

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto Conceitual de uma Máquina Cortadora
de Árvores para Biomassa

por

Enric Carrer Vives

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Dezembro, 2012



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto Conceitual de uma Máquina Cortadora de Árvores para Biomassa.

por

Enric Carrer Vives

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Arnaldo Ruben Gonzalez
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Joyson Pacheco

Comissão de Avaliação:

Prof.

Prof.

Prof.

Porto Alegre, 7 Dezembro 2012.

ABERTURA

- DEDICATÓRIA;

Este trabalho é dedicado as pessoas que me deram suporte durante minha etapa acadêmica. Aquelas que ajudaram a superar os momentos difíceis que passei durante os estudos de engenharia, particularmente a minha família. Aos meus pais, que assim como os meus irmãos, sempre me deram os conselhos mais sábios, baseados em sua experiência e perspectiva objetiva. Dedico também aos companheiros de universidade, bem como aos amigos da infância, que sempre estiveram lá para ajudar a qualquer hora.

- AGRADECIMENTOS;

Agradeço especialmente o Prof. Joyson Pacheco que durante os últimos 4-5 meses aconselhou-me com os seus conhecimentos e experiência. Ajudou-me também a ter a mente aberta e questionar muitas ideias para achar a melhor solução. Por outra parte eu queria agradecer o meu pai Ignasi Carrer porque aconselhou-me com os seus conhecimentos e sua experiência no mundo da biomassa. Agradecemos também a Pep Carrer porque suas ideias ajudaram a fornecer um outro ponto de vista exterior para resolver os problemas que surgiram.

RESUMO

O trabalho consiste em projetar uma máquina que acoplada a um trator corta as árvores cultivadas em plantações de curta rotação (“Short Rotation Forestry”) para produção de biomassa. É uma máquina simples, para cortar árvores de 12 a 20 cm de diâmetro. O objetivo é fazer um estudo de viabilidade, através de um projeto conceitual da máquina, para um futuro projeto executivo. Para isto será feito um modelo físico completo em CAD 3d e um dimensionamento preliminar mínimo da máquina. O estudo de viabilidade foi feito com a ajuda de análise de funções e usuários (FAST, QFD), e o projeto conceitual com ajuda de programas CAD. Os resultados esperados são um projeto conceitual suficientemente detalhado (do ponto de vista físico e funcional) para futuramente ser feito um projeto executivo detalhado para fabricação, montagem e teste de um protótipo.

PALAVRAS-CHAVE:

Florestamento de curta duração (“SRF”)
Biomassa
Máquina para corte.

ABSTRACT

The work consists in designing a machine intended to be coupled with a tractor to cut the trees of Short Rotation Forestry plantations to produce biomass. It may be able to cut 12-20 cm diameter trees, and the goal of this study is to do a feasibility analysis and conceptual design of the machine, by building up a 3D CAD model with dimensional analysis on the most important parts of the machine. It will be addressed a feasibility study based on functionality and usability analysis (FAST, QFD), for the conceptual design thus enabling the development of a detailed design subsequently. The results are expected to provide a feasibility study, conceptual design and have a design the most advanced possible to manufacture a test prototype in the future.

KEYWORDS:

SRF- Short Rotation Forestry plantations
Biomass
Cutting machine

INDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
4 METODOLOGIA	4
4.1 Estudo funcional.....	4
4.2 Projeto conceitual.....	7
5. CONCLUSÕES	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
Anexo I	16

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho destina-se a fornecer uma solução conceitual de uma máquina para um setor muito específico da energia alternativa. Devido à volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis tradicionais, o campo das energias alternativas é um campo com muito futuro. No caso em estudo se procura soluções no campo da biomassa, em plantações específicas para produção de combustível a partir da lenha de árvores plantadas tecnicamente para esta finalidade.

Estas plantações têm como finalidade assegurar uma produção estável de madeira que pode ser cortada a cada dois anos sem a necessidade de remover as raízes, e por tanto com brotação aproveitável em anos seguintes, durante aproximadamente 10 a 12 anos de vida produtiva para a plantação. Desta forma pode-se controlar uma produção constante de biomassa sem depender de fatores externos da economia mundial como o preço dos transportes, calefação, etc... e ao mesmo tempo é uma energia relativamente limpa com o ambiente.

A qualidade da biomassa é muito dependente da umidade da madeira. Atualmente nas plantações de curta rotação se produz a biomassa quando as árvores ainda estão verdes e com alta umidade. Para ter valor comercial, essa biomassa deve ter umidade baixa. De acordo com os fabricantes de caldeiras, é necessário uma porcentagem d'água inferior ao 30%. Com este propósito, muitas vezes deixa-se secar a madeira cortada em grandes locais abertos para conseguir uma biomassa de qualidade aceitável. E estes fatores devem ser considerados no projeto conceitual da máquina.

Os tipos de plantações descritos também se chamam "Short Rotation Forestry" (SRF). Dentro das SRF podem-se diferenciar dois tipos diferentes de plantações em função dos tempos de corte e plantação.

As mais utilizadas são aquelas em que as plantas são cortadas cada dois anos sem tirar a raiz. Depois de 5 ciclos (10-12 anos em total) as raízes são trocadas por novas plantas. Os outros tipos fazem ciclos de maiores tempos (4 anos) mas de menor frequência (2-3 ciclos). A distribuição dessas plantações é um pouco diferente das plantações tradicionais. A seguir mostra-se de forma esquemática o layout destas plantações.

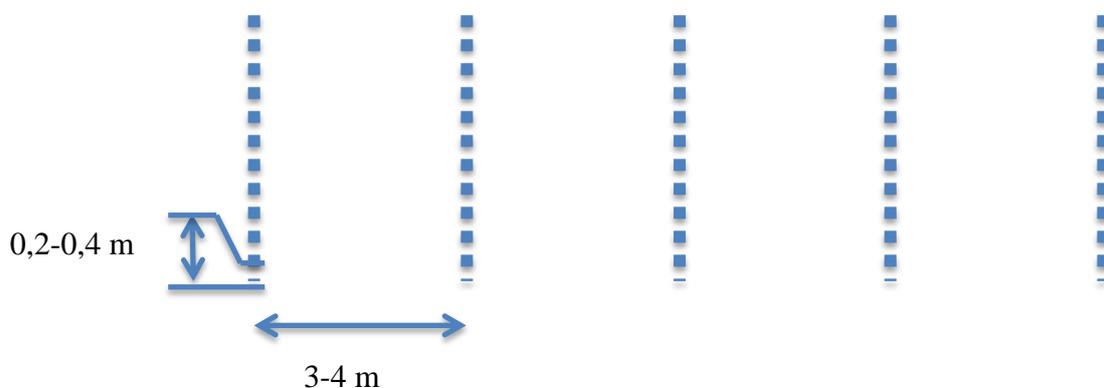


Figura 1.1: Diagrama de distribuição SRF (*Cada ponto é uma árvore vista de cima) [Fonte própria]

Os cultivos energéticos consistem em plantações onde as árvores são separadas por fileiras de 3-4 metros, espaço suficiente para passar um trator. Cada fila possui grandes

densidades de plantas. Entre cada planta pode ter apenas uns 20 centímetros de distância. Esta disposição específica, assim como suas condições (diâmetro, altura, umidade, peso,...), requerem de uma maquinaria diferente. Com essa distribuição, o trator pode fazer diferentes trajetos para otimizar o tempo de trabalho.

Existem muitas motivações para fazer este trabalho. A primeira é a possibilidade de fabricar esta máquina para vender em um futuro próximo. Existe já um mercado promissor, especialmente no norte da Europa. Com a situação atual dos preços das matérias primas em aumento, um sistema de energia alternativa onde o usuário é quem controla todo o processo de produção de energia, tem grandes chances de ser bem-sucedido. Existem muitas regiões onde a agricultura tradicional não dá benefícios devido à competitividade internacional. Eles precisam de soluções para aproveitar suas terras, e uma boa solução pode ser gerar a matéria prima para as indústrias de sua região ou para o consumo doméstico.

As fábricas com grandes terrenos e com necessidade de energia podem gerar os próprios recursos sem necessidade de comprar gás, óleo combustível, ou eletricidade, e ao mesmo tempo podem dar trabalho a gente da região com a manutenção das plantações. O principal obstáculo que têm este tipo de energia alternativa é a magnitude do investimento econômico requerido. Por esta razão é muito importante que a máquina seja barata.

2. OBJETIVOS

A tecnologia atualmente desenvolvida neste campo é muito pouca devido ao pouco tempo de existência dessas plantações. Ainda assim apenas na Europa, durante 2011, existiam mais de 8000 ha deste tipo de plantação. Pretende-se a través do presente estudo, ajudar o desenvolvimento dessas tecnologias.

Uma vez identificadas as características principais e fundamentais do produto a ser projetado inicia-se o projeto conceitual da máquina. Naturalmente, o primeiro modelo será muito básico e com muitos aspectos para melhorar. Num processo de otimização integrada a configuração física irá evoluir para satisfazer as necessidades dos usuários. Nesse trabalho será mostrada a evolução do desenho assim como as principais dificuldades encontradas no processo de projeto. A evolução da configuração será justificada com base na identificação dos problemas e características principais desejadas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apesar da falta de máquinas com tecnologia específica dentro do setor da energia alternativa por biomassa, será observado como se faz atualmente para resolver os problemas existentes, a fim de oferecer um produto melhor do que o utilizado até agora, fundamentado no estado da técnica e nos princípios da engenharia reversa.

A respeito da produção de biomassa em plantações SRF, atualmente, existem duas maneiras diferentes de recolher a biomassa. O mais utilizado é o processo de corte da árvore e retalhamento da madeira feito simultaneamente numa única operação, como mostrado na figura 3.1.



Figura 3.1- Corte e produção de biomassa em uma mesma máquina. [<http://www.biofuelstp.eu/crops.html>]

Este método é o mais utilizado atualmente. As máquinas utilizadas são modificações das colheitadeiras agrícolas adaptadas para esse uso. As máquinas permitem cortar os árvores com discos e depois moer a madeira. A madeira moída é enviada diretamente a outro trator com reboque de armazenagem, que fica ao lado da colheitadeira.

Por outro lado, uma segunda técnica é a de separar o processo em duas etapas diferentes. Na primeira fase apenas corta-se as árvores e, mais tarde, quando se tornam secos (umidade perdida pelo efeito do sol) se trituram e se obtém uma biomassa mais seca e volátil. Neste segundo processo apenas uma empresa vende maquinaria, a *Nordic Biomass*. Outras máquinas disponíveis atualmente são apenas protótipos. Uma representação deste processo pode ser observada na figura 3.2.



Figura 3.2- Corte e armazenagem. Máquina *Nordic Biomass*. [<https://picasaweb.google.com/nordicbiomass>]

À primeira vista, pode parecer que o primeiro método tem mais vantagens do que o segundo, porque a principal diferença é que, neste último caso, os processos são separados e precisam de mais operações e mais maquinaria.

Mas isso não é tão óbvio. A qualidade da biomassa é quantificada em parte, pelo grau de umidade. Quanto mais umidade tem, vai ser menos seco e, portanto, menos valor calórico e a qualidade será menor. *Nordic Biomass* é uma empresa de origem nórdica onde as condições

climáticas são de muita umidade. Por isso, é de seu interesse primeiro cortar a árvore, recolher a árvore cortada, deixar secar e finalmente triturar.

Além disso, nos países mais secos, a madeira seria deixada no mesmo lugar e, portanto, a secagem da madeira seria de forma muito rápida e econômica. Não se precisa de um lugar para armazenar a madeira e o preço para comprar uma máquina para cortar é muito menor que o preço de uma colheitadeira. É nesta área onde a máquina em estudo está focada, em plantações de árvores em locais mais secos: Itália, Espanha, Portugal, sul da França, Grécia, e regiões da Europa Central.

Uma pesquisa das patentes atuais foi feita para embasar as decisões de projeto na configuração e para comprovar que o projeto poderá ser fabricado sem problemas de propriedade intelectual e com bom potencial de exploração comercial. Todas as patentes encontradas dizem respeito a diferentes formas de cortar a madeira ou a máquinas similares para usos similares.

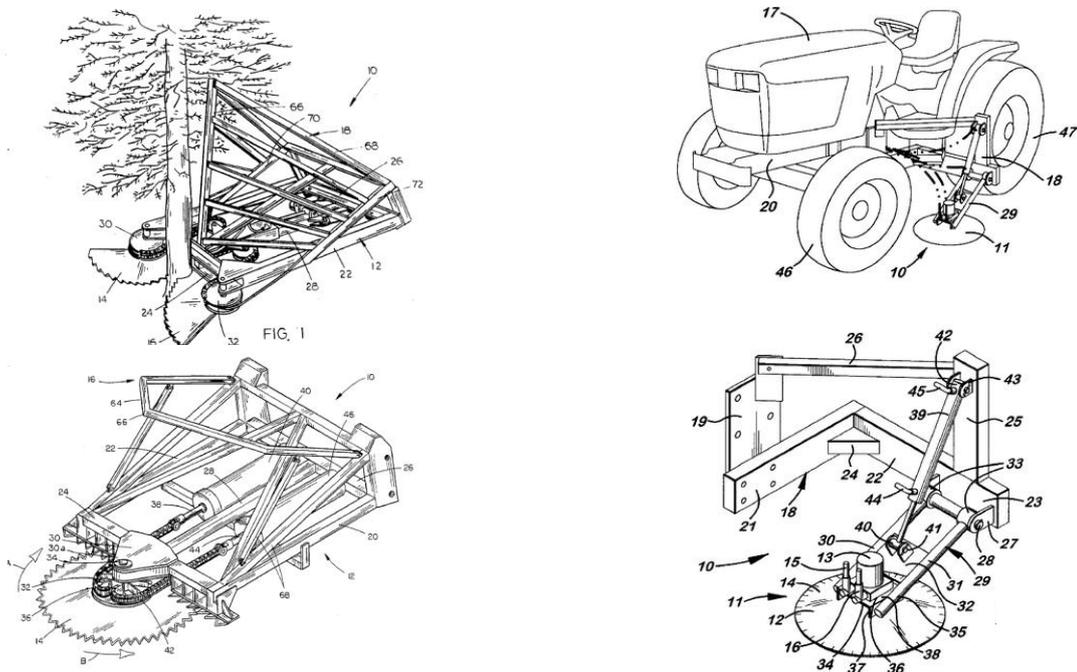


Figura 3.3- Diferentes patentes registradas a nível mundial. [www.google.com/patents]

4. METODOLOGIA

a) Metodologia A: ESTUDO FUNÇÕES

Em uma primeira parte será estudada a viabilidade da máquina. Antes de fazer qualquer desenho é importante saber as características que ela deve ter e, dentre de estas, quais são as mais importantes. Este processo é muito importante para ter umas regras antes de começar com os desenhos conceituais. Sem essas regras ou funções principais a respeitar a fase de desenho não tem ordem nem lógica a seguir. Para analisar todas essas características existem diferentes métodos. Em este trabalho vai utilizar-se dois métodos: QFD e FAST.

QFD significa em inglês Quality Function Deployment, do qual a versão mais conhecida é a denominada casa da qualidade. Inventado por Kobe Shiipyard, sua aplicação permite quantificar a importância entre as características e objetivos que os usuários querem e as especificações

técnicas que a máquina deve ter. A figura 4.1 mostra o QFD aplicado ao estudo em questão de acordo com as características adotadas como mais importantes.

		IMPORTÂNCIA para o usuário	Características produto								
			Serra/Discos intercambiáveis	Rotações motor hidráulico	Braço móvel com pistões	Manipulações desde a cabina	Sistema pré-tensão árvore	Sistema post-corte	Lubrificação corte	Regulagem da altura e da horizontalidade	Sistema de acoplagem fixo
Objetivos desenho	Revocável	2	0	1	0	3	1	2	0	2	3
	Máquina compacta	1	0	1	3	1	2	3	0	2	3
	Corte rápido	4	3	3	1	0	2	0	3	0	0
	Corte limpo	5	3	3	2	0	3	0	3	0	0
	Direções de queda	5	2	1	2	1	3	3	1	3	0
	Sentido de queda	4	2	3	3	2	2	3	0	1	0
	Rotações de corte	3	3	3	0	1	0	0	2	0	0
	Fácil de manipulação	4	0	1	1	3	0	2	0	0	0
	Segurança de utilização	5	1	2	2	3	0	2	0	0	1
	Materiais recicláveis	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	Corte baixo	3	1	1	0	0	0	0	0	3	1
		117	65	73	53	50	50	55	38	34	17
PORCENTAGEM D'IMPORTANCIA		56%	62%	45%	43%	43%	47%	32%	29%	15%	

Figura 4.1- QFD do projeto, versão Prof. J. Lázaro, ETSEIB (2011). [Fonte própria]
Podemos observar que as especificações mais importantes para a máquina são aquelas referentes ao mecanismo de corte e também ao sistema para guiar as árvores cortadas.

FAST significa Técnica Sistemática de Análise Funcional, foi criada por Charles W. Bytheway em 1965 para organizar de forma ordenada as funções e representar as relações funcionais de um sistema técnico. Com o diagrama FAST pode-se observar o que se deve fazer para ter uma máquina com as características que os usuários querem. É um exercício de análise que serve para se ter de mais ideias e achar novas funções para analisar. São técnicas que ajudam os engenheiros a abrir a mente e pensar em novos conceitos e ideias. É por isso que é importante fazer estes exercícios antes de começar a desenhar. No diagrama de estudo pode-se observar como chegar às ideias de utilização dos sistemas. Na figura 4.2 é mostrado um diagrama FAST das funções principais da máquina.

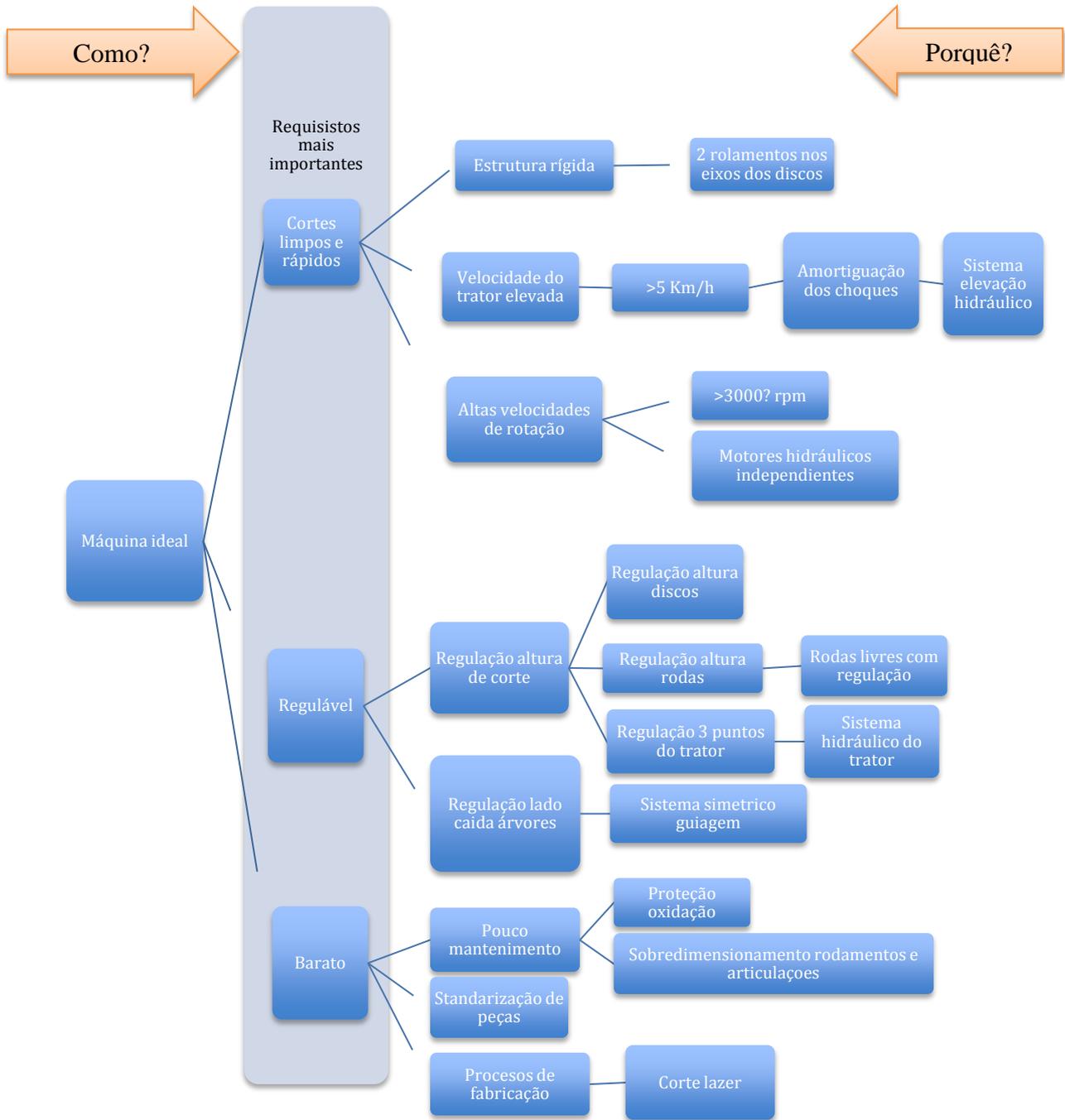


Figura 4.2- Diagrama FAST. [Fonte própria]

b) Metodologia B: PROJEITO CONCEITUAL FÍSICO

Uma vez identificadas as características principais e fundamentais do produto a ser projetado, inicia-se o projeto conceitual físico da máquina. O primeiro modelo será muito básico, com muitos aspectos para melhorar. A configuração física evoluirá sistematicamente para satisfazer as necessidades e as preferências dos usuários. A seguir, será mostrado passo a passo a evolução do desenho assim como as principais dificuldades encontradas no processo de projeto e as maneiras de contorná-las. O processo de desenho é relacionado com a identificação dos problemas e características principais. É um processo interativo e dinâmico que vai mudando para obter configurações cada vez mais próximas das necessidades e preferências dos usuários.

Depois de analisar os resultados dos estudos de funções, uma das principais características que a máquina deve ter é controlar a direção na qual cai a árvore. Depois de cortada, a árvore é deixada no chão entre as fileiras de árvores plantadas. Ela pode cair na mesma direção da fila do trator ou na fila oposta ao trator, como pode ser observado na figura 4.3.

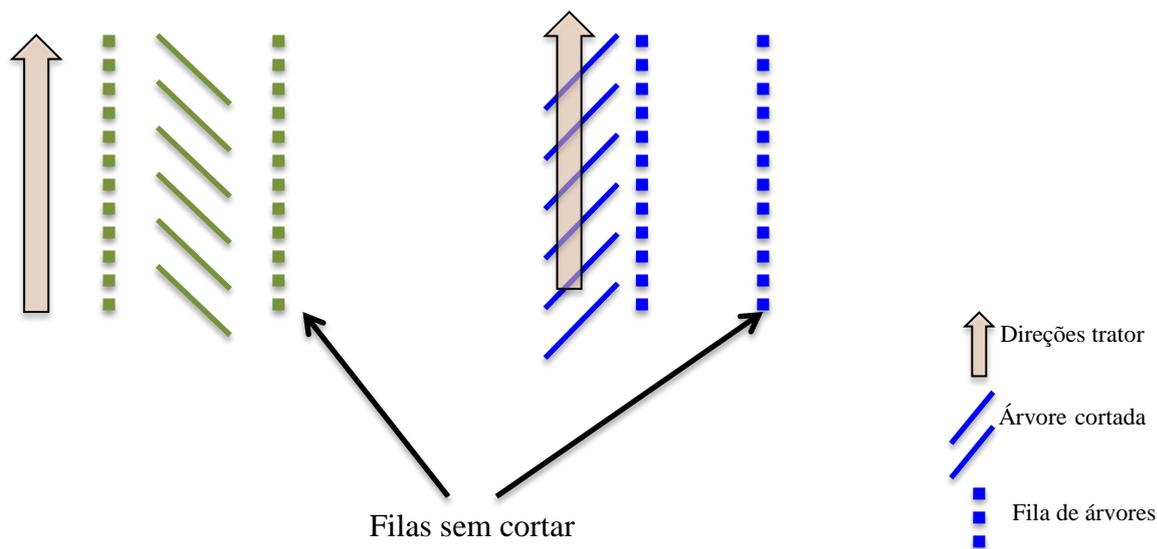


Figura 4.3- As árvores cortadas pelo lado direito podem cair no lado direito (verde) ou no lado esquerdo (azul). [Fonte própria]

A direção onde a árvore vai cair também é definida pelo traçado do trator. Já que o tamanho das árvores é substancial e não se quer enterrar a madeira, o trator não pode voltar a passar por uma área onde as árvores já estão no chão.

Se a máquina só pode cortar por um lado, o caminho do trator é limitado. Pode ter problemas de logística e em alguns casos de mobilidade. Como mostrado no diagrama da figura 4.4, as árvores não podem ser colocadas com posições diferentes. A parte pequena da árvore tem que ficar sempre do mesmo lado, porque de outro modo a máquina que vai vir depois para cortar não vai poder esmagar os troncos. É por esta razão que poder escolher o lado da queda é uma das características principais a serem tomadas em conta no processo de concepção.

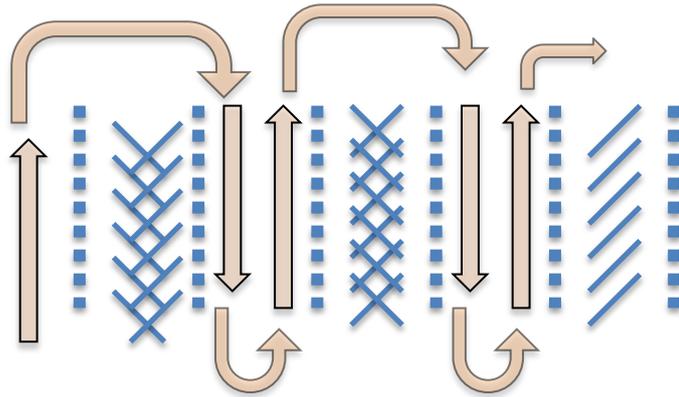


Figura 4.4: Caminho do trator para cortar as árvores à sua direita, de modo a elas caírem para a direita, uma em cima da outra. [Fonte própria]

Estas duas características têm que ser levadas em conta. A partir daí, a primeira ideia é projetar um braço capaz de mudar de lado com ajuda de um sistema hidráulico, como mostrado no modelo da figura 4.5.

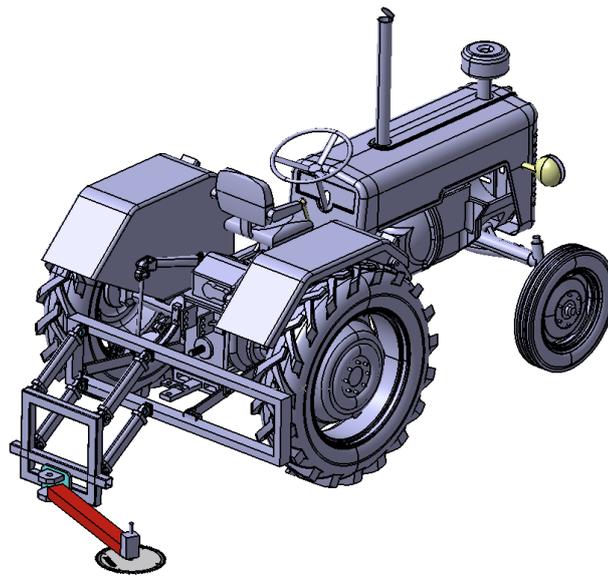


Figura 4.5- Primeiro modelo de sistema de corte desenvolvido: possui apenas um disco sobre um braço articulado. [Fonte própria]

Este modelo inicial pode regular a altura de corte por um sistema de quatro barras para manter o disco sempre em posição totalmente horizontal. Ao mesmo tempo, apresenta sérios problemas para resolver diferentes requisitos. É uma estrutura simples com apenas um disco que provavelmente vai ser rolar com um motor hidráulico ou a tomada de potencia.

O fato de ter um único disco rígido dificulta o corte de árvores com muita dispersão. O primeiro corte não apresenta problemas porque a posição dos troncos estaria alinhada; o problema acontece quando as plantas crescem de novo. Como pode ser visto na figura 4.6 o crescimento das árvores é feito do lado da mesma raiz, as posições dos troncos são mais dispersas.

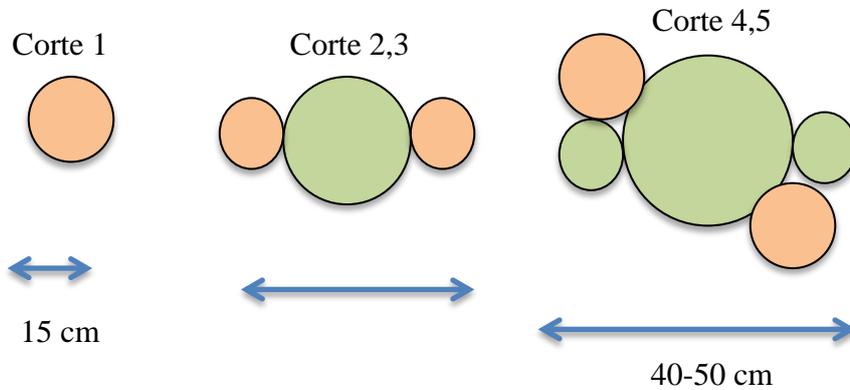


Figura 4.6- Os diferentes cortes fazem-se no mesmo tronco. Os cortes são indicados com cor marrom. [Figura própria]

O processo de corte é seguido de outro processo com outras máquinas. No processo de desenho deve-se também ter em mente esses processos posteriores. As árvores não podem ficar perto das raízes porque no processo posterior ao corte, outra máquina tem que recolher toda a madeira cortada.



Figura 4.7- Máquina para fazer biomassa com a madeira do chão. [Fonte própria]

Para esmagar toda a madeira o trator precisa passar em cima de todas as árvores. Se as árvores são muito perto da raiz, a máquina de esmagar não pode aproveitar toda a madeira. Então, a colocação das árvores é importante. Na figura 4.8 mostra-se como se deve colocar as árvores depois de ser em cortadas.

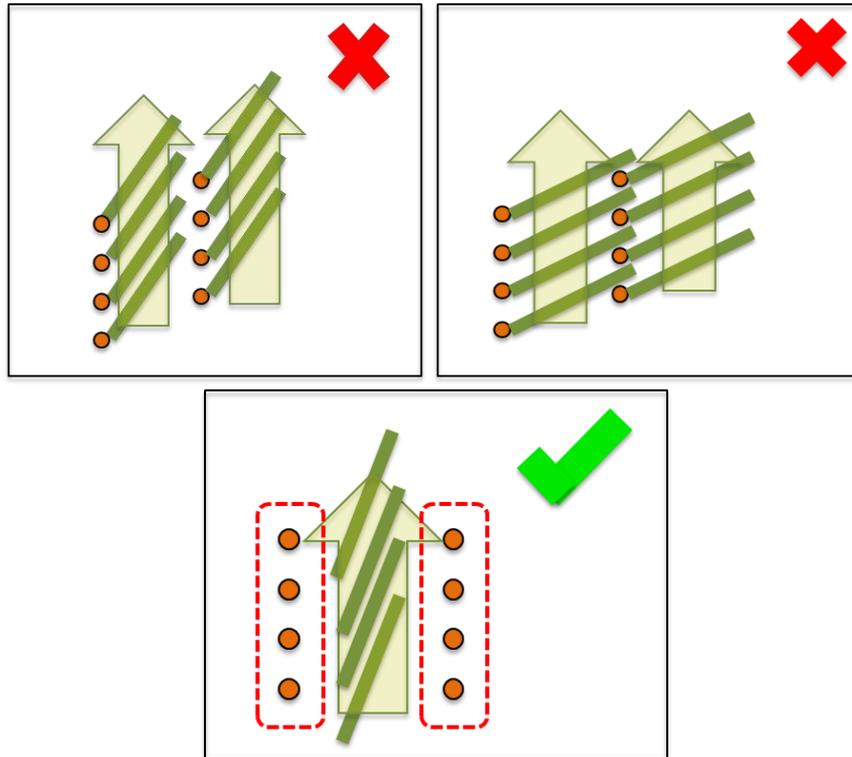


Figura 4.8- Gráfico de como tem que cair as árvores. [Fonte própria]

Devido aos problemas apresentados anteriormente, se projetou um segundo modelo, representados na figura 4.9. A ideia de um braço hidráulico móvel muda-se a uma estrutura fixa com um sistema para controlar onde cairá a árvore. As árvores serão cortadas com dois discos para assegurar um diâmetro de dispersão maior. A estrutura vai estar sempre no lado direito do trator mas o motorista poderá escolher em que lado quer que a árvore vai cair. As árvores serão cortadas pelos discos, e uma estrutura de placas vai dirigí-las para trás. Para assegurar que as árvores vão para atrás há um rodízio horizontal para empurrar a parte maior do tronco.

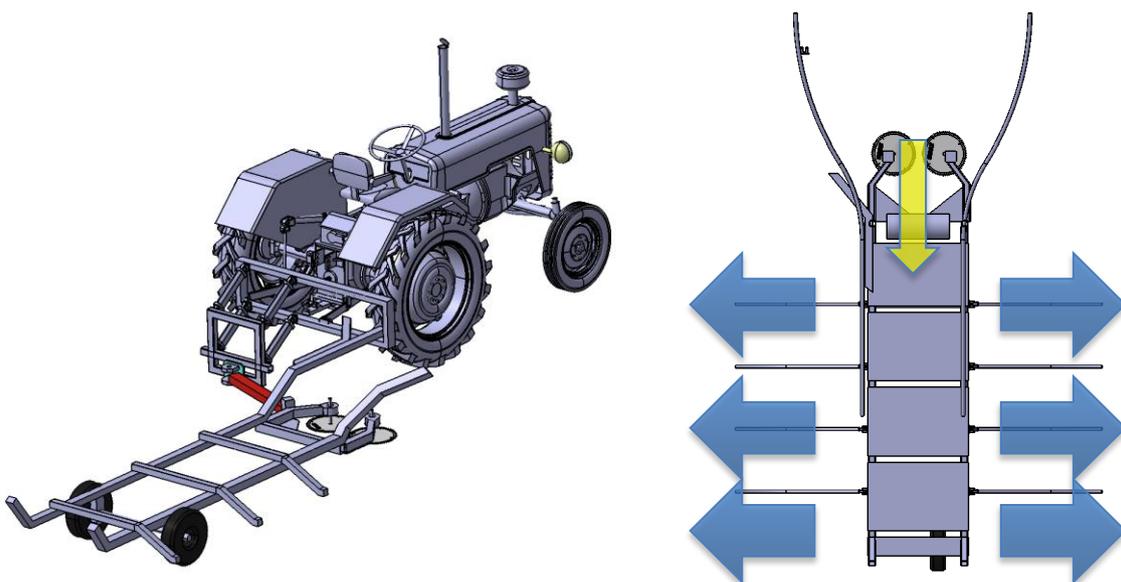


Figura 4.9- O segundo modelo tem um sistema para direcionar as árvores cortados. [Fonte própria]

As rodas do reboque tem que ser liberadas no eixo vertical para permitir que o trator possa girar sem problemas. O trator é capaz de suportar o peso do reboque, mas as rodas ajudam a suportar o peso e ao mesmo tempo servem para limitar a altura mínima dos discos.

Para regular a altura dos discos foi desenhado um sistema dentro do mesmo reboque que vai descer apenas os discos mediante um pistão hidráulico parecido o sistema do primeiro modelo, porém um pouco menor.

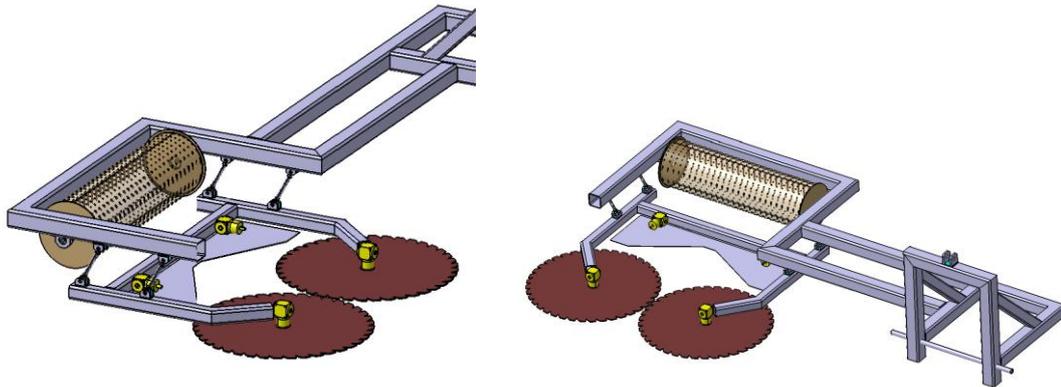


Figura 4.10- Sistema para regular a altura dos discos. [Fonte própria]

Com este sistema os motores serão hidráulicos, dependendo da potência do trator haverá necessidade de uma bomba hidráulica que pode ser colocada atrás do trator e que seria alimentada com a tomada de potencia do trator. As características do motor serão de uma ordem de magnitude parecida com o especificado na figura 4.11 [Serie A2FM Bosch Rexroth]. Os detalhes do escolha estão no anexo.

Tamanho Nominal	TN	5	10	12	16	23	28	32	45	56	63	80	
Volume de absorção	V_g	cm ³	4,93	10,3	12	16	22,9	28,1	32	45,6	56,1	63	80,4
Rotação máx.	$n_{m\acute{a}x}$	rpm	10000	8000	8000	8000	6300	6300	6300	5600	5000	5000	4500
	$n_{m\acute{a}x\ intermitt.}^{(1)}$	rpm	11000	8800	8800	8800	6900	6900	6900	6200	5500	5500	5000
Vazão de absorção máx.	$q_v\ máx$	l/min	49	82	96	128	144	176	201	255	280	315	360
Constante de torque	T_K	Nm/bar	0,076	0,164	0,19	0,25	0,36	0,445	0,509	0,725	0,89	1,0	1,27
Torque com	$\Delta p = 350\ bar\ T$	Nm	24,7 ⁽²⁾	57	67	88	126	156	178	254	312	350	445
	$\Delta p = 400\ bar\ T$	Nm	-	65	76	100	144	178	204	290	356	400	508
Momento de inércia de massa, em torno do eixo de saída	J	kgm ²	0,00008	0,0004	0,0004	0,0004	0,0012	0,0012	0,0012	0,0024	0,0042	0,0042	0,0072
Volume de preenchimento	l			0,17	0,17	0,17	0,20	0,20	0,20	0,33	0,45	0,45	0,55
Massa (aprox.)	m	kg	2,5	5,4	5,4	5,4	9,5	9,5	9,5	13,5	18	18	23

Figura 4.11- Características motor hidráulico Bosch serie A2FM. [http://www.boschrexroth.com.br/]

Para poder suportar os choques com as árvores, os rolamentos dos motores não podem suportar esses esforços radiais. É por esta razão que os discos estarão guiados e apoiados por um suporte com dois rolamentos montados em “O”, mostrados esquematicamente na figura 4.12. Assim todos os esforços radiais devido os choques com os troncos serão absorvidos por esses rolamentos e o motor estará livre de carga. A conexão com o motor será com chaveta.

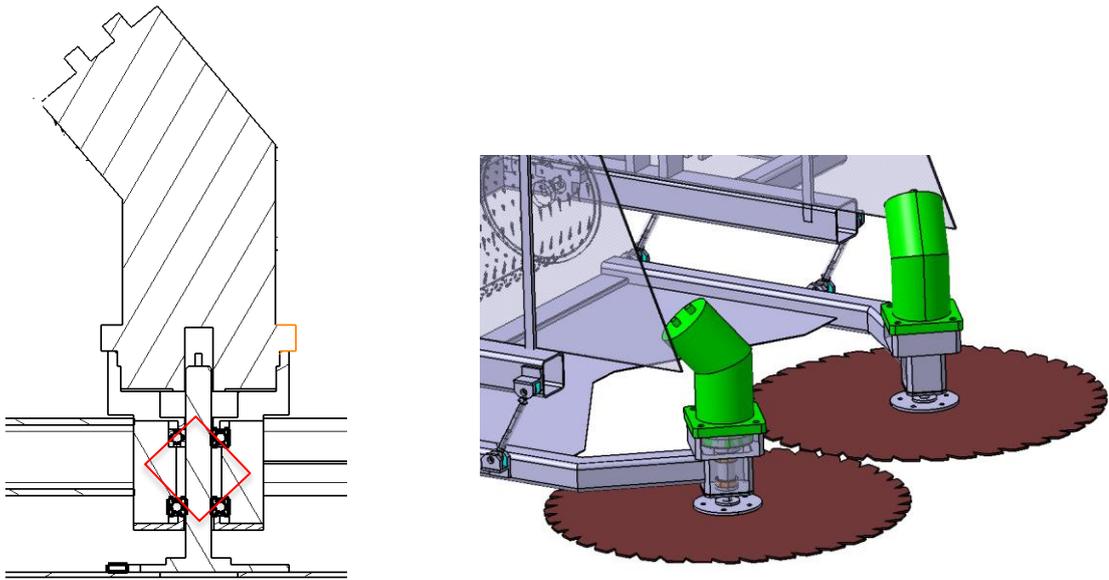


Figura 4.12- Montagem de dois rolamentos em “O” para proteger o motor dos esforços radiais. [Fonte própria]

Em parte posterior, se faz uma terceira modificação para fazer um sistema mais básico, com menos mecanismos, visto na Figura 4.13.

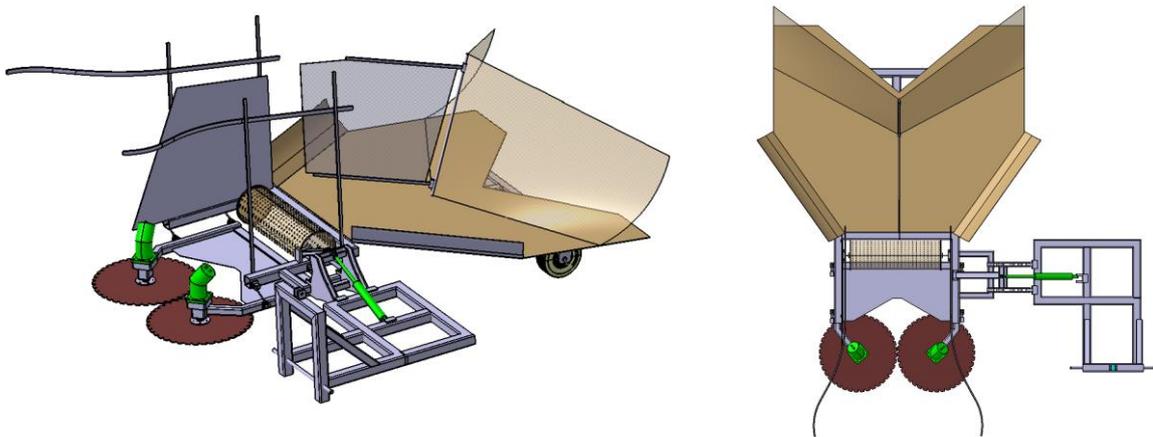


Figura 4.13- Último modelo com a nova parte traseira e com um sistema de elevação do reboque. [Fonte própria]

Uma máquina rígida apresenta muitos problemas para circular nas estradas. O trator com o reboque tem uma largura maior. Depois de uma análise das diferentes possibilidades, a escolha recaiu num sistema para colocar a máquina verticalmente, durante a condução pelas estradas, como observado na figura 4.14.

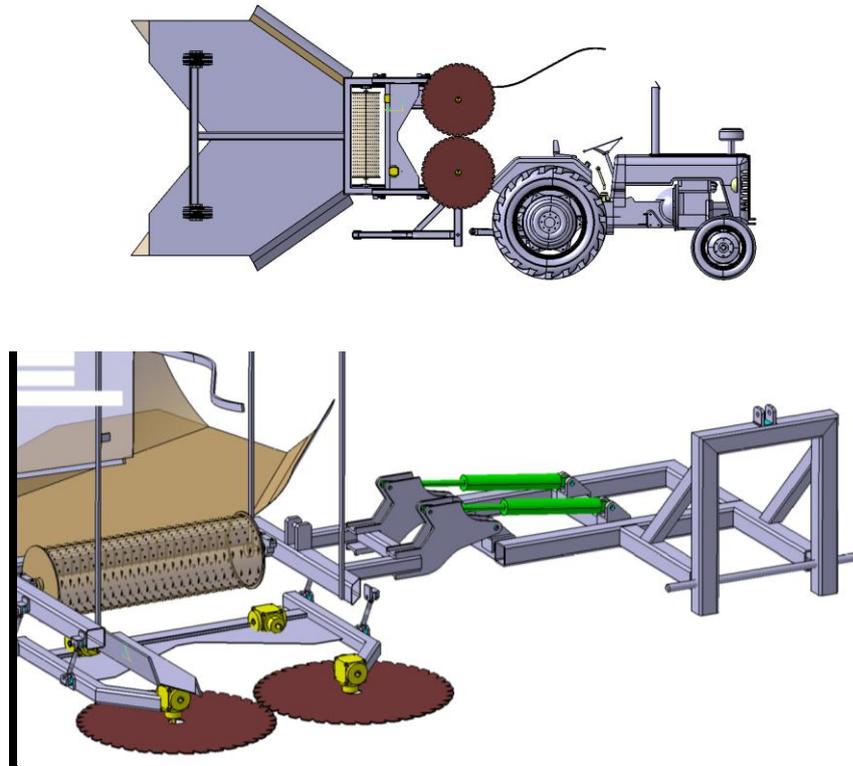


Figura 4.14- A máquina gira e fica em posição vertical para poder circular para as estradas. [Fonte própria]

Com um sistema hidráulico a máquina pode ser colocada no eixo vertical atrás do trator e ter os lados liberados. É feito então um pequeno estudo de dimensionamento com software de elementos finitos. Primeiro temos que saber as condições limites a aplicar no trabalho: pesos totais, centro de gravidade, pontos de pivote e articulações, etc. Com a ajuda do software 3D podemos obter todos estes valores, mostrados na figura 4.15.

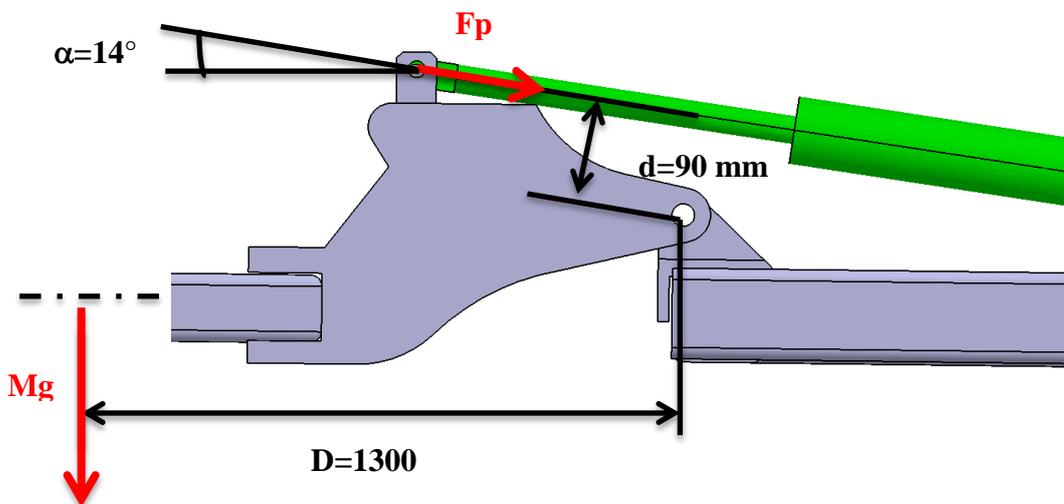


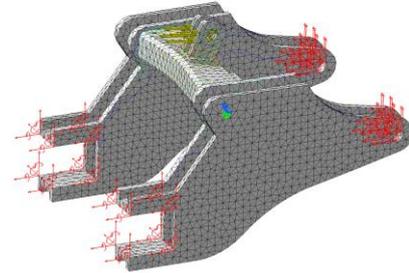
Figura 4.15- Estudo estático de forças. [Fonte própria]

Resolvendo as equações (5.1), (5.2), (5.3) obtemos os valores F_p , F_x e F_y .

$$Mg \cdot D = F_p \cdot d \quad (5.1)$$

$M = 1200 \text{ Kg}$ $d = 90 \text{ mm}$ $D = 1300 \text{ mm}$ $\alpha = 14^\circ$ $F_x = F_p \cdot \cos \alpha \quad (5.2)$ $F_y = F_p \cdot \sin \alpha \quad (5.3)$
--

$F_p = 169850 \text{ N}$ $F_x = 164800 \text{ N}$ $F_y = 41000 \text{ N}$



Von Mises = 510 MPa

Re (35 CD4 tratado) = 550 MPa

$$\text{Coef. Seguran\c{c}a} = \frac{Re}{\text{VonMises}} = 1,07 \quad (5.4)$$

O critério de falha escolhido é de Von Mises. Mediante um software de elementos finitos obtemos um valor de 510 Mpa. Com um primeiro desenho podemos comprovar que a peça não quebraria mas temos um coeficiente de segurança pequeno (1,07). O valor de Re corresponde a resistência elástica do aço proposto (35 CD4).

Fazemos um segundo estudo com outra configuração e obtemos uns valores diferentes mostrados na Figura 4.17 e repetimos o processo.

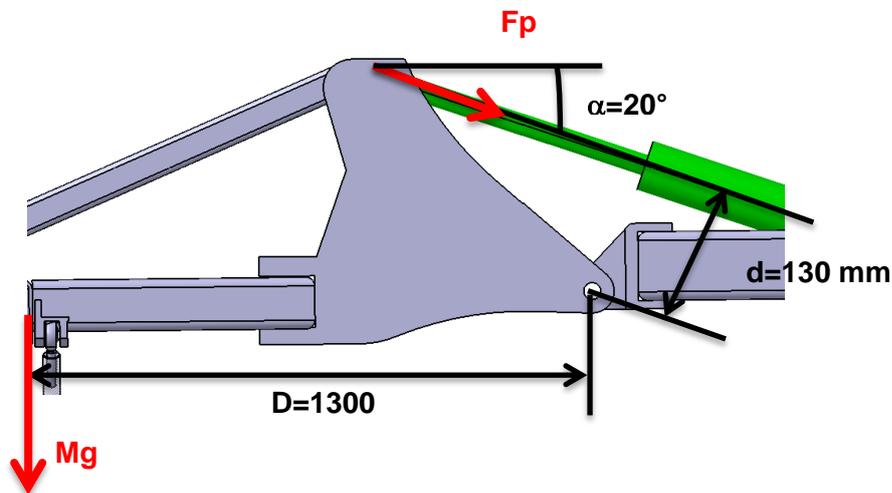


Figura 4.17- Estudo estático de forças. [Fonte própria]

Resolvendo as equações (5.5), (5.6), (5.7) obtemos os valores F_p , F_x e F_y .

$$Mg \cdot D = F_p \cdot d \quad (5.5)$$

$M = 1200 \text{ Kg}$ $d = 130 \text{ mm}$ $D = 1300 \text{ mm}$ $\alpha = 20^\circ$ $F_x = F_p \cdot \cos \alpha \quad (5.6)$ $F_y = F_p \cdot \sin \alpha \quad (5.7)$

$F_p = 117600 \text{ N}$ $F_x = 110500 \text{ N}$ $F_y = 40000 \text{ N}$

Von Mises = 260 Mpa
Re= 550 Mpa

$$\text{Coef. Seguran\c{c}a} = \frac{Re}{\text{VonMises}} = 2,11 < 2,5 \quad (5.8)$$

O \u00faltimo modelo da maquina cumpre com as fun\u00e7\u00f5es principais, mas tem algumas incertezas a n\u00edvel de dimensionamento. Com os valores achados pelos \u00faltimos c\u00e1lculos feitos com elementos finitos, as pe\u00e7as n\u00e3o quebrariam, mas n\u00e3o s\u00e3o aceit\u00e1veis porque como m\u00ednimo precisamos assegurar um coeficiente de seguran\u00e7a de 2,5.

5. CONCLUS\u00d5ES

O projeto conceitual proposto tem configura\u00e7\u00e3o f\u00edsica e funcional preliminar que satisfaz as condi\u00e7\u00f5es impostas ao projeto e as expectativas dos usu\u00e1rios. \u00c9 adequado, portanto, como projeto preliminar. As ferramentas de suporte empregadas (FSM, QFD, CAD, ...) foram adequadas, fornecendo elementos para tomadas de decis\u00e3o em cada etapa do projeto conceitual.

A solu\u00e7\u00e3o final apresenta muitas vantagens mas ao mesmo tempo tem alguns inconvenientes ou coisas sem solucionar. Diferentes estudos ser\u00e3o necess\u00e1rios para continuar o projeto executivo, como:

- Um estudo de como a m\u00e1quina vai interagir com as \u00e1rvores depois de serem efetuados os cortes. Qual \u00e9 o comportamento das \u00e1rvores com as diferentes velocidades do trator.
- Os impactos dos discos e absor\u00e7\u00e3o de energia do choque com a m\u00e1quina.
- Estudo hidr\u00e1ulico das necessidades de todos os sistemas.

Finalmente conclui-se que h\u00e1 elementos que permitem a inicializa\u00e7\u00e3o de um processo de solicita\u00e7\u00e3o de patente para prote\u00e7\u00e3o da propriedade intelectual e industrial: novidade, aplica\u00e7\u00e3o industrial e inventividade, que s\u00e3o fatores determinantes no pedido de patente de inven\u00e7\u00e3o ou de modelo de utilidade.

6. REFER\u00caNCIAS BIBLIOGR\u00c1FICAS

SPERLING, Roger B. (1993). **The PDQs of FAST: SIMPLIFYING FUNCTIONAL ANALYSIS FOR CONSTRUCTION VALUE STUDIES.**

FANCHON, Jean-Louis (2009). **GUIDE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES.**

Internet:

<http://www.nordicbiomass.dk/>

<http://www.biomasadalgirones.com/>

<http://www.biofuelstp.eu/crops.html>

<http://www.boschrexroth.com.br/>

<http://www.traceparts.com/>

<http://www.monografias.com/trabajos13/fast/fast.shtml>

http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0213-91112004000800008&script=sci_arttext

7. ANEXOS

VISTAS MODELO FINAL:

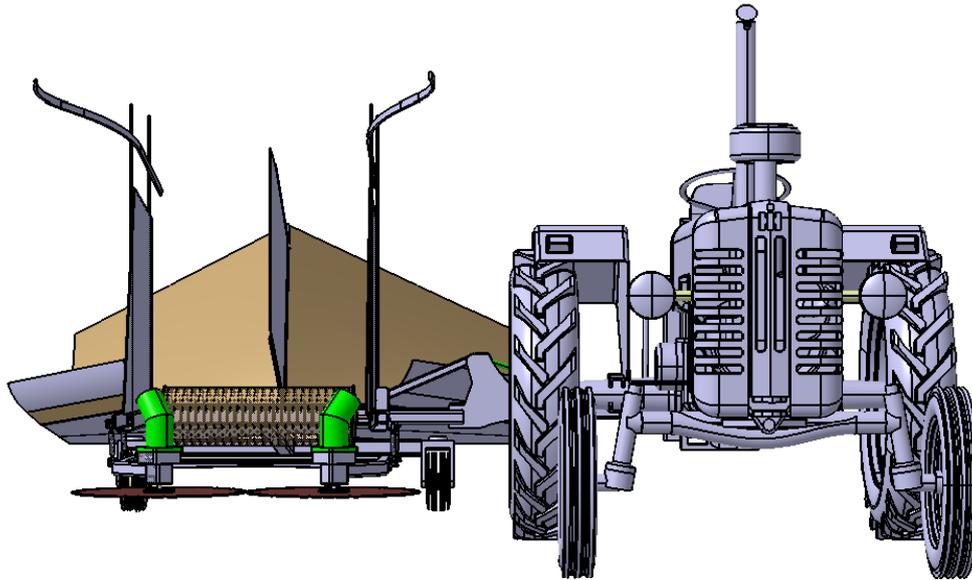


Figura 7.1- *Vista frontal. [Fonte própria]*

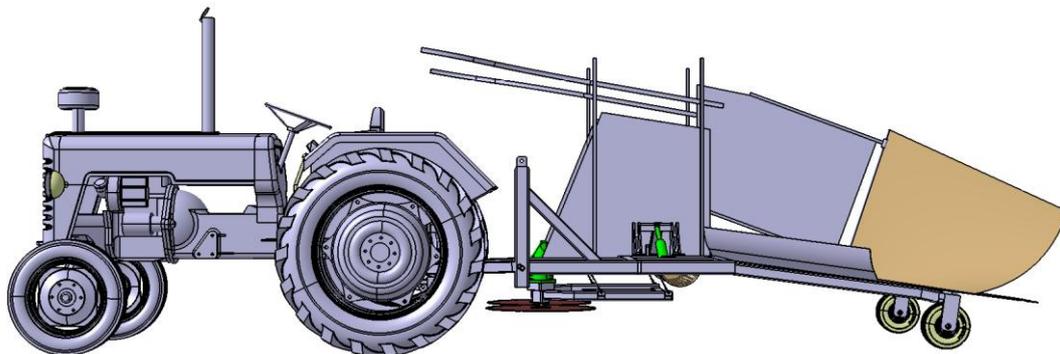


Figura 7.2- *Vista lateral. [Fonte própria]*

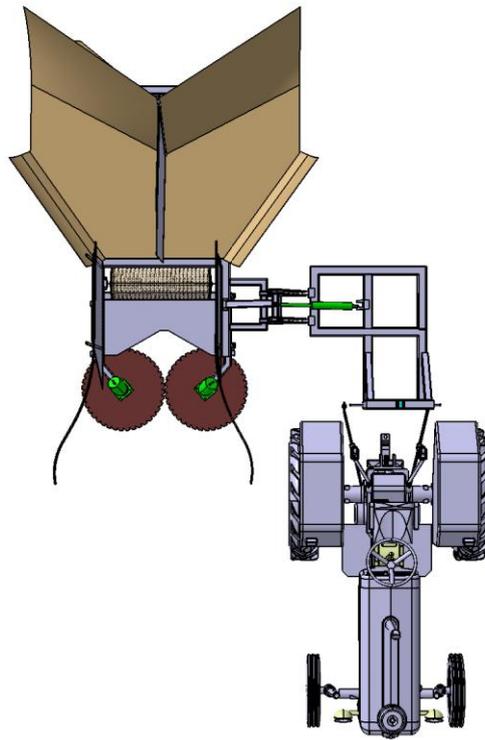


Figura 7.3- Vista superior. [Fonte própria]

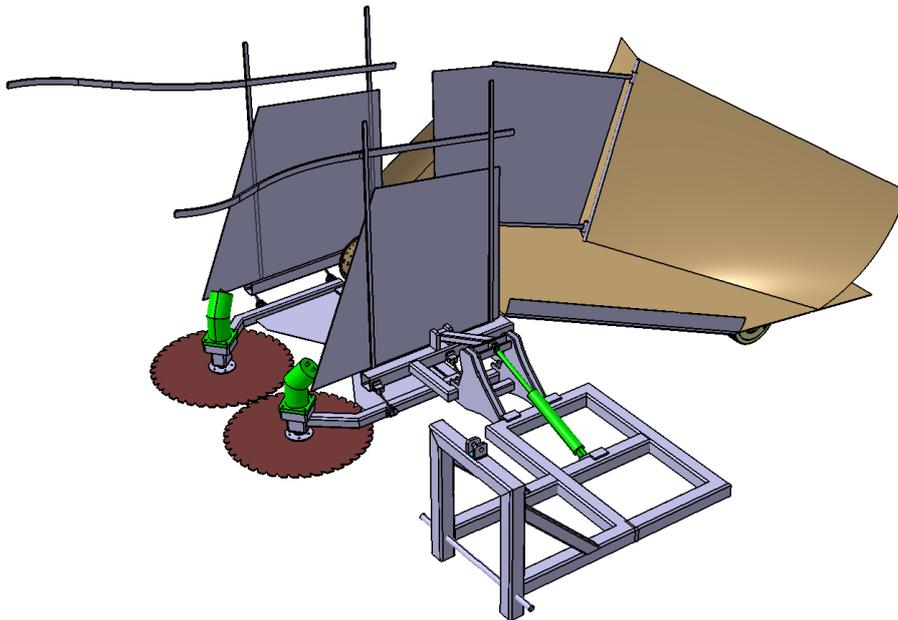


Figura 7.4- Vista isométrica. [Fonte própria]

MOTOR HIDRÁULICO:

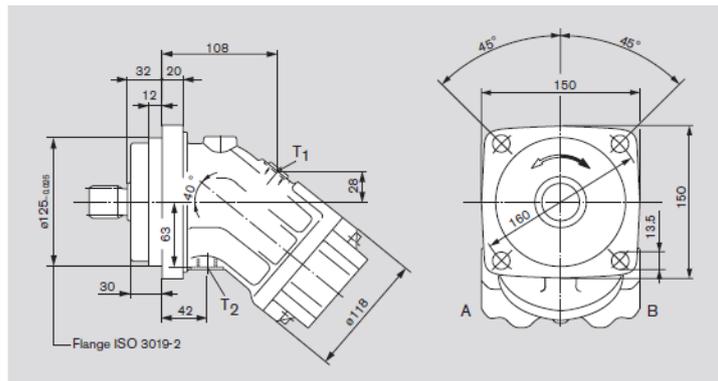
Hipótesis: Para cortar bem as árvores de 20 cm de diâmetro precisamos de uma serra a 2700rpm (valores das maquinas Nordic Biomass) e um torque superior a 8 Nm.

$$P = \frac{2\pi nT}{60 * 1000}$$

T= 10 Nm

n= 3000 rpm

Potencia (P)= 3-4 KW



Cargas de força radial e axial permissíveis sobre o eixo

Os valores indicados são dados máximos não sendo permitidos para operação contínua

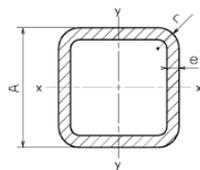
Tamanho Nominal			5	10	12	16	23	28	32	45	56	63	80
Força radial, máx. ¹⁾ com distância a (do encosto do eixo)		F _q máx. N	710	2350	2750	3700	4300	5400	6100	8150 ²⁾	9200 ²⁾	10300	11500 ²⁾
		a mm	12	16	16	16	16	16	16	18	18	18	20
Força axial, máx. ³⁾		+F _{ax} máx. N	180	320	320	320	500	500	500	630	800	800	1000
		-F _{ax} máx. N	180	320	320	320	500	500	500	630	800	800	1000
Força axial perm./bar pressão oper. ±F _{ax} per/bar		N/bar	1,5	3,0	3,0	3,0	5,2	5,2	5,2	7,0	8,7	8,7	10,6

Figura 8.1- Características motor hidráulico Bosch serie A2FM.
[http://www.boschrexroth.com.br/]

VIGAS STANDARDS:

**ACEROS DE CONSTRUCCIÓN GENERAL
TUBO CUADRADO F-6201-F**

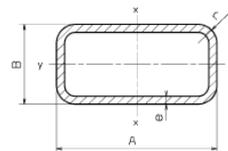
Formatos a utilizar:



Dimensiones en mm					Secc.	Peso	Momen. Iner. cm ⁴	
A	B	e	r		cm ²	Kg/m	I _x	I _y
10		0,33	0,26					
12	1	0,41	0,32					
14	1,5	0,52	0,41					
		0,75	0,59					
16	1,5	0,6	0,47					
		0,87	0,63					
18	1,5	0,66	0,52					
		0,96	0,77					
20	2	1,03	0,85					
		1,42	1,12	0,76				
25	2	1,39	1,1					
		1,82	1,44	1,59				

**ACEROS DE CONSTRUCCIÓN GENERAL
TUBO RECTANGULAR F-6201-F**

Formatos a utilizar:



Dimensiones en mm					Secc.	Peso	Momen. Iner. cm ⁴	
A	B	e	r		cm ²	Kg/m	I _x	I _y
16	10	1,5	2	0,65	0,54			
20	15	2	2,5	0,77	0,63			
				0,93	0,75			
25	10	1,5	2	1,2	0,97			
				0,93	0,75			
30	20	2	3	1,4	1,12			
				1,84	1,44	2,15	1,06	
40	30	3	4	2,24	1,76	4,44	1,53	
				2,24	1,76	4,44	1,53	
50	40	4	6	4,42	3,47	13,9	6,04	
				4,42	3,47	13,9	6,04	

ESPÉCIES VEGETAIS UTILISADAS PARA “SRF”:

Figura 9.1- *Espécies vegetais utilizadas por Alasia New Clones.*
[<http://www.alasianewclones.com>]