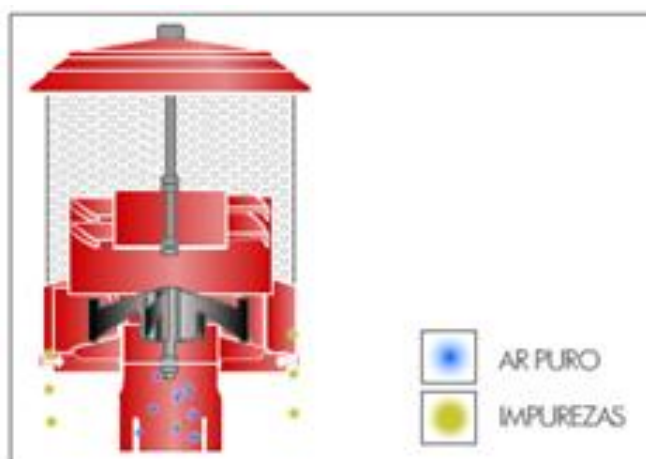


Figura 3.25 - Esquema do pré-filtro mostrando como é seu interior

Fonte: <http://www.ocuatro.com.br/>

A Figura 3.26 mostra um esquema do pré-filtro instalado em um caminhão, bem como o fluxo do ar no sistema de filtragem.



Figura 3.26 - Esquema do pré-filtro instalado num caminhão

Fonte: <http://www.ocuatro.com.br/>

A manutenção dos filtros Ocuatro é feita a cada 80 horas sem pré-filtro externo e a cada 400 horas com filtro externo. O modelo que se encaixa no perfil do motor estudado é o MO414.

3.6 Conclusão obtida com o estado da arte

A partir dos dados colhidos dos fornecedores mais presentes no mercado de tratores, foi levantada a Tabela 3.1 comparando dados dos fornecedores de filtros mais comuns no mercado.

Tabela 3.1 - comparação entre filtros de vários fornecedores

VAZÃO (CMM)	TENCNOLOGIA	PRÉ-FILTRO EXTERNO	EFICIÊNCIA DE FILTRAGEM
8,5 a 56,6	AFCS	SIM	90%
7 a 28	ENTARON XD	NÃO	85%
0 a 33	FLEETGUARD SY-KLONE	SIM	99,9 (pré-filtro externo)
5 a 20	POWERCORE	SIM	85%
1,5 a 40	MO 414	SIM	85% (pré-filtro externo)

Fonte: Autoria Própria

Percebe-se que todos apresentam produtos que podem trabalhar na faixa de vazão requerida pelo motor do trator estudado (5 a 20 CMM). Também, segundo os fornecedores, todos os produtos apresentam eficiência superior a requerida pela ISO 5011.

4 METODOLOGIA

Será utilizada uma ferramenta de melhoria contínua do produto, o PDCA (Plan, Do, Check, Act), para identificar cada passo a ser tomado ao longo do trabalho, bem como as pessoas e custos envolvidos. Ela é escolhida pois apresenta uma lógica de planejamento e estruturação para resolução de problemas que pode ser seguida neste trabalho. Nele é identificado cada passo a ser tomado ao longo do desenvolvimento do projeto (AGOSTINETTO, 2006).

4.1 Planejamento (*Plan*)

No planejamento deve ser apontado exatamente o que é o problema, detalhando todas as informações possíveis que o envolvem. É necessário estabelecer os objetivos e processos necessários para obter resultados de acordo com o resultado esperado. Basicamente deve-se:

- a) Delimitar o problema - encontrar a falha que gera o problema e atacá-la
- b) Mostrar as perdas e os ganhos que o problema está causando
- c) Utilizar o método 5W e 2H para melhor entender o problema e como ele será resolvido, respondendo as seguintes perguntas:
 - a. *What?* (O que?)
 - i. O que será feito?
 - ii. Quais etapas?
 - iii. Quais ações serão tomadas?
 - b. *Who?* (Quem?)
 - i. Quem será responsável pela ação?
 - ii. Quem irá coordenar o time?
 - c. *When?* (Quando?)
 - i. Quando será executada a ação?
 - ii. Elaboração do cronograma
 - d. *Where?* (Onde?)
 - i. Onde será desenvolvido o projeto?
 - e. *Why?* (Por quê?)
 - i. Por que será feito este projeto?

- f. *How?* (Como?)
 - i. Como será desenvolvido o projeto?(Detalhar todos os passos)
- g. *How much?* (Quanto?)
 - i. Qual é o custo estimado do projeto?
- d) Nomeação de Responsáveis
- e) Definir META e cronograma

4.1.1 Caracterização detalhada do problema

Foram levantados algumas das possíveis falhas que poderiam ocorrer e feito então a partir de uma análise de FMEA, pontuando quais teriam o maior risco de acidentes caso ocorram (HELDMAN,1995).

Foi então levantando juntamente com uma equipe com o engenheiro responsável pelo projeto, a aluna e dois técnicos responsáveis pela máquina quais falhas poderiam dar origem ao problema de vida curta do filtro primário de ar. Levantadas estas possíveis falhas, foram relacionadas as respectivas ações corretivas.

Segundo a análise de FMEA foram pontuados índices de 1 a 10 para os riscos de acidente que cada falha pode causar à máquina. A Tabela 4.1 a seguir mostra o resultado colhido pela consulta de reincidências de problemas relatados por técnicos e mecânicos responsáveis pelo sistema de filtragem de ar.

Tabela 4.1 - Análise de FMEA do problema de filtragem do ar

efeito	Falha Funcional				índices			
	falha	modo de falha	detecção	Ação corretiva	sev.	ocor.	detec.	riscos
Tempo de vida do filtro principal muito curto	Vazamento no sistema de filtragem	por vazamento	teste de vazamento - protótipo	Não limpar o sistema de filtragem de ar com pressão de ar desevolver uma instrução de limpeza	5	8	7	280
	serviço de assistência inadequado	operacional	acompanhamento do serviço de assistência	não limpar o filtro no campo de trabalho (é preferível que a troca seja feita numa sala de manutenção) não limpar o elemento primário mais que 3 vezes Adicionar o kit Top Spin para reduzir a frequência de serviço nunca limpar o filtro secundário/de segurança nunca remover o elemento de segurança a menos que seja para troca	5	4	5	100
	Vazamento através da proteção do filtro principal de ar	por vazamento	teste de vazamento - protótipo	instalar braçadeiras adicionais	5	8	7	280
	Vazamento através do tubo de admissão de ar	por vazamento	teste de vazamento - protótipo	instalar novas guarnições e retrabalhar o duto	5	8	7	280
	Operador continua trabalhando mesmo com o filtro saturado	procedimento	acompanhamento do trabalho / reporte do cliente	operador deve ser devidamente instruído para não trabalhar com a máquina além	10	7	4	280
	Vazamento nas conexões dos tubos devido ao torque excessivo	por vazamento	teste de vazamento - protótipo	Intrutor e consumidor devem seguir o manual de serviço devidamente quando realizam alguma intervenção no sistema e inspecionar o sistema regularmente	5	8	7	280
	Tubos não são montados ao sistema de admissão corretamente	operacional	acompanhamento da montagem	Adicionar kit Top Spin para aumentar o tempo de vida do filtro Donaldson realizar uma avaliação de performance	7	2	5	70
	Performance ineficiente do pré-filtro	funcional	testes com o fornecedor - Donaldson	Adicionar kit Top Spin para aumentar o tempo de vida do filtro Donaldson realizar uma avaliação de performance	8	4	10	320
	Vazamento através do duto de admissão / carcaça do filtro de ar	vazamento	teste de vazamento - protótipo	Instalar novas guarnições e retrabalhar o duto frontal	5	8	7	280

Fonte: Autoria própria

As possíveis falhas por vazamento foram enviadas ao setor do protótipo da empresa de tratores. Foi enviado o conjunto completo de tubo de admissão de ar externo, pré-filtro e filtro principal para que fosse analisado. Foi reportado que não havia nenhum vazamento em nenhuma parte do sistema.

Além disso, foram descartadas falhas de procedimento e montagem, tendo em vista que haviam sido enviados laudos técnicos após a última montagem.

Sendo assim a falha a ser analisada, que foi inclusive a mais crítica, foi a Performance ineficiente do pré-filtro. Foi então enviado o tubo de admissão de ar externo ao fornecedor Donaldson®, pois este era o único componente de outro fornecedor. A Donaldson® possui um contrato com a empresa produtora de tratores, sendo responsável pelo fornecimento do pré-filtro e filtro principal.

A Donaldson® deveria então providenciar um teste de eficiência do pré-filtro para que fosse constatada alguma possível divergência quanto a exigência de ao menos 85% das impurezas. O teste foi realizado dentro do laboratório do fornecedor com a ajuda de um ventilador industrial, soprando ar impuro para dentro do sistema. Neste caso o volume de controle seria o pré-filtro. Foi medida a quantidade de impurezas contidas no ar na entrada do pré-filtro, antes do ar passar pelos spins e após a pré-filtragem. Sendo então medida a eficiência do componente, dividindo-se a quantidade de poeiras filtradas pela quantidade inicial de poeira. Foram obtidos os seguintes resultados, conforme a Tabela 4.2 a seguir:

Tabela 4.2 - Dados de filtragem apresentados pelo atual filtro de ar

Fluxo de ar (CMM)	Vazão de escape - Scavenge (%)	Pressão de saída (kPa)	Pressão de escape (kPa)	Eficiência do pré-filtro (%)
5.7	7.5	0.28	0.14	69.4
9.9	7.5	0.77	0.39	76.8
14.2	7.5	1.51	0.77	77.4
19.8	7.5	2.88	1.54	80.5

Fonte: Equipe de engenharia da Donaldson

Supôs-se que o filtro primário atingia sua capacidade de saturação mais rapidamente pois a quantidade de poeira que ele recebia era muito maior do que a de um filtro que eliminasse já 85% da poeira contida no ar. Dessa forma, o filtro primário tendia a se esgotar mais rapidamente e ter uma aparência correspondente a um filtro que teria tempo de vida total 6 vezes maior.

Resumindo, o filtro existente é da marca Donaldson®, série PowerCore® PSD12. Após analisados os componentes, obteve-se o seguinte resultado em relação ao pré-filtro de ar. A pré-filtragem deve eliminar pelo menos 85% das impurezas. Contudo, mesmo em elevadas vazões, a eficiência não atinge o mínimo requerido de 85%. Deve-se então procurar uma solução para isso, seja com a substituição do pré-filtro ou com a adição de meios para diminuir o número de partículas impuras que chega ao filtro principal.

4.1.2 Perdas e ganhos com o projeto

Dentre as perdas com o projeto pode ser citado o aumento de custo de produção do trator.

Dentre os ganhos destacam-se o aumento da confiança do cliente através da implementação de um sistema de filtragem de melhor qualidade, além da empresa fabricar um produto de melhor qualidade. Além disso, evita a grande perda gerada ao produtor pela máquina parada.

4.1.3 Método 5W e 2H

O método 5W e 2 H (SEBRAE,2008) ajudará a responder as perguntas mais importantes referentes ao decorrer do trabalho, como apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Análise 5W e 2H

Pergunta W ou H	Resposta(s)
What?	<p>O que: Busca de outras opções de pré-filtro e teste</p> <p>Etapas: 1. Saber o que o cliente procura 2. Estudar bem o pré-filtro e todas as suas funções 3. Busca em catálogo e contato com o fornecedor para encontrar opções de soluções 4. Enumerar as opções mais viáveis a serem testadas 5. Contato com o fornecedor para teste das melhores opções 6. Análise dos resultados e comparação da melhor eficiência e menor custo</p>
Who?	<p>Aluna e equipe de engenheiros trabalharão em conjunto Chefe de engenharia delega a função Técnicos Ajuda do fornecedor para testes de eficiência</p>
When?	De abril de 2014 até junho de 2015
Where?	Empresa + Campos de testes do fornecedor
Why?	Resolver o problema de tempo de vida curto em decorrência da baixa ineficiência do pré-filtro de ar
How?	1. Levantar todos os dados existentes sobre pré-filtros. Buscar em Livros, catálogos, estudos físicos, fotos, casos semelhantes no mercado 2. Estudar melhores opções para a solução. 3. Testes em campo por parte dos fornecedores. 4. Envio das estatísticas de eficiência 5. Cotações 6. Análise do custo e eficiência 7. Implementação
How much?	1. Cotações 2. Pagamento de salários 3. Custo do envio de peças

Fonte: Autoria própria

4.1.4 META e Cronograma

A meta do projeto é encontrar uma solução para o tempo de vida curto do sistema de filtragem de ar. Como já foi visto anteriormente, a falha que causa este problema é a ineficiência do pré-filtro e é ela que deve ser atacada. Para isso são destacados quesitos técnicos que devem ser levados em conta na hora da decisão do produto final:

- a) Eficiência de filtragem do pré-filtro (maior ou igual a 85%)
- b) Vazão do motor (de 5 a 20 CMM)
- c) Frequência de troca do filtro principal (maior ou igual a 600 horas)

A seguir é apresentado o resumo das atividades na forma de um cronograma apresentado pela Figura 4.1.

AÇÕES	JANEIRO		FEVEREIRO		MARÇO		ABRIL		MAIO		JUNHO	
	1a metade	2a metade	1a metade	2a metade	1a metade	2a metade	1a metade	2a metade	1a metade	2a metade	1a metade	2a metade
Levantamento de dados dos fornecedores	■	■										
Análise de FMEA			■	■								
Consulta opinião dos clientes			■	■								
Estudo do pré-filtro atual			■	■								
Recebimento resposta dos fornecedores		■	■	■	■	■						
Montagem de opções							■	■				
Testes com fornecedor Donaldson							■	■				
Análise dos resultados dos testes de laboratório									■	■	■	
Levantamento de preços								■	■	■	■	

Figura 4.1 – Cronograma das etapas feitas durante o projeto (2015)

Fonte: Autoria Própria

4.2 Ação (Do)

É a implementação do planejamento e execução do processo. Essa é a hora de escolher o produto, contratar funcionários, elaborar a logística do processo,

comprar materiais, etc. Nesta fase também é importante coletar estatísticas e gráficas para a validação do desempenho do produto em teste.

Serão elaborados gráficos de desempenho das opções selecionadas para que seja realizada a verificação de qual produto melhor se enquadra nas especificações de projeto.

Com a equipe já montada foram elaboradas algumas opções em reunião com fornecedor.

4.2.1 O que o cliente procura

Segundo o cliente, o aspecto mais importante em seu produto é que ele esteja em estado de bom funcionamento, seguido de uma solução que apresente preço baixo.

Apesar do cliente atual não ser afetado pelo preço do novo sistema, os futuros produtos a venda terão que ter o aumento do custo acrescentado no preço de venda do produto. Logo, esta opção foi considerada ao questionar o cliente sobre suas preferências.

Desta maneira foi organizada uma tabela pelo pessoal de pós-venda (Tabela 4.4 - Pontuação de requisitos importantes para o cliente) com os principais pontos que são considerados ou não pelo cliente e que também devem estar na consideração de projeto. Os quesitos receberam pontos de 1 a 5, onde 1 representa pouco interesse pelo cliente e 5 representa muita importância para o mesmo.

Tabela 4.4 - Pontuação de requisitos importantes para o cliente

Requisitos do cliente	Importância para o cliente
Preço Baixo	5
Boa impressão	3
Sistema silencioso	4
Tempo de vida alto	5
Bom funcionamento	5

Fonte: Autoria própria

4.2.2 Pré-filtro atual

O pré-filtro atual apresenta uma matriz de 5 x 7 spins enfileirados, contendo 35 spins no total. A eficiência média é de 75%, considerando uma faixa de vazão de 5,7 a 19,8 CMM. O fornecedor é a Donaldson. O pré-filtro faz parte da série PowerCore PSD12.

4.2.3 Catálogos de filtro

Como já mencionado e exemplificado no estado da arte do capítulo 3, as principais empresas que fornecem filtros e pré-filtros para empresas de tratores, e que foram analisadas neste trabalho, são as seguintes:

- a) Donaldson
- b) Mann+Hummel
- c) Parker Rancor
- d) Ocuatro

e) Cummins

A empresa já trabalha com filtros da marca Donaldson. Os fornecedores foram contatados para que dessem alternativas de pré-filtros para o caso estudado. A Donaldson apresentou uma proposta de um pré-filtro diferente, contendo menos spins ou tubos. Desta maneira, existem dois tipos de pré-filtros internos a serem analisados:

- a) 20 tubos
- b) 35 tubos - atual

A empresa fornecedora Donaldson também apresentou a proposta de um pré-filtro adicional externo, que é por eles denominado TopSpin. O Top Spin é um dispositivo instalado na admissão de ar que tem a função de eliminar as impurezas antes de elas ingressarem no pré-filtro e filtro de ar. Ele dispõe de um rotor (ou uma turbina móvel) que gira em alta rotação através da própria sucção de ar do motor, eliminando em média de 70 a 90% das impurezas presentes no ar admitido.

A Ocuatro apresentou um pré-filtro externo que elimine em média 85% das impurezas. Na Figura 4.2 a seguir, encontra-se um modelo matemático do pré-filtro externo enviado pela Ocuatro para análise.



Figura 4.2 - Modelo matemático de pré-filtro externo da Ocuatro

Fonte: Engenharia Ocuatro

Os demais fornecedores não responderam ou declinaram a proposta.

4.2.4 Análise dos dados

Apesar do fornecedor Ocuatro ter respondido, não foram estendidos os estudos com os seus produtos, pois os mesmos apresentavam uma restrição maior, o que aumenta o consumo do combustível. Além disso, devido ao curto tempo para o término do trabalho, foram utilizados os dados do fornecedor que respondeu mais rapidamente, o fornecedor Donaldson. Além disso, um dos objetivos deste projeto é encontrar uma solução para continuar com o mesmo fornecedor. Desta maneira, serão estudadas as opções dadas por este fornecedor.

Com base nos dados fornecidos pela Donaldson, foram elaboradas 4 opções de modelos que poderiam vir a ter sua eficiência testada.

- **Modelo inicial: 35 tubos Pré-filtro**

Inicialmente, como já foi descrito anteriormente, o pré-filtro apresenta 35 tubos (spins). A seguir é apresentada uma foto (Figura 4.3) que mostra como realmente é o produto.



Figura 4.3 - Foto do Pré-filtro que era utilizado na empresa contendo 35 tubos
Fonte: Engenharia empresa fabricante de tratores

- **Opção 1: + Top Spin**

A primeira é a da adição do TopSpin ao sistema. Este equipamento adiciona mais uma restrição ao sistema inteiro de filtragem, mas já filtra o ar antes mesmo de ele passar para o pré-filtro. Na Figura 4.4 a seguir são mostrados os componentes do pré-filtro externo

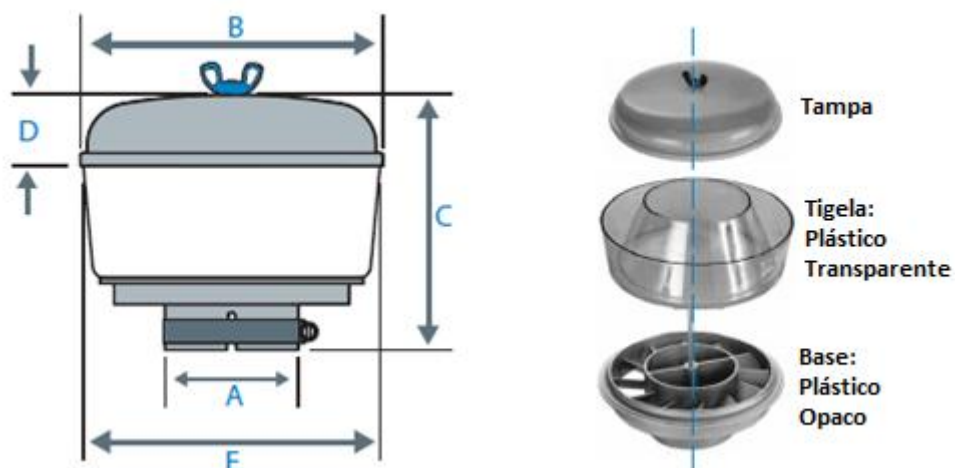


Figura 4.4 - À esquerda o desenho 2D apontando uma vista de perfil do TopSpin e à direita uma vista explodida mostrando os seus componentes

Fonte: Catálogo Donaldson, 2013

A Tabela 4.5 a seguir mostra os dados técnicos do pré-filtro externo TopSpin da Donaldson.

Tabela 4.5- Dados do TopSpin extraídos do Catálogo Donaldson e remanejados

Modelo	PESO (Kg)	Faixa de Fluxo		Diâmetro do corpo (mm)	Altura (mm)	Diâmetro do tubo de saída (mm)
		m ³ /min	CFM			
H002433	1	5,7 - 12,7	200-450	242	238	116

Fonte: Catálogo Donaldson TopSpin™ Pre-Cleaner, 2009

Na Figura 4.5 apresenta-se o conjunto semelhante à Figura 2.12, porém com a adição do TopSpin.

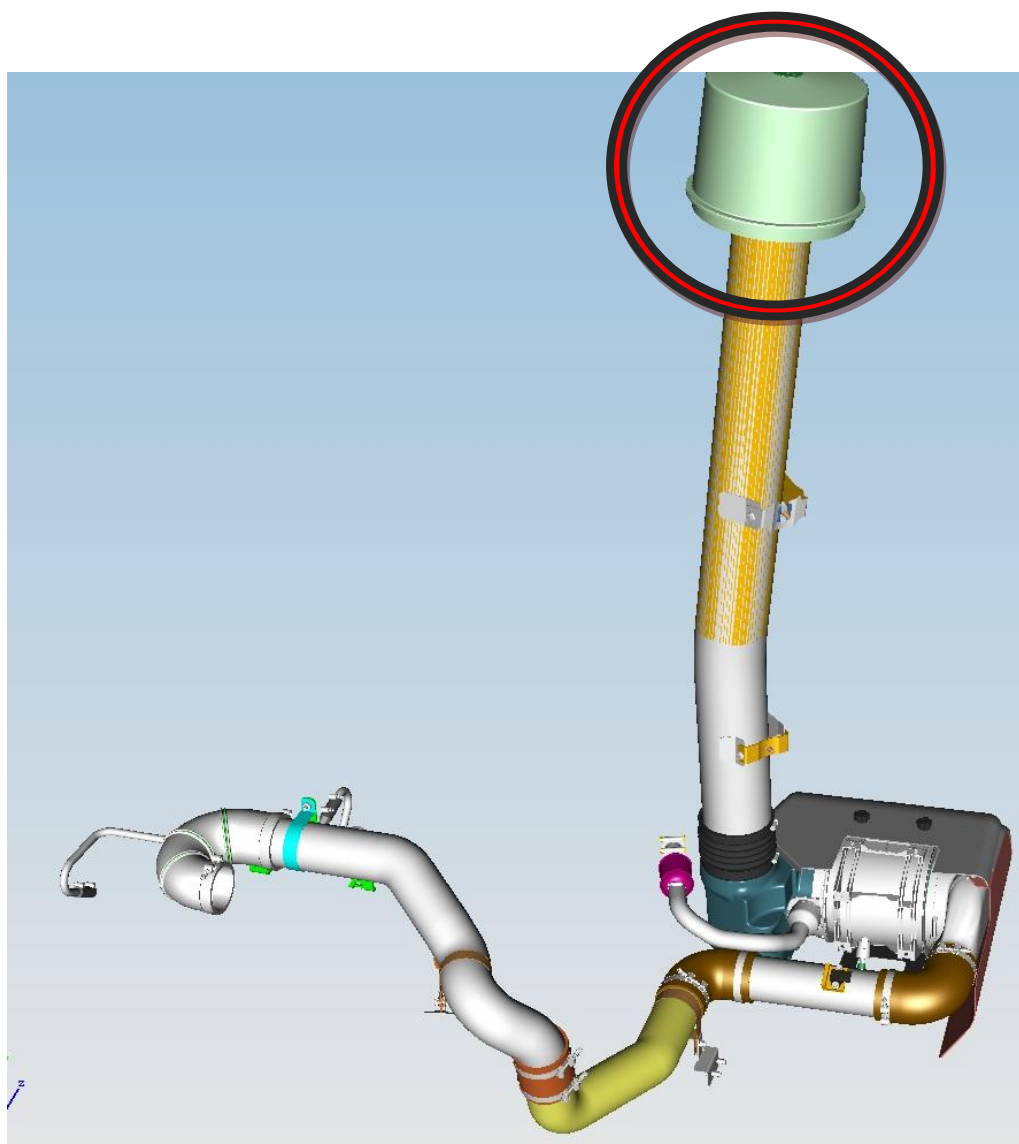


Figura 4.5 - Modelo matemático do conjunto pré-filtro com 35 tubos e o TopSpin
Fonte: Empresa produtora de tratores

- **Opção 2:+ Top Spin - Pré-Filtro**

É adicionado o top Spin e removido o Pré-filtro. É adicionada e removida uma restrição do sistema. Como o pré-filtro é removido, é removido então uma restrição do sistema.

- **Opção 3: 20 tubos Pré-filtro**

É somente reduzido o número de spins no pré-filtro para 20 tubos, como mostrado na (Figura 4.6). De maneira forçar o ar por uma área menor e aumentando a velocidade com que ele está sendo aspirado para dentro do pré-filtro. E já foi visto que a eficiência aumenta conforme a velocidade de aspiração, fazendo com que esta seja uma opção viável e passível de análise.

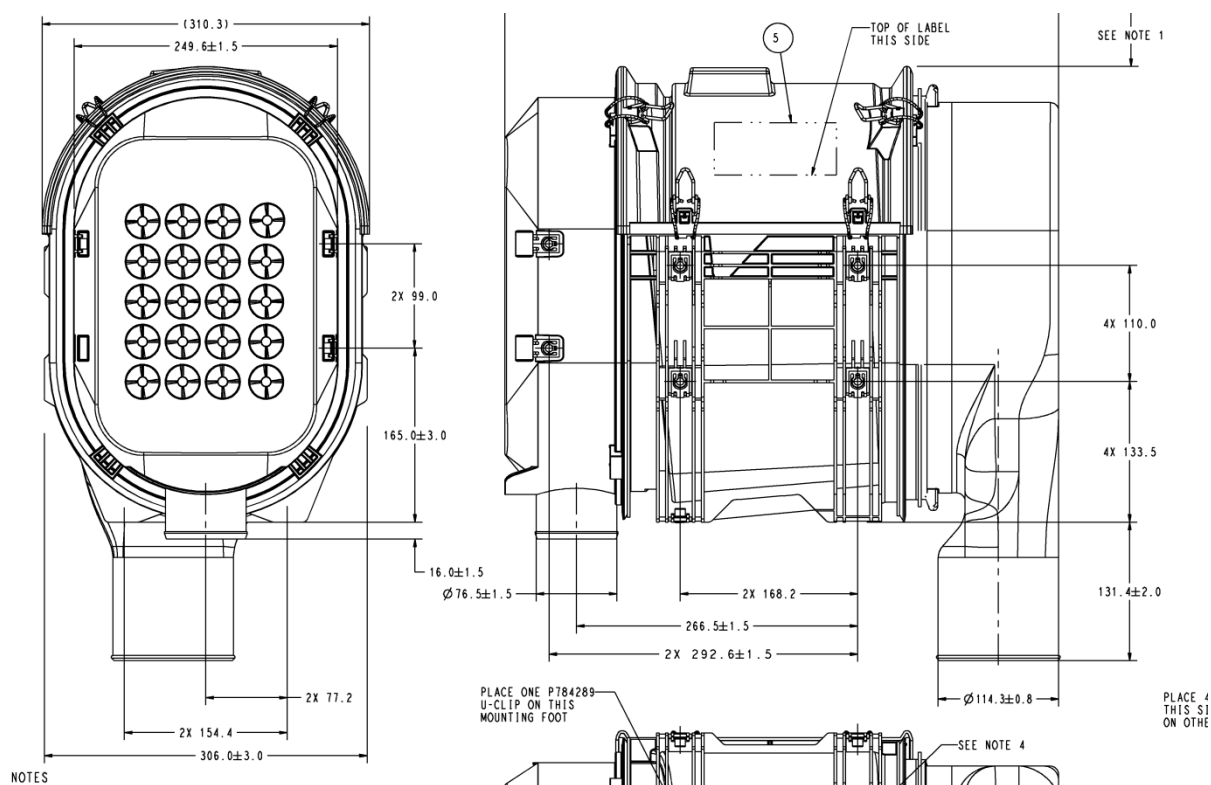


Figura 4.6 - Parte de um desenho técnico do pré-filtro com 20 spins

Fonte: Empresa fabricante de tratores

- **Opção 4:+ Top Spin + 20 tubos Pré-filtro**

Nesta última opção foi elaborada uma solução em que é reduzido o número de spins para 20 tubos e adicionado o Top Spin externamente. Essa opção é uma combinação das opções 1 e 3, buscando um aumento combinado do aumento da eficiência provocada por cada opção sozinha.

Resumindo as 4 opções foram as mostradas pela Figura 4.7 a seguir:



Figura 4.7 - Resumo dos 4 modelos a serem apresentados

Fonte: Autoria Própria

Foi elaborado um resumo (Figura 4.6) sobre os prós e contras da implementação de cada opção, para que se tenha um levantamento dos aspectos que levem a escolha da decisão.

Tabela 4.6- Prós e contras das soluções propostas

PROPOSTA DE SOLUÇÃO		Prós +	Contras -
0	MODELO INICIAL (35 TUBOS PF)	MODELO INICIAL	MODELO INICIAL
1	+ Top Spin	+Eficiência	-Adiciona restrição - Tamanho
2	+Top Spin - Pré-filtro	+Eficiência + Reduz restrição + Sem necessidade de exaustão	- Tamanho - Redução eficiência - Dependencia TopSpin
3	+Pré-filtro 20 tubos	+Eficiência	- Aumenta restrição
4	+Pré-filtro 20 tubos + Top Spin	+Eficiência TopSpin +Eficiência Pré-filtro 20 tubos	- Aumenta restrição - Tamanho

Fonte: Autoria própria

4.2.5 Testes pelo fornecedor

Após apresentadas estas 4 opções de soluções, o próximo passo é levá-las para conhecimento do fornecedor. A partir do detalhamento dos equipamentos a serem usados, o fornecedor poderá montar a bancada de testes e colher os resultados.

A bancada foi montada no laboratório de testes do fornecedor Donaldson. O método assim utilizado é puramente experimental, sendo fisicamente testada cada opção por si só e colhido o resultado da eficiência individual de filtragem.

Os testes de laboratório foram feitos nos laboratórios do próprio fornecedor.

Foram necessários os seguintes equipamentos:

- a) 1 ventilador industrial portado pelo próprio Donaldson;
- b) 1 pré-filtro modelo Top Spin da Donaldson, como mostrado na Figura 4.8 a seguir;



Figura 4.8 - Representação do componente TopSpin que será utilizado para teste de eficiência

Fonte: Catálogo Donaldson Pre-Cleaner, 2013

- c) 1 Tubo de admissão cedido pela empresa de tratores;
- d) 1 Conjunto de filtro principal contendo o filtro principal e o filtro secundário;
- e) 1 pré-filtro modelo inicial com 35 spins;

f) 1 pré-filtro com 20 spins.

O fornecedor, portando já de todos os filtros utilizados como opção, construiu uma bancada de testes que simulava o sistema de absorção de ar do motor.

Para isso foi necessário o empréstimo do tubo de admissão, que não fazia parte do catálogo Donaldson e da utilização de um ventilador industrial, que simula o ar externo que é admitido no filtro.

É montado assim o sistema do ventilador industrial mais cada combinação de equipamentos de cada opção para sistema de admissão. É medida então a quantidade de poeira antes da admissão e após passar pelo pré-filtro, para avaliar qual opção resultaria em uma melhor eficiência

Com estas opções analisadas, é necessário que sejam testadas para analisar a maior eficiência:

4.2.6 Resultados dos testes Donaldson e discussões

Os testes de eficiência são realizados pelo fornecedor em uma bancada de testes, segundo a ISO 5011. É instalada cada opção para sistema de filtragem, seguida por um puxador de ar. Inicialmente é montado um alimentador de poeira juntamente com um ventilador industrial para que o ar e a poeira sejam misturados. O alimentador de poeira é inicialmente pesado, para que se saiba a quantidade de poeira que tem no ar antes de ele passar pelo sistema de filtragem. Ao final do sistema de filtragem são instalados coletores de poeira, de forma que é coletada a poeira eliminada pelo ejetor de poeira e quando não é o pré-filtro interno, somente coletada a poeira que é expelida do TopSpin. Os pré-filtros também são pesados antes e depois da filtragem de toda a poeira para verificar a quantidade de poeira remanescente no interior do aparelho mesmo após a filtragem. É somado o peso da poeira que foi filtrada à poeira remanescente no filtro. Este peso dividido pelo peso

inicial da poeira contida no alimentador representa a eficiência de filtragem do sistema.

No gráfico a seguir (

Figura 4.9) são traçadas curvas da eficiência variando com o fluxo de ar. Percebe-se que a medida que se aumenta o fluxo de ar, aumenta-se também a eficiência do sistema.

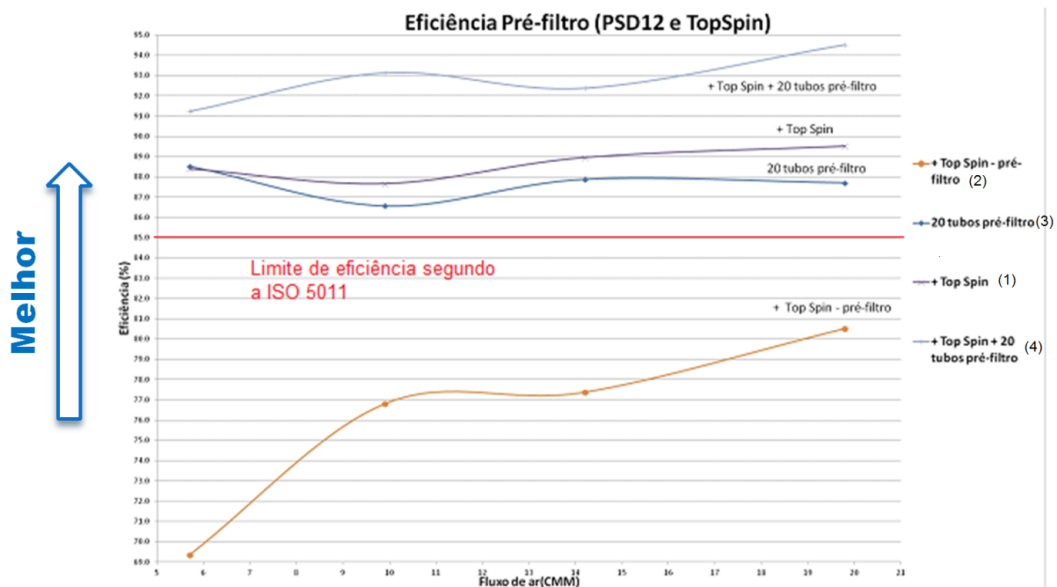


Figura 4.9 - Gráfico de eficiência das opções de sistema de filtragem variando de acordo com a eficiência elaborado pelo fornecedor

Fonte: Fornecedor Donaldson - setor de engenharia e testes

Do gráfico, vê-se que a opção mais eficiente é opção 4 (+ Top Spin + 20 tubos Pré-filtro), que em altas vazões pode atingir eficiência superior a 94%, seguida pela opção 1 (+ Top Spin), que apresenta eficiência sempre acima de 87% e da opção 3 (20 tubos Pré-filtro), que apresenta eficiência entre 86 e 88%. Todas as 3 opções tem potencial para escolha, já que a eficiência apresentada por todas é acima de 85% para qualquer vazão de ar. Já a opção 2 (+Top Spin - Pré-filtro) apresentou eficiência abaixo de 81% em todas as vazões testadas

Com relação à apresentação do sistema, foi relatado pela equipe responsável pelo pós-venda que o Top Spin causava uma impressão melhor ao cliente. Ele

aumenta a credibilidade do consumidor, por aparentar uma real mudança no sistema.

Por fim, para escolher entre as opções 4 (+ Top Spin + 20 tubos Pré-filtro) e 1 (+ Top Spin), levou-se em conta também o quesito preço. O preço do conjunto pré-filtro 35 tubos + filtro principal é de R\$532,50 por peça, já o conjunto pré-filtro 20 tubos + filtro principal é de R\$850,50 a unidade.

Já o Top Spin apresenta um preço para a empresa de R\$ 271,15 a unidade. A Tabela 4.7 apresenta uma síntese dos preços apresentados pelo fornecedor.

Tabela 4.7 - Preços dos equipamentos Donaldson

Equipamento	Preço
TopSpin	R\$ 271.15
Pré-filtro 35 tubos	R\$ 532.50
Pré-filtro 20 tubos	R\$ 850.50

Fonte: Autoria própria com dados do fornecedor Donaldson

A Tabela 4.8 mostra, a partir da Tabela 4.7, o investimento por trator, que foi calculado, somando-se os componentes a serem utilizados em cada opção.

Tabela 4.8 – Investimento por trator

Opções	Investimento por trator
1: + Top Spin	R\$ 271,15
2: + Top Spin - Pré-filtro	R\$ 261,35
3: 20 tubos Pré-Filtro	R\$ 318,00
4: + Top Spin + 20 tubos Pré-filtro	R\$ 589,15

Fonte: Autoria Própria

4.2.7 Comentários sobre os resultados

Como já havia sido levantada uma tabela (Tabela 4.4) sobre a importância para o consumidor de alguns pontos chaves do projeto, os mesmos foram também considerados na tomada de decisão sobre a solução final.

Levando em consideração a relevância para o consumidor do aspecto estético, as opções que apresentam o pré-filtro externo foram as escolhidas para serem avaliadas. A opção 2 foi descartada, pois, como já havia sido comentado, ela fica abaixo dos padrões estabelecidos pela ISO 5011. Desta maneira restaram somente para análise as opções 1 e 4. Como a opção 1 demanda menos investimento que a opção 4, esta foi a escolhida como solução.

4.3 Checar (*Check*) e Act (*Agir*)

Como passos futuros, pode ser feita a checagem e o quarto passo, que é a tomada de ações corretivas, caso necessário.

No caso da checagem, deve-se reunir todas as soluções encontradas para o problema e conscientizar toda a equipe de todos os pontos relacionados aos problemas e soluções. Aí então são estudados por todos os resultados obtidos e verificados os efeitos do produto, se não há continuidade do problema, etc. Caso a meta não tenha sido alcançada, busca-se o porquê disso. Neste caso, como a meta foi atingida, não há necessidade deste passo neste momento.

Entretanto, o sistema de filtragem de ar deverá continuar a passar por manutenção e visitas técnicas constantes para assegurar o bom funcionamento e desempenho da máquina.

Devem ser então tomadas ações corretivas conforme for investigado, determinando onde devem ser aplicadas mudanças para promover o aprimoramento do processo ou produto.

5 RESULTADOS

Analisando os dados obtidos pelo fornecedor e pelo cliente, decidiu-se pelo resultado da opção 1, em que somente se adiciona o TopSpin, sem nenhuma modificação do pré-filtro. Essa opção combina melhor custo com melhor eficiência, por ser a opção que apresenta a segunda melhor eficiência dentre as 4 e não é a opção mais cara.

As opções 1, 3 e 4 adicionam uma restrição ao sistema, o que torna a circulação mais difícil. Entretanto, a utilização o pré-filtro externo da Donaldson é o que apresenta restrição mais baixa que todos os competidores do mercado, até mais baixa que seu pré-filtro interno original, o que torna as opções que contem o Topspin bem interessantes.

Além disso, a opção 1, mesmo sendo a que apresenta a melhor eficiência de todas, é a mais cara de todas, seguida pela opção 4. Por outro lado a opção 2, que adiciona o Topspin, mas retira o pré-filtro, reduz muito a eficiência do sistema.

Optou-se, desta forma pela opção 1 como sendo a que obtivesse o melhor custo-benefício para a empresa e a que se encaixa melhor no perfil do cliente. A Tabela 4.9 mostra os ganhos obtidos com a modificação do sistema. Percebe-se que em qualquer vazão o aumento da eficiência é muito visível, chegando a mais de 10 pontos percentuais.

Tabela 4.9 - Comparação de resultados de eficiência de acordo com a vazão entre o sistema utilizado atualmente e a solução proposta

Vazão (CMM)	Eficiência (%)	
	Atual	Solução
5.7	69.4	88.4
9.9	76.8	87.7
14.2	77.4	89.0
19.8	80.5	89.5

Fonte: Autoria própria

Por fim, o tempo entre trocas chegou a mais de 900 horas (fonte: empresa de tratores). Este resultado representa ganhos para a empresa e para o consumidor. Além de possuir um sistema com mais credibilidade, entregará um produto que faça o cliente obter resultados mais positivos na sua safra, reduzindo as paradas feitas para manutenção e troca do filtro. Entretanto, um ponto negativo a ser destacado é que esta modificação representa um aumento no custo de produção do trator.

A Figura 5.1 mostra o modelo escolhido como opção final pela equipe responsável pelo projeto.

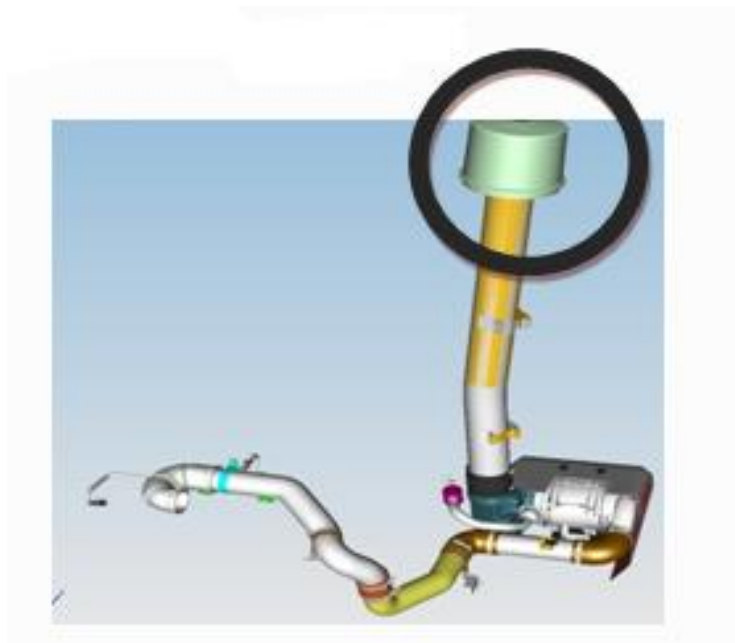


Figura 5.1 - Modelo 3D da empresa de tratores escolhido como solução final
Fonte: Autoria Própria

6 CONCLUSÕES

Concluiu-se com este projeto que após traçada uma metodologia a ser seguida o resultado tornou-se mais facilmente atingível. Após levantado claramente o problema e utilizado ferramentas de metodologia de projeto para obter-se passos mais concisos e claros para traçar em busca de uma solução para o problema da filtragem de ar, viu-se que o problema já estava começando a ser desdobrado. Além disso tem-se no final uma decisão mais lógica e embasada.

O resultado obtido foi satisfatório e correspondeu as expectativas iniciais de um pré-filtro com eficiência acima de 85% e conseqüentemente um tempo de vida prolongado. O projeto representou uma melhoria de produto para a empresa produtora de tratores e principalmente para o agricultor, que não terá o onerado custo da máquina parada. Apesar dos custos de produção terem sido excedidos, o cliente ganha muito mais confiabilidade por adquirir um produto que satisfaça melhor os seus interesses. Assim, o tempo de vida prolongado representa menos paradas para troca de filtro de ar, resultando em maior produtividade na agricultura.

O fato de o fornecedor poder fazer os testes de eficiência foi facilitador para este trabalho, pois não foi necessária a busca pela aparelhagem da bancada de testes e medição da eficiência do filtro. Portanto, este tempo de trabalho foi poupado.

O decorrer do projeto teve bastante sucesso, pois não houveram grandes problemas durante a execução. Além disso, o trabalho feito abre portas para futuras melhorias no sistema de filtragem de ar, uma vez que a solução obtida, mesmo tendo sido a melhor se comparada com as outras opções, pode ainda sofrer melhorias de forma a diminuir o tamanho da estrutura do pré-filtro externo (Top Spin), por exemplo, sem que isso comprometa a eficiência do sistema inteiro. Além disso poderiam ser investigados outros problemas que poderiam ocorrer por meio da análise de falhas (FMEA), que foi realizada no início do projeto.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 5011 – **Equipamento de filtragem do ar de admissão para motores de combustão interna e compressores — Ensaio de desempenho.** São Paulo, ABNT, 2014.

AGOSTINETTO, J. S. - **Sistematização do processo de desenvolvimento de produtos, melhoria contínua e desempenho: o caso de uma empresa de autopeças.** Tese de Mestrado, USP. São Carlos, 2006

ALVES, Maria Bernardete Martins; ARRUDA, Susana Margareth. **Como Fazer Referências (Bibliográficas, Eletrônicas e Demais Formas de Documentos).** Florianópolis: UFSC, 2002. Disponível em: <http://www.bu.ufsc.br/REFBIBCAPA.html>
Acesso em: 11 setembro de 2014.

CLAUSING, D. (1994). **Better decisions.** In: **Total quality development: a step-by-step guide to worldclass concurrent engineering.** 2.ed., Nova Iorque, The American Society of Mechanical Engineers. Cap. 3, p.60-73. (t: 322). (Disponível na biblioteca da EESC - USP).

COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS DA UTFPR. **Normas para a Elaboração de Trabalhos Acadêmicos.** Curitiba: Editora UTFPR, 2009. 112 p.

Direct Flow™ - Soluções e Filtragem de Ar: Performance e Versatilidade para um Mundo em Mudança. EUA. catálogo. Cummins Filtration, 2010.

Donaldson TopSpin Prefiltro: it lengthens the life of the primary element of air. Disponível em: <http://www.interempresas.net/Wine/Companies-Products/Product-Filters-Donaldson-RadialSeal-9551.html>. Acesso em 31 de maio de 2015.

Engine Air Filtration for Light, Medium & Heavy Dust Conditions. EUA. Catálogo. 2013. Donaldson Company.

FAARVENT S.A. DE C.V. **Acondicionamiento del aire**. Disponível em <<http://www.faarvent.com.mx>>. Acessado em 10 de Dezembro de 2014.

FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA). Disponível em: <<http://www.npd-solutions.com/fmea.html>>. Acessado em 18 de Janeiro de 2014.

FleetFacts - Breathe Easy with Fleetgyard® Sy-Klone™ Air Pre-Cleaners. Kilsyth Victoria. catálogo. Cummins Filtration, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª Edição. São Paulo: Atlas, 2002. Manuais da QS 9000. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA): Manual de Referência**. 1997.

HELDMAN, Horácio e ANDERY, Paulo R.P. **Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

HOLAND, A. R.; SCHAFER, J. I.; SUDA J. T.; SMANIOTTO L.; TESSMANN M. C. **FMEA E FTA: Diagnóstico e Melhoria de Produtos e Processos**. Trabalho Final do Curso de Especialização em Engenharia da Qualidade de Departamento de Engenharia Elétrica, PUCRS, Porto Alegre, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TS 16949:2002 – Quality Management Systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations**. Genebra, 2002

LORE, J. **An innovative methodology: The life cycle FMEA**. Quality Progress, p.144, Abril, 1998.

Magnum PR™ Filtro de Ar de Vedação Radial. Brasil. catálogo. Cummins Filtration, 2007.

MANN+HUMMEL Air Cleaners. Speyer, Alemanha. catálogo. Mann + Hummel, 2011.

Método de análise de falha utilizando a integração das ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA. Disponível em: < <https://www.unimep.br>>. Acessado em 18 de Janeiro de 2015.

OptiAir - A próxima geração em sistemas de Admissão de Ar. Bélgica. catálogo. Cummins Filtration, 2008.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. In: WALLACE, K.M. **Projeto na Engenharia; fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos – métodos e aplicações.** São Paulo: Editora Edgard Blücher. 2005.

PALADY, Paul. **FMEA – análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAN, 1997

Performance Data Sheet AF879M - Magnum Upgrade Primary Air Filter. Kilsyth USA. catálogo. Cummins Filtration, 2014.

Racor Filter Division Europe - Engine Air Filtration Systems. Europa. catálogo. Parker Racor

SANTANA, R. **Apostila Gestão de Estratégica da Qualidade – TQM.** Business & Marketing School. ESIC. G. 2012.

Section F: Air Filtration. Europa. catálogo. Parker Racor, 2009.

SEBRAE. **Ferramenta 5W2H.** Disponível em:
<http://www.trema.gov.br/qualidade/cursos/5w_2h.pdf> . Acessado em 18 de Janeiro de 2015.

WIDMAN INTERNATIONAL SRL. **Filtros de Aire.**
<<http://www.widman.biz/Productos/filtros-aire.html>>. Acessado em 15 de janeiro de 2015.