

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

PEDRO HENRIQUE NEZGODA
TIAGO SIKORA

SOFTWARE DE CONTROLE E SUPERVISÃO DE SERRA CNC PARA BAMBU

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2013

PEDRO HENRIQUE VIEIRA NEZGODA
TIAGO SIKORA

SOFTWARE DE CONTROLE E SUPERVISÃO DE SERRA CNC PARA BAMBU

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Celso Salamon

CURITIBA
2013

PEDRO HENRIQUE VIEIRA NEZGODA
TIAGO SIKORA

SOFTWARE DE CONTROLE E SUPERVISÃO DE SERRA CNC PARA BAMBU

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 07 de novembro de 2012, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram argüidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado

Prof. Dr. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Dr. Decio Estevão do Nascimento
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Celso Salamon
Orientador

Prof. Ruy Somei Nakayama

Prof.Dr. Rubens Alexandre de Faria

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

Dedicamos este trabalho a Deus: criador do universo, das pessoas, animais e de todas as coisas que existem neste mundo. Pois foi graças a Ele que pudemos ter o privilégio de conquistar mais uma etapa nesta vida passageira, porque o Eterno nós deu a inteligência, a sabedoria, a paciência e todos os dons necessários para finalizar este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a nossos pais que de forma direta contribuíram para o desenvolvimento desse projeto, incentivando, investindo em nossa formação, disponibilizando seu tempo para compartilhar suas experiências de vida conosco.

Ao nosso professor Orientador Celso Salamon, professor Rubens Faria, professor Ubiradir e outros professores tão importantes quanto, os quais dispuseram do seu precioso tempo para nós dar os ensinamentos valiosos e compartilhar as suas ricas experiências com a jornada estudantil.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pois disponibilizou os seus laboratórios e materiais de estudos para que nós pudéssemos usufruir e agregar valor ao protótipo.

RESUMO

NEZGODA, Pedro H. V.; SIKORA, Tiago. **Software de controle e supervisão de serra CNC para bambu**, 2012. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

O bambu por suas características - como: boa resistência mecânica, leveza, durabilidade, sustentabilidade, rápido crescimento, baixo custo de produção, alta produtividade e fácil de ser moldado - pode suprir parte da demanda atual de matérias-primas sustentáveis. Dentre os vários processos atuais de fabricação para explorar essa matéria um que se destaca é a obtenção de ripas utilizando-se corte com serras. Foi desenvolvida, na UTFPR, uma serra para seccionar longitudinalmente colmos de bambu com as possibilidades de mudança de vários parâmetros, tais como a largura da ripa e a altura de corte. O estudo das possibilidades de automação do processo do corte do bambu em ripas é o foco deste trabalho, no qual foi desenvolvido um protótipo de estudo, pois a máquina completa não estava disponível para integração. Desenvolveu-se, neste trabalho, o estudo dos parâmetros de um software, com a finalidade de otimizar a largura das ripas ou aproveitar as melhores fibras do colmo em função de dados preestabelecidos. A partir de informações dimensionais relacionadas ao colmo introduzidas no sistema pelo usuário, e ainda optando pelo modo de corte automático ou manual, o software fornece ao operador as opções otimizadas para o corte.

Palavras chave: Bambu. Ripas serradas de bambu. Processos de fabricação automatizados.

ABSTRACT

NEZGODA, Pedro H. V.; SIKORA, Tiago. **Software control and supervision saw CNC for bamboo**, 2012. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia de Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

The bamboo for its features like: good mechanical resistance, lightness, durability, sustainability, fast growing, low production cost, high productivity and easy to be, molded can supply the current demand of sustainable raw materials. Among the several current processes of manufacturing to explorer this material, one that appears in evidence is the act of getting shingles using cuts by saws. At UTFPR, a saw for cutting lengthwise culms of bamboo was developed with the possibilities of changing several parameters, such as the width of a lath and the cutting height. The study of the automation possibilities of the bamboo cutting in laths process is the focus of this project, in which has developed a prototype for the realization of the research. That happened because the complete machine was not available for use. Developed in this research, the study of parameters of a software for optimizing the laths width or to turn possible the use of the best fiber of the culms as base for the data given previously. From dimensional information about the culms introduced into the system by the user and still opting for manual or automatic sectioning mode, the software provides the operator better options for cutting.

Keywords: Bamboo. Bamboo sawn laths. Automated manufacturing processes.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SECÇÃO DO BAMBU.	11
FIGURA 2- CAMADAS DO BAMBU.	13
FIGURA 3 - SECÇÃO TRANSVERSAL DO BAMBU.....	14
FIGURA 4 – ILUSTRAÇÃO DA LINHA TANGENTE.	15
FIGURA 5 - MÁQUINA UTILIZANDO A FERRAMENTA FACA ESTRELA.	17
FIGURA 6 - SERRA REFILADEIRA.	18
FIGURA 7 - DOIS MOTORES DE PASSO.....	20
FIGURA 8 - DATASHEET DO TRANSDUTOR.....	21
FIGURA 9 – SEQUENCIA LÓGICA DE FUNCIONAMENTO.....	23
FIGURA 10 - SISTEMA SCADA TELEMÉTRICO.....	23
FIGURA 11 - TELA PRINCIPAL DO SUPERVISÓRIO DE UM SILO DA FOSPAR.....	25
FIGURA 12 - CLP S7-200	27
FIGURA 13 - PROJETO MECÂNICO DA MÁQUINA COMPLETA.....	28
FIGURA 14 - IMAGEM DO SOFTWARE INVENTOR O QUAL AUXILIOU NO ESTUDO.	32
FIGURA 15 - EQUAÇÃO GENÉRICA PARA ESTUDO: $(F(x) = -0,25x^2 + x)$	34
FIGURA 16 - TELA PRINCIPAL DO SISTEMA SUPERVISÓRIO.....	37
FIGURA 17 – TELA SELEÇÃO DE QUANTIDADE DE RIPAS DO SUPERVISÓRIO.	38
FIGURA 18 - TELA DE MEDIÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO.....	39
FIGURA 19 - SISTEMA SUPERVISÓRIO	47

LISTA DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA 1 - ORGANIZAÇÃO MANUAL DO LAYOUT DE CORTE SOB O PEDAÇO DE BAMBU.	30
FOTOGRAFIA 2 - PROTÓTIPO GENÉRICO PARA COMPROVAR O SOFTWARE.	40
FOTOGRAFIA 3 - O COLMO GENÉRICO FEITO DE MADEIRA.....	41
FOTOGRAFIA 4- ESTRUTURA DE LEITURA.	42
FOTOGRAFIA 5 - CLP SIEMENS DO LABORATÓRIO DA UTFPR.	43
FOTOGRAFIA 6 - MICROCONTROLADOR 8051.	44
FOTOGRAFIA 7 - CIRCUITOS ELETRÔNICOS MONTADOS EM UM PROTOBOARD.	45
FOTOGRAFIA 8 - ESTRUTURA DE CORREÇÃO.	46
FOTOGRAFIA 9 - PROTÓTIPO DE ESTUDO COMPLETO.....	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RELAÇÃO ENTRE LARGURA E QUANTIDADE DE RIPAS.....	31
TABELA 2 – BANCO DE DADOS DO SOFTWARE PARA AS LARGURAS OTIMIZADAS.	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVO GERAL	14
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	PROCESSOS DE CORTES ATUAIS NO MERCADO MUNDIAL	17
2.1.1	Faca múltipla	17
2.1.2	Serra retiladeira	18
2.2	MOTOR DE PASSO	18
2.3	TRANSDUTOR DE DESLOCAMENTO RETILÍNEO	20
2.4	SISTEMA SUPERVISÓRIO	22
2.5	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)	25
3	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	28
4	PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO	30
4.1	ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DAS RIPAS	30
4.2	ESTUDO DA TRAJETÓRIA DE CORTE	34
4.3	DESCRIÇÃO DETALHADA DE CADA ETAPA DO PROGRAMA	35
4.4	ILUSTRAÇÃO E EXPLICAÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO	36
5	SOFTWARE DE ESTUDO	40
5.1	RIPA	41
5.2	ESTRUTURA DE LEITURA	42
5.3	SOFTWARE DE CONTROLE	43
5.4	DRIVE DE CONTROLE	44
5.5	ESTRUTURA DE CORREÇÃO	46
5.6	SISTEMA SUPERVISÓRIO	47
6	CONCLUSÕES	49
7	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Bambu é o nome que se dá às plantas da subfamília *Bambusoideae*, da família das gramíneas. Essa subfamília se separa em duas espécies, a *Bambuseae* (os bambus lenhosos) e a *Olyrae* (bambus herbáceos). No Brasil existem cerca de 250 espécies nativas e cerca de 1250 espécies no mundo inteiro. (BERALDO; RIVERO, 2003).

Neste projeto, trabalharemos com o bambu-gigante *Dendrocalamus giganteus* (figura 01), o qual possui colmos que atingem até 36 metros de altura, crescem e rejuvenescem rapidamente tendo registrado um recorde de 94 centímetros por dia, possui grandes folhas acuminadas e flores verdes (PEREIRA, 2007). O autor observa ainda que esta espécie é uma das mais importantes para pesquisa e desenvolvimento de novos materiais.

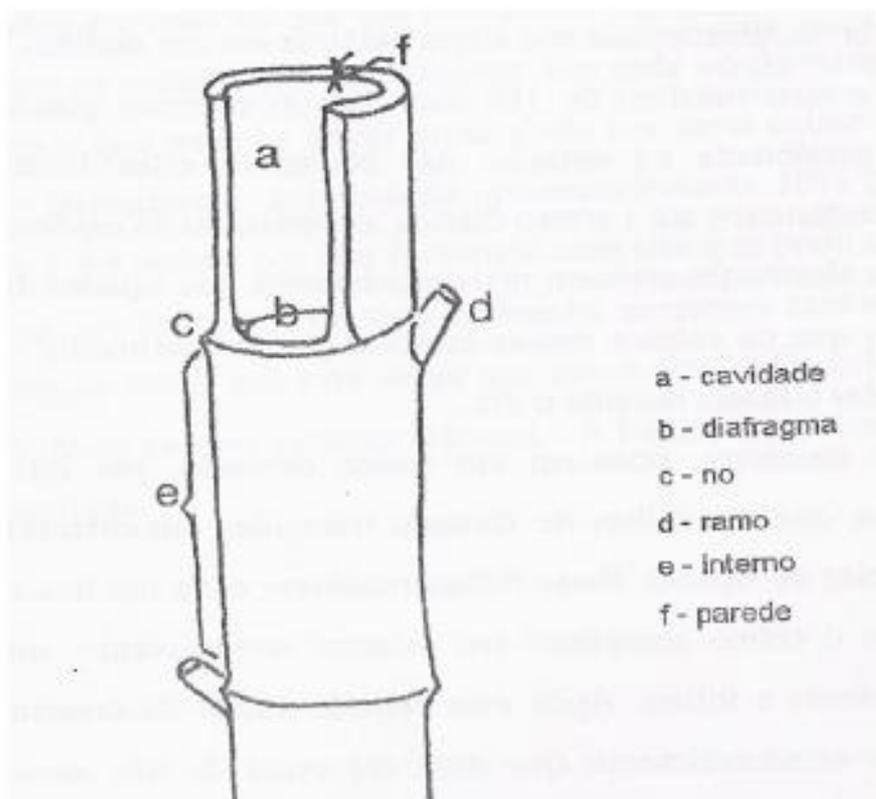


Figura 1 - Seção do bambu.

Fonte: Janssen (1981 apud UNESP, 2011).

Segundo Ostapiv (2007), as características estruturais do bambu tais como: leveza, resistência, durabilidade, sustentabilidade e fácil de ser moldado tornam o bambu um material de excelente qualidade. Vários profissionais de todo o mundo do ramo de projetos e fabril utilizam a matéria-prima para desenvolver criações únicas e modernas, com aspectos graciosos devido a suas características citadas anteriormente.

A demanda do mercado, o potencial para criação de produtos novos, as grandes perspectivas de sustentabilidade da matéria-prima e a falta de projetos específicos no Brasil, entre outros justificam o estudo sobre o bambu. O bambu, por suas boas características poderá ocupar um lugar de destaque entre os materiais de construção e engenharia, desde que sejam estudadas e conhecidas adequadamente suas propriedades básicas e desenvolvidos processos eficientes de manufatura.

Também é importante lembrar o potencial econômico, social e ambiental desta planta, principalmente para países tropicais nos quais são encontrados o maior número de variedades. O bambu é um material que pode substituir a madeira em várias aplicações, com a vantagem de ser um material com manuseio de corte e de transporte, muito mais barato que o de uma árvore.

Os líderes mundiais na produção do bambu e produtos industrializados são a China e Índia com mais de 1500 utilidades aplicadas catalogadas (XINGCUI, 2004). Já no Brasil, algumas empresas, acreditando que o processo é um tanto simples, têm adaptado equipamentos e feito testes, na tentativa de produzir produtos de bambu com a qualidade exigida pelo mercado. Um dos processos primários dos colmos é o serramento, onde o colmo é subdividido com cortes paralelos longitudinais, com largura constante.

1.1 JUSTIFICATIVA

Como o bambu é levemente cônico, possui uma variação em seu diâmetro em torno de 20% ao longo de seu colmo. Além de a matéria-prima ter uma forma tronco-cônica, ou seja, apresenta variação de secção ao longo do colmo, o que

dificulta ainda mais o processo de fabricação de ripas longa e com uma boa qualidade, conseqüentemente com perdas muito grandes.

Pelas características naturais da estrutura do bambu, cuja secção transversal não é uma circunferência regular e as melhores fibras são as externas, não existe um procedimento de forma a determinar um padrão de qualidade, tendo em vista que sua camada externa é mais dura do que a sua camada interna (figura 02).

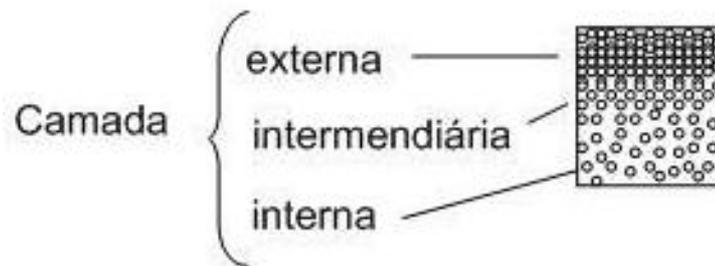


Figura 2- Camadas do bambu.
Fonte: Salamon (2009).

O baixo aproveitamento da matéria-prima é devido ao processo de manufatura do bambu ser praticamente todo artesanal no Brasil. Estipula-se que se utilizam em torno de 25% apenas do colmo quando é manufaturado em ripas, (SALAMON, 2009). Esta matéria-prima e seus produtos manufaturados são muito difundidos na Ásia, aonde existe uma grande quantidade de mão de obra. No Brasil apesar de toda a tecnologia existente para madeiras, ainda não foi desenvolvida uma proposta para aprimorar o processo de extração de ripas de colmos de bambu.

Um dos métodos de se aproveitar o bambu é transformá-lo em ripas e neste processo apesar de ser utilizadas máquinas, não tem como garantir um bom aproveitamento das melhores fibras do colmo e baixo rendimento volumétrico do colmo. Atualmente não existe uma máquina totalmente automatizada que realize o processo de corte de bambu visando à qualidade e aproveitamento volumétrico. Está em desenvolvimento uma serra capaz de variar a largura de corte da ripa e variar a altura de serras referenciadoras de maneira que estas possam realizar um sulco tangente à superfície longitudinal do bambu, sulco este que servirá de referência para posicionamento das taliscas nos próximos processos. Esse

equipamento terá êxito se houver um desenvolvimento de um *software* de controle que atenda as necessidades específicas do processo.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um protótipo de um *software* de controle e supervisão de uma máquina CNC de corte de bambu em ripas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar os parâmetros otimizados de corte da serra CNC, a partir dos parâmetros geométricos do bambu e das dimensões da ripa objetivo (figura 03).

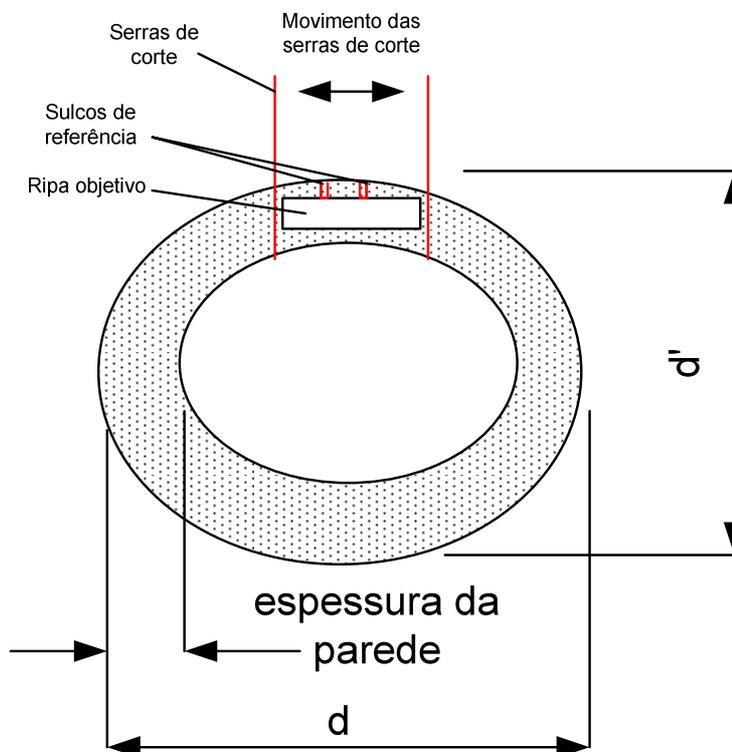


Figura 3 - Secção Transversal do Bambu
Fonte: Autoria própria.

2. Estudar o processo de corte do colmo; aumentar o rendimento volumétrico, evitando o desperdício e aproveitar a camada mais externa do bambu, as quais têm as melhores propriedades mecânicas.
3. Analisar e desenvolver um sistema de medição da inconstância longitudinal da superfície do bambu e determinar a trajetória das serras referenciadoras (figura 04).

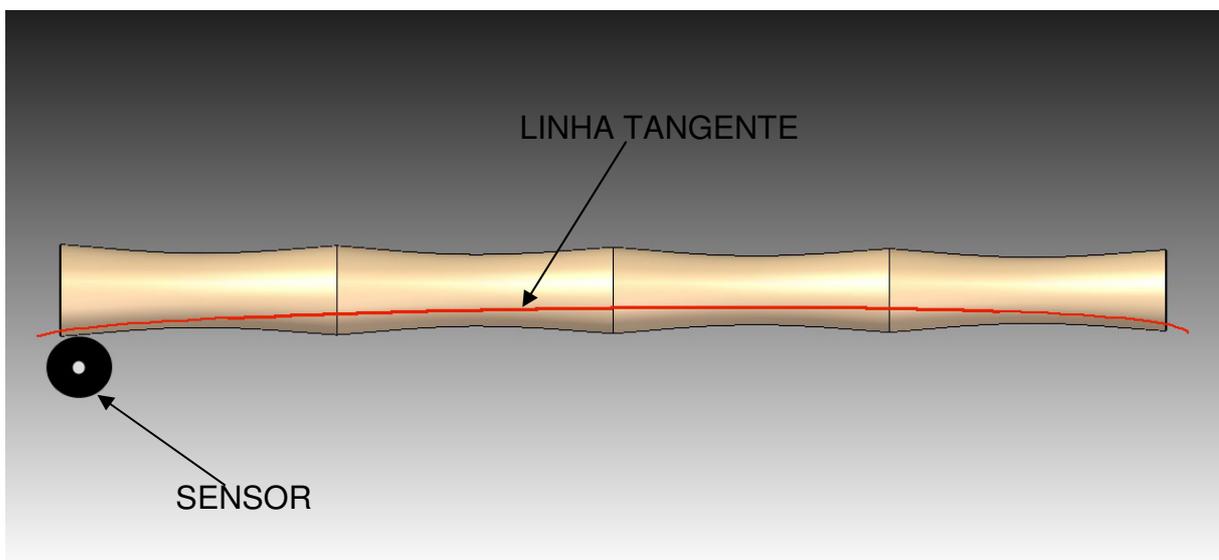


Figura 4 – Ilustração da linha tangente.
Fonte: Autoria própria.

4. Desenvolver o controle supervisório do sistema.
5. Oferecer a opção para o operador selecionar o modo de corte das ripas do bambu, ou seja, a primeira com o maior aproveitamento da relação largura versus quantidade de ripas, e a segunda fica a cargo do operador se for possível.
6. Desenvolver o conceito do sistema de corte do colmo através da trajetória preestabelecida.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho segue as seguintes etapas abaixo:

No capítulo 1: Introdução é feita uma introdução do tema, apresentando à justificativa, o objetivo geral e os específicos do trabalho.

No capítulo 2: A Revisão de literatura trata a respeito do assunto abordado no trabalho, o qual se procura destacar uma visão mais aprofundada sobre o bambu e também algumas citações a respeito dos equipamentos mecânicos e eletrônicos utilizados no projeto.

No capítulo 3: A definição dos problemas consiste em analisar os objetivos do projeto e principais parâmetros que o projeto deve seguir a fim de se obter os resultados esperados. Nessa etapa é importante dedicar um tempo maior no planejamento das atividades para que não ocorram pequenos erros que não foram previstos anteriormente, ou seja, minimizando os riscos e limitações do projeto.

No capítulo 4: Trata do Projeto e Implementação em si, mostra mais detalhadamente os passos para elaboração do controle do processo.

No capítulo 5: Mostra a implementação e teste do *software* de estudo, cujo principal objetivo é simular a máquina de forma mais didática.

No capítulo 6: Contem as conclusões obtidas nesse trabalho final de curso.

No capítulo 7: contem as referencias que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são apresentados os dois principais processos iniciais para seccionamento longitudinal de um colmo de bambu. E na sequência os principais componentes de automação de interesse a este projeto.

2.1 PROCESSOS DE CORTES ATUAIS NO MERCADO MUNDIAL

Abaixo serão apresentados os principais métodos de corte de bambu.

2.1.1 Faca múltipla

Nesse processo as ripas primárias (taliscas) de bambu são retiradas cortando longitudinalmente o colmo. Neste método, o colmo é forçado contra um conjunto de facas (denominado faca estrela, figura 5) com números de lâminas adequados. A quantidade destas facas depende do diâmetro externo do colmo, e do tipo de produto final que será destinada a matéria prima (OSTAPIV, 2007).

Um dos inconvenientes deste processo é que as taliscas não são regulares, pois o corte acompanha a direção das fibras do colmo.



Figura 5 - Máquina utilizando a ferramenta faca estrela.
Fonte: TTNET (2012).

2.1.2 Serra refiladeira

A serra refiladeira para colmos popularmente conhecida como serra paralela (figura 06) é uma máquina com duas serras paralelas para realização do corte longitudinal. Importante verificar que o equipamento não possui recursos para ajustes mais precisos, a máquina possui uma largura de corte da talisca fixa preestabelecida (OSHIMA; SILVA, 2012).



Figura 6 - Serra refiladeira.
Fonte: Bamboo (2011).

2.2 MOTOR DE PASSO

O motor de passo (figura 07) é um transdutor que converte energia elétrica em movimento mecânico controlado através de pulsos, o que possibilita o deslocamento por passo (LEITE; et al, 2013).

O passo é o menor deslocamento angular e com uma boa precisão de movimento. Como os motores de passos têm movimentos bem precisos, quaisquer equipamentos que necessitem precisão nos movimentos utilizam esses motores. Por exemplo, o controle de microcâmeras em um circuito interno de vigilância, em clínicas radiológicas, no auxílio de operadores para os mesmos orientarem o posicionamento das pessoas submetidas a uma radiografia; Para posicionamento de

uma mesa de trabalho em duas dimensões; Para furação automática de acordo com instruções em fita sobre as posições dos furos, entre outras funções.

Os motores de corrente contínua giram em velocidade constante, pois possuem apenas dois estágios de operação, ou seja, para que estes motores funcionem, é necessário apenas estabelecer sua alimentação ativada ou desativada. Com o auxílio de circuitos externos de controle, estes motores de corrente contínua poderão inverter o sentido de rotação ou variar sua velocidade. Enquanto os motores de passo se deslocam por pulsos ou passos discretos e exibem três estágios: parados, ativados com rotor travado (bobinas energizadas) ou girando em etapas. Para que um motor de passo funcione, é necessário que sua alimentação seja feita de forma seqüencial e repetida. Não basta apenas ligar os fios do motor de passo a uma fonte de energia e sim ligar a um circuito que execute a seqüência requerida pelo motor (RENGENHARIA, 2013).

Em relação aos primeiros motores criados o motor de passos apresenta evidentes vantagens, como dimensional e custo reduzidos, total adaptação a lógica digital (o que permite o controle preciso da velocidade direção e distância), características de bloqueio com pouco desgaste e dispensa realimentação do circuito eletrônico. São poucas as desvantagens, mas elas existem, por exemplo, a má relação entre potência e volume e principalmente o controle do motor relativamente complexo (LEITE; et al, 2013).

Movimentar o motor passo a passo funciona desta forma: se um determinado motor de passo possui 180 passos, isto significa que cada volta do eixo do motor é dividida 180 vezes em uma volta completa, ou seja, cada passo corresponde a dois graus e o rotor tem a capacidade para se mover apenas estes dois graus.

Com um circuito eletrônico bem projetado proporcionamos esta periodicidade, a qual controla a velocidade e o sentido de rotação do motor. Caso o controle do motor de passo seja feito por computador, os estágios excitadores poderão ser acoplados diretamente a um dos conectores de saída, deixando para o *software* de controle a tarefa de estabelecer os movimentos do motor, ou seja, sentido de rotação horário ou anti-horário, em passos inteiros ou meio passos e a variação dos tempos entre os passos, que definirá a precisa regulação da velocidade. Pela

contagem do número de passos, será possível seguir continuamente a posição do objeto acionado pelo motor.

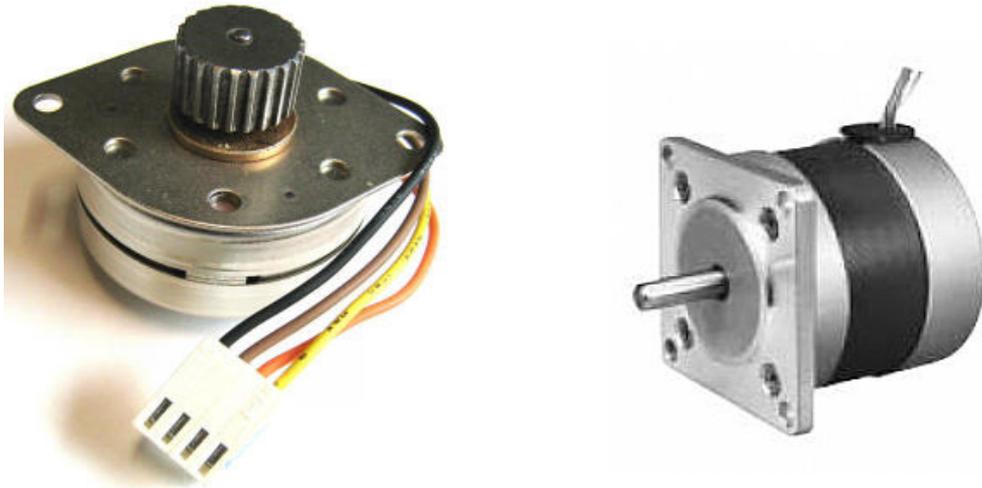


Figura 7 - Dois motores de passo
Fonte: Casa da Mecatrônica (2011).

2.3 TRANSDUTOR DE DESLOCAMENTO RETILÍNEO

Utilizaremos neste projeto o transdutor de deslocamento retilíneo (figura 8), o qual terá a função de fazer a leitura da variação dimensional do colmo do bambu e enviar estes dados para entrada do CLP. Fornecida pelo fabricante *Gefran*, segue abaixo a tabela a qual podemos visualizar os dados técnicos e dimensões mecânicas do mesmo: Abaixo segue uma lista com algumas informações pertinentes do transdutor (GEFRAN, 2012):

1. Proteção IP60, ISO4017-DIN933;
2. Repetibilidade 0,01mm;
3. Corrente máxima 10 mAcc;
4. Tensão máxima aplicada 60 Vcc;
5. Variação de resistência na saída 0 a 5 kohms;

6. Temperatura de trabalho -30° a 100° C e temperatura de armazenamento -50° a 120° C;
7. Aceleração máxima do curso para uma boa leitura de 200m/s²;
8. Possui uma estrutura robusta com alta resistência contra vibrações pesadas;
9. Fácil instalação pela ausência de componentes elétricos e pouca variação do sinal da saída;
10. As ranhuras na parte externa da estrutura fornecem uma excelente alternativa para o sistema usual de fixação com suportes;

TECHNICAL DATA	
Useful electrical stroke (C.E.U.)	50/75/100/130/150/175/200/225/275/300/350/375/400/450/500/600/650/750/900
Independent linearity (within C.E.U.)	± 0.05%
Resolution	infinite
Repeatability	0.01mm
Electrical connections	LTM 4-pole connector DIN43650 LTH 3-pole connector LTB 5-pole connector DIN43322 LTF 1 meter 3-pole shielded cable
Displacement speed	Standard ≤ 10m/s
Protection level	IP60 (IP65 on request)
Life	>25x10 ⁶ m strokes, or 100x10 ⁶ maneuvers, whichever is less (within C.E.U.)
Displacement force	≤ 3,5N IP60 version ≤ 25N IP65 version
Vibrations	5...2000Hz, Amax = 0.75 mm amax. = 20 g
Shock	50 g, 11ms.
Acceleration	200 m/s ² max (20g)
Tolerance on resistance	± 20%
Recommended cursor current	< 0,1 μA
Maximum cursor current	10mA
Maximum applicable voltage	60V
Electrical isolation	>100MΩ at 500V~, 1bar, 2s
Dielectric strength	< 100 μA at 500V~, 50Hz, 2s, 1bar
Dissipation at 40°C (0W at 120°C)	3W
Thermal coefficient of resistance	-200...+ 200 ppm/°C typical
Actual Temperature Coefficient of the output voltage	≤ 5ppm/°C typical
Working temperature	-30...+100°C
Storage temperature	-50...+120°C
Material for transducer case	Anodised aluminium Nylon 66 G 25
Material for pull shaft	Stainless steel AISI 303
Mounting	Brackets with adjustable distance between centers or with M5 screw ISO4017-DIN933

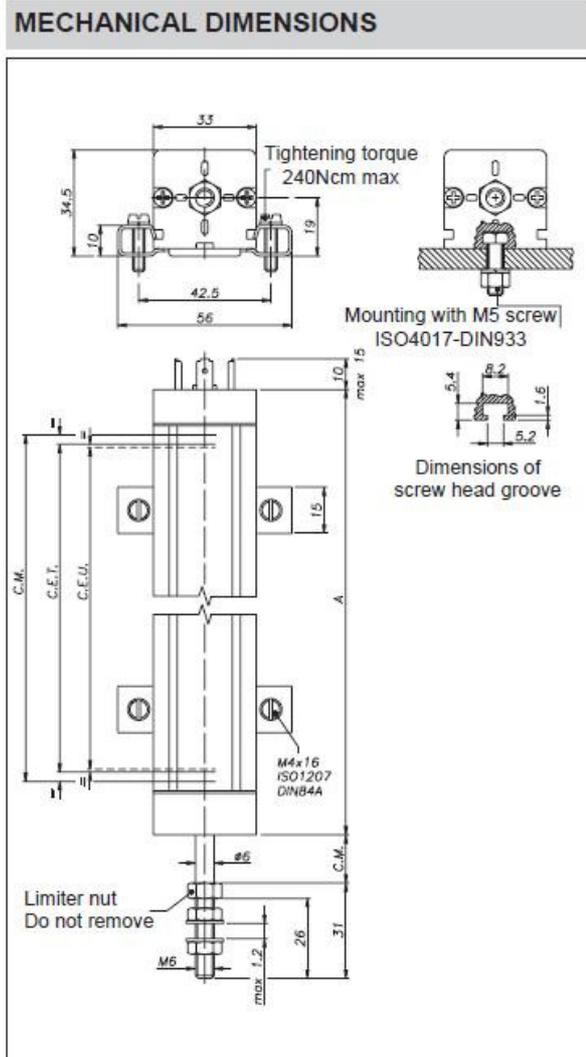


Figura 8 - Datasheet do transdutor
Fonte: Gefran (2012).

2.4 SISTEMA SUPERVISÓRIO

Os sistemas supervisórios permitem que processos produtivos ou instalações físicas sejam monitorados, rastreados e controladas. As informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados depois manipuladas, analisadas, armazenadas, apresentadas ao(s) usuário(s) e podem ser controladas automaticamente tão qual manualmente. Estes sistemas também são chamados de SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*) (COELHO, 2013).

Os componentes físicos de um sistema de supervisão podem ser resumidos, de forma simplificada em: sensores e atuadores, rede de comunicação, estações remotas (aquisição/controlare) e de monitoração central (sistema computacional SCADA). Os sensores são dispositivos conectados aos equipamentos controlados e monitorados pelos sistemas SCADA, que convertem parâmetros físicos para sinais analógicos e digitais legíveis pela estação remota. Os atuadores são utilizados para atuar sobre o sistema, ligando e desligando determinados equipamentos. O processo de controle e aquisição de dados se inicia nas estações remotas, PLC (*Programmable Logic Control*) e RTU (*Remote Terminal Units*), com a leitura dos valores atuais dos dispositivos que a ele estão associados e seu respectivo controle. Basicamente o seu funcionamento consiste em três etapas: entrada, controle e saída. Na primeira etapa os sensores enviam as informações lida, para a segunda etapa fazer o controle da lógica do processo e atuar na terceira etapa. Segue na sequencia uma representação (figura 9) desta sequencia da lógica de funcionamento (ELIPSE, 2013).

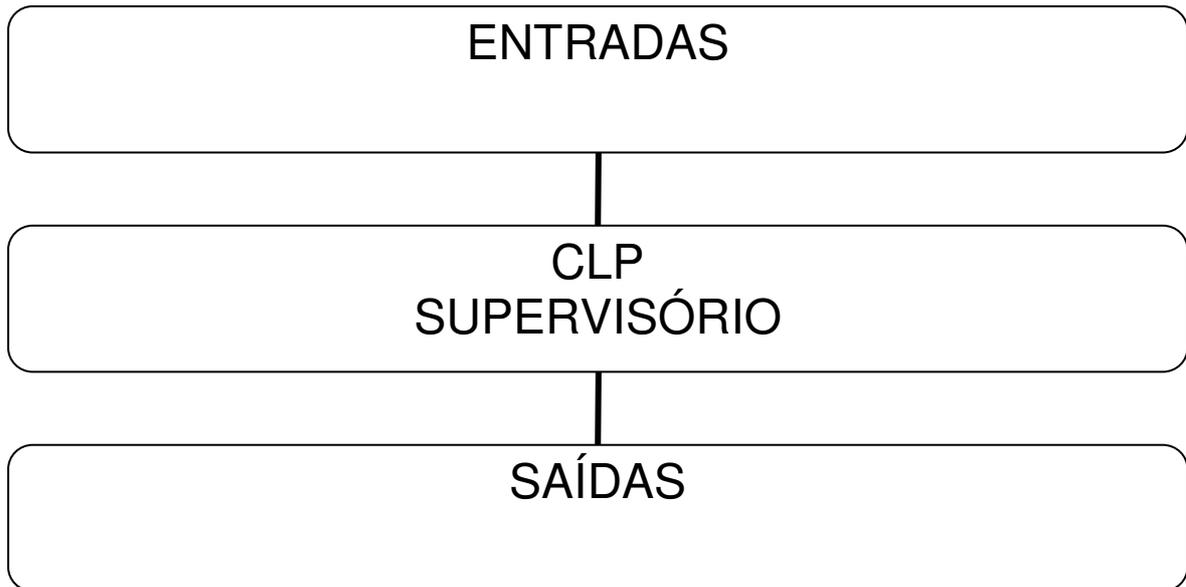


Figura 9 – Sequencia lógica de funcionamento
Fonte: Autoria própria.

Os primeiros sistemas SCADA (figura 10), basicamente telemétricos, permitiam informar periodicamente o estado do processo industrial, monitorando sinais representativos de medidas e estados de dispositivos, através de um painel de lâmpadas e indicadores, sem que houvesse qualquer interface interagindo com o operador (FEUP, 2013).



Figura 10 - Sistema Scada telemétrico
Fonte: Automações (2011).

Atualmente, os sistemas de automação industrial utilizam alta tecnologia de computação e comunicação para automatizar a monitoração e controle dos processos industriais, efetuando coleta de dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, e a respectiva apresentação de modo amigável para o operador, com recursos gráficos elaborados (interfaces homem-máquina) e conteúdo multimídia (figura 11). Para permitir isso, os sistemas SCADA identificam as TAGS, que são todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas envolvidas na aplicação, podendo executar funções computacionais (operações matemáticas, lógicas, com vetores ou strings, etc.) ou representar pontos de entrada/saída de dados do processo que está sendo controlado. No segundo caso, correspondem às variáveis do processo real (ex: temperatura, nível, vazão etc.), se comportando como a ligação entre o controlador e o sistema. É com base nos valores das TAGS que os dados coletados são apresentados ao usuário de forma visual e mais fácil possível de interpretação do mesmo. Os sistemas SCADA podem também verificar condições de alarmes, identificadas quando o valor da TAG ultrapassa uma faixa ou condição pré-estabelecida (ELIPSE, 2013).

As tecnologias computacionais utilizadas para o desenvolvimento dos sistemas SCADA têm evoluído bastante nos últimos anos, de forma a permitir que, cada vez mais, aumente sua confiabilidade, flexibilidade e conectividade, além de incluir novas ferramentas que permitem diminuir cada vez mais o tempo gasto na configuração e adaptação do sistema às necessidades de cada instalação.

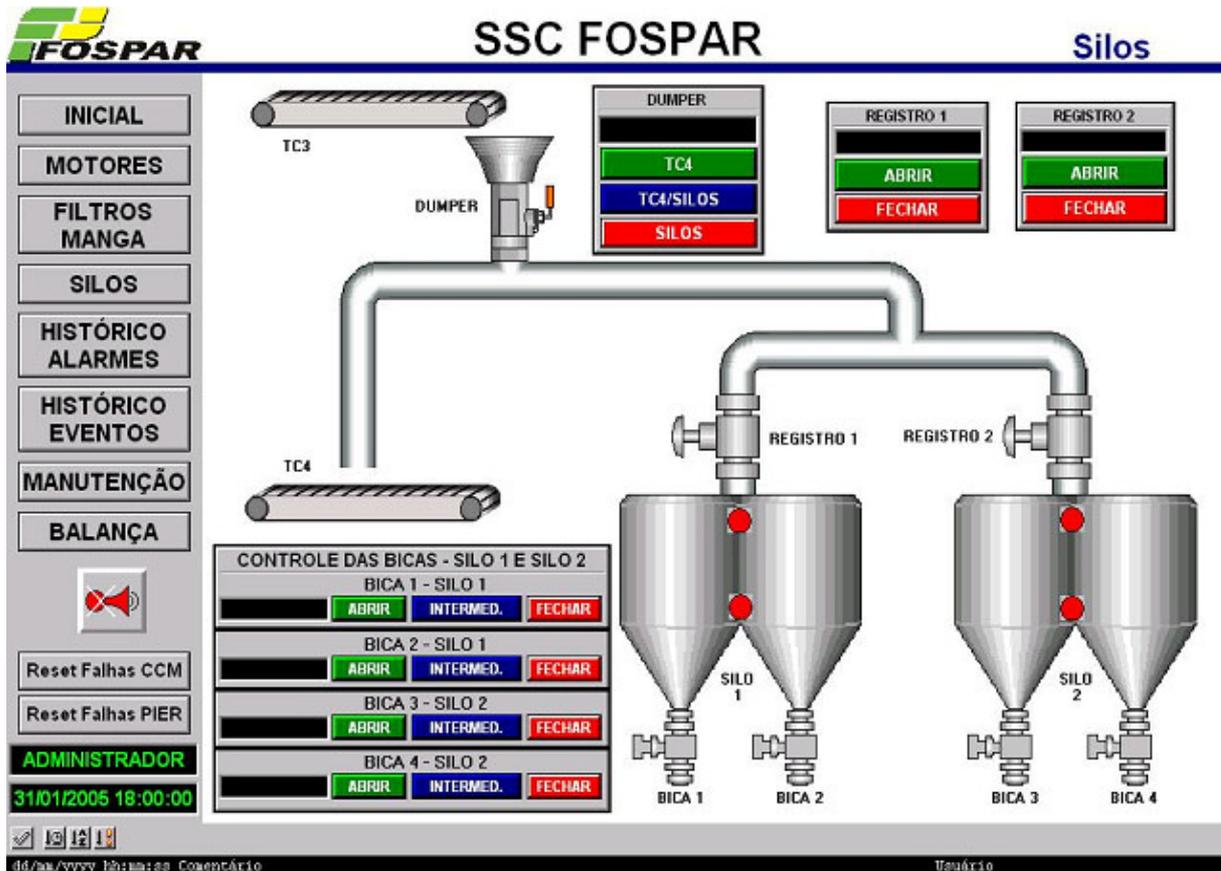


Figura 11 - Tela principal do supervisor de um silo da FOSPAR.
Fonte: Roque Correia (2011).

O objetivo principal de qualquer sistema SCADA é fazer com que a interface do computador fique o mais fiel possível à instalação do processo, de tal forma que o operador ou usuário não necessite ir até o local de instalação da planta para acompanhar o processo, basta simplesmente que ele monitore o andamento do processo através do computador. O operador pode interagir com o processo de produção alterando dados, parar ou dar andamento ao processo, ter acesso ao histórico, verificar variáveis importantes, imprimir relatórios, etc.

2.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

Os controladores lógicos programáveis são equipamentos eletrônicos baseados em microcomputadores, dedicados a comandar máquinas ou processos,

analisando sinais de entrada como: botoeiras, chaves e sensores diversos e fornecendo sinais de saída, atendendo a funções de seqüenciamento e intertravamento elétricos, bem como comparação, contagem, temporização e controle PID, conforme programa específico armazenado em memória interna (MARTINS, 2012).

O controlador lógico-programável surgiu na Hydronic Division, divisão da General Motors, no ano de 1968 como uma solução para substituir os antigos painéis com relés, os quais não compensavam fazer modificações e obrigava aos usuários a refazer o projeto, no caso de manutenção, ou adquirir painéis novos. Um ponto positivo para os CLPs é que eles foram desenvolvidos de forma que pudesse executar uma determinada lógica de controle que permitisse modificações via software sem mudanças no hardware, portanto permite economia de tempo e de dinheiro para os usuários (STOPPA, 2013).

Os CLPs possuem grande capacidade para executar algoritmos de controle complexo e conectividade em rede. E ficou ainda melhor nos anos 80 com o surgimento dos microcontroladores e com o barateamento de componentes de hardware, os CLPs se tornaram mais baratos e populares nas indústrias (ROBOTICA SIMPLES, 2013).

A arquitetura do CLP é composta pelos seguintes componentes: fonte, CPU e módulos de entrada e saída (*Input/Output*). A fonte é encarregada de fornecer todos os níveis de tensão para a alimentação da CPU e dos circuitos I/O, além de proteger o sistema contra tensões perigosas. A CPU consiste de um microprocessador, de um contador de programa e de memórias, monitorando os sinais de entrada do programa e os combinando de acordo com as instruções na memória de aplicação, executando todas as operações lógicas, aritméticas e de seqüenciamento para liberar os sinais apropriados para as saídas. É na memória da CPU onde o programa base fica armazenado, através do ícone "*Download*" do *software* STEP 7. O usuário consegue salvar e modificar o programa de controle do processo sem precisar interferir no *hardware*, somente via *software* (STOPPA, 2013).

Os módulos de entrada são os sinais recebidos pelo CLP vindos de dispositivos ou componentes externos, tais como sensores, botões, micro chaves, relés, etc. Tais módulos podem ser analógicos, que trabalha com variáveis

proporcionais (como pressão, temperatura, entre outras), ou digitais, que fornece somente dois tipos de informação (comando liga ou comando desligada).

Os módulos de saída são sinais enviados pelo CLP de maneira a comandar dispositivos ou componentes dentro do sistema de controle, como por exemplo, atuadores pneumáticos, bobinas de relés, válvulas solenóides, motores, lâmpadas, etc. Estes módulos também podem ser analógicos, que intervém nas variáveis proporcionais dos mecanismos (velocidade de rotação, por exemplo), ou digitais, que comandam elementos que assumem dois estados apenas, acionado ou desligado.

O CLP empregado neste projeto é um modelo Siemens S7-200 (figura 12) contendo oito entradas e oito saídas. Sua função foi realizar todas as atividades de controle de todo o sistema, coletando informações dos sensores, processando as informações pertinentes através do programa salvo em sua memória, e atuando nas saídas, acionando os motores.



Figura 12 - CLP S7-200
Fonte: Siemens (2012).

3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A parte mecânica da máquina foi produzida por outra equipe de alunos da universidade como trabalho final de conclusão de curso (figura 13), nos baseamos neste projeto mecânico para fazermos a programação do *software* e o sistema supervisor de controle da máquina. Esta máquina possui um sistema que pode alterar a distância entre as serras, bem como criar sulcos longitudinais de referência paralelos à tangente da casca. Pretende-se com estes sulcos referenciar os próximos processos de corte, de modo a possibilitar um melhor aproveitamento do colmo variando: a largura das ripas, a espessura e posição de corte próxima da casca, em função de parâmetros prévios.

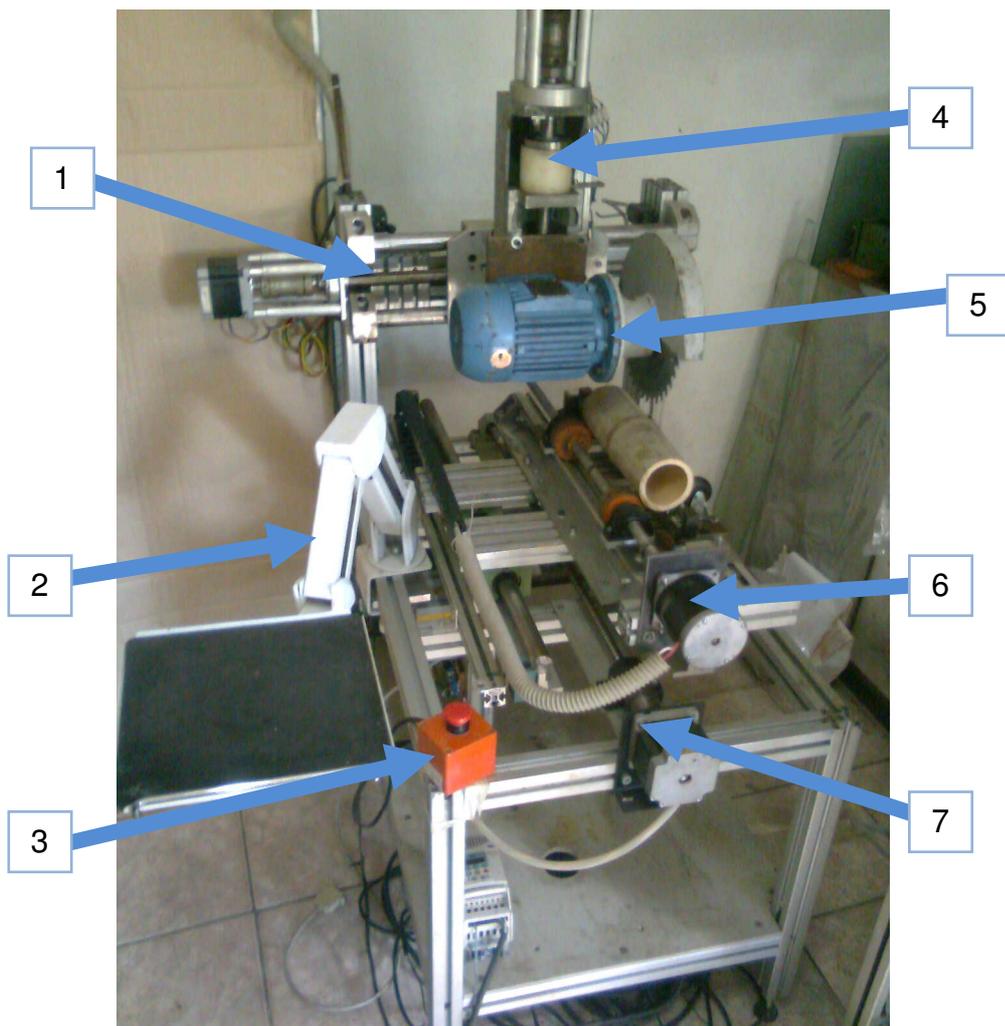


Figura 13 - Projeto mecânico da máquina completa
Fonte: Oshima e Silva (2012).

Abaixo segue as descrições da máquina a ser elaborado o controle, conforme figura 13:

1. Movimentação do eixo X, com utilização de fuso de esferas e motor de passo;
2. Suporte previsto para o apoio do computador que pode realizar o controle de movimentos dos motores de forma semi-automática;
3. Botão de emergência para a parada da máquina;
4. Movimentação do eixo Z, com utilização de fuso de esferas e motor de passo;
5. Motor com montagem de serra na ponta e capa de proteção;
6. Montagem do quarto eixo sobre a bancada para realização da rotação do bambu;
7. Movimentação do eixo Y, com utilização de fuso de esferas e motor de passo;

Este trabalho foi dividido em etapas conforme descrito a seguir:

Foi realizado um estudo dos princípios de funcionamento da máquina que foi desenvolvida. De acordo com os mecanismos tanto de movimentação das serras como o de variação da profundidade do corte dos sulcos; foi definido o melhor controle e atuadores para acionar os mecanismos.

Com relação à parte de medição foi realizada uma revisão das tecnologias de movimentação para realizar a medição da superfície do colmo, como o sistema foi projetado especialmente para simular a máquina, foi necessário um estudo para o aprimoramento do dispositivo. Com todas as definições tomadas e concluídos os estudos foi elaborado um protótipo para testes e possíveis melhorias do sistema.

Para o projeto do dispositivo utilizamos o *software* CAD Inventor 2010 para modelar algumas peças mecânicas, a modelagem serviu como guia para uma melhor compreensão da prática fazendo uma simulação no computador.

Com os conhecimentos e as idéias adquiridos começamos a programar o *software*, utilizando *software* Elipse e o Step7, e comparamos os resultados das simulações feitas no *software* CAD com a realidade.

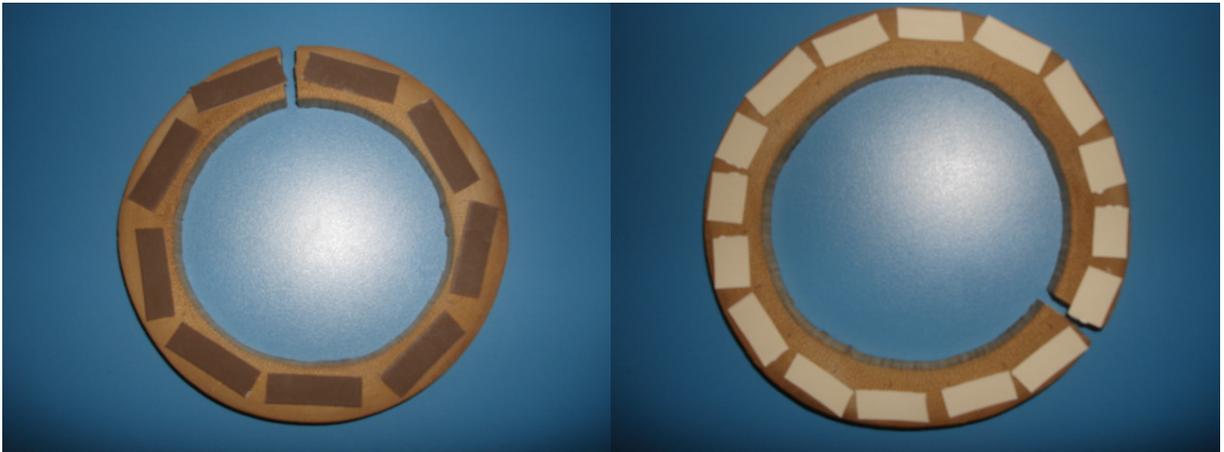
O conjunto é realimentado através de sensores, localizados em posições estratégicas, que captam as mudanças físicas do sistema informando assim o status do mesmo e ativando o atuador.

4 PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO

Neste trabalho será desenvolvido um protótipo de um *software* supervisor que controle uma serra automática para o primeiro corte de colmos de bambu, produzindo taliscas que na sequencia, passando por outros processos, serão transformados em ripas.

4.1 ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DAS RIPAS

Para iniciar o nosso estudo de otimização das ripas, primeiramente foi simulado várias possíveis larguras das ripas. Assim realizado um teste básico com pouca precisão, mas contribuiu para termos idéia de valores para começarmos a programar o *software*. O experimento consiste basicamente em organizar os elementos manualmente em cima de uma secção transversal do colmo do bambu, com diâmetro externo 145 mm, (fotografia 1). Observação: como padrão se definiu a espessura em 10 mm para todas as larguras.



Fotografia 1 - Organização manual do layout de corte sob o pedaço de bambu
Fonte: Autoria própria.

Segue abaixo a primeira tabela (tabela 01) do nosso estudo, informando a quantidade de ripas possíveis conforme a largura das ripas em um pedaço de bambu com diâmetro externo de 145 mm.

Tabela 1 – Relação entre largura e quantidade de ripas

LARGURA	QUANTIDADE
15	18
20	14
25	12
30	10
35	08

Fonte: Autoria própria.

Depois utilizamos o *software* Inventor Professional 2010 para auxiliar em novo estudo de otimização das ripas. Para termos a largura ideal definimos a espessura da serra de corte com 1,5mm, conforme especificado pelo projeto mecânico. Essa variável foi definida como sendo o único desperdício do processo. Tendo como base o desperdício foram estimados valores de largura máxima (figura 14). Os conjuntos destes valores integram um banco de dados (tabela 02) para que o sistema supervisor o consulte no cálculo de otimização das ripas quando solicitado.

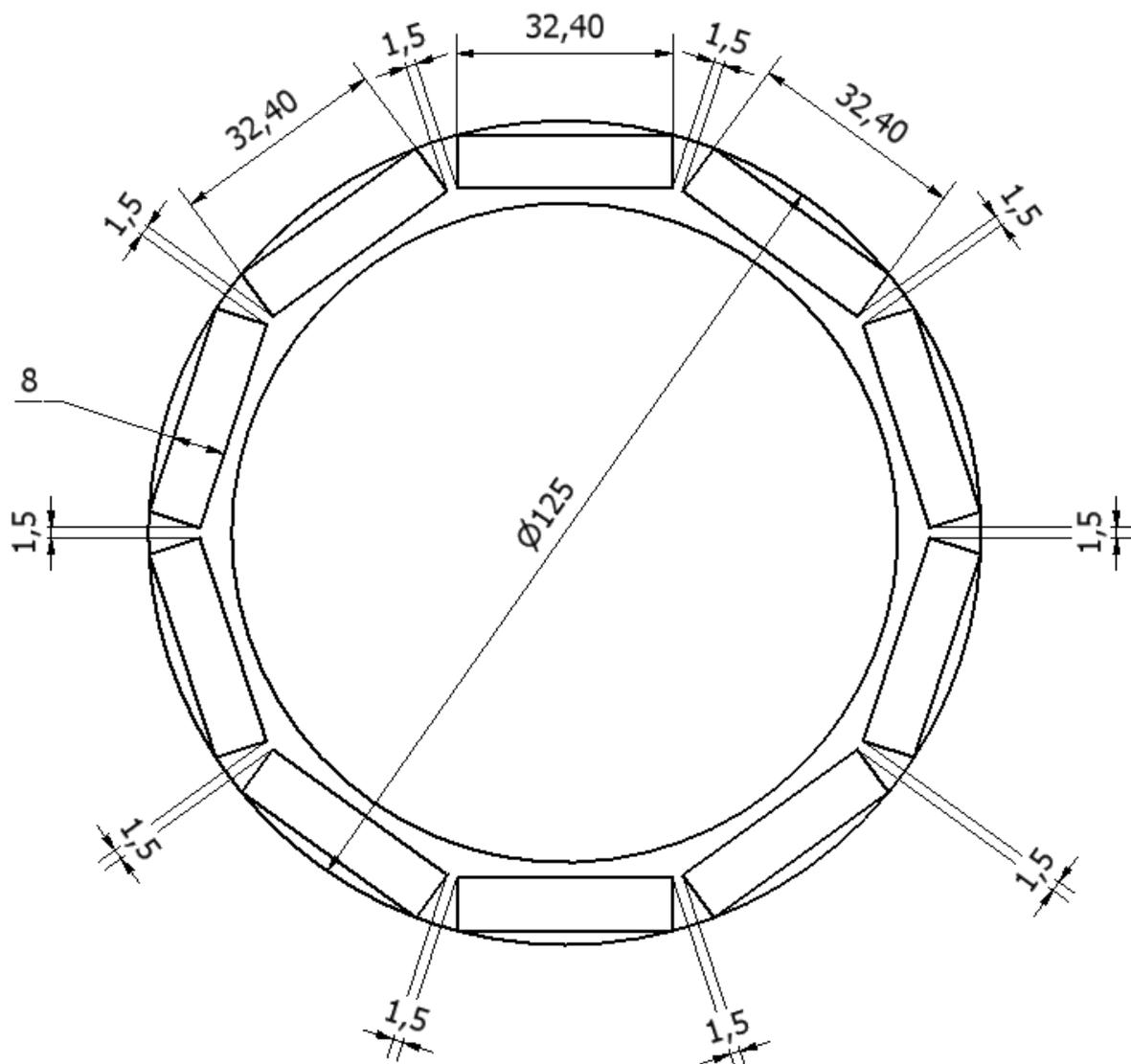


Figura 14 - Imagem do software Inventor o qual auxiliou no estudo
Fonte: Autoria própria.

Segue abaixo a segunda tabela do nosso estudo, com valores de diâmetro externo fixo, variamos a quantidade de ripas para achar a largura máxima otimizada com o mínimo de desperdício.

Tabela 2 – Banco de dados do software para as larguras otimizadas.

Ø ext.	Nº ripas	Largura	Ganho
110	16	16,9	270,4
110	15	18,1	271,5
110	14	19,5	273,0
110	13	21,1	274,3
110	12	22,9	274,8
110	11	25,1	276,1
110	10	27,8	278,0

Ø ext.	Nº ripas	Largura	Ganho
115	16	17,9	286,4
115	15	19,1	286,5
115	14	20,6	288,4
115	13	22,3	289,9
115	12	24,2	290,4
115	11	26,5	291,5
115	10	29,3	293,0

Ø ext.	Nº ripas	Largura	Ganho
120	16	18,8	300,8
120	15	20,2	303,0
120	14	21,7	303,8
120	13	23,5	305,5
120	12	25,5	306,0
120	11	28,0	308,0
120	10	30,9	309,0

Ø ext.	Nº ripas	Largura	Ganho
125	16	19,8	316,8
125	15	21,2	318,0
125	14	22,8	319,2
125	13	24,7	321,1
125	12	26,8	321,6
125	11	29,4	323,4
125	10	32,4	324,0

Ø ext.	Nº ripas	Largura	Ganho
130	16	20,8	332,8
130	15	22,2	333,0
130	14	23,9	334,6
130	13	25,9	336,7
130	12	28,1	337,2
130	11	30,8	338,8
130	10	33,9	339,0

Fonte: Autoria própria.

4.2 ESTUDO DA TRAJETÓRIA DE CORTE

Para o processo de laminação e serramento dos colmos ao se fazer uma comparação do aproveitamento das fibras e rendimento conclui-se que em todos os sistemas laminadores experimentados a maior parte das laminas foi obtida das partes mais exteriores do colmo (SALAMON, 2009); Foi elaborado um *software* em que se baseia na coleta de dados obtida através da leitura da variação longitudinal da superfície externa do colmo (figura 04). O sistema de controle armazena algumas coordenadas ao longo do colmo. Com esses pontos o CLP executa o cálculo e gera uma equação do segundo grau, parábola. Desta forma geramos a linha tangente em que se baseará o corte orientador da serra. A mesma irá variar a profundidade do corte, ao longo do percurso, de acordo com a equação calculada.

Armazenando no mínimo três pontos o *software* calcula as constantes a, b e c da equação genérica do 2º grau ($f(x) = -a.x^2 + b.x + c$). Tendo a equação o *software* irá incrementar o valor de x (percurso do colmo), começando no valor 0 (zero), no passo de um milímetro e irá calcular valor corresponde em y (altura do corte). Utilizamos o *software* Microsoft Office Excel para fazer os estudos da linha tangente (figura 14). Nós criamos uma equação genérica e comparamos se o *software* faria a parábola fidedigna conforme o gráfico abaixo (Figura 15).

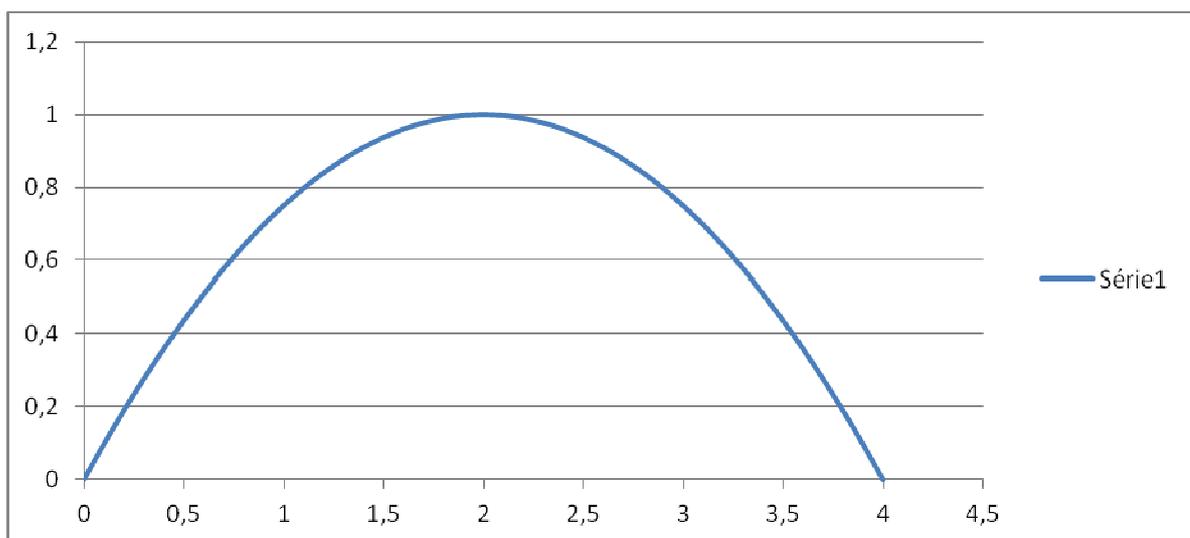


Figura 15 - Equação genérica para estudo: $f(x) = -0,25x^2 + x$
Fonte: Autoria própria.

4.3 DESCRIÇÃO DETALHADA DE CADA ETAPA DO PROGRAMA

Utilizamos a linguagem *Grafcet*, pois ela nos auxiliou para quando fossemos fazer o programa na linguagem *Ladder*. Abaixo segue a lista das nomenclaturas utilizadas para facilitar o entendimento do programa.

S1 – Posição inicial do eixo Y

S2 – Posição final do eixo Y

S3 – Posição final do eixo Z

S4 – Posição inicial do eixo Z

S5 – Posição central do transdutor acoplado no eixo X em relação ao eixo Y

S6 – Transdutor linear

S7 – Posição central da serra acoplada no eixo X em relação ao eixo Y

M1 – Motor acionamento da serra

M2 – Motor do eixo Z

M3 – Motor do eixo Y

M4 – Motor de rotação do colmo

M5 – Motor do eixo X

Inicia-se o programa após o *start* vindo do Supervisório. Para garantir a posição inicial, todos os sensores de posicionamento de repouso dos motores deverão estar acionados. Referencia o sistema de medição até a posição central em relação ao colmo para iniciar a medição. Com o conjunto centralizado e posicionado para medir ocorre o deslocamento do colmo e realiza a coleta de dados.

Depois de feito a coleta de dados o conjunto de medição e o colmo retornam a seus respectivos pontos de origem. Referencia-se novamente o conjunto posicionado no centro do colmo, será deslocado o sistema cinco milímetros para

realizar o primeiro corte de orientação (figura 03). Com o conjunto posicionado é realizado o corte do sulco orientador variando a altura da serra de acordo com os dados coletados previamente. Depois de feito o corte o colmo retorna ao seu ponto de origem. Como o conjunto está posicionado no primeiro corte de orientação é feito o deslocamento do sistema dez milímetros para o sentido oposto do primeiro deslocamento, para realizar o segundo corte de orientação e realiza todo o processo de corte novamente.

Depois de feito a coleta de dados o conjunto de medição e o colmo retornam a seus respectivos pontos de origem. Com a largura definida pelo supervisor e o conjunto posicionado no centro do colmo, será deslocado o sistema de corte a metade da largura. Com a altura da serra fixa se inicia o corte, finalizado o primeiro corte os sistemas retornam ao ponto de origem. Depois de realizado o corte reposiciona a serra para efetuar o segundo corte deslocando o valor da largura.

Posteriormente ao corte todos os conjuntos serão deslocados as suas respectivas posições de origem, assim finalizando um corte de uma ripa. O sistema atualiza o número de ripas finalizadas, se o número de ripas cortadas for menor que o valor previamente definido pelo operador via *software*, rotaciona-se o colmo de acordo com ângulo calculado e se inicia um novo ciclo de corte, retornando ao início do programa. Se o número de ripas cortadas for igual ao valor previamente decidido pelo usuário encerra o processo de corte das ripas.

4.4 ILUSTRAÇÃO E EXPLICAÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO

Para realizar o controle e supervisão do processo foi utilizado o *software* Elipse Scada. Dividimos o programa em três telas, conforme segue explicações e ilustrações abaixo:

Na tela principal (figura 16), serão inseridos pelo operador os parâmetros coletados a partir da medição feita manualmente do colmo do bambu. E também os valores de largura (em mm) e quantidade ripas pretendidas. Segue abaixo a descrições de cada item constituinte da tela:

1. Imagem ilustrativa da seção transversal do colmo do bambu com geometria regular;
2. Mensagem orientativa para o operador se basear quais serão os campos a serem preenchidos e como dar andamento ao processo;
3. Diâmetro externo da menor parte do colmo. Valores entre 110 a 130mm. Para início dos estudos foram usados valores com passo de 5 mm (campo a ser preenchido pelo operador);
4. Quantidade de ripas desejada pelo operador de 10 a 16 ripas. (campo a ser preenchido pelo operador);
5. Largura das ripas desejada pelo operador. (campo a ser preenchido pelo operador);
6. Botão “PRÓXIMA ETAPA” faz a troca de tela e a sequencia do processo.

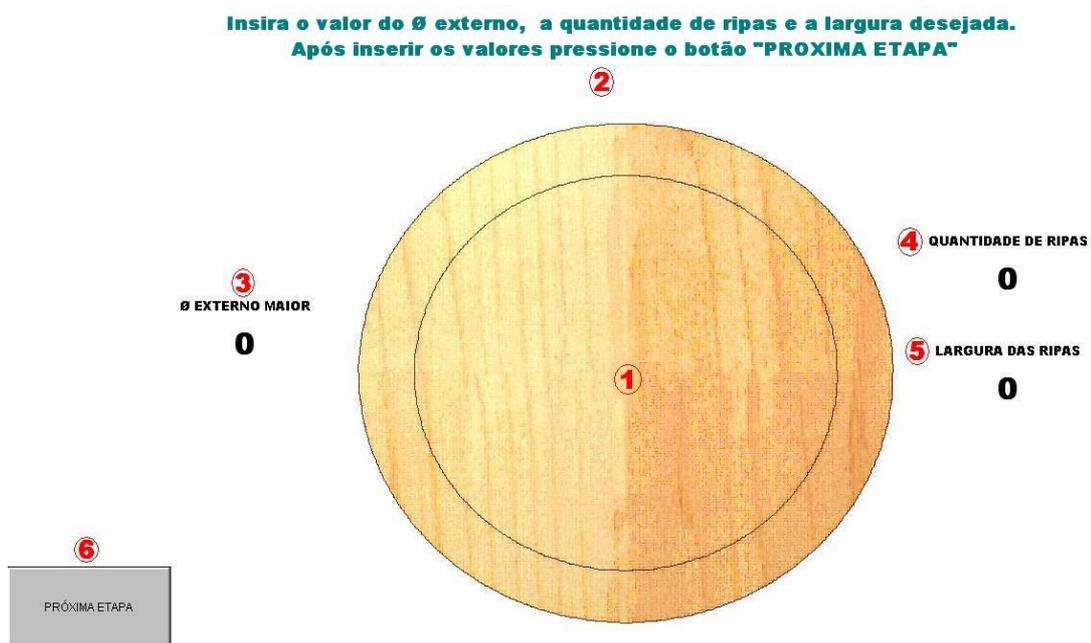


Figura 16 - Tela principal do Sistema Supervisório
Fonte: Autoria própria.

Na tela de seleção de quantidade de ripas (figura 17), o operador tem a opção de visualizar, escolher e definir a largura e a quantidade de ripas de acordo com a

sua necessidade, respeitando os valores de máxima otimização para cada quantidade de ripas. Segue abaixo a descrições de cada item constituinte da tela:

1. Imagem ilustrativa da seção transversal do colmo do bambu, indicando o diâmetro externo e a quantidade ripas escolhidos na etapa anterior;
2. Mensagem orientativa para o operador se basear quais serão os campos a serem preenchidos e como dar andamento ao processo;
3. Barra de seleção de quantidade de ripas. Sendo útil para o operador fazer a visualização do layout de corte e verificar qual a melhor quantidade de ripas em relação ao diâmetro externo escolhido de maneira rápida e ágil;
4. Quantidade de ripas escolhidas na etapa anterior;
5. Largura das ripas optadas na etapa anterior;
6. Quantidade de ripas selecionadas pelo operador;
7. Indica o valor máximo coletado do banco de dados conforme parâmetros escolhidos pelo operador anteriormente;
8. Botão do início do programa de medição e corte.

2 **Selecione a quantidade de ripas no seletor abaixo, verifique a largura mais adequada e pressione o botão "PRÓXIMA ETAPA".**

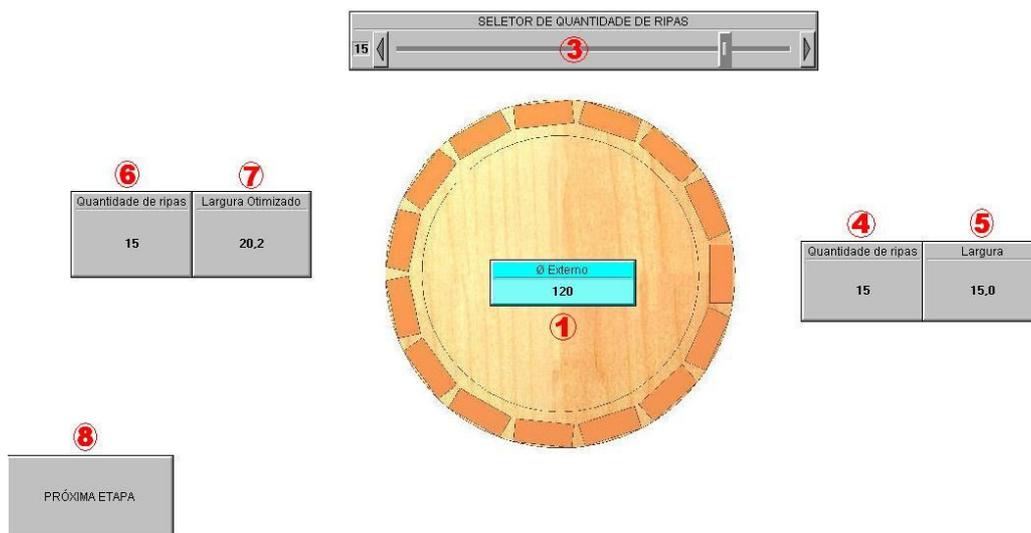


Figura 17 – Tela seleção de quantidade de ripas do Supervisorio
Fonte: Autoria própria.

Na tela de medição (figura 18), será feito a leitura da variação longitudinal do colmo do bambu. Com estes dados, coletados, serão enviados para um histórico e armazenados. Assim o programa do CLP coleta alguns pontos para gerar uma equação de segundo grau, e que se baseara o corte orientativo do riscador. Este corte do riscador servirá de base para o próximo processo de fabricação. Segue abaixo a descrições de cada item constituinte da tela:

1. Gráfico representa a variação de altura em toda a sua extensão. Eixo "X" representa a dimensão do colmo (tamanho máximo do colmo estipulado em 400 mm) e eixo "Y" representa a variação da altura;
2. Imagem ilustrativa representa a extensão do colmo e a sua variação no eixo "X" indicando a posição atual de medição a cada 10 mm;

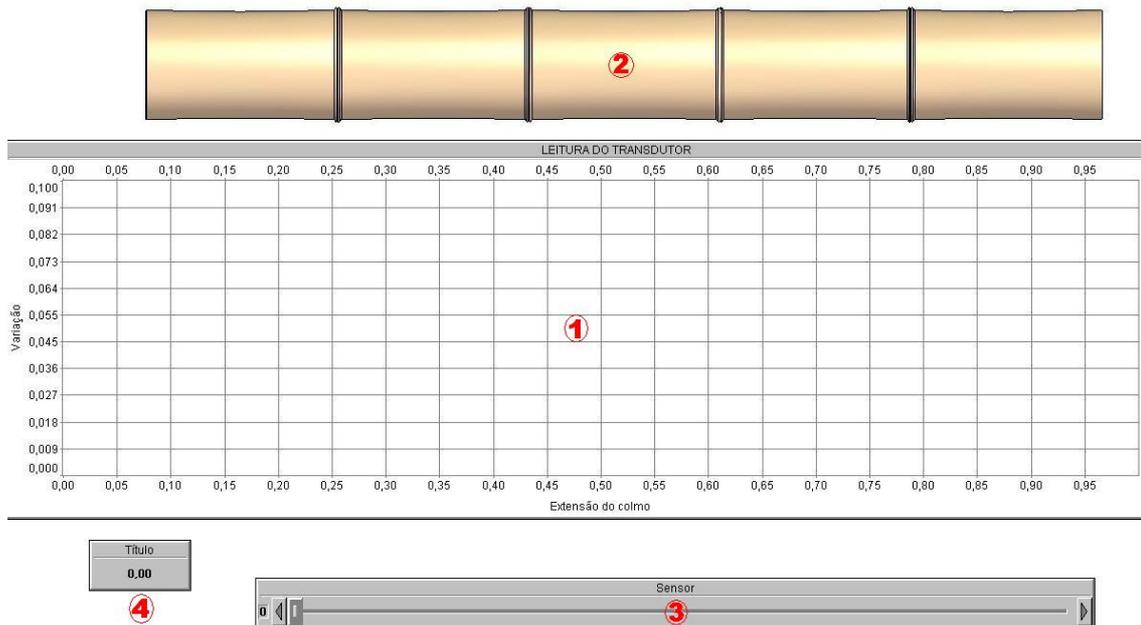


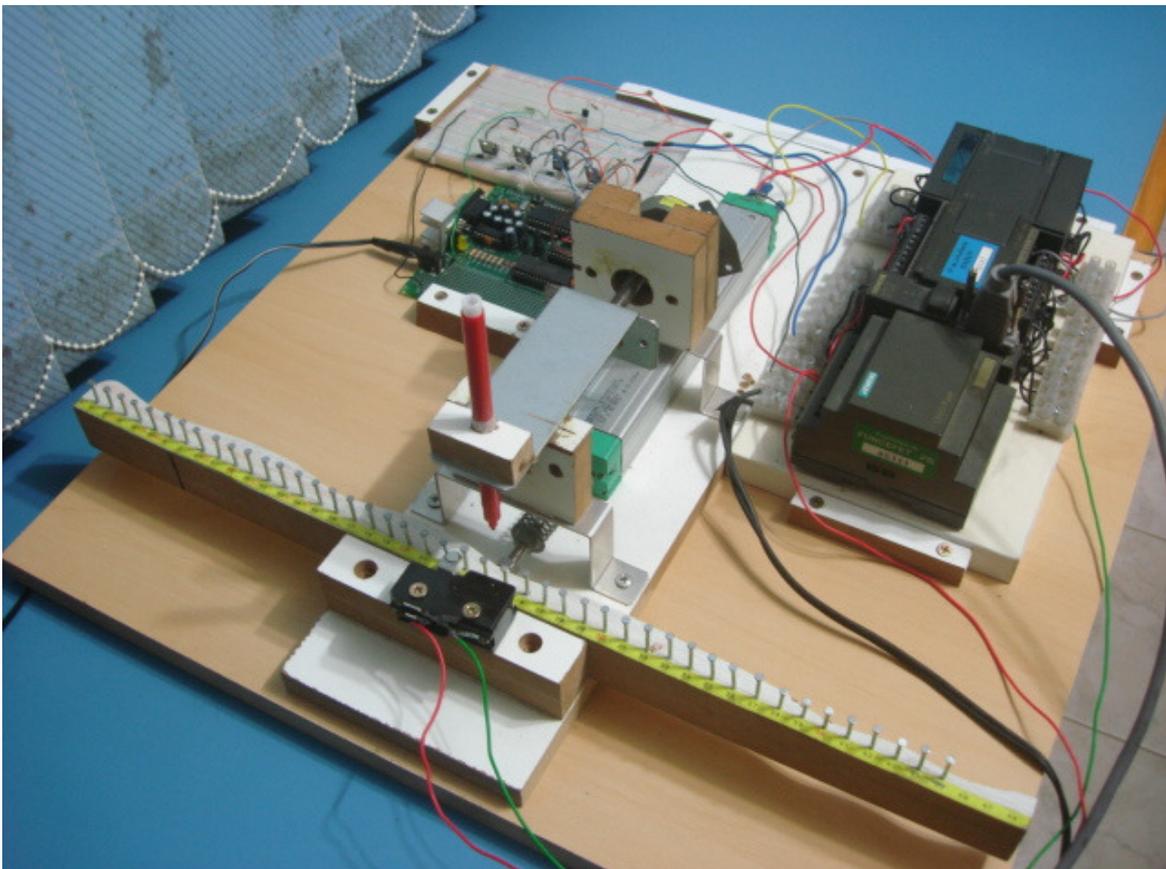
Figura 18 - Tela de medição do Sistema Supervisório
Fonte: Autoria própria.

5 SOFTWARE DE ESTUDO

O projeto mecânico como um todo está sofrendo novas alterações, por isso não foi possível integrar os dois trabalhos. A primeira mudança, devido à falta de segurança da serra, está sendo desenvolvido um novo dispositivo de segurança para proteger o operador da serra, a segunda mudança é a criação de mais dois novos eixos de movimentação.

Visto que não teríamos o projeto mecânico completo e disponível para realizarmos a integração e os testes do *software*, criamos um protótipo genérico cuja finalidade é realizar os testes e fundamentar os objetivos específicos esperados do projeto. Foi mais eficiente desenvolver este protótipo de estudo a esperar a máquina completa estar concluída e assim fazer a integração dos dois trabalhos.

Para simular somente as etapas que contemplam a operação de corte do bambu elaboramos o protótipo abaixo (fotografia 2).

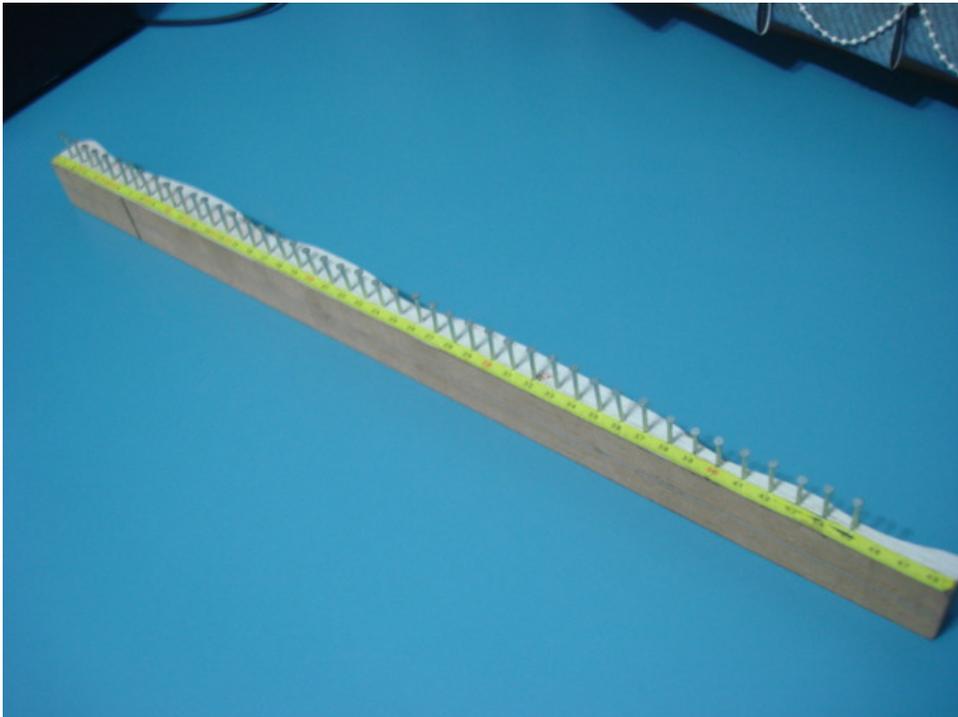


Fotografia 2 - Protótipo genérico para comprovar o software
Fonte: Autoria própria.

Posiciona-se a ripa em seu ponto de referência, faz-se a movimentação manual da mesma iniciando a coleta de dados da inconstância da superfície da ripa. O controle recebe os dados enviados que servem de base para os cálculos matemáticos que serão utilizados para definir a trajetória do corte. Após definida essa trajetória se reposiciona a ripa novamente no ponto original e se inicia a simulação do corte seguindo a trajetória previamente definida. Para facilitar a visualização de como seria a trajetória do corte do bambu é usada uma caneta para fazer a impressão na ripa.

5.1 RIPA

Criamos um colmo genérico com o tamanho de 400 mm, feito de madeira (fotografia 3), para fazer a simulação da inconstância do colmo bambu o qual deverá fazer a leitura da variação e mostrar no software supervisor. Inserimos algumas marcações ao longo da ripa, a um passo de 10 mm, as quais são pontos que o controle armazena em sua memória. Esses valores são coordenadas de cada posição, ou seja, um valor no eixo "X" corresponde a um valor no eixo "Y".



Fotografia 3 - O colmo genérico feito de madeira
Fonte: Autoria própria.

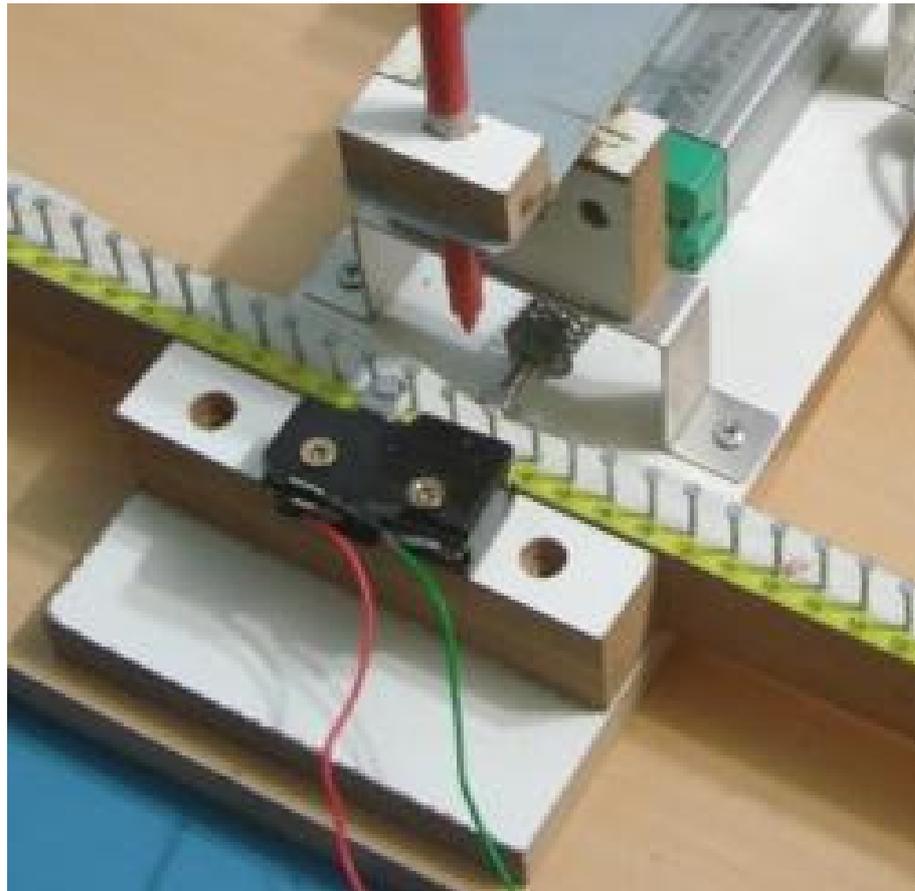
5.2 ESTRUTURA DE LEITURA

O colmo genérico é movimentado manualmente a partir do ponto inicial de referência até o percurso final de 400 mm. Durante esta movimentação o transdutor faz a leitura da diferença de altura (eixo “Y”) da superfície da ripa.

Inserimos uma mola para que o eixo do atuador linear exerça uma força maior contra a ripa obtendo assim uma maior precisão na captura dos valores.

Para obter a coleta de dados em relação a um mesmo referencial ao longo do deslocamento foi colocado um anteparo a fim de garantir esta linearidade.

Segue abaixo uma imagem para demonstrar a estrutura de leitura e seu funcionamento (fotografia 4).



Fotografia 4- Estrutura de leitura
Fonte: Autoria própria.

5.3 SOFTWARE DE CONTROLE

Fizemos um programa em *Ladder* no CLP Siemens S7-200 (fotografia 5) cujo principal objetivo é receber os dados da altura X comprimento da ripa coletados pelo transdutor.



Fotografia 5 - CLP Siemens do laboratório da UTFPR
Fonte: Autoria própria.

Com a ripa na posição inicial o CLP armazena qual a altura (eixo “Y”) corresponde a posição atual do colmo (eixo “X”). Os valores das coordenadas iniciais X e Y são guardadas na memória do CLP, denominado: “Ponto Inicial”. A cada nova medição, passo 10 mm, é comparado com o valor anterior, caso a altura seja menor o CLP armazena em outra variável de memória, chamado: “Ponto Mínimo”. Ao término do curso da ripa o CLP registra o último valor coletado, nomeado: “Ponto Final”. Com estes três pontos registrados o programa calcula a equação da parábola ($f(x) = -a.x^2+b.x+c$) no qual se baseará a trajetória da serra de corte, obtendo-se linha tangente.

Com a ripa novamente na posição inicial e com a equação da linha tangente definida, o controle referencia a serra na altura (eixo “Y”) conforme a posição atual do colmo (eixo “X”). Movimenta-se a ripa até o próximo ponto, coleta-se o valor de “X” e calcula o valor de “Y”. Diminuindo o valor de “Y” atual do anterior, obtêm-se a

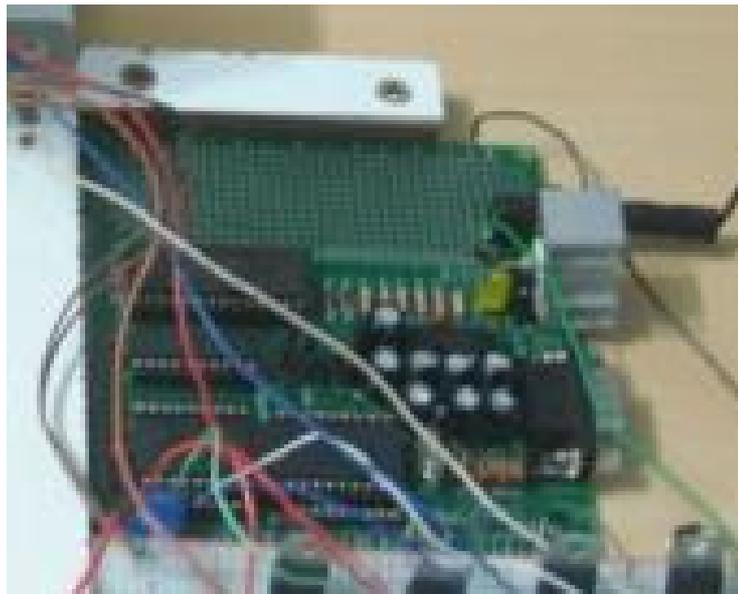
altura a ser corrigida pelo sistema. Esse processo será repetido a cada ponto (10 mm) até o termino do curso da ripa.

Para concepção do programa foi elaborada um Grafcet para nos auxiliar a estrutura do programa em *Ladder*. Segue abaixo um fluxograma do funcionamento do software de controle:

5.4 DRIVE DE CONTROLE

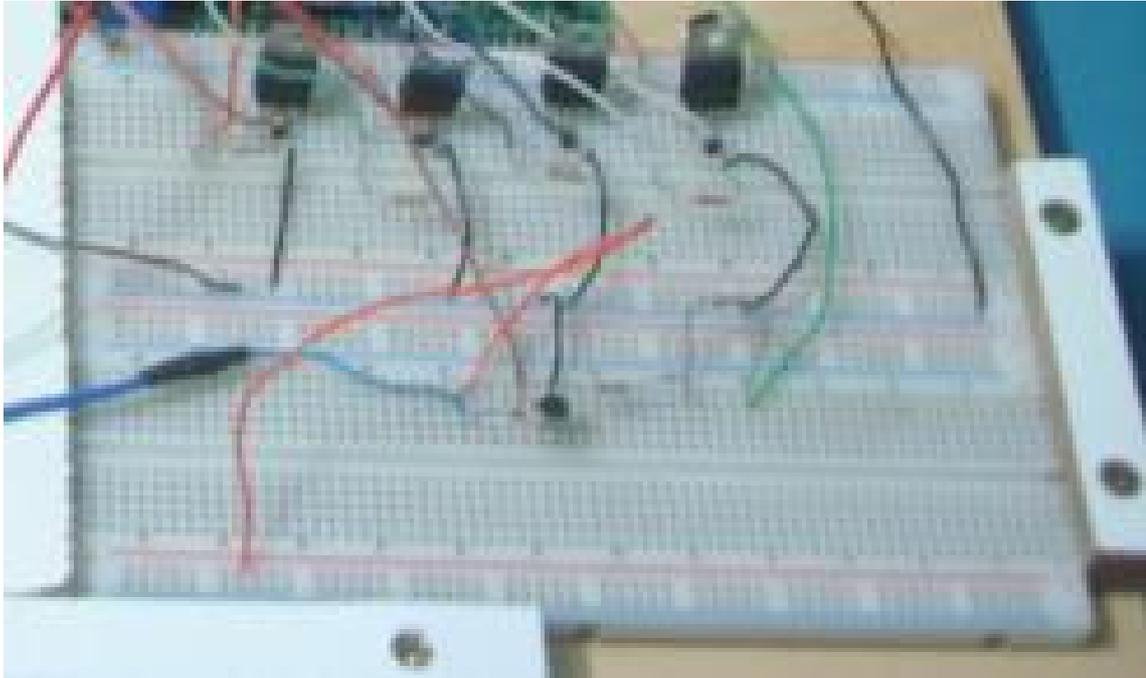
Para fazer a correção da altura utilizamos um motor de passo 6 fios para deslocamento do eixo. Para comunicação entre CLP e motor de passo foi desenvolvido um drive de controle utilizando um microcontrolador 8051 e alguns componentes eletrônicos (fotografia 6).

Da saída “Q0.1” do CLP é enviado um sinal contínuo de 24Vcc para o primeiro circuito eletrônico, este composto de um transistor BC548 que a realiza o chaveamento e aciona a entrada P3.2 do microcontrolador enquanto a saída Q0.1 estiver ativa.



Fotografia 6 - Microcontrolador 8051
Fonte: Aatoria própria.

Com um programa salvo na memória do microcontrolador ele faz a sincronização de acionamento das bobinas do motor de passo através do segundo circuito eletrônico (fotografia 7). O segundo circuito composto de 4 (quatro) *transistor* TIP122 que realiza o chaveamento na sequencia determinada pelo microcontrolador.



Fotografia 7 - Circuitos eletrônicos montados em um protoboard
Fonte: Autoria própria.

A sequencia correta para acionamento do motor de passo sincronizado é:

Sentido Horário

1. Laranja
2. Vermelho
3. Azul
4. Branco

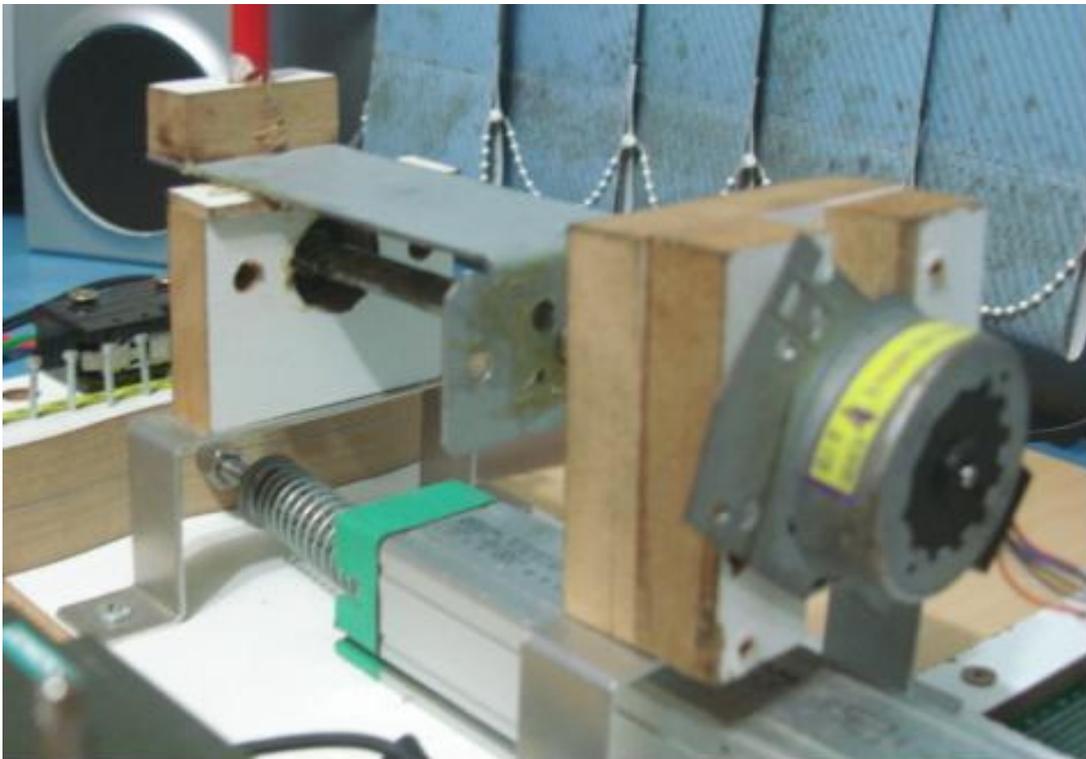
Sentido Anti-horário

1. Laranja
2. Branco
3. Azul
4. Vermelho

Observação: os dois fios marrons do motor devem ser ligado na alimentação positiva 24Vcc (comum) e todos os fios de alimentação negativa (terra) devem estar obrigatoriamente ligados juntos.

5.5 ESTRUTURA DE CORREÇÃO

Como dito anteriormente a correção é feita através do motor de passo que faz o deslocamento do eixo “Y”, no caso a transmissão é feita por uma barra roscada M8 passo 1,25mm (fotografia 8). A correção da altura de corte da serra, ou seja, o eixo “Y” é dependente da sequencia de acionamento enviado pelo microcontrolador para o motor de passo, se for sentido horário diminui a altura, caso contrário, sentido anti-horário aumenta a altura.



Fotografia 8 - Estrutura de correção
Fonte: Autoria própria.

Utilizamos uma caneta para tornar visível a secção da linha de corte que seria realizada pela serra. Ela faz a marcação da linha tangente ao longo da ripa a cada ponto corrigido, portanto, logo após fazer os cálculos de correção o sistema atua e faz essa marcação visível. Ao término de todo o curso da ripa já será possível visualizar a linha tangente impressa na ripa.

5.6 SISTEMA SUPERVISÓRIO

A função do sistema supervisório é ter uma planta virtual no computador fidedigno ao processo real completo. Para supervisão de todo o processo utilizamos o *software* Elipse Scada o qual é compatível com CLP Siemens.

Conforme as informações são enviadas para o CLP o mesmo atualiza essas informações com o sistema supervisório, desta forma temos um processo dinâmico, ou seja, ao mesmo tempo em que ocorre algo no projeto real o supervisório também é atualizado. Um ponto fundamental e positivo para a utilização deste meio de comunicação é que o operador não necessita estar perto do projeto a ser controlado, ele pode visualizar o processo através da tela do computador.

Como vimos anteriormente utilizamos o *software* de supervisão para entrada dos dados dimensionais do bambu. E também usamos para fazer a partida do programa de leitura do colmo de bambu, após o termino desta etapa, o usuário utiliza o mesmo sistema supervisório para dar inicio ao programa de corte.

Essa troca de informações entre CLP e sistema supervisório é feita através do cabo fornecido pelo fabricante Siemens, sendo necessário somente à configuração da porta de entrada no computador (figura 19).

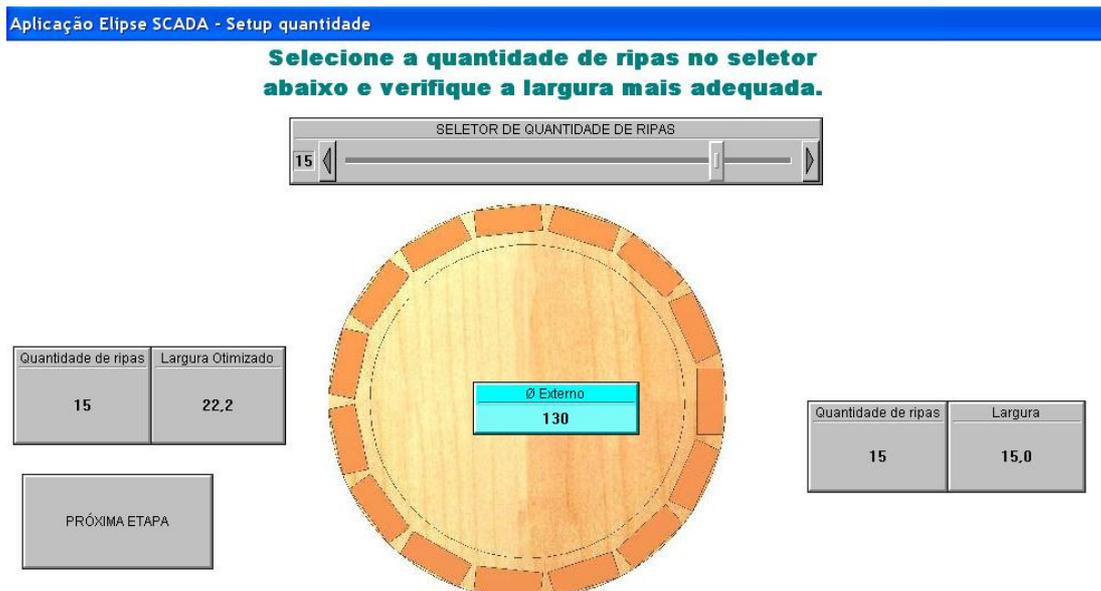


Figura 19 - Sistema supervisório
Fonte: Autoria própria.

Segue abaixo o protótipo de estudo em funcionamento com o sistema supervisor (fotografia 9).



Fotografia 9 - Protótipo de estudo completo
Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho era realizar a integração do *software* de controle com ao projeto mecânico, e fazer funcionar a máquina completa em sincronia. Entretanto devido à máquina ter sido utilizada para outro fim, a partir disso tomamos a iniciativa de desenvolver um protótipo para realizar o estudo aprimorado da melhor trajetória de corte do bambu.

Devido às limitações do protótipo de estudo a parte de otimização da largura e de quantidades de ripas por secção do colmo foi deixada em segundo plano para que um futuro estudo seja mais bem elaborado, porém foi concluído que este sistema poderá em uma máquina, atingir os objetivos apontados durante o trabalho tais como melhorar o aproveitamento da matéria prima e facilitar o ajuste de processo de máquina.

O protótipo supriu bem a falta da máquina completa, pois com ele tivemos uma boa concepção de como será realizado o processo do corte de referência da linha tangente. Com este mecanismo conseguimos simular e comparar o que havíamos planejado no início dos nossos estudos.

Depois de realizado esse estudo, ficamos satisfeitos, pois foi dado o primeiro passo para o aprimoramento deste processo de corte da matéria prima. Este projeto é o principio para o desenvolvimento de um novo método do processo de automatização de corte de bambu em ripas. O trabalho pode e deve ser melhorado para que o processo de corte seja ainda mais eficaz.

Durante todo o período de análise e desenvolvimento deste trabalho conseguimos enriquecer nossos conhecimentos: da matéria prima e seus processos de manufatura; dos *softwares* de controle e supervisão; e também para fixar conceitos eletromecânicos vistos durante o curso.

No começo do projeto achávamos que não teríamos grande dificuldades para implementar o programa, chegamos a fazer um cronograma de oito meses para estar tudo concluído, mas à medida que íamos implementando o programa, fomos percebendo as dificuldades do *software* e do *hardware*. A cada passo evoluído no programa na verdade são dois passos dados, pois temos que fazer o CLP se

comunicar com o Sistema Supervisório e vice-versa, à medida que era sanado algum erro do *software* ou *hardware* nós fazíamos a simulação para ver se o outro não apresentou erro. Quando se altera algum parâmetro no programa existe há possibilidade de surgir algum erro devido o intertravamento entre os mesmos, ou seja, uma complexidade a qual nós só tivemos discernimento na prática.

Chegamos a uma conclusão muito importante que o CLP não é um bom *hardware* de controle para essa aplicação. Pois para programar o *hardware* é necessário fazer o intertravamento das etapas, o que dificultou a movimentação simultânea dos motores. A melhor solução neste caso seria utilizar um programa CNC, assim conseguiríamos fazer o acionamento dos eixos simultaneamente, tornando o processo mais rápido e mais eficiente.

Devido à dificuldade encontrada no nosso protótipo de acionar e controlar diretamente o motor de passo e visando a utilização do motor em uma máquina de grande porte uma boa opção para acionamentos seria a utilização de servomotores. Pois irá facilitar o controle direto e aumentar a confiabilidade do sistema.

Para uma maior eficiência na coleta de dados nossa sugestão seria utilizar sensores óticos, ou de melhor precisão, de captura de dados. Com isso tende-se a melhorar o aproveitamento da matéria prima, pois o erro na leitura do dimensional do bambu seria menor.

7 REFERÊNCIAS

AUTOMAÇÕES. Disponível em: <http://automacoes.com/2011/04/sistemas-supervisorios-de-processos_11.html>. Acesso em: 10 nov. 2011.

BAMBOO. Disponível em: <<http://bamboo.ning.com>>. Acesso em: 28 mar. 2011.

BERALDO, A. L.; RIVERO, L. A. **Bambu laminado colado (BLC)**. Floresta e Ambiente. V. 10, n.2, p.36 - 46, ago./dez. 2003.

CASA DA MECATRONICA. Disponível em: <<http://casadamecatronica.blogspot.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

COELHO, M. S.; **Apostila de sistemas supervisórios**: Disciplina sistemas supervisórios moderno. Disponível em: <http://marcelocoelho.net/ARQUIVOS/SAI6X1_SIS/APOSTILA%20SUPERVISORIO%20REV_7_JANEIRO_2012.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2012.

ELIPSE. Disponível em: <<http://kb.elipse.com.br/pt-br/questions/62/O+que+s%C3%A3o+sistemas+supervis%C3%B3rios%3F>>. Acesso em: 12 fev. 2013.

FEUP. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~ee94082/SCADA.htm>>. Acesso em: 12 fev. 2013.

GEFRAN. Disponível em: <[http://www.gefran.com/en/product_categories/38-rectilinear-displacement-transducers\(rc1\)/products/68-It-rectilinear-displacement-transducer#downloads](http://www.gefran.com/en/product_categories/38-rectilinear-displacement-transducers(rc1)/products/68-It-rectilinear-displacement-transducer#downloads)>. Acesso em: 07 abr. 2012.

GHAVAMI, K; MARINHO, A. B. **Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie Guadua angustifolia 2004**. PUC-Rio Departamento de Engenharia Civil.

LEITE, B. H. F. C. et al. **Trabalho de sistemas digitais**. Disponível em: <http://recreio.gta.ufrj.br/grad/01_1/motor/>. Acesso em: 12 fev 2013.

LOBOSCO, O. S.; DIAS, J. L. P. C.; **Seleção e Aplicação de motores Elétricos**; Makron Books - Gajski, Daniel D.; Principles of Digital Designer; Prentice-Hall; 1997 - Taub, Herbert; Circuitos Digitais e Microprocessadores; McGraw-Hill; 1984

MARTINS, G. M.; **Princípios de Automação Industrial**. Disponível em: <http://www.ufsm.br/desp/geomar/automacao/Apostila_032012.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2013.

OSHIMA, B. S. F; SILVA, S. O. **Projeto mecânico e implementação do protótipo de serra paralela para bambu 2011**. UTFPR Departamentos de Eletrônica e Mecânica.

OSTAPIV, F. **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (Phyllostachys pubescens) com foco em pisos. 2007**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – PPGEM, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.

RENGENHARIA. Disponível em: <<http://rengenharia.com.br/?paged=2>>. Acesso em: 13 fev. 2013.

ROBÓTICA SIMPLES. Disponível em: <<http://www.roboticasimples.com/artigos.php?acao=12>>. Acesso em: 12 fev. 2013.

ROQUE E CORREIA. Disponível em: <<http://roquecorreia.com.br/?page=cases/geral/atmf>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

SALAMON, C. **Ensaio para viabilizar a laminação do bambu Dendrocalamus giganteus em operações de torneamento sem centros. 2009**. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

SALAMON, C.; VALE, J. L.; TRINKEL, R.R. **Dispositivo para laminar bambu**. Curitiba, 2007. 83 f. Trabalho de Diplomação - Curso de Eng. Mecânica. UTFPR.

SIEMENS. Disponível em: <<http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-200/Pages/Default.aspx>>. Acesso em: 06 jul. 2012.

STOPPA, M. S.; **Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis**. Disponível em: <http://www.catalao.ufg.br/mat/docentes/stoppa/ap_CLP_2.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2013.

TTNET.NET. Disponível em: <<http://portuguese.ttnet.net/ttnet/gotopr/MN570/999/0/94551303139363338363.htm>>. Acesso em: 06 fev. 2013.

UNESP. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pereira/bambu.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2011.

XINGCUI, D.; **Bamboo research in China**. Hangzhou: China National Research Center of Bamboo - CBRC, 2004.