

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Alberto Höher Júnior

**DESIGN DE UMA PENEIRA ROTATIVA PARA COLHEITADEIRA DE
GRÃOS**

Porto Alegre 2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Alberto Höher Júnior

**DESIGN DE UMA PENEIRA ROTATIVA PARA COLHEITADEIRA DE
GRÃOS**

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Design.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Branca Freitas de Oliveira

Porto Alegre 04 de novembro de 2011

Höher Júnior, Alberto

Design de uma peneira rotativa para colheitadeira de grãos / Alberto Höher Júnior. -- 2011.

134 f.

Orientador: Prof^a.Dr^a. Branca Freitas de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2011.

1. Colheitadeiras. 2. Sistema de limpeza. 3. Peneira rotativa. 4. CFD. 5. Simulação numérica. I. Oliveira, Prof^a. Dr^a. Branca Freitas de, orient. II. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

A Banca Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação Intitulada "Design De Uma Peneira Rotativa Para Colheitadeira De Grãos" elaborada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Design.

Porto Alegre 04 de novembro de 2011

Prof.Dr. Fábio Gonçalves Teixeira - Coordenador PGDesign - UFRGS

Prof^a. Dr^a. Branca Freitas de Oliveira - Orientadora - UFRGS

Prof^a. Dr^a. Tânia Luisa Koltermann da Silva - UFRGS

Prof. Dr. Regio Pierre da Silva - UFRGS

Prof. Dr. Luiz Antonio Bragança da Cunha - FURG

À minha linda e amada esposa Verônica e às
minhas queridas filhas Rafaela e Isabela, pelo
constante apoio, tranquilidade e pelo
incentivo de seguir em frente nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por guiar meu caminho sempre, abrir tantas portas maravilhosas e por me dar a sabedoria necessária para ultrapassar todos os desafios.

Ao meu pai Alberto Höher por todas as instruções e por me influenciar para que eu fosse um engenheiro mecânico, à minha querida mãe Dóris Höher por todas as noites mal dormidas pelo carinho e pelos conselhos precisos.

Aos meus irmãos, Cris, Marcelo, Fábio, Lisi, e ao meu cunhado Brian, pela compreensão nos momentos de ausência nas reuniões de família.

Aos meus avós, Harry, Sibila, Pedro e Elza que me acompanharam tanto na terra quanto do céu.

Um agradecimento muitíssimo especial à professora Branca Freitas de Oliveira por todas as orientações dadas e pela calma e dedicação nos momentos confusos, sempre se mostrou disposta a ajudar.

À grande família da AGCO do Brasil pelo suporte para que este trabalho pudesse ser realizado, em especial aos meus gerentes Roque Bassin, Zenir de Castro Pereira Júnior e ao colega Airton Walter.

Aos queridos amigos.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aos professores, colegas e amigos do Programa PGDesign.

RESUMO

A ênfase deste trabalho está voltada ao desenvolvimento de um novo sistema de limpeza para a colheitadeira de grãos visando, principalmente, a utilização de uma nova geometria.

O design de um sistema com peneiras rotativas vem de encontro a todos os sistemas conhecidos até o momento, este sistema visa eliminar sistemas eletrônicos cada vez mais complexos e caros.

Uma descrição sobre os sistemas de colheita e máquinas agrícolas, principalmente colheitadeiras, é apresentada neste trabalho, já que a bibliografia sobre este assunto é bastante restrita.

A utilização de métodos computacionais, voltados à análise de fluídos foi utilizada com o intuito de nortear o desenvolvimento de protótipos reais. O método computacional dos fluídos dinâmicos simula diversas hipóteses de maneira mais rápida e mais barata até que sejam alcançados resultados suficientemente bons que compensem a fabricação de um protótipo real. Com o protótipo real os resultados virtuais podem ser validados e comparados com outros sistemas.

Os resultados obtidos foram bons, a peneira rotativa tem um ótimo desempenho em testes realizados no plano, com perdas inferiores comparativamente às peneiras planas. Nos testes realizados com inclinação o desempenho não foi bom, devido a alguns problemas no duto de ar. Com relação à qualidade dos grãos separados, não foram detectadas quaisquer avarias que pudessem ter sido resultadas da peneira.

Palavras-chave: Colheitadeiras, Sistema de limpeza, Peneira rotativa, CFD, Simulação numérica.

ABSTRACT

The emphasis of this work is dedicated to the development of a new cleaning system for grain harvester aiming mainly to use a new geometry in this part of the machine.

The design of a system with rotary sieves comes against all systems known at this time; this system seeks to eliminate electronic systems increasingly complex and expensive.

A description of the harvesting systems and agricultural machinery, harvesters mainly, is been presented in this work, since the literature on this subject is very limited.

The use of computational methods, focused on the analysis of fluid was used in order to guide the development of prototypes. The method of computational fluid dynamic simulates scenarios faster and cheaper to achieve results that are good enough to compensate the fabrication of a real prototype. With the real prototype, virtual results can be validated and compared with other systems.

The results achieved were good. The rotary sieve cleaning system shows excellent performance when testing on level ground with lower losses than a flat sieve system. In tests on slopes, the performance was not as good due to some problems in the air duct. With regard to grain quality, no mechanical damage that could have been produced by the screens was detected in either test.

Keywords: Combines, Cleaning system, Rotary shoe, CFD, Numeric simulation

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contextualização do Tema	1
1.2. Hipótese	6
1.3. Problema	7
1.4. Objetivo Geral e Específicos.....	7
1.5. Justificativa	7
1.6. Visão Sócio Econômica	8
1.7. Limitações do Trabalho.	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. Sistema Colheitadeira - Conceitos Básicos	14
2.2. Classes das colheitadeiras.	14
2.3. Diferentes sistemas de colheita para Colheitadeiras de Grãos	15
2.4. Colheitadeira Convencional.....	15
2.5. Colheitadeira Axial Transversal	18
2.6. Colheitadeira Axial Longitudinal.....	19
2.7. Colheitadeira Híbrida	21
2.8. Separação em linha.....	22
2.9. Operações fundamentais em uma colheitadeira	23
2.10. Corte e alimentação da Plataforma de corte	24
2.11. Componentes das plataformas.....	32
2.12. Canal Alimentador.....	36
2.13. Sistema de trilha.....	38
2.14. Cilindro de trilha e Côncavo	38
2.15. Batedor traseiro	40
2.16. Terceiro cilindro	41
2.17. Cilindros longitudinais.....	41

2.18.	Sistema de separação.....	41
2.19.	Sistema de Limpeza	42
2.20.	Regulagens e problemas acarretados.....	46
2.21.	Velocidade do molinete	46
2.22.	Contaminação das lavouras	47
2.23.	Velocidade do cilindro e abertura do côncavo.....	47
2.24.	Côncavo de dentes	47
2.25.	Velocidade do ventilador	47
2.26.	Abertura das peneiras	48
2.27.	Processo de desenvolvimento de produto.....	48
2.28.	Metas de projeto.....	53
2.29.	Geração de idéias	53
2.30.	Análise das funções do produto	54
2.31.	Análise de similares.....	56
2.32.	Análise computacional.....	56
2.33.	Softwares de análise CFD.....	59
3.	METODOLOGIA DE PESQUISA DO PRODUTO.....	60
3.1.	Determinação das metas.....	60
3.2.	Geração de idéias e escolha dos conceitos	60
3.3.	Análise das funções da Colheitadeira.....	61
3.4.	Revisão bibliográfica e de patentes sobre os sistemas de colheitas	62
3.5.	Revisão bibliográfica e de patentes sobre os sistemas de limpeza.....	62
3.6.	Design do novo sistema de peneiras.....	62
3.7.	Realizar desenho das partes do objeto estudado.....	63
3.8.	Avaliação computacional do novo sistema	63
3.9.	Construção e teste do protótipo.....	63

3.10.	Análise de similares.....	63
3.11.	APRECIÇÃO DA ANÁLISE DE SIMILARES.....	72
4.	PROPOSTA DO NOVO DESIGN DO SISTEMA DE LIMPEZA.....	74
4.1.	Detalhamento dos Componentes	75
4.2.	Peneira Circular.....	75
4.3.	Helicóide.....	77
4.4.	Estrutura da gaiola do rotor	79
4.5.	Rolos guias.....	79
4.6.	Rolo tracionador	83
4.7.	Ventilador	84
5.	VALIDAÇÃO DO SISTEMA.....	86
5.1.	Modelos CAD:.....	86
5.2.	Malhas.....	87
5.3.	Fator de convergência	89
5.4.	Ventilador atual MF5650.....	90
5.5.	Ventilador Centrifugo de 12 aletas.....	92
5.6.	Ventilador com 48 aletas	95
5.7.	Análise Tridimensional.....	98
6.	TESTES DE LABORATÓRIO.....	103
6.1.	Teste de fluxo de ar no ventilador.....	104
6.2.	Teste de fluxo de ar no rotor da peneira.....	106
6.3.	Teste de vazão da peneira rotativa.....	107
6.4.	Teste de vazão da peneira rotativa com inclinação	109
7.	RESULTADOS	111
8.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	114
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Cirus McCormick inventor da colheitadeira	1
Figura 2	Ceifadeira McCormick 1834	2
Figura 3	Ceifadeira John Deere 1840	3
Figura 4	Ceifadeira Massey Harrys 1930.....	3
Figura 5	Sacas com grãos após a colheita	4
Figura 6	Reportagem retirada da revista <i>Dirigente Rural</i>	5
Figura 7	Investimentos no setor de máquinas agrícolas em milhões de Reais	10
Figura 8	Número de colheitadeiras produzidos no Brasil.....	11
Figura 9	Número de empregados no setor agrícola	11
Figura 10	Tamanho da frota de colheitadeiras a ser renovada no Brasil.....	12
Figura 11	Colheitadeira convencional Massey Ferguson MF32	16
Figura 12	Colheitadeira convencional Massey Ferguson	17
Figura 13	Colheitadeira Transversal Gleaner	19
Figura 14	Colheitadeira Longitudinal MF9790	20
Figura 15	Colheitadeira Delta Sistema Híbrido.....	22
Figura 16	Sistema de cilindros em linha	23
Figura 17	Plataforma Rígida	25
Figura 18	Cacho do Trigo está na ponta da planta.....	25
Figura 19	Plataforma Flexível	27
Figura 20	Plataforma <i>Draper</i> não possui helicóide transportador.....	28
Figura 21	Detalhe da esteira Draper.....	28
Figura 22	Plataforma combinada Powerflow	29
Figura 23	Detalhe da esteira transportadora	29
Figura 24	Colheitadeira de 1952 utilizando plataforma de milho com duas linhas.....	30
Figura 25	Plataforma de milho atual com 12 linhas	
Figura 26	Unidade de colheita e espiga sendo puxada	31
Figura 27	Helicóides debulhadores	31
Figura 28	Plataforma de mamona	32
Figura 29	Barra de facas, dedos e Caixa de transmissão	33
Figura 30	Dedo Fundido	33

Figura 31 Molinete com dedos de plástico.....	34
Figura 32 Dedo fabricado em plástico e em arame	35
Figura 33 Helicóide e dedos retráteis	35
Figura 34 Detalhe da esteira da plataforma Draper.....	36
Figura 35 Canal alimentador (a) e corrente transportadora (b).....	37
Figura 36 Adaptador para plataforma	37
Figura 37 Planicidade da lavoura de arroz	37
Figura 38 Cilindro de barras	39
Figura 39 Cilindro e côncavo de dentes.....	40
Figura 40 Vista Lateral da montagem do Cilindro e côncavo de dentes.....	40
Figura 41 Cilindro Batedor.....	41
Figura 42 Saca-Palhas	42
Figura 43 Peneira Superior.....	43
Figura 44 Acelerador Radial	44
Figura 45 Sistemas de Turbinas.....	44
Figura 46 Sistema com descarga dupla.....	45
Figura 47 Processo de desenvolvimento de produto.....	49
Figura 48 Etapas do Processo de Projeto	50
Figura 49 Projeto de desenvolvimento e as fases do ciclo de vida.....	51
Figura 50 Arvore funcional de um descascador de batatas.....	55
Figura 51 Metodologia de projeto	55
Figura 52 Fases de Projeto.....	58
Figura 53 Fases de Projeto.....	58
Figura 54 Análise das funções da Colheitadeira de Grãos.....	62
Figura 55 Peneira para grãos de argila.....	64
Figura 56 Defeito produzido no azulejo devido à má classificação.....	64
Figura 57 Peneira para separação da cana de açúcar	65
Figura 58 Peneira para Classificação de brita	65
Figura 59 Colheitadeiras auto nivelante Cerea e Laverda.....	66
Figura 60 Peneiras com variação lateral.....	66
Figura 61 Peneiras 3D.....	67
Figura 62 Peneiras Individuais.....	68
Figura 63 Peneira com inclinação nas laterais	68

Figura 64 Variação angular da peneira.....	69
Figura 65 Peneira Auto nivelante com degraus.....	69
Figura 66 Peneiras auto nivelante com sistema acionado.....	70
Figura 67 Suporte para facilitar a troca das peneiras	70
Figura 68 Sistema de Giro	71
Figura 69 Esquema do sistema operando em terreno inclinado.....	72
Figura 70 Sistema operando em terreno plano melhorando a distribuição.....	72
Figura 71 Colheitadeira MF5650	74
Figura 72 Peneira Circular	75
Figura 73 Chapa perfurada	76
Figura 74 Passo da Hélice.....	77
Figura 75 Hélice transportadora	78
Figura 76 Estrutura da gaiola.....	79
Figura 77 Rolos Dianteiros vista frontal (a), vista traseira (b)	80
Figura 78 Rolos traseiros.....	80
Figura 79 Comparativo entre a perda de volume de diversos materiais com relação à resistência a abrasão.....	81
Figura 80 Comparativo entre diversas resinas de engenharia com relação à resistência ao Impacto kJ/m^2	81
Figura 81 Comparativo Resistência ao impacto PEAD x PEUAPM.....	82
Figura 82 Amostra para teste com um e dois entalhes de 45°	83
Figura 83 Rolo tracionador	84
Figura 84 Conjunto ventilador 48 aletas	85
Figura 85 Detalhe da aleta e semi aleta	85
Figura 86 Bancada de teste da Peneira Rotativa	86
Figura 87 Quantidade de elementos e fator Skewness	87
Figura 88 Skewness - Formas ideais e deformadas.....	88
Figura 89 Modelo para cálculo do fator Skewness	89
Figura 90 Fluxo de massa	90
Figura 91 Análise de pressão modelo MF5650.	91
Figura 92 Velocidade de saída da caixa do ventilador da MF5650	91
Figura 93 Distribuição de velocidade no conjunto	92
Figura 94 Malha ventilador Sirocco 12 pás.....	93

Figura 95 Distribuição de pressão com ventilador Sirocco	93
Figura 96 Velocidade de saída da caixa do ventilador Sirocco.....	94
Figura 97 Distribuição de velocidade com ventilador Sirocco.....	95
Figura 98 Malha do ventilador Sirocco com 48 pás.....	96
Figura 99 Pressão com ventilador de 48 aletas.....	96
Figura 100 Velocidade de saída da caixa.....	97
Figura 101 Distribuição do fluxo no interior da caixa	97
Figura 102 Estatísticas da malha tridimensional.....	98
Figura 103 Malha tridimensional.....	99
Figura 104 Taxa do fluxo de massa no sistema	99
Figura 105 Variação de massa do sistema.....	100
Figura 106 Fator de Convergência	100
Figura 107 Fluxo de ar no interior do duto com a análise 3D	101
Figura 108 Distribuição de ar na saída do rotor.....	101
Figura 109 Volume com velocidade de 7m/s	102
Figura 110 Modelos para construção do protótipo.....	103
Figura 111 Protótipo para testes de laboratório.....	104
Figura 112 Caixa do ventilador, teste de velocidade.	104
Figura 113 Rotor do ventilador	105
Figura 114 Velocidade do ar (m/s) x rotação ventilador (rpm).....	106
Figura 115 Rotor da peneira sem as coberturas.....	107
Figura 116 Material misturado	107
Figura 117 Helicóide adicional, mais ao fundo e helicóide transportador	108
Figura 118 Bancada inclinada em 15°	109
Figura 119 Separação das helicóides.....	110
Figura 120 Material preparado para teste.....	110
Figura 121 Material eliminado da peneira.....	111
Figura 122 Material separado com alto índice de sujeira.....	112
Figura 123 Material eliminado da peneira com sistema inclinado.....	113
Figura 124 Contaminação do ventilador	113

LISTA DE ABREVIATURAS

A.C. – Antes de Cristo

CV – Cavalo Vapor

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

MOG – Material others than grain, massa de todos os resíduos de colheita menos os grãos.

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

CAD – Computer aided design – Design assistido por computador

CAM – Computer aided manufacturing – Manufatura assistida por computador

CAE – Computer aided engineering – Engenharia assistida por computador

SAE– *Society of Automobile Engineers*

rpm – Rotações por minuto

LISTA DE SÍMBOLOS

° - Ângulo

arctan – Arco Tangente

m³ – Metros cúbicos

h – Hora

d – Diâmetro

kg – Kilograma

s – Segundos

Gb – Gigabytes

INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização do Tema

Perto do ano de 12000 A.C. quando os primeiros seres humanos estavam mudando os hábitos nômades para iniciar a produção local de alimentos, surgiram às primeiras formas de agricultura com a plantação de vegetais e com a domesticação de animais, resultando com a formação das primeiras aldeias. Buscando aumentar a produção de alimentos para sustentar aldeias cada vez maiores, que com o passar dos anos dariam início as cidades, ferramentas e técnicas de produção tiveram de ser criadas.

Seguindo os dados históricos, mas dando um grande salto no tempo até o século XVIII, onde o início da mecanização agrícola com arados puxados por cavalos e equipamentos para o plantio que furavam o solo e depositavam as sementes, podemos dizer que a introdução dos tratores foi um marco e um salto neste processo. A utilização de implementos puxados pelos tratores tornou-se cada vez mais variada e específica para cada serviço, fazendo com que este se tornasse muito mais facilitado (ORTIZ-CAÑAVATE, 2003).

Com relação às colheitadeiras podemos citar que a primeira máquina patenteada para colheita ocorreu no ano de 1831 por Cyrus McCormick, (Figura 1) no estado de Virgínia nos Estados Unidos da América (ORTIZ-CAÑAVATE, 2003), sendo chamada de Ceifadeira. Apesar de já existir nesta época máquinas capazes de cortar feno e grãos, esta foi a primeira que, além de cortar, agrupava o material para posteriormente ser estocado. (Figura 2)



Figura 1 Cyrus McCormick inventor da colheitadeira

Fonte: ("Antique Farming", 2010)



Figura 2 Ceifadeira McCormick 1834

Fonte: <http://www.antiquefarming.com/index.html>, acessado em 06/08/10

Este equipamento consistia em um rotor com lâminas que cortava as plantas em pé, jogando-as em uma plataforma que posteriormente eram despejadas no caminho e recolhidas em pilhas por uma pessoa que caminhava ao lado. Este dispositivo era tracionado por cavalos e possuía uma grande roda que ao girar acionava os demais mecanismos existentes no equipamento. Esta máquina podia cortar 12 hectares por dia, como comparação uma máquina que realizava apenas a tarefa de cortar, chamada de foice berço inventada em 1794, produzia três vezes menos. Se a mesma comparação fosse feita com um homem, este faria o mesmo trabalho em duas semanas.

Após esta primeira máquina em 1831 Cyrus McCormick vendeu mais duas em 1842, mais sete e em 1847. Após mudar-se para Chicago e fazer uma parceria visando aumentar a produção de máquinas, foram gerados números incríveis vendendo mais de um mil e quinhentos exemplares, onde cada equipamento custava aproximadamente US\$ 150,00, valor alto para os padrões da época (NYBERG, 1957).

Posteriormente, começaram a surgir muitas outras marcas como a John Deere em 1843, que começou a produzir equipamentos agrícolas (Figura 3) em meados de 1870 e a Massey Harris, fundada por Daniel Massey, que além das ceifadeiras (Figura 4) em 1847 produziu as primeiras debulhadoras do mundo. Mas foi em 1891 devido à fusão com a companhia A.Harris e filhos que teve início o grande salto mercadológico. Estes são apenas alguns exemplos, existem muitas outras companhias que surgiram naquela época e que contam histórias de sucesso até os dias atuais.

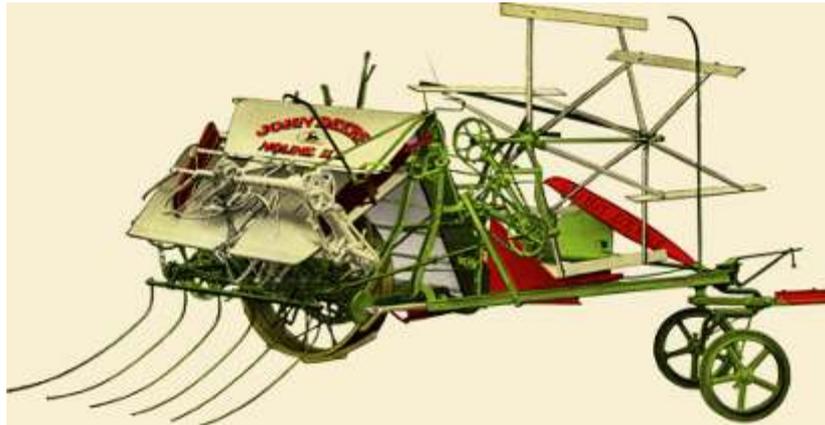


Figura 3 Ceifadeira John Deere 1840

Fonte: <http://www.antiquefarming.com/index.html>, acessado em 06/08/10



Figura 4 Ceifadeira Massey Harrys 1930

Fonte: <http://museumvictoria.com.au/collections/items/770266/negative-karawinna-district-victoria-1929> acessado em 06/08/10

Com o progresso da mecanização surgiram os primeiros tratores movidos a vapor, que eram muitíssimo diferentes dos atuais, máquinas pesadíssimas com baixo torque, mais parecidos com locomotivas que não utilizavam trilhos. Com isto foram desenvolvidos outros implementos maiores e mais pesados, pois os tratores, mesmo sendo muito pesados, podiam tracionar mais carga do que os cavalos. Surgiram então ceifadeiras maiores e em seguida outros processos foram incorporados nestas máquinas, como a debulha e a separação, onde uma pessoa se posicionava junto à saída dos grãos, enchendo as sacas (Figura 5) e costurando-as, as quais eram deixadas na lavoura para posteriormente serem recolhidas. Seguindo o fluxo da evolução surgiram às colheitadeiras, que nada mais foi do que a união do trator com a ceifadeira, máquina esta capaz de unificar todos os processos de colheita: ceifar, debulhar, separar o material, armazenar grandes quantidades e em

alguns casos, preparar as sobras para servir tanto como adubo quanto alimento para os animais.

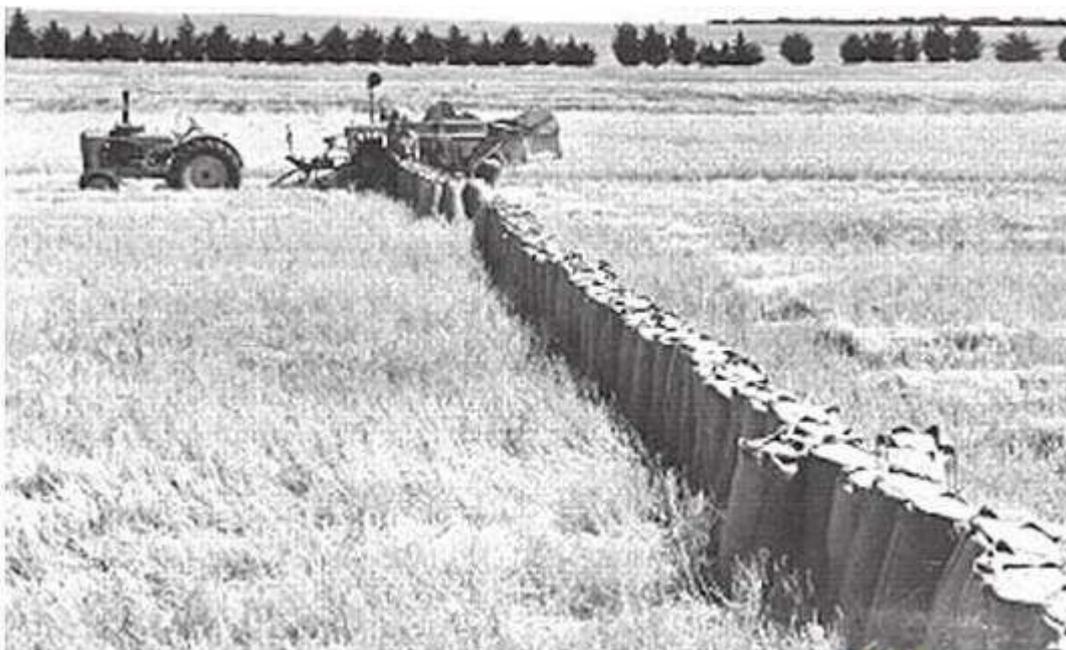


Figura 5 Sacas com grãos após a colheita

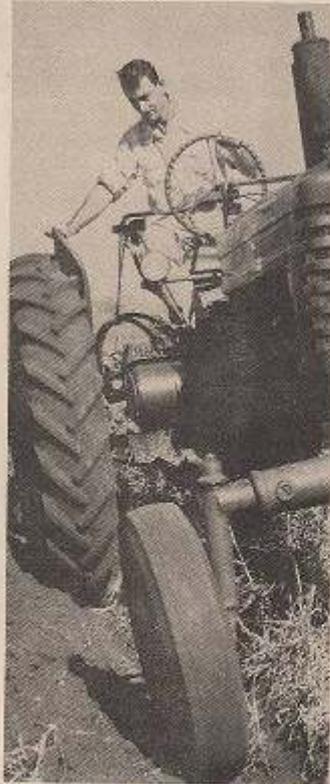
Fonte: <http://museumvictoria.com.au/collections/items/770266/negative-karawinna-district-victoria-1929> acessado em 06/08/10

Com relação às máquinas agrícolas no Brasil, alguns anos pós-segunda guerra mundial, foi onde ocorreu um ligeiro aumento no setor, contudo isto trouxe alguns problemas, vejamos a seguir uma citação *que explica esta situação*. (“Mundo Agrícola”, 1965)

"Depois do término da guerra de 1939-1945, o aumento do número de tratores tornou-se acentuado, chegando à importação, em 1951, a atingir o número de 11.142 máquinas tratorizadas, o que representava cerca de 60% dos tratores existentes. A importação de tratores no período pós-guerra foi um tanto desordenada, tendo o nosso País recebido um número bastante considerável de máquinas sem nenhuma tradição no mercado internacional e provindas da indústria americana e européia que se transformavam de produtoras de equipamentos bélicos a produtoras de máquinas agrícolas e para outros fins. Foram inúmeros os tratores que, após poucas horas de uso, foram paralisados ou mesmo encostados por não se adaptarem às nossas condições ou pela precariedade de sua construção."

Com a entrada de tantas máquinas, outro problema encontrado foi a falta de peças de reposição, fazendo com que estas máquinas não tivessem uma grande vida útil, pois, as peças por serem importadas, levavam um grande período para chegar ao país além de possuir um preço muito elevado.

A Figura 6 a seguir ilustra este tema retirado da revista *Dirigente Rural* de 1972, a respeito da importação de máquinas agrícolas.



Mecanização está avançando em nosso país

Agricultura se mecaniza

O avanço da mecanização agrícola no Brasil pode ser atestado pelo crescimento acentuado do número de

COOPRECOTIA, FEVEREIRO DE 1963

tratores observado nestes últimos anos. No quadro abaixo, apresenta-se a evolução havida em dez anos:

	Tratores em uso
1951	14.618
1952	20.508
1953	25.288
1954	28.835
1955	37.348
1956	40.532
1957	45.972
1958	48.773
1959	56.903
1960	65.884

No entanto, se se comparar a situação do Brasil com a de outros países, verificar-se-á que a nossa posição, no último ano do período assinalado, ainda era de grande inferioridade. É o que se vê pelo quadro a seguir:

	Tratores em uso
Estados Unidos	4.750.000
União Soviética	996.000
Alemanha Ocidental	695.712
França	558.600
Itália	207.131
Austrália	224.681
União Sul-Africana	106.000
Argentina	82.000
Nova Zelândia	73.499

A partir de 1961, porém, novas perspectivas se abriram para a mecanização agrícola nacional, com o início da produção de tratores de roda no país. Tendo nesse ano sido de apenas algumas centenas, já em 1962 a fabricação superou a casa das seis mil unidades.

Figura 6 Reportagem retirada da revista *Dirigente Rural*

Fonte: <http://tratoresantigos.blogspot.com/> acessado em 20/10/10

Em se tratando das colheitadeiras, precisamos de máquinas que possam retirar o máximo de sementes das plantas, proporcionando o mínimo de perdas, perdas que podem ocorrer em diversos pontos da máquina como, por exemplo, na plataforma de corte, no sistema de trilha e no sistema de separação.

A colheitadeira tem de realizar três processos em uma colheita, primeiro a cultura é recolhida para dentro da máquina, segundo no cilindro de trilha, o grão é trilhado a partir do material vegetal, ou seja, é sacado das vagens ou espigas; terceiro o grão é separado do restante do material (*MOG*)¹. Esta última fase é realizada em duas etapas, separação e limpeza. O sistema de separação permite que os grãos sejam separados da grande massa de *MOG* caindo sobre as peneiras planas com as palhas mais finas. O *MOG*, que passa pelo sistema de limpeza, ou seja, pelas peneiras planas, retém os grãos tanto quanto possível e permite que o *MOG* restante também seja expulso.

Segundo Maertens *et al.* (2001), o bom entendimento da maneira como os grãos são processados e transportados através de uma colheitadeira não é de fácil compreensão. Cada seção da máquina tem o seu próprio impacto no fluxo de material, dependendo das dimensões geométricas e das propriedades da cultura em questão. A possibilidade de prever o efeito causado pelas mudanças geométricas no desempenho da máquina é essencial para o design de novas peças.

1.2. Hipótese

A separação propriamente dita ocorreria pela utilização do rotor, elevando e transportando o material. Durante este processo, sendo os grãos mais pesados, cairiam primeiro, enquanto a palha, por ser mais leve, ficaria mais tempo em suspensão e com a utilização de um exaustor, retiraria-se a palha para fora da máquina. O grão, por sua vez, cairia pelos furos do rotor sendo transportado limpo para o tanque de grãos, local responsável pelo armazenamento até ser descarregado.

Sendo este um novo design, precisaríamos direcionar o nosso projeto o máximo possível para a fabricação de um protótipo.

Atualmente com a competição do mercado de máquinas agrícolas se faz necessário, cada vez mais, equipamentos que possam fornecer aos seus

¹ *MOG* – Material others than grain, massa de todos os materiais que passam pela colheitadeira descontando os grãos por unidade de tempo expresso em toneladas por hora (ANSI/ASAE, 2010).

proprietários altíssima eficiência, baixo consumo de combustível, baixo custo de peças de reposição e, principalmente, componentes que possam resistir às condições de trabalho.

1.3. Problema

O produto máquina agrícola é um sistema técnico muito complexo e precisa prover um desempenho satisfatório de todas as funções as quais se destina. Neste sentido a busca por aperfeiçoar os processos internos destas máquinas é constante. Assim a questão que será abordada neste trabalho é:

Como separar os grãos de soja das palhas menores utilizando um sistema de peneiras com uma geometria diferente das atuais peneiras planas?

1.4. Objetivo Geral e Específicos

O objetivo geral do trabalho é desenvolver um sistema de peneira que seja capaz de limpar os grãos no processo de colheita das colheitadeiras, mas que não utilize o sistema convencional de peneiras planas.

Como objetivos específicos desta pesquisa temos:

- Estudar sistemas de colheita existentes com o intuito de direcionar o projeto;
- Projetar um novo sistema de limpeza de grãos visando os espaços existentes na colheitadeira;
- Projetar um acionamento que possa movimentar o sistema de limpeza.
- Avaliar, comparativamente, a quantidade de perdas entre o sistema de peneiras planas e peneiras rotativas;
- Avaliar, comparativamente, a qualidade dos grãos separados pelo sistema de peneiras planas e rotativas;

1.5. Justificativa

O sistema de limpeza para colheitadeira, que é o foco deste trabalho, vem utilizando peneiras planas desde o início da mecanização das lavouras, um novo design deste sistema é importante para demonstrar se existe algum grande problema para que o sistema atual não tenha sido remodelado até então.

O sistema de limpeza é responsável por cerca de 3 a 5 % das perdas que ocorrem em uma colheitadeira. Melhorar este índice no sistema de limpeza é vital, já que nas outras partes, efeitos tais como altíssima inércia do sistema de trilha, correspondente a 10% das perdas devido à quebra de grãos, perdas na separação da ordem de 15% e causas naturais como vagens muito baixas, plantas muito secas ou ervas daninhas no caso da plataforma, ficam difíceis de serem evitadas.

Este novo design consiste na utilização de peneiras rotativas. Hoje em dia na grande maioria das aplicações, utilizam-se peneiras planas e com movimentos oscilatórios. A nova proposta traz um novo padrão de separação, utilizando o movimento circular aplicando helicóides para o transporte do material, rotores separadores e exaustores para a separação.

1.6. Visão Sócio Econômica

Uma introdução sobre os sistemas de mecanização com uma visão sócio econômica faz-se necessário para evidenciar onde está situada a realidade brasileira no quesito mecanização e para trazer alguns dados sobre a produção de máquinas agrícolas no país. Estas informações vêm para corroborar com a necessidade da utilização de um novo design para o sistema de limpeza. Sistema este que possa diminuir as perdas geradas nas colheitas de grãos e com isso diminuir os custos altíssimos de produção.

Ao analisar as dificuldades para a mecanização na agricultura brasileira, Nojimoto (1987) apud Nogueira (2001) enumerou os seguintes fatores:

a. Estrutura agrária:

A mecanização agrícola teve seu início em países onde as propriedades eram classificadas como grandes e com igual distribuição. Um país que pode ser citado como exemplo deste modelo são os Estados Unidos da América. No Brasil a mecanização teve dificuldades na sua implementação já que a maioria das áreas brasileiras estão classificadas como pequenas e de baixa renda, sendo assim, as condições brasileiras para modificar tanto técnica como economicamente a mão de obra existente a ser usada em um ambiente mecanizado, gera um obstáculo que nos próximos anos deve ser superado, visto que mesmo sem ter em sua maioria grandes propriedades, o investimento na qualificação dos funcionários vem aumentando a cada dia.

b. Atuação do Estado

Nos Estados Unidos da América a política está voltada a agregar valor ao produto rural, tabelando os preços de alguns produtos nas entressafras e subsidiando outros para incentivar a produção. O Japão além de possuir uma política semelhante, busca manter a renda e apóia a utilização de tecnologia no setor. Nestes dois casos a implementação da mecanização obteve êxito, pois o estado apóia investimentos na agricultura diretamente quando atua nos preços ou indiretamente quando investe em tecnologia. No Brasil, há poucos anos atrás surgiram algumas boas idéias como, por exemplo, o Programa Mais Alimentos que ajuda pequenos produtores a adquirir máquinas e equipamentos, alguns produtos também são subsidiados com a redução de impostos.

c. Baixos salários:

Como comparação os trabalhadores de São Paulo, que são os mais bem remunerados do país podem receber salários até 14 vezes menores que trabalhadores americanos. Fator esse que também favorece os grandes produtores, pois podem manter em suas áreas muitas famílias, e com a justificativa de fornecer moradia e alimentação pagam baixos salários, travando o desenvolvimento sócio econômico.

d. Produtividade:

O desenvolvimento de novas tecnologias e a ampliação da utilização de novos fertilizantes defensivos e sementes minimizam os efeitos nocivos ao solo e contribuem para o aumento da produtividade. Contudo em algumas culturas onde a produção é muito baixa e a margem de lucro é pequena a utilização da mecanização tornasse inviável.

Segundo a Anfavea (2010) o investimento no setor de máquinas agrícolas passou de 31 milhões de reais em 1980 para surpreendentes 203 milhões em 2009. (Figura 7)

Houve um aumento no investimento significativo no setor e um dos principais motivos deste acréscimo foi uma melhor política de importação, como também a diminuição das alíquotas e as constantes super-safras que ocorreram no país com o passar dos anos gerando mais renda aos produtores e permitindo o investimento na aquisição de novas máquinas.

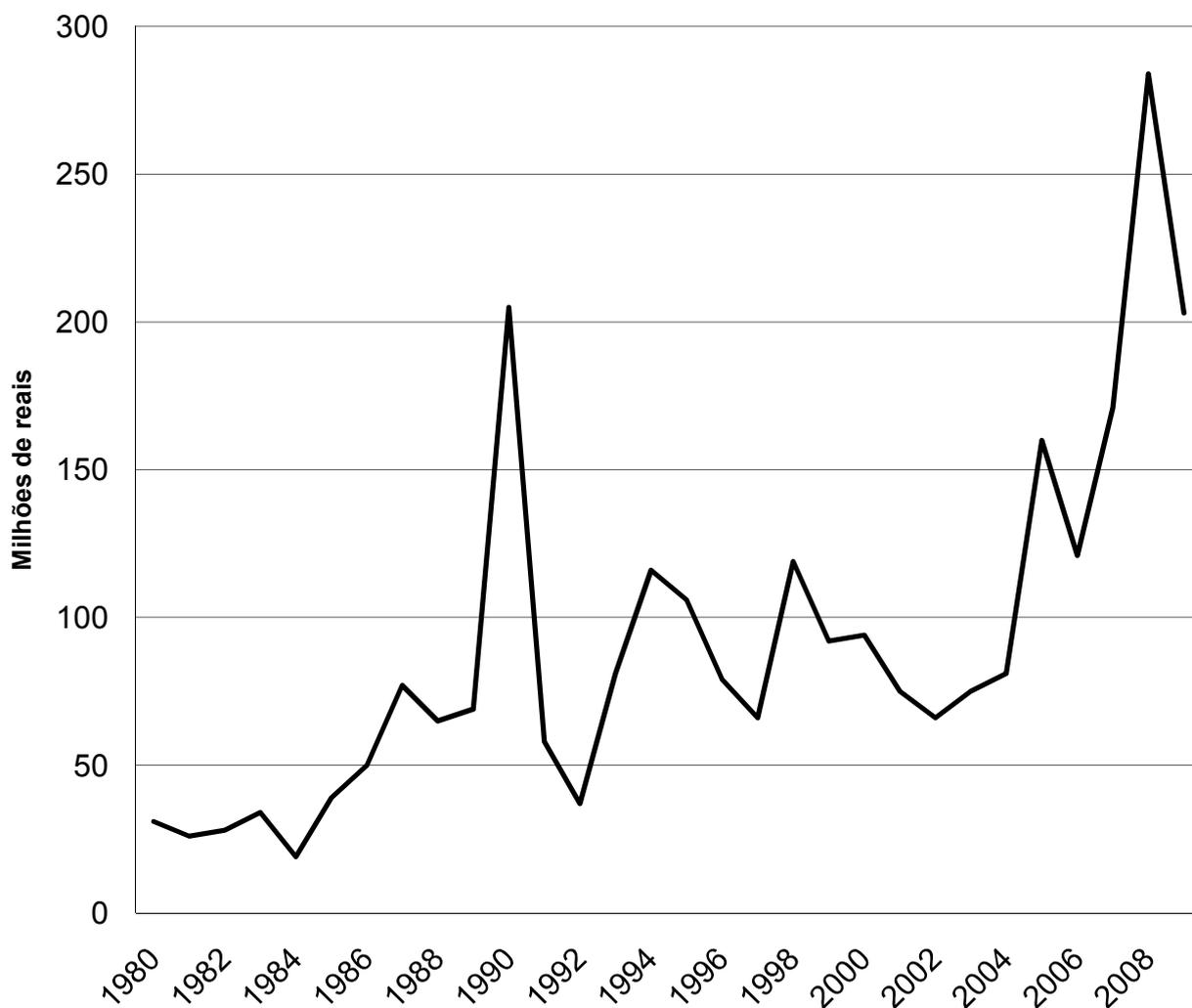


Figura 7 Investimentos no setor de máquinas agrícolas em milhões de Reais

Fonte: modificado de (ANFAVEA, 2010)

Se restringirmos o nosso escopo para colheitadeiras os números são bem diferentes. O pico de produção foi no ano de 2004 (Figura 8) enquanto a produção total de máquinas agrícolas teve o seu pico em 2008.

Com relação aos empregos gerados neste período não existem grandes modificações (Figura 9). Isto demonstra que os processos de produção mesmo com maquinários modernos, como por exemplo, centros CNCs², não alteram o nível de

² Controle Numérico Computadorizado

emprego no setor de máquinas agrícolas que se manteve praticamente constante com algumas variações nos anos onde houve as grandes crises do setor. (ANFAVEA, 2010)

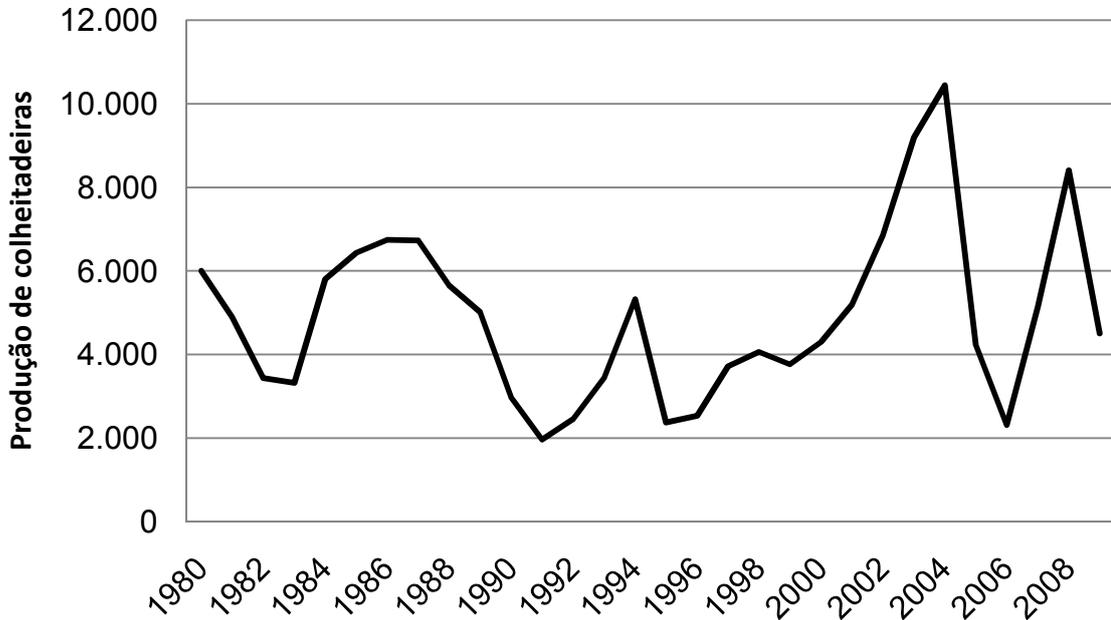


Figura 8 Número de colheitadeiras produzidas no Brasil

Fonte: modificado de (ANFAVEA, 2010)

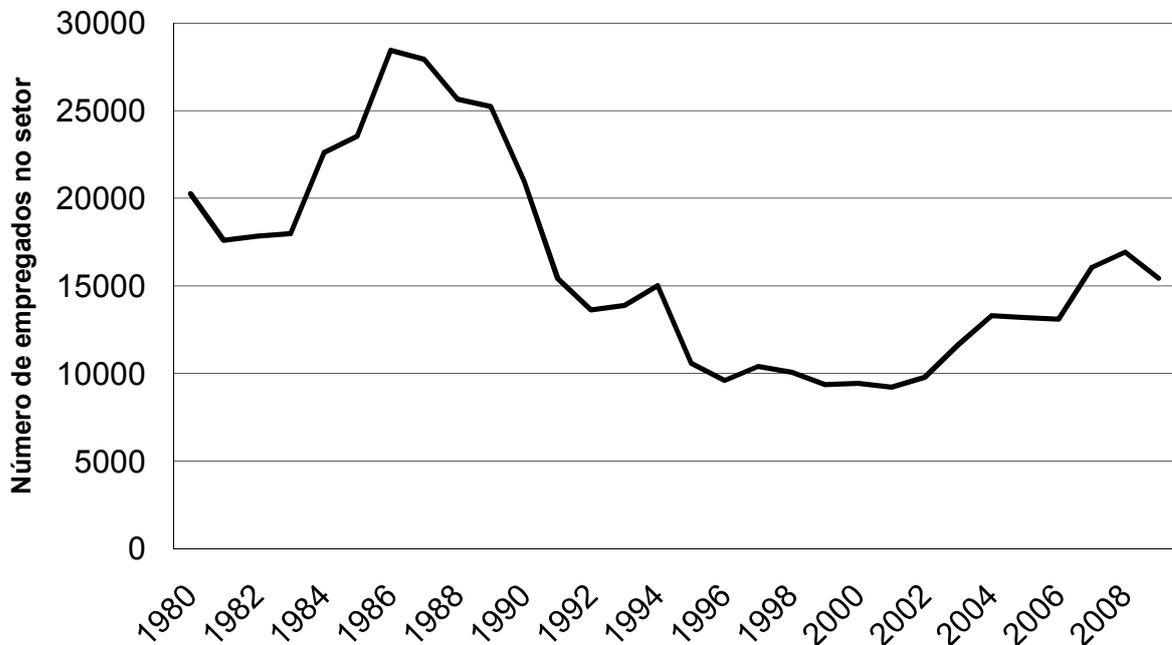


Figura 9 Número de empregados no setor agrícola

Fonte: modificado de (ANFAVEA, 2010)

Segundo Cogo (2010), mesmo após o Moderfrota³ o índice de renovação da frota de colheitadeiras foi até o momento de 45%. No Brasil o déficit de colheitadeiras é enorme. Aqui há uma colheitadeira para cada 1.094 hectares, contra 567 na Argentina, 264 nos EUA, 293 no Canadá e 119 na Europa. A idade média de uma máquina nos Estados Unidos é de 4 anos, contra 13 no Brasil. A quantidade a ser renovadas (Figura 10) ainda é grande.

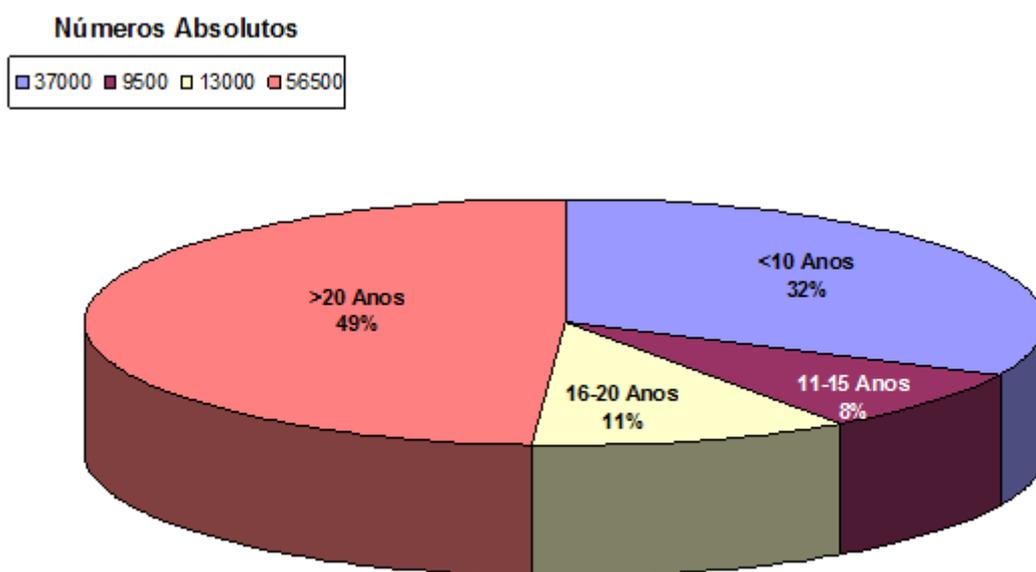


Figura 10 Tamanho da frota de colheitadeiras a ser renovada no Brasil

Fonte: (COGO, 2010)

Estes são apenas alguns exemplos para demonstrar como se encontra o setor de máquinas colheitadeiras. Este setor não se compara com o de outras máquinas agrícolas, já que colheitadeiras estão relacionadas à colheita que também está relacionada ao clima, e este por sua vez é um fator variável e muda significativamente os custos e/ou rendas da lavoura. Tratores precisam preparar o

³ Moderfrota: Programa de financiamento do governo com o intuito de renovar a frota de máquinas agrícolas no Brasil, o título do programa é: Programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras

solo, arar, plantar, espalhar os insumos e após todos estes processos devido à ação do clima teremos: níveis normais, uma super-safra ou quebra de safra.

1.7. Limitações do Trabalho.

Do ponto de vista da pesquisa bibliográfica, foram encontradas dificuldades devido à escassa literatura que aborda este tema. Os autores, em sua maioria, tratam o assunto máquinas agrícolas de maneira muito abrangente englobando a maioria dos equipamentos e sistemas, seguindo de maquinários, implementos, passando inclusive por sistemas de irrigação, não aprofundando-se em colheitadeiras. Este assunto é abordado como sigiloso onde apenas as empresas fabricantes têm o conhecimento sobre este assunto. Portanto muitos dos assuntos descritos neste trabalho têm a opinião do autor e baseiam-se na experiência profissional no desenvolvimento de colheitadeiras adquiridos durante diversos anos diretamente em empresas deste ramo. Autores como Kepner *et al.* (1972), Mialhe (1974) e Romano *et al.* (2005), relatam como raras as bibliografias que descrevem o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas.

O autor considera importante a coleção de alguns conceitos sobre os sistemas de colheita já que a bibliografia sobre este assunto, como já foi dito, é bastante restrita.

Devido à abrangência do tema máquinas agrícolas, o presente trabalho trata apenas do assunto colheitadeiras. No entanto, este trabalho pode servir como referência para outros, visto que, os métodos e ferramentas estudados têm a mesma aplicação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem a finalidade de apresentar o embasamento teórico utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

Como primeiro assunto está à revisão sobre colheitadeiras e com isso o alicerce que permitirá a discussão sobre o tema mais específico, sistema de limpeza, que é o objetivo deste trabalho.

Seguindo, será abordado o processo de desenvolvimento de produto que serve para direcionar a tomada de decisões. E posteriormente a análise numérica computacional, utilizada para validar os conceitos antes das análises com os protótipos reais.

2.1. Sistema Colheitadeira - Conceitos Básicos

Com o intuito de apresentar o tema colheitadeiras, serão demonstrados alguns conceitos básicos a fim de proporcionar um maior entendimento do funcionamento da maioria dos dispositivos encontrados nesta máquina.

2.2. Classes das colheitadeiras.

Além dos sistemas de colheita temos também, uma classificação quanto ao tamanho ou capacidade de processamento de uma colheitadeira, que foi por muito tempo utilizado, principalmente levando-se em consideração a quantidade de saca-palhas, dispositivo que será visto no item 2.18. A partir do sistema de colheita longitudinal onde não existe saca-palhas esta classificação perdeu um pouco o sentido, e passou a ser apenas quanto à potência do motor e comparativamente ou intuitivamente quanto à capacidade de processamento de máquinas similares. A seguir, na Tabela 1 a descrição de cada classe.

Tabela 1 Relação de Classes das Colheitadeiras

Classe	Potência [HP]
Classe 3	< 161
Classe 4	161 – 200
Classe 5	201 – 254
Classe 6	255 – 294
Classe 7	295 – 350
Classe 8	>350

2.3. Diferentes sistemas de colheita para Colheitadeiras de Grãos

Neste item serão descritos os diferentes sistemas de colheita e quais as principais características encontradas em cada um deles.

Os três sistemas que abrangem quase que a totalidade da produção de colheitadeiras são: o sistema Convencional, o sistema Axial Longitudinal e o sistema Híbrido. O número de máquinas convencionais no mercado ainda é maior, mas a produção de máquinas axiais vem despontando a cada dia e superará o número de máquinas convencionais. Já as máquinas híbridas, por utilizarem uma nova tecnologia não podem ser comparadas quanto à superação dos números de convencionais e axiais, mas tudo indica que terão uma ótima aceitação no mercado, sempre levando em consideração as condições das lavouras na qual a máquina será utilizada.

Outros sistemas encontrados são os sistemas de colheita transversal ou também chamado como *Normal Flow* e o sistema de cilindros de separação em linha.

A seguir iremos ver algumas características dos principais sistemas e no item 2.9 iremos ver separadamente cada componente relacionado às operações fundamentais e a descrição das operações fundamentais que uma colheitadeira realiza com relação a cada sistema.

2.4. Colheitadeira Convencional

O sistema mais comum e mais antigo encontrado em colheitadeiras auto propelidas é chamado de sistema convencional.

A principal diferença no sistema convencional está na separação, que no caso convencional é realizado pelo saca-palhas. Esta colheitadeira é atualmente utilizada para pequenas áreas, pois existem alguns sistemas melhores para serem utilizados em grandes áreas devido à capacidade de processamento do material, como exemplo pode ser citado o sistema longitudinal, o qual será visto a seguir.

Segundo Richey *et al.* (1961) as ações que ocorrem em uma colheitadeira são as seguintes: o material é colhido na plataforma, passa pelo alimentador, é batido pelo cilindro de trilha e o côncavo, neste momento alguns grãos podem cair sobre a bandeja e outros, conjuntamente com o *MOG*, seguem para o saca-palhas que separa o material, a palha fina e o grão caem sobre as peneiras onde são

finalmente separados. Podemos observar na Figura 11 a colheitadeira Massey Ferguson MF32, máquina esta fabricada atualmente e na Figura 12 uma colheitadeira Massey Ferguson da década de 50. O sistema de colheita convencional continua praticamente o mesmo, sendo que podemos salientar apenas algumas modificações quanto à capacidade de processamento de material, armazenamento, adição de dispositivos eletrônicos para coleta e controle de dados, mas falando de sistema de colheita a máquina sofreu poucas alterações.

A grande maioria das colheitadeiras convencionais estão entre as classes 4 e 6 e mais recentemente colheitadeiras maiores que podem chegar até a classe 8 (Tabela 1).

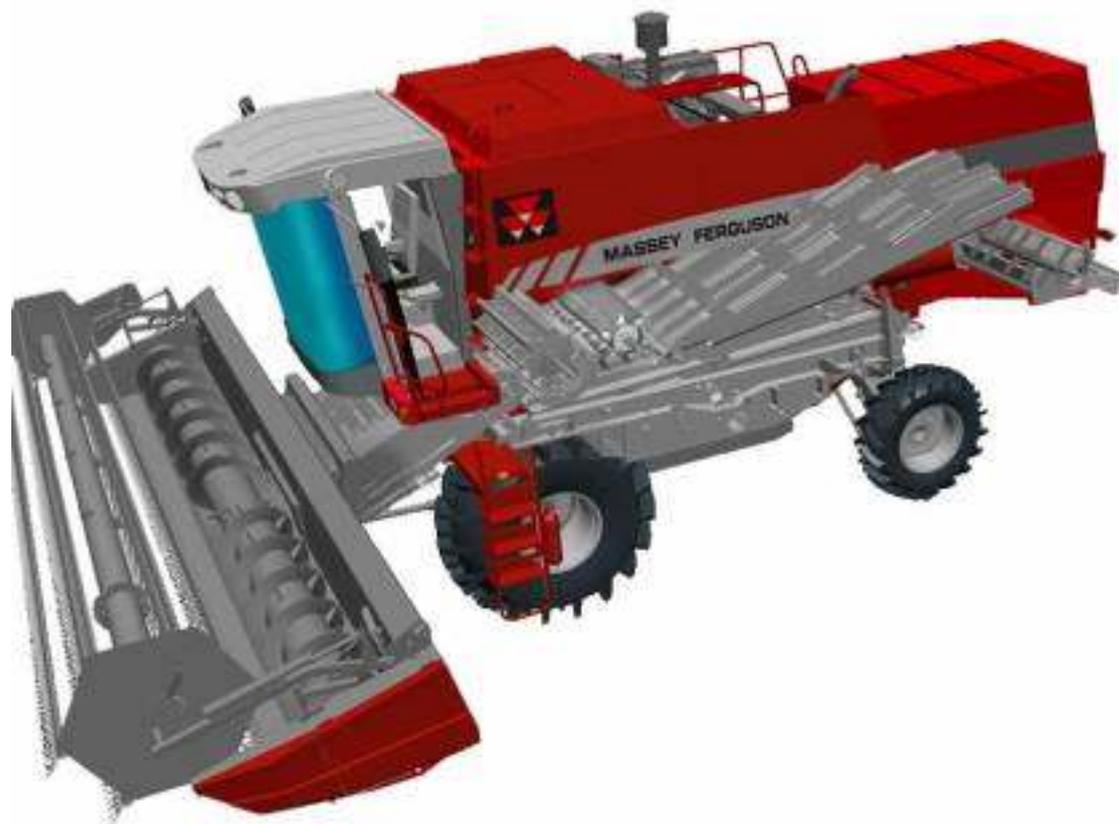


Figura 11 Colheitadeira convencional Massey Ferguson MF32
Cedido por: (AGCO Corporation)

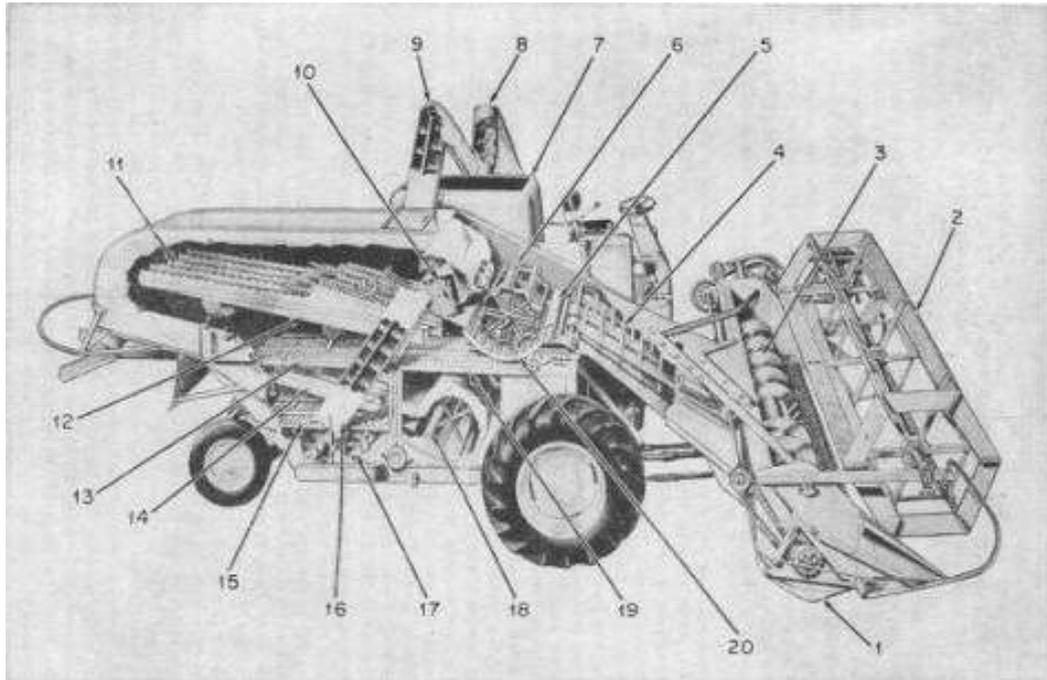


Figura 12 Colheitadeira convencional Massey Ferguson

Fonte: (RICHEY *et al.*, 1961)

O Quadro 1 descreve os componentes da colheitadeira convencional.

Quadro 1 Componentes das colheitadeiras convencionais dados na Figura 12

Nº Componente	Descrição
1	Plataforma de Corte
2	Molinete
3	Helicóide Transportador
4	Canal Alimentador
5	Barra Batedora
6	Cilindro de Alta Inércia
7	Tanque Granelero
8	Tubo Descarregador
9	Elevador de Grãos
10	Cilindro Batedor Traseiro
11	Saca-Palhas
12	Bandeja de retorno do Saca-Palhas
13	Peneira Superior
14	Bandeja Transportadora da Peneira
15	Peneira Inferior
16	Elevador de Retrilha
17	Helicóide Transportador
18	Ventilador
19	Bandeja do Cilindro de Alta Inércia
20	Concavo

2.5. Colheitadeira Axial Transversal

No sistema de colheita transversal o sistema de trilha encontra-se transversalmente ao corpo da máquina. Chama-se este sistema de *Normal Flow* ou Fluxo Normal, dá-se este nome, pois, a idéia principal é que o material entre perpendicularmente ao cilindro.

Após ser alimentado pela plataforma e seguir pelo canal alimentador, que tem a peculiaridade neste sistema, de alimentar o cilindro de inércia pelo lado direito da máquina, o material segue o fluxo normal que a inércia do cilindro proporciona. Convenciona-se observar a máquina como se fosse o operador sentado ao assento, para termos como referencial qual é o lado direito e esquerdo da máquina, sendo assim, imaginando que estamos olhando a máquina pelo lado esquerdo, o sentido de rotação é anti-horário fazendo com que o material se desloque do lado direito ao lado esquerdo. Isto faz com tenhamos uma distribuição homogênea após o cilindro (Figura 13).

Segundo Culpin (1986), testes mostram que uma colheitadeira com sistema transversal bem ajustada tem menores perdas do que as colheitadeiras com sistema convencional que utilizam saca-palhas, mesmo operando em velocidades maiores.

A última etapa da colheita realizada na colheitadeira é a limpeza e esta é feita por peneiras planas. No Quadro 2 os componentes desta máquina.

Quadro 2 Componentes das Colheitadeiras Transversais demonstrados na Figura 13.

Nº	Descrição
1	Tanque Graneleiro
2	Rotor Transversal
3	Helicóide Distribuidor
4	Bandeja Transportadora da Peneira
5	Tubo Descarregador
6	Rolo Acelerador
7	Peneiras Planas
8	Ventilador
9	Canal Alimentador

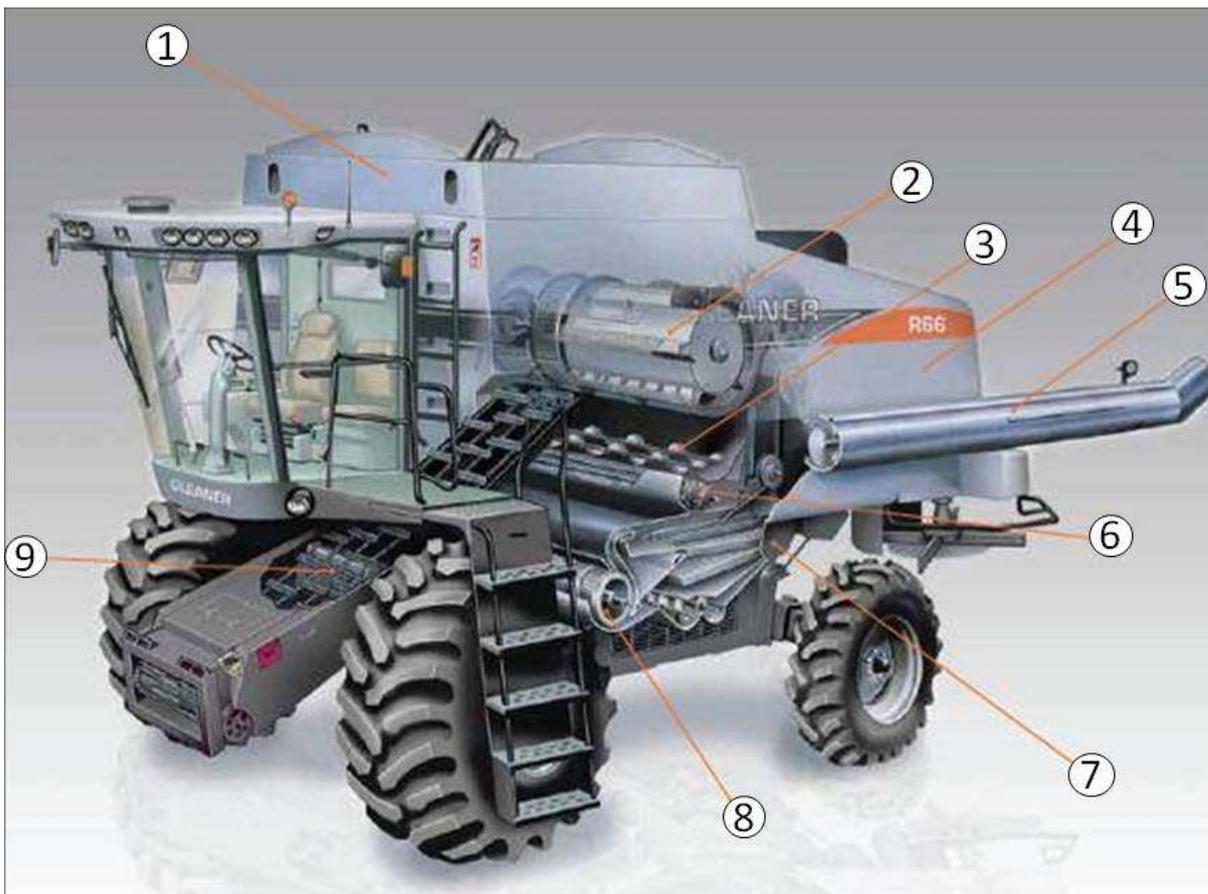


Figura 13 Colheitadeira Transversal Gleaner
Cedido por: (AGCO Corporation)

Uma desvantagem deste tipo de sistema é que, para que a trilha seja eficiente, o material deve permanecer por um período adequado e percorrer uma distância mínima sobre o rotor para que possa ser trilhado, para que o rotor tenha um comprimento satisfatório a largura da máquina precisa comportar este rotor. A maioria das máquinas com o sistema de trilha transversal, possuem uma largura maior que as demais que utilizam outros sistemas de colheita.

2.6. Colheitadeira Axial Longitudinal

O sistema de colheita longitudinal visto na Figura 14 é muito semelhante ao sistema de colheita convencional, principalmente quanto à limpeza, as diferenças estão no sistema de trilha e separação. No sistema de colheita longitudinal os componentes relacionados com a trilha e separação estão dispostos no sentido longitudinal da máquina, uma grande vantagem deste sistema é a distribuição de peso e a capacidade de trilhar melhor o material em terrenos inclinados.

O sistema de colheita longitudinal ocupa menos espaço que o sistema com saca-palhas e como já foi dito sofre menos com a influência imposta pelo relevo, mas a principal vantagem do sistema longitudinal está na aceleração imposta pela rotação ao material a ser separado, enquanto o sistema com saca-palhas acelera o material de duas a três vezes a força da gravidade, o sistema com rotor pode acelerar até quinze vezes devido à aceleração centrífuga imposta pela velocidade angular.

Existem variações quanto a este sistema, alguns usam dois rotores, pois com diâmetro menor a velocidade angular torna-se maior, no entanto o custo de utilizar dois rotores é mais elevado, outros ao contrário utilizam apenas um rotor e com isto um menor custo agregado. A diferença de desempenho não é tão significativa com um ou dois rotores, mas esta diferença existe.

Este sistema teve uma ótima aceitação nos Estados Unidos, no entanto este fato não se repetiu na Europa, o principal motivo é que na Europa as lavouras possuem mais *MOG* do que nos Estados Unidos.

A limpeza é realizada pelo conjunto de peneiras que tem a função de finalizar a separação dos grãos e do *MOG*. Os componentes que fazem parte deste das colheitadeiras longitudinais podem ser vistos no Quadro 3

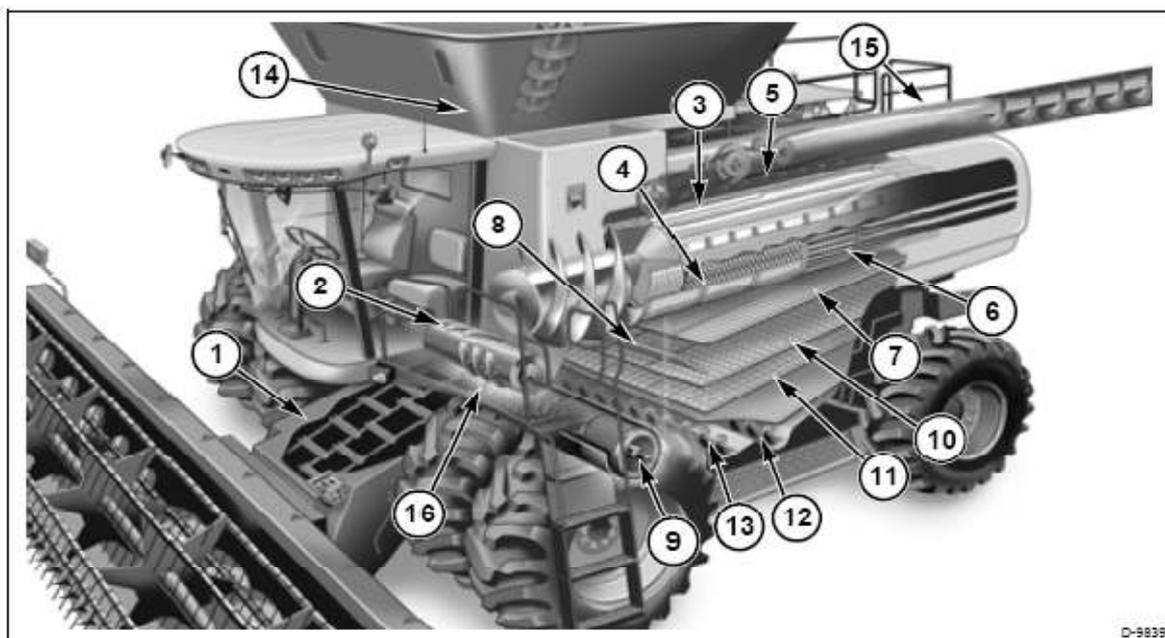


Figura 14 Colheitadeira Longitudinal MF9790

Cedido por: (AGCO Corporation)

Quadro 3 Componentes das Colheitadeiras Longitudinais dados na Figura 14

Nº	Descrição
1	Canal alimentador
2	Cilindro acelerador
3	Rotor de trilha e separação
4	Côncavos
5	Grelhas
6	Grelhas
7	Bandeja do rotor
8	Tubo Descarregador
9	Ventilador
10	Peneira superior
11	Peneira inferior
12	Helicóide de retrilha
13	Helicóide de grão limpo
14	Tanque graneleiro
15	Tubo descarregador
16	Caixa de pedras

Um ponto negativo encontrado neste sistema ocorre quando esta máquina colhe em lavouras com muita palha úmida ou com muito *MOG* verde, colhendo em plantações como estas, devido à quantidade excessiva de material ou o maior coeficiente de atrito ocasionado pelo material verde ou úmido, a potência consumida na trilha, pode chegar a níveis altíssimos, inclusive gerando um déficit de potência em motores com até 450 CV. Para que isto não ocorra a velocidade de avanço desta máquina deve ser reduzida fazendo com que colheitadeiras convencionais, somente nesta situação, sejam mais eficientes.

Este sistema serviu de base para o sistema híbrido o qual abordaremos a seguir.

2.7. Colheitadeira Híbrida

O sistema híbrido (Figura 15) como próprio nome diz, utiliza características de outros dois sistemas, a trilha segue a mesma linha dos sistemas convencionais e a separação segue os sistemas axiais.

Comparativamente com sistema convencional são utilizados o cilindro de trilha conjuntamente com o côncavo e o batedor traseiro, com relação ao sistema longitudinal podemos relacionar a separação que ocorre pela utilização separador rotativo, rotor longitudinal e das grelhas.

Com relação ao sistema de limpeza esta máquina utiliza peneiras planas.

A vantagem deste sistema é poder trabalhar em lavouras onde o *MOG* é muito alto, pois, os rotores separam melhor os grãos em lavouras com estas condições

No Quadro 4 estão relacionados os componentes desta máquina.



Figura 15 Colheitadeira Delta Sistema Híbrido
Cedido por: (AGCO Corporation)

Quadro 4 Componentes das colheitadeiras Híbridas dados na Figura 15

Nº Componente	Descrição
1	Canal Alimentador
2	Cilindro de trilha e Côncavo
3	Batedor Traseiro
4	Rolo Acelerador
5	Tanque Graneleiro
6	Rotor separador
7	Tubo descarregador
8	Peneiras
9	Elevadores de grãos
10	Ventilador

2.8. Separação em linha

O sistema de cilindros em linha (Figura 16) foi desenvolvido pela empresa Class e consiste em diversos cilindros separadores dispostos lado a lado. Ao passar

por cada um destes cilindros o material vai se desprendendo e liberando os grãos que são guiados ao bandeirão e posteriormente separados pelas peneiras.

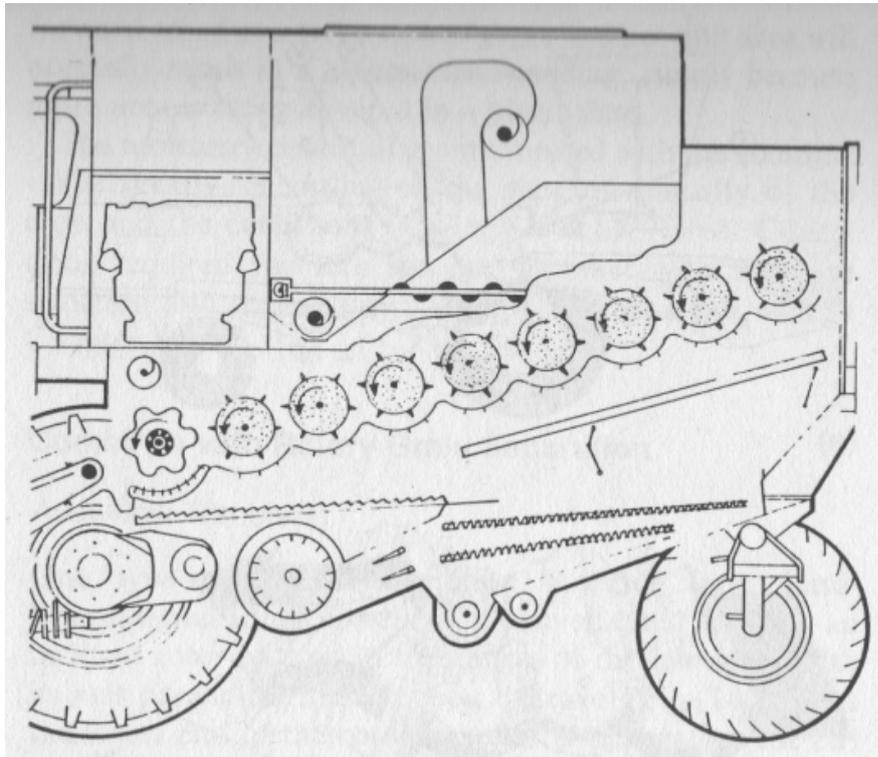


Figura 16 Sistema de cilindros em linha

Fonte: (RICHEY *et al.*, 1961)

O material após passar pelo cilindro de alta inércia e pelo côncavo, passa pelos cilindros separadores que possuem cada um, velocidade e ajuste do côncavo independentes. Igualmente ao sistema que possui rotor separador o material recebe acelerações superiores ao sistema de saca-palhas.

Este sistema de separação não sofre ação dos terrenos inclinados devido à aceleração imposta pelo material.

2.9. Operações fundamentais em uma colheitadeira

As cinco operações fundamentais realizadas em uma colheitadeira independente do sistema de colheita são as seguintes:

1. Corte e alimentação da plataforma de corte.
2. Trilha.
3. Separação do grão e da palha.
4. Limpeza do grão.
5. Armazenamento e descarga do grão.

2.10. Corte e alimentação da Plataforma de corte

Corte e alimentação são as primeiras operações encontradas em uma colheitadeira. Estas são as ações onde o material é direcionado para cima da plataforma pelo molinete e em seguida cortado por um conjunto de navalhas localizados na parte dianteira da plataforma de corte. Após o material cair sobre a mesa transportadora ele é empurrado até o alimentador pela ação de um mecanismo que pode ser tanto um helicóide com dedos ou uma esteira transportadora.

a. Plataforma de corte

A plataforma de corte é o primeiro dispositivo que entra em contato com a planta a ser colhida, a partir deste conjunto de mecanismo teremos o processamento do material.

A plataforma de corte é um equipamento importantíssimo para a colheita de grãos, pois a partir dela a colheitadeira é alimentada. Se a plataforma não estiver adequadamente regulada podem ser gerados inúmeros problemas, posteriormente discutiremos as perdas geradas em uma colheitadeira e abordaremos as regulagens que devem ser contempladas e quais os problemas gerados, se estas não forem observadas.

Alguns tipos de plataforma são: plataforma de grãos rígida, plataforma de grãos flexível, plataforma para colheita de milho, plataforma para colheita de cana, plataforma para colheita de mamona, plataforma para colheita de algodão e plataforma *Draper*.

b. Plataforma Rígida

A principal característica de uma plataforma rígida (Figura 17) é o chassi e a mesa de grãos que não possuem movimento. Estas plataformas precisam colher afastadas do solo, são ideais para culturas altas como, por exemplo, trigo. No trigo (Figura 18) o cacho de grãos está na ponta da planta, e com isso permite que a plataforma colha afastada do solo. Este tipo de plataforma é também indicado para terrenos planos. No Brasil podemos citar como exemplo o estado do Mato Grosso onde possuímos grandes áreas e com pouca inclinação.



Figura 17 Plataforma Rígida
Cedido por: (AGCO Corporation)



Figura 18 Cacho do Trigo está na ponta da planta
Fonte: ("Agronegócios On-line", 2010)

c. Plataforma Flexível

As plataformas flexíveis (Figura 19) possuem um excelente artifício, como o nome diz, são flexíveis. A sua mesa pode flexionar e com isso se deformar e acompanhar os desníveis existentes no solo. A construção deste tipo de plataforma se dá pela adição de diversos segmentos na parte inferior, que dependendo do desnível pode subir ou descer, mantendo-a sempre a uma altura muito baixa, aproximadamente 10 cm do solo,

As plataformas flexíveis possuem na sua parte inferior chapas deslizadoras, estas chapas são fabricadas na maioria das vezes com materiais poliméricos ou com ligas de aço, onde a principal característica destes materiais é a resistência a abrasão, pois como a plataforma “copia” o solo, estas chapas acabam constantemente deslizando o fundo sobre o solo e o desgaste gerado é excessivo. Conjuntamente a estas chapas existem sensores para o controle automático de altura, que ao serem acionados fazem com que a plataforma seja erguida ou tenha seu ângulo de inclinação alterado, fazendo com que ela permaneça a uma altura constante ao solo. Este artifício também faz com que a plataforma fique a maior parte do tempo paralela ao solo, mesmo quando opera em terrenos inclinados ela permanece paralela. Esta plataforma é indicada para terrenos irregulares como, por exemplo, podemos citar cidades como Vacaria no Rio Grande do Sul ou Pato Branco no Paraná, estas cidades possuem grandes desníveis em seus relevos.

Outra característica na utilização deste tipo de plataforma é quanto ao tipo de cereal a ser colhido. Culturas como soja onde as vagens estão muito próximas ao solo, ou principalmente o feijão, que por ser uma espécie de trepadeira, é uma planta onde as vagens nascem rente ao solo, a necessidade de uma plataforma como esta é imprescindível, já que para colher o máximo de vagens a plataforma literalmente deslizará sobre o solo.



Figura 19 Plataforma Flexível
Cedido por: (AGCO Corporation)

d. Plataforma com Esteira (Draper)

As plataformas Draper (Figura 20 e Figura 21) possuem uma evolução em comparação às plataformas rígidas e flexíveis. Este tipo de plataforma não possui um helicóide transportador. Após o material ser recolhido pelo molinete e cortado pelas facas, ele cai sobre a mesa que é composta de diversas esteiras que por sua vez transportam o material no sentido longitudinal da plataforma até o alimentador.

Este tipo de plataforma, como ocorre com as flexíveis, também pode se deformar fazendo com que a plataforma se ajuste ao solo. Outra grande vantagem deste tipo de plataforma é o fato de que ela pode proporcionar um fluxo muito homogêneo de alimentação, já que o material é transportado para o canal alimentador à medida que vai caindo sobre a mesa.

A ausência do helicóide permite uma diminuição no peso da plataforma, isto é uma grande característica, já que sempre se procura uma redução de peso nas colheitadeiras. Outra característica da ausência do helicóide é quanto ao comprimento da plataforma, caso utilize-se helicóides muito compridos, estes necessitam reforços ou mancalização central devido ao longo comprimento para que componente não venha a flexionar.



Figura 20 Plataforma *Draper* não possui helicóide transportador
Cedido por: (AGCO Corporation)



Figura 21 Detalhe da esteira Draper
Cedido por: (AGCO Corporation)

e. Plataforma Combinada

As plataformas combinadas (Figura 22) possuem esteiras e helicóides concomitantemente, como as outras plataformas, após o material ser recolhido e cortado este cai sobre a mesa que possui esteiras (Figura 23) com movimento no

sentido perpendicular a plataforma, carregando-o até o helicóide transportador que o leva para o centro até o alimentador.

Este tipo de plataforma é indicado para lavouras que possuem uma grande massa de material. As esteiras fazem com que o fluxo seja constante, melhorando a alimentação. Não é indicada para colheita de cereais que possuem vagens muito baixas já que estas plataformas são construídas em chassis rígidos.



Figura 22 Plataforma combinada Powerflow

Cedido por: (AGCO Corporation)

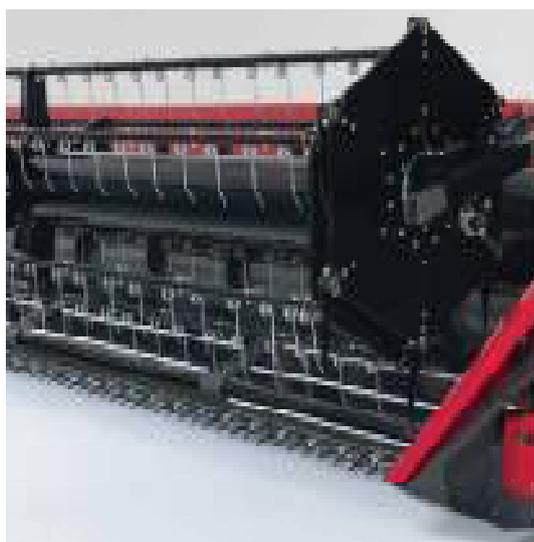


Figura 23 Detalhe da esteira transportadora

Cedido por: (AGCO Corporation)

f. Plataforma para Milho

Estas plataformas são dispositivos especiais, a colheita do milho não pode ser realizada como as colheitas de grãos, pois, o caule da planta do milho e a maneira como as espigas estão fixadas nas plantas são totalmente diferentes e muito mais fortes do que as demais.

As plataformas de milho, (Figura 24 e Figura 25) possuem unidades de colheita (Figura 26) e estas unidades são denominadas linhas. Estas linhas são dispostas na plataforma semelhante ao espaçamento realizado no plantio. Como exemplo a variação da distância existente entre cada linha pode ser de 40 a 90 cm. A denominação das plataformas se dá pelo número de linhas e pelo espaçamento destas linhas, por exemplo, uma plataforma 12L45 (Figura 25) possui 12 linhas com o espaçamento de 45 cm entre elas.

As ações realizadas por esta plataforma para colher o milho são as seguintes: o caule entra no centro da unidade de colheita, é arrastado por uma corrente transportadora até a parte traseira da unidade e conjuntamente puxado para baixo, quando a espiga chega na parte superior da unidade ela é arrancada pelos helicóides debulhadores (Figura 27) caindo sobre a mesa de plataforma e transportada para o centro até o canal alimentador.

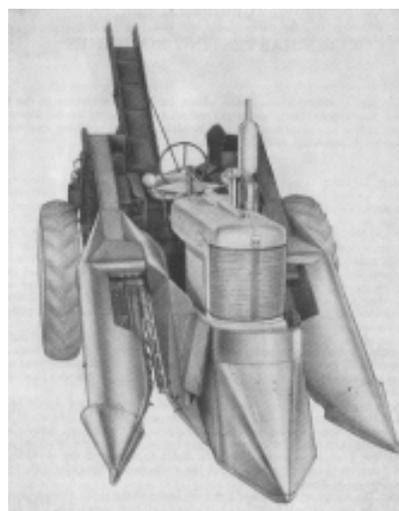


Figura 24 Colheitadeira de 1952 utilizando plataforma de milho com duas linhas

Fonte: (RICHEY *et al.*, 1961)



Figura 25 Plataforma de milho atual com 12 linhas
Cedido por: (AGCO Corporation)

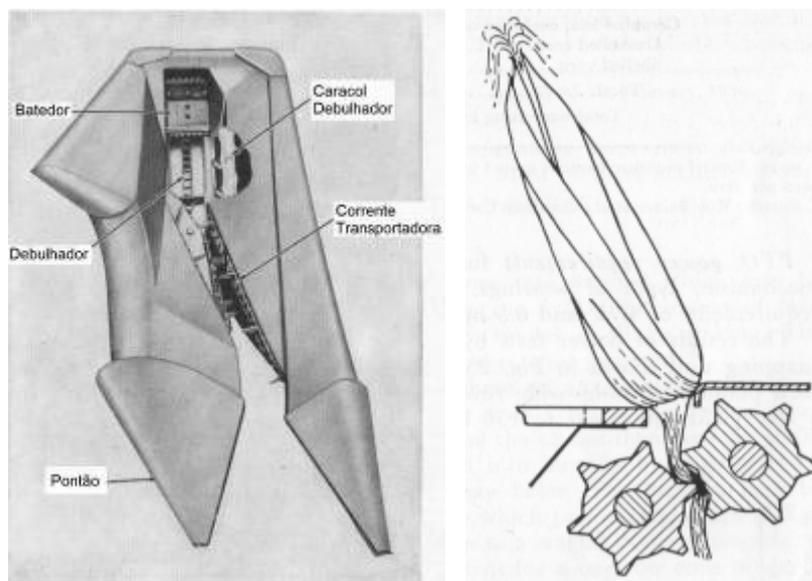


Figura 26 Unidade de colheita e espiga sendo puxada
Fonte: (RICHEY *et al.*, 1961)

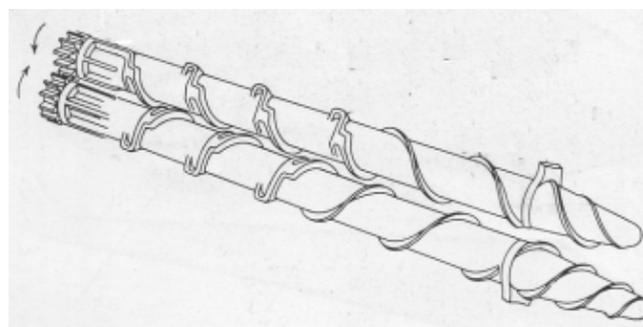


Figura 27 Helicóides debulhadores
Fonte: (RICHEY *et al.*, 1961)

g. Plataforma para Mamona

Segundo a Embrapa (SILVA, O.; MILANI, 2010) a colheita da mamona por ser uma fruta muito frágil necessita alguns cuidados especiais, no caso da plataforma (Figura 28) é um dispositivo muito semelhante à colheita de milho, pois este precisa, também, puxar a planta para baixo e arrancar os frutos. Alguns apêndices são adicionados a plataforma de mamona para conduzir os frutos e transportá-los.



Figura 28 Plataforma de mamona

Fonte: (SILVA, O.; MILANI, 2010)

2.11. Componentes das plataformas

Os componentes básicos de uma plataforma são os seguintes:

- Chassis
- Barra de facas
- Molinete
- Helicóide transportador ou esteira

a. Chassis

O chassi da plataforma é responsável por suportar os demais componentes, é nele que estão fixados os mecanismos de acionamento e de funcionamento da plataforma e também é o chassi que faz a ligação entre a plataforma e o canal alimentador.

b. Barra de Facas

A barra de facas é um dispositivo onde estão fixadas diversas navalhas (Figura 29-1), a sua função é cortar o material a ser colhido.

A barra de facas é acionada por uma caixa (Figura 29-2) com movimento oscilatório e pode chegar até 500 rpm. Conjuntamente com as facas são afixados os dedos (Figura 29-3 e Figura 30) que servem de proteção e suporte para as navalhas, os dedos são na maioria das vezes feitos com ferro fundido. Eles impedem que rochas ou pedaços de madeira entrem em contato com as facas o que acarretaria porventura em algumas quebras.

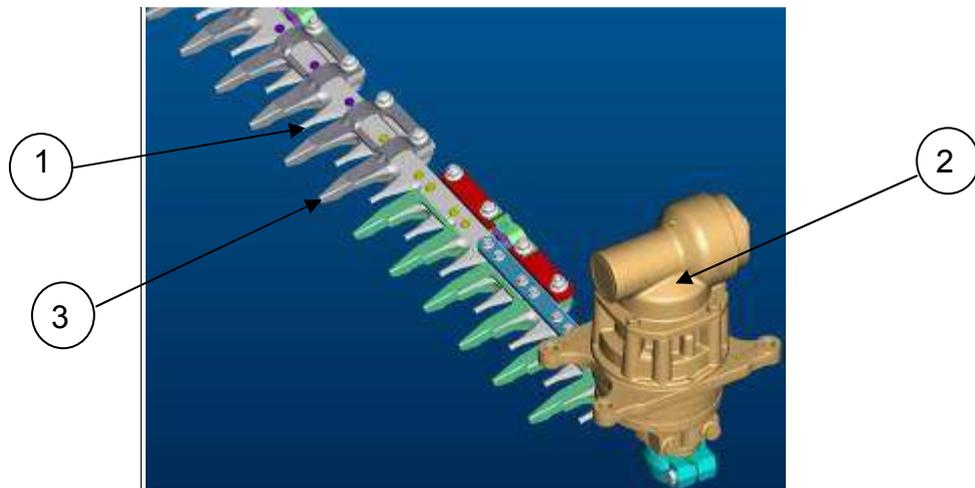


Figura 29 Barra de facas, dedos e Caixa de transmissão

Cedido por: (AGCO Corporation)



Figura 30 Dedo Fundido

Cedido por: (AGCO Corporation)

c. Molinete

O molinete que pode ser visto na Figura 31 é um mecanismo na forma de um cilindro com aproximadamente 1 m de diâmetro. Este possui de cinco a seis barras onde são fixados alguns “dedos” (Figura 32), estes dedos são feitos de metal ou

material polimérico. Um outro tipo de molinete é o de barras, a diferença do anterior está na ausência de dedos. As barras também são um pouco diferente, no molinete que possui dedos, as barras são cilíndricas já no de barras estas são perfis de chapas.

O molinete tem a função de puxar o material para cima da plataforma para que seja cortado pela barra de corte e caia sobre a mesa da plataforma.

A rotação de funcionamento do molinete, varia 0 a 80 rpm. Se o molinete estiver muito lento o material pode ser cortado e não ser adequadamente puxado para a plataforma, se este estiver muito rápido, pode bater exageradamente nas vagens da planta fazendo com que esta se quebre lançando os grãos ao solo e aumentando as perdas.

Uma boa velocidade do molinete é quando se tem a impressão de que o molinete está puxando a colheitadeira.



Figura 31 Molinete com dedos de plástico.

Fonte: (MF RURAL, [S.d.])



Figura 32 Dedo fabricado em plástico e em arame

Fonte: ("Unitec", 2010)

d. Helicóide ou Esteira Transportadora

O helicóide (Figura 33) e a esteira transportadora são responsáveis pelo transporte do material que cai sobre a mesa da plataforma e precisa ser encaminhado até o canal alimentador.

Este é um tubo cilíndrico com uma helicóide na parte externa, seu diâmetro é de aproximadamente 60 cm e com alguns dedos retráteis distribuídos sobre o tubo. Em alguns casos estes dedos são distribuídos ao longo de todo o tubo e em outros casos eles estão apenas no centro. A função destes dedos é movimentar o material. A rotação de trabalho do helicóide varia entre 120 e 160 rpm.



Figura 33 Helicóide e dedos retráteis

Cedido por: (AGCO Corporation)

No caso da esteira transportadora encontrada nas plataformas Draper (Figura 34) a função é a mesma, transportar o material para o centro até o canal alimentador. Em plataformas que utilizam a esteira, o fluxo de material transportado é mais homogêneo, pois, com o helicóide dependendo da posição do material sobre a plataforma e da posição em que o helicóide se encontra pode ocorrer um acúmulo que será posteriormente carregado de uma só vez. Com a esteira não existe acúmulo já que todo o material que cai é transportado instantaneamente.

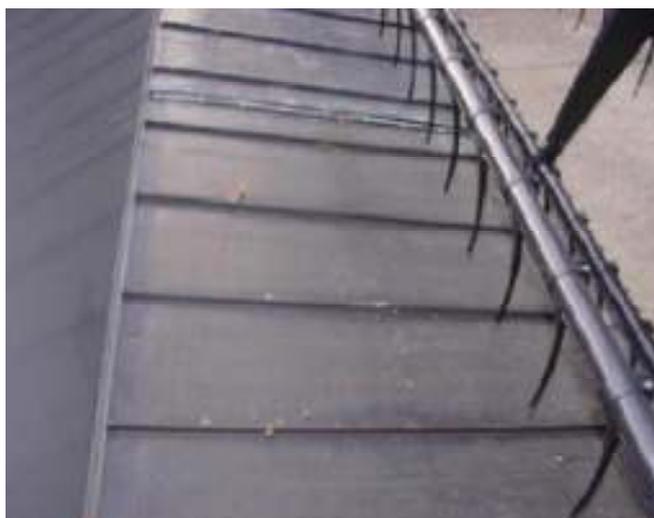


Figura 34 Detalhe da esteira da plataforma Draper
Cedido por: (AGCO Corporation)

2.12. Canal Alimentador

O canal alimentador que pode ser visto na Figura 35a é responsável por transportar o material recolhido pela plataforma para o interior da colheitadeira. Este dispositivo é constituído de uma corrente transportadora Figura 35b composta por diversas barras que levam o material. Além disto, tem uma característica muito importante, pois, além do transporte este também é responsável por suportar a plataforma.

Com relação à plataforma devemos citar um diferencial, o canal alimentador possui um adaptador (Figura 36) que faz a variação angular da plataforma, este adaptador pode girar a plataforma em um ângulo total de aproximadamente 10 graus. No caso das colheitadeiras de arroz irrigado (Figura 37) este adaptador não possui variação angular, pois, nesta lavoura a colheita é realizada com plataformas rígidas e em regiões planas. Como o cacho da planta de arroz está alto com relação

ao solo e a declividade do relevo é praticamente zero, o adaptador não necessita desta variação angular.

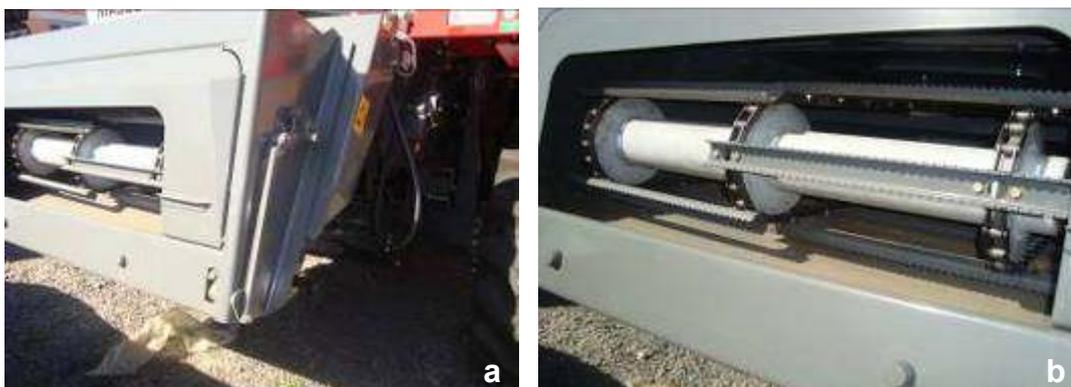


Figura 35 Canal alimentador (a) e corrente transportadora (b)
Cedido por: (AGCO Corporation)



Figura 36 Adaptador para plataforma
Cedido por: (AGCO Corporation)



Figura 37 Planicidade da lavoura de arroz
Fonte: ("Câmara Municipal de Agrônômica", 2010)

2.13. Sistema de trilha

No sistema de trilha é onde os grãos começam a ser separados dos demais materiais, (*MOG*) que fazem parte da planta. A partir deste ponto uma perfeita regulagem da máquina define quanto de perda existirá na lavoura ou a qualidade que os grãos terão. A qualidade do grão é definida pelas quebras ou avarias encontradas nos grãos.

2.14. Cilindro de trilha e Côncavo

Estes componentes são responsáveis pela primeira ação durante a trilha, o cilindro de alta inércia (Figura 38a e b), é um componente que gira em alta rotação e arremessam as vagens contra o côncavo, isto faz com que as vagens se quebrem liberando os grãos.

A rotação do cilindro varia entre 150 e 1800 rpm, mas a gama de rotações aplicadas está entre 200 e 1200 rpm. Esta variação está diretamente relacionada com a capacidade de trilha do material. Quanto mais fácil de ser trilhado o material, menor é a rotação necessária para trilhá-lo.

O cilindro pode ser construído de maneiras distintas dependendo da aplicação a que se destina. O cilindro de barras que está presente na maioria das colheitadeiras é o cilindro de alta inércia, utilizado na maioria das lavouras, este possui barras estriadas paralelas, que facilitam a separação dos grãos e das vagens.

Existe uma variação no cilindro batedor, mais uma vez, principalmente relacionado à colheita de arroz. Nesta cultura, devido ao grande volume de palha e da grande massa proveniente deste volume de palha, o batedor ao invés de ser montado com barras é montado com “dentes” (Figura 39 e Figura 40). Dentes são barras metálicas retangulares que são fixadas perpendicularmente ao cilindro e que além de desacelerar o material para o saca-palha. Tem a função de separar ou descompactar o volume de massa para que os grãos tenham como ser separados do *MOG*, separados com mais facilidade.

Além da alteração realizada devido à particularidade da lavoura de arroz, outra particularidade deve ser citada, para a colheita de feijão, as barras do cilindro de trilha precisam ser vulcanizadas. Uma camada de borracha é adicionada para que seja reduzido o impacto sobre os grãos de feijão.

Contrariamente ao arroz onde a casca é extremamente resistente e abrasiva a casca do grão de feijão é muito frágil. Pancadas excessivas ou com muita potência, acabam diminuindo a qualidade e conseqüentemente reduzindo o valor de comercialização do produto.

O côncavo é um conjunto de barras planas onde são fixadas perpendicularmente barras circulares ou arames que podem variar de 3 a 6 mm de diâmetro. O espaçamento e o diâmetro das barras circulares são determinados pelo tamanho do grão que será colhido. Esta variação pode ser exemplificada na colheita do trigo, por ser um grão onde o tamanho é pequeno, é necessária a utilização de um côncavo com arames finos e com o espaçamento menor com relação ao côncavo utilizado para as demais lavouras.

Para exemplificar a ação do cilindro, devemos imaginar como fazemos para tirar a casca do amendoim. A ação de esfregarmos o amendoim com as mãos até que a casca seja retirada é muito semelhante ao trabalho realizado pelo cilindro e pelo côncavo.

Dependendo das condições da lavoura quanto à umidade ou quanto à quantidade de *MOG* presente, a abertura de côncavo precisa ser maior ou menor. Mais detalhes são explicados no item 2.20.

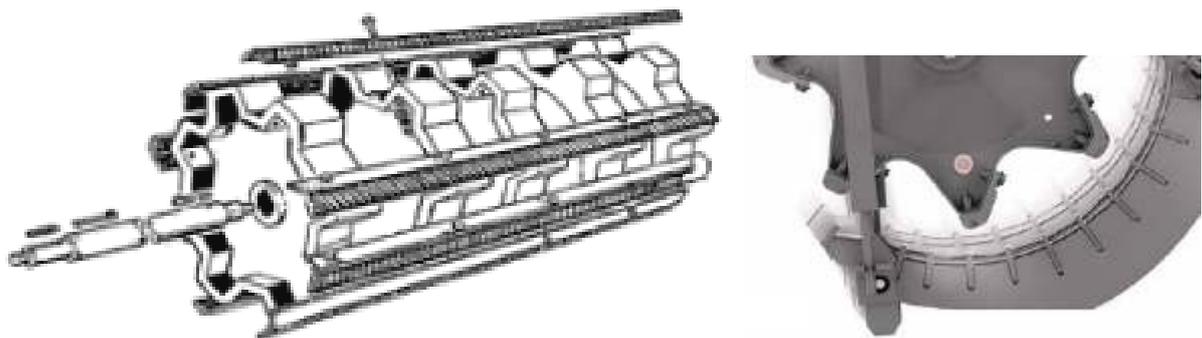


Figura 38 Cilindro de barras
Cedido por: (AGCO Corporation)

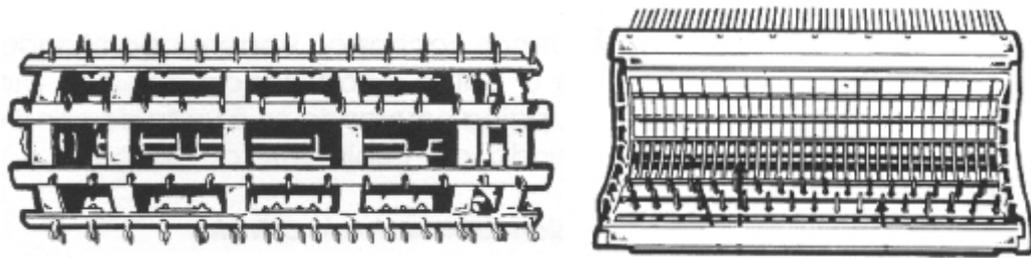


Figura 39 Cilindro e côncavo de dentes

Fonte: (SILVA, J. S. E *et al.*, 2010)

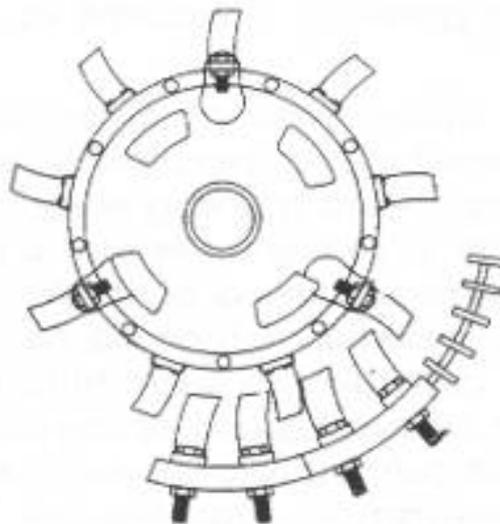


Figura 40 Vista Lateral da montagem do Cilindro e côncavo de dentes

Fonte: (SILVA, J. S. E *et al.*, 2010)

2.15. Batedor traseiro

O batedor traseiro (Figura 41) é um cilindro que contém algumas barras fixadas paralelamente ao redor, a principal característica do batedor traseiro é diminuir a aceleração do material que vem do cilindro de trilha e distribuir homogeneamente o material que será encaminhado ao saca-palhas. O batedor traseiro tem a função de melhorar o fluxo dos grãos enquanto estes se encontram misturado com o *MOG*.

Quando o material sai do cilindro de trilha, este vem em um grande volume e com uma grande densidade, se este seguisse sem ser separado, provavelmente levaria alguns grãos causando um aumento no nível de perda, a função do batedor é diminuir esta densidade facilitando o processo de limpeza.

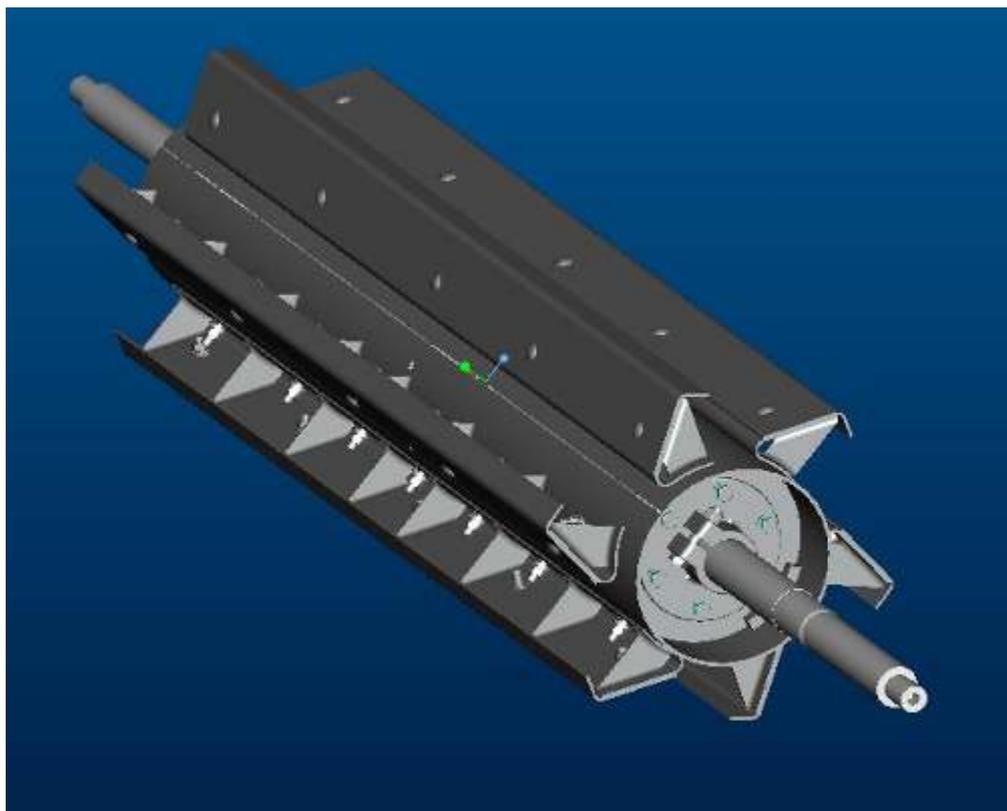


Figura 41 Cilindro Batedor
Cedido por: (AGCO Corporation)

2.16. Terceiro cilindro

O terceiro cilindro é muito semelhante ao batedor traseiro, tem a função de distribuir um pouco mais o material em culturas onde este processo é dificultado. O terceiro cilindro é muito utilizado nas colheitas de arroz irrigado devida à quantidade de palha encontrada nesta lavoura.

2.17. Cilindros longitudinais

Os cilindros longitudinais são equipamentos que possuem integradas as funções de trilha e separação. No início do cilindro temos um helicóide sem-fim que transporta o material de maneira ordenada para a parte intermediária que corresponde à trilha.

2.18. Sistema de separação

Logo após o trabalho do sistema de trilha, uma grande massa de material com a mistura de palha e grãos é enviada ao sistema de separação. É neste sistema da colheitadeira onde são separadas as palhas maiores e os caules das partes menores e dos grãos.

Nas colheitadeiras convencionais a separação é realizada pelo saca-palha (Figura 42). Este é um dispositivo similar a uma caixa, que na parte superior possui algumas chapas em forma de serra e grelhas, que tem a função de transportar e remexer com movimentos oscilatórios o material até o final do percurso. Os espaços existentes na grelha permitem cair os grãos, algumas vagens ainda não trilhadas e os pequenos pedaços de palha. Em alguns casos o fundo do saca-palhas é fechado para que o material seja transportado até a extremidade e em outros o fundo é aberto fazendo com que o material fique constantemente caindo sobre as peneiras.

A palha que for transportada até o final do saca-palhas será colocada para fora da máquina.

No caso das colheitadeiras com rotores longitudinais a separação é realizada no final do rotor onde temos grelhas, este trabalho é semelhante ao trabalho do saca-palhas, o qual deixa passar as palhas menores e os grãos, eliminando as palhas grandes e os caules. Esta é uma grande vantagem das máquinas com rotores, pelo fato de aplicar uma grande aceleração ao material, a separação tende a ser mais eficiente. O saca-palhas pode acelerar o material de duas a três vezes já o rotor pode chegar a quinze vezes a força da gravidade devido à força centrífuga gerada, como já descrito anteriormente.



Figura 42 Saca-Palhas

Cedido por: (AGCO Corporation)

2.19. Sistema de Limpeza

O sistema de limpeza corresponde, praticamente, ao final do ciclo de colheita de grãos. Como foi visto anteriormente, no sistema de separação são encaminhados todos os materiais após serem trilhados, este conjunto de materiais consiste em:

caules, folhas, vagens, grãos e muita palha de diversas dimensões. O material maior como os caules e algumas folhas e palhas grandes são descartados na separação, demais materiais são encaminhados para a limpeza. É no sistema de limpeza onde teremos a efetiva separação do grão da parte mais fina do *MOG*.

O sistema de limpeza é composto por um conjunto de peneiras (Figura 43) com abertura variável, e um ventilador. A maioria dos sistemas consistem em uma peneira superior e uma ou mais peneira inferiores, também chamadas em alguns casos de peneiras de retrilha.

A abertura variável das peneiras permite a passagem de diferentes tamanhos de grãos, isto é necessário, pois, existe grande diferença entre as formas e as dimensões das culturas as quais a colheitadeira está destinada a colher.



Figura 43 Peneira Superior
Cedido por: (AGCO Corporation)

O ventilador tem a função de gerar um fluxo de ar suficiente que possa suspender o *MOG* e pela diferença de densidade permitir que os grãos caiam pelas lacunas das peneiras.

Na grande maioria dos casos o ventilador é composto de uma voluta para gerar pressão ao sistema e um rotor que gera o fluxo de ar. O sistema de ventilação centrífugo é o mais empregado, mas outros sistemas como aceleradores radiais (Figura 44), Sirocco, ventiladores axiais e até sistemas turbinados (Figura 45) são encontrados.



Figura 44 Acelerador Radial

Fonte: (“GLEANER” Combines”, 2010)

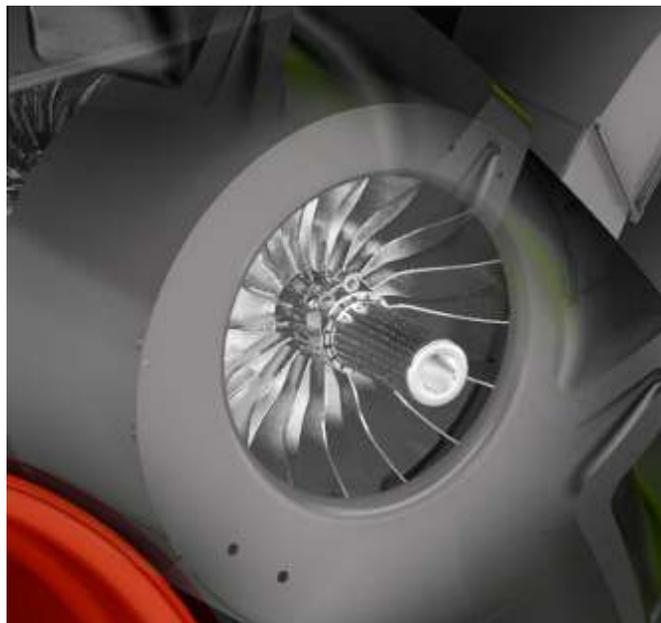


Figura 45 Sistemas de Turbinas

Fonte: (CLASS, 2010)

Alguns sistemas de limpeza são chamados de sistema de dupla cascata (Figura 46). Este sistema se difere dos demais pelo fato de possuir uma ramificação na descarga da voluta, enquanto a maioria dos sistemas a descarga é feita diretamente após a voluta, na dupla cascata a descarga é composta por duas ou mais saídas. Após o material passar pelo saca-palhas ou pelos rotores, este é conduzido até o início da peneira, onde o material recebe um primeiro golpe de ar

proveniente da saída superior da descarga. Com este golpe a palha mais leve é arremessada ao centro da peneira fazendo com que os grãos caiam antes, melhorando assim, o processo de limpeza.



Figura 46 Sistema com descarga dupla
Cedido por: (AGCO Corporation)

Um grande problema encontrado no sistema de limpeza é a utilização das peneiras em terrenos inclinados. Como a máquina acaba colhendo com uma inclinação lateral o material que entra para trilha e é encaminhado para a separação já vem se acumulando no mesmo lado em que a máquina esta inclinada, até este ponto não é tão prejudicial, no entanto a pior situação está quando este chega às peneiras.

O material já vem se acumulando em um lado da máquina, mas ao chegar às peneiras temos duas situações críticas. O material ao receber a aceleração que fará com que ele suba e deixe que os grãos sigam caindo pelas lacunas fica cada vez mais acumulado no canto do corpo da máquina. O fluxo de ar que deveria servir

para gerar um bolsão de ar e elevar o *MOG* sobre as peneiras, acaba não encontrando restrição na zona onde não tem material. Sem a restrição o fluxo tende a seguir o caminho mais fácil e a ação do fluxo acaba perdendo a função.

O isso acarreta é que os grãos não são efetivamente separados por estarem muito acumulados com o restante dos materiais. E acabam sendo expulsos da máquina elevando significativamente o nível de perdas. As perdas encontradas nos terrenos inclinados já são aceitas como sendo maiores do que em outros relevos.

Para evitar estes problemas alguns dispositivos são incorporados ao sistema de limpeza ou configurações totalmente diferentes são criadas para minimizar os efeitos gerados pelos terrenos inclinados, alguns exemplos podem ser vistos no item 3.10

2.20. Regulagens e problemas acarretados

A colheitadeira possui uma série de mecanismos e equipamentos que permitem ajustes, devido à variação das culturas a serem colhidas. Desde a plataforma de corte até o picador de palha⁴ o fluxo do material deve ser o mais equilibrado possível, ou seja, se um dos sistemas não estiver adequadamente regulado, isto gerará algum problema. Vejamos a seguir resumidamente alguns problemas encontrados nas colheitadeiras.

2.21. Velocidade do molinete

Algumas lavouras, devido à escassez de chuvas, aplicação de secantes⁵ ou tempo de permanência da planta na lavoura antes da colheita, ficam com as vagens extremamente secas. Esta situação acarreta em que quando o molinete toca a vagem pode fazer com que as sementes se desprendam e acabem caindo na lavoura. Por este motivo a velocidade que o molinete toca as plantas deve ser aquela a qual consiga direcionar o material para cima da plataforma e não bata nas vagens com tanta intensidade que derrube as sementes.

⁴ Picador de palha: mecanismo colocado no final da colheitadeira que tem a função de reduzir o tamanho da palha que sai e distribuí-las sobre a lavoura.

⁵ Secantes: Produtos químicos aplicados a lavoura para que as folhas verdes sequem e caiam deixando no pé da planta apenas o caule e as vagens, fazendo com que a quantidade de *MOG* diminua.

2.22. Contaminação das lavouras

Em algumas lavouras a má aplicação de herbicidas ou o ataque de uma nova erva daninha, pode fazer com que a quantidade de massa verde que é colhida juntamente com as plantas, prejudique a trilha fazendo com que aumente as perdas ou prejudique o valor do produto devido à quantidade de impurezas.

2.23. Velocidade do cilindro e abertura do côncavo

Conforme citado por Batista *et al.* (2006, p. 3), podemos ver a influência que a velocidade do cilindro e a abertura do côncavo proporcionam aos grãos.

Apesar da sensibilidade das sementes de soja às danificações mecânicas, que ocorre, essencialmente, em consequência dos impactos recebidos do cilindro trilhador, no momento em que passam pelo côncavo, foi possível detectar tendência de redução da qualidade fisiológica com a variação da rotação e abertura do côncavo, para os diferentes períodos de armazenamento das sementes.

Portanto velocidade e abertura do côncavo má ajustadas podem prejudicar a qualidade dos grãos

2.24. Côncavo de dentes

Uma característica negativa do cilindro de dentes é que pelo fato de separar muito mais o material para facilitar o escoamento dos grãos, acaba consequentemente picando a palha muito mais e em pedaços muito menores. O fato de esta palha estar em pedaços tão pequenos acaba carregando mais as peneira, dificultando a limpeza dos grãos.

2.25. Velocidade do ventilador

No sistema de limpeza a pressão do fluxo de ar gerada pelo ventilador é um parâmetro muito importante já que para que a limpeza ocorra de maneira correta o material existente sobre as peneiras deve ficar suspenso, fazendo com que os grãos caiam. Uma pressão excessiva faz com que os grãos sejam soprados para fora da máquina juntamente com o restante do *MOG*. Uma pressão deficiente faz com que os grãos sejam carregados para fora da máquina juntamente com o *MOG* pelo

movimento oscilatório das peneiras. Exemplificando, como a pressão é insuficiente para elevar o material, não ocorrerá o efeito realizado pela diferença de densidade, fazendo com que os grãos sejam carregados juntamente com o restante do *MOG* até o final das peneiras e por sua vez, sendo jogado para fora aumentando com isso o índice de perdas.

2.26. Abertura das peneiras

Seguindo o mesmo raciocínio do sistema do ventilador, a regulação da abertura das peneiras deve permitir apenas a passagem dos grãos. A má regulação pode acarretar em contaminação por impurezas, palhas, pequenos pedaços de vagens, folhas, em demasia no tanque graneleiro. Se as peneiras estiverem muito fechadas, os grãos terão dificuldade em passar, sendo transportado até o final e conseqüentemente, sendo jogado para fora da máquina. Se a abertura estiver regulada muito aberta, além da passagem dos grãos, detritos excessivos irão acompanhar.

2.27. Processo de desenvolvimento de produto.

Faz-se necessário apresentar a revisão de alguns autores com relação ao desenvolvimento de produtos, passando também por algumas metodologias ou ferramentas que auxiliam neste processo.

Como definição pode-se dizer que um projeto é um esforço temporário realizado para criar um produto ou serviço único.

Temporário, pois cada projeto tem início e fim, onde o final pode ser descrito de duas maneiras, primeira, quando todos os objetivos são alcançados. Segundo quando os objetivos não têm condições de serem alcançados. A duração de um projeto é finita, no entanto alguns projetos podem perdurar por vários anos como, por exemplo, o caso da Mars Pathfinder, projeto de exploração de Marte pela NASA. (DINSMORE; CAVALIERI, 2007)

Único, significa que o produto ou serviço é diferente, a repetibilidade dos elementos não muda a singularidade fundamental do trabalho do projeto. (PMI, 2001)

Rozenfeld *et al.* (2006) desenvolveu um modelo unificado de processo de desenvolvimento de produto por etapas, são três principais e estas por sua vez

subdivididas. As principais são: Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento. (Figura 47)

- Pré-Desenvolvimento: É nesta fase que são definidos o plano de negócio, os indicadores para monitoramento e as análises financeiras.

- Desenvolvimento: É nesta fase onde está o maior período de atuação no projeto, e nesta existem ainda quatro sub-etapas: Projeto Informacional, Conceitual, Preliminar e Detalhado.

Na informacional são coletadas as informações, necessidade e desejos dos clientes. Na etapa Conceitual como o próprio nome diz é desenvolvido o conceito a ser seguido. Na fase Preliminar são elaboradas as formas, componentes, processos de fabricação, entre outros. Já na sub-etapa Detalhada, é onde são estipuladas as tolerâncias e dimensões dos componentes.

- Pós-Desenvolvimento: Nesta etapa é analisado o acompanhamento que o produto receberá e a maneira que será retirado do mercado, e nesta também que deve ser dimensionado os recursos necessários para o acompanhamento do produto atuando em correções de falhas ou melhorias sugeridas pelos usuários.

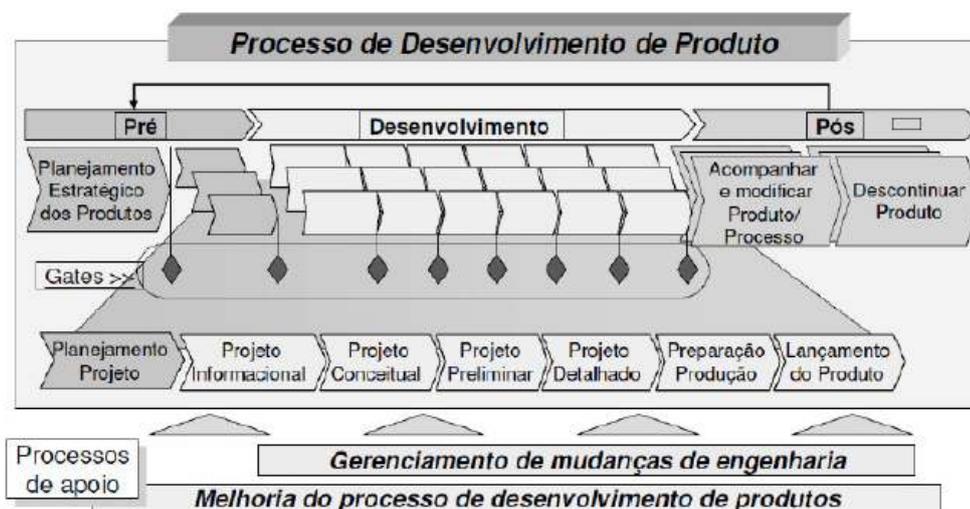


Figura 47 Processo de desenvolvimento de produto

Fonte: (ROZENFELD *et al.*, 2006)

Segundo Pahl *et al.* (2005) o processo de projeto pode ser dividido nas quatro etapas mostradas na Figura 48, muito semelhante ao que foi desenvolvido por Rozenfeld *et al.* (2006)

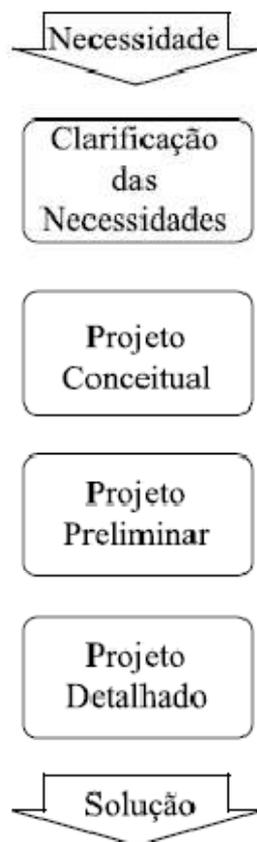


Figura 48 Etapas do Processo de Projeto

Fonte: (PAHL *et al.*, 2005)

Segundo Dinsmore e Cavalieri (2007) para facilitar a elaboração do projeto este também pode ser dividido em dois ciclos:

Ciclo de vida do projeto o qual consiste em um conjunto de diversas fases do projeto, estas podem ser exemplificadas como: Viabilidade, Planejamento, Desenho, Construção e Entrega.

O outro ciclo seria o de gerenciamento de projeto, este descreve o conjunto de processo que devem ser seguidos

De acordo com Pmi (2001) os processos podem ser classificados em cinco grupos: Iniciação, Planejamento, Execução, Monitoramento/Controle e Encerramento.

Os autores Wheelright e Clark (1992) também demonstram o processo de desenvolvimento em fases e ciclos como pode ser visto na Figura 49.

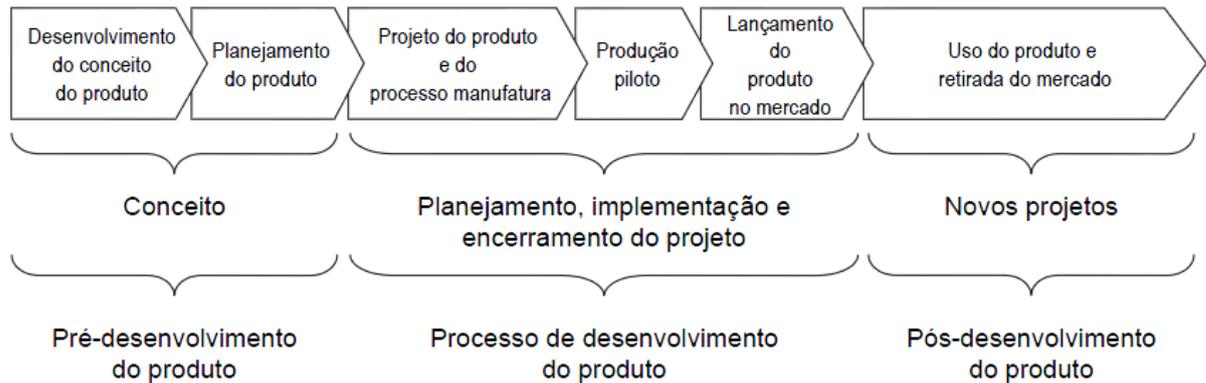


Figura 49 Projeto de desenvolvimento e as fases do ciclo de vida

Fonte:(WHEELWRIGHT; CLARK, 1992)

Muitos fatores podem levar ao desenvolvimento de novos produtos ou adequação dos produtos já existentes às necessidades, reprojeto-os. Dentre estes fatores e que são divididos como fatores internos e externos conforme citado por Rossetti *et al.* (1983) estão:

- Fatores internos: capacidade financeira, tecnológica, capacidade para suprir, marketing, produção e fatores humanos.
- Fatores externos: mercados, concorrência, canais de distribuição, tecnologia, economia, governo, forças sociais, trabalhistas, políticas e internacionais.

Estes fatores influenciam diretamente na tomada de decisão de quais produtos ou quais características serão englobadas no projeto.

Para qualquer tomada de decisão que assegure um melhor resultado, deve-se envolver os seguintes setores da companhia:

- pesquisa e desenvolvimento;
- engenharia de produto e engenharia de produção;
- departamento financeiro;
- planejamento da empresa e marketing.

Estes setores tomam as decisões de quais produtos ou quais características devem ser implementadas.

Segundo Luck (1975) pode-se determinar três níveis de decisões que devem viabilizar o projeto, são eles: os objetivos, as políticas e as estratégias. Em todos estes níveis as tomadas de decisões são seguidas de problemas e estes são

proporcionais à complexidade do produto, os critérios de decisão e a quantidade e qualidade das informações que acompanham o projeto.

Quando os objetivos e as metas tiverem sido estipulados os parâmetros de avaliação devem servir de embasamento para que o produto seja projetado, alguns destes parâmetros são:

- comparação dos produtos entre si, em termos históricos;
- exame das oportunidades nos mercados atuais;
- exame das oportunidades nos mercados adjacentes;
- previsões de lucros a serem alcançados,
- comparação dos resultados da avaliação com os objetivos da empresa;

Atualmente com um mercado cada vez mais acirrado o desejo do cliente é o objetivo a ser focado, pois esta competição faz com que os custos estejam cada vez mais próximos, sendo assim o preço não é mais o principal parâmetro de escolha.

Conforme descrito por Pahl *et al.* (2005) alguns estímulos provenientes do mercado ou da conjuntura incluem:

- Mudança das vontades do mercado, por exemplo, novas funções, novas aparências;
- Estímulos e críticas por parte dos consumidores;
- Vantagens técnicas e econômicas em relação aos produtos dos concorrentes;
- Acontecimentos político-econômicos, por exemplo, aumento do preço do petróleo, diminuição das reservas naturais, restrições no transporte;
- Impacto ambiental e reciclagem de produtos ou processos existentes;

De acordo com a execução do planejamento apresentado por Pahl *et al.* (2005), as fases de planejamento e concepção do produto são subdivididas em diversas atividades específicas para cada uma das fases. O planejamento do produto inicia com a análise dos ambientes internos e externos, seguido pela estratégia e busca de idéias, até a seleção de idéias e definição dos produtos. Já na fase de concepção, onde as definições dos produtos já foram realizadas, iniciam-se os esclarecimentos sobre as especificações de requisitos internos e externos através

da lista de requisitos que devem ser utilizados para o desenvolvimento e detalhamento do produto.

2.28. Metas de projeto

Conforme descrito por Baxter, (1998) as metas de projeto têm a função de balizar o desenvolvimento do produto. Estas metas seguem alguns níveis de complexidade onde os objetivos da empresa estão na base, pois são simplesmente o que os projetos devem abranger, em seguida temos as metas técnicas e no topo da complexidade e do nível de detalhamento estão às especificações para produção, é nesta fase que estão inseridos os desenhos dos componentes do produto, com dimensões e características de produção.

Estas metas podem ser especificadas de duas formas: pelas exigências do consumidor, que contém as características necessárias para a aceitação do produto no mercado, e estas são condições obrigatórias para que o projeto possa ser desenvolvido, se o produto não alcançar este critério mínimo este deve ser descartado. E a outra maneira de especificar as metas pode ser através dos desejos, que são as condições que diferem um produto de outro no mercado, adicionando a este a necessidade de compra. Pode ser dito que as metas determinadas através dos desejos podem ser consideradas como características secundárias que agregam valor ao produto já as exigências são as funções básicas de funcionamento do produto.

Para seleção das metas deve ser determinado o que o produto deve ser e o que deveria ter e para isto algumas ferramentas podem ser utilizadas. Tais ferramentas serão demonstradas nos próximos tópicos.

2.29. Geração de idéias

Para o processo de geração pode ser utilizada as técnicas de Brainstorming⁶ e Brainwriting.

O Brainstorming é uma técnica onde um grupo de pessoas se reúnem para gerar idéias. Este grupo consiste em um líder que será responsável por orientar o

⁶ Brainstorming: Termo cunhado por Alex Osborn em 1953, autor do livro O Poder Criador da Mente

grupo, ele deve também deixar claro qual é o problema a ser resolvido. Os demais participantes darão idéias, e o princípio é quanto mais melhor.

O Brainwriting segue a técnica do Brainstorming, no entanto nesta variação as idéias não são faladas, mas sim escritas. Para o Brainwriting há uma versão mais estruturada onde são utilizadas folhas com várias colunas. O primeiro membro do grupo coloca cerca de dez idéias e em seguida passa para o próximo que adicionará mais idéias na segunda coluna procurando fazer melhorias nas idéias da primeira coluna.

2.30. Análise das funções do produto

Segundo Baxter (1998) a análise das funções do produto mostra como as funções são percebidas pelos usuários. Esta análise mostra o conhecimento do produto de forma sistemática e lógica. Esta técnica pode ser usada tanto para produtos existentes, quanto para produtos em projeto. Com todos os sistemas descritos nos itens anteriores fica prático realizar esta análise.

O procedimento para a utilização consiste em gerar uma lista revisando as funções do produto a ser analisado. Para que o resultado seja mais preciso deve-se perguntar o que o produto faz e não o que o produto é. Posteriormente deve se ordenar estas funções em uma árvore funcional colocando no primeiro nível a função principal, que no caso das colheitadeiras será colher grãos. Usar duas ou três palavras sempre tendo um verbo e um substantivo. Após a função principal teremos as funções básicas e logo as funções secundárias.

Para avaliar as funções da árvore Figura 50 pode-se usar a técnica “Como? – Por que?”, esta técnica consiste em perguntar a partir da função principal, como? até o final da árvore e em seguida retorna-se pelo mesmo ramo fazendo a pergunta, por que?

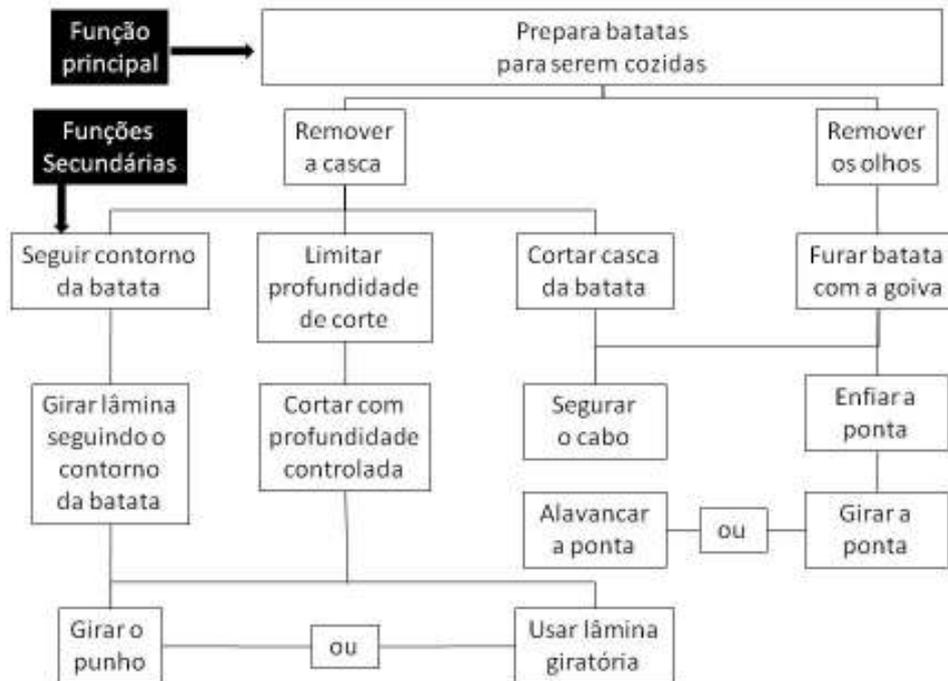


Figura 50 Arvore funcional de um descascador de batatas

Fonte: (BAXTER, 1998)

Muito semelhante apresentado por Fiod (1993) o projeto é dividido em tarefas e sub-tarefas (Figura 51) e nestas está inserida também à análise de funções do produto.

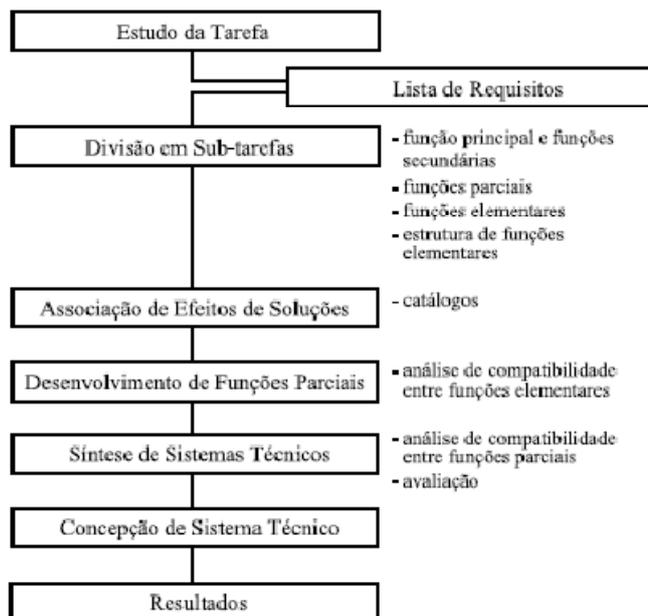


Figura 51 Metodologia de projeto

Fonte:(FIOD, 1993)

2.31. Análise de similares

Um dos estímulos para o projeto descrito por Pahl *et al.* (2005) é a vantagem técnica, para isto análise de similares vem auxiliar para que os produtos possam ser comparados. Segundo Marques (2008) ao tentar encontrar soluções para problemas ou novas alternativas para os produtos, o primeiro passo é a realização da análise de similares para que todos os aspectos do design do produto possam ser levados em consideração.

2.32. Análise computacional

Atualmente a utilização de *softwares* que possibilitam avaliar a realidade em ambientes virtuais, são cada vez mais precisos e utilizados. Tais softwares podem avaliar diversos parâmetros tais como a disposição dos genes na cadeia de DNA, simular ambientes com móveis e iluminação, previsões meteorológicas, variações de fisionomia com o passar dos anos e aspectos estruturais ou variações de pressão e velocidade de fluídos. Com o nível de precisão que encontramos hoje em dia, a necessidade de que sejam feitas análises de elementos finitos é essencial, este tipo de análise pode diminuir a necessidade de avaliação de protótipos reais e com isso gerando um ganho tanto em custo, quanto em tempo das avaliações. Existem diversos relatos, creditando a Courant (1943) como sendo a primeira pessoa a utilizar este método na década de 40, contudo este foi largamente conhecido após a Boeing calcular a deflexão resultante nas asas das aeronaves utilizando elementos triangulares nos anos 50.

Os métodos CAE ou métodos de engenharia assistida por computador vêm constantemente ajudando na resolução de problemas mais complexos, onde o tempo gasto para alcançar a solução definitiva comparativamente a métodos convencionais com cálculos manuais e teste de laboratório é muito menor e com custo reduzido. Dentre estes métodos as análises computacionais da dinâmica dos fluídos ou análises CFD, estão diretamente ligadas a este trabalho, devido à necessidade de gerarmos um fluxo de fluído, o qual, neste caso será o ar, que seja capaz de eliminar a palha da peneira.

A análise CFD derivou da mecânica dos fluídos mais precisamente da teoria de Fenômeno de Transporte. Estas análises simulam computacionalmente fenômenos físicos, como exemplo, combustão, escoamentos, aerodinâmica entre

outros. Estes métodos de cálculos estão baseados nas equações de Navier e Stokes, utilizando o modelo das equações de conservação de massa, momento e energia, com relação às condições de contorno e as variáveis tais como; pressão, velocidade e temperatura. As primeiras análises foram realizadas na década de 1960 solucionando equações lineares, com computadores mais eficientes, algumas análises tridimensionais puderam ser resolvidas já que estes no início da década eram capazes de calcular apenas modelos bidimensionais. Nos anos 1970, as análises com modelos não lineares tiveram seus cálculos solucionados, mais uma vez devido ao aumento do poder de processamento dos computadores. O principal objetivo destas análises é modelar fluidos contínuos com equações diferenciais parciais, discretizá-las e transformá-las em sistemas algébricos para que seja encontrada uma solução baseada na geometria estudada.

Segundo Queiroz (2008) as principais vantagens das análises CFD são:

- Baixo custo de aquisição e operação, já que as tecnologias computacionais vêm se tornando cada vez mais acessíveis ao longo dos anos;
- Oferecem informações detalhadas sobre o fluxo estudado, com fácil acesso aos dados de saída;
- Permitem a rápida mudança de parâmetros, otimizando a análise do escoamento;
- Podem simular fluxos com detalhamento realístico da geometria em estudo,
- Permitem o estudo de fenômenos de risco, como explosões e vazamentos de fluidos radioativos;

Apesar de todas estas vantagens a necessidade de parâmetros de entrada corretos é muito importante, mas devido à complexidade de tais avaliações, muitas vezes estes são simplificados gerando resultados parciais que necessitam de validação física, ou seja, a construção de um protótipo que consiga replicar a simulação computacional. Muitas vezes, dependendo do modelo e da necessidade da simulação, são criados modelos e estas levadas a túneis de vento ou tanques de água para validação dos resultados com o intuito de gerar dados de entrada mais precisos, esta técnica se chama de Fluido Dinâmica Experimental.

Pode-se ver que segundo as fases descritas por Pahl *et al.* (2005) existe na fase preliminar a avaliação utilizando CAE (Figura 52), igualmente conforme descrito por Fiod (1993) há a necessidade de uma homologação do projeto, e em ambos os casos estas análises são com a utilização de modelos computacionais (Figura 53).

A utilização de computadores no auxílio de desenvolvimento de projetos no campo do design de produto é relatada por ambos autores nas três fases de projeto, conceitual, preliminar e detalhado.

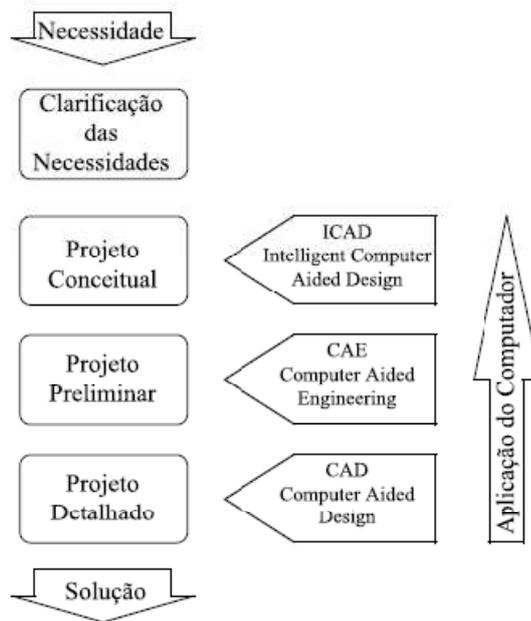


Figura 52 Fases de Projeto

Fonte: (PAHL *et al.*, 2005)



Figura 53 Fases de Projeto

Fonte: (FIOD, 1993)

2.33. Softwares de análise CFD.

Atualmente existem muitos *softwares* para resolver problemas devido à distribuição de fluídos, podemos citar alguns como: Cosmos, OpenFOAM, Fluidflow, Flow 3d, Fluent, entre outros.

O software ANSYS Workbench 13.0 o qual incorpora o Fluent no seu pacote de cálculo ou pacote de *solvers* como é mais conhecido.

O ANSYS Workbench, assim como a maioria dos *softwares* foi projetado para solucionar problemas de elementos finitos resolvendo problemas estruturais em 1971. (CESA, 2010)

O Fluent que é o pacote de cálculo CFD, pode realizar análises estáticas, dinâmicas, de transferência de calor, de fluxo de fluidos e eletromagnéticas. Este software utiliza o Método dos Volumes Finitos.

Segundo Gonçalves (2007) o método de volumes finitos utiliza integralmente a equação da conservação de massa. Para solucionar, a equação resolve um número finito de volumes de controle contínuos As variáveis são calculadas no centro de cada volume de controle, e os valores da superfície são calculados por interpolação.

Este método é muito aplicado a geometrias complexas, pois pode se adaptar a quaisquer tipos de malha.

Segundo Ferziger e Peric (1996) o processo de uma análise CFD deve ter os seguintes passos:

- Informações sobre o problema;
- Modelo matemático a ser utilizado;
- Geração da malha;
- Discretização espacial;
- Discretização algébrica (Sistema $ax=b$);
- Parâmetro de simulação e critério de parada;
- Pós-processamento;
- Validação do Modelo;

A utilização de *softwares* CFD auxiliam a validação de protótipos que trabalham com fluídos e com isso reduzem os custos nesta etapa.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA DO PRODUTO

Conforme Rozenfeld *et al.* (2006) no item 2.27 na etapa de desenvolvimentos são coletadas as informações para a realização do projeto. Sendo assim neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos que foram utilizados para a determinação dos resultados encontrados.

3.1. Determinação das metas

Conforme descrito no item 2.28 a importância das metas para balizar o caminho que deve ser seguido para validar o projeto. O não cumprimento ou necessidade de reavaliar alguma meta de projeto pode causar diversos problemas para este, inclusive pode acarretar no encerramento precoce, sendo assim metas complexas ou que sejam difíceis de serem atingidas devem ser evitadas. Caso metas audaciosas sejam necessárias a divisão em sub-etapas é aconselhável. A adição ou alteração das metas de projeto acarretam na alteração de um dos três fatores: Prazo, Custo ou Recursos. (PMI, 2001)

As metas determinadas para este projeto são as seguintes:

- Desenvolver um sistema de baixo custo;
- Facilitar a montagem em uma colheitadeira;
- Permitir agilidade em eventuais manutenções;
- Não utilizar sensores eletrônicos;

3.2. Geração de idéias e escolha dos conceitos

Conforme descrito no item 2.29 a geração de idéias é importantíssima para mostrar todas as alternativas que podem ser criadas para gerar ou atingir as metas.

A geração de idéias engloba a sub-tarefa conceitual já que aqui será escolhido o conceito do novo produto.

Com todas as idéias alinhadas a escolha do conceito é fundamental e muito importante, a partir deste ponto o design será iniciado, escolhas mal feitas podem fazer com que o custo seja altíssimo chegando até a inviabilizar o projeto.

O Brainstorming neste trabalho tem a função de servir como base a etapa de análise das funções do produto que será visto no item 3.3.

O time que fez parte desta atividade foi composto por:

- 3 gerentes, representando a engenharia, marketing e planejamento estratégico.
- 2 especialistas de engenharia do produto.
- 2 engenheiros.
- 1 projetista, 1 comprador e 1 representante de pós-vendas.

As idéias mais relevantes elencadas neste processo foram:

- modificação do conjunto de bielas do sistema de peneiras para aumentar a aceleração do material;
- modificação do sistema de ventilador para aumentar o fluxo de ar e melhorar descarte da palha;
- desenvolvimento de um novo sistema de peneiras auto nivelantes;
- esteiras perfuradas;
- conjunto de micro rotores;
- sistema de peneira rotativo;
- ponta de eixo com variação angular;
- ventiladores independentes;

Estas são apenas algumas idéias geradas neste processo, mas muitas outras foram discutidas, e esta é a vantagem de processo, levantar idéias, muitas talvez não possam ser desenvolvidas agora devido a impedimentos tecnológicos, de peso, espaço ou custo, mas assim que houver a disponibilidade de tais recursos e a necessidade da utilização, esta estará disponível em um banco de idéias.

3.3. Análise das funções da Colheitadeira

Como descrito no item 2.30 a análise das funções do produto é uma ótima ferramenta para avaliarmos se as funções estão coerentes, abaixo na Figura 54 pode ser visto esta análise para colheitadeiras. Com as funções bem descritas o risco de que uma não esteja interligada ou relacionada a uma seqüência incoerente é minimizada, já que esta ferramenta facilita a revisão de todo o conjunto de funções.

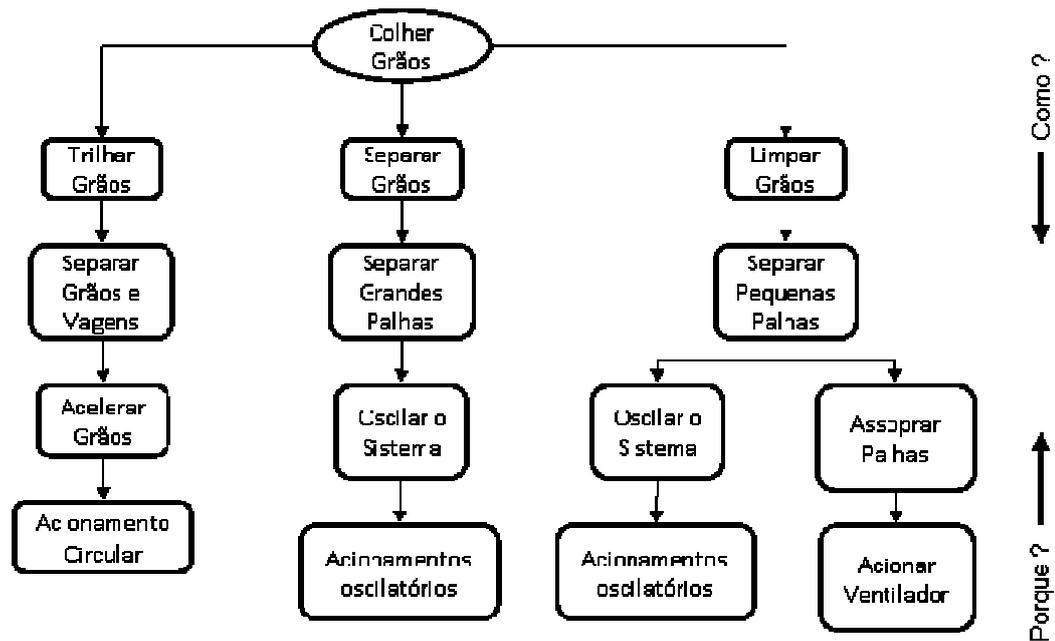


Figura 54 Análise das funções da Colheitadeira de Grãos.

3.4. Revisão bibliográfica e de patentes sobre os sistemas de colheitas

Esta revisão tem o objetivo de avaliar os diferentes sistemas de colheita, fazendo com que uma visão mais ampla de todo o conjunto possa trazer informações que embasem as implicações impostas aos sistemas de limpeza. Este tema foi antecipadamente abordado no item 2.3 para que haja um melhor entendimento do assunto colheitadeiras.

3.5. Revisão bibliográfica e de patentes sobre os sistemas de limpeza

A revisão dos sistemas de limpeza tem o intuito de analisar a similaridade dos sistemas existentes no mercado de colheitadeiras de grãos e com isso poder ter como base parâmetros para o desenvolvimento de uma peneira.

3.6. Design do novo sistema de peneiras

Desenvolver um sistema que permita separar o *MOG* dos grãos, e que atinja as metas especificadas. Para que as metas sejam atingidas, existe no projeto preliminar a necessidade de desenvolver um design do sistema de limpeza. A forma que este design terá, será visualizada com a confecção dos desenhos conforme descrito no item 3.7

3.7. Realizar desenho das partes do objeto estudado

Dentro da etapa de desenvolvimento descrita por Rozenfeld *et al.* (2006) existem os projetos preliminar e detalhado ambos descreve a forma e dimensões dos componentes, conjuntos de solda e conjuntos de instalação que permitam a fabricação de um protótipo do objeto de estudo. De posse dos desenhos serão estipulados os processos de fabricação para a confecção dos mesmos. Para a confecção dos desenhos será utilizado o software Pro-Engineer que é um software CAD⁷/CAM⁸/CAE⁹.

3.8. Avaliação computacional do novo sistema

Fazer análises CFD¹⁰ da distribuição de ar no interior da caixa e o desempenho do ventilador para este novo sistema, visando o fluxo gerado pelo mesmo e eventuais zonas de baixa pressão que possam surgir.

3.9. Construção e teste do protótipo

Construir um protótipo para realizar os primeiros testes em laboratório e identificar eventuais erros de montagem e para que sejam realizados os primeiros testes de desempenho deste novo design.

3.10. Análise de similares

Um dos estímulos para o projeto descrito no item 2.31 é a vantagem técnica, para isto a análise de similares neste trabalho tem o propósito de avaliar os equipamentos que atuam similarmente ao tema proposto, tanto na agricultura, mais especificamente em colheitadeiras, como em outros setores. A seguir alguns objetos de estudo que serviram para esta análise.

a. Peneira para classificação de grãos de argila

Este tipo de peneira é utilizado para classificar o tamanho dos grãos de argila para produção de azulejos onde a uniformidade é essencial. Esta peneira (Figura

⁷ CAD – *Computer aided design* – Design assistido por computador

⁸ CAM – *Computer aided manufacturing* – Manufatura assistida por computador

⁹ CAE – *Computer aided engineering* – Engenharia assistida por computador

¹⁰ CFD – *Computational fluid dynamic* – Análise computacional da dinâmica dos fluídos.

55) elimina partículas de argila com tamanho não desejado ou aglomerado (Figura 56).

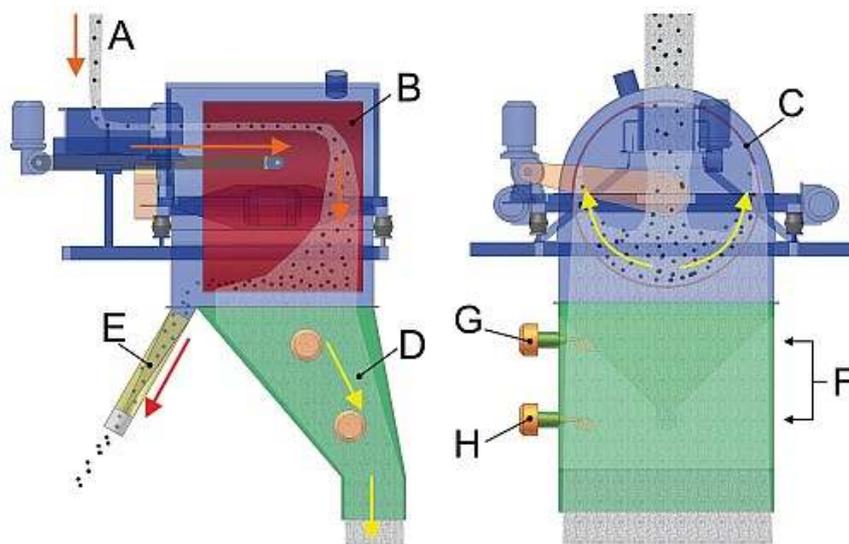


Figura 55 Peneira para grãos de argila

Fonte: (MANFREDINI; SCHIANCHI, 2011)

Este equipamento pode processar quase uma tonelada por hora de material e evita deformações nas peças produzidas.

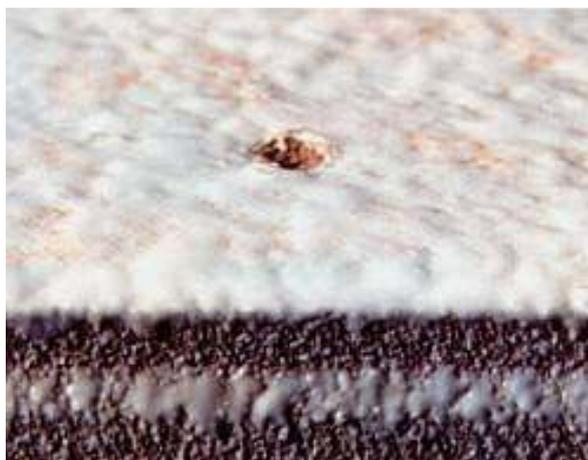


Figura 56 Defeito produzido no azulejo devido à má classificação

Fonte: (MANFREDINI; SCHIANCHI, 2011)

b. Peneira para separação da cana de açúcar

A peneira mostrada na Figura 57 tem a função de separar o bagaço da cana-de-açúcar do líquido extraído. Este equipamento é utilizado nas refinarias de álcool para a produção de etanol () e pode processar de 150 a 800 m³/h



Figura 57 Peneira para separação da cana de açúcar

Fonte: (BRUMAZI, 2011)

c. Peneira para classificação de Brita.

A peneira vista na Figura 58 a e b tem a função de classificar britas conforme o tamanho, quanto menor o tamanho mais abaixo fica a brita. Este tipo de peneira tem movimento oscilatório além da ação da gravidade para separar o material.



Figura 58 Peneira para Classificação de brita

Fonte: (BRUMAZI, 2011)

A seguir serão visto alguns sistemas de colheitas que minimizam a ação imposta pelo terreno inclinado na tarefa de limpeza dos grãos, assim como algumas patentes com o mesmo propósito.

d. Colheitadeira com sistema niveladora automático

Esta máquina possui sensores que coletam dados de inclinação do terreno fazendo com que todo o conjunto esteja sempre nivelado.

O nivelamento é gerado por um conjunto de cilindros hidráulicos instalados nos eixos da colheitadeira fazendo com que o desnível do terreno seja compensado.

Como exemplo deste modelo de colheitadeira pode ser citado a MF7278 – Cereia (Figura 59 a) ou a Laverda 255AL (Figura 59 b), ambas produzidas na Europa.



Figura 59 Colheitadeiras auto nivelante Cereia e Laverda
Cedido por: (AGCO Corporation)

e. Peneiras com sistema 2D

Este sistema visto na Figura 60 desenvolvido pela empresa New Holland faz com que as peneiras permaneçam sempre niveladas evitando a variação angular do terreno. O movimento neste sistema acompanha o sentido transversal da máquina, no entanto, quando a máquina está em auge ou declive, a limpeza ainda continua sendo prejudicada.



Figura 60 Peneiras com variação lateral
Fonte: (NEW HOLLAND, 2010)

f. Sistema de peneiras 3D

Este sistema consiste em aplicar o movimento oscilatório no conjunto de peneiras tanto no sentido transversal quanto longitudinal. Um conjunto de bielas permite que a peneira tenha movimento também no sentido da lateral da máquina. Quando esta atua em terreno inclinado, o material é acelerado também no sentido lateral. Este sistema foi desenvolvido pela empresa Claas. (Figura 61)



Figura 61 Peneiras 3D

Fonte: (CLASS, 2010)

g. Peneiras niveladoras individuais

A patente PI0903347A2, depositada no INPI¹¹ como, peneiras niveladoras individuais, é um sistema patenteado pela empresa John Deere, neste sistema as peneiras (Figura 62) são divididas em diversos segmentos. Quando a máquina esta em desnível, cada segmento gira fazendo com que todo o conjunto se nivele.

Este sistema é acoplado a um dispositivo que coleta dados quanto à variação angular da máquina, e com isso faz com que atuadores gerem um movimento de giro necessário para manter o máximo possível as peneiras niveladas. Este sistema tem um custo mediano já que utiliza apenas um cilindro para movimentar todo o sistema nivelador, contudo faz-se necessária a adição de sensores que monitoram

¹¹ INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

em tempo integral a variação angular do solo e a uma eletrônica que possa converter a leitura em ação.

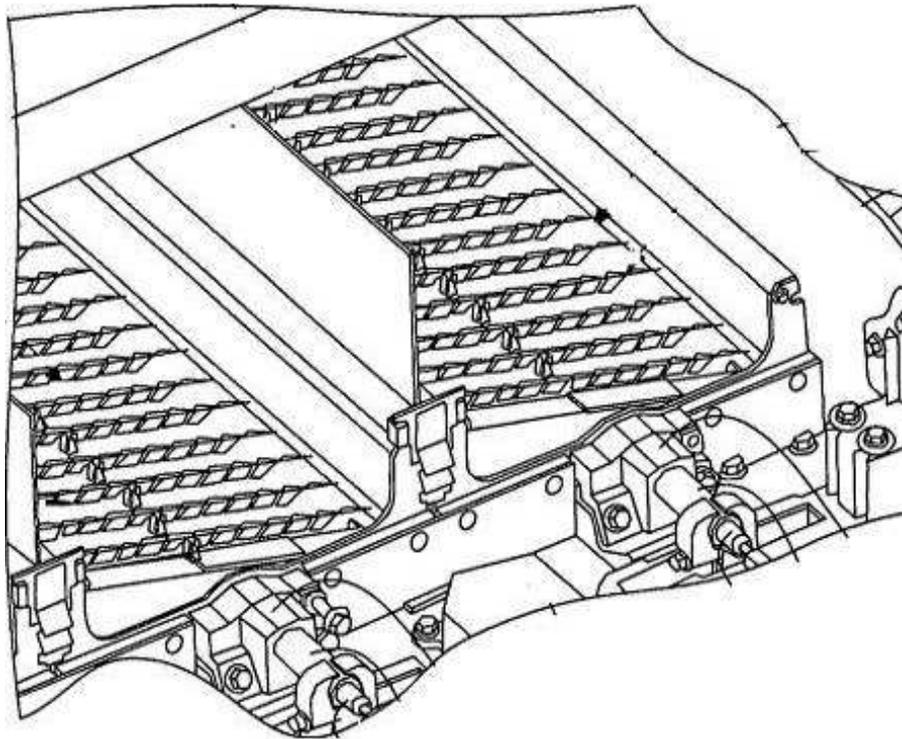


Figura 62 Peneiras Individuais
Fonte: (LOBDELL; NELSON, 2009)

h. Peneira com inclinação nas laterais

A patente US4561972 tem como objetivo manter o material em uma região mais plana sobre a peneira quando a colheitadeira está operando em terreno inclinado.

A alteração descrita nesta invenção é a inclinação das laterais das peneiras (Figura 63) e conjuntamente com uma variação angular (Figura 64), com ação similar a encontrada no item e sistema de peneira 2D.

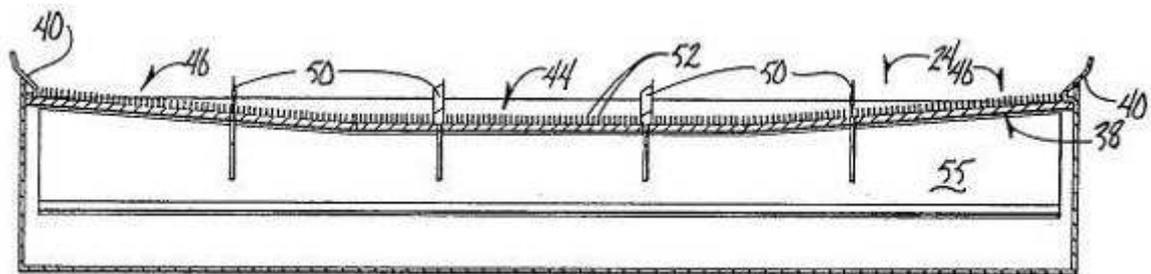


Figura 63 Peneira com inclinação nas laterais
Fonte:(ALM, 1984)

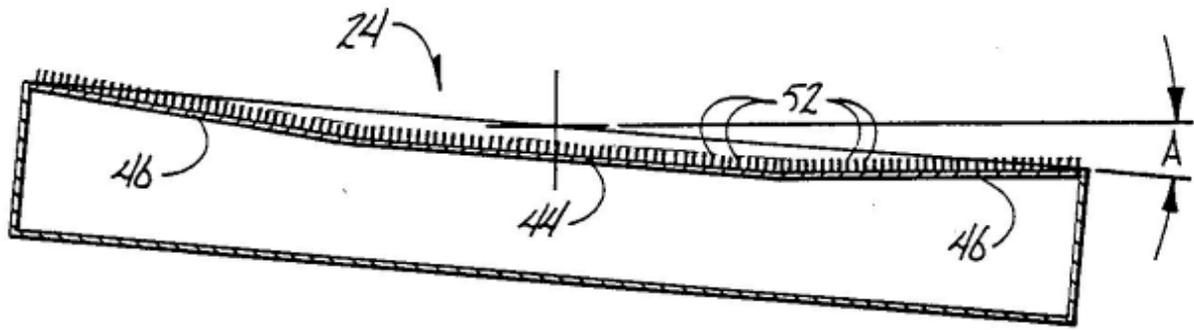


Figura 64 Variação angular da peneira

Fonte: (ALM, 1984)

Um pequeno problema encontrado neste dispositivo é o fato de carregarmos o centro da peneira quando esta trabalha em terrenos planos.

i. Peneira auto nivelante com sistema de degraus

A patente US5282771 demonstra uma alteração do sistema de peneira auto nivelante, visto anteriormente, neste caso ao invés das peneiras segmentadas rotacionarem sobre o próprio eixo, elas tem uma translação no sentido da altura da máquina (Figura 65). Sendo assim, quando a máquina opera em terrenos inclinados ocorre uma variação de altura em cada segmento fazendo com que o material fique distribuído uniformemente (Figura 66).

A estrutura externa as peneiras também sofre uma rotação como no caso das peneiras 2D. Aqui os elementos são ligados com tiras de borracha que permitem a variação mantendo a rigidez do sistema.

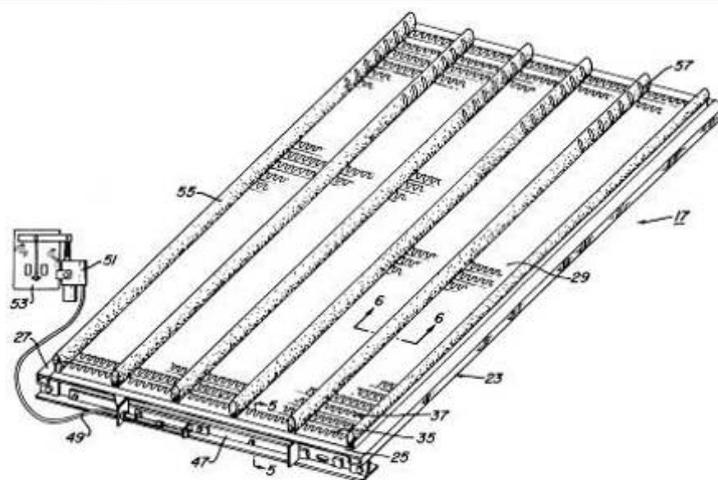


Figura 65 Peneira Auto nivelante com degraus

Fonte: (UNDERWOOD, 1994)

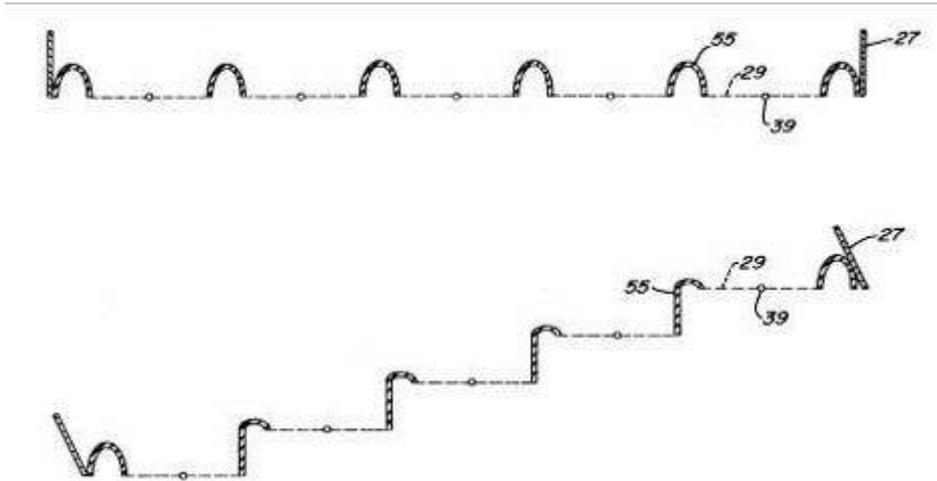


Figura 66 Peneiras auto nivelante com sistema acionado
 . Fonte: (UNDERWOOD, 1994)

j. Suporte para facilitar a montagem das peneiras

A patente US3800803 demonstra um suporte para facilitar a montagem e desmontagem das peneiras. Como esta parte da colheitadeira deve ser freqüentemente removida para que outro modelo seja utilizado, esta patente tenta facilitar esta operação instalando um suporte que desliza sobre um trilho.

A peneira está relacionada à cultura a ser colhida, a principal alteração é a colheita de milho, pois como os grãos são maiores a necessidade é evidente.

O suporte em questão pode ser visto na Figura 67 com o número 108.

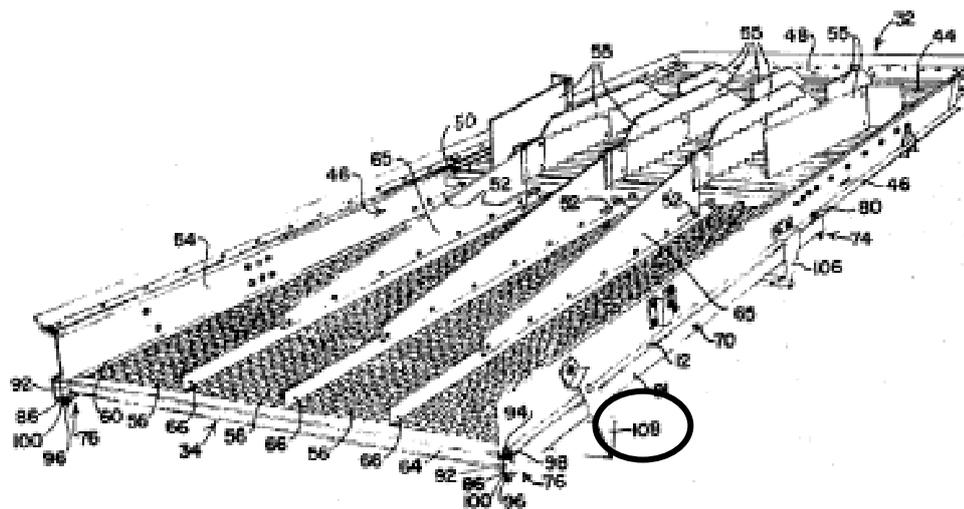


Figura 67 Suporte para facilitar a troca das peneiras
 Fonte: (ROUSE, 1973)

k. Sistema de peneiras proporcional

A patente US07771260 refere-se a um sistema de limpeza (Figura 68) que está entre os mais modernos. O diferencial deste está nos sensores que avaliam a quantidade de massa distribuída sobre as peneiras. Este conjunto foi utilizado para os sistemas de separação que utilizam rotores axiais.

Estes sensores calculam a diferença de massa sobre a peneira e com isso fazem com que todo o sistema se regule fazendo um giro e permitindo com isto, uma melhor distribuição de massa e conseqüentemente acarretando em uma menor quantidade de perdas.

A variação angular das peneiras pode ser aplicada tanto na peneira superior quanto na inferior independentemente, sendo assim, a distribuição do material também é de forma independente.

Este sistema pode operar tanto em terrenos inclinados (Figura 69), minimizando os efeitos gerados pelo desnível do relevo, quanto em terrenos planos (Figura 70), atuando na variação da descarga de grãos sobre as peneiras vindo do sistema de separação.

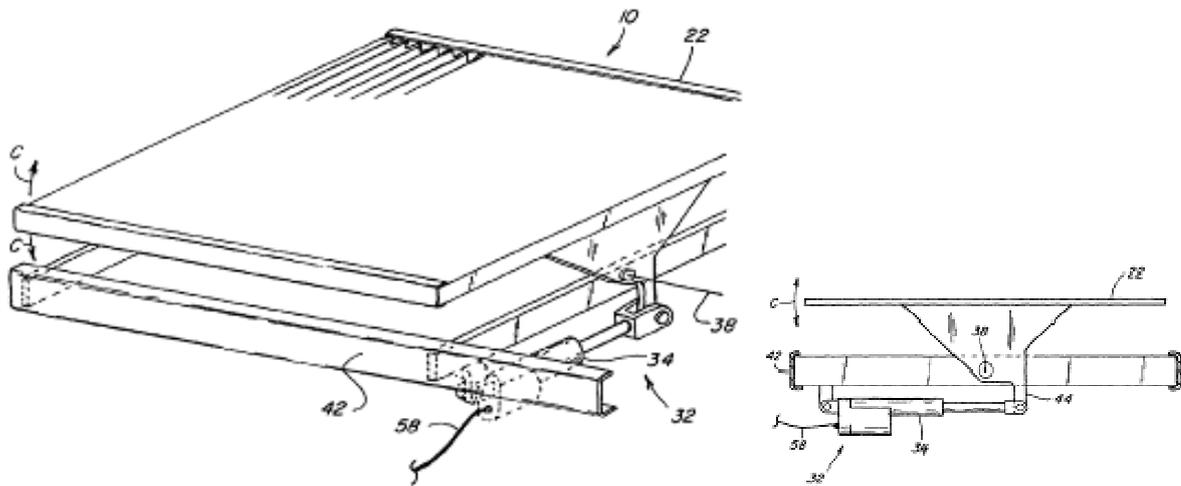


Figura 68 Sistema de Giro
Fonte: (RICKETTS *et al.*, 2009)

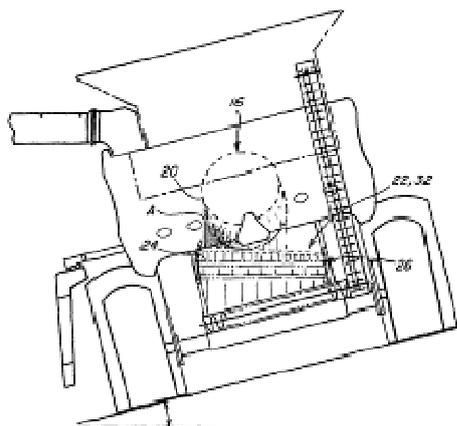


Figura 69 Esquema do sistema operando em terreno inclinado

Fonte: (RICKETTS *et al.*, 2009)

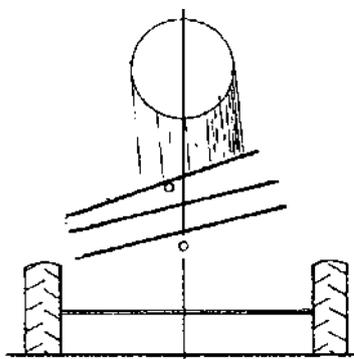


Figura 70 Sistema operando em terreno plano melhorando a distribuição

Fonte: (RICKETTS *et al.*, 2009)

3.11. APRECIÇÃO DA ANÁLISE DE SIMILARES

A grande maioria das culturas de grãos é realizada em terrenos inclinados. Para diminuir a quantidade de perdas nestes terrenos, diversos componentes e sistemas foram desenvolvidos, no entanto a grande maioria são dispositivos complexos com sistemas eletrônicos compensadores mapeando o terreno e respondendo contra estas variações, além de serem caros. Inovar com um novo design para o sistema de limpeza faz-se necessário, modificando o conceito do que foi desenvolvido nestes últimos 70 anos, deixando para trás tudo que foi aplicado para melhorar a eficiência em terrenos inclinados utilizando peneiras planas. Inovando, não com mais sistemas periféricos, mas sim a alma do sistema de limpeza, ou seja, as peneiras.

Está clara a necessidade de desenvolver sistemas cada vez mais confiáveis que possam prover eficiência aos proprietários, minimizando com isso as perdas ocasionadas na colheita. Até então foram desenvolvidas novas plataformas de corte

com a utilização de esteiras para a captação do material gerando um fluxo homogêneo, sistemas de trilhas mais eficientes acoplados aos sistemas de separação, como no caso das dos sistemas com rotor longitudinal. No entanto, para o sistema de limpeza foram desenvolvidos apenas apêndices para melhorar o funcionamento, todos os novos dispositivos vêm apresentando bons resultados, no entanto se levamos em consideração custo e complexidade, sistemas eletrônicos com coleta de dados constante e atuadores eletro-hidráulicos, tendem a tornar todo o sistema e conseqüentemente o produto final, cada vez mais caro e mais difícil de ser produzido. O sistema de limpeza continua praticamente o mesmo depois de tantos anos usando peneiras planas, salvo algumas pequenas modificações.

4. PROPOSTA DO NOVO DESIGN DO SISTEMA DE LIMPEZA

Recapitulando as metas do projeto, um novo design para o sistema de limpeza surgiu com o intuito de desenvolver um princípio de fácil aplicação e manutenção, onde o principal ponto seria a utilização de uma nova geometria, que cumprisse a mesma tarefa das peneiras planas sem a necessidade de sensores eletrônicos.

Dentre diversas alternativas criadas na etapa de geração de idéias tais como: modificação do conjunto de bielas do sistema de peneiras para aumentar a aceleração do material, modificação do sistema de ventilador para aumentar o fluxo de ar e melhorar descarte da palha, desenvolvimento de um novo sistema de peneiras auto nivelantes, a proposta de um sistema rotativo foi a que veio ao encontro das necessidades a serem atendidas. O sistema de peneiras rotativas consiste em um conjunto de peneiras que diferem dos modelos tradicionais com grelhas, este design é na forma de um cilindro feito em aço com uma área perfurada, uma chapa na forma de um helicóide, um sistema de ventilador e um conjunto de acionamento composto por um sistema de motor hidráulico e rolos tracionadores para gerar movimento ao conjunto.

Para este desenvolvimento foi utilizado uma colheitadeira Massey Ferguson MF5650 (Figura 71) que servirá como base dimensional para a adequação do conjunto de peneiras e para os acionamentos necessários para movimentar o conjunto.



Figura 71 Colheitadeira MF5650
Cedido por: (AGCO Corporation)

4.1. Detalhamento dos Componentes

Já dentro da fase conceitual do trabalho veremos com mais detalhes os componentes que foram desenvolvidos e que fazem parte do sistema de peneiras rotativas.

4.2. Peneira Circular

Esta é a principal peça do conjunto (Figura 72), consiste em uma chapa de aço na forma de um semicírculo (Figura 73) com uma área perfurada.

Esta peça é responsável pela separação dos grãos, da palha e das vagens que ainda não foram debulhadas e precisam retornar para o processo de trilha. Esta peça, dependendo da cultura que está sendo trabalhada, deverá ser trocada devido ao tamanho dos grãos, por exemplo, um grão de Canola comparado a um grão de Milho que possui quase o triplo do tamanho

No caso das peneiras convencionais este componente possui a forma de grelhas que mantém a palha mais alta do que o grãos e permitem a passagem do fluxo de ar pelos espaços existentes entre as grelhas. Na peneira rotativa não teremos grelhas, mas ação do fluxo de ar que se dá pelos furos existentes.



Figura 72 Peneira Circular
Cedido por: (AGCO Corporation)

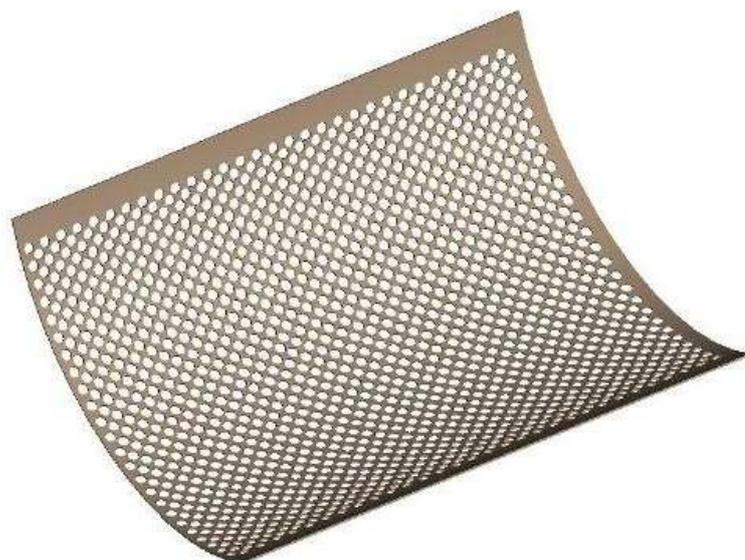


Figura 73 Chapa perfurada

Cedido por: (AGCO Corporation)

Para determinar o diâmetro dos furos foi utilizada uma técnica onde a variação do volume onde são inseridas esferas com diâmetro conhecido, serve como base para determinar o tamanho dos grãos. Foi adicionado a um recipiente um volume de água conhecido, uma quantidade de grãos de soja, com o deslocamento volumétrico podemos determinar o diâmetro médio do grão utilizando a Equação 1.

$$V = \frac{\pi \times d^3}{6} \quad (1)$$

Isolando o diâmetro que é o valor que nos interessa teremos:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \times V}{\pi}} \quad (2)$$

Adequando este número para a nossa amostra com n partículas teremos:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \times \Delta V}{n \times \pi}} \quad (3)$$

Utilizando este método chegamos a um diâmetro médio do grão de soja de 6,3 mm. Segundo Coutinho *et al.* (2005) o diâmetro pode variar até 30% para mais, dependendo da umidade do grão, com este dado o diâmetro máximo será aproximadamente 8,2 mm.

Os furos da peneira poderiam ter um tamanho aproximado a este, no entanto os furos foram feitos com 10 mm para facilitar a passagem dos grãos pela peneira e

para que tenhamos um coeficiente de segurança, já que este tamanho é suficiente para que consigamos obstruir a passagem da palha.

4.3. Helicóide

Este componente tem a função de transportar o material ao longo do rotor.

Para fabricação de um helicóide freqüentemente são expressados o passo em relação ao diâmetro e o ângulo.

O helicóide nada mais é que uma rosca ao redor de um cilindro, similar a um parafuso. Para construção de um helicóide aplicamos um determinado ângulo a uma linha reta ao redor do cilindro. Este ângulo varia de acordo com a velocidade que queremos que o material seja transportado, sempre levando em consideração o ângulo perpendicular ao cilindro, ou seja, o ângulo de 90° com relação ao cilindro. O ângulo é inversamente proporcional a velocidade, sendo assim, quanto maior o ângulo menor é a velocidade. Exemplificando, velocidades altas o ângulo deve tender a 0° e velocidades baixas tender a 90° . É obvio que para estes ângulos extremos não teremos deslocamento. Conjuntamente com o ângulo, as rotações aplicadas ao conjunto variam a velocidade de transporte do material, quanto maior a rotação, mais rápido o material será transportado até o final do helicóide.

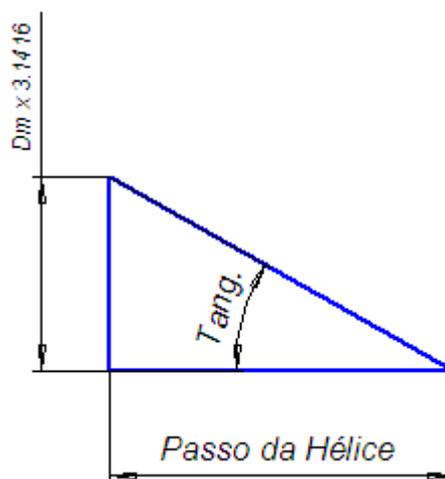


Figura 74 Passo da Hélice

Cedido por: (AGCO Corporation)

A Figura 74 acima mostra a linha traçada por uma hélice planificada. Quando planificada, a altura da figura representa a distância total do perímetro do diâmetro externo do helicóide, ou seja, π vezes o diâmetro externo. Se imaginarmos uma

partícula percorrendo um helicóide com diâmetro externo e passo iguais, à distância percorrida pela partícula será a mesma em ambas as direções, paralela e perpendicular à helicóide.

Assim sendo o passo de uma hélice comum poderia ser calculado pela Equação 4:

$$\text{Passo da rosca} = \arctan \frac{(\text{diâmetro}_{\text{carc}})}{(\text{diâmetro}_{\text{cil}} \times \pi)} \quad (4)$$

ou simplificadamente para casos onde o diâmetro do helicóide é igual ao diâmetro do cilindro temos:

$$\text{Passo da rosca} = \arctan \frac{1}{\pi} \quad (5)$$

Neste caso seria aproximadamente 18° . Então, usando esta relação vemos que um helicóide que tem um passo igual ao diâmetro tem um ângulo de aproximadamente 18° .

Na Figura 75 a seguir podemos observar o helicóide que foi utilizado para a peneira rotativa, o ângulo utilizado para este desenvolvimento foi de 20° .

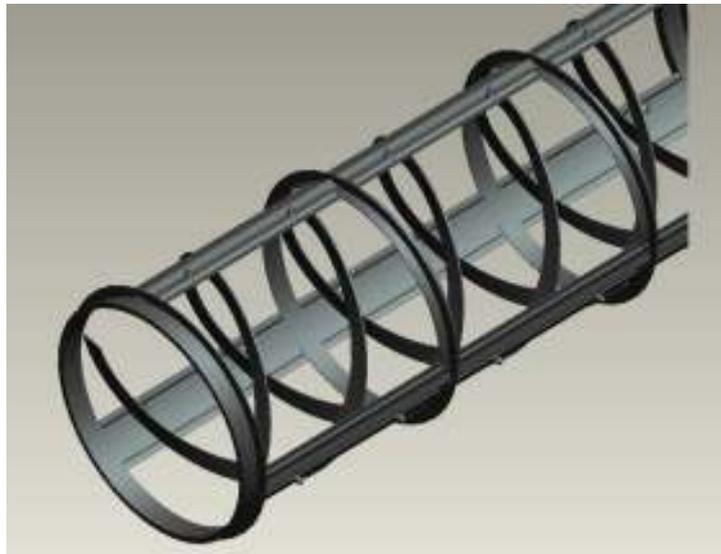


Figura 75 Hélice transportadora
Cedido por: (AGCO Corporation)

4.4. Estrutura da gaiola do rotor

Esta estrutura (Figura 76) como o próprio nome diz, é a armação de todo o conjunto. É neste componente que são fixadas as peneiras circulares e o helicóide.

Este componente sofre a ação dos rolos acionadores, este ato que faz toda a estrutura girar. O tombamento natural do material no interior do cilindro, mais o fluxo de ar gerado pelo ventilador, atuando conjuntamente é ação responsável pela separação do material, permitindo assim a passagem dos grãos e a eliminação do *MOG*.



Figura 76 Estrutura da gaiola

Cedido por: (AGCO Corporation)

4.5. Rolos guias

Na parte dianteira e traseira da gaiola existem duas canaletas guias, são nestas canaletas que estão dispostos os rolos. São cinco rolos na parte dianteira (Figura 77a e Figura 77b) e mais quatro na parte traseira Figura 78. Estes rolos são fabricados em polímero, polietileno de ultra alto peso molecular. (PEUAPM). Este componente serve como suporte e rolamento para o movimento da gaiola.

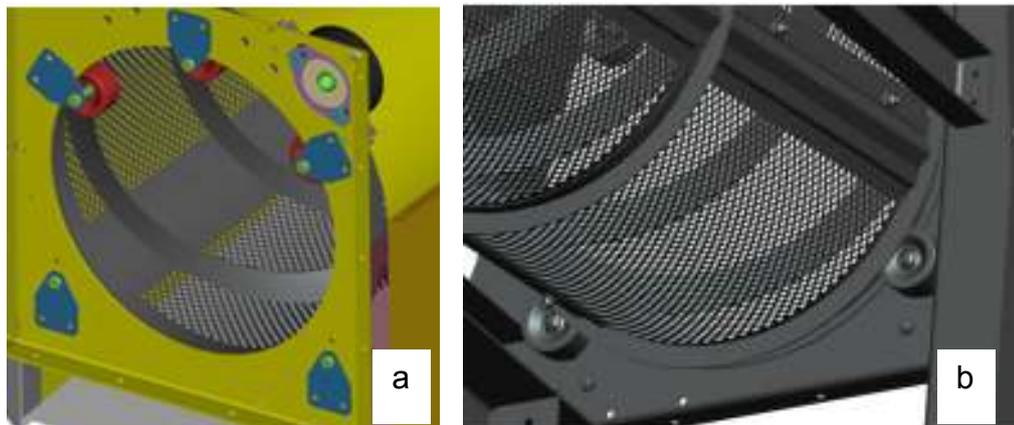


Figura 77 Rolos Dianteiros vista frontal (a), vista traseira (b)

Cedido por: (AGCO Corporation)

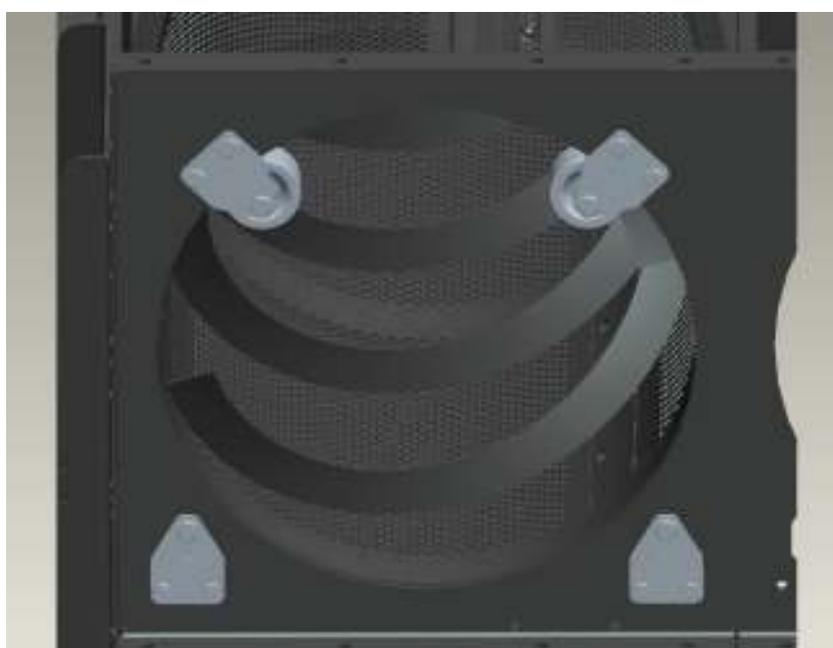


Figura 78 Rolos traseiros

Cedido por: (AGCO Corporation)

Este polímero utilizado possui excelentes propriedades, é um polímero linear, de baixa pressão, seu peso molecular médio é de 4×10^6 e é aproximadamente dez vezes maior do que o polietileno de alta densidade (HMW-HDPE). O peso molecular extremamente elevado desta resina está disponível comercialmente em graus que variam entre $3,5 \times 10^6$ à 6×10^6 g/mol cálculo ASTM e possui propriedades únicas.

PEUAPM tem maior resistência à abrasão (Figura 79) e resistência ao impacto (Figura 80) que qualquer outro plástico comercial. Os dados das Figura 79 e Figura 80 mostram uma comparação destas qualidades com outros materiais.

Combinado com a resistência à abrasão e tenacidade o baixo coeficiente de atrito do PEUAPM fornece um polímero auto-lubrificantes e com superfície antiaderente. Os coeficientes estático e dinâmico de atrito são significativamente mais baixos do que do aço e da maioria dos materiais poliméricos (Tabela 2).

À medida que aumenta o peso molecular de 3×10^6 para 6×10^6 , a resistência à abrasão melhora significativamente, cerca de 30%, enquanto que diminui a resistência ao impacto de 140 para 80 kJ/m². Em comparação, no polietileno de alta densidade (PEAD) o intervalo é de 40 – 13 kJ/m².

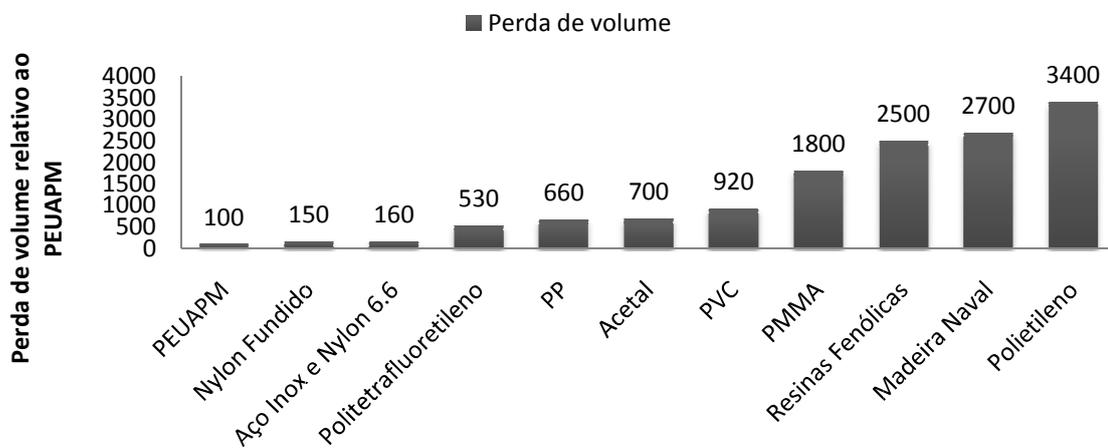


Figura 79 Comparativo entre a perda de volume de diversos materiais com relação à resistência a abrasão.

Fonte: (STEIN, 1999)

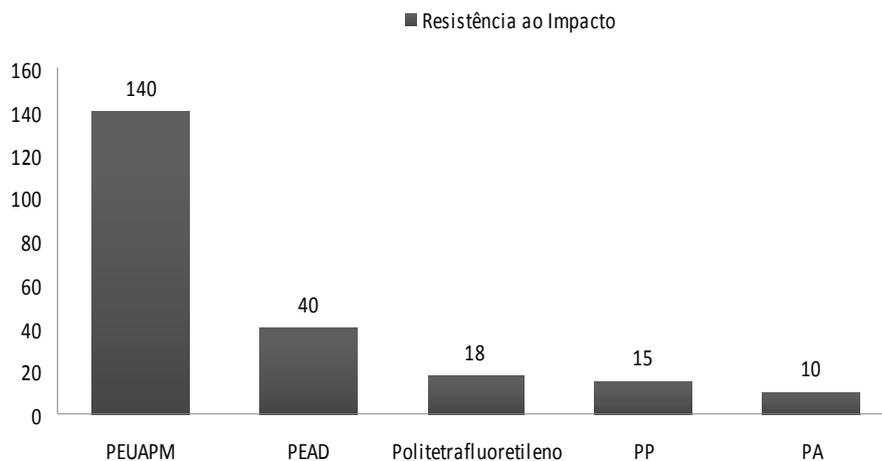


Figura 80 Comparativo entre diversas resinas de engenharia com relação à resistência ao Impacto kJ/m²

Fonte: (STEIN, 1999)

Tabela 2 Coeficientes de atrito estático e dinâmico respectivamente

Resina	Seco	Água	Óleo
PEUAPM	0,10-0,22	0,05-0,10	0,05-0,08
Nylon 6.6	0,15-0,40	0,14-0,19	0,02-0,11
PA/Molibdenio	0,12-0,20	0,10-0,12	0,08-0,10
Politetrafluoretileno	0,04-0,25	0,04-0,08	0,04-0,05
Acetal Copolímero	0,15-0,35	0,10-0,20	0,05-0,10

Fonte: (STEIN, 1999)

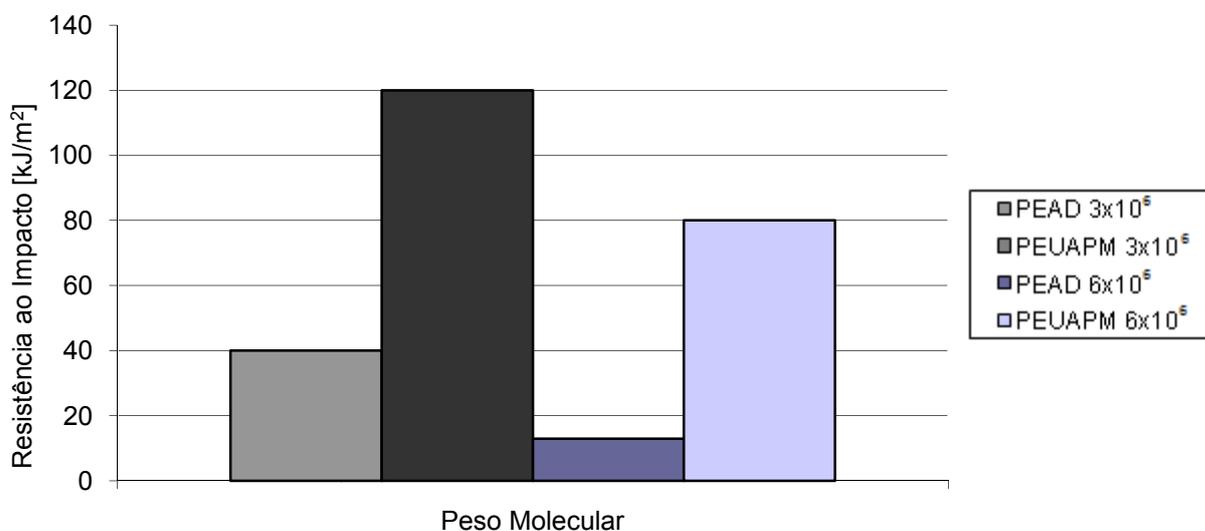


Figura 81 Comparativo Resistência ao impacto PEAD x PEUAPM

Modificado de: (STEIN, 1999)

Uma amostra de ensaio especial teve que ser concebida para determinar a dureza de PEUAPM, porque nenhuma ruptura ocorre com os métodos convencionais. O teste de impacto Izod ASTM D 256 precisou ser modificado com dois entalhes de 45° opostos em vez do entalhe 45° padrão (Figura 82). A maioria das propriedades mecânicas, térmicas e físicas permanecem essencialmente constante durante todo o intervalo de 3×10^6 a 6×10^6 do peso molecular de PEUAPM.

Por causa de sua propriedade auto lubrificante, antiaderente, leve e resistente ao desgaste, PEUAPM tem sido utilizado por muitos anos no manuseio de material a granel (grãos, cimento, brita e agregados) e minério, por indústrias de mineração de carvão. As aplicações típicas incluem coberturas de silos, tremonhas, amortecedores, carruagens, calhas transportadoras, tiras de desgaste, placas de

deslizamento, rolamentos lubrificados e buchas. Os benefícios adicionais do PEUAPM incluem aumento do fluxo de produtos, redução ou eliminação das condições de aglomerante (especialmente em molhado ou gelado), redução do ruído e menor consumo de energia durante o uso.

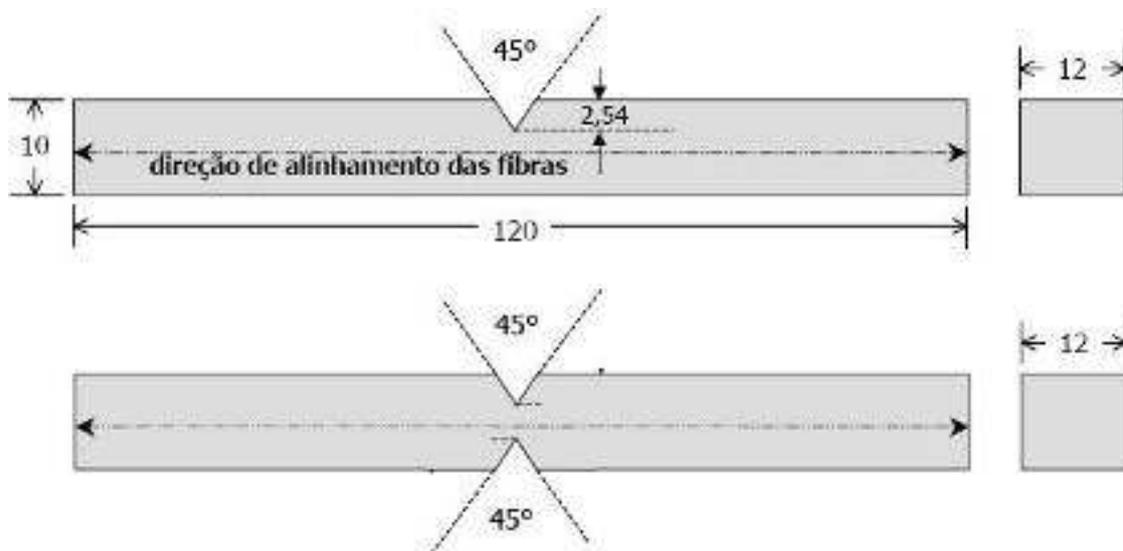


Figura 82 Amostra para teste com um e dois entalhes de 45°.

Modificado de: (STEIN, 1999)

Por estes motivos este material foi o mais indicado para a construção dos rolos separadores, pode suportar longos períodos de atrito sem sofrer desgaste excessivo além das cargas envolvidas.

4.6. Rolo tracionador

O rolo tracionador (Figura 83) transfere o movimento do motor para a gaiola, é este componente que traciona a gaiola e permite que pelo efeito rotacional aplicado possa separar os grãos.

Este componente foi fabricado em uretano. Este material suporta até 200N. No primeiro teste foi utilizada borracha siliconada que suporte até 80N e dureza de 80 Shore A, no entanto em algumas situações o atrito não era suficiente para girar a gaiola e aumentando a pressão do sistema sobre a gaiola, acabava deformando o rolo. Com a utilização do uretano este problema foi solucionado e este material se mostrou uma boa alternativa tanto pelo desempenho quanto pelo custo.

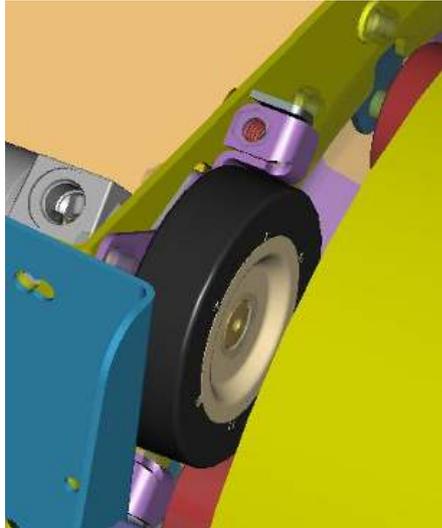


Figura 83 Rolo tracionador
Cedido por: (AGCO Corporation)

4.7. Ventilador

Para que o material entre em suspensão e para que o efeito da densidade ocorra, o ventilador gera um fluxo de ar fazendo com que o *MOG* seja guiado para fora do rotor.

Existem diversos sistemas de ventilador, tais como, axiais, aceleradores, centrífugos com as aletas voltadas para trás, aletas retas ou o escolhido, centrífugo com as aletas voltadas para frente ou também conhecido como Sirocco. Os motivos que levaram a escolha do ventilador Sirocco, poderão ser visto no capítulo 5.

O ventilador Sirocco (HENN, 2006) é utilizado preferencialmente para gases isentos de partículas sólidas. Uma das particularidades de sua curva característica é uma extensa faixa de pressão quase constante. Tornando-o adequado para aplicação em sistemas onde se deseja minimizar a influência de alterações de dispositivos, como "válvulas de controle de vazão"; outra particularidade é o ramo instável da curva característica, na faixa das baixas vazões. A potência cresce constantemente com o aumento da vazão, o que requer um grande cuidado na determinação do ponto de operação do sistema, e na seleção do motor de acionamento que pode entrar em colapso ou "flutuar" por não ter a resistência suficiente exercida pelo ar de passagem, ou seja, quando a vazão resultante for muito superior àquela projetada. O sirocco é um tipo de ventilador centrífugo de fácil construção, pois tem rotor largo e muitas aletas curtas. Para uma dada vazão e certa pressão, o Sirocco é o menor entre os ventiladores centrífugos, operando em uma

rotação mais baixa, o que é importante para minimizar a geração de ruído. Sua eficiência, entretanto, é tida como menor que a do centrífugo de aletas curvadas para trás, mas com a aplicação definida e precisamente dimensionada, pode ser o melhor indicado para a manutenção de pressão de um sistema de secagem de grãos.

Antecipando os resultados encontrados no capítulo 5, o sistema de ventilador escolhido para este conjunto é composto por uma voluta e um rotor com 48 aletas (Figura 84) sendo 24 aletas normais e 24 semi aletas (Figura 85). A utilização de semi aletas é muito indicada para este projeto, utiliza-se este artifício em aplicações onde exista muita contaminação do fluido. No caso da colheita de grão existe muita poeira, oriunda do solo, das folhas secas e até mesmos em alguns casos das cascas como, por exemplo, a soja. A casca da vagem da soja possui alguns pelos que em contato com a umidade durante a colheita tornam-se altamente aderentes, e para este modelo de ventilador, onde o espaçamento entre as aletas é muito pequeno, esta configuração faz-se necessária. Como a aceleração tangencial atinge o seu valor máximo na extremidade da aleta, entendemos que a utilização deste artifício não será prejudicial para o conjunto e com isso reduziremos as chances de contaminação.

A vazão do fluxo exigido em projeto para este ventilador foi 1,8 kg/s, que é o valor para manter o material em suspensão. Este valor é o mesmo utilizado para máquinas com peneiras planas e terá que ser validado para o projeto da peneira rotativa.

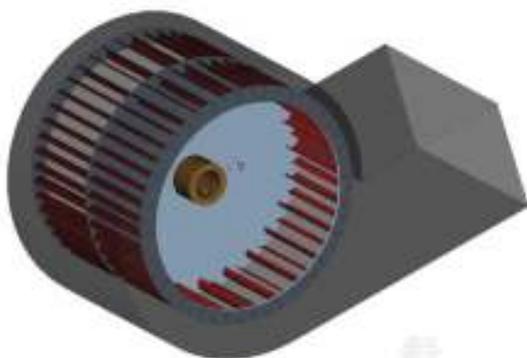


Figura 84 Conjunto ventilador 48 aletas
Cedido por: (AGCO Corporation)

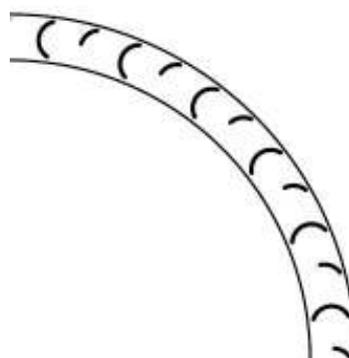


Figura 85 Detalhe da aleta e semi aleta
Cedido por: (AGCO Corporation)

5. VALIDAÇÃO DO SISTEMA

Conforme o que foi descrito no item 2.32 é muito importante a realização de análises numéricas antes da produção de protótipos reais. Sendo assim para validação destes modelos serão geradas análises CFD da distribuição do fluido no interior da caixa. Os valores encontrados nestas análises serão comparados posteriormente com os testes reais.

5.1. Modelos CAD:

Para geração dos modelos CAD foi utilizado o software Pro-Engineer Wildfire 3.0. Estes modelos foram confeccionados levando em consideração as dimensões disponíveis na colheitadeira.

Após algumas configurações chegamos ao modelo visto na Figura 86 e com estes modelos foram geradas as malhas para a análise CFD.

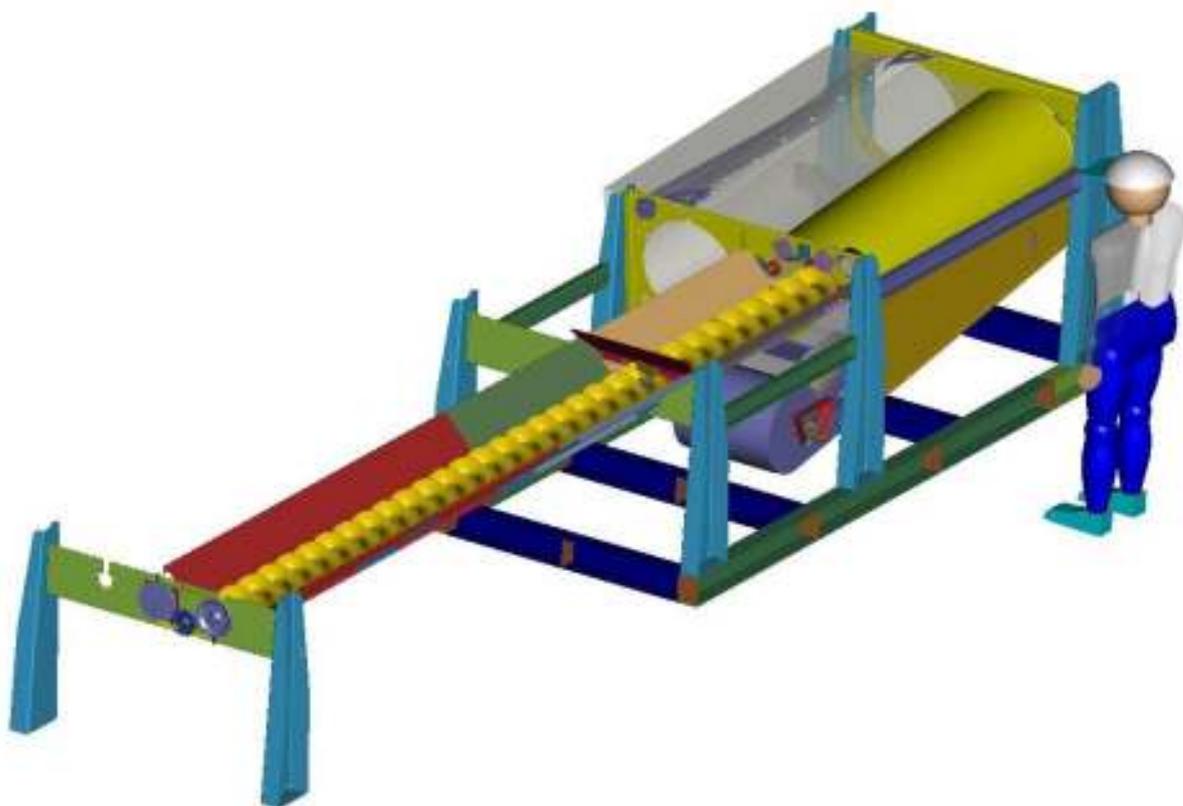


Figura 86 Bancada de teste da Peneira Rotativa
Cedido por: (AGCO Corporation)

5.2. Malhas

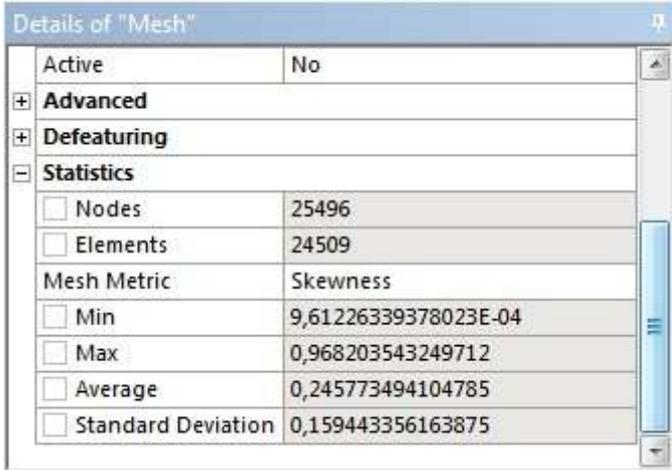
Para geração de malhas foi utilizado o Meshing, software disponível no Ansys Workbench 13.0.

Um grande problema nas malhas de CFD devido à necessidade de malhas com elementos pequenos é o processamento dos computadores. Em média cada elemento de malha, ocupa 1 kb de memória, uma malha 3D comum pode variar entre 1 milhão e 30 milhões de elementos, mas existem malhas com mais de 1 bilhão de elementos como por exemplo análises CFD em refinarias, onde todo o sistema de refino de petróleo precisa estar interligado. Como exemplo uma malha com 1 milhão de elementos precisa ter 1 Gb de memória. Atualmente o mais comum são computadores com no mínimo 16 Gb para a utilização destes *softwares*, portanto existe uma configuração especial para pode executar esta tarefa.

Primeiramente foram geradas análises com elementos bidimensionais, pois ganharemos velocidade, tanto na geração de malha quanto na geração dos resultados, posteriormente quando encontrarmos a configuração ideal poderemos gerar análises com modelos tridimensionais.

Um parâmetro para validar as malhas CFD é o fator *Skewness*, este fator está relacionado com a deformação existente no elemento, quanto mais deformado, quanto mais longe de uma geometria ideal, mais perto de 1 estará este valor.

Na Figura 87, pode ser observado tanto o número de elementos de uma malha bi-dimensional assim como a fator *Skewness* existente em tal malha.



Details of "Mesh"	
Active	No
+ Advanced	
+ Defeaturing	
- Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	25496
<input type="checkbox"/> Elements	24509
Mesh Metric: Skewness	
<input type="checkbox"/> Min	9,61226339378023E-04
<input type="checkbox"/> Max	0,968203543249712
<input type="checkbox"/> Average	0,245773494104785
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,159443356163875

Figura 87 Quantidade de elementos e fator Skewness

O fator *Skewness*, determina a qualidade de uma malha, este fator mostra quão ideal estão os elementos de uma malha. Quanto mais próximo tal valor está de zero mais próximo está o elemento da forma ideal

Para validar uma malha para análises CFD o fator skewness deve estar no máximo abaixo de 0,97, valores acima praticamente inviabilizam a convergência da análise.(ANSYS, 2011)

Na Figura 88 podem ser vistos os elementos ideais e deformados.

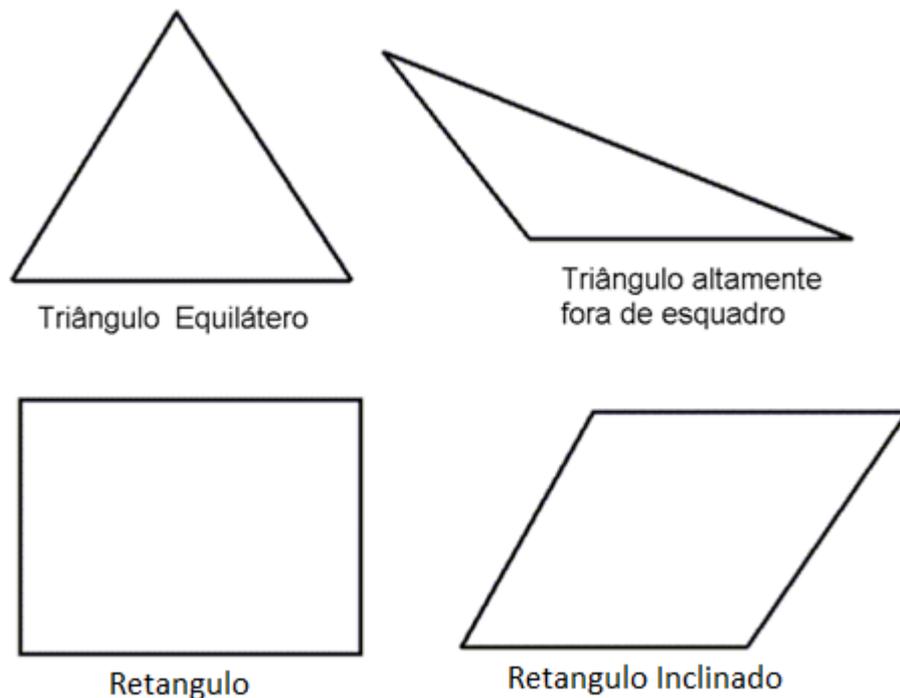


Figura 88 Skewness - Formas ideais e deformadas
Modificado de: (ANSYS, 2011)

Segundo Ansys (2009) o método normalizado para obtenção do desvio angular *skewness* pode ser visto na Equação 6:

$$\max \left[\frac{\theta_{max} - \theta_0}{180 - \theta_0}, \frac{\theta_0 - \theta_{min}}{\theta_0} \right] \quad (6)$$

onde θ_{max} é o maior ângulo encontrado em uma face ou célula. Onde as células correspondem a conjunto de faces formando geometrias tridimensionais. θ_{min} é o menor ângulo encontrado em uma face ou célula θ_0 é o valor do ângulo equiangular da geometria correspondente, como exemplo 60° para triângulo e 90° para quadrados.

Outro método para que o valor *skewness* seja encontrado é o seguinte:

$$\text{Skewness} = \frac{\text{Célula equiangular} - \text{Célula atual}}{\text{Célula equiangular}} \quad (7)$$

Na Figura 89 pode ser visto um modelo para exemplificar as geometrias utilizadas para o cálculo do fator.

Este método é utilizado apenas para formas triangulares ou tetraédricas.

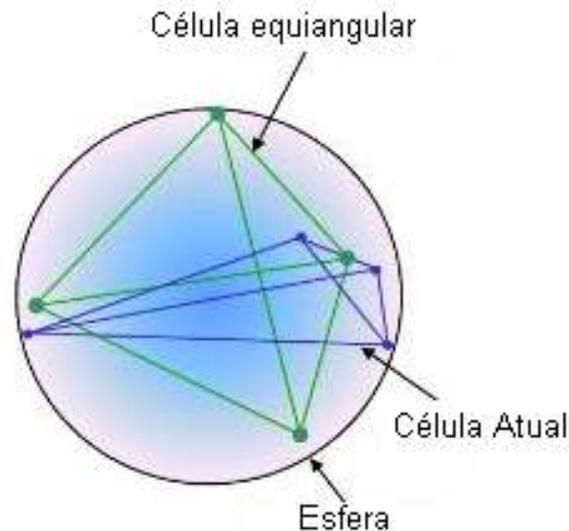


Figura 89 Modelo para cálculo do fator Skewness

5.3. Fator de convergência

Nas análises CFD são utilizados 3 parâmetros para validação dos resultados:

- Estabilidade da física do problema;
- Convergência da equação da continuidade;
- Equilíbrio no balanço de massa;

a. Estabilidade da física do problema

Este critério está baseado na estabilidade da física envolvida no problema, por exemplo, adiciona-se um parâmetro como a pressão no sistema, ou a velocidade e monitoramos em quantas interações este estabilizará. Algumas vezes as equações convergem, mas a física envolvida continua oscilando.

b. Convergência da equação da continuidade

Para que seja aceita a equação da continuidade como convergida à variação dos resultados precisa estar abaixo de 10^{-3} .

c. Equilíbrio no balanço de massa

O terceiro parâmetro a ser observado é o balanço de massa, como pode ser visto na Figura 90, todo o volume que entra deve sair, este valor para que seja considerado como concluído também deve estar abaixo de 10^{-3} .

Mass Flow Rate	(kg/s)
inlet.1	3.1906772
outlet	-3.1907151
Net	-3.7908554e-05

Figura 90 Fluxo de massa

5.4. Ventilador atual MF5650.

A primeira análise rodada foi com o modelo atual de ventilador das colheitadeiras MF5650. Este é um ventilador centrífugo de 4 aletas com perfil reto. Segundo Henn (2006) este tipo de rotor, apesar de apresentar rendimento baixo, permite um fluxo sem risco de obstrução o que facilita a utilização de revestimentos anti-aderência.

Esta análise foi gerada, pois é conhecido o valor de saída do ventilador e com isto poderemos balizar os resultados do nosso modelo virtual. Com fator de entrada utilizamos uma rotação do rotor em 1000 rpm e uma velocidade de entrada de ar no inlet de 15m/s. Esta velocidade é medida no laboratório.

Podemos ver na Figura 91 o valor médio de 20 Pascal no interior do conjunto de peneiras rotativa, que é representado pela cor laranja. No entanto o valor que mais interessa é o da velocidade na saída do rotor, pois como este é um ventilador em produção podemos comparar os resultados do modelo numérico com o real e saber quão afastados estamos da exatidão.

Como pode ser observado na Figura 92 a velocidade de saída do rotor está em aproximadamente 17m/s e o que foi medido em laboratório é aproximadamente 13m/s, é uma boa aproximação já que com este valor não haverá problema com a separação da palha e do grão e sendo assim sabemos que não existem grandes não conformidades na análise, caso houvesse algum problema tanto na entrada de dados, quanto de descontinuidade da malha, estes valores poderiam estar em outra escala, ou seja, extremamente altos em valores supersônicos, o que não pode ser

gerado neste tipo de equipamento, ou o oposto, valores muito baixos, o que não ocorreu. Como o principal objetivo das análises é avaliar restrições existentes na entrada do rotor ou zonas de depressão no interior da caixa, esta variação de 4 m/s não é significativa. Além do mais outros rotores serão avaliados para que sejam verificadas melhorias no desempenho, comparativamente.

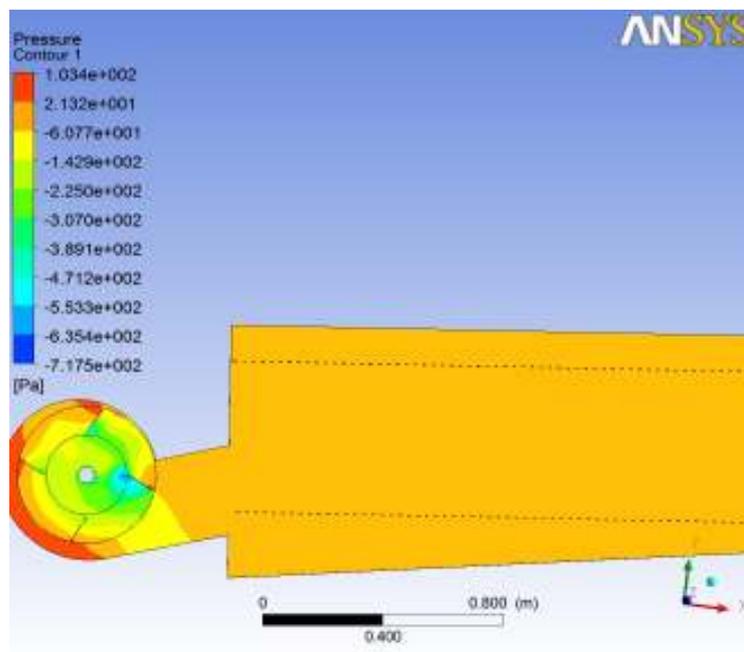


Figura 91 Análise de pressão modelo MF5650.

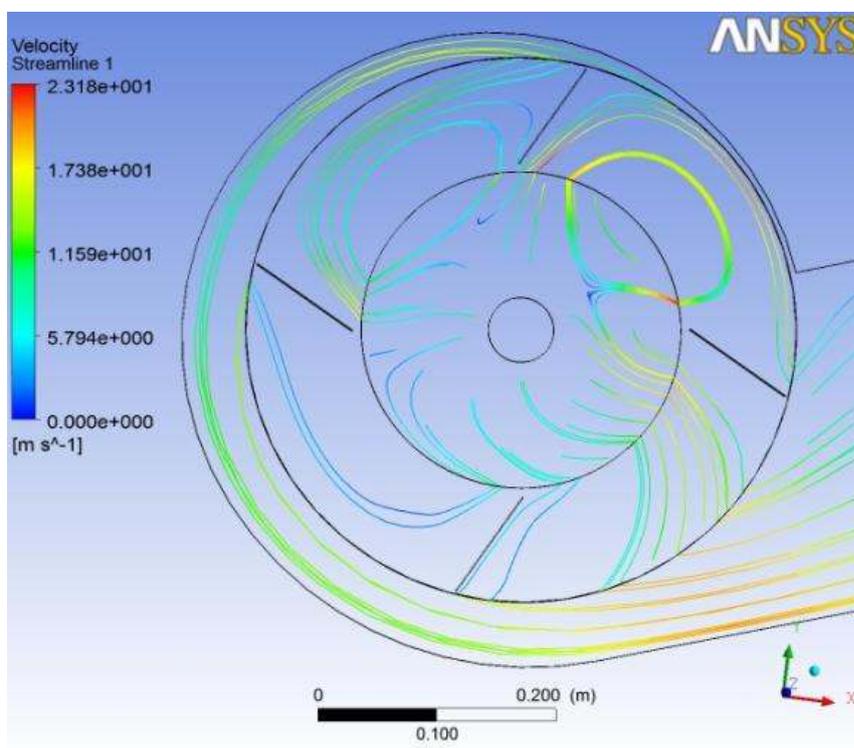


Figura 92 Velocidade de saída da caixa do ventilador da MF5650

Na Figura 93 podemos ver a distribuição de velocidade no interior do conjunto.

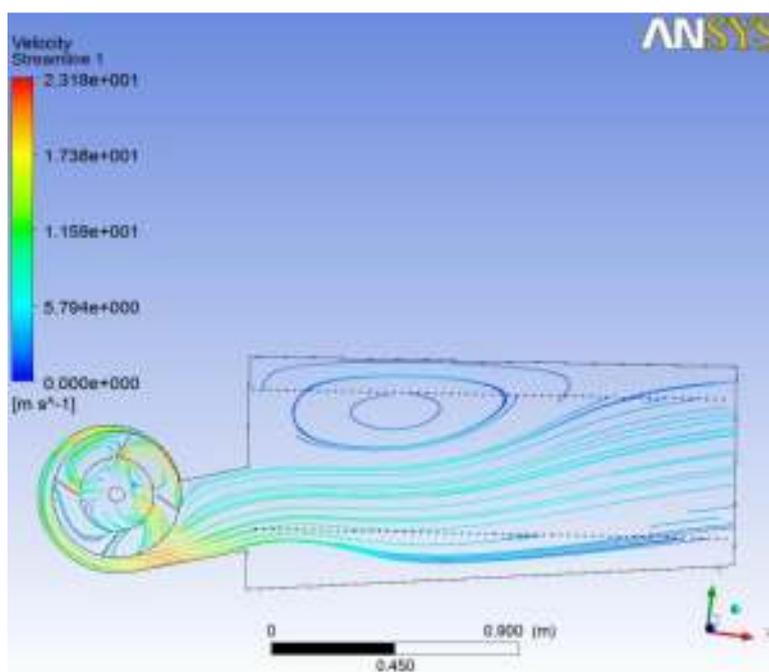


Figura 93 Distribuição de velocidade no conjunto

Pode ser observado que a velocidade na saída do sistema esta ao redor de 6 m/s, esta é uma velocidade satisfatória para a eliminação da palha sem que o fluxo carregue consigo os grãos.

Como estamos ainda no campo das simulações numéricas, outros sistemas de ventiladores serão testados na tentativa de encontrarmos um melhor desempenho para o sistema. O custo para este tipo de verificação é muito baixo comparado a realização de protótipos reais, sendo assim a exploração de novos conceitos é válida.

5.5. Ventilador Centrifugo de 12 aletas

Em uma tentativa de melhorar o fluxo de ar, foi desenvolvida uma análise com um ventilador centrifugo de 12 aletas com perfil curvado para frente, este tipo de ventilador segundo Henn (2006) também conhecido com ventilador Sirocco, normalmente representa a melhor escolha mesmo com rendimento entre médio a alto, este produz maior vazão e trabalha com baixo ruído para pressões comparáveis às de outros sistemas. A malha desenvolvida para esta análise pode ser vista na Figura 94.

Na Figura 95 pode ser observada a distribuição de pressão com a utilização do ventilador Sirocco.

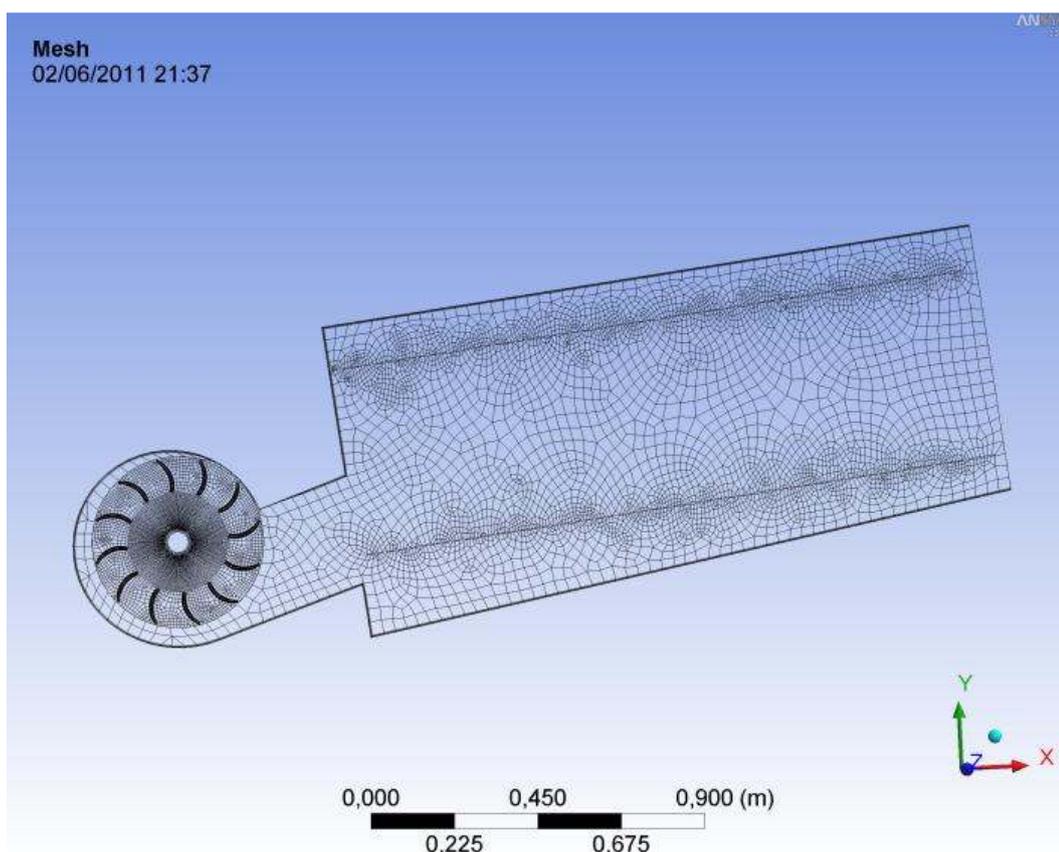


Figura 94 Malha ventilador Sirocco 12 pás

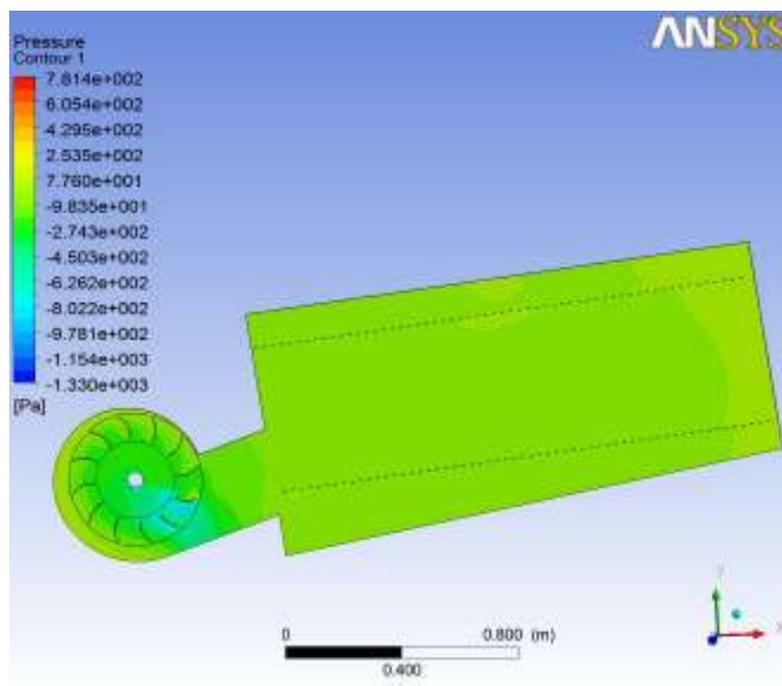


Figura 95 Distribuição de pressão com ventilador Sirocco

Pode ser visto que o valor médio de pressão subiu um pouco acima dos 70 Pascal o que prova a necessidade de fazer análises em simuladores, pois muito mais seria gasto em um protótipo real e em tempo de validação para alcançar os mesmos resultados.

Igualmente para a velocidade foi encontrado um ganho significativo no desempenho, o valor atual passou para 26 m/s na saída do ventilador conforme mostrado na Figura 96.

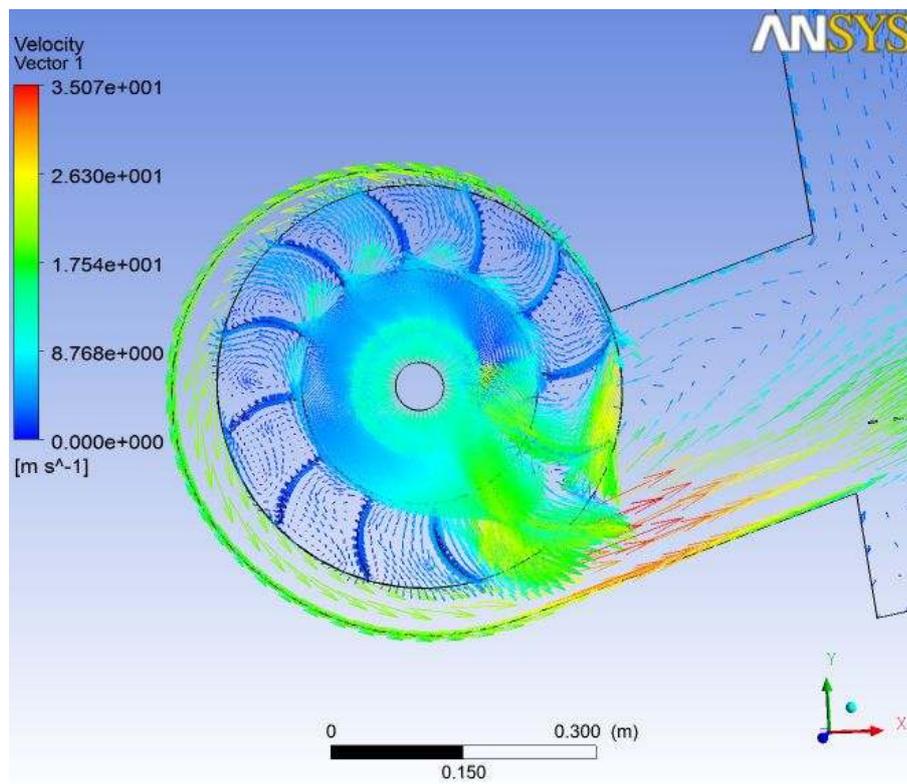


Figura 96 Velocidade de saída da caixa do ventilador Sirocco.

Quanto à distribuição em todo o conjunto também foi observado um aumento. A velocidade de saída do conjunto com a utilização do ventilador Sirocco passou para mais de 9m/s, no entanto podemos observar na Figura 97 um grande vórtice no centro da caixa, o que prejudicaria a separação da palha naquele ponto. Caso seja optado por utilizar este sistema de ventilador, terá que ser adicionado algum apêndice aerodinâmico que redirecione o fluxo de ar nesta zona.

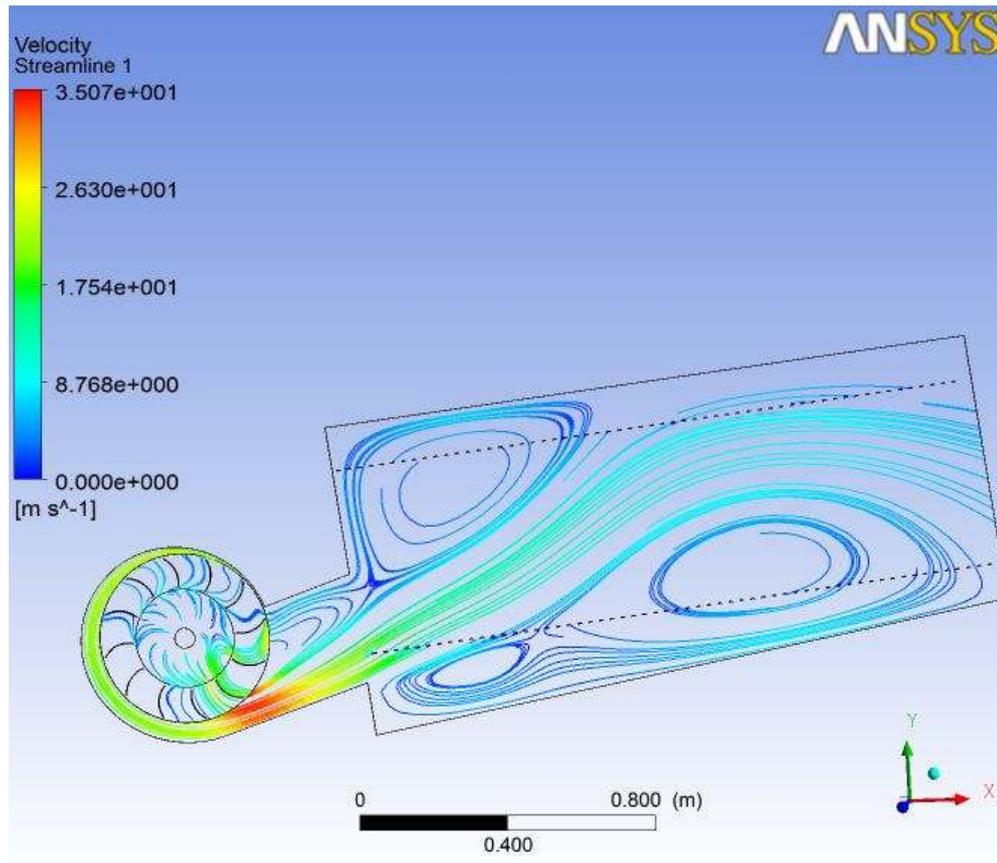


Figura 97 Distribuição de velocidade com ventilador Sirocco

5.6. Ventilador com 48 aletas

Foi realizado mais uma alteração de sistema de ventilador com objetivo de conseguir um ganho no desempenho sobre as análises já realizadas.

Desta vez foi utilizado um ventilador com 48 aletas, conforme Henn (2006) neste sistema é conhecida a necessidade de utilizar fluido limpo para gerar o fluxo de ar devido ao número de aletas, contudo na colheita de grãos uma grande quantidade de pó e outros detritos oriundos do processo de colheita estão dispersos no ar o que prejudicaria o sistema de ventilador, pois estes detritos acabam se acumulando no espaço existente entre cada aleta. Neste sentido foi desenvolvido para esta aplicação um ventilador que conta com aletas e semi-aletas. Como pode ser observado na Figura 98 o espaço existente entre uma aleta e outra é bem pequeno, se todas as aletas fossem do mesmo tamanho o espaço seria menor e propiciaria o acúmulo de material.

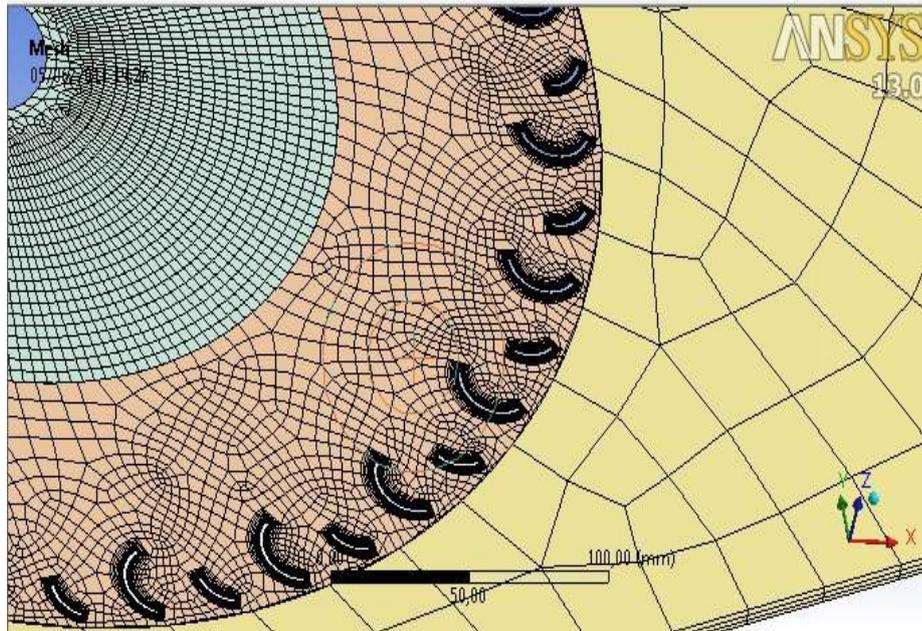


Figura 98 Malha do ventilador Sirocco com 48 pás.

O resultado encontrado nesta análise foi superior aos demais, quanto à pressão atingimos valores próximos de 90 Pa representado pela cor mostarda e que preenche quase que a totalidade da caixa, conforme observado na Figura 99,

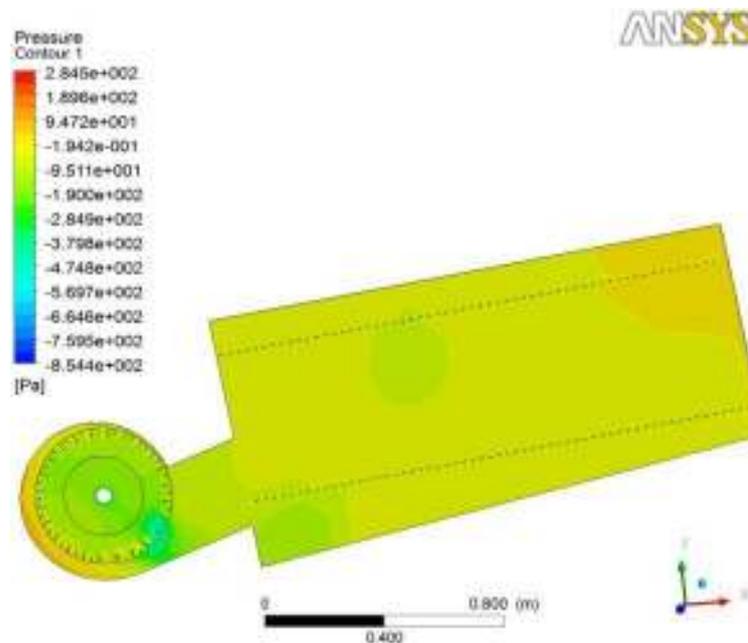


Figura 99 Pressão com ventilador de 48 aletas

Quanto à distribuição de velocidade podemos observar na Figura 100 que o valor de saída da caixa esta em 25 m/s, muito semelhante ao anterior, neste ponto

não teríamos vantagens sobre o sistema anterior, no entanto o valor distribuído em toda a caixa com este sistema de ventilador, como visto na Figura 101, consegue manter um fluxo na parte inferior da peneira, o que é desejável já que a palha estará na maior parte do tempo nesta região devido à gravidade. No canto superior esquerdo da caixa encontramos o mesmo vórtice do sistema anterior, o que já é esperado já que logo abaixo temos a descarga do ventilador.

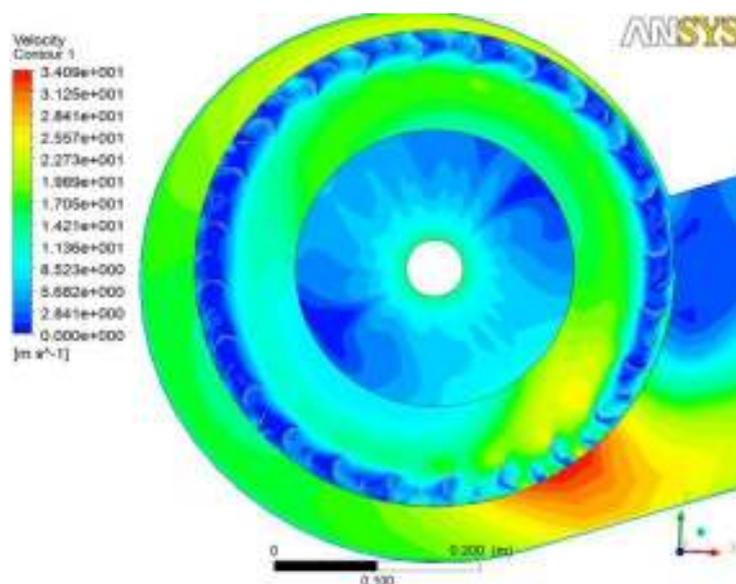


Figura 100 Velocidade de saída da caixa

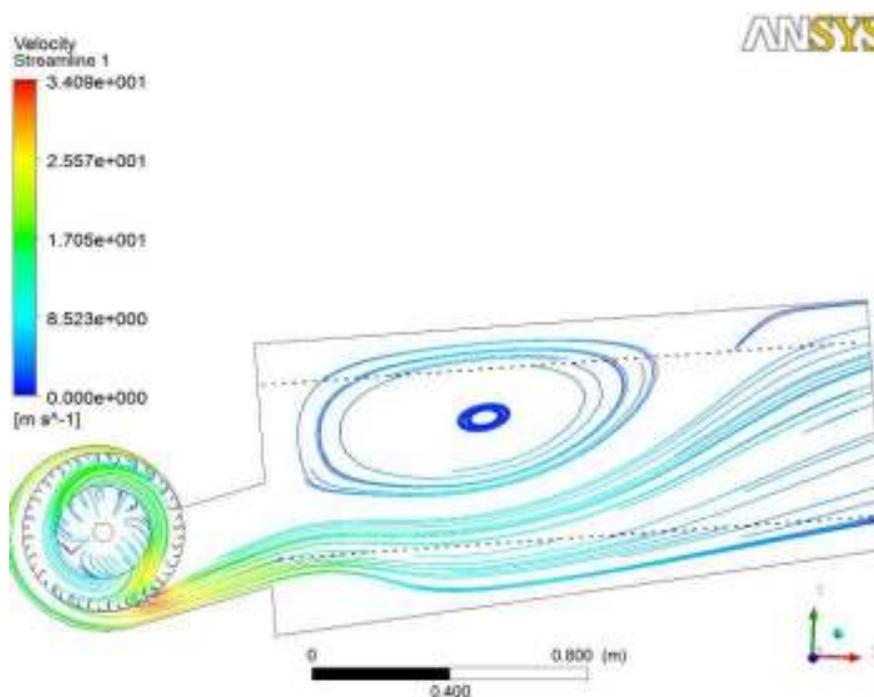


Figura 101 Distribuição do fluxo no interior da caixa

5.7. Análise Tridimensional

Devido aos bons resultados encontrados no sistema anterior, foi realizada uma análise tridimensional deste, para que sejam avaliadas as distribuições longitudinais do sistema. Em alguns casos podemos encontrar uma boa distribuição em uma fatia do sistema, ou como visto até agora no caso bidimensional, no entanto quando estes mesmos casos são testados tridimensionalmente estes podem apresentar zonas de baixa pressão gerando vórtices e com isto prejudicando o resultado esperado.

A seguir iremos avaliar a distribuição e buscar zonas que possam prejudicar o fluxo no sistema.

Como já foi salientado, uma análise 3D¹² possui muitos elementos a mais se compararmos com uma análise 2D¹³, como podemos observar na Figura 102, a quantidade de elementos está próximo aos 4 milhões de elementos, computacionalmente falando teríamos que ter um computador com mais de 4Gb de memória para podermos rodar esta análise. Quanto à análise em si, a validação 3D dependendo do caso e em um computador doméstico, pode levar dias para que o resultado seja alcançado.

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	1095056
<input type="checkbox"/> Elements	4102506
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	8,94769301662546E-06
<input type="checkbox"/> Max	0,892388716633269
<input type="checkbox"/> Average	0,262588723102951
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,137584841250689

Figura 102 Estatísticas da malha tridimensional

A seguir na Figura 103 podemos observar a aparência de uma malha 3D e conjuntamente avaliar a quantidade de elementos existentes.

¹² 3D – Tridimensional

¹³ 2D - Bidimensional

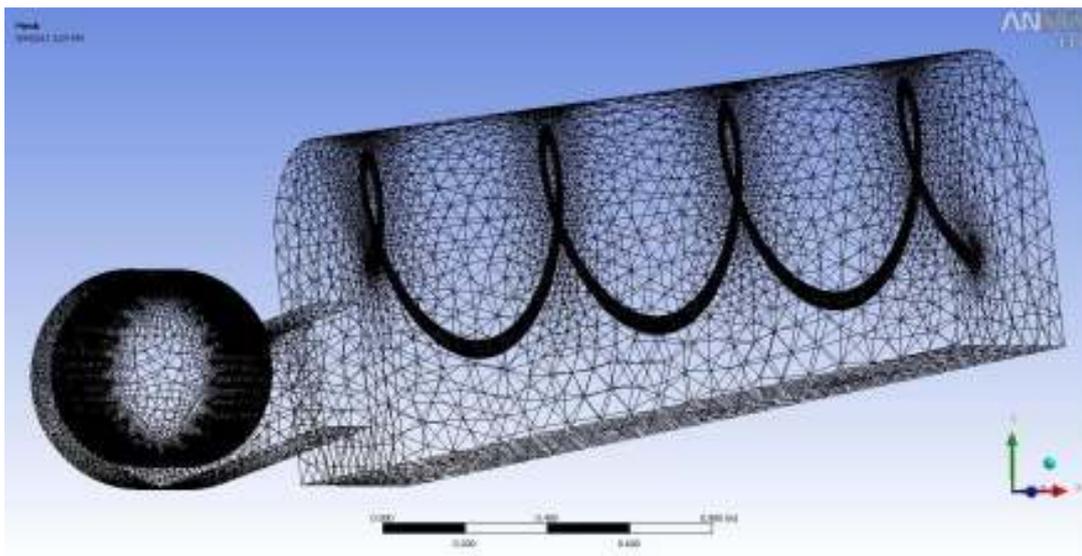
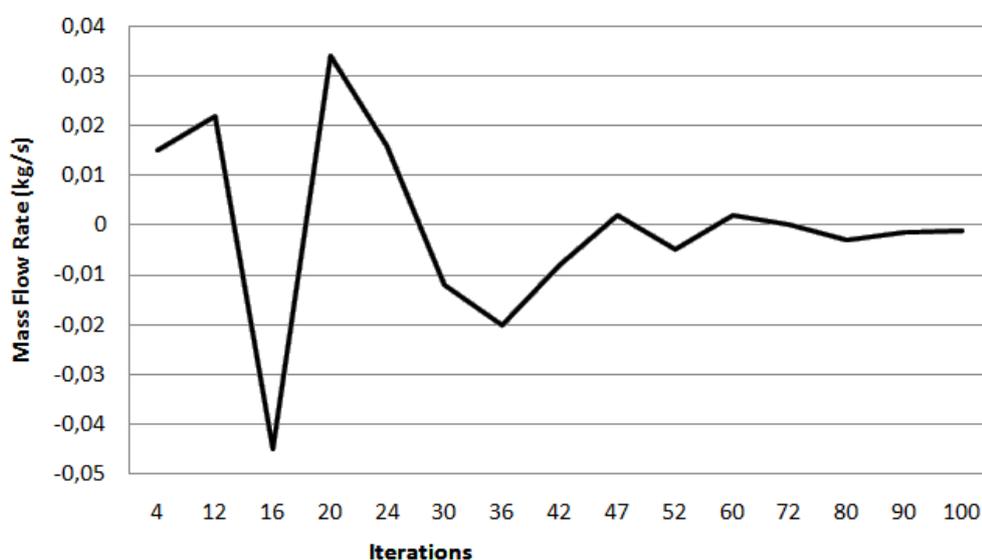


Figura 103 Malha tridimensional

Como um dos parâmetros necessários para a validação pode ser visto na Figura 104 a estabilização do sistema. Com menos de 100 interações a variação de massa no sistema já alcançou valores estáveis.



Convergence history of mass flow rate on outlet
 May, 2011
 ANSYS Fluent 13.0 (3D, pdms)

Figura 104 Taxa do fluxo de massa no sistema

Este gráfico mostra que toda a massa que entra no sistema está saindo com uma pequena variação, isto demonstra que todos os valores de entrada e saída do software foram corretamente aplicados e a resposta apresentada pode ser

considerada como correta. Na Figura 105 o valor de equilíbrio do balanço de massa da análise 3D.

Mass Flow Rate	(kg/s)
inlet_id	2.1941228
inlet_le	2.1941228
outlet	-4.3882728
Net	-2.7179718e-05

Figura 105 Variação de massa do sistema

Para confirmar os parâmetros de convergência, pode ser visto abaixo na Figura 106 todas as equações com valores inferiores a 10^{-3} , que é o ponto mínimo de convergência, comparativamente deve ser observado que apesar da física do sistema ter estabilizado com aproximadamente 100 interações a convergência ocorreu somente com 864 interações.

Confirmando a necessidade anterior de ter uma vazão acima de 1,8 kg/s, com este ventilador foi alcançado um valor aproximado de 4,3 kg/s, sendo assim descartamos a preocupação de que houvesse uma vazão insuficiente com este sistema.

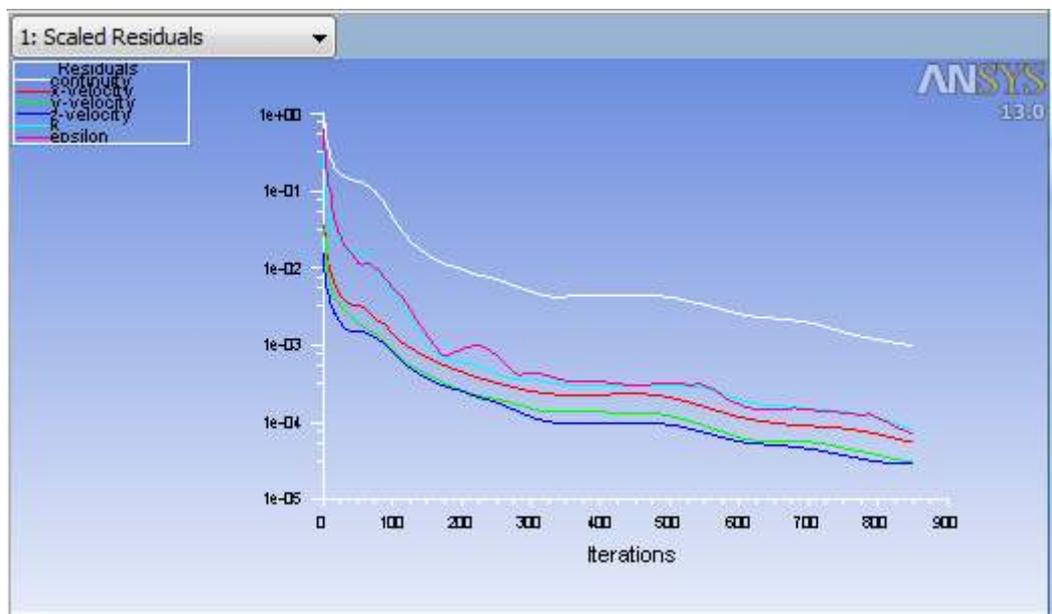


Figura 106 Fator de Convergência

Na Figura 107 pode-se observar que foi obtida uma ótima distribuição do fluxo de ar no interior da caixa, com o fluxo seguindo exatamente sobre o interior do duto. Nesta figura é possível observar que não houve zonas de baixa pressão no interior

da caixa, como observado na análise 2D a pressão é constante na caixa. Caso houvesse zonas de depressão, as linhas não seriam contínuas, seriam gerados alguns vórtices desviando o fluxo.

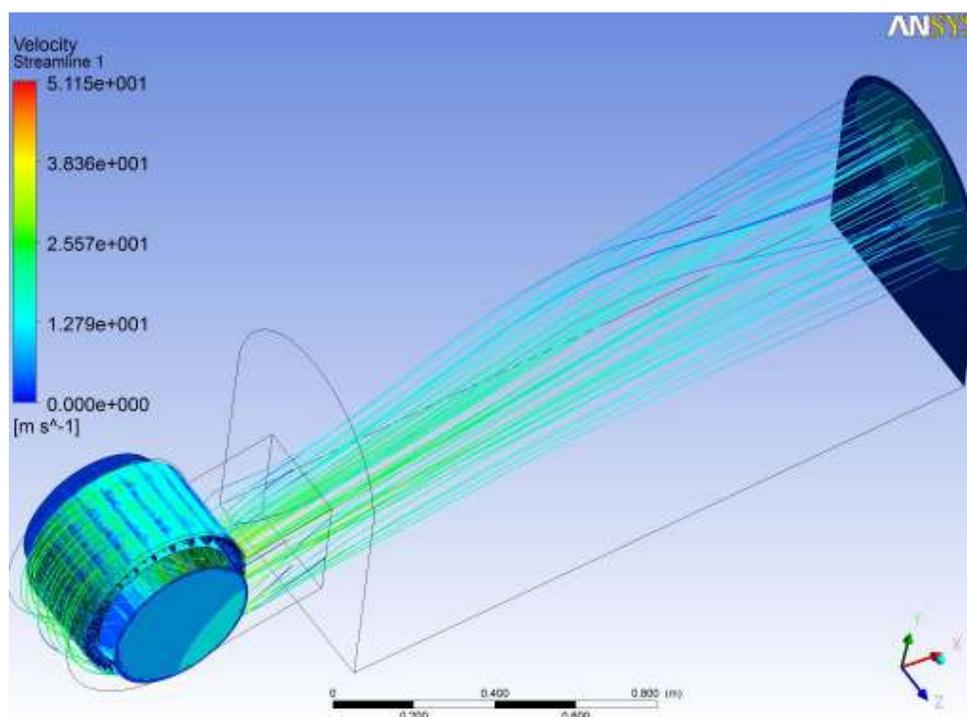


Figura 107 Fluxo de ar no interior do duto com a análise 3D

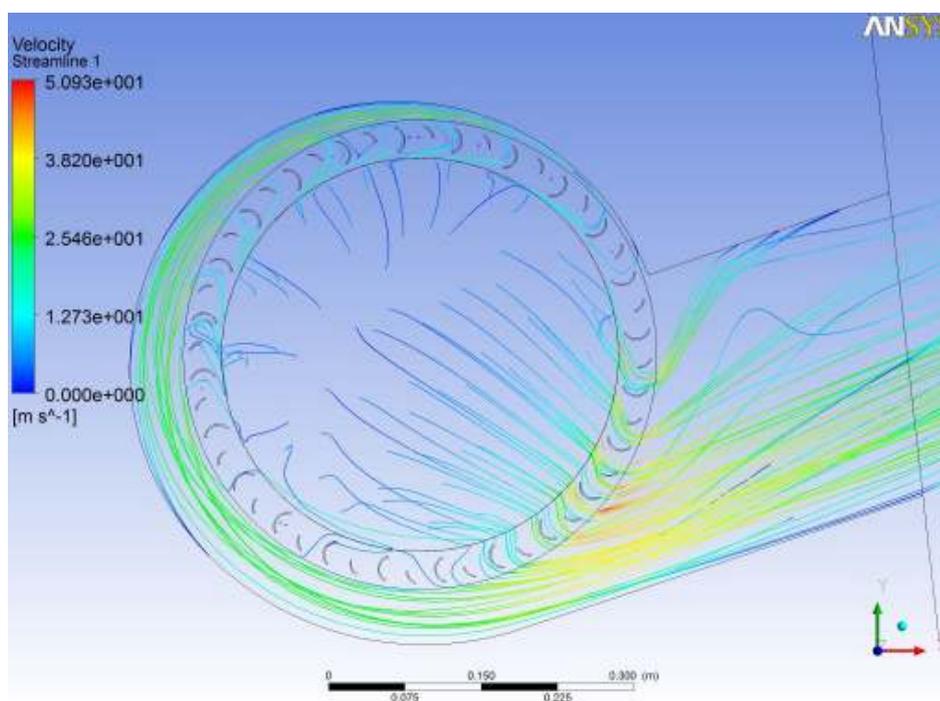


Figura 108 Distribuição de ar na saída do rotor

Na Figura 109 foi gerada uma análise demonstrando um volume onde a velocidade é 7 m/s, esta visualização é muito interessante já que podemos observar se existe algum ponto no duto onde a velocidade seria menor que este valor, prejudicando com isto a separação do material. Pode-se observar que a distribuição é bem uniforme no interior da caixa.

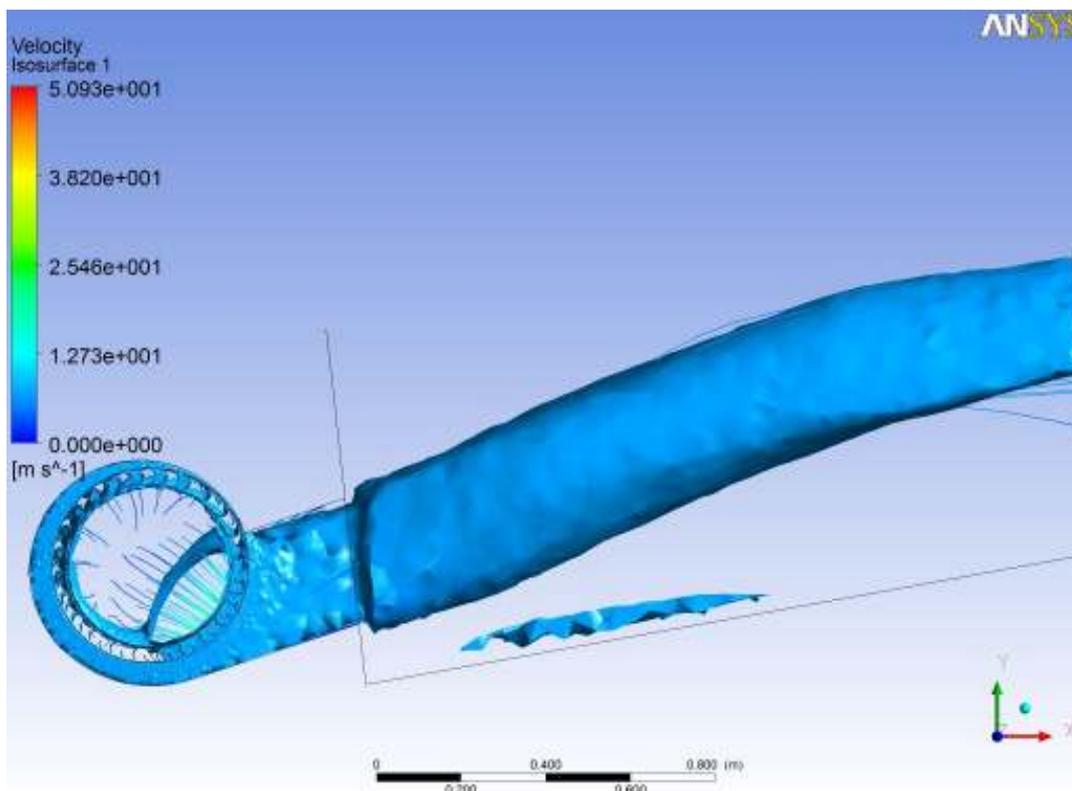


Figura 109 Volume com velocidade de 7m/s

6. TESTES DE LABORATÓRIO

Após as análises virtuais um modelo físico em escala real foi desenvolvido para que as simulações pudessem ser validadas.

Para esta validação um sistema de ventilador com 48 aletas foi construído, e alguns testes foram realizados em laboratório para que seja observado o comportamento do conjunto com palha e grãos.

Na Figura 110 pode ser visto o modelo desenvolvido ainda no CAD e na Figura 111 o modelo produzido para os testes de laboratório.

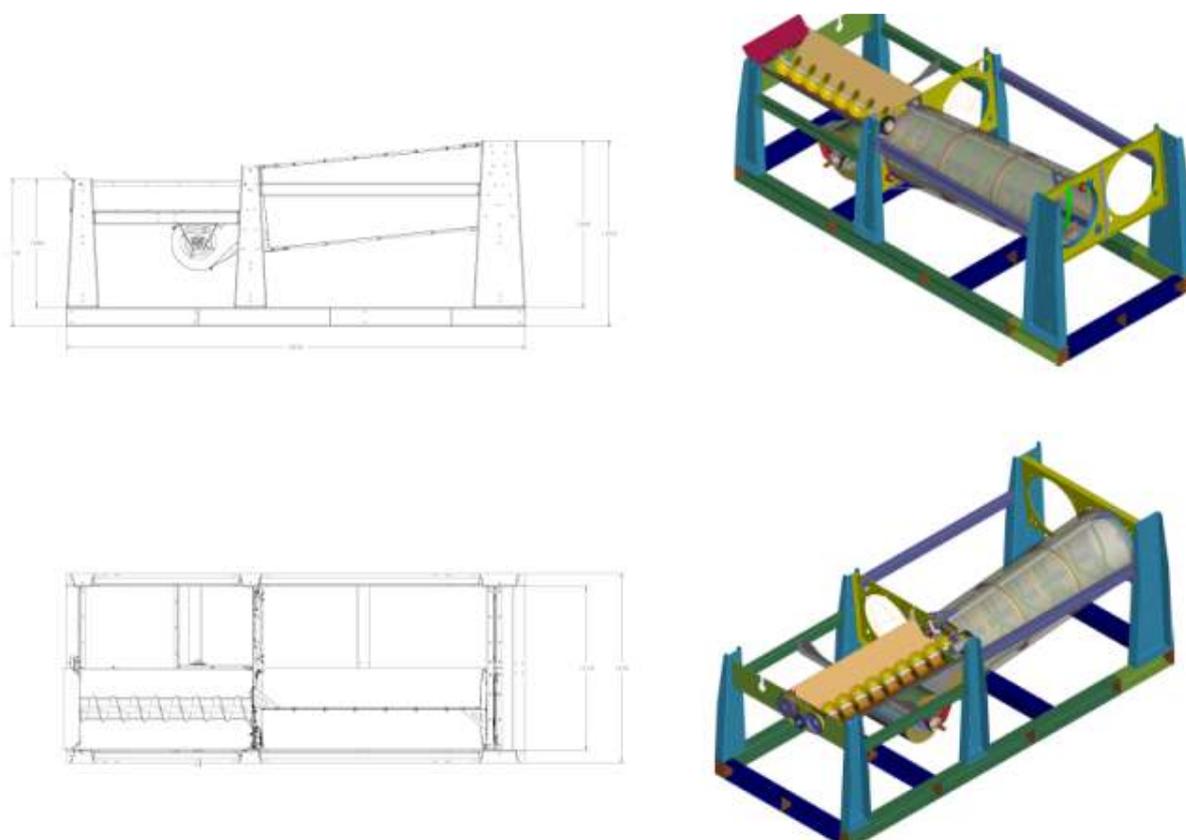


Figura 110 Modelos para construção do protótipo
Cedido por: (AGCO Corporation)



Figura 111 Protótipo para testes de laboratório
Cedido por: (AGCO Corporation)

6.1. Teste de fluxo de ar no ventilador

Os primeiros testes realizados foram na caixa do ventilador (Figura 112), com o objetivo de validar o fluxo de ar encontrado na etapa de simulação, como dito anteriormente, o ventilador a ser construído é o conjunto com o rotor de 48 aletas como mostrado na Figura 113.



Figura 112 Caixa do ventilador, teste de velocidade.
Cedido por: (AGCO Corporation)



Figura 113 Rotor do ventilador
Cedido por: (AGCO Corporation)

Este teste foi realizado acoplado o eixo do ventilador a um motor elétrico que fosse capaz de girar o rotor até a rotação de 4000 rpm. Apesar do ventilador trabalhar em 1000 rpm, o teste com maiores rotações se faz necessário para que seja encontrado o limite do rotor.

A velocidade gerada em um rotor encontra seu limite quando as aletas começam a criar uma zona de grande depressão, fazendo com que a aleta seguinte não tenha massa de fluido suficiente para carregar o rotor. Este fenômeno pode também ser chamado *stall* ou flutuação em português, que é o mesmo que ocorre quando uma aeronave perde sustentação. A partir deste limite o ventilador começa a girar em vazio, pois o fluido não é mais acelerado para fora da voluta do ventilador com a mesma taxa anterior.

Duas informações importantes podem ser retiradas do gráfico da Figura 114. A primeira e a mais importante, o teste de laboratório mostrou uma velocidade no centro da caixa de 16,9 m/s a 1000 rpm, este valor valida os resultados gerados na simulação, que apresentou uma faixa de velocidade entre 14 e 25 m/s. Este resultado nos apresenta que podemos considerar válida a simulação e com isto o valor gerado para o interior da caixa também será válido, proporcionando uma adequada limpeza do material. A partir deste ponto podemos seguir com a construção do restante do sistema de limpeza com o intuito de validar o resultado de limpeza do material.

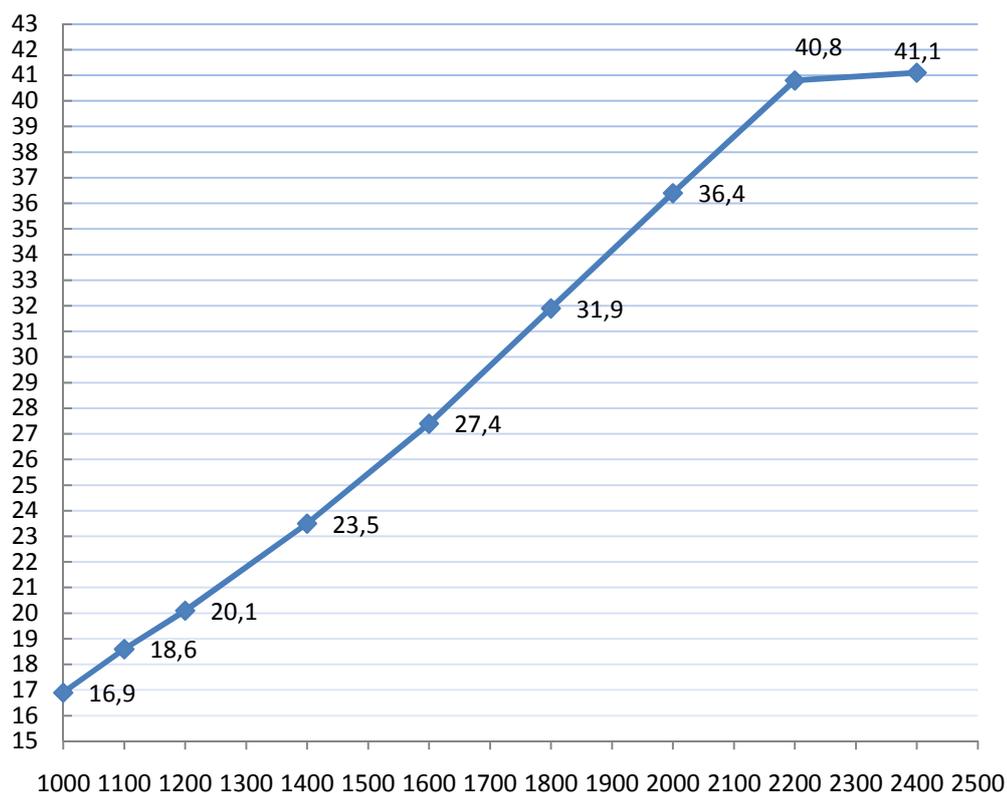


Figura 114 Velocidade do ar (m/s) x rotação ventilador (rpm)

A segunda informação gerada no gráfico é o limite do rotor, segundo o resultado gerado, podemos observar que o limite está em aproximadamente 2200 rpm e produzindo uma velocidade de 40,8 m/s, velocidade esta que está muito além da necessária para o nosso sistema. Isto significa que não teremos problemas com zonas de depressão no rotor para a rotação que será utilizada.

6.2. Teste de fluxo de ar no rotor da peneira

Após serem encontrados valores satisfatórios no sistema de ventilador o próximo teste foi realizado na caixa do rotor com o objetivo de validar a velocidade de ar na saída do rotor da peneira (Figura 115). O resultado encontrado neste teste foi uma velocidade de 7 m/s, como nos outros testes, este valor também está muito próximo do encontrado na simulação que foi ao redor de 8,5 m/s.



Figura 115 Rotor da peneira sem as coberturas

Cedido por: (AGCO Corporation)

Com o teste de fluxo de ar concluído e com valores muito satisfatórios, seguiremos com os testes, sendo assim serão iniciados os testes com grãos.

6.3. Teste de vazão da peneira rotativa

Este teste tem o objetivo de mostrar praticamente a capacidade de limpeza da peneira rotativa. Para tanto foi utilizado grãos e palhas de soja.

Para este teste foi utilizado os seguintes insumos (Figura 116):

- massa de grãos limpos de soja: 92 kg
- volume de palha de soja: 10 kg

Neste ponto vale lembrar que para a limpeza existem apenas palhas pequenas na sua grande maioria. As palhas grandes e caules são separados pelo saca-palha no caso da MF5650.



Figura 116 Material misturado

Para que fosse possível simular a velocidade de colheita de uma colheitadeira, foi adicionada uma extensão a frente do helicóide transportador, como pode ser visto na Figura 117. Este helicóide irá carregar o material como se a máquina estivesse deslocando-se a uma velocidade de 6 km/h. Esta é a velocidade média de colheita. Para lavouras extremamente planas esta máquina pode atingir até 10 km/h, como exemplo podem ser citadas as lavouras do estado do Mato Grosso.

A rotação ideal na peneira foi alcançada de forma experimental, como objetivo foi colocado que o material deveria subir um ângulo mínimo de 90° antes de tombar. Começamos o teste com 60 rpm o que foi muito veloz, o material subia bem mais do que 90°, principalmente a palha que por ser mais leve acabava subindo mais. Além disso, a velocidade de transporte do material também ficou exagerada com 60 rpm produzia-se uma velocidade de transporte perto de 1,57 m/s, e esta velocidade não era capaz de separar os grãos, uma grande quantidade acabava sendo expulsa no final do rotor juntamente com a palha.

A rotação ideal ficou ao redor de 25 rpm, com esta rotação a grande maioria dos grãos são separados.



Figura 117 Helicóide adicional, mais ao fundo e helicóide transportador

Cedido por: (AGCO Corporation)

6.4. Teste de vazão da peneira rotativa com inclinação

O principal objetivo deste sistema é a utilização de uma nova geometria, portanto faz-se necessário a validação do sistema com esta variável.

Para simular a inclinação do terreno toda a banca de teste foi inclinada em 15°, este ângulo pode simular a variação de um terreno e com isto poderá o material se acumular em algum ponto da peneira rotativa antecipando os resultados reais.

Na Figura 118 pode ser observada a inclinação imposta à bancada de teste. Todos os demais parâmetros continuam sendo os mesmos da análise sem inclinação.

Uma inclinação de 15° está próxima do limite permitido para estas máquinas que por possuírem tanto o centro de gravidade quanto o peso muito altos, correm o risco de tombamento. Na região sul, podemos encontrar esta inclinação tanto no estado do Rio Grande do Sul quanto no Paraná.



Figura 118 Bancada inclinada em 15°

Cedido por: (AGCO Corporation)

Na Figura 119 pode ser observada a separação, feita por uma fita, entre a helicóide transportadora e a extensão. Esta separação simula o carregamento da peneira em uma máquina entrando na lavoura para colher. Na Figura 120 pode ser visto o material colocado na extensão da helicóide pronto para o teste.



Figura 119 Separação das helicóides
Cedido por: (AGCO Corporation)



Figura 120 Material preparado para teste
Cedido por: (AGCO Corporation)

Os testes realizados foram bons e forneceram respostas sobre o material separado, outros comentários podem ser vistos no capítulo a seguir.

7. RESULTADOS

Após a conclusão dos testes os seguintes resultados foram verificados.

As avaliações tanto simuladas quanto de laboratório se mostraram muito boas, a capacidade de limpeza foi muito boa se tratando de um primeiro protótipo.

A capacidade de limpeza do material ficou ao redor de 4.800 kg/h de grãos de soja por rotor, multiplicando por dois, teríamos uma média de 9600 kg/h, atualmente a capacidade de colheita de uma máquina com peneiras planas é de 10.500 a 11.000 kg/h. Na Figura 121 pode ser visto como ficou o material após ser descartado da peneira, vale salientar que pouquíssimos grãos foram encontrados.

O valor de perdas nesta situação chegou a um índice de 0,8%, valores muito bons, onde podemos aceitar até um pouco mais de 1,5%.

Comparativamente às peneiras planas, temos um leve ganho já que na média de perdas das peneiras planas está em 1,3% em máquinas bem reguladas.



Figura 121 Material eliminado da peneira

Os testes da peneira rotativa estão sendo realizados sem o sistema de retrilha para que seja avaliado o real potencial de limpeza do sistema, sem a necessidade de auxílio.

Quanto à qualidade dos grãos, não foram encontrados grãos com rachaduras ou quebras que pudessem identificar alguma ação das peneiras, normalmente as quebras são geradas no côncavo e no cilindro de trilha, mas como este é um novo sistema, algum componente poderia avariar os grãos.

A utilização da peneira rotativa não agrediu os grãos de soja, sendo assim a qualidade dos grãos se manteve tão boa quanto com a utilização das peneiras planas. Testes realizados com solução de hipoclorito de sódio a 10% mostraram que menos de 6% dos grãos sofreram avarias na casca. Este índice é considerado normal. Sendo assim o design das peneiras rotativas não deprecia a qualidade dos grãos.

Os testes realizados com todo o sistema inclinado mostraram algumas deficiências, como todo o sistema sofreu inclinação o fluxo de ar seguiu a mesma variação angular, no entanto os grãos pela ação da gravidade continuaram perpendiculares ao solo. Com esta variação o material acabou ficando em uma zona com deficiência de ar, sendo assim a atuação deste fluxo na limpeza foi ineficiente, fazendo com que as perdas passassem de 3,5%. Além do índice de perdas ser muito alto, o material separado ficou igualmente prejudicado com muita sujeira (Figura 122). A Figura 123 mostra a quantidade de grãos expulsa da peneira, os quais seriam perdidos na lavoura.



Figura 122 Material separado com alto índice de sujeira



Figura 123 Material eliminado da peneira com sistema inclinado

Outro problema encontrado foi à adesão de alguns caules no rotor do ventilador, mostrado na Figura 124 que com o passar do tempo e com o aumento da quantidade de material disponível, pode se agravar, contudo este é um problema de fácil solução, apenas a adição de uma tela de proteção pode resolver. Até o momento nenhum material aderido às aletas foi identificado.



Figura 124 Contaminação do ventilador

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Neste trabalho foram apresentados diversos sistemas de colheitas e descritas as suas principais características. Esta parte do trabalho visou condensar informações sobre os sistemas de colheita já que a literatura existente sobre este tema é bastante restrita.

O sistema desenvolvido é de fácil instalação por utilizar um conjunto estrutural, pode ser montado fora da máquina e que suporta todos os componentes. Pelo fato de ser montado em uma estrutura externa, este pode ser ajustado para diversas larguras de colheitadeiras, inclusive alterando o diâmetro das gaiolas, caso haja necessidade de aumentar a área das peneiras.

O acionamento com rolos guia e o rolo tracionador executou bem a tarefa, já que não se podia mancalizar o centro do rotor, a opção de acionamento externo foi inevitável.

Este acionamento tem um custo baixo comparado a outras alternativas como, por exemplo, correias e suportou bem as cargas aplicadas.

Quanto às manutenções, todas as grelhas são montadas separadamente fazendo com que seja fácil a retirada das mesmas, no caso de manutenção ou substituição. Se necessário, alguns rolos guia podem ser desmontados permitindo assim que toda a gaiola do rotor seja retirada.

Por ser um sistema rotativo, não é necessária a utilização de sensores eletrônicos que ajustem ângulo ou variem rotação para melhorar a limpeza do material.

Quanto à quantidade de perdas, o sistema trabalhando sem inclinação mostrou-se uma ótima alternativa, com um índice de 0,8% de perdas. No entanto devido alguns problemas na ligação entre a saída do ventilador e a entrada do rotor, os testes com o conjunto inclinado não se mostraram tão satisfatórios gerando um índice de perdas acima de 3,5% e gerando vazamento de grãos pela lateral do duto de ar devido à variação angular.

Com relação à qualidade do grão, em ambos os testes os grão apresentam-se em ótimo estado mostrando que não ocorrerão danos com a utilização das peneiras rotativas.

Para aprimorar a utilização do sistema inclinado, a helicóide da gaiola deve ser seccionada, fazendo com isso que o material fique mais tempo no interior do

rotor melhorando a separação. Um novo duto de saída do ventilador deve ser criado fazendo com que o ar seja distribuído de maneira homogênea tanto em terrenos planos quanto em atuações em terrenos inclinados, O sistema de retilha deve ser incorporado diminuindo com isso o número de perdas.

Fica claro o grande potencial da utilização das peneiras rotativas em substituição as peneiras planas no sistema de limpeza, algumas melhorias ainda fazem-se necessárias, contudo os resultados obtidos até o momentos são muito bons e não devem ser descartados ou considerados insuficientes.

Como todo o novo design, algumas adequações ainda devem ser realizadas para que todo o sistema alcance níveis ideais de liberação comercial, neste trabalho foram apresentados os resultados aqui registrados, contudo a pesquisa deve prosseguir, já que tudo indica que este seja um produto promissor.

Visando a utilização das peneiras rotativas nas máquinas agrícolas outros trabalhos podem ser iniciados considerando outros sistemas de limpeza.

Com o intuito de criar um novo design fica a sugestão de avaliar um sistema que ao invés de utilizar peneiras rotativas possa utilizar esteiras perfuradas com movimento de vibração, no interior da esteira um sistema de colchão de ar que possa suspender a palha e com a vibração fazer com que os grãos caiam separando o material.

Outra alternativa pode ser mudando a forma geométrica da peneira rotativa de cilíndrico para cônico e com isto aumentar o tempo de permanência do material no interior da peneira e também aumentar a pressão do fluxo de ar na saída da gaiola.

Como o sistema de limpeza das colheitadeiras de grãos vem sendo o mesmo, com a utilização de peneiras planas, depois de tantos anos muitas alternativas podem ser geradas e com isto melhorar o desempenho destas máquinas e, por conseguinte aumentar a disponibilidade de alimentos em todo o mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agronegócios On-line.** Disponível em: <<http://www.agron.com.br/v/10230-area-plantada-de-trigo-no-parana-vai-diminuir>>. Acesso em: 20 out. 2010.
- ALM, A. W. **Combine Sieve Plate.** . Iowa, 4 dez 1984
- ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira (2010) Brazilian automotive industry yearbook (2010).** . São Paulo • SP • Brasil: ANFAVEA. Disponível em: <www.anfavea.com.br>. Acesso em: 31 jul. 2010. , 31 jul 2010
- ANSI/ASAE. **ANSI/ASAE S343.3 FEB04,** 10 dez 2010
- ANSYS. **Ansyp User Guide Versão 13.1,** 2011.
- ANSYS, I. **Meshing Help:** ANSYS, 2009.
- Antique Farming.** Disponível em: <www.antiquefarming.com/index.html>. Acesso em: 8 jun. 2010.
- BATISTA, W. DE O.; REIS, E. F. DOS R.; DEVILLA, I. A. *et al.* **Qualidade Fisiológica De Sementes De Soja Em Uma Colhedora De Fluxo Axial,** 2006.
- BAXTER, M. **Projeto do Produto: guia prático para o design de novos produtos.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- BRUMAZI. **Peneira Rotativa para Caldo Misto.** Disponível em: <http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_preparo/aa-area-atuacao-preparo-caldo-peneira2.php>. Acesso em: 10 mar. 2011.
- Câmara Municipal de Agrônômica.** Disponível em: <http://www.cva.sc.gov.br/adm/pub_img/foto_cidade_id_11.jpg>. Acesso em: 14 dez. 2011.
- CESA, T. R. **Design de Uma Estrutura de Proteção Contra Capotamento para Tratores Agrícolas Utilizando Simulação Computacional.** Brasil: UFRGS, 2010.
- CLASS. **Folder Publicitário.** Disponível em: <http://www.claas.com/cl-gr/en/main/start,lang=en_UK.html>. Acesso em: 18 abr. 2010.
- COGO, C. **As Tendências do Agronegócio Brasileiro na Economia e na Indústria de Máquinas Agrícolas.** . SAE Brasil, Setembro de 2010
- COURANT, R.; HILBERT, D. **Methods of Mathematical Physics.,** 1943. v. 2
- COUTINHO, M. R.; OMOTO, E. S.; ANDRADE, C. M. G.; JORGE, L. M. DE M. **Modelagem E Validação Da Hidratação De Grãos De Soja,** 2005. v. 25
- CULPIN, C. **Farm Machinery.** 11. ed.: Collins Professional and Thecnical books, 1986.
- DINSMORE, P. C.; CAVALIERI, A. **Como se Tornar um Profissional em Gerenciamento de Projetos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.
- FERZIGER, J. H.; PERIC, M. **Computational Methods for Fluid Dynamics.:** Springer, 1996.
- FIOD, M. N. **Desenvolvimento de Sistema Computacional para Auxiliar a Concepção de Produtos Industriais.** Florianópolis - SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.
- GLENER R6 Series Transverse Combines. Disponível em: <<http://www.agcoiron.com/default.cfm?PID=1.23.7>>. Acesso em: 29 ago. 2010.
- GONÇALVES, N. D. F. **Métodos dos Volumes Finitos em Malhas Não-Estruturadas.** Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2007.
- HENN, É. A. L. **Máquinas de Fluxo.** 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2006.
- KEPNER, R. A.; BAINER, R.; BARGER, E. L. **Priciples of Farm Machinery.** Connecticut: The Avi Publishing Company, 1972.
- LOBDELL, B. M.; NELSON, J. A. **Elemento de limpeza de colheitadeira**

combinada, 13 jul 2009

LUCK, D. J. **Política e Estratégia de Produto**. São Paulo: Editora Atlas, 1975.

MAERTENS, K.; BAERDEMAEKER, J. DE; RAMON, H.; KEYSER, R. DE. PH-- Power and Machinery: An Analytical Grain Flow Model for a Combine Harvester, Part I: Design of the Model. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 79, n. 1, p. 55-63, Maio 2001.

MANFREDINI; SCHIANCHI. **M&S - PENEIRAS**. Disponível em: <<http://www.manfredinieschianchi.com/302-00-4PO-peneiras.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

MARQUES, A. C. **Análise de Similares: Contribuição ao Desenvolvimento de uma Metodologia de Seleção de Materiais e Ecodesign**. Rio Grande do Sul - Brasil: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, 2008.

MF RURAL. **MF Rural**. Disponível em: <www.mfrural.com.br>. Acesso em: 1 out. 2010.

MIALHE, L. G. **Manual de Mecanização Agrícola**. São Paulo • SP • Brasil: Agronômica Ceres, 1974.

Mundo Agrícola. **Revista Mundo Agrícola**, v. 162, out 1965.

NEW HOLLAND. **New Holland**. Disponível em: <<http://agriculture.newholland.com/italy/it/Pages/homepage.aspx>>. Acesso em: 10 out. 2010.

NOGUEIRA, A. C. L. MECANIZAÇÃO NA AGRICULTURA BRASILEIRA: UMA VISÃO PROSPECTIVA. **Caderno de Pesquisas em Administração**, nº 4. v. 08, outubro/dezembro 2001.

NYBERG, C. **Highlights in the Development of the Combine**. Agricultural Engineer, 1957.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Las máquinas agrícolas y su aplicación**: Mundi-Prensa Libros, 2003.

PAHL, G.; BEILTZ, W.; FELDHUSENN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na Engenharia - Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produto**. 6. ed. Brasil: Edgard Blücher, 2005.

PMI. **PMBOK 2000**. 2000. ed. EUA: Project Manager Institute Headquarters, 2001.

QUEIROZ, N. F. DE. **Simulação com CFD de escoamento de fluxo ao redor de um edifício de 10 andares**. RIO GRANDE DO NORTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, 2008.

RICHEY, C. ; JACOBSON, P.; HALL, C. W. **Agricultural engineers' handbook**. 52617. ed. New York: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC., 1961.

RICKETTS, J. E.; WAGNER, B. J.; CANNEGIETER, T. **Distribution Leveling for an Agricultural Combine**. Acesso em: 21 out. 2010. , 19 fev 2009

ROMANO, L. N.; BA, N; OGLIARI, A.; PATUSSI, V. **O Processo de Desenvolvimento de Produto de Duas Empresas de Máquinas Agrícolas**. XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola , 25 jul 2005

ROSSETTI, J. P.; GAJ, L.; COBRA, M.; CABRERA, L. C. Q. **Transição 2000: tendências, mudanças e estratégias**. São Paulo: Makron Books, 1983.

ROUSE, P. L. **Combine Sieve Support**. 8 fev. 1973

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; TOLEDO, J. C. DE; *et. al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produto: Uma Referência para a Melhoria dos Processos**. São Paulo • SP • Brasil: Editora Saraiva, 2006.

SILVA, J. S. E; NOGUEIRA, R. M.; MAGALHAES, E. A. **Pós Colheita**. Disponível em: <http://www.ufv.br/poscolheita/Parte3/Cereal/CerealWeb/CilindroDenteConcavo_index.htm>

. Acesso em: 10 out. 2010.

SILVA, O.; MILANI, M. **Cultivo da Mamona**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona_2ed/colheita.html>. Acesso em: 24 ago. 2010.

STEIN, P. E. H. L. **Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)**. Engineer Material Handbook, 1999.

UNDERWOOD, M. R. **Combine Sieve Levelling Apparatus**. . Kansas, 1 fev 1994

Unitec. Disponível em: <<http://www.unitec.ind.br/produto1.htm>>. Acesso em: 18 out. 2010.

WHEELWRIGHT, S. C.; CLARK, K. B. **Revolutionizing Products Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality**. New York: Free Press, 1992.