

## SECADOR ROTATIVO DE CAVACO

André João Guinzelli; Claimir Adolfo Guinzelli; Fernando Luiz Bonora; Marcelo Schimmel-pfennig; Marcos da Rocha; Marcio Fernando Maschio; Paulo Sérgio Kulczyk<sup>1</sup>  
Anderson Baldissera; Maria Regina Thomaz; Fernando Lothário Becker<sup>2</sup>

### RESUMO

Esta pesquisa refere-se à aplicação das ferramentas dos autores para o desenvolvimento de um projeto completo em todas as etapas. Projeto é um conjunto de desenhos, memoriais descritivos, especificações técnicas, orçamento e demais elementos técnicos necessários para caracterização da obra a ser executada. Os requisitos ou necessidade dos clientes são confrontados com a real necessidade de projeto através de uma ferramenta chamada QFD, o desenvolvimento do projeto básico, respeitando normas de fabricação e execução. E o projeto básico criado baseado em seus parâmetros, e foram desenvolvidas as especificações técnicas, proposta comercial, memorial de cálculo, projeto executivo e manuais de operação e montagem. O equipamento a ser dimensionado foi um secador de biomassa rotativo, sendo que o dimensionamento desses equipamentos foi um grande desafio, pois a secagem envolve transferência de calor e massa, processos fluidodinâmicos das mais diferentes formas, e os existentes no mercado foram feitos de forma empírica com base em experiências em projetos anteriores fazendo escala. O objetivo do trabalho foi encontrar, através das ferramentas de projeto e propostas encontradas em literaturas pelas experiências dos autores e aplica-los em um modelo dimensionado e modelado da forma a obter melhor desempenho do equipamento. Os secadores são construídos com aletas soldadas em seu interior, enquanto o tambor gira a uma velocidade constante, as aletas levantam continuamente a biomassa e a passam por uma fonte de ar quente. O processo de secagem ocorre enquanto a biomassa é suspendida na fonte de ar quente.

**Palavras chaves:** Ferramentas de projeto. Secagem de biomassa. Secador rotativo.

### 1 INTRODUÇÃO

A necessidade do cliente nem sempre vem ao encontro a real necessidade do projeto, muitas vezes o cliente sabe o que necessita, porém, não expressa de forma clara, interferindo no resultado final do produto. Por isso sempre precisa-se confrontar a necessidade que ele nos informa com a real condição de projeto e execução do mesmo.

Foi proposto, através da utilização das ferramentas de como elaborar todas as etapas de um projeto, começando com esses requisitos do cliente, que segundo (ALBUQUERQUE, 2017) são solicitações feitas verbalmente ou descritas em pedido ou contrato como tipo de produto ou serviço, quantidade, forma e prazo de entrega e prazo de entrega. Porém esses requisitos nem

---

<sup>1</sup>Acadêmicos de Engenharia Mecânica UCEFF. andrejguinzelli@gmail.com; claimir@gmail.com; fernando\_bonora@hotmail.com; marcelo.engplan@gmail.com; mroxao@gmail.com; mmaschio@thyssenkruppelevadores.com.br; pauloskulczyk@gmail.com.

<sup>2</sup>Docentes da UCEFF. E-mail: anderson.baldissera@hotmail.com.

sempre vem do encontro a real necessidade da engenharia, ou seja, os requisitos de projeto ou as características técnicas que o equipamento tem que ter para poder atender as necessidades do cliente, para isso se faz uso de uma ferramenta chamada QFD é muito utilizado no desenvolvimento de produtos e também é aplicado no desenvolvimento de serviços, para garantir a qualidade desde as fases iniciais do projeto (LIMA 2009).

Através do confronto dos requisitos do cliente e requisitos de projeto, cria-se uma estrutura funcional ou as funções do produto. Esta técnica além de identificar as funções do produto ela “Estuda todas as combinações possíveis entre os elementos de um componente ou produto” (BAXTER, 2003), hierarquizando as mesmas em ordem de maior importância.

Com os níveis hierárquicos do projeto criados e estruturados aplica-se a matriz morfológica, que propõe o cruzamento dos componentes de um dado problema com suas possíveis soluções. A mescla desses elementos servirá de inspiração para novas ideias e funções e a criação dos 04 projetos propostos com suas respectivas funções baseado em ordem de importância determinado pelo nível hierárquico mais alto no QFD.

A ferramenta passa ou não passa que confronta os requisitos do projeto com os requisitos do cliente, para verificar se o que o projeto oferece, atende o que o cliente solicitou. Posteriormente é escolhido dois dos quatro projetos como principais e após nova análise juntamente com o cliente se optado por um deles para a criação do projeto básico.

No projeto básico define-se um conjunto de elementos necessários para caracterizar produto, que assegurem a viabilidade técnica e que possibilite a avaliação do custo e a definição de todas as características do produto e do prazo de execução.

Com todas as informações definidas e recebida à aprovação do cliente parte-se para o memorial de cálculo, projeto executivo, juntamente com os manuais de operação e montagem chegando-se ao equipamento em questão o Secador de Biomassa (cavaco).

Especificamente no projeto em questão, o método utilizado é o da troca de calor de forma direta, ou seja, o ar quente é forçado pelo interior do tambor rotativo, enquanto o tambor gira a uma velocidade constante, as aletas levantam continuamente a biomassa e a passam pela fonte de ar quente. Barreiras especialmente projetadas ajudam a manter um transporte das partículas através do secador. O processo de secagem ocorre enquanto as partículas (cavaco) são suspensas na fonte de ar quente.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

**Requisitos do cliente:** Requisitos do cliente segundo (ALBUQUERQUE 2017) são solicitações feitas verbalmente ou descrita em pedido ou contrato. Na versão da ISO 9001:2008, o requisito 5.2 Foco no cliente diz que “a Alta Direção deve assegurar que os requisitos do cliente sejam determinados e atendidos com o propósito de aumentar a satisfação do cliente”.

Na versão ISO 9001:2015 diz que: “a alta direção deve demonstrar liderança e comprometimento com relação ao foco no cliente, as segurando que”:

Os requisitos do cliente devem ser determinados, entendidos e atendidos consistentemente; os riscos e oportunidades que possam afetar a conformidade de produtos e serviços e a capacidade de aumentar a satisfação do cliente sejam determinados e abordados;

**QFD - Quality Function Deployment:** Ao longo do tempo, desenvolveram-se ferramentas e métodos para sistematizar a obtenção de resultados satisfatórios. Um desses é o QFD, que tem com o objetivo de assegurar uma vantagem competitiva às organizações que pretendem conquistar o cliente por meio de um melhor planejamento de seus produtos e serviços (RIBEIRO et al, 2001).

QFD é o método Desdobramento da Função Qualidade, utilizado no desenvolvimento de produtos, para garantir a qualidade desde as fases iniciais do projeto (LIMA 2009).

Para o (RIBEIRO et al 2001), poder ser utilizado como uma técnica de gestão, auxiliando no gerenciamento de projetos e no planejamento para as fases de engenharia de produto, também é um método de solução de problemas, pois lista o que precisa ser feito.

**Estrutura funcional:** Estrutura funcional ou estruturação do produto parte da identificação dos requisitos do cliente para o desmembramento de funções do produto. A técnica que “se parte de uma função de mais alto nível, que é a função desejada no produto, até se chegar a funções de nível mais baixo, as quais tornam possível a função de alto nível” (VALDIERO, 1994).

Esta técnica além de identificar as funções, hierarquiza também às mesmas (BACK, 1983). Ela “estuda todas as combinações possíveis entre os elementos de um componente ou produto” (BAXTER, 2003), hierarquizando as mesmas em ordem de maior importância.

**Matriz morfológica:** O termo morfologia significa o estudo da estrutura da forma. A análise morfológica, assim, é uma abordagem sistemática para analisar a estrutura de uma forma, ideia, produto, sistema ou processo (YAN, 1998). A técnica foi idealizada pelo astrônomo suíço Fritz Zwicky nos anos 1940, como um modo ordenado de visualização.

Ela amplia as possibilidades de combinações e recombinações que o projeto exige, propõe o cruzamento dos componentes de um dado problema com suas possíveis soluções. A combinação desses elementos servirá de inspiração para novas ideias e funções.

**Projeto básico:** Segundo o Art. 6º, IX, Lei n.º 8.666/93; e Art. 1º, § 2º, XXI, Portaria n.º 507/2011, projeto básico é um conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra ou serviço, que assegurem a viabilidade técnica e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução.

**Especificação técnica:** As especificações técnicas ou ET descrevem de forma precisa, completa e ordenada, os materiais e os procedimentos de execução a serem adotados. Têm como finalidade complementar a parte gráfica do projeto é a discriminação de serviços (GONZÁLEZ, 2008).

Complementando (MEL, 2014, P. 17), diz que a especificação técnica é um texto no qual se fixam todas as regras e condições que se deve seguir, caracterizando os materiais, equipamentos, elementos, sistemas construtivos a serem aplicados e o modo como serão executados.

**Proposta comercial:** Proposta comercial é um documento usado para apresentar uma oferta a um cliente. É como uma carta de intenções da empresa para aquele com o qual deseja negociar, apresentando assim a empresa, o que faz e como faz. Ela deve chamar a atenção do cliente, tanto no aspecto visual quanto de conteúdo.

**Projeto executivo:** A Lei 8.666/93, inciso X, diz que o projeto executivo é o conjunto dos elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, de acordo com as normas pertinentes da ABNT.

Sua elaboração pode ser providenciada após a aprovação do projeto básico. Importante se faz destacar que o projeto executivo não é um novo projeto, e sim, o melhor detalhamento do projeto básico (MELO, 2014)

**Memorial de cálculo:** É um documento que descreve os cálculos efetuados para chegar ao resultado final apresentado. O memorial de cálculo deve ser elaborado com base no conteúdo dos desenhos técnicos, memoriais descritivos e especificações técnicas (MEL, 2014, P.18).

É importante tanto detectar erros ou problemas de cálculo no projeto quanto para entendimento quando for necessário fazer alterações no projeto.

**Manual de montagem/operação:** Com a publicação da NR12, em dezembro de 2010 do Ministério do Trabalho e Emprego, surgiram novas exigências na área de segurança de máquinas e equipamentos. Manual de operação é um livro ou folheto que ensina a operar um equipamento ou um ou uma ferramenta.

Conforme as informações deste item 12.128 da NR1 sugere que se separem os capítulos, como: Descrição da máquina; Recomendações de Segurança; Transporte, Instalação e desmontagem; Operação; Manutenção e Peças de reposição;

**Normas e licenças:** Com o objetivo de determinar soluções, o secador rotativo de cavaco tem seu projeto baseado nas normas com o intuito de garantir segurança, compatibilidade, intercambialidade, redução das barreiras técnicas e comerciais.

Essas normas irão proporcionar que todas as características desejáveis do equipamento atendam a expectativa do cliente, compatibilizando a tecnologia e garantindo a segurança segundo NR12.

**Cronograma:** Com o objetivo de gerenciar da melhor forma possível o tempo na execução do projeto e garantir que o mesmo seja concluído dentro do prazo, todas as atividades tiveram que ser programadas objetivando a otimização na produção das entregas de cada etapa.

**Estudo do equipamento secador de cavaco:** Pela necessidade de secagem de diversos materiais desde os primórdios da história humana, o vento e o sol foram as primeiras fontes encontradas pelos nossos antecessores.

Obviamente que devido à baixa velocidade e imprecisão acabaram sendo substituídos por métodos mais modernos com o passar do tempo: o vento foi substituído pela passagem forçada do ar e o sol por outras fontes de calor. E isso torna o poder calorífico da madeira maior.

Os secadores rotativos são ideais para a secagem de cavacos, pois devido a sua granulometria consegue-se um escoamento livre e eficiente. Um secador rotativo é constituído de uma câmara cilíndrica inclinada levemente em relação a horizontal e gira em torno do seu eixo longitudinal, o comprimento da câmara cilíndrica varia de quatro a dez vezes o seu diâmetro (PERRY, 1997).

Apesar dos secadores rotativos serem encontrados em diversas indústrias, e dimensionados para as mais diversas aplicações, pouco se tem feito no que envolve a metodologia para o desenvolvimento dos mesmos, a maior parte deles é feita na experiência dos engenheiros e fabricantes e muitas vezes feita apenas alterando a escala de modelos existentes.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada é intuitiva, exploratória e descritiva. A coleta de dados é observação e pesquisa de documentos. Os instrumentos de coleta de dados é observação de documentos (Requisitos do Cliente). A área alvo foi projeto de produto e as técnicas de análise são qualitativa e quantitativa. (GIL,2014).

Em uma primeira análise com base nos documentos requisitos do cliente para identificar as suas necessidades ou solicitações e através de um *brainstorming* é convertido os requisitos do cliente em os requisitos do projeto, que é nada mais é que as especificações técnicas que o projeto necessita para transformar os requisitos ou necessidade do cliente em uma necessidade de engenharia para o desenvolvimento do projeto.

E através da ferramenta QFD ou desdobramento da função da qualidade é encontrado a real prioridade do projeto para poder partir para a próxima etapa a estrutura funcional, onde são atribuídas as funções parcial e elementar para cada requisito técnico.

Em sequência para cada função criada através da matriz morfológica é definido 04 (quatro) elementos ou equipamentos para realizar a função encontrada anteriormente na estrutura funcional. Isso é feito para ter-se uma maior variedade para poder criar 04 (quatro) modelos básicos teóricos para o equipamento em questão a ser definido.

Com os todos os modelos criados através de outra ferramenta chamada passa ou não passa é confrontado novamente os requisitos do cliente com os requisitos do projeto para confrontar se realmente o que o cliente está solicitando é o que foi proposto nos requisitos de engenharia ou de projeto. Com a matriz passa ou não passa criada elimina-se os modelos que não atendem a algum requisito e escolhe-se os dois melhores modelos para desenvolver um projeto básico de cada um deles. E esse projeto básico serve de base para se apresentar ao cliente que terá duas escolhas para execução do projeto.

Com a escolha do cliente e o modelo definido, passa-se para as etapas seguintes que é a elaboração da proposta comercial e as especificações técnicas do equipamento em questão.

Com o fechamento com o cliente parte-se para as etapas finais o projeto executivo, memorial de cálculo, cronograma para instalação e os manuais de montagem e instalação.

Sobre o equipamento em questão a ser trabalhado que é o secador de cavado o método utilizado é o da troca de calor de forma direta, ou seja, o ar quente é forçado pelo interior do tambor rotativo, enquanto o tambor gira a uma velocidade constante, as aletas levantam continuamente a biomassa e a passam pela fonte de ar quente. Essas barreiras são especialmente projetadas ajudam para ajudar a manter o transporte das partículas de biomassa através do secador. O processo de secagem ocorre enquanto a biomassa é suspensa na fonte de ar quente.

#### **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS**

Em uma primeira análise com base nos documentos requisitos do cliente foram encontradas as seguintes solicitações conforme Quadro 1.

**Quadro 01 – Requisitos do Cliente**

1. Performance;	2. Automatizado;
3. Custo de fabricação;	4. Isolamento térmico;
5. Manual de funcionamento;	6. Normas ABNT;
7. Baixo consumo de energia;	8. Sistema de combate a incêndio

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

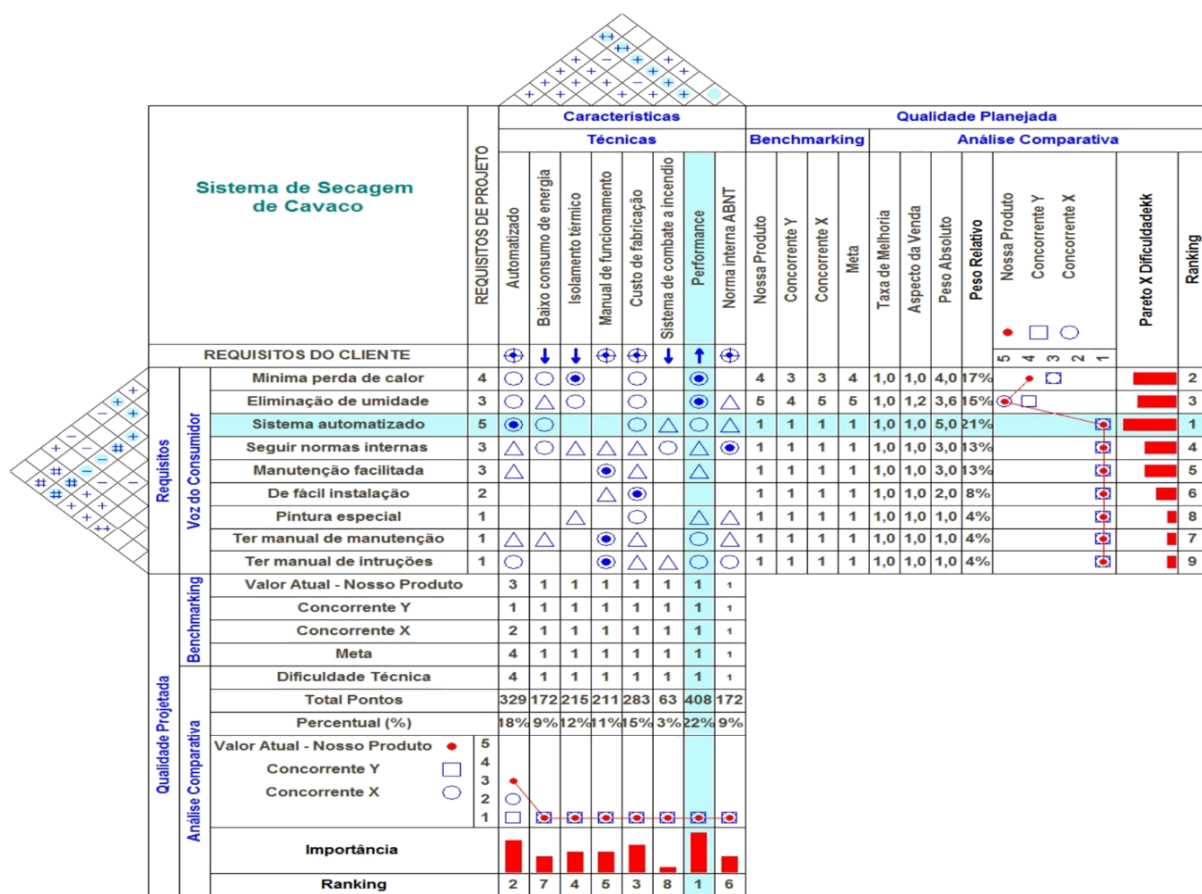
Através de uma *brainstorming* foram encontradas as características técnicas e através de outra ferramenta o QFD são encontradas as prioridades do projeto, no Quadro 02, estão descritas as características técnicas e na Figura 01, os desdobramentos da função qualidade.

**Quadro 02 – Requisitos de projeto**

1. Automatizado;	2. Baixo consumo de energia
3. Isolamento térmico;	4. Manual de funcionamento;
5. Custo de fabricação;	6. Sistema de combate a incêndio e
7. Performance.	

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

**Figura 01 – QFD - Desdobramento da Função Qualidade**



Fonte: Software QFD Versão 1.0

Com os requisitos de projetos definidos, passamos para a matriz estrutura funcional que é onde atribuímos funções parcial e elementar juntamente com a descrição das mesmas para as características técnicas do projeto. Conforme Quadro 03, seguindo os itens listados acima dos requisitos de projeto.

**Quadro 03 – Resumo da Estrutura Funcional**

It.	Função parcial	Função elementar	Descrição
1	Controle de temperatura	Termômetro	Resistente a altas temperaturas
		Medição temperatura ambiente	Baixo custo de aquisição.
	Controle de umidade	Termo higrômetro	Peças comerciais
		Medição de umidade	Avaliações feitas em laboratório
2	Motores	Com selo eficiência energética	Disponibilidade de peças
3	Lã de rocha	Obter o máximo de rendimento	Menos gastos com combustíveis
			Diminuir desgaste do equipamento
4	Manutenção	Plano de manutenção	Especificar como realizar a manutenção
		Plano de lubrificação	Delimitara periodicidade de lubrificação

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Com a **estrutura funcional** criada e as funções definidas são atribuídos 04 (quatro) componentes para a mesma função afins de ter uma maior diversidade para montar os modelos básicos de projeto como é mostrado a seguir no Quadro 04.

**Quadro 04 – Resumo Matriz morfológica**

Função Elementar	Componente 01	Componente 02	Componente 03	Componente 04
Medição de temperatura	Programáveis	Industrial	Ambiente	Digital
Varição da válvula de entrada	Inversores	Caixa de relação	Polias	PLC`s
Inversor de frequência	Analógico	Digital	Programável	driver`s
Plano de manutenção	Sistema	Manual	Programado	Estatístico
Plano de lubrificação	Manual	Automático	Programado	Estatístico
Métodos de operação	Manual	Automático	Automatizado	Por CNC
Métodos de segurança	Físico	Eletrônico	Magnético	Mecânico
Facilidade de montagem	Pré-definida	Modular	içamento	Parafusadas
Sensores de temperatura	Detector de fumaça	Detector de calor	Detector de Chamas	Botoeiras
Transferir o máximo de energia	Isolamento Térmico	Posicionamento das aletas	Selo de lamínulas externas	Válvula Rotativa

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Com os as funções elementares definidas e montada e com todos os componentes que podemos chamar também de elementos de máquinas.



Criamos semelhantemente quatro modelos básicos de equipamentos com as atribuições dos componentes listados anteriormente no Quadro 04. Esses quatro modelos formam a base dos equipamentos conforme é ilustrado a seguir no Quadro 05.

#### Quadro 05 – Modelos de projetos

Função Elementar	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03	Modelo 04
Medição de temperatura ambiente	Manuais	Estático	Estático	Programável
Variação da válvula de entrada	Polias	Caixa de relação	Inversores	PLC`s
Inversor de frequência	Analógico	Digital	Programável	driver`s
Plano de manutenção	Manual	Estatístico	Programado	Sistema
Codificação de peças	Etiquetas	Etiquetas	Código de barras	Código de barras
Plano de lubrificação	Manual	Estatístico	Programado	Automático
Métodos de operação	Manual	Automático	Automático	Automatizado
Métodos de segurança	Físico	Mecânico	Eletrônico	Magnético
Facilidade de montagem	Pré-definida	Modular	Modular	Parafusadas
Especificação de equipamento	Dimensões	Dimensões	Pré-requisitos de instalação	Durabilidade
Sensores de temperatura	Botoeiras	Botoeiras	Detector de calor	Detector de calor
Transferir o máximo de energia	Isolamento Térmico	Posicionamento das aletas	Selo de lamínulas externas	Válvula Rotativa

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Com os modelos já criados através de outra ferramenta proposta pelos autores chamada passa ou não passa onde novamente se confronta os requisitos do cliente com os requisitos do projeto para verificar se realmente o que está sendo solicitado pelo cliente é o que foi proposto pela engenharia nos requisitos de projeto. Onde em um quadro acrescenta-se P para quando o requisito passa no teste e NP para quando por algum motivo ele não passa nos testes conforme veremos no Quadro 06.

#### Quadro 06 – Passa ou não passa

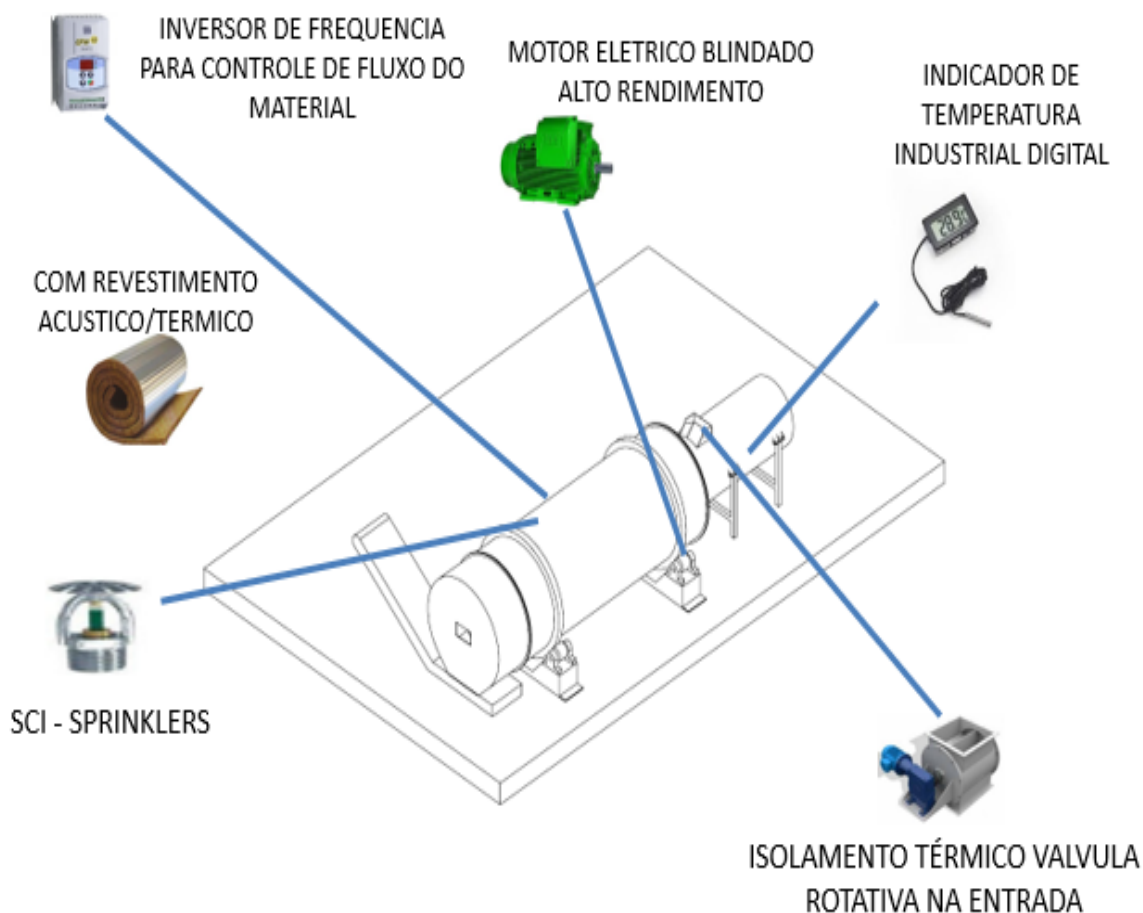
	Requisitos do Cliente	Modelos			
		I	II	III	IV
1	Performance	P	P	P	P
2	Automatizado	P	P	P	P
3	Custo de fabricação	P	P	P	P
4	Isolamento térmico	NP	P	P	P
5	Manual de funcionamento	P	P	P	P
6	Normas ABNT	P	P	P	P
7	Baixo consumo de energia	P	P	P	P
8	Sistema de combate a incêndio	NP	P	P	P

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

E a matriz passa ou não passa elimina os modelos que não atendem a algum requisito, no caso do projeto em questão o modelo 01 foi eliminado por ter algum requisito que não atende, e escolhe-se os dois melhores modelos para desenvolver um projeto básico de cada um deles (Modelo 03 e 04).

E esses projetos foram apresentados ao cliente o qual escolheu o modelo 4 (quatro) como base para o equipamento. Figura 02.

**Figura 02 – Projeto básico**



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Com o modelo o modelo definido, foi elaboração da proposta comercial e as especificações técnicas do equipamento em questão, na qual foi apresentado ao cliente novamente para fechamento da proposta. E com essas etapas finalizadas parte-se para as etapas finais o projeto executivo juntamente com o memorial de cálculo.

#### 4.1 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Para criar o modelo 3d, inicialmente foi realizado um brainstorming com o grupo para poder encontrar a melhor forma construtiva do modelo, com isso optou-se por um secador rotativo que é constituído de uma câmara cilíndrica inclinada levemente em relação a horizontal e gira em torno do seu eixo longitudinal. O comprimento da câmara cilíndrica varia de quatro a dez vezes o seu diâmetro (PERRY, 1997).

Ela é instalada em frente a uma caldeira e possui um exaustor na saída que direciona o fluxo de ar quente através do interior da mesma, fazendo assim a secagem do cavaco. Enquanto isso, o cavaco passa por um helicóide com passo de 100mm que transporta o cavaco da entrada do secador até a saída.

Os secadores rotativos são ideais para a secagem de cavaco, pois devido a sua granulometria consegue-se um escoamento livre e eficiente. Para atender os requisitos do projeto fez-se necessário enfatizar algumas características:

**1 Automatizado:** Todo o acionamento do secador é feito de forma automática através de moto redutores com inversor de frequência para poder variar a velocidade de rotação, regulando assim a velocidade em que o produto permanece dentro da câmara, fazendo com que seja retirada mais ou menos umidade da madeira para melhor atender as especificações da caldeira.

**2 Baixo consumo de energia:** Em meio a essa crise econômica que o país passa, tanto a indústria quanto os consumidores estão à procura de soluções capazes de diminuir o consumo de energia. No âmbito industrial há ainda diversas possibilidades de economia de energia.

Um bom exemplo é a redução da velocidade de motores elétricos por meio de inversores de frequência. Esses dispositivos permitem que os motores operem com velocidade variável, o que reduz o consumo energético quando comparado a um motor trabalhando em sua velocidade máxima. O acionamento do moto redutores são todos feitos com inversores de frequência e por motores de alta eficiência energética consumindo somente 3 kw de energia que, considerando o tamanho do equipamento, não representará um consumo significativo.

**3 Isolamento térmico:** O isolamento térmico é outra forma de se economizar energia, pois ele evita a perda de calor interna do equipamento. Ele é constituído de um revestimento através de uma manta de lã de rocha envolvendo todo o equipamento. Para a dosagem do material que a caldeira necessita foram utilizadas válvulas rotativas na entrada e na saída da câmara evitando assim um escape do calor interno que é gerado pela caldeira evitando assim a transferência do calor que circula no interior da câmara para a atmosfera exterior.

Além disso, nas uniões rotativas do tambor com a alimentação de entrada e saída da câmara optou-se pelo isolamento com selo de lamínulas externas. O selo de lamínulas externas, que conta com tiras flexíveis, resistentes à temperatura e à abrasão gerando um funcionamento confiável e ótima operação para evitar a perda de calor, como se pode observar na figura 03.

**4 Manual de operação, instalação e segurança:** A NR12 no item “12.14.1. A empresa deve dispor do manual em língua portuguesa do Brasil da máquina e equipamento fornecido pelo fabricante ou importador, no formato impresso ou eletrônico”. O propósito do manual de operação é correta utilização do equipamento, provendo todas as informações necessárias para montagem, operação, reposição de peças e segurança.

**5 Custo de fabricação:** Todos os componentes do equipamento foram calculados de forma a não exceder o dimensionamento estimado do equipamento evitando o aumento do custo de fabricação e aquisição dos componentes, também evitando retrabalhos posteriores diminuindo assim tanto o custo de aquisição quanto de manutenção do equipamento por se evitar manutenções e trocas precoces dos componentes.

**6 Sistema de combate a incêndio:** Para o sistema de combate a incêndio foram instalados detectores de calor e fumaça que, se forem acionados, disparam uma sirene de alerta e um sistema de dilúvio com água nebulizada e extintor CO<sub>2</sub> na Classe “D”.

**7 Performance:** A performance do equipamento é a consequência de todo o sistema ter sido bem dimensionado e fabricado. Além disso, a correta alimentação de cavaco sem muitas variações na granulometria aumentará o rendimento da secagem.

**8 Normas ABNT:** O projeto foi baseado nas normas com o intuito de garantir segurança, compatibilidade, intercambialidade, redução das barreiras técnicas e comerciais. Essas normas irão proporcionar que todas as características desejáveis do equipamento atendam a expectativa do cliente, compatibilizando a tecnologia e garantindo a segurança.

## 4.2 MEMORIAL DE CÁLCULO

Projeto do Secador Rotativo para atender as especificações técnicas da proposta comercial, tal quais os materiais utilizados para a fabricação desta máquina contemplam as normas regulamentadoras nacionais (Brasil).

Com a área de  $0,384\text{m}^2$  e um comprimento de  $12\text{m}$  do tambor pode-se calcular o volume do material a ser deslocado:

$$V = S * L \rightarrow V = 0,348 * 12 \rightarrow V = 4,176 \text{ m}^3$$

O **volume** pode-se obter o peso do material no pior caso.

$$P_{\text{max}} = V * \rho \rightarrow P_{\text{max}} = 4,176 * 456 \rightarrow P_{\text{max}} = 1904,3 \text{ Kg}$$

$$\text{Vazão mássica: } V_m = P_m / \rho_s \rightarrow V_m = 2500 / 380 \rightarrow V_m = 6,58 \text{ m}^3/\text{h}$$

Quantidade de água a ser retirada por hora

$$U = (\rho_u - \rho_s) * V_m \rightarrow U = (456 - 380) * 6,58 \rightarrow U = 500 \text{ Kg/h ou } 500 \text{ L/h}$$

$$\text{Rotação do tambor } v_p = \pi * n * D \rightarrow n = \frac{20}{\pi * 2050} \rightarrow n = 3,1 \text{ RPM}$$

Tendo o volume deslocado por volta do tambor, o **passo** é dado pela inclinação das pás.

$$P_s = \frac{P_m}{V_v} \rightarrow P_s = \frac{0,348}{0,0353} \rightarrow P_s = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Cálculo da potência do acionamento: } P = \frac{M * \text{RPM}}{716,20} \rightarrow P = \frac{802 * 3,1}{716,20} \rightarrow P = 3,47 \text{ CV}$$

Para determinar o redutor a ser utilizado, devesse encontrar a **rotação** atuante nas rodas de tração, pois nesse caso o redutor é acoplado diretamente no eixo da roda.  $v_p = \pi * n * D \rightarrow n = \frac{20}{\pi * 0,390} \rightarrow n = 16,3 \text{ RPM}$ . O redutor foi selecionado através do catálogo eletrônico do fornecedor, o modelo utilizado foi FA77.

Conforme cálculo uma **força F atuante** no rodado atua na inclinação  $\beta$ , para calcular a força em cada rodado devesse considerar os seguintes fatores:

$$F_r = \frac{F_{tg}}{n^\circ} \rightarrow F_r = \frac{8882}{4} \rightarrow F_r = 2220,5 \text{ Kgf}$$

**Os eixos de tração** levou-se em consideração todos os esforços atuante sobre eles. Para cálculo do momento torçor foi considerado o torque do motor a ser utilizado já corrigido .

$$M_t = \frac{71620 * P}{n} \rightarrow M_t = \frac{71620 * 2}{16,3} \rightarrow M_t = 8787,73 \text{ Kgf. cm}$$

Calculando momento o **fletor (Mf)**:  $d =$  Distancia entre balanço  $329\text{mm}$  ou  $32,9 \text{ cm}$

$$M_f = \frac{f_r * d}{4} \rightarrow M_f = \frac{2220,5 * 32,9}{4} \rightarrow M_f = 18264 \text{ Kgf. cm}$$

A distribuição de carga F será a somatória de  $M_1$ ,  $M_2$  e  $M_3$ .

$$F = M_1 + M_2 + M_3 \rightarrow F = 4900 + 1904 + 560 \rightarrow F = 7364 \text{ Kgf}$$

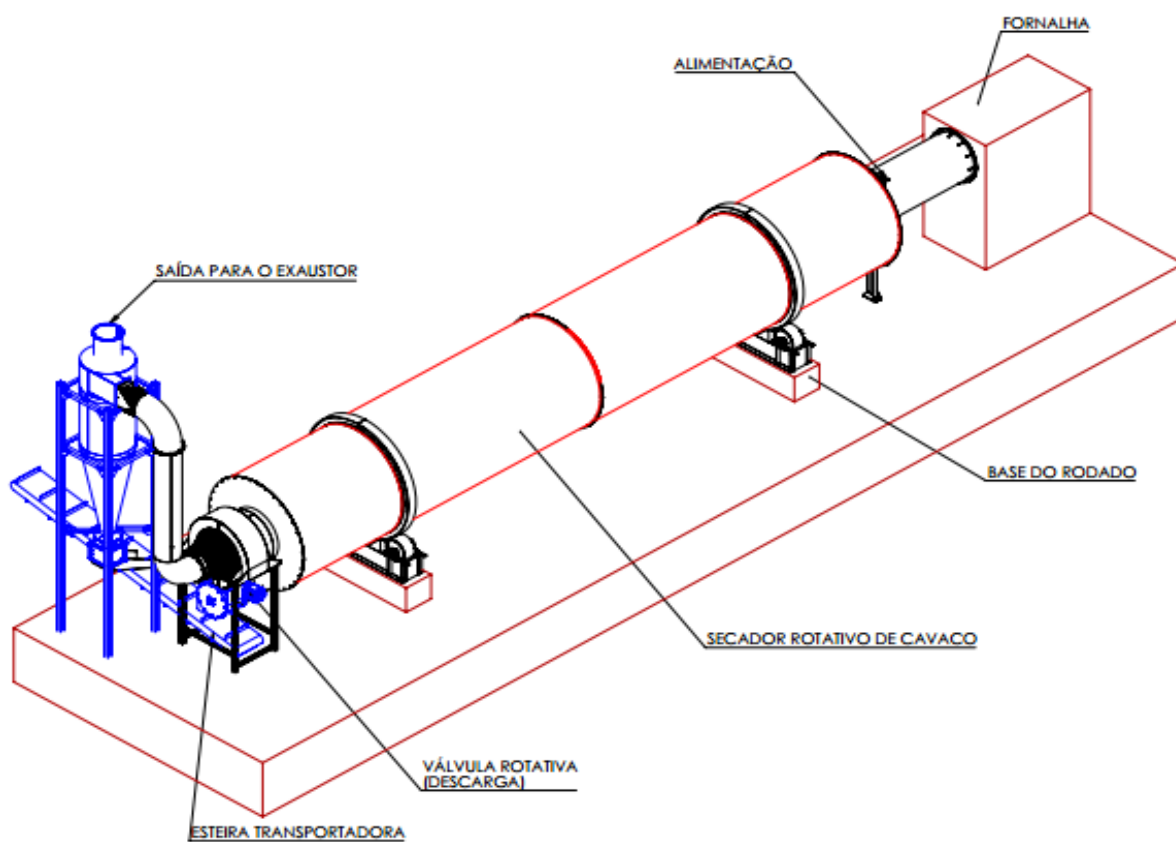
Com base na distribuição de carga, as resultantes de apoios A e B terão a mesma reação.

$$R_A = R_B = \frac{F}{2} \rightarrow R_A = R_B = \frac{7364}{2} \rightarrow R_A = R_B = 3682 \text{ Kgf}$$

### 4.3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

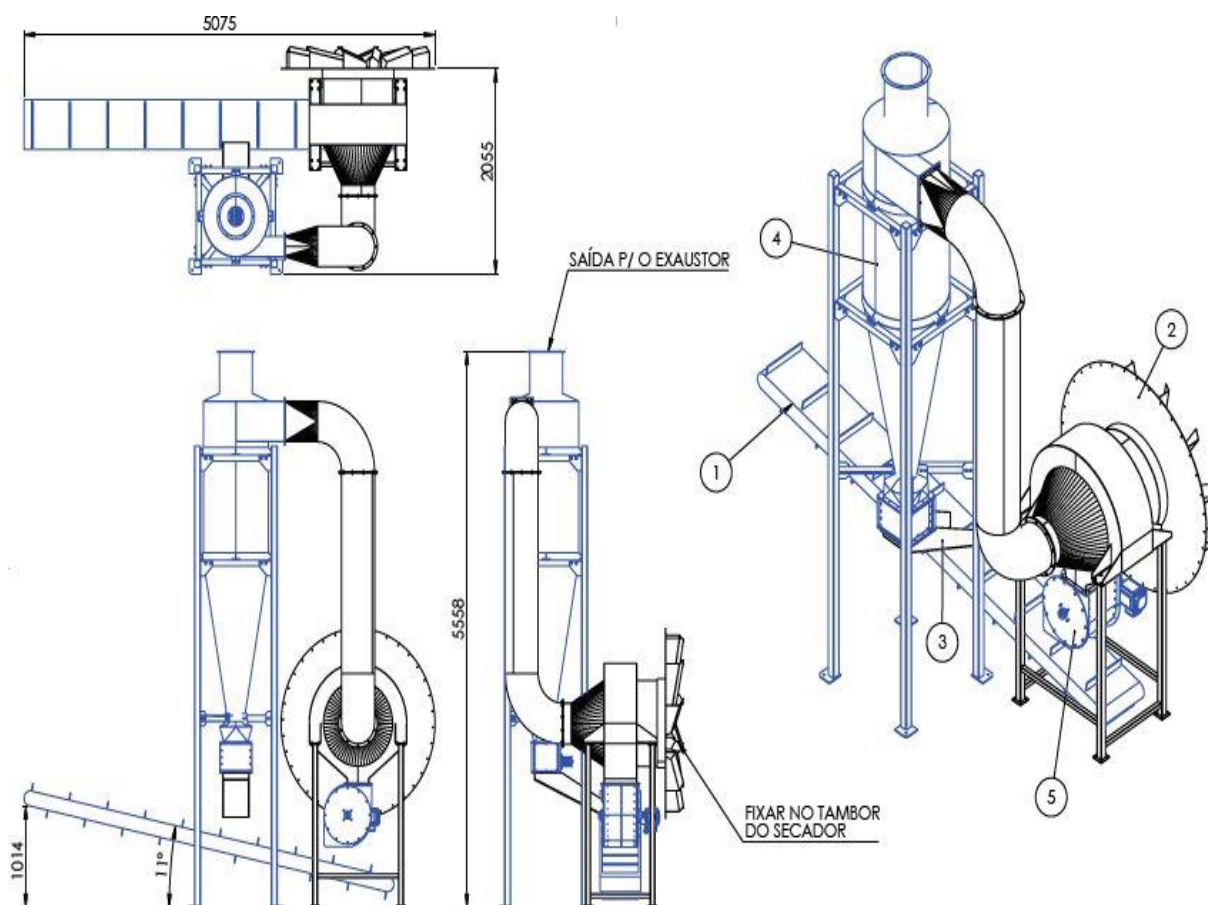
Com a definição de todos os itens baseado no projeto básico os requisitos de projeto definidos foi-se criado o projeto executivo com todos os detalhes para produção com a utilização do software CAD SolidWorks como mostrado na Figura 03 e 04

**Figura 3 – Projeto executivo**



Fonte: Projeto executivo realizado por acadêmicos (2017).

**Figura 04 – Projeto executivo**



Fonte: Projeto executivo realizado por acadêmicos (2017).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tarefa de desenvolver um novo produto é complexa, pois demanda pesquisa, planejamento metódico, controle preciso e métodos sistemáticos. A partir do estudo de aplicação do QFD na área do projeto, transformaram-se os requisitos dos clientes de manufatura em características de qualidade demandada. Para a metodologia em questão, fez-se necessário identificar a qualidade pretendida pelo cliente uma vez que o QFD é um método de desenvolvimento de produtos e serviços buscando identificar os desejos e exigências do cliente para produtos e serviços que os satisfaçam.

O projeto do secador rotativo tem por objetivo demonstrar a aplicação eficaz do método QFD, oferecendo uma interpretação metodológica das características do mesmo, corroborado pelo entendimento do binômio teoria-prática, culminando na prática eficaz.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, DANIELA; **Requisitos do cliente**. Disponível em: <<http://certificacao.com.br/requisitos-cliente>>. Acesso em 19 de maio de 2017.

BACK, N. **Metodologia de projetos de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2. reimp. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

BRASIL, **Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança no Trabalho**. NR 12 Segurança No Trabalho Em Máquinas E Equipamentos, em dezembro de 2010.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

GONZÁLEZ, MARCO AURÉLIO STUMPF. **Noções de Orçamento e Planejamento de Obras**. São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2008.

LIMA, BYANCA PORTO DE; **Aplicação do método QFD no desenvolvimento de embalagens em uma empresa automobilística**. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2009. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp118802.pdf>>. Acesso em 21 de maio de 2017.  
MEL, ROGÉRIO VICTOR ALVES; **Formação de Projeto Básico/Executivo**. Acre, 1ª edição 2014.

PERRY, R. J. **Chemical engineering handbook**, McGraw-Hill, 1997, tth Cd-ROM, Nova York, Estados unidos.

RIBEIRO, J. L. D.; ECHEVESTE, M. E. e DANILEVICZ, A. M. F. **A Utilização do QFD na Otimização de Produtos, Processos e Serviços**. Porto Alegre/RS: FE-ENG/PPGEP/EE/UFRGS, 2001.

VALDIERO, A. C. **Desenvolvimento e construção do protótipo de um microtrator articulado: tração e preparo de sulcos**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

YAN, H.-S. **Creative Design of Mechanical Devices**. Singapore: Springer, 1998.

ZWICKY, F. Morphological Astronomy. **The Observatory**, v. 68, (845), Aug. 1948, S. 121-143.