

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

**Ordenamento de mudas de cana-de-açúcar para
aplicação em plantadoras automáticas**

Autor: **Arsenio Miguel Iznaga Benítez**
Orientador: **Prof. Dr. Oscar Antonio Braunbeck**
FEAGRI / UNICAMP

Curso: Engenharia Agrícola
Área de concentração: Departamento de Máquinas Agrícolas

Baruer
Este exemplar corresponde
redação final da dissertação
Mestrado defendida por Arsenio
Miguel Iznaga Benítez e
valida pela Comissão Jul-
dora em 02 de dezembro
1997. Campinas, 17 de dezembro
de 1997.


Presidente da C

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da
Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título
de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA.

Campinas, 1997
SP - Brasil



861028

NIDADE 30
 CHAMADA:
77 UNICAMP
1250
 Ex.
 OMBO BC/ 32669
 ROC. 395/98
 C ☐ D ☒
 REÇO 121100
 ATA 19/02/98
 CPD

CM-00104928-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Iz5o Iznaga Benítez, Arsenio Miguel
 Ordenamento de mudas de cana-de-açúcar para
 aplicação em plantadoras automáticas. / Arsenio Miguel
 Iznaga Benítez.--Campinas, SP: [s.n.], 1997.

Orientador: Oscar Antonio Braunbeck
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola

1. Cana-de-açúcar - Plantio 2. Plantadeiras
 (Máquinas agrícolas). 3. Agricultura - Mecanização. 4.
 Cana-de-açúcar - Propriedades mecânicas. I. Braunbeck,
 Oscar Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas.
 Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

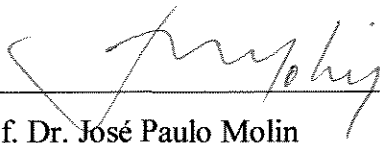
**ORDENAMENTO DE MUDAS DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA
APLICAÇÃO EM PLANTADORAS AUTOMÁTICAS**

Autor: Arsênio Miguel I. Benitez

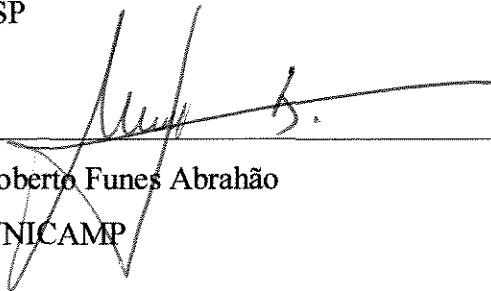
Orientador: Oscar Antonio Braunbeck



Prof. Dr. Oscar Antonio Braunbeck, Presidente
FEAGRI-UNICAMP



Prof. Dr. José Paulo Molin
ESALQ-USP



Prof. Dr. Roberto Funes Abrahão
FEAGRI-UNICAMP

Campinas, 02 de dezembro de 1997

Dedicatória

A mi esposa
Carmen
y nuestros hijos
Joaquín y Elsa

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo apoio financeiro essencial ao desempenho deste trabalho.

Ao Professor Dr. Oscar Antonio Braunbeck pela orientação, amizade e suporte no trabalho de investigação.

Ao Departamento de Máquinas Agrícolas da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, pelo apoio na realização deste trabalho.

À Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Aos funcionários do Laboratório de propriedades mecânicas dos tecidos vegetais, do Laboratório de protótipos do DMAQAG, Laboratório de sementes do DPPPAG pelo apoio material e incondicional colaboração durante a realização dos ensaios.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente tornaram possível a realização deste trabalho.

Os mais sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	i
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE GRÁFICOS	vi
LISTA DE ANEXOS	vii
RESUMO	vii
I - INTRODUÇÃO	1
II - OBJETIVOS	3
2.1 - Objetivos específicos	3
III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 - Mecanismos de classificação e ordenadores	4
3.1.1 - Mecanismos para classificação preliminar	5
3.2 - Tipos de plantadoras	9
3.2.1 - Plantadoras de cana inteira	9
3.2.2 - Plantadoras semi-automáticas	11
3.2.3 - Plantadoras automáticas	13
IV - MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 - Proposição de um equipamento Ordenador-Dosador	18
4.1.1 - Processo de ordenamento	19
4.1.1.1 - Parte superior	20
4.1.1.2 - Parte inferior	22
4.1.1.3 - Avaliação de desempenho e análise do princípio mecânico de ordenamento	25
4.1.1.4 - Danificação das gemas	26
4.1.2 - Fluxo da boca de descarga	27
4.1.2.1 - Modelagem do tolete da cana-de-açúcar	29
4.1.2.2 - Modelagem do escoamento para a determinação das forças que interagem no processo	30

4.1.3 - Processo de dosagem	33
V - MODELOS ESTRUTURAIS DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	35
5.1 - Morfologia do colmo de cana-de-açúcar.....	35
5.2 - Modelo estrutural do colmo submetido a carga radiais	36
5.3 - Condições de vínculo para os ensaios de compressão.....	37
VI - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
6.1 - Modelagem da seção transversal do tolete da cana-de-açúcar	40
6.1.1 - Peso próprio	40
6.1.2 - Ensaios de compressão radial.....	40
6.1.3 – Modelagem do Comportamento Mecânico de Toletes Carregados Radialmente	42
6.1.3 - Validação do modelo	44
6.2 - Modelagem do fenômeno de escoamento	46
6.2.1 - Coeficientes de Atrito.....	46
6.2.1.1 - Resultados	46
6.2.2 - Criação do modelo estrutural de escoamento simples	47
6.2.2.1 - Modelos estruturais com separação de duas mudas....	48
6.2.2.2 - Modelos estruturais com separação de três mudas.....	49
6.3. - Modelos estruturais de escoamento	51
6.4 - Análises do princípio mecânico de ordenamento	53
6.4.1 - Projeto, fabricação e montagem do conjunto ordenador	53
6.4.2 - Avaliação de desempenho do conjunto ordenador.....	54
6.4.2.1 - Variação na altura de canas ordenadas dentro da caçamba.....	58
6.4.2.2 - Variação da abertura da boca de saída	59
6.4.2.3 - Variação da velocidade de deslocamento das laterais.....	60
6.4.2.4 - Variação da angulosidade da lateral	60
6.4.2.5 - Travamentos e paradas	61

6.5 - Avaliação dos danos mecânicos que o conjunto ordenador provoca sobre as mudas.....	61
VII - CONCLUSÕES.....	66
VIII - RECOMENDAÇÕES.....	67
IX - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
X - ANEXOS.....	71
XI - ABSTRACT.....	94

LISTA DE FIGURAS

1. Representação dos graus de liberdade de um cilindro	5
2. Mecanismos de classificação de peças cilíndricas	6
3. Funil estacionário com parede móvel anti-travamento.....	7
4. Plantadora de cana inteira	9
5. Forças atuantes na cana.....	10
6. Plantadora semi-automática.....	12
7. Dosador de canecas	14
8. Dosador de esteiras sem ordenamento de toletes.....	15
9. Dosador de tambor com planos inclinados vibratórios.....	16
10.Equipamento Ordenador-Dosador.....	19
11.Ação da talisca inclinada sobre a muda	20
12.Forças desenvolvidas na talisca horizontal.....	22
13.Equilíbrio de um tolete em posição ordenada	23
14.Equilíbrio de um tolete desordenado.....	24
15.Morfologia do nó e entrenó da cana-de-açúcar.....	35
16.Modelo geométrico da seção transversal.....	37
17.Condição de apoio e carga do Ensaio Diametral	38
18.Condição de apoio e carga do Ensaio Triangular-30 ⁰	38
19.Condição de apoio e carga do Ensaio Triangular-60 ⁰	39
20.Arranjo com duas mudas na boca de descarga	48
21.Arranjos com saídas para três mudas. Lateral inclinada 30 graus.....	50
22.Arranjos com saídas para três mudas. Lateral inclinada 60 graus.....	51
23.Organograma geral do conjunto ordenador.....	53
24.Foto do conjunto ordenador projetado.....	54
25.Condições de ensaios e medições geométricas	55
26.Condições geométricas da boca de descarga.....	56

LISTA DE TABELAS

1. Forças obtidas do programa computacional <i>ANSYS</i> versão 5.1 para o arranjo da Figura 20a	49
2. Coordenadas dos centros dos eixos para as duas posições angulares	55
3. Valores das posições geométricas na boca de saída	56
4. Resumo do processo de brotação para as duas variedades	62
5. Número de gemas brotadas por germinador da variedade SP 79-2233	63
6. Número de gamas brotadas por germinador da variedade SP 81-3250	64

LISTA DE GRÁFICOS

1. Comportamento mecânico de entrenó carregado radialmente no nó 4 com apoio diametral e triangular-30 ⁰	41
2. Comparação do modelo com ensaio triangular-60 ⁰	45
3. Evolução da brotação na variedade SP 79-2233	63
4. Evolução da brotação na variedade SP 80-3530	64

LISTA DE ANEXOS

1. Características geométricas das gemas	71
2. Lista de instrumentos utilizados nos ensaios	73
3. Resultados dos ensaios do comportamento mecânico dos toletes.....	74
4. Exemplo de programa para o programa computacional ANSYS versão 5.1	75
5. Tabelas para a determinação dos coeficientes de atrito.....	78
6. Tabelas de resultados dos modelos estruturais de escoamento simples	80
7. Arranjos para a análise do modelo estrutural de escoamento	87
8. Tabelas de colheita de dados para o ordenamento	88
9. Resultados para a avaliação de desempenho do conjunto ordenador	89
10. Tabelas para a análises da viabilidade segundo brotação	91

RESUMO

A deficiente uniformidade de distribuição de mudas das atuais plantadoras de cana-de-açúcar foi a motivação para o presente trabalho, que estuda o processo de ordenamento de toletes para viabilizar a dosagem de precisão. O estudo do processo de ordenamento tem como objetivo determinar as forças normais e tangenciais que atuam sobre as mudas visando prever condições de escoamento e danificação mecânica das gemas.

Implementou-se um modelo do comportamento mecânico da seção transversal da muda carregada radialmente com cargas estáticas. Os parâmetros do modelo foram determinados através dos recursos da otimização fornecidos pelo programa computacional *ANSYS* versão 5.1 e validados experimentalmente. O modelo permitiu simular e validar o fenômeno de escoamento de pequenas quantidades de mudas ordenadas segundo arranjos romboédricos bidimensionais junto à boca de saída de uma caçamba afunilada com ângulos de 30 e 60 graus. Para conseguir os referidos arranjos de mudas ordenadas foi proposto e avaliado experimentalmente um processo de ordenamento de mudas dentro de um ordenador mecânico de correntes. O princípio de funcionamento deste conjunto fundamenta-se na movimentação de esteiras laterais no sentido inverso ao fluxo das mudas.

A avaliação foi realizada em duas posições angulares, três aberturas da boca de saída e duas velocidades rotacionais das esteiras. Verificou-se os danos que o conjunto ordenador provoca às mudas através do teste de brotação de gemas. O teste de brotação permitiu verificar estatisticamente, com um nível de significância do 5%, que as mudas que passaram não foram danificadas pelo conjunto ordenador.

I - INTRODUÇÃO

A migração da mão-de-obra para os centros urbanos e para as diversas regiões agrícolas do país em função da sazonalidade das culturas tem provocado uma oferta aleatória de mão-de-obra na agricultura. No caso da cultura da cana-de-açúcar, e em regiões com alta concentração como a de Ribeirão Preto, a oferta de mão-de-obra em época de colheita tem sido insuficiente, o que provocou um crescimento da mecanização da colheita, atualmente com 20% do total da cana colhida na região.

A mecanização da colheita quebra o ciclo anual de demanda de mão-de-obra, provocando automaticamente a necessidade de mecanizar o plantio de cana de 18 meses, plantadas nos meses de janeiro a abril. Pode-se observar preocupação na mecanização do plantio pela presença de equipamentos importados, sendo avaliados nas usinas e através das reuniões técnicas do setor.

Os sistemas clássicos de plantio semi-mecanizado de cana-de-açúcar, com distribuição manual das mudas no fundo do sulco, caracterizam-se por uma boa qualidade de distribuição, a qual não é atingida pelas plantadoras automáticas disponíveis no mercado mundial.

Isto implica numa queda de qualidade de distribuição, ou seja, um *stand* menos uniforme com influência negativa sobre os índices atuais de produtividade e longevidade dos canaviais. Por outro lado, a necessidade de redução de custos aponta no sentido de reduzir a elevada demanda de mão-de-obra dos sistemas atuais de plantio. Em geral, os países tropicais produtores de cana-de-açúcar, da Ásia, África, e América Latina utilizam métodos de plantio fortemente dependentes de mão-de-obra. (SHUKLA, TANDON e VARMAN, 1983)

Os sistemas semi-mecanizados de plantio utilizam implementos individuais para cada operação do processo, sulcação, distribuição das mudas, cobrimento e aplicação de fungicidas, com maiores custos do que os equipamentos que combinam operações

através de sistemas de plantio semi-automáticos ou automáticos. A agricultura canavieira iniciou um processo de mecanização na década de 50 na Austrália, com a introdução da colheita mecânica. Esse fato provocou a introdução da mecanização do plantio na década de 60 e permanece até hoje com predominância das plantadoras semi-automáticas. (KHALID, 1987)

Nas máquinas semi-automáticas a abertura do sulco, adubação, fechamento do sulco e compactação são operações simultâneas, ao passo que a alimentação das mudas, ou seja, a dosagem, é feita manualmente. Esse processo manual demanda um grau de conscientização e concentração não existente na mão-de-obra agrícola, razão pela qual esse sistema não foi bem sucedido quando introduzido na década de 70. As plantadoras automáticas mecanizam todas as operações embora ainda existam deficiências tecnológicas importantes na qualidade da distribuição da muda e na sua injúria mecânica.

As deficiências na qualidade de distribuição das mudas no fundo do sulco pelas plantadoras automáticas estão determinadas pela baixa precisão do ordenamento e dosagem.

A curta trajetória do plantio automático de cana no mundo justifica sua defasagem tecnológica em relação a outras culturas, como é o caso da cultura de cereais, onde dosadores pneumáticos e mecânicos de precisão encontram-se já disponíveis comercialmente. O ordenamento e dosagem das mudas representa um desafio tecnológico maior do que a dosagem de grãos, em função da maior variabilidade geométrica das mudas em termos de diâmetro, curvatura e presença de folhas.

II - OBJETIVOS

O objetivo geral do projeto consiste na proposição, modelagem físico-matemática do comportamento mecânico da muda de cana de açúcar e avaliação experimental dos princípios mecânicos envolvidos no ordenamento para aplicação em plantadoras automáticas com dosagem de precisão.

2.1 - Objetivos específicos.

- 1 - Modelar e avaliar o comportamento mecânico de cargas atuando no sentido radial da seção transversal da cana-de-açúcar
- 2 - Proposta de um critério para a predição do escoamento das mudas baseado na determinação dos esforços atuantes nos nós do modelo estrutural.
- 3 - Verificação experimental do escoamento em função do arranjo ds mudas na boca de descarga e da inclinação das laterais do ordenador.
- 4 - Proposta de princípio e avaliação experimental do processo de ordenamento de mudas para alimentação de dosadores de precisão
- 5 - Avaliar a injúria mecânica que provoca o Ordenador sobre as mudas através de testes de brotação das gemas.

III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As máquinas plantadoras de cana-de-açúcar precisam de um número elevado de caminhões aumentando o custo para esta operação. Isso é produto de deficiências na distribuição de mudas por metro e o elevado número (20 %) de gemas danificadas. (GTMSSA, XI Encontro Técnico, 1995). Para a redução dos custos precisa-se de mecanismos que realizem um ordenamento das mudas previamente à colocação no sulco. Na atualidade, esta é uma deficiência importante que apresentam as plantadoras. (GTMSSA, XII Encontro Técnico, 1996)

3.1 - Mecanismos de classificação e ordenadores

Os mecanismos variam em função da distribuição aleatória das peças no depósito e a forma que serão entregues. CHIRONIS (1966) analisa diferentes mecanismos alimentadores de peças cilíndricas onde o comprimento não supera três vezes o diâmetro.

A distribuição de peças pressupõe o controle dos graus de liberdade (U) das peças individuais. Portanto, no ordenamento prévio à distribuição, deve-se estudar a posição das peças dentro do depósito.

Para estabelecer a posição de um cilindro em contato com um plano, surge a necessidade do controle de duas coordenadas e dois ângulos que correspondem a quatro graus de liberdade ($U = 4$) (Figura 1). Restringindo o movimento do cilindro dentro de uma canal, elimina-se seu deslocamento em uma direção, ou seja, precisa-se controlar uma coordenada e dois ângulos; Por conseguinte, se reduz o grau de liberdade a três ($U = 3$) (Figura 1). Impondo mais restrições ao movimento do cilindro,

pode-se controlar todos seus graus de liberdade até a posição desejada. O estabelecimento da posição do cilindro no espaço incrementa os graus de liberdade até cinco.

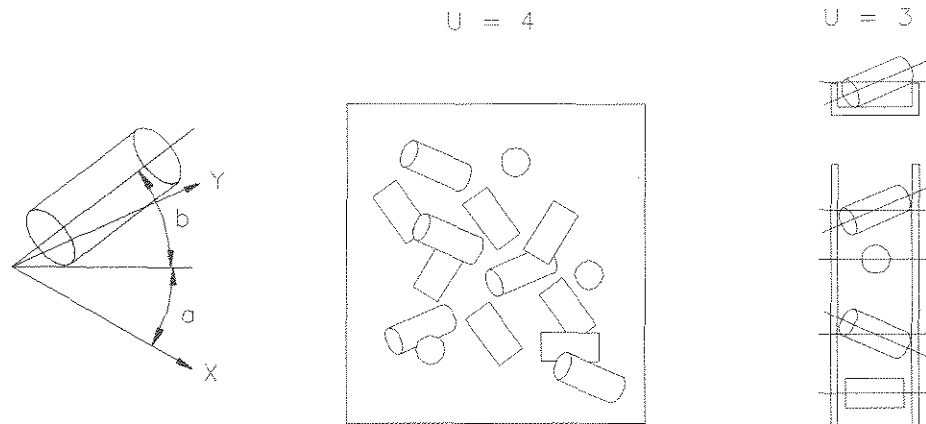


Figura 1: Representação dos graus de liberdade de um cilindro.

3.1.1 - Mecanismos para classificação preliminar

Independentemente dos graus de liberdade, existem três métodos de classificação:

- 1 - Classificação contínua
- 2 - Classificação em grupo
- 3 - Separação individual de arranjos

As duas primeiras estão predeterminadas pelo tempo, já que em função do grau de liberdade o mecanismo demora mais ou menos tempo para ordená-las.

Na separação individual de arranjos, pode-se determinar o tempo da alimentação de peças e garantir graus de liberdade dentro de certos limites. Esta classificação consiste em selecionar a peça simples desde a grandeza desordenada e colocá-la em posição obrigada por diversas variantes.

Os arranjos de peças cilíndricas estão dispostos no plano perpendicular a seus eixos geométricos, adotando infinitas posições. Os mecanismos mais difundidos na dosagem das peças cilíndricas são: por cinta transportadora com separação adequada das garras, Figura 2a, e por cilindro com ranhuras, Figura 2b.

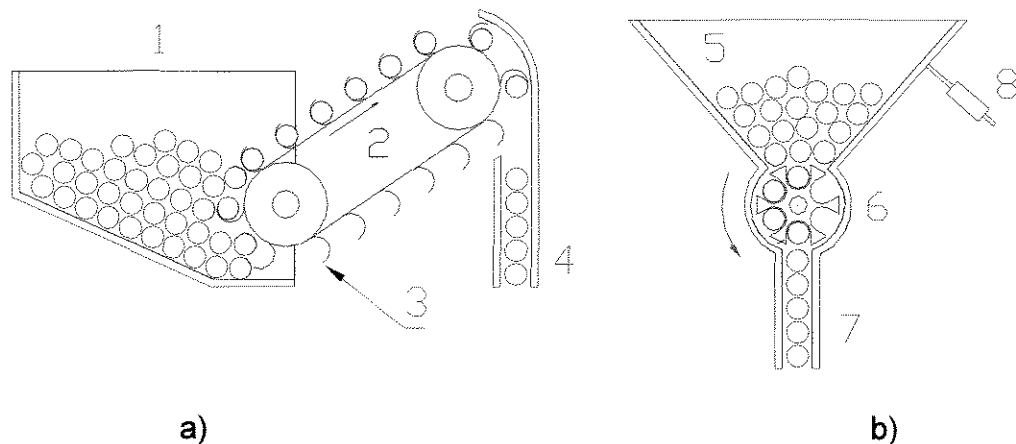


Figura 2: Mecanismos de classificação de peças cilíndricas.

O funcionamento do mecanismo de classificação por cinta transportadora (Figura 2a), fundamenta-se na seleção de cilindros desde uma caçamba pequena (1) por uma cinta transportadora (2) com canecas (3), que os envia até o duto (4). No processo, os pequenos cilindros são gravitacionalmente alimentados para o interior das canecas por seu próprio peso.

O mecanismo de cilindros ranhurados da Figura 2b, está constituído por uma caçamba afunilada (5), um tambor com ranhuras (6) e o duto de saída (7). O princípio de funcionamento consiste na introdução dos cilindros nas ranhuras do tambor na medida que gira, sendo transladados até o duto.

Os objetos com tamanho maior do que o dobro do menor tamanho vão travar-se, a menos que exista movimentação na boca de saída, conforme CHIRONIS (1966). No manejo de materiais granulares, estes mecanismos podem ser equipados com

vibradores (8) elétricos ou mecânicos para prevenir o travamento. Um bom dispositivo para prevenir o travamento é o funil estacionário com esteira rolante no sentido contrário à alimentação (Figura 3).

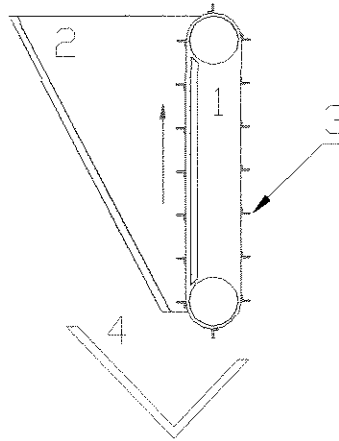


Figura 3: Funil estacionário com parede móvel anti-travamento. CHIRONIS (1966).

O princípio de funcionamento consiste em uma esteira rolante (1) em uma das laterais da caçamba afunilada (2). A esteira rolante possui pequenas taliscas (3) distribuídas sobre a banda, que abrem e fecham a boca de saída da caçamba. O movimento da esteira no sentido contrário à alimentação faz com que a ação da esteira seja apenas para prevenir o travamento, mas a alimentação é essencialmente gravitacional.

Este tipo de mecanismo apresenta a desvantagem de que, quando a caçamba está vazia, aumenta a vazão de descarga. A vantagem é que o fluxo é muito constante desde cheio até 1/4 da sua capacidade.

Bibliografias mais recentes apresentam a orientação de peças como aspecto importante dentro da automação, orientadas fundamentalmente ao uso da robótica nos processos industriais, analisando:

1 - Mecanismos capazes de adotar a posição da peça para sua captura. Dentro destes estudam-se diferentes aspectos: reconhecimento da peça por material, cor, tamanho, etc.; forma e força dos elementos que sujeitam as peças, e diferentes tipos de equações que descrevem o movimento dos mecanismos para a criação de programas computacionais que são introduzidos nos processos industriais. HAN (1992) realizou um estudo sobre sistemas de orientação passiva que foram desenvolvidos por sínteses de sistemas dinâmicos considerando o atrito e forças de impacto. ERDMANN (1991) considerou que desconhecia-se a orientação inicial das peças e utilizou um plano para a redução das incertezas. O trabalho baseia-se em peças poliédrica de três dimensões com atrito infinito entre as peças e o plano. O tratamento matemático desenvolvido permite a criação de algoritmos para programas computacionais.

2 - Mecanismos que ordenam as peças para serem capturadas por robôs. Analisam-se aspectos sobre forma, peso, tamanho, forças e momentos inerciais das peças. OU-YANG (1993) analisou diversos equipamentos que dedicam-se a orientar peças. Seu objetivo foi desenvolver um sistema de pesquisa para a análise geométrica e das propriedades topológicas do movimento das peças para o desenho em sistemas CAD e seleção apropriada de equipamentos de orientação.

A literatura consultada mostra a pouca penetração que possuem os avanços tecnológicos industriais no setor agrícola. Em parte, isto é devido ao fato de que os mecanismos propostos trabalham com peças que possuem alta resistência mecânica e não são afetadas pelos choques e forças de atrito que surgem no processo de ordenamento. Quando se trata de materiais biológicos, como a cana-de-açúcar, a ação

mecânica provoca diminuição do poder germinativo pela injúria mecânica sobre as gemas.

3.2 - Tipos de Plantadoras

Considerando como semeadora o equipamento que distribui sementes e como plantadora o equipamento que distribui partes vegetativas, passamos a analisar três tipos de plantadoras com mecanismos diferentes de distribuição para a reprodução da cana-de-açúcar, a partir tanto de cana inteira quanto de toletes.

3.2.1 - Plantadora de cana inteira.

Tratam-se de equipamentos desenvolvidos predominantemente na Louisiana, EUA. Foram desenvolvidos dois modelos de plantadoras, de um e dois sulcos, esta última com capacidade de 4 toneladas de carga, tal como ilustrado na Figura 4. (Industrias Cameco, Thibodoux, LO, EUA)

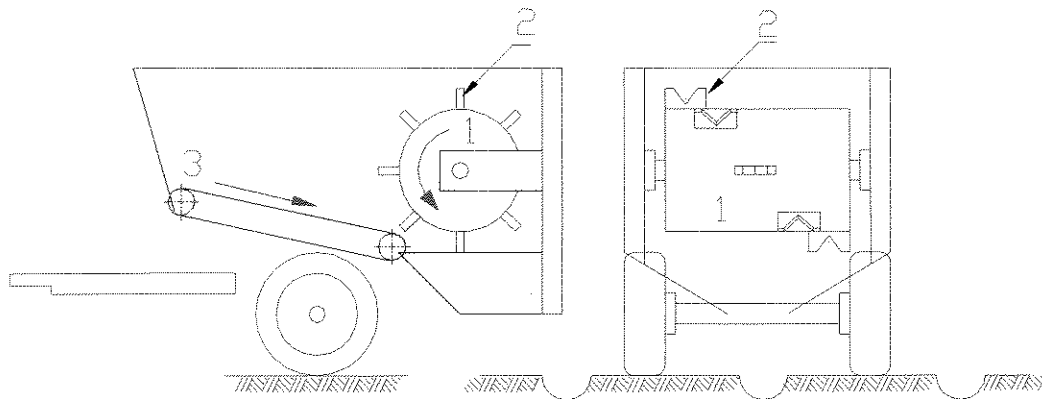


Figura 4: Plantadora de cana inteira

O modelo distribui colmos inteiros no fundo do sulco aberto previamente e que será fechado em uma operação posterior. O princípio de funcionamento da plantadora envolve um cilindro distribuidor (1) com dedos em forma de garfos (2) distribuídos

helicoidalmente sobre sua superfície. Os dedos, com alongamento em forma de cunha, prendem as canas alimentadas pela esteira (3) localizada no assoalho da plantadora e as arrastam até o funil mediante uma força que surge entre o garfo e a esteira.

A carga de fixação na cunha surge do movimento convergente que apresentam o tambor giratório e a esteira, na região onde ambos se encontram perto da boca de descarga. Produto da movimentação, surge um sistema de forças no sentido radial da seção transversal do tolete como mostra a Figura 5. A carga normal N leva duas reações F_r sobre as faces da cunha em contato com a muda que promovem forças proporcionais de atrito, responsáveis pelo deslocamento das canas.

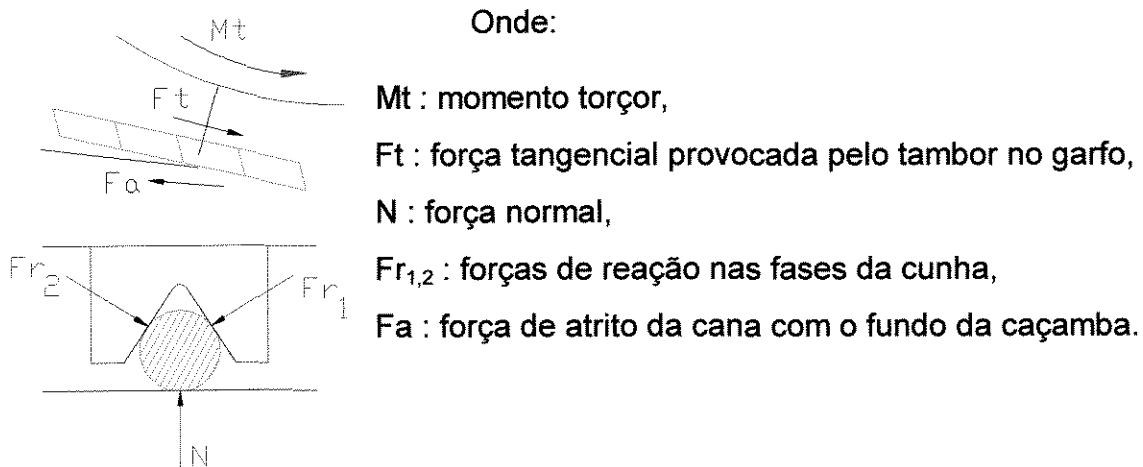


Figura 5: Forças atuantes na cana

O tolete de cana-de-açúcar é retirado da massa de mudas existentes na caçamba sempre que a força de atrito entre a muda e o fundo da caçamba seja menor que a soma das forças de atrito da muda com a cunha. Esta condição permite deslizamento da muda sobre a superfície da caçamba provocando danos às gemas salientes. Uma condição inversa permite o deslizamento da cunha sobre a superfície da muda provocando também danos nas gemas.

A principal desvantagem deste modelo é que não apresenta o ordenamento prévio das mudas antes de sua distribuição no sulco, o que provoca falhas. Estas falhas são de dois tipos: a primeira é na distribuição uniforme de mudas no sulco, já que os garfos podem encontrar canas finas que não conseguem apanhar; a segunda, falhas na brotação provocada pelos danos mecânicos sobre as gemas salientes dos colmos. Estes danos são causados pelos garfos quando apanham mais de uma muda simultaneamente. Por conseguinte, tornar-se-ia necessária a complementação de mão-de-obra para eliminar as falhas.

O plantio de cana inteira apresenta o problema de brotação progressiva de gemas (dominância apical), além da tendência ao curvamento dos colmos, o que prejudica o contato com o solo durante a brotação.

3.2.2 - Plantadoras semi-automáticas.

As plantadoras semi-automáticas utilizam alimentação manual dos colmos; as restantes operações de sulcação, cobrimento, compactação, adubação e aplicação de fungicida são operações simultâneas e automáticas.

KHALID avalio o funcionamento da plantadora de cana inteira ilustrada na Figura 6. Este modelo de plantadora requer um operador por linha de plantio, cujas funções são alimentação das mudas, verificação das operações de fertilização e outras. (KHALID, 1987)

A máquina opera com uma velocidade de deslocamento de 1,75 Km/h, com uma capacidade operacional de 0,25 ha/h e um custo de plantio de U\$ 20/ha. O rendimento desta plantadora é baixo, razão pela qual o Agricultural Mechanization Research

Institute (AMRI) desenvolveu uma plantadora com as mesmas características, mas para três linhas de plantio. (KHALID, 1987)

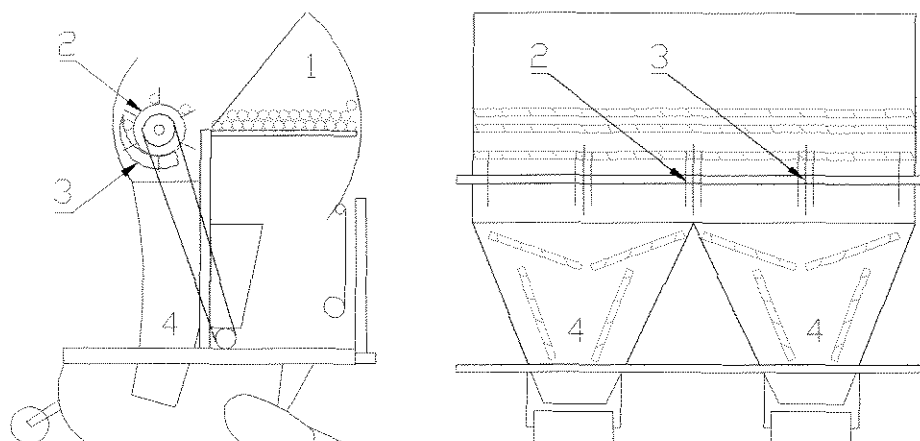


Figura 6: Plantadora semi-automática (KHALID, 1987)

O princípio de funcionamento deste modelo parte de um prévio ordenamento manual das canas inteiras na caçamba (1), as quais são colocadas manualmente sobre um tambor giratório (2) com dedos radiais que forçam as mudas sobre um conjunto de facas curvas (3) encarregadas da picagem em toletes de 400 mm de comprimento, os quais, após o corte, são liberados dentro de um duto de descarga (4) que os conduz ao fundo do sulco.

Apesar do baixo rendimento, estas plantadoras, denominadas de *Trash Planter*, são largamente utilizadas na Austrália pelos agricultores, geralmente donos da terra. (MORAES, 1995)

Equipamentos similares foram colocados no mercado brasileiro na década de 70, sem sucesso, já que eram operados por trabalhadores rurais de baixa qualificação e as falhas ou falta de alimentação de colmos prejudicavam a uniformidade da cultura. Marcas como “Martin” e “Motocana” são até hoje lembradas no setor canavieiro; essas

plantadoras, quando utilizadas, deixavam o sulco aberto para permitir uma operação posterior de verificação e complementação das falhas com toletes.

3.2.3 - Plantadoras Automáticas.

Estas máquinas utilizam um dosador-ordenador mecânico visando aumentar a capacidade operacional, reduzir a demanda de mão-de-obra e evitar a necessidade de replantio de falhas. As máquinas de maior difusão na atualidade apresentam mecanismos de esteira ou tambor analisados a seguir.

O esquema ilustrado na Figura 7 corresponde a um dosador de canecas desenvolvido pela indústria “Bonell” (Austrália), que utiliza um elevador de canecas sustentadas por duas correntes laterais. O modelo é constituído por uma caçamba principal (1), caçamba intermediária (2), transportador de esteira (3), elevador de canecas (4) e duto condutor (5).

O princípio de funcionamento consiste em carregar a caçamba principal com grande quantidade de mudas sem ordenamento prévio, que permitam o plantio de vários hectares sem necessidade de parada para reabastecimento.

O transportador de esteiras alimenta a caçamba intermediária na medida em que são consumidas as mudas. O acionamento do transportador é através de um operador que controla o processo visualmente.

A função da caçamba intermediária é o tratamento com fungicida (6) e manutenção de uma baixa carga de peso próprio entre os toletes visando evitar danos mecânicos por atrito entre as gemas mais salientes durante a movimentação dos toletes pela passagem das canecas.

O elevador de canecas sustentado por duas correntes laterais penetra no fundo da caçamba intermediária. O próprio movimento das canecas promove algum ordenamento dos toletes. Na medida que as canecas atingem grupos ordenados de toletes, um maior número deles (3 ou 4) conseguem ficar sobre as canecas até chegar ao mecanismo de retorno (7).

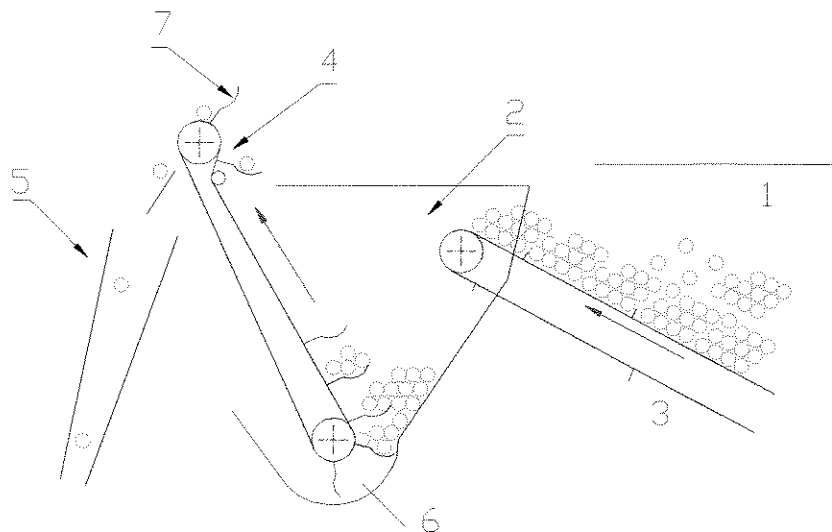


Figura 7: Dosador de canecas, "Bonell"

O material em excesso, captado pelas canecas, é retirado gravitacionalmente através de uma mudança de posicionamento angular das mesmas perto do eixo superior do elevador. Os toletes nesta posição liberam-se das canecas por peso próprio dentro do duto afunilado que os conduz por gravidade até o fundo de sulco.

O dosador baseia seu funcionamento nas características geométricas dos toletes, as quais variam significativamente em termos de curvaturas, presença de palhas e na disposição dos mesmo na caçamba. A tendência atual é de utilizar toletes grandes, maiores que 400 mm, visando minimizar o efeito das pontas por onde surge contaminação com bactérias. Este maior comprimento dificulta ainda mais o enchimento das canecas sem ordenamento prévio dos toletes.

Além da falta de uniformidade de distribuição, o ordenamento deficiente promove danos mecânicos às mudas, que por sua vez sofrem danos posteriores no solo pela ação de bactérias. (MORAES, 1995)

O Indian Institute of Sugarcane Research (IISR) promoveu estudos de diversos tipos de plantadoras semi-automáticas e automáticas de cana-de-açúcar e em particular um dosador tipo tambor. Em função das deficiências apresentadas pelo referido dosador de tambor, SHARMA e KISHAN (1990) desenvolveram o dosador ilustrado na Figura 8, que dosa as mudas tomando como referência seu diâmetro e comprimento, similar às plantadoras de batatas, ainda sem a ação de um mecanismo ordenador.

Na Figura 8, observa-se que a esteira empurradora (2) promove a movimentação dos toletes armazenados na caçamba (1) na direção da esteira (3) que transporta por atrito e alimenta a esteira (4) com largura de 500 mm; Esta última libera os toletes no extremo superior do duto (5) que os conduz ao fundo do sulco.

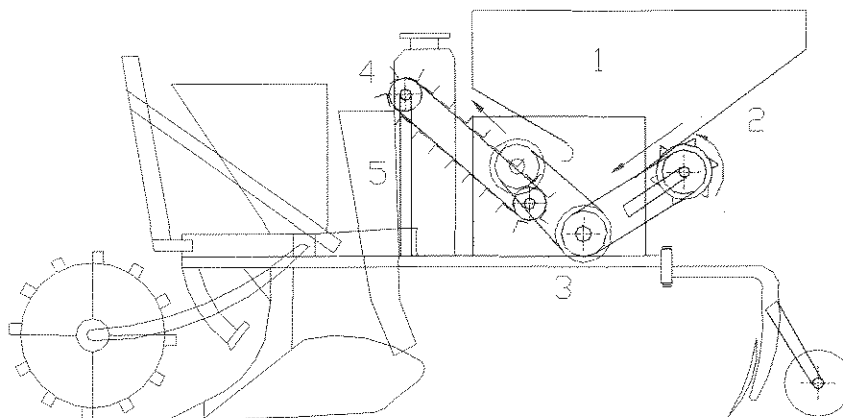


Figura 8: Dosador de esteiras sem ordenamento de toletes (SHARMA e KISHAN, 1990)

Os toletes dispostos axialmente dentro da caçamba (na direção do eixo da esteiras) são movimentados com maior facilidade pela esteira empurradora (2),

mostrada na Figura 8. Toletes desordenados oferecem maior resistência ao movimento e são rejeitados pelas taliscas em forma de cunha.

O principal inconveniente deste dosador é que os toletes devem estar previamente ou parcialmente ordenados na caçamba. A capacidade de armazenamento é pequena (350 a 450 toletes), para evitar danos por atrito entre toletes pela ação gravitacional da carga, principalmente na presença de gemas salientes.

A separação de toletes individuais distribuídos aleatoriamente em um conjunto requer um ordenamento prévio para sua dosagem, utilizando-se para isto o tamanho como propriedade de seleção.

A Figura 9 ilustra um dosador de tambor com ordenamento gerado através de planos inclinados convergentes. A vibração dos planos inclinados reduz as restrições para a movimentação dos toletes para um posicionamento horizontal correspondente a uma condição mais estável de mínima energia potencial.

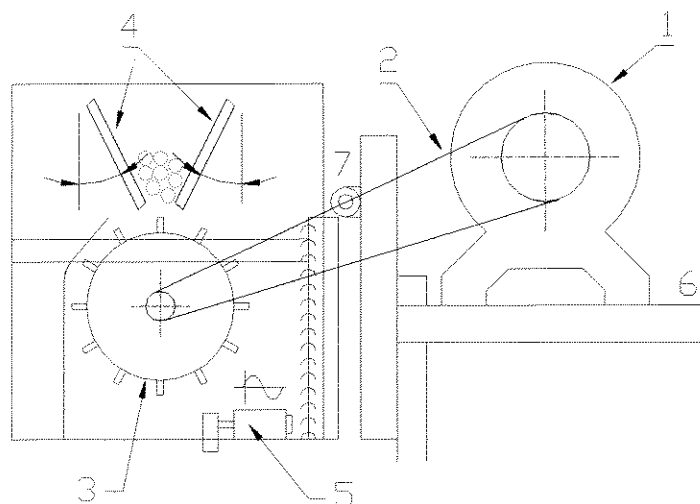


Figura 9: Dosador de tambor com planos inclinados vibratórios (FEAGRI, 1995).

Na figura 9, observa-se um motor (1) que aciona através de uma corrente (2) o dosador cilíndrico (3). As placas ajustáveis regularmente (4) possuem uma massa de toletes parcial ou totalmente ordenados. Um motor (5) provoca uma excitação harmônica sobre o dosador que encontra-se unido à mesa de apoio (6) mediante uma dobradiça (7).

A vibração minimiza as cargas de atrito entre toletes pela levitação transitória dos mesmos no processo vibratório, o que facilita a movimentação dos toletes entre os planos inclinados, ou seja, a dosificação. Este dispositivo está ainda em fase de estudo sem resultados finais para análise, embora observa-se a falta de um dispositivo ordenador prévio.

IV - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Proposta de equipamento Ordenador-Dosador.

O princípio proposto para ordenamento de mudas se insere no equipamento Ordenador-Dosador, ilustrado na Figura 10. A proposta visa viabilizar uma dosagem de mudas mais precisa e com menores danos mecânicos às mudas.

O equipamento é formado por dois conjuntos, o Ordenador e o Dosador. O Ordenador é composto por uma caçamba afunilada (1) com duas faces verticais estáticas e duas inclinadas móveis com esteiras de taliscas (2). Estas esteiras apresentam duas seções: uma superior com taliscas inclinadas (3) e outra inferior com taliscas retas (4). O Dosador é composto pelo depósito (5) e pelo tambor dosador (6).

O princípio de funcionamento do equipamento consiste em alimentar a caçamba (1), de pequena capacidade (500 a 1000 N), com mudas desordenadas, vindas de depósito de maior capacidade (50 a 100 kN), onde a magnitude das cargas de peso próprio inviabilizariam o ordenamento das peças com baixos níveis de injúria mecânica. Na caçamba (1), os toletes sofrem um ordenamento progressivo em duas etapas. As mudas ordenadas são liberadas pela boca de descarga (7) e armazenadas temporariamente no depósito (5), onde pode existir um tratamento com fungicida líquido, para posteriormente serem retiradas individualmente pelas taliscas do tambor dosador, que as libera próximas do fundo do sulco.

Para o estudo do ordenador foram consideradas as seguintes hipóteses:

- Comprimento máximo das mudas: 500 mm
- Curvatura máxima das mudas: de $1 \times 10^{-3} \text{ mm}^{-1}$ (flecha de 30 mm)
- Toletes livres de palha com diâmetro na faixa de 25-35 mm

- Capacidade de dosagem na faixa de 8-12 toletes/segundo

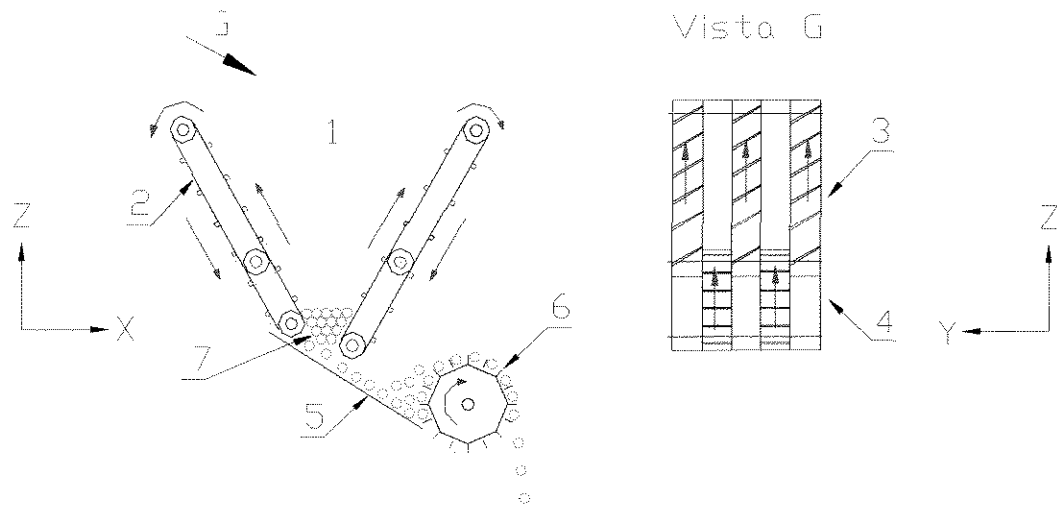


Figura 10 : Equipamento Ordenador-Dosador

4.1.1 - Processo de Ordenamento

Considera-se que o peso das mudas na caçamba é de magnitude tal que os esforços da interação dos toletes com a talisca e na interação entre toletes não é suficiente para provocar danos mecânicos e que as taliscas são dimensionadas suficientemente baixas ($1/3$ do diâmetro do tolete) para permitir escorregamento entre taliscas e colmos, em situações de sobrecarga que pudessem provocar esforços com potencial de dano mecânico.

Considera-se uma muda ordenada quando atinge a posição horizontal, paralela ao eixo Y da Figura 10; posição essa alcançada nas proximidades da boca de descarga da caçamba.

Para sua análise, divide-se o conjunto ordenador em duas partes: a superior, onde os peças apresentam orientação aleatória e a inferior (próxima da boca de descarga), onde as peças apresentam-se com orientação mais definida, já que o ordenamento progride na medida em que a carga desce. O ordenamento surge pelo

movimento ascendente das taliscas. A análise qualitativa do processo de ordenamento é descrita a seguir.

4.1.1.1 - Parte Superior

Nesta região, parte das mudas entram em contato com as taliscas inclinadas, que aplicam ação de ordenamento mais agressiva. Os comportamentos estruturais e cinemático das peças em movimento são complexos.

Quando uma muda é atingida por uma talisca inclinada, esta aplica sobre a muda uma força R_t que pode ser projetada sobre três planos, como ilustrado na Figura 11.

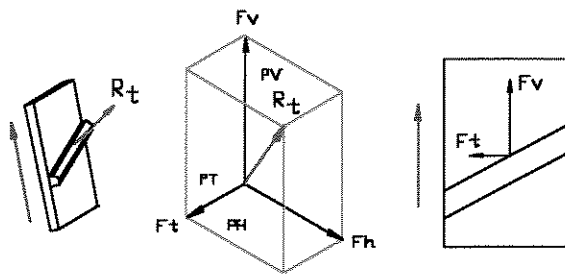


Figura 11: Ação da talisca inclinada sobre a muda – Componentes em três planos onde:

PH: plano horizontal, (X, Y, Figura 10)

PV :plano vertical, (X, Z)

PT: plano transversal, (Y, Z)

R_t : força resultante da ação da talisca com o tolete

F_h : componente horizontal da força resultante no plano horizontal perpendicular ao eixo da esteira

F_t : componente transversal da força resultante no plano horizontal na direção do eixo da esteira

F_v : componente vertical da força resultante no plano vertical perpendicular ao eixo da esteira.

Analizando a situação de uma talisca inclinada que atinge um tolete desordenado no plano horizontal, observa-se que a força resultante provocará no extremo do tolete um movimento de translação que origina o giro do tolete.

Observando o sistema de forças, verifica-se que a componente transversal F_t é responsável pela movimentação lateral do extremo da muda na direção dos eixos da esteira, ou seja, no sentido de seu ordenamento. A componente vertical faz com que a movimentação seja ascendente, afastando a muda desordenada da região inferior de descarga. No caso de mudas já ordenadas a ação R_t diminui em magnitude em função da maior liberdade de movimentação que apresentam as peças dispostas transversalmente (na direção Y).

As forças aplicadas pelas taliscas sobre os colmos geram os movimentos descritos na medida que a acomodação da massa o permite, já que as mesmas são consequência do próprio peso; a magnitude dessas forças pode ser ajustada pela quantidade de material contido na caçamba de forma a reduzir os danos mecânicos às mudas.

O contato da muda com as taliscas não é contínuo durante o ordenamento. A ação da força R_t reposiciona a peça até a talisca perder o contato com ela. Quando o tolete é liberado pela talisca, este acompanha o movimento descendente da massa até atingir novamente outra talisca da esteira e repetir a movimentação descrita. Nesta região os colmos sofrem sucessivos movimentos ascendentes com ação de ordenamento e descendentes de acompanhamento da massa. Na medida que o colmo se aproxima a sua posição horizontal ordenada o movimento descendente aumenta, e inversamente, o movimento ascendente diminui, fazendo com que as peças se aproximem da boca de descarga simultaneamente com a conclusão do processo de

ordenamento.

4.1.1.2 - Parte Inferior

Nesta região atuam as maiores cargas sobre os toletes, potencializando maiores danos mecânicos sobre as gemas salientes. As taliscas são horizontais e orientadas transversalmente (direção Y) o que as torna menos agressivas em sua interação mecânica com os colmos. O movimento dos toletes é menos complexo, já que a massa está parcialmente ordenada. Quando um tolete é atingido por uma talisca reta, surge no plano da esteira sobre a talisca o sistema de forças representado na Figura 12.

Os toletes dentro da massa podem assumir qualquer posição. Portanto, serão analisadas apenas duas situações extremas:

- a) toletes em posição ordenada
- b) toletes totalmente desordenados localizado num plano perpendicular às taliscas.

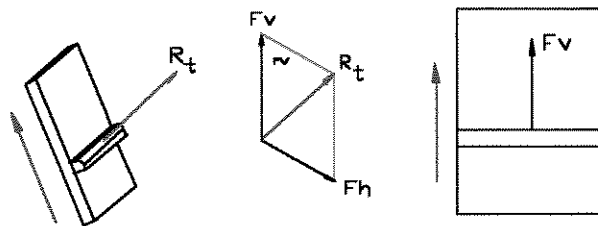


Figura 12: Forças desenvolvidas na talisca horizontal

onde:

PV :plano vertical

R_t : força resultante da ação da talisca com a muda

F_h : componente horizontal da força resultante no plano horizontal perpendicular ao eixo da esteira

F_v : componente vertical da força resultante no plano vertical perpendicular ao eixo da esteira.

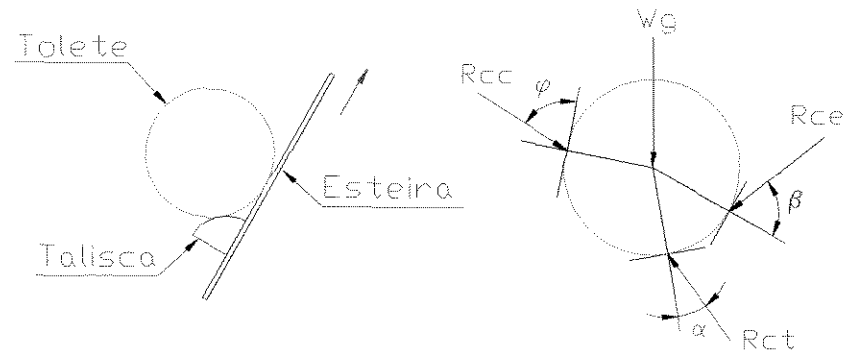


Figura 13: Equilíbrio de um tolete em posição ordenada

onde:

W_g : peso do tolete da cana-de-açúcar

R_{cc} : ação dos toletes vizinhos

φ : ângulo de atuação da força R_{cc}

R_{ce} : ação da esteira sobre o tolete

β : ângulo de atuação da força R_{ce}

R_{ct} : ação da talisca sobre o tolete

α : ângulo de atuação da força R_{ct} .

A Figura 13 ilustra o equilíbrio de forças de um tolete em posição ordenada atingindo uma talisca reta. O diagrama de corpo livre apresenta as forças de peso próprio, reações nos pontos de apoio da talisca e resultante da interação dos toletes vizinhos. Para esta condição de equilíbrio plano existem três equações da estática para seis incógnitas que só poderão ser resolvidas com equações complementares relativas à interação com os toletes do contorno, talisca e esteira. Neste caso, a ação das taliscas provoca apenas movimentação ascendente e de rotação sobre o eixo longitudinal do tolete escorregando até a boca de saída.

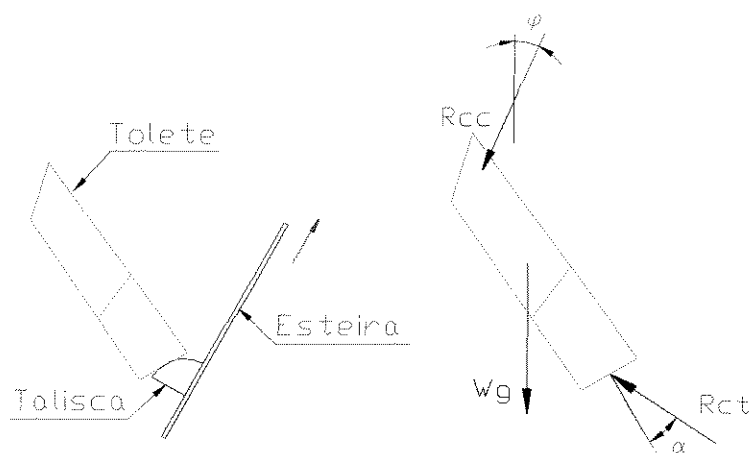


Figura 14: Equilíbrio de um tolete desordenado

onde:

W_g : peso do tolete da cana-de-açúcar

R_{cc} : ação dos toletes vizinhos

φ : ângulo de atuação da força R_{cc}

R_{ct} : ação da talisca sobre o tolete

α : ângulo de atuação da força R_{ct} .

A Figura 14 ilustra o equilíbrio de forças de um tolete desordenado atingindo perpendicularmente uma talisca reta. Nesta situação, o sentido das forças aplicadas permite antecipar um giro anti-horário do tolete pelo movimento ascendente da esteira. Este giro provoca uma movimentação na massa de toletes, o que implica em uma maior quantidade de toletes atingindo a posição de equilíbrio e conseqüentemente resulta numa maior concentração de toletes ordenados junto à boca de saída.

O diagrama de corpo livre apresenta as forças que atuam sobre o tolete. Esta condição de equilíbrio não pode ser resolvida pela estática, já que apresenta maior número de incógnitas que equações.

O caso particular mais desfavorável de posicionamento de um tolete dentro da massa corresponde a um tolete totalmente vertical que atinge o depósito passando pela boca de descarga. Este tolete, obstrui o fluxo dos demais na boca de descarga da

caçamba, provocando uma interrupção na alimentação do Ordenador ao Dosador.

Sabe-se que a posição vertical dos toletes corresponde a uma condição de equilíbrio instável quando existe uma movimentação da massa. Considerando que as esteiras laterais da caçamba estão constantemente em movimento, o tolete vertical apresenta uma tendência de descida de seu centro de gravidade, ou seja, uma aproximação com a posição horizontal estável que corresponde à posição de tolete ordenado.

Analisando a movimentação descendente de um tolete vertical na massa, vemos que este encontrará cada vez mais uma maior densidade de toletes ordenados na medida em que se aproxima da boca de descarga, o que dificulta a descida vertical do mesmo, aumentando assim a probabilidade de seu reposicionamento, atingindo uma posição mais estável.

O tempo de reposicionamento desse tolete vertical será igual ao tempo de obstrução do fluxo de toletes ordenados. Portanto, torna-se necessária a existência de uma reserva de toletes ordenados no depósito na região próxima ao tambor dosador. Esta reserva garante o fluxo contínuo de dosagem, embora o fluxo vindo da caçamba seja interrompido.

4.1.1.3 - Avaliação de desempenho e análise do princípio mecânico de ordenamento

O processo de ordenamento descrito não se encontra ilustrado na bibliografia consultada. Portanto, deve ser projetado um dispositivo que permita testar o processo a fim de concluir sua veracidade.

A fabricação e montagem do Mecanismo Ordenador foi feita no laboratório de protótipos de DMAQAG de FEAGRI / UNICAMP, realizando testes preliminares e

aprimoramentos necessários para seu funcionamento.

A avaliação de desempenho do Ordenador consiste em determinar, através de ensaios, a quantidade de toletes na posição horizontal e o tempo de demora da parada de dosagem por trava da muda para duas posições do ângulo da lateral, duas aberturas da boca de descarga e duas velocidades de deslocamento da lateral.

Nos ensaios, utilizaram-se mudas de plantio de cana-de-açúcar. Da análise dos resultados, obtém-se qualitativamente a posição do conjunto ordenador que proporciona um ordenamento mais rápido e uma alimentação mais contínua. Se for necessário introduzir modificações construtivas no conjunto ordenador, serão propostas como recomendações para futuras pesquisas.

4.1.1.4 - Danificação das gemas

O critério para avaliar os danos nas gemas será feito comparando-se a quantidade de gemas que brotarem de toletes que passaram pelo conjunto ordenador com toletes que não passam.

Para o ensaio de brotação das gemas serão empregadas as variedades SP79-2233 e SP80-3530. As mesmas estão sendo utilizadas atualmente no plantio comercial e apresentam diferença na saliência da gema. As características geométricas das gemas foram descritas em função do comprimento, altura e largura das mesmas, Anexo 1.

O delineamento estatístico será de blocos casualizados, tendo como variáveis três blocos e dois tratamentos. Cada germinador será considerado um bloco e como tratamentos serão considerados o passo ou não passo pelo ordenador.

Serão escolhidas 56 mudas de cada variedade, sendo que 28 passaram pelo

ordenador e as restantes permaneceram como testemunhas. O plantio será realizado em caixas plásticas contendo quatro mudas, sendo duas provenientes do ordenador e duas testemunhas, plantadas intercaladas. O volume de areia utilizado em cada caixa será de $7,5 \text{ dm}^3$ e o volume de água de 2 dm^3 .

As caixas serão colocadas em estufas, sendo que as dimensões destas não permitiram que todas as caixas fossem colocadas em uma única estufa. As caixas correspondentes a uma variedade foram colocadas em três estufas de maneira que não foi considerado o efeito de variedade como tratamento. As estufas serão reguladas para uma temperatura de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidade de 80 %.

A germinação dos toletes de cana se realizará no Laboratório de análises de sementes da FEAGRI-UNICAMP, com a metodologia existente sobre teste de germinação utilizando os seguinte materiais:

- bandejas plásticas
- areia esterilizada
- mudas de cana-de-açúcar
- estufas

4.1.2 - Fluxo na boca de descarga

A movimentação dos toletes ordenados na proximidade da boca de descarga da caçamba gera cargas de interação que podem provocar injúria mecânica e dificultar a continuidade do fluxo gravitacional até o tambor dosador, dependendo da magnitude das cargas de interação entre os toletes. A abordagem convencional do escoamento de materiais a granel não contempla o cálculo das forças pontuais entre elementos do material granulado (STEPANOFF, 1969), (RICHMOND, 1963).

Os toletes armazenados dentro da caçamba transferem as cargas de peso próprio aos toletes vizinhos através dos pontos de apoio no contorno. Isto gera um comportamento mecânico que pode ser modelado pela teoria matricial clássica de estruturas reticulares sob condições estáticas (GERE e WEAVER, 1965), sem deslocamento relativo entre toletes. No caso da cana-de-açúcar, o material apresenta comportamento visco-elástico e anisotrópico não suficientemente conhecido para poder efetuar uma modelagem convencional por elementos finitos ou teoria de contato.

A modelagem pela análise estrutural é válida até o limiar de deslizamento, para condições em que as cargas de cisalhamento nos ponto de contato não ultrapassem o valor das forças de atrito estático. Por conseguinte, a análise do fluxo na boca de descarga será estática, embora exista no conjunto ordenador proposto uma movimentação nas laterais.

A análise estrutural dos arranjos na região da boca de descarga deverá permitir avaliar as cargas de contato, normais e de atrito, visando dimensionar sua largura e o ângulo das laterais. Os valores obtidos de largura e ângulo devem viabilizar um fluxo uniforme de toletes sem obstruções e sem reações suficientemente altas para danificar as gemas salientes. Portanto, a análise estrutural dos arranjos terá que ser realizado antes de projetar, fabricar e construir o conjunto ordenador.

O estudo estático do fluxo na boca de descarga é feito em duas etapas:

- Modelagem do tolete da cana-de-açúcar,
- Modelagem do escoamento para determinar as forças que interagem no processo.

4.1.2.1 - Modelagem do tolete da cana-de-açúcar

O processo de geração do modelo é composto de três etapas: criação, validação e análise.

A criação do modelo estrutural fundamenta-se na forma geométrica da seção transversal da cana e nos pontos de contato que possam existir no arranjo formado pelas mudas na boca de descarga. Portanto, propõe-se uma estrutura poliédrica.

A estrutura constituída por barras submetidas à tensão-deformação precisa de propriedades mecânicas. Estas propriedades devem ser tais que, para qualquer sistema de cargas dentro de um arranjo, o comportamento do modelo seja semelhante à cana-de-açúcar. Portanto, o comportamento mecânico transversal da cana-de-açúcar será obtido ensaiando um tolete diametralmente nas seguintes situações:

- 1 - Aplicando uma carga vertical a um tolete entre duas superfícies planas.
- 2 - Aplicando uma carga vertical quando o tolete apóia-se em duas superfícies dispostas a 30° com a horizontal.
- 3 - Aplicando uma carga vertical quando o tolete apóia-se em duas superfícies dispostas a 60° com a horizontal.

Os dados obtidos destes ensaios permitirão construir curvas de força-deslocamento do nó onde se aplica a força.

Como o material da cana-de-açúcar é um material visco-elástico, será difícil obter as propriedades diretamente de seu comportamento mecânico. Por conseguinte, vai ser utilizado o programa computacional ANSYS versão 5.1 para obter a forma da curva tensão-deformação.

A obtenção do comportamento mecânico das barras que conformam o modelo estrutural é obtida com os resultados dos dois primeiros ensaios realizando uma

verificação das respostas. Esta verificação é feita através da comparação do resultado do ensaio e do programa computacional obtendo-se o coeficiente de correlação.

A validação do modelo matemático que descreve o comportamento mecânico é feita reproduzindo no programa computacional o terceiro ensaio e comparando seus resultados com resultados experimentais.

Logo, a metodologia para obter o modelo estrutural da seção transversal de um tolete de cana-de-açúcar é a seguinte:

- 1 - Selecionar mudas de cana-de-açúcar com maturação suficiente para plantio,
- 2 - Realização dos ensaios e construção das curvas força-deslocamento.
- 3 - Obtenção das propriedades mecânicas da estrutura utilizando os dados do primeiro e segundo ensaios,
- 4 - Validação do modelo utilizando os dados do terceiro ensaio através da simulação,
- 5 - Análise e discussão dos resultados do processo de simulação.

4.1.2.2 - Modelagem do escoamento para a determinação das forças que interagem no processo.

Os arranjos dos toletes ordenados próximos à boca de descarga são variáveis em função do ângulo da lateral. Portanto, serão analisados os arranjos romboédricos bidimensionais de um conjunto de mudas carregadas na parte inferior da caçamba. Estima-se que este tipo de arranjo apresente mais número de pontos de contato entre toletes, dificultando o escorregamento.

Para ter correspondência entre a posição dos arranjos e o modelo do tolete, serão analisados os arranjos onde os ângulos de inclinação da lateral com a horizontal

sejam de 30 e 60 graus.

Substituindo as mudas pelo modelo estrutural de um tolete no arranjo, formam-se as estruturas reticuladas.

Os pontos de contato entre canas e entre estas e a lateral serão considerados como articulações. Movimentos relativos dos pontos em contato não são permitidos, fato que é real até o limiar do deslizamento, o qual representa a condição de interesse do estudo para detectar condições de início do escoamento.

As forças existentes nas articulações serão analisadas como forças normais e tangenciais à superfície de contato. A relação entre estas forças permite analisar o critério de estabilidade.

O critério de estabilidade consiste em comparar a força tangencial com a força de atrito causada pela força normal. Sempre que a componente tangencial da força de contato supera o limite de atrito (μN), considera-se que o contato não é estável, ou seja, existirá movimento relativo entre as superfícies em contato.

O critério de escoamento tem seu fundamento no critério de estabilidade, permitindo conclusões para duas condições extremas: primeira, quando todas as mudas que compõem o arranjo apresentem nos pontos de contato instabilidade indica que existe escoamento. Segunda, quando todas as mudas que compõem o arranjo apresentam nos pontos de contato estabilidade indica que não existe escoamento.

Para uma condição intermediária, ou seja, quando exista no mínimo um nó com critério diferente aos demais é necessário modificar o tipo de contato por outro que reproduza as condições físicas reais de contato entre as superfícies. Esta nova situação provocará outro sistema de forças e uma segunda análise das mudas dentro do arranjo.

A determinação da força de atrito pressupõe o conhecimento do coeficiente de atrito entre canas e entre cana e lateral. Portanto, precisa ser determinado experimentalmente.

Para se obter o valor do coeficiente, foram montados dois ensaios fundamentados na teoria da força de atrito. A determinação do ângulo foi feita medindo os catetos, pois garante um melhor resultado. Para realizar os ensaios com maior rapidez, manteve-se constante o cateto oposto e foi variado apenas o cateto adjacente.

O coeficiente de atrito Aço-Cana foi determinado colocando-se como plano inclinado uma chapa de aço inox AISI 304, a qual foi inclinada até o movimento iminente da muda. Para cada corpo de prova, realizou-se 10 repetições.

O coeficiente de atrito Cana-Cana foi obtido provocando o deslizamento de um tolete sobre outros dois unidos entre si. Estes toletes unidos, por sua vez, foram colocados solidários a um plano, o qual é inclinado até o limiar do movimento da terceira muda.

O modelo de escoamento precisa avaliar o ângulo da lateral, largura da boca de descarga e quantidade de mudas que podem ser introduzidas na caçamba. Devido a complexidade do processo de validação deste modelo, propõe-se apenas realizar modelos com pouca quantidade de mudas ordenadas. Logo, assume-se a hipótese que o modelo do tolete formando estruturas reticuladas grandes possui o mesmo comportamento que com estruturas reticulares pequenas.

A metodologia para a modelagem do escoamento seguirá os seguintes passos:

- 1 - Determinação dos coeficientes de atrito cana-cana, cana-lateral.
- 2 - Eleição dos arranjos simples.

3 - Realização da modelagem das estruturas reticuladas utilizando o *software ANSYS*.

4 - Comparação dos deslocamentos obtidos pelo pacote com os ensaios.

5 - Modelagem das estruturas mais complexas.

4.1.3 - Processo de Dosagem

Como foi explicado, o processo de dosagem acontece depois do ordenamento dos toletes. Portanto, a dosagem será mais rápida na medida em que existam maiores quantidades de toletes ordenados no depósito.

A quantidade de toletes que o dosador deve fornecer por unidade de tempo é função do comprimento do tolete e de sua densidade de gemas que, por sua vez, se altera com a variedade da cana-de-açúcar e das condições de desenvolvimento no viveiro. Normalmente, utiliza-se entre 12 e 20 gemas por metro linear de sulco. (RIPOLI, 1983)

Um tolete com comprimento de 500 mm contém de 4 a 7 gemas de acordo com o espaço entrenó. Por esse motivo, é necessário plantar entre 3 e 5 toletes por metro. (MINAZ, 1990)

As dimensões do tambor-dosador estão dadas pela quantidade de toletes que consegue colocar na unidade de tempo, a qual é função da densidade de plantio e da velocidade de deslocamento da plantadora. Considerando-se uma velocidade máxima de deslocamento da plantadora de 12 Km/h e uma densidade de plantio de 5 toletes/m, tem-se uma capacidade de dosagem máxima necessária de 16 toletes/s. Por conseguinte, o Ordenador deve alimentar o Dosador com uma dosagem igual ou superior à capacidade de dosagem máxima de plantio

Produto da extensão do trabalho, o processo de dosagem não será analisado, deixando-se para posteriores pesquisas.

V – MODELOS ESTRUTURAIS DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA CANA-DE-AÇÚCAR

5.1 - Morfologia do colmo de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é constituída por células longitudinais na direção de seu eixo principal e dispostas radialmente. Apresenta um núcleo macio comparado com as células que crescem no sentido radial, sua cor é branca-amarela. A casca possui células mais fortes e resistentes, não apresentando limites definidos com as células centrais que constituem o feixe vascular. A cor da casca é predominantemente verde embora varie em função da variedade de cana-de-açúcar (Figura 15).

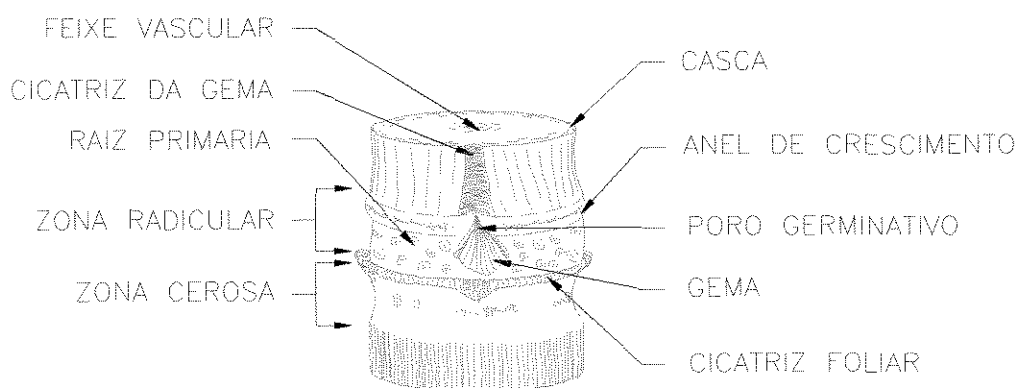


Figura 15: Morfologia do nó e entrenó da cana-de-açúcar (COPERSUCAR, 1991)

As gemas que possuem os poros germinativos estão dispostas radialmente nos nós dos toletes e, segundo a variedade, apresentam pouca ou grande saliência. Quando estas gemas são danificadas, as mudas perdem seu poder germinativo. Logo, assume-se que a carga que pode suportar a cana deve possuir uma magnitude tal que provoque a menor deformação possível.

5.2 - Modelo estrutural do colmo submetido a cargas radiais

Inicialmente para a simulação do escoamento de peças cilíndricas em caçambas para alimentação de plantadoras de canas, foi considerado um modelo reticulado com as seguintes hipóteses:

1 - a cana é constituída por barras dispostas radialmente desde o centro até a superfície, cujo comportamento mecânico pode ser representado com um nó de pórtico plano no extremo correspondente ao centro do tolete e um nó de treliça ou articulação no extremo de contato entre toletes ou com vínculos externos, ou seja, são barras de comportamento mecânico entre treliça e pórtico.

2 - o comportamento mecânico de uma barra para uma configuração é igual para outras configurações, portanto, pode-se saber para qualquer configuração estrutural as cargas atuantes nos pontos de contato, ou seja, no nó de treliça.

Este modelo mostrou-se insuficiente para representar configurações complexas, já que somente podiam ser estudadas configurações de dois e três barras dispostas radialmente. Ou seja, para estudar os arranjos onde necessitava-se de quatro, cinco e seis barras, o modelo não reproduzia os ensaios.

Para contornar essa condição e aproveitando as observações feitas no trabalho já desenvolvido, propõe-se uma configuração estrutural alternativa, também reticulada, mas com maior número de barras dispostas circunferencialmente em configuração semelhante à estrutura fibrosa da periferia

do colmo de cana. (Figura 15)

Um modelo geométrico que oferece bastante flexibilidade para simular os pontos de contatos nos arranjos possíveis de acontecer durante o escoamento é a estrutura poliédrica com doze lados da Figura 16.

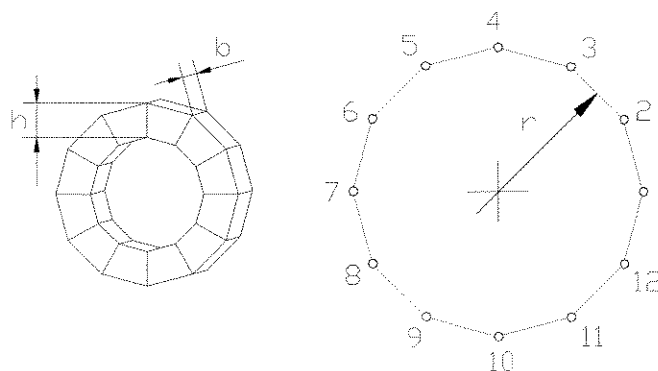


Figura 16: Modelo geométrico da seção transversal

O modelo estrutural reticulado de 12 barras apresenta igual número de nós distribuídos uniformemente a intervalos de 30 graus sobre um raio médio de 15 mm. As barras apresentam uma seção transversal tal que proporcionam um anel com espessura de um milímetro ($b = 1$) e largura de sete milímetros ($h = 7$).

5.3 - Condições de vínculo para os ensaios de compressão

Três condições de apoio foram utilizadas nos ensaios de laboratório, visando gerar os dados necessários para estimar os parâmetros do modelo de comportamento mecânico radial da cana e, paralelamente, viabilizar a validação do modelo sob condições de apoio próximas das condições de contato entre canas na caçamba da plantadora. As referidas condições foram denominadas de diametral, triangular-30° e triangular-60°, as quais passam a ser descritas a seguir.

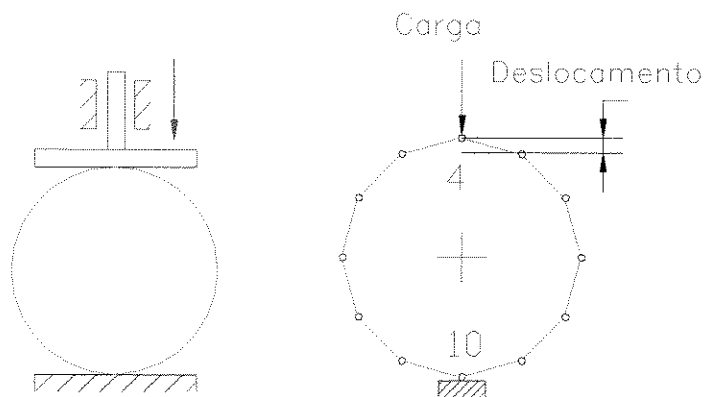


Figura 17: Condição de apoio e carga do Ensaio Diametral

No ensaio diametral, um colmo é apoiado entre duas superfícies planas paralelas que aplicam uma carga diametral. Apenas os deslocamentos dos nós 4 e 10 são conhecidos, já que o deslocamento vertical do nó 4 é medido e o deslocamento do nó 10 é nulo, Figura 17.

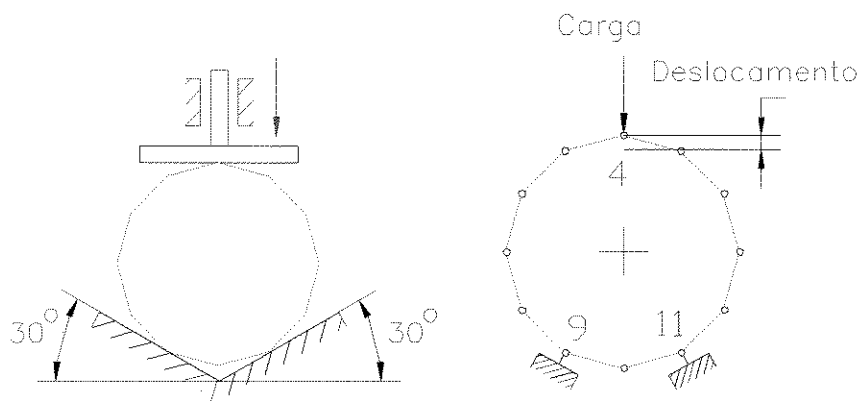


Figura 18: Condição de apoio e carga do Ensaio Triangular-30°

O Ensaio triangular-30° correspondente a um tolete apoiado em duas superfícies inclinadas em 30 graus com relação à horizontal, Figura 18.

O vínculo selecionado permite rotação dos nós e restringe os deslocamentos na direção horizontal e vertical. Portanto, sabe-se que nos apoios os deslocamentos horizontal e vertical são nulos.

O Ensaio Triangular-60° corresponde a um tolete apoiado em duas superfícies inclinadas 60 graus com a horizontal. Seu modelo estrutural apresenta apoios articulados nos nós 8 e 12, com a carga aplicada no nó 4, Figura 19.

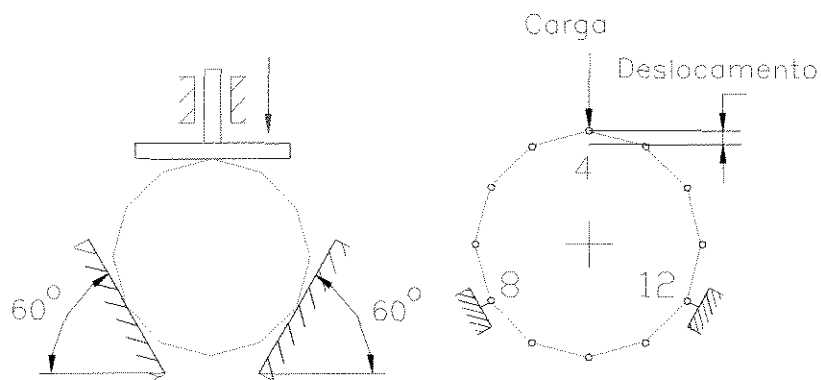


Figura 19: Condição de apoio e carga do Ensaio Triangular-60°

Neste caso, o vínculo selecionado permite rotação dos nós e restringe os deslocamentos na direção horizontal e vertical. A situação dos vínculos é semelhante ao ensaio anterior, apenas variando os pontos de apoio do modelo.

VI - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia proposta foi desenvolvida e realizada em uma seqüência lógica de necessidades de seus resultados. Por conseguinte, os resultados serão apresentados nessa ordem.

6.1 - Modelagem da seção transversal do tolete da cana-de-açúcar

6.1.1 – Peso próprio

A cana-de-açúcar, por ser um material biológico, apresenta propriedades mecânicas variáveis no sentido longitudinal do colmo, bem diferenciadas entre o entrenó e o nó. Portanto, para a realização dos ensaios foi preciso dividir o tolete em duas partes denominadas entrenó e nó.

A carga que atua sobre os toletes na boca de saída da caçamba é o peso próprio. Portanto, durante o processo de preparação, as amostras foram pesadas, determinando o valor da densidade do colmo com um intervalo de confiança de 98% como: $1050 \pm 2 \text{ Kg/m}^3$.

Visando compensar o núcleo oco do modelo geométrico da Figura 16 foi determinada uma densidade equivalente para oferecer o peso real da cana-de-açúcar.

6.1.2 – Ensaios de compressão radial

O gráfico 1 apresenta os resultados dos ensaios de compressão diametral e triangular-30° para a região do entrenós de colmos de cana-de-açúcar.

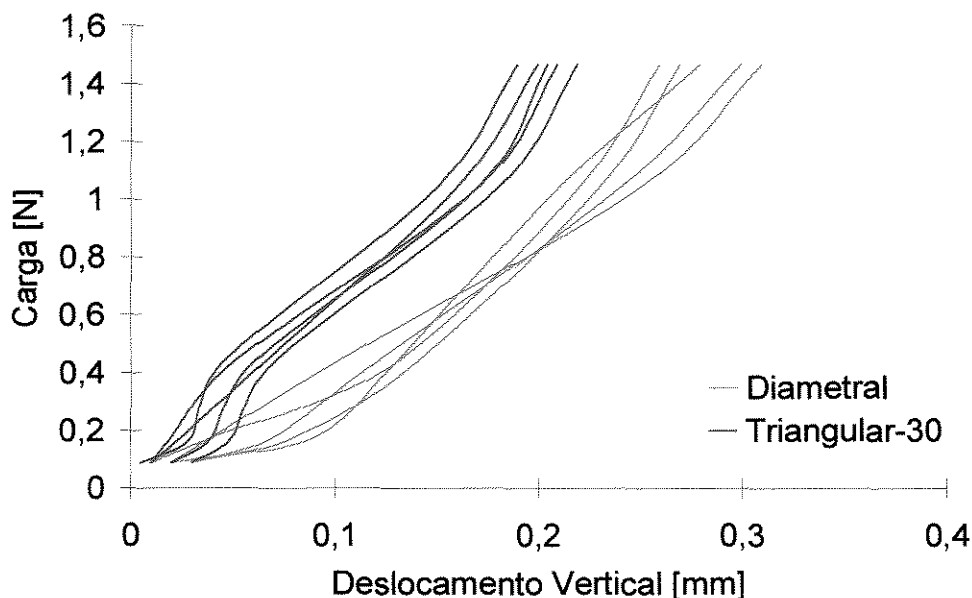


Gráfico 1: Comportamento mecânico de entrenó carregado radialmente no nó 4 com contato diametral e triangular-30°.

A construção das curvas do gráfico 1 foi realizada posicionando os valores de deslocamento e força obtidos do ensaio de cinco amostras do entrenó para as condições de ensaio diametral e triangular-30°. Os valores detalhados encontram-se nas Tabelas 1 e 2 do Anexo 2. Para uma melhor visualização da tendência do comportamento mecânico das amostras os dados foram unidos, formando curvas, mediante os recursos de *spline* cúbica da planilha *EXCEL*.

Da observação do comportamento mecânico das amostras do entrenó pode-se comentar:

- para pequenos valores de carga não existe diferença entre os deslocamentos do nó 4 para as três condições de apoio. Isto é produto do fato que na superfície da amostra existirem irregularidades ou diferenças na quantidade de cera acumulada.
- para cargas acima de 0,3 N, o ensaio diametral apresenta maiores

deformações que o triangular-30⁰, ou seja, o maior número de pontos de apoio da estrutura provocou, como esperado, um aumento de rigidez.

Os dados de comportamento mecânico correspondentes às amostras dos nós apresentaram maior dispersão que as amostras dos entrenós. Esta dispersão não permite visualizar correspondência entre comportamentos e tipo de ensaio. Estima-se que este fato é motivado:

- pelas irregularidades da cicatriz foliar e as raízes primárias existentes nas amostras. Estas irregularidades, quando presentes no ensaio, geram baixa rigidez, ou seja, grandes deformações para pequenas cargas aplicadas,
- para valores de cargas maiores, as irregularidades deformam-se passando o contato a toda a superfície do nó. Nesse ponto, a rigidez aumenta significativamente. Em geral, o nó possui maior rigidez que o entrenó.

A dispersão observada nos dados dos ensaios dos nós determinaram a não utilização dos mesmos para a caracterização do modelo de comportamento mecânico. Propõe-se sua análise em estudos futuros.

6.1.3 – Modelagem do Comportamento Mecânico de Toletes Carregados Radialmente

Da observação dos resultados experimentais, concluiu-se que o modelo de comportamento mecânico deveria ter parâmetros que lhe conferissem flexibilidade suficiente para reproduzir o comportamento não-linear das curvas experimentais do Gráfico No 1.

O maior número de barras do modelo, somado à necessidade de adotar comportamento mecânico não-linear, contribuíram para optar pela utilização dos recursos de otimização disponíveis no programa computacional ANSYS, aproveitando o treinamento já adquirido para a utilização do referido programa computacional.

Após analisar algumas propostas de modelos genéricos de comportamento mecânico, optou-se pelo modelo da equação (1), que apresenta boa flexibilidade para alterar a inclinação ou rigidez da curva $\sigma = f(\varepsilon)$, e simultaneamente pode alterar sua concavidade ou convexidade ao ponto que o processo numérico de otimização possa convergir com boa aproximação aos valores experimentais.

$$\sigma = A (T \varepsilon)^{B/100} \quad (1)$$

Os parâmetros A, T e B da equação (1) representaram as variáveis de projeto. Os valores limites extremos estão apresentados nas equações 2, 3 e 4. A função objetivo a ser minimizada foi a diferença do deslocamento experimental com o deslocamento obtido pelo programa computacional ANSYS, sempre evitando valores negativos do módulo de rigidez instantâneo E_i .

$$0,1 \leq A \leq 5 \quad (2)$$

$$50 \leq B \leq 100 \quad (3)$$

$$15 \leq T \leq 40 \quad (4)$$

O comportamento mecânico não-linear foi incorporado ao modelo estrutural ANSYS utilizando o recurso de tabelas de propriedades (TB,MELAS) juntamente com um elemento plano de barras (BEAM23) apto a simular esse tipo de comportamento com recursos de carregamento incremental para viabilizar a

incorporação do comportamento mecânico não-linear (ANSYS 5.1, 1996). A tabela de propriedades foi montada automaticamente dentro do arquivo de lote, utilizando a equação (1) após cada ciclo do processo de otimização.

Com os modelos das Figuras 17 e 18 confeccionaram-se dois programas *batch* para processamento no pacote ANSYS. Utilizando a otimização e depois de comparar os dados dos ensaios com a resposta do pacote, determinou-se o valor dos parâmetros A, T e B da equação (1) para cada valor de força e deslocamento do nó 4, em ambos os ensaios.

A média dos parâmetros A, T e B foi obtida do conjunto de valores determinados para cada valor de carga. Estas constituem os valores indicados na equação (5) após substituição na equação (1).

$$\sigma = 3,1 (21,67 \varepsilon)^{0,89} = 47,89 \varepsilon^{0,89} \quad (5)$$

onde: σ : tensão ε : deformação específica

No Anexo 3 apresenta-se, a modo de exemplo, o programa *batch* do pacote ANSYS correspondente ao ensaio diametral.

O modelo otimizado da equação (5) apresentou coeficientes de correlação de 0,997 quando aplicado aos dados experimentais do ensaio diametral, e de 0,986 quando aplicado aos dados experimentais do ensaio triangular-30°. Os valores dos coeficientes de correlação demonstraram que o modelo reproduz satisfatoriamente o comportamento mecânico das amostras para os dois ensaios.

6.1.4 - Validação do modelo

O processo de validação consistiu em comparar os resultados dos

deslocamentos do nó 4 obtidos na simulação do modelo estrutural do ensaio triangular-60° com os deslocamentos medidos no ensaio experimental.

O gráfico 2 apresenta em linhas contínuas os dados experimentais e em linhas tracejadas o resultado da simulação. As curvas do gráfico correspondem a cinco amostras do entrenó para o ensaio triangular-60° cujos valores estão relacionados na Tabela 3 do Anexo 2. Para uma melhor visualização do comportamento mecânico das amostras os dados foram unidos, formando curvas, mediante os recursos de *spline* cúbica do *EXCEL*.

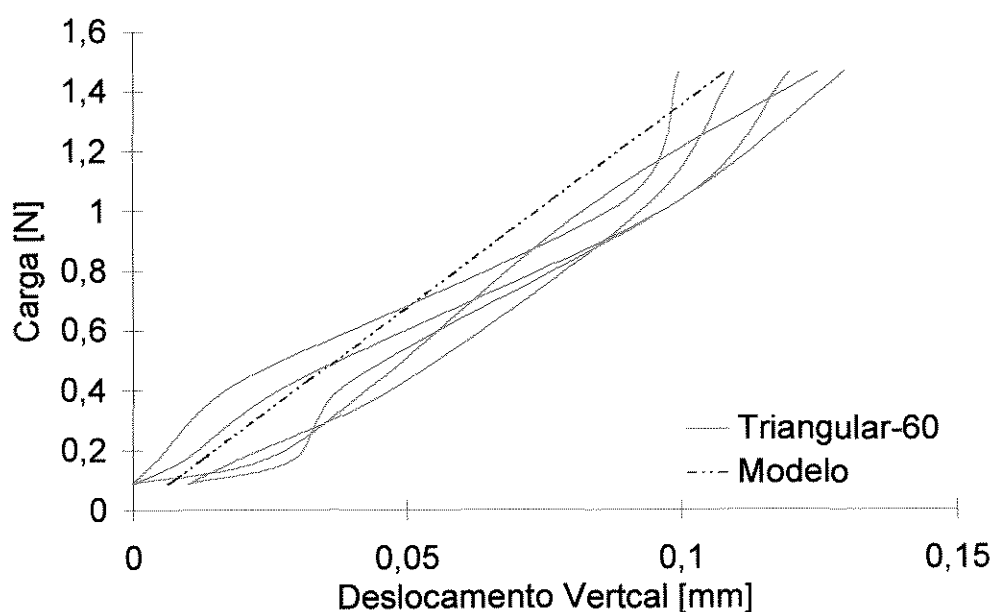


Gráfico 2: Comparação do modelo com ensaio triangular-60°

Os valores obtidos pelo modelo possuem um coeficiente de correlação de 0,976 em relação aos resultados do ensaio experimental. Os resultados do coeficiente de correlação obtidos permitem aceitar a equação (5) como o modelo de comportamento mecânico da seção transversal do tolete de cana-de-açúcar.

6.2 - Modelagem do fenômeno de escoamento

6.2.1 - Coeficientes de Atrito

Para a análise do escoamento é preciso determinar quais são as forças que surgem nos pontos de contato entre as mudas e entre estas e as laterais. Comparando estas forças com as forças de atrito, pode-se analisar se existe condição de escoamento. Portanto, é preciso conhecer o coeficiente de atrito estático entre as superfícies em contato (Cana-Cana e Aço inox-Cana). Este último coeficiente surge por considerar que o material construído para a lateral será aço inox devido à ação corrosiva do caldo de cana.

6.2.1.1 - Resultados

As características geométricas das amostras ensaiadas podem ser vistas na Tabela 1 do Anexo 3.

Os valores medidos do cateto adjacente para o coeficiente de atrito Aço-Cana encontram-se na Tabela 2 do Anexo 3. Os valores medidos do cateto adjacente para o coeficiente de atrito Cana-Cana encontram-se na Tabela 4 do Anexo 3.

O coeficiente de atrito aço-cana foi de 0,59 com uma ocorrência de 1/100 e o coeficiente de atrito cana-cana foi de 0,73 com uma frequência de 1/80. Tabelas 3 e 5 Anexo 3. Os coeficientes de atrito encontram-se no intervalo, que se mostra, com um nível de confiança de 95,0%.

- Cana-Cana = 0.44 ± 0.03
- Cana-Aço Inox = 0.42 ± 0.02

6.2.2 - Modelo estrutural de escoamento simples

Encontrado o modelo estrutural para um tolete, construiu-se os arranjos romboédricos bidimensionais com ângulos de inclinação da lateral com a horizontal de 30 e 60 graus. Os modelos estruturais são denominados simples devido a que seus arranjos são formados por apenas três até oito mudas. Estes arranjos apresentam duas disposições possíveis das mudas na boca de descarga: a primeira delas com dois toletes e a segunda, com três.

A análise do equilíbrio estático de dois toletes perfeitamente cilíndricos localizados na boca da caçamba tem correspondência com um tolete localizado na boca que apresenta raio de curvatura $1 \times 10^{-3} \text{ mm}^{-1}$, diâmetro da muda 30 mm e comprimento de 500 mm, proposto nas condições iniciais do projeto. A variante de três toletes representaria a outra possível situação para garantir o escoamento das mudas sem travas na boca de descarga.

Para os modelos estruturais simples formulou-se as seguintes hipóteses:

- 1 - por ser uma análise estática, os pontos de união das mudas com a lateral e entre elas são assumidos como articulações,
- 2 - como carga externa atuante foi considerado o peso próprio dos cilindros de cana-de-açúcar, segundo seu volume pela densidade equivalente.

Devido a complexidade dos cálculos para a determinação das forças foram construídos os modelos através do pacote *ANSYS*. Os resultados das forças do modelo estrutural *ANSYS* foram transformados em componentes tangenciais e normais às superfícies nos pontos de contato, utilizando planilhas *EXCEL*. (ver Anexo 5)

As tabelas que apresenta o Anexo 5 mostram as forças normais e tangenciais nos pontos de contato segundo um sistema de referência de coordenadas localizado no nó e o critério de estabilidade.

6.2.2.1 - Modelos estruturais com separação de duas mudas

Os modelos com duas mudas na boca de descarga apresentam os seguintes arranjos.

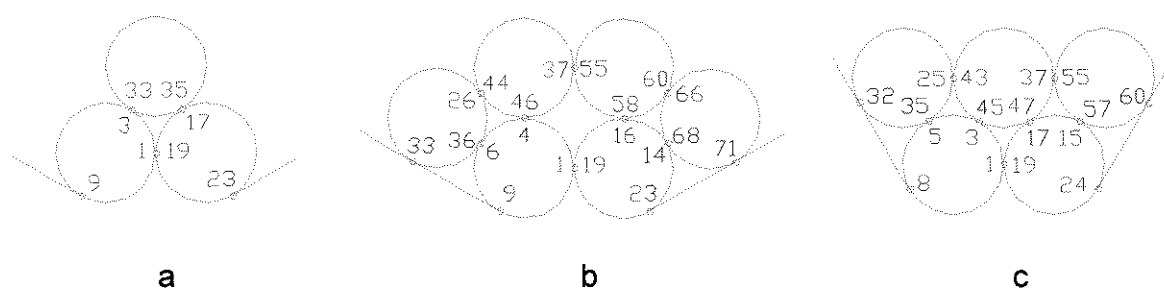


Figura 20: Arranjos com duas mudas na boca de descarga

As Figuras 20a e 20b apresentam arranjos com lateral inclinada de 30 graus. A Figura 20c apresenta um arranjo com inclinação de 60 graus na lateral. Os nós foram numerados para a identificação de cada muda e sua análise de estabilidade.

O resultado obtido para o arranjo da Figura 20a pode ver-se na Tabela 1. Observe-se que em todos os pontos de contato do arranjo existe estabilidade. Por conseguinte não existe escoamento das mudas. Mediante experimentação pode-se obter a mesma conclusão.

Os arranjos das Figuras 20b e 20c não apresentam o mesmo critério de estabilidade em todos os pontos de contato. O arranjo da Figura 20b apresenta os pontos de contato 60-66; 16-58 e seus simétricos em condição de instabilidade

permanecendo o resto dos pontos em contato estáveis. No arranjo apresentado na Figura 20c existe apenas um ponto de contato estável. Os resultados das forças estão nas Tabelas 1 e 2 do Anexo 5.

Tabela 1: Forças obtidas do pacote ANSYS para o arranjo da Figura 20a

Reações entre canas			
Nó	Forças [N]		Critério de Estabilidade
	Normal	Tangencial	
1	0,00415	0	ESTÁVEL
19	0,00415	- 0	ESTÁVEL
3	0,00450	- 0,00012	ESTÁVEL
33	0,00450	- 0,00012	ESTÁVEL
17	0,00450	0,00012	ESTÁVEL
35	0,00450	0,00012	ESTÁVEL
Reações entre cana e lateral			
Nó	Forças [N]		Critério de Estabilidade
	Normal	Tangencial	
9	0,01322	0,00012	ESTÁVEL
23	0,01322	-0,00012	ESTÁVEL

Embora a análise estrutural não pode fornecer um resultado sobre o escoamento destes arranjos, os ensaios demonstraram que não acontece movimentação das mudas, permanecendo em equilíbrio. Portanto, pode-se concluir que os arranjos com duas mudas na saída da boca de descarga não permitem o escoamento, tanto para laterais com 30 graus de inclinação como para 60 graus.

6.2.2.2 - Modelos estruturais com separação de três mudas

Os modelos com três mudas na posição de saída na boca de descarga apresentam os arranjos observados nas Figuras 21a, 21c e 22a. Sendo que as duas primeiras correspondem a arranjos com disposição da lateral em 30 graus e

a última em 60 graus.

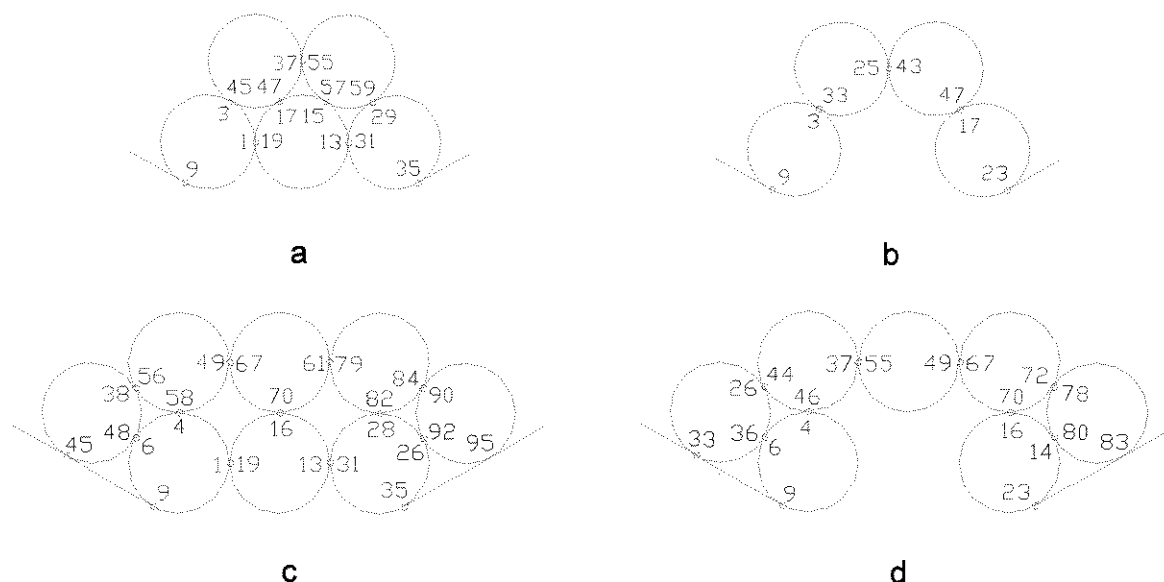


Figura 21: Arranjos com saída para três mudas. Lateral inclinada 30 graus.

Os pontos de contato dos arranjos formados nas Figuras 21a e 21c apresentam em sua maioria instabilidade. As forças obtidas demonstram que a muda que está no centro destes arranjos possui instabilidade em todos seus nós e, por conseguinte, desce. Quando isso acontece o arranjo muda sua configuração adotando as que aparecem nas Figuras 21b e 21d.

O arranjo da Figura 21b apresenta instabilidade já que pode-se considerar como um mecanismo de cinco barras. Por este motivo não apresenta resultados o pacote *ANSYS*. Logo, pode-se concluir que as mudas escorregam.

Quando a muda central desce e é adotada a configuração da Figura 21d os pontos em contato apresentam diferença no critério de estabilidade. Por conseguinte, não pode-se concluir que ocorre o escoamento. O resultados das forças está apresentado nas Tabelas 3, 4 e 5 do Anexo 5.

Ensaio demonstraram que estes tipos de arranjos apresentam

instabilidade, escorregando sua mudas quando liberadas à ação de seus pesos próprios.

O arranjo de três mudas na saída da boca da caçamba com inclinação da lateral de 60 graus observa-se na Figura 25a

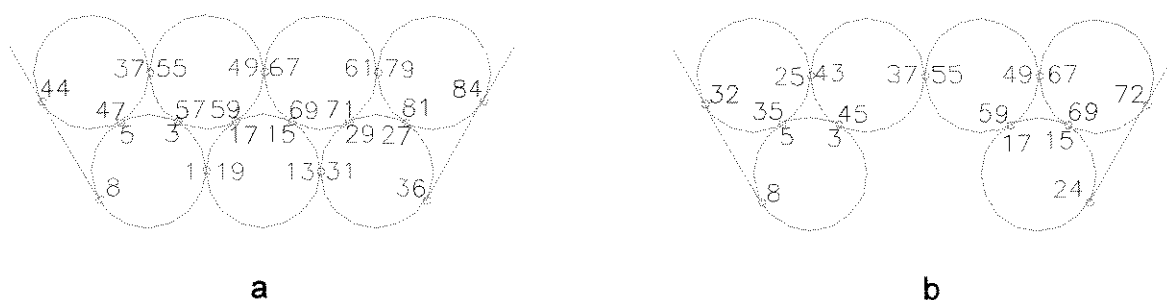


Figura 22: Arranjos com saída para três mudas. Lateral inclinado 60 graus.

O arranjo apresentado na Figura 22 possui sua muda central inferior com instabilidade em todo os pontos de contato. Por conseguinte, a muda desce adotando o arranjo da Figura 22b. A nova configuração não apresenta o mesmo critério de estabilidade que permita uma conclusão de seu escoamento.

Como conclusão geral, os arranjos com separação para três mudas na saída da boca de descarga apresentam instabilidade, logo garantem o escorregamento das mudas.

Ensaio com amostras permitiram observar que arranjos com esta configuração apresentam instabilidade escorregando suas mudas. Por conseguinte, pode-se concluir que os arranjos com três mudas localizadas na boca de saída apresentaram instabilidade, o que garante o escoamento.

6.3. - Modelos estruturais de escoamento

Sabendo que os modelos estruturais com duas mudas na saída da boca de

descarga apresentam uma situação de equilíbrio, serão analisados arranjos complexos com três mudas dispostas na saída.

No processo de ordenamento descrito no capítulo anterior, pressupõe-se que as mudas fiquem ordenadas perto da boca de descarga. Logo, considerou-se que entre 24 e 29 mudas ficariam ordenadas no arranjo.

Observe-se no Anexo 6 os arranjos formados. Apresentam-se cinco configurações para a lateral disposta com uma inclinação de 30 graus e uma configuração para a lateral a 60 graus.

As canas não ordenadas dentro da caçamba são consideradas como carga distribuída atuando no centro de cada tolete situado na superfície do arranjo.

O processo de simulação foi analisado para diferentes cargas, obtendo-se os seguintes resultados:

- 1 - para um mesmo valor de carga aplicada, os toletes dispostos sobre a lateral com inclinação de 30 graus apresentaram uma deformação 25% maior que os toletes com lateral de 60 graus.
- 2 - a capacidade da caçamba deve aceitar no máximo 1196 mudas ordenadas. Uma maior quantidade provocaria deformações muito grandes nas mudas, comparada com a deformação máxima assumida de 0,35 mm.
- 3 - a relação entre a força tangencial e a força normal no caso da lateral com ângulo de inclinação de 60 graus é superior à lateral com ângulo de 30 graus. Isto faz com que as condições para o escoamento sejam superiores para 60 graus de inclinação da lateral.

6.4 - Análises do princípio mecânico de ordenamento.

6.4.1 - Projeto, fabricação e montagem do conjunto ordenador.

De acordo com as considerações iniciais do projeto, o conjunto ordenador está composto por duas laterais que se movimentam no sentido contrário ao fluxo da cana-de-açúcar. Estas laterais foram projetadas com correntes de rolos de duas polegadas de passo. Sobre as abas das correntes foram colocadas ripas que conformam a esteira e sobre estas as taliscas que proporcionam a movimentação dos toletes.

O conjunto ordenador possui três subconjuntos como se mostra na Figura 23. Uma vista frontal do conjunto pode-se observar na foto da Figura 24.

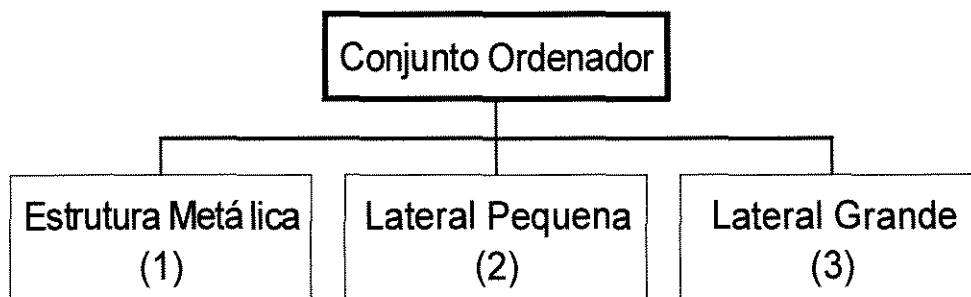


Figura 23: Organograma geral do conjunto ordenador

As laterais possuem igualdade construtiva, estando sua diferença no fato de um ser menor que outro. Na parte superior das laterais existem três esteiras rolantes de madeira e na parte inferior, duas.

As laterais estão montadas sobre uma estrutura de vigas quadradas com sistema de apoios móveis nos eixos superior e inferior das laterais. Os apoios foram projetados de forma tal que permitem realizar a avaliação de desempenho para distintas posições das laterais.

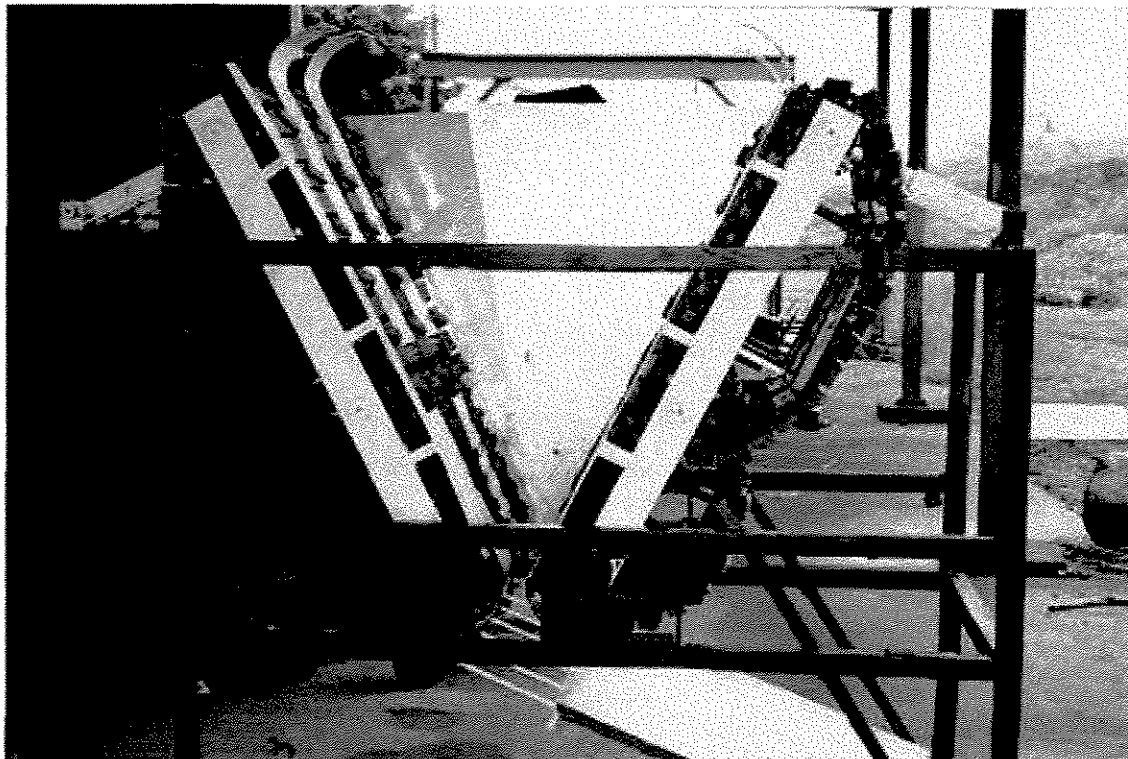


Figura 24: Foto do conjunto ordenador projetado

Uma unidade hidrostática proporciona o torque necessário para o giro das laterais. O sistema de forças parte da unidade até o eixo superior da lateral pequena realizando uma redução da velocidade de rotação. Do eixo superior da lateral pequena saem correntes até um inversor de rotação formado por engrenagens e deste até o eixo superior da lateral grande.

Dentro das laterais, o sistema de forças parte do eixo intermediário através das esteiras superiores. O eixo intermediário imprime movimentação sobre a esteira inferior.

6.4.2 - Avaliação de desempenho do conjunto ordenador.

Para a realização dos ensaios foram tomados toletes de cana-de-açúcar da variedade SP 79 - 2233. As características geométricas destes toletes podem ser

vistas na Tabela 1 do Anexo 7. Os comprimentos encontram-se no intervalo de 439 a 559 milímetros e os diâmetros no intervalo de 15.1 a 32.7 milímetros.

O planejamento experimental foi feito para duas angularidades da lateral, três posições na abertura da boca de saída e duas velocidades de rotação dos eixos laterais.

As duas posições angulares foram tomadas nas condições extremas do conjunto. Os valores angulares têm como base de medição os centros dos eixos da esteira. (Figura 25). Em cor negra esta a posição angular um e em azul a posição angular dois.

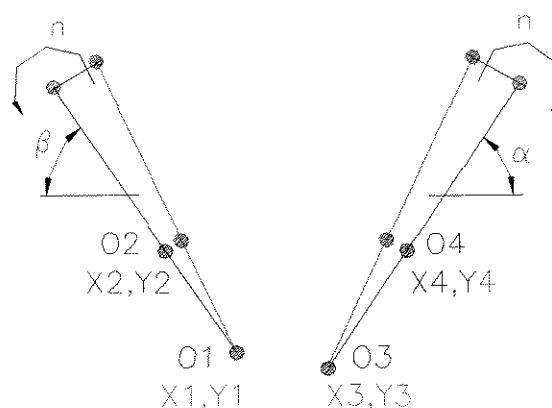


Figura 25: Condições de ensaios e medições geométricas

Tabela 2: Coordenadas dos centros dos eixos para as duas posições angulares.
(Valores em milímetros)

Centro	Posição angular I		Posição angular II	
	X	Y	X	Y
O ₁	667	100	667	100
O ₂	447	372	522	400
O ₃	912	58	912	58
O ₄	1127	373	1074	400
α	55,7°		64,7°	
β	51,0°		64,2°	

A Tabela 2 apresenta os valores das coordenadas (X e Y) medidas e os ângulos de inclinação calculados segundo equações 6 e 7.

$$\alpha = \text{Arc tan} \left(\frac{Y4 - Y3}{X4 - X3} \right) \quad (6)$$

$$\beta = \text{Arc tan} \left(\frac{Y2 - Y1}{X1 - X2} \right) \quad (7)$$

A eleição das posições para a boca de saída fundamenta-se nas condições geométricas que se observam na Figura 30.

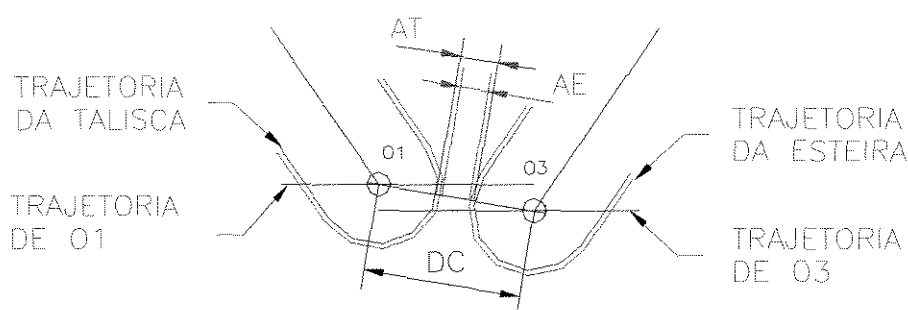


Figura 26: Condições geométrica da boca de descarga.

As posições foram tomadas variando o centro do eixo O3, ou seja, somente foram alterados os valores do ângulo alfa. A Tabela 3 mostra os valores da distância entre centros (DC), abertura da esteira (AE) e abertura da talisca (AT). A modo de exemplo e para mostrar o pouco que afeta esta variação a posição angular, mostra-se a variação do ângulo alfa para posição angular um.

Tabela 3: Valores das posições geométricas na boca de saída.

Pos.	DC	AE	AT	$\alpha (PA - I)^0$
1	238.3	56.3	36.3	55.5
2	241.4	59.4	39.4	55.7
3	244.4	62.4	42.4	55.8

As posições de abertura da lateral foram escolhidas segundo o espaço que fica entre o percurso da esteira e o percurso das taliscas no lugar mais estreito da boca de saída. A posição dois representa a posição central do conjunto sendo que a posição um está três milímetros mais fechada na trajetória de O_3 e a posição três está três milímetros mais aberta.

A primeira posição supõe que uma muda pode passar entre taliscas não permitindo o passo de duas entre as esteiras. A segunda posição faz com que a possibilidade de dosagem seja muito maior. A terceira posição permite o passo de duas mudas entre as esteiras.

As duas velocidades escolhidas foram 28 e 50 rpm medidas no eixo superior da lateral pequena. Estas rotações representam como média nas taliscas velocidades de 0,27 e 0,48 m/Seg, respetivamente. Não considerou-se a velocidade da talisca como parâmetro de controle devido a sua variabilidade. Esta variabilidade está provocada pela entrada dos elos aos lados de um polígono constituído pela roda dentada.

Além das três variabilidades descritas, analisou-se o que acontecia com maior o menor número de canas ordenadas na boca de saída. Por conseguinte foram analisadas três condições: quando a caçamba estava cheia de canas ordenadas, quando as mudas estavam ordenadas até uma altura correspondentes com a seção de taliscas retas e quando totalmente desordenadas.

As tabelas do Anexo 8 foram confeccionadas em função da posição da boca de saída. A Tabela 1 do Anexo 8 apresenta os resultados da variação da velocidade e posição angular quando a abertura da boca de saída é mais

fechada. A Tabela 3 do Anexo 8 apresenta os resultados com as mesmas variações quando a abertura da boca de saída é a máxima. A Tabela 2 do Anexo 8 apresenta a posição intermédia.

As tabelas do Anexo 8 mostram os resultados das medições da quantidades de mudas dosadas segundo o tempo. Na coluna *ordem* aparecem a quantidades de mudas que caíram em posição ordenada definida com anterioridade. Por fora estão contadas as mudas que passarem pelo ordenador através da boca de saída não ficando retidas no plano inclinado. Na coluna de *observações* aparecem as condições do ordenamento das mudas.

Apesar da interação existente entre todos os parâmetros de controle se tratará de estabelecer a influência que proporciona cada parâmetro controlado com respeito à dosagem e ao ordenamento.

6.4.2.1 - Variação na altura de canas ordenadas dentro da caçamba

Quando a caçamba encontra-se cheia de mudas ordenadas o processo de dosagem acontece perfeitamente e as taliscas inclinadas não provocam desordem na massa de toletes. Esta condição permite a análise do processo de dosagem sem interferência do processo de ordenamento.

Quando existem mudas ordenadas até a altura da seção das taliscas retas os processos de dosagem e ordenamento começa a se interrelacionar. As deficiências surgem na medida em que o nível das mudas ordenadas vão diminuindo até ficar totalmente desordenadas.

Com a caçamba cheia de mudas desordenadas o comportamento do

conjunto ordenador é insatisfatório. O travamento acontece logo após o funcionamento do conjunto.

Concluiu-se que o funcionamento do conjunto ordenador pressupõe que exista sempre um certo nível de mudas ordenadas dispostas na boca de saída.

Pelas condições expostas será feita a análise da avaliação do processo de ordenamento quando o nível de mudas ordenadas encontra-se inicialmente na seção das taliscas retas.

6.4.2.2 - Variação da abertura da boca de saída.

A variação na abertura da boca de saída está diretamente ligada com o processo de dosagem. Existe uma alta sensibilidade para pequenas variações no tamanho da abertura. Observe-se na Tabela 3 que a variação da abertura em relação a posição dois é mais ou menos três milímetros no sentido horizontal.

Quando a abertura da boca de saída está na posição um, ou seja, mais fechada, o processo de dosagem é menor em relação as outras duas posições. O aumento da velocidade diminui o fornecimento de mudas devido a que as taliscas em seu movimento não permitem que desça a massa ordenada. Este comportamento varia em função da angulosidade da lateral, já que, quando o conjunto encontra-se mais fechado, o peso total da massa tem maior incidência sobre as mudas que estão na boca de saída.

Na posição três, ou seja, quando a boca de saída está mais aberta as mudas ordenadas passam com maior rapidez. Isso provoca dificuldade em manter sempre uma massa de toletes ordenados. Esta posição proporciona grandes

desvantagens para manter um nível de mudas ordenadas.

Na posição dois consegue-se uma melhor dosagem e uma retenção de mudas ordenadas na boca de saída que ajuda o processo de ordenamento que acontece na seção de taliscas inclinadas.

6.4.2.3 - Variação da velocidade de deslocamento das laterais

No processo de avaliação de desempenho do ordenador detectou-se que quando a abertura da boca de saída esta na menor posição o aumento da velocidade incide negativamente sobre a dosagem e positivamente no ordenamento.

Com a angulosidade da abertura menor entre as laterais e posição um na abertura da boca de saída a variação da velocidade proporciona maior ordenamento sobre as mudas que encontram-se no centro da massa.

Quando a massa de toletes ordenados encontra-se no nível das taliscas retas o aumento da velocidade proporciona uma rápida descida das mudas ordenadas, não permitindo às taliscas inclinadas ordenar as mudas, o que provoca um travamento na dosagem.

6.4.2.4 - Variação da angulosidade da lateral

Com maior abertura da angulosidade o processo de ordenamento não acontece. As mudas que estão ordenadas na boca de saída são carregadas pelas taliscas que as movimentam até a parte superior da caçamba. Os toletes desordenados ocupam as posições das mudas ordenadas detendo o processo de dosagem. Este fenômeno é mais problemático na medida em que está fechada a

boca de saída.

Com angulosidade menor o processo de ordenamento dos toletes apresenta um bom comportamento. A movimentação que provocam as taliscas na massa de toletes atinge os toletes que encontram-se no centro. Devido a existência de toletes ordenados na saída os demais são obrigados a tomar a mesma posição.

6.4.2.5 - Travamentos e paradas

Durante o processo de avaliação de desempenho o conjunto apresentou travamentos que não puderam ser destravadas por ele mesmo. Estes fenômenos impossibilitaram a medição do destravamento das mudas.

O movimento da massa de toletes e o movimento das esteiras de taliscas retas não obriga à posição de ordenado ao tolete que encontra-se apoiado no plano entre esteiras. O movimento deste tolete torna-se muito lento e chega em posição vertical até o plano inclinado que o conduz ao dosador; por tal motivo foi preciso ranhurar o plano inclinado para permitir o passo das mudas. Não obstante, quando pequenos grupos (3 ou 4) atingiam essa posição, detinha-se a movimentação.

As paradas foram ocasionadas por quebra de taliscas ou ripas. O sistemas de forças que surge durante o ordenamento faz com que as taliscas quebrem pela linha formada pelos parafusos que as unem às abas da corrente.

6.5 – Avaliação dos danos mecânicos que o conjunto ordenador provoca nas mudas

Os resultados dos ensaios de brotação indicaram que não existem

diferenças estatisticamente significativas entre os blocos (germinadores) ou entre os tratamentos (ordenador) a um nível de significância de 5%. A Tabela 4 apresenta os resultados totais para as duas variedades, 21 dias após o plantio. Verifica-se que apesar de não existir diferença estatisticamente significativa, há um número menor de gemas germinadas quando as mudas passam pelo germinador.

Tabela 4: Resumo do efeito do ordenamento sobre a brotação de duas variedades

	SP 79 2233		SP 80 3530	
	T	G	T	G
NP	101	63	125	91
%	62,38		72,80	
P	102	63	120	78
%	61,76		65,00	

Embora não possam ser comparadas as variedades do ponto de vista da brotação, podem-se comparar as magnitudes das diferenças percentuais provocadas pelo tratamento de ordenamento em cada variedade. A variedade SP 79-2233, que apresenta gemas menos salientes, sofreu uma redução de 0,62% na brotação, sendo que a variedade SP 80-3530, com gemas maiores, teve redução de 7,8%. Isso indica que o conjunto ordenador danificou mais a variedade com gemas mais salientes.

O controle da brotação iniciou-se no sétimo dia após o plantio e prosseguiu até o 21º dia. As Tabelas 1 e 3 do Anexo 10 mostram os resultados da contagem de gemas germinadas aos 7º, 10º, 14º, 17º e 21º dia após o plantio.

Os resultados para a variedade SP79-2233 estão resumidos na Tabela 5, segundo os germinadores empregados, designados pelos números de 1 a 3. As mudas testemunhas são identificadas com as letras NP e as mudas que passaram pelo ordenador com a letra P. As letras T e G indicam total de gemas plantadas e quantidades de gemas germinadas, respectivamente.

Tabela 5: Número de gemas brotadas por germinador da variedade SP79-2233

		Germinador		
		1	2	3
NP	T	34	38	29
	G	24	25	14
P	T	38	37	27
	G	24	23	16

As mudas da variedade SP79-2233, que passaram pelo ordenador, brotaram com maior rapidez segundo pode-se observar no gráfico 3, o que pode indicar que a ação mecânica do ordenador alterou a dormência das gemas.

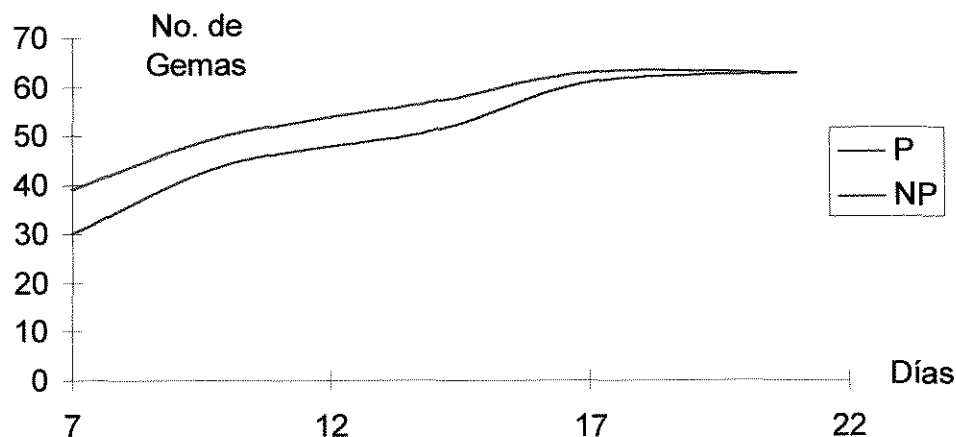


Gráfico 3: Evolução da brotação na variedade SP79-2233

A análise estatística dos resultados desta variedade mostram que não existe diferença entre os blocos e entre os tratamentos ao nível de significância

do 5%. Os dados das contagens efetuadas 21 dias após o plantio estão relacionados na Tabela 6 do Anexo 10.

Os resultados para a variedade SP 80-3530 estão resumidos na Tabela 6 para os germinadores identificados com os números de 4 a 6, diferentes dos correspondentes à variedade SP 80-3530.

Tabela 6: Número de gemas brotadas por germinador da variedade SP 80-3530

		Germinadores		
		4	5	6
NP	T	44	46	35
	G	26	40	25
P	T	44	44	32
	G	23	37	18

Analisando os efeitos do ordenamento sobre a brotação da variedade SP80-3530 pode-se observar no gráfico 4 que as mudas que passaram pelo ordenador tiveram menor brotação. Esta condição não pressupõe danos já que o efeito não é estatisticamente significativo.

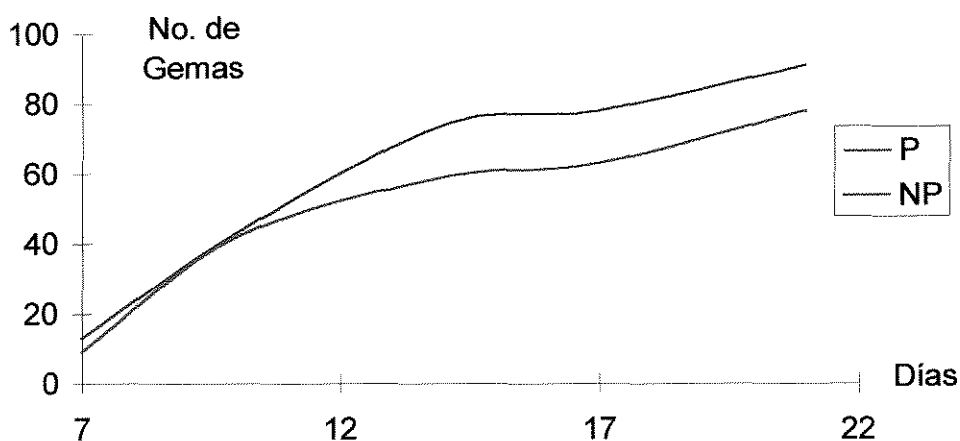


Gráfico 4: Evolução da brotação na variedade SP 80 3530.

A análise estatística dos resultados desta variedade mostra que não existe diferencia entre os blocos e entre os tratamentos ao nível de significância do 5%. Os dados das contagens efetuadas 21 dias após o plantio estão relacionados na Tabela 8 do Anexo 10.

VII – CONCLUSÕES

1 - O comportamento mecânico de colmos de cana carregados radialmente pode ser adequadamente representado através de um modelo estrutural poligonal de doze barras de material com comportamento não linear representado por equação exponencial com três parâmetros.

2- O critério de escoamento baseado na comparação das cargas tangenciais nos pontos de contato com as forças de atrito desenvolvidas permite prever apenas situações extremas de escoamento; modelos de contato mais complexos permitiriam generalizar o critério

3- O processo de avaliação experimental do conjunto ordenador demonstrou que, embora não exista uma independência entre as variáveis controladas, para configurações geométricas das laterais mais fechada existe uma capacidade de ordenamento maior que abertas, ocorrendo o inverso em relação a capacidade de dosagem.

4- O processo de ordenamento através de esteiras com taliscas inclinadas e retas de pequena altura (relativa ao diâmetro da muda) não provoca danos mecânicos estatisticamente significativos, principalmente no caso de variedades com gemas pouco salientes. Testes de brotação demonstraram que o conjunto não proporciona danos mecânicos nas gemas das variedades analisadas no processo de ordenamento.

VIII - RECOMENDAÇÕES

Modelar o comportamento mecânico no sentido radial assumindo um modelo formado por barras desde o centro até a superfície e barras dispostas na periferia. Isso permitirá conhecer com maior precisão as propriedades mecânicas nas direções angular e radial.

Realização do estudo de incidências das irregularidade da cicatriz foliar primária e gemas no comportamento mecânico do nó da cana-de-açúcar.

Para um estágio maior das incidências geométricas do conjunto dosador proposto deve-se articular as esteiras laterais permitindo uma angulosidade diferente entre a seção de taliscas inclinadas que fazem o ordenamento e as taliscas retas que impedem o travamento na dosagem. Estabelecer o sistema de transmissão de forças de forma que as seções das laterais possam ser independentes.

IX - REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1 - ANSYS; *Theoretical Manual*. Engineering Analysis System. Swanson Analysis Systems Inc. EU. 1996.
- 2 - BALASTREIRE, L. A.; *Máquinas agrícolas*. Editora Malone LTDA. 1987. São-Paulo.
- 3 - CHIRONIS, N. P. "*Machine devices and instrumentation*". McGRAW-HILL Book Company, New York, NY, USA. 1966.
- 4 - ERDMANN, M.; et al. "*Mechanical parts orienting: The case of polyhedron on a table*". Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation v 1 Publ by IEEE, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, USA. 1991. p 360-365.
- 5 - FAROOQ, M., AHMAD, S. I. e MAJID, A., *Developments in Mechanical Planting of Sugarcane*. AMA 1992. Vol 23 No 1.
- 6 - FUNDAÇÃO CARGILL; *Atualização em plantio directo*. Campinas 1985.
- 7 - GALETI, P. A.; *Mecanização agrícola. Preparo do solo*. Campinas: Instituto Campineiro de ensino agrícola. 1981. Edição 1983.
- 8 - GERE J. M., e WEAVER W., *Analysis of Framed Structures*. D. Van Nostrand Co. 1965.
- 9 - GRUPO DE TRABALHO DE MECANIZAÇÃO NO SETOR SUCRO-ALCOOLEIRO (GTMSSA), "*XI Encontro Técnico. Inovações tecnológicas da mecanização no setor Sucro-Alcooleiro*". Ribeirão Preto - SP. Brasil. Abril 1995. p 68 - 86.

- 10 - GRUPO DE TRABALHO DE MECANIZAÇÃO NO SETOR SUCRO-ALCOOLEIRO (GTMSSA), *"XII Encontro Técnico. Perspectivas para o plantio e colheita mecanizada"*. Ribeirão Preto - SP. Brasil. Abril 1996. p 149 - 169.
- 11 - HAN, INHWAN et al. *"Synthesis and experimental validation of dynamic parts-orienting devices"*. Advances in Design Automation - 1992 American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication) DE v 44 pt 1 Publ by ASME, New York, NY, USA. 1992. p 83 - 93.
- 12 - KHALID, M., *Design of FMI Sugarcane Planter*, AMA 1987. Vol 18 No2
- 13 - KHASKHELI, M. U., JAMALI, L. A., RATTAR, F. M. e IBUPOTO, K. A., *Mechanized vs Traditional Cultivation of Sugarcane Crop in Pakistan*. AMA 1991 Vol 22 No 2.
- 14 - MONCEVICZ, PAUL H.; et al. *"Orientation and insertion of randomly presented parts using vibratory agitation"*. American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication) DE v33 Publ by ASME, New York, NY, USA. 1991. p 41 - 47.
- 15 - MORAES, E. E. *Seminário "Tendências e desafios da mecanização agrícola na cultura de cana-de-açúcar."* Associação Brasileira de Mecanização Agrícola (ABRAME) Piracicaba. Abril 1995
- 16 - ORTÍZ CAÑAVATE, J.; *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. Madri: Mundi-prensa 1984.
- 17 - OU-YANG, C. and MAUL, G. P. *"Computer analysis of orientation devices for vibratory bowl feeders"*. Internacional Journal of Production Research v 31 n 3 Mar 1993. p 555 - 578.

- 18 - RICHMOND; *Gravity Hopper Design*. Mechanical Engineering. Jan. 1963.
Pag. 46 - 49.
- 19 - RIPOLI, T. C.; *O Congresso de Cuba: fatos e comentarios* (Reportagem),
STAB
- 20 - SHAKOOR, M. A., TABASSUM, A. y FAROOQ, M., *Efforts to Mechanize
Seeding and Planting Operations in Pakistan*. AMA 1992. Vol 23 No 3.
- 21 - SHARMA, M. P., e KISHAN SINGH, *Desig and Development of a Tractor-
draw Automatic Sugarcane Planter*. AMA 1990 Vol 21 No 3
- 22 - SHARMA, M. P., e KISHAN SINGH, *Mechanization of Sugarcane Ratoon
Culture in Indian*. AMA 1988 Vol 19 No 1.
- 23 - SHUKLA, L. N., TANDON, S. K., y VERMAN, *Development of a Sugarcane
Planter for Developing Countries*. AMA 1984. Vol 15 No 1.
- 24 - STEPANOFF, A. J.; *Gravity flow of Bulk Solids and transportation of solids in
suspension*. John Willey & Sons Inc. 1969.

ANEXO 1: Características geométricas das gemas

Tabela 1: Dimensionamento das gemas da variedade SP 79 2233

Nó Seqüência	Cana 1				Cana 2				Cana 3			
	Diâm.	A	B	C	Diâm.	A	B	C	Diâm.	A	B	C
1	26,8	2,4	8,6	7,8	26,3	1,3	8,8	7,2	25	2	6,8	6,8
2	26,8	1,7	9,3	8,7	27,1	2,1	9,3	8,6	24,3	1,4	7,7	7,2
3	26,5	0,9	8,6	7,8	26,9	1,4	8,1	7,3	24,8	1,2	7,1	6,4
4	26,3	1,1	8,9	7,5	27,1	1,4	9,1	8,1	24,1	1	8,1	6,4
5	26	0,8	8,7	9	26,9	1	8,7	7,4	23,8	1,4	7,8	7,2
6	26,3	0,7	7,8	6,3	27	1,3	8,8	8	23,2	0,5	8,6	7
7	26	0,4	8,4	7,6	27	1,1	9,8	8,3	22,7	0,5	6,9	7,1
8	26,3	0,3	7,7	7,7	26,8	0,9	9,2	8,2	23	0,5	8,3	6,9
9	26,5	0,2	8,8	8	26,2	0,5	8	7,4	22,5	0,6	7,1	6,2
10					25,3	0,8	9,5	7,7	21,5	0,7	8,7	7

onde:

A : comprimento da gema medida na base [mm]

B : altura da gema medida até o extremo de seu crescimento [mm]

C: largura da gema medida na base [mm]

Tabela 2: Dimensionamento das gemas da variedade SP 80 3530

Nó Sequência	Cana 1				Cana 2				Cana 3			
	Diâm.	A	B	C	Diâm.	A	B	C	Diâm.	A	B	C
1	28,7	1,8	8,9	6,5	22,6	0,7	6,6	6,3	24,1	1,9	6,7	6,3
2	28,6	1,6	9	7,3	21,8	0,6	6,1	5,8	23,9	1,2	7,2	6,5
3	29	1,2	7,9	5,6	22,1	0,7	6,1	5,3	24,4	1,2	6,8	6,8
4	27,6	0,9	9,2	6,3	22,3	0,3	6,7	5,6	24,4	1	7,7	6
5	26,6	0,9	8,7	6,1	22,3	0,5	6,2	4,7	25,2	1,1	7,8	7,8
6	26,4	0,9	8,1	6	21,9	0,4	5,2	4,7	25,8	1	8	6,2
7	25	0,5	8,2	6,3	19,8	0,5	5,4	4,7	25,8	0,8	8	6,6
8	26,6	0,7	7,7	6,3	20	0,5	5,7	4,9	25,8	0,9	7,7	5,5
9	26,5	0,4	7,5	6,9	19,2	0,4	6,1	4,1	25,7	0,8	8	6,4
10	27,3	0,4	7,8	6,4	21	0,4	5,7	4,7	25,3	0,7	7,4	6
11	27,2	0,6	8,4	6,6	20,9	0,6	4,3	4,4	25,1	0,7	6,7	5,6
12	27,7	0,3	8,4	6,5	21	0,2	5,5	5	24,1	0,5	6,2	5,2
13	27,7	0,1	7,4	5,4	20,6	0,2	5,5	4,5	25,1	0,6	7,3	6
14	26,9	0,5	7,3	5,8					26,4	0,4	6,5	6,5
15									27	0,5	6,5	6,4
16									27,2	0,2	6,6	6,5
17									26,7	0,2	6,6	6,1

onde:

A : comprimento da gema medida na base [mm]

B : altura da gema medida até o extremo de seu crescimento [mm]

C: largura da gema medida na base [mm]

ANEXO 2: Lista de instrumentos e materiais utilizados nos ensaios

1. Os instrumentos utilizados na realização dos ensaios com as mudas de cana-de-açúcar pertencem ao Laboratório de Propriedades Mecânicas dos Tecidos Vegetais da FEAGRI-UNICAMP e sua listagem encontra-se no Anexo 2

- Parquímetro de 200 milímetros, com menor divisão de 0,02 mm. Marca MITUTOYO. Japan
- Pesos calibrados segundo BNT de 250, 500, 1000 e 5000 gramas
- Comparador centesimal com um milímetro de percurso e menor divisão 0,01 mm. Marca MITUTOYO. Japan
- Dispositivo para medição de cargas verticais
- Dispositivo de planos inclinados para medição de catetos
- Serra de fita mecânica.

2 - Meios de computadores para uso dos software:

- ANSYS
- AutoCad
- Windows

3 - Materiais para a construção do conjunto ordenador

- Perfis, chapas e barras de aços
- Correntes e rodas dentadas
- Elementos de fixação de máquinas

4 - Variedades de cana-de-açúcar de plantio utilizadas atualmente no Brasil.

- SP 79 - 2233
- SP 81 - 3250

ANEXO 3: Resultados dos ensaios de comportamento mecânico dos toletes.

Tabela 1: Ensaio diametral

Força [N]	Repetições [mm]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0862	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02
0,1724	0,08	0,09	0,04	0,07	0,04	0,09	0,04	0,07	0,04	0,08
0,431	0,14	0,13	0,13	0,12	0,1	0,14	0,13	0,13	0,12	0,1
1,0345	0,23	0,21	0,22	0,24	0,25	0,21	0,21	0,24	0,25	0,23
1,4655	0,27	0,28	0,26	0,3	0,31	0,27	0,26	0,26	0,3	0,31

Tabela 2: Ensaio triangular - 30°.

Força [N]	Repetições [mm]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0862	0,01	0,005	0,01	0,02	0,03	0,01	0,005	0,01	0,02	0,03
0,1724	0,02	0,03	0,025	0,04	0,05	0,03	0,025	0,04	0,05	0,05
0,431	0,05	0,045	0,065	0,06	0,07	0,05	0,045	0,065	0,06	0,065
1,0345	0,17	0,15	0,16	0,17	0,18	0,15	0,16	0,17	0,18	0,16
1,4655	0,21	0,19	0,2	0,205	0,22	0,21	0,19	0,2	0,205	0,2

Tabela 3: Ensaio triangular - 60°.

Força [N]	Repetições [mm]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0862	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0
0,1724	0,005	0,01	0,02	0,03	0,025	0,01	0,02	0,03	0,025	0,005
0,431	0,02	0,03	0,05	0,04	0,045	0,02	0,03	0,05	0,04	0,02
1,0345	0,09	0,1	0,095	0,1	0,085	0,1	0,095	0,1	0,085	0,09
1,4655	0,1	0,12	0,11	0,13	0,125	0,11	0,1	0,11	0,13	0,125

ANEXO 4: Exemplo de programa para o pacote ANSYS

```

!Programa para obter os valores dos coeficientes da equação do modulo elástico
/title, Modelo estrutural da seção transversal da cana-de-açúcar
! inicialização das variáveis de otimização para o cálculo
aa=3.1
bb=89
tt=21.67
! =====
! PREPROCESSAMENTO
! =====
/prep7
fuer=1.4655
h=7.0
eps1=0.0
eps2=6e-3
eps3=12e-3
eps4=18e-3
eps5=24e-3
eps6=30e-3
sig1=aa*(tt*eps1)**(bb/100)
sig2=aa*(tt*eps2)**(bb/100)
sig3=aa*(tt*eps3)**(bb/100)
sig4=aa*(tt*eps4)**(bb/100)
sig5=aa*(tt*eps5)**(bb/100)
sig6=aa*(tt*eps6)**(bb/100)
EX0=(sig6-sig1)/(eps6-eps1)
EX1=(sig2-sig1)/(eps2-eps1)
EX6=(sig6-sig5)/(eps6-eps5)
*if,EXX,lt,EX1,then
    EXX=1.3*EX1
*endif
*if,EXX,lt,EX6,then
    EXX=1.3*EX6
*endif
*if,EXX,lt,EX0,then
    EXX=1.3*EX0
*endif
b=1
et,1,beam23
mp,dens,1,12e-7
MP,EX,1,EXX
TB,MELAS,1,1,6
tbtemp,0.0

```

- Valor da força aplicada no nó 4
- Largura do anel
- Valores de deformação específica

- Cálculo da tensão segundo equação descrita

- Processo para determinar o valor inicial do módulo elástico

- Recurso para utilização de módulos elástico variáveis.


```

TBPT,DEFL,eps1,Sig1
a
TBPT,DEFL,eps2,Sig2
TBPT,DEFL,eps3,Sig3
TBPT,DEFL,eps4,Sig4
TBPT,DEFL,eps5,Sig5
TBPT,DEFL,eps6,Sig6
area=b*h
izz=(b*(h**3))/12
r,1,area,izz,h
!
!***** construção do modelo *****
!
csys,1
n,1,15
n,12,15,330
ngen,12,1,1,12,,0,30,0,1
e,1,2
egen,11,1,1
e,12,1
finish
! =====
! SOLUÇÃO
! =====
/solu
antype,static
sstif,on
d,10,ux,0,,,uy,rotz
f,4,fy,fuer
time,1
nsubst,5
outres,basic,last
outpr,basic,last
cnvtol,f,0.0862
solve
finish
! =====
! RESULTADOS
! =====
/post1
etable,stress,ls,1
esort,etab,stress,,1
*get,lim,sort,,max
*get,dmax,node,4,u,y
desl=((dmax+dein)**2)**0.5

```

Construção da tabela que determina

- Tabela da variação do módulo
- outras propriedades mecânicas das barras
- condições de apoio e carga
- obtenção do valor de deslocamento no nó 4

```

finish
! =====
! OTIMIZAÇÃO
! =====
! inicio da otimização
/opt
oparl,cana2,bat,/home/usuarios/abenitez/
opvar,aa,dv,0.1,5          - Variáveis de projeto
opvar,bb,dv,50,100
opvar,tt,dv,15,40
opvar,desl,obj,0.0002      função objetivo
optype,subp
opsubp,50,20
opkeep,on
oploop,prep,process,scalar
opsave,cana,opt,/home/usuarios/abenitez/
opexe

```

ANEXO 5: Tabelas para a determinação dos coeficientes de atrito.

Tabela 1: Caracterização geométrica das mudas

No.	Diâm.	Comp.	Peso	Quant. Nó
1	27	184	111	2
2	25	174	84	3
3	30	136	109	0
4	29	133	101	1
5	28	138	100	1
6	28	146	96	1
7	31	154	131	1
8	28	140	90	1
9	29	141	97	1
10	27	148	91	1

Tabela 2: Valor do cateto adjacente nos ensaios para determinação do Coeficiente de atrito Aço-Cana

No.	Repetições									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	166,7	197,56	188,84	188,86	252,08	210	219,62	208	233,48	196,4
2	205,44	216,1	244,06	227,7	226,82	242,36	235,34	253,34	228	233,12
3	224,52	230,14	202,62	177,74	201,28	202,42	221,22	201,82	209,14	187,48
4	231,28	184,4	235,3	195,32	192,82	242,64	168,78	222,28	267,78	207,32
5	190,64	229,8	219,42	237	224,26	225,58	229,66	228,4	228,2	213,38
6	246,3	248,04	253,6	228,64	235,54	222,16	221,48	226,32	229,62	230,94
7	217,68	217,78	231,72	188,08	196,52	213,12	241,48	213,92	212,66	240,3
8	208,48	272,58	188,72	187,98	152,78	179	232,42	223,74	177,77	169,72
9	248,86	232,9	240,72	233,18	224,62	247,84	227,7	234,78	250,56	219,66
10	255,3	234,8	218,92	221,7	213,72	209,48	216,64	239,42	256,02	201,22

Tabela 3: Coeficientes de atrito Aço-Cana por ensaio

No.	Repetições										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,54	0,46	0,48	0,48	0,36	0,43	0,41	0,43	0,39	0,46	0,44
2	0,44	0,42	0,37	0,40	0,40	0,37	0,38	0,36	0,39	0,39	0,39
3	0,40	0,39	0,44	0,51	0,45	0,44	0,41	0,45	0,43	0,48	0,44
4	0,39	0,49	0,38	0,46	0,47	0,37	0,53	0,40	0,34	0,43	0,43
5	0,47	0,39	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39	0,42	0,41
6	0,37	0,36	0,35	0,39	0,38	0,41	0,41	0,40	0,39	0,39	0,38
7	0,41	0,41	0,39	0,48	0,46	0,42	0,37	0,42	0,42	0,37	0,42
8	0,43	0,33	0,48	0,48	0,59	0,50	0,39	0,40	0,51	0,53	0,46
9	0,36	0,39	0,37	0,39	0,40	0,36	0,40	0,38	0,36	0,41	0,38
10	0,35	0,38	0,41	0,41	0,42	0,43	0,42	0,38	0,35	0,45	0,40

Tabela 4: Valor do cateto adjacente nos ensaios para determinação do Coeficiente de atrito Cana-Cana

No.	Repetições									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	183,36	188,82	165	187,98	221,98	161,82	200,38	226,32	207,78	137,22
2	188,44	123,50	129,58	194,16	231,6	158,54	163,96	200,08	212,26	175,34
3	237,56	228,92	230,36	210,86	186,7	233,72	253,76	237,54	225,38	225,4
4	229,20	206,22	235,36	252,88	226,08	208,32	201,8	226,42	226,26	212,62
7	227,76	222,22	225,82	227,68	232,36	222,86	230,5	226,06	220,88	250
8	232,48	244,42	243,34	250,78	244,06	231,72	223,54	206,96	219,58	226
9	194,58	177,52	174,74	237,44	227,06	250,5	196,22	210,6	236,84	225,54
10	202,58	202,76	191,68	214,98	183,84	215,46	197,18	182,54	212,22	204,06

Tabela 5: Coeficientes de atrito Cana-Cana por ensaio

No.	Repetições										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,49	0,48	0,55	0,48	0,41	0,56	0,45	0,40	0,43	0,66	0,49
2	0,48	0,73	0,69	0,46	0,39	0,57	0,55	0,45	0,42	0,51	0,53
3	0,38	0,39	0,39	0,43	0,48	0,39	0,35	0,38	0,40	0,40	0,40
4	0,39	0,44	0,38	0,36	0,40	0,43	0,45	0,40	0,40	0,42	0,41
7	0,40	0,41	0,40	0,40	0,39	0,40	0,39	0,40	0,41	0,36	0,39
8	0,39	0,37	0,37	0,36	0,37	0,39	0,40	0,43	0,41	0,40	0,39
9	0,46	0,51	0,52	0,38	0,40	0,36	0,46	0,43	0,38	0,40	0,43
10	0,44	0,44	0,47	0,42	0,49	0,42	0,46	0,49	0,42	0,44	0,45

ANEXO 6: Tabelas de resultados dos modelos estruturais de escoamento simples

Tabela 1: Resultados do pacote ANSYS para o arranjo da Figura 20b

ANALISES DAS REAÇÕES NOS NÓS ENTRE CANAS			
NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
1	0,0045044	1,7408E-08	ESTÁVEL
19	0,0045044	-1,741E-08	ESTÁVEL
4	0,0031605	-0,0039468	instável
46	0,0031604	-0,0039467	instável
6	0,00797524	-0,0021291	ESTÁVEL
36	0,00797519	-0,002129	ESTÁVEL
14	0,00797524	0,00212913	ESTÁVEL
68	0,00797519	0,00212904	ESTÁVEL
16	0,0031605	0,0039468	instável
58	0,0031604	0,0039467	instável
26	0,00219888	0,00394672	instável
44	0,00219882	0,00394675	instável
37	0,0038775	3,0977E-09	ESTÁVEL
55	0,0038775	-3,098E-09	ESTÁVEL
60	0,00219882	-0,0039468	instável
66	0,00219888	-0,0039467	instável

ANALISES DAS REAÇÕES ENTRE CANA E LATERAL			
NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
9	0,01574089	0,00607597	ESTÁVEL
23	0,01574089	-0,006076	ESTÁVEL
33	0,00839768	-0,0018178	ESTÁVEL
71	0,00839768	0,0018178	ESTÁVEL

Tabela 2: Resultados do pacote ANSYS para o arranjo da Figura 20c

ANALISES DAS REAÇÕES NOS NÓS ENTRE CANAS

NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
1	-8,062E-05	-1,835E-09	ESTÁVEL
19	-8,062E-05	1,835E-09	ESTÁVEL
3	-0,0008935	-0,000904	instável
45	-0,0008935	-0,000904	instável
5	0,0047742	-0,0093312	instável
35	0,00477447	-0,0093312	instável
15	0,0047742	0,00933125	instável
57	0,00477447	0,00933118	instável
17	-0,0008935	0,00090401	instável
47	-0,0008935	0,00090399	instável
25	0,0039887	0,0050647	instável
43	0,0039885	0,0050648	instável
37	0,0039885	-0,0050648	instável
55	0,0039887	-0,0050647	instável

ANALISES DAS REAÇÕES ENTRE CANA E LATERAL

NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
8	0,01277814	0,01023519	instável
24	0,01277814	-0,0102352	instável
32	0,0004946	0,00426627	instável
60	0,0004946	-0,0042663	instável

Tabela 3: Resultados do pacote ANSYS para o arranjo da Figura 21a

ANALISES DAS REAÇÕES NOS NÓS ENTRE CANAS

NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
1	0,0035045	0,0058681	instável
19	0,0035046	0,0058681	instável
3	0,00929517	-0,0048031	instável
45	0,00929557	-0,004803	instável
13	0,0035046	-0,0058681	instável
31	0,0035045	-0,0058681	instável
15	0,00511592	-0,004803	instável
57	0,005116	-0,004803	instável
17	0,00511592	0,00480303	instável
47	0,005116	0,00480298	instável
29	0,00929517	0,00480311	instável
59	0,00929557	0,004803	instável
37	0,0020899	1,2818E-08	ESTÁVEL
55	0,0020899	-1,282E-08	ESTÁVEL

ANALISES DAS REAÇÕES ENTRE CANA E LATERAL

NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
9	0,02277849	-0,0010655	ESTÁVEL
35	0,02277849	0,0010655	ESTÁVEL

Tabela 4: Resultados do pacote ANSYS para o arranjo da Figura 21c

ANALISES DAS REAÇÕES NOS NÓS ENTRE CANAS			
NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
1	0,0045184	0,0065999	instável
19	0,0045184	0,0065999	instável
4	0,0011306	-0,0084894	instável
58	0,0011307	-0,0084893	instável
6	0,01095592	-0,0055068	instável
48	0,01095525	-0,005506	instável
13	0,0045184	-0,0065999	instável
31	0,0045184	-0,0065999	instável
16	0,0055218	-4,937E-13	ESTÁVEL
70	0,0055219	-4,936E-13	ESTÁVEL
26	0,01095592	0,00550681	instável
92	0,01095525	0,00550605	instável
28	0,0011306	0,0084894	instável
82	0,0011307	0,0084893	instável
38	0,00241289	0,00741105	instável
56	0,00241277	0,00741123	instável
49	0,0068729	0,0010781	ESTÁVEL
67	0,0068728	0,0010781	ESTÁVEL
61	0,0068728	-0,0010781	ESTÁVEL
79	0,0068729	-0,0010781	ESTÁVEL
84	0,00241277	-0,0074112	instável
90	0,00241289	-0,007411	instável

ANALISES DAS REAÇÕES ENTRE CANA E LATERAL			
NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
9	0,02535398	0,00739562	ESTÁVEL
35	0,02535398	-0,0073956	ESTÁVEL
45	0,0069378	-0,001905	ESTÁVEL
95	0,0069378	0,00190502	ESTÁVEL

Tabela 5: Resultados do pacote ANSYS para o arranjo da Figura 21d

ANALISES DAS REAÇÕES NOS NÓS ENTRE CANAS			
NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
4	0,0067025	-0,0085755	instável
46	0,006702	-0,0085755	instável
6	0,01038821	-0,0015773	ESTÁVEL
36	0,01038793	-0,001577	ESTÁVEL
14	0,01038821	0,00157731	ESTÁVEL
80	0,01038793	0,00157702	ESTÁVEL
16	0,0067025	0,0085755	instável
70	0,006702	0,0085755	instável
26	0,00142436	0,00473626	instável
44	0,00142427	0,00473631	instável
37	0,0074405	0,0038389	instável
55	0,0074404	0,003839	instável
49	0,0074404	-0,003839	instável
67	0,0074405	-0,0038389	instável
72	0,00142427	-0,0047363	instável
78	0,00142436	-0,0047363	instável

ANALISES DAS REAÇÕES ENTRE CANA E LATERAL			
NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
9	0,01831797	0,01015235	instável
33	0,0086735	-0,0031595	ESTÁVEL
23	0,01831797	-0,0101524	instável
83	0,0086735	0,00315955	ESTÁVEL

Tabela 6: Resultados do pacote ANSYS para o arranjo da Figura 22a

ANALISES DAS REAÇÕES NOS NÓS ENTRE CANAS

NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
1	-0,0007013	0,0075853	instável
19	-0,0007014	0,0075852	instável
3	-0,002734	-0,0064158	instável
57	-0,0027345	-0,0064159	instável
5	0,00740397	-0,0152219	instável
47	0,00740407	-0,0152218	instável
13	-0,0007014	-0,0075852	instável
31	-0,0007013	-0,0075853	instável
15	0,00254102	0,00309103	instável
69	0,00254138	0,003091	instável
17	0,00254102	-0,003091	instável
59	0,00254138	-0,003091	instável
27	0,00740397	0,01522194	instável
81	0,00740407	0,01522177	instável
29	-0,002734	0,00641584	instável
71	-0,0027345	0,00641592	instável
37	0,0035248	0,0095067	instável
55	0,0035243	0,0095071	instável
49	0,0091194	-7,017E-08	ESTÁVEL
67	0,0091194	7,0167E-08	ESTÁVEL
61	0,0035243	-0,0095071	instável
79	0,0035248	-0,0095067	instável

ANALISES DAS REAÇÕES ENTRE CANA E LATERAL

NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
8	0,02308625	0,01405256	instável
44	-0,0035771	0,00571445	instável
36	0,02308625	-0,0140526	instável
84	-0,0035771	-0,0057145	instável

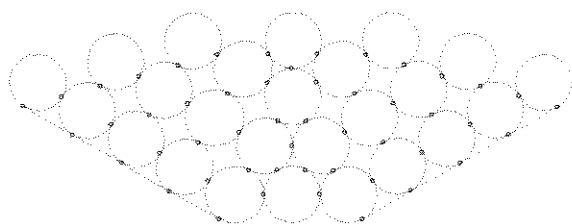
Tabela 7: Resultados do pacote ANSYS para o arranjo da Figura 22b

ANALISES DAS REAÇÕES NOS NÓS ENTRE CANAS			
NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
3	0,0059246	-0,0050935	instável
45	0,00592398	-0,0050936	instável
5	0,00763138	-0,0077401	instável
35	0,00763066	-0,0077393	instável
15	0,00763138	0,00774006	instável
69	0,00763066	0,0077393	instável
17	0,0059246	0,0050935	instável
59	0,00592398	0,00509363	instável
25	0,0015662	0,0050932	instável
43	0,0015659	0,0050934	instável
37	0,0089391	-7,199E-08	ESTÁVEL
55	0,0089391	7,1986E-08	ESTÁVEL
49	0,0015659	-0,0050934	instável
67	0,0015662	-0,0050932	instável

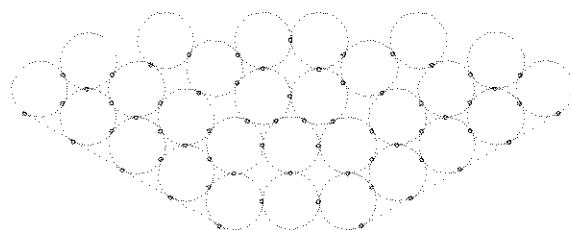
ANALISES DAS REAÇÕES ENTRE CANA E LATERAL			
NODE	Forças		critério de estabilidade
	Normal	Tangencial	
8	0,01925505	0,01283273	instável
32	2,4902E-06	0,00264571	instável
24	0,01925505	-0,0128327	instável
72	2,4902E-06	-0,0026457	instável

ANEXO 7: Arranjos para a análise do modelo estrutural de escoamento

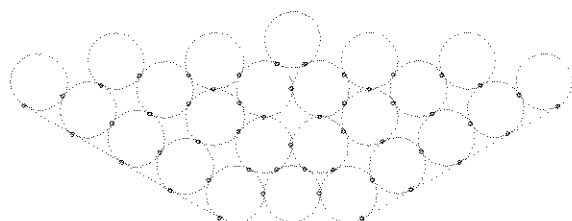
total mudas 25



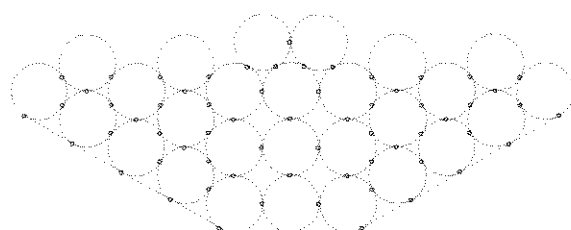
total mudas 28



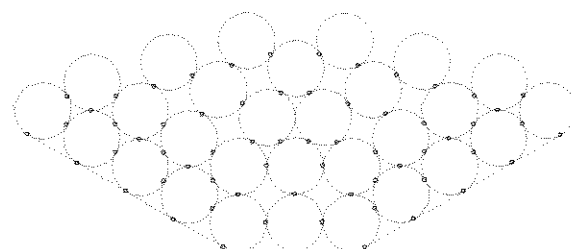
total mudas 24



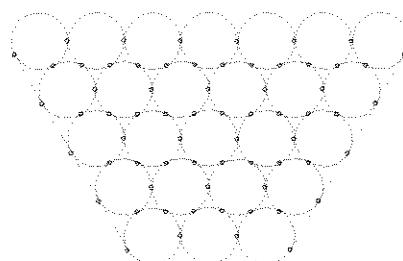
total mudas 27



total mudas 29



total mudas 25



ANEXO 8: Tabelas de colheita de dados para o ordenamento

Tabela 1 : Dados das mudas que participaram no processo de ordenamento.

Comp	Q. Nó	Diâmetros			Média	Comp	Q. Nó	Diâmetros			Média
		1	2	3				1	2	3	
498	4	25,2	27,4	23,2	25,3	527	4	23,6	21,2	21,3	22,0
513	5	25,7	25,1	23,2	24,7	534	6	29,2	32,7	27,6	29,8
534	4	25,8	23,7	25,4	25,0	519	3	24,2	21,8	20,0	22,0
516	7	27,2	26,9	24,3	26,1	529	4	26,5	25,7	24,1	25,4
532	4	23,0	23,5	21,4	22,6	534	4	23,3	21,9	22,9	22,7
516	5	22,6	21,5	22,8	22,3	516	3	17,3	17,0	17,6	17,3
493	5	22,7	22,8	21,0	22,2	532	4	21,4	21,8	19,1	20,8
512	4	21,5	22,2	24,2	22,6	516	5	24,0	25,3	24,2	24,5
509	4	22,2	20,3	22,5	21,7	493	4	20,9	24,7	24,0	23,2
559	6	22,2	20,8	20,2	21,1	512	4	24,0	25,2	24,4	24,5
526	4	19,7	19,5	19,8	19,7	509	6	21,9	24,0	21,2	22,4
439	6	27,5	27,4	28,3	27,7	559	4	23,7	23,8	27,6	25,0
508	6	23,3	25,0	23,5	23,9	526	5	24,8	23,5	22,0	23,4
452	7	25,6	23,3	22,1	23,7	439	5	21,0	23,0	23,3	22,4
506	5	19,1	20,8	20,1	20,0	508	5	22,4	20,5	20,5	21,1
541	5	22,2	25,4	25,5	24,4	452	4	28,5	29,6	27,4	28,5
530	5	21,6	25,1	25,0	23,9	506	6	23,3	23,3	20,5	22,4
487	5	24,5	23,2	21,5	23,1	541	6	20,3	18,2	18,6	19,0
440	5	21,8	21,8	21,5	21,7	530	5	22,8	25,4	23,8	24,0
539	5	17,2	18,1	18,2	17,8	487	6	18,3	23,0	23,4	21,6
471	5	24,5	26,4	26,5	25,8	440	4	25,2	26,0	24,3	25,2
553	6	21,5	20,8	23,5	21,9	539	5	23,8	22,0	21,0	22,3
484	4	22,8	23,4	24,0	23,4	471	4	20,2	20,3	23,8	21,4
525	5	21,3	22,5	23,1	22,3	553	5	17,4	17,2	17,0	17,2
542	5	21,1	25,0	24,1	23,4	484	6	25,7	24,7	25,2	25,2
527	6	22,4	25,3	25,2	24,3	525	4	30,7	31,7	30,6	31,0
534	5	23,6	23,2	23,1	23,3	542	3	21,2	20,3	21,6	21,0
519	6	26,0	27,4	29,3	27,6	527	5	26,3	23,8	26,8	25,6
529	4	23,4	25,7	24,0	24,4	534	5	23,4	25,5	25,4	24,8
507	4	20,4	19,1	20,5	20,0	519	6	28,0	28,6	27,2	27,9
529	5	26,4	27,8	27,2	27,1	534	5	24,0	22,2	21,7	22,6
514	6	24,0	23,5	23,8	23,8	516	4	27,2	26,7	25,6	26,5
478	5	23,3	23,4	23,3	23,3	532	4	25,2	25,0	25,6	25,3
534	4	21,8	21,4	22,8	22,0	516	4	25,6	25,4	25,4	25,5
549	6	21,8	21,3	21,6	21,6	493	6	24,4	22,4	23,8	23,5
452	6	23,8	22,3	21,9	22,7	512	4	15,1	15,8	18,0	16,3
506	4	27,4	27,3	27,5	27,4	509	5	25,7	28,0	26,8	26,8
541	5	23,8	22,6	22,7	23,0	559	5	25,8	27,6	26,4	26,6
530	5	24,7	25,8	25,8	25,4	526	6	31,0	29,4	26,2	28,9
487	5	22,5	22,0	23,1	22,5	439	6	25,5	23,3	23,8	24,2
440	4	23,8	23,6	25,2	24,2	508	5	21,2	23,0	29,2	24,5
539	5	24,0	23,1	21,4	22,8	452	7	28,4	32,5	32,0	31,0
471	5	24,2	23,3	21,2	22,9	506	6	22,8	25,7	25,5	24,7
553	5	21,7	20,4	20,6	20,9	525	5	22,5	22,7	24,0	23,1
484	4	22,2	22,1	22,1	22,1	542	5	23,5	22,0	23,1	22,9

ANEXO 9: Resultados para a avaliação de desempenho do conjunto ordenador

Tabela 1: Quantidades de mudas dosadas segundo posição 1 na boca de saída.

rpm	PA	T	Descarga		Condição inicial
			Ordem	Por fora	
28	56/51	49	10	-	*
		31	2	1	**
		54	-	5	***
	64/64	43	95	-	*
		53	54	8	**
		27	4	8	***
50	56/51	42	9	-	*
		20	4	4	**
		1:01	8	15	***
	64/64	57	91	-	*
		35	47	9	**
		21	18	12	***

Tabela 2: Quantidades de mudas dosadas segundo posição 2 na boca de saída.

rpm	PA	T	Descarga		Condição inicial
			Ordem	Por fora	
28	56/51	56	101	1	*
		44	53	4	**
		32	20	12	***
	64/64	41	109	-	*
		37	67	3	**
		1:05	35	9	***
50	56/51	46	174	4	*
		33	48	12	**
		19	13	16	***
	64/64	55	211	5	*
		37	74	9	**
		42	25	21	***

onde:

rpm : velocidade de rotação do eixo superior da lateral

PA : posição angular da lateral [graus]

T : Tempo de ensaio [seg.]

Ordem : quantidades de mudas em posição ordenada

Por fora : quantidades de mudas desordenadas

Condição inicial : Condições da mudas dentro do ordenador no início do ensaio

. : (*) quando a caçamba cheia de mudas ordenadas

(**) quando existem mudas ordenadas até a seção de taliscas retas

(***) quando estão todas as mudas desordenadas.

Tabela 3: Quantidades de mudas dosadas segundo posição 3 na boca de saída.

rpm	PA	T	Descarga		Condição inicial
			Ordem	Por fora	
28	56/51	22	36	4	*
		19	57	3	**
		26	4	19	***
	64/64	47	120	1	*
		55	26	8	**
		50	19	12	***
50	56/51	42	103	4	*
		54	31	11	**
		21	27	18	***
	64/64	49	149	2	*
		37	62	7	**
		29	12	19	***

onde:

rpm : velocidade de rotação do eixo superior da lateral

PA : posição angular da lateral [graus]

T : Tempo de ensaio [seg.]

Ordem : quantidades de mudas em posição ordenada

Por fora : quantidades de mudas desordenadas

Condição inicial : Condições da mudas dentro do ordenador no inicio do ensaio

. : (*) quando a caçamba cheia de mudas ordenadas

(**) quando existem mudas ordenadas até a seção de taliscas retas

(***) quando estão todas as mudas desordenadas.

ANEXO 10: Tabelas para a análise da viabilidade segundo brotação.

Tabela 1: Quantidades de gemas germinadas segundo dias de plantio. Variedade SP 79 2233. Dia de plantada: 06 10 97

No. Caixa	Dias de plantada à muda																			
	NP					P					NP					P				
	7	10	14	17	21	7	10	14	17	21	7	10	14	17	21	7	10	14	17	21
1	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4
2		2	2	2	2				1	1						2	2	2	2	2
3	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	1	2	3	3	3	1	2	2	2	2
4	1	2	2	3	3	1	2	2	2	2		1	2	2	3		2	2	2	2
5		2	2	2	2						2	3	3	3	3	2	4	4	4	4
6				1	1								1	2	2					
7	2	2	2	3	3	1	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8	5	5	5	6	6	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3
9						4	4	4	4	4	2	3	3	3	3					
10	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4
11	1	1	2	4	4				3	3		1	3	4	4		1	1	2	2
12						1	3	4	4	4										
13			1	2	2		4	4	4	4	1	2	2	2	2					
14												1	1	2	2	1	3	3	3	3
Total	16	22	24	31	31	20	28	29	34	34	14	22	27	30	32	19	27	28	29	29

Tabela 2: Contagem das gemas aos 21 dias de plantada.

Variedade SP 79 2233

Germinador	Ca	NP				P			
		T	G	T	G	T	G	T	G
1	1	8	6	34	24	8	8	38	24
	2	6	2			8	3		
	3	6	5			8	5		
	4	8	6			7	4		
	5	6	5			7	4		
2	6	6	3	38	25	7	0	37	23
	7	8	6			7	4		
	8	10	9			8	7		
	9	6	3			7	4		
	10	8	4			8	8		
3	11	8	8	29	14	6	5	27	16
	12	7	0			7	4		
	13	8	4			7	4		
	14	6	2			7	3		

onde:

NP : mudas de cana-de-açúcar que não passarem pelo conjunto ordenador

P : mudas de cana-de-açúcar que passarem pelo conjunto ordenador

Ca : número da caixa do plantio

T : total de gemas plantadas

G : quantidade de gemas que germinarem.

Tabela 3: Quantidades de gemas germinadas segundo dias de plantio. Variedade SP 80 3530. Dia de plantada: 07 10 97

No. Caixa	Dias de plantada à muda																			
	NP					P					NP					P				
	7	10	14	17	21	7	10	14	17	21	7	10	14	17	21	7	10	14	17	21
15			3	3	3		3	4	4	4		2	4	4	4		1	2	2	4
16		3	3	3	3		1	2	2	2		1	3	2	4					
17				1	1			2	2	2										
18	2	4	4	4	4		1	2	2	2			1	1	1			1	1	2
19		1	2	2	3			3	3	3		2	3	3	3	2	4	4	4	4
20		2	3	4	4			2	2	4			5	5	5				1	3
21	1	4	4	4	4	1	4	4	4	4	1	2	3	3	3			2	3	3
22		1	2	2	2	1	3	3	4	5		1	2	2	5			1	1	1
23	4	5	5	5	6	3	4	5	5	5	1	2	4	4	4		3	4	4	4
24			1	2	2	2	3	4	4	4	2	4	4	4	5		2	3	3	4
25		1	2	2	4		3	3	3	3		2	3	3	3		1	2	2	4
26			2	2	2			1	1	1	2	2	4	4	5					
27		3	4	4	5		1	3	3	4		1	3	3	3			1	2	3
28				2	2			1	1	1					1					2
Total	7	24	35	40	45	7	23	39	40	44	6	19	39	38	46	2	11	20	23	34

Tabela 4: Contagem das gemas aos 21 dias de plantada.
Variedade SP 80 3530

Germinador	Ca	NP				P			
		T	G	T	G	T	G	T	G
4	15	8	7	44	26	10	8	44	23
	16	8	7			9	2		
	17	8	1			7	2		
	18	10	5			9	4		
	19	10	6			9	7		
5	20	9	9	46	40	9	7	44	37
	21	9	7			9	7		
	22	9	7			9	6		
	23	10	10			9	9		
	24	9	7			8	8		
6	25	8	7	35	25	7	7	32	18
	26	10	7			10	1		
	27	9	8			8	7		
	28	8	3			7	3		

onde:

NP : mudas de cana-de-açúcar que não passarem pelo conjunto ordenador

P : mudas de cana-de-açúcar que passarem pelo conjunto ordenador

Ca : número da caixa do plantio

T : total de gemas plantadas

G : quantidade de gemas que germinarem.

Tabela 5: Estudo estatístico da variedade SP 79 2233

Blocos Estufas	Tratamentos			
	NP		P	
	T	G	T	G
1	34	24	38	24
2	38	25	37	23
3	29	14	27	16

Blocos Estufas	Tratamentos		Soma	Média
	NP	P		
1	70,59	63,16	133,75	66,87
2	65,79	62,16	127,95	63,98
3	48,28	59,26	107,54	53,77
Soma	184,65	184,58	369,23	184,62
Média	61,55	61,53		

Tabela 6: ANOVA variedade SP 79 2233

Fonte de variação	G.L	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	1	0,0009	0,0009	1,9449E-05
Estufas	2	189,5712	94,7856	2,0060
Erro (Resíduo)	2	94,5003	47,2501	
Total	5	284,0724	56,8145	

Tabela 7: Estudo estático da variedade SP 80 3530

Blocos	Tratamentos			
	NP		P	
	T	G	T	G
Estufas				
1	44	26	44	23
2	46	40	44	37
3	35	25	32	18

Blocos	Tratamentos		Soma	Média
	NP	P		
Estufas				
1	59,09	52,27	111,36	55,68
2	86,96	84,09	171,05	85,52
3	71,43	56,25	127,68	63,84
Soma	217,48	192,61	410,09	205,04
Média	72,49	64,20		

Tabela 8: ANOVA variedade SP 80 3530

Fonte de variação	G.L	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	1	103,0229	103,0229	5,2135
Estufas	2	951,5317	475,7659	24,0764
Erro (Resíduo)	2	39,5213	19,7607	
Total	5	1094,0759	218,8152	

onde:

NP : mudas de cana-de-açúcar que não passarem pelo conjunto ordenador

P : mudas de cana-de-açúcar que passarem pelo conjunto ordenador

T : total de gemas plantadas

G : quantidade de gemas que germinarem.

G.L : graus de liberdade

S.Q. : soma dos quadrados

Q.M. : soma dos quadrados entre os graus de liberdade

F : coeficiente que compara-se na obtenção do nível de significancia.

ABSTRACT

Billet spacing of existing sugarcane planters is far from uniform. Automatic billet ordering into parallel arrangements to feed precision metering mechanisms was the main reason for undertaking the present work. The study quantifies tangential as well as radial forces acting on the billets looking for favorable conditions for material flow as well as reduce mechanical damage to the buds.

A structural model for the radially loaded billet, under static loads, was implemented. The model parameters were determined using optimization techniques available at the software ANSYS and validated experimentally.

Billet flow conditions were predicted using the model for small quantities of rhombohedral arrangements of billets orderly piled on the surfaces of a bin bottom, converging at angles of 30 and 60 °. A mechanical device for billet ordering was design, built and tested. The principle of operation consist of roller type chains moving on inclined surfaces and carrying short slats in counter flow to the descending billets. The billets are ordered as they move down to the outlet opening. The device was tested for two angles of the conveying surfaces as well as three widths for the outlet opening and two rotational chain speeds. There was no statistically significant damage to the billet buds as they passed through de ordering process. The mechanical damage was evaluated from the germination data obtained in the laboratory