

DANILO ROBERTO LOUREIRO

**PROJETO DE UM RECOLHEDOR DE FRUTOS PARA UMA COLHEDORA
DE CAFÉ EM ÁREAS INCLINADAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

L892p
2015

Loureiro, Danilo Roberto, 1982-

Projeto de um recolhedor de frutos para uma colhedora de
café em áreas inclinadas / Danilo Roberto Loureiro. – Viçosa,
MG, 2015.

xiii, 69f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.66-69.

1. Máquinas agrícolas - Projetos e construção.
2. Mecanização agrícola. 3. Café. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

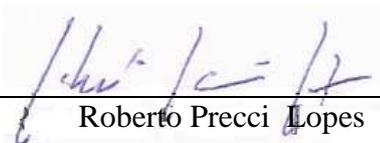
CDD 22. ed. 631.3

DANILO ROBERTO LOUREIRO

**PROJETO DE UM RECOLHEDOR DE FRUTOS PARA UMA COLHEDORA
DE CAFÉ EM ÁREAS INCLINADAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 24 de julho de 2015.



Roberto Precci Lopes



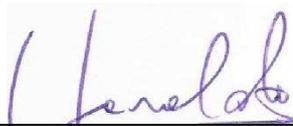
Luciano Baião Vieira



Ricardo Capúcio de Resende



Edvaldo Fialho dos Reis



Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

“O sábio nunca diz tudo o que pensa, mas pensa sempre tudo o que diz.”

Aristóteles

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Elisete Aparecida Andrade Loureiro e José Aparecido Loureiro, pelo amor, pela confiança, pela dedicação e apoio sempre quando foi necessário.

Aos meus irmãos José Eduardo e Emerson, à minha avó Elza e todos os outros familiares pela paciência e afeto durante essa longa jornada.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, por todo conhecimento adquirido ao longo desses anos.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pelo apoio e oportunidades fornecidas para meu crescimento profissional.

Em especial ao Professor Haroldo Carlos Fernandes, por toda a orientação, amizade, compreensão, apoio, incentivo na minha formação acadêmica e profissional e principalmente pela paciência.

Aos Professores Mauri Martins Teixeira e Fabio Lucio Santos por todo apoio e conselhos oferecido durante essa etapa.

Aos funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola Danilo, Wantuil, Geraldo e em especial ao Marcelo, pelo apoio e pelos seus serviços prestados durante o decorrer do curso.

Aos meus amigos e colegas da Mecanização Agrícola pela amizade dentro e fora da Instituição.

Ao meu amigo Marconi Furtado, que sem ele eu não conseguiria chegar até aqui.

Em especial a minha amiga Geice Paula Villibor, por todos os conselhos e ajuda nas atividades acadêmicas e pessoais, onde sem ela, nada disso seria possível.

A cidade de Viçosa, que me acolheu durante uma das melhores fases da minha vida, e me trouxe muitas alegrias.

BIOGRAFIA

DANILO ROBERTO LOUREIRO, filho de Elisete Aparecida Andrade Loureiro e José Aparecido Loureiro, nasceu no dia 6 de fevereiro de 1982, na cidade de Porto Ferreira, São Paulo.

Em abril de 2001, iniciou o curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, concluindo-o em outubro de 2006.

Em outubro de 2006, ingressou no Programa de Pós-graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, na área de concentração em Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa da dissertação em novembro de 2009.

Em agosto de 2011, ingressou no Programa de Pós-graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, na área de concentração em Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa da dissertação em 2015.

Em junho de 2013 ingressou na carreira de Professor do Magistério Superior no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará.

Em julho de 2015 submeteu a defesa de Doutorado com o Título Desenvolvimento de um recolhedor de frutos de café para uma colhedora de regiões de montanha.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE QUADROS E TABELAS	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.	xii
1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – OBJETIVOS	4
2.1 – Objetivo Geral.....	4
2.2 – Objetivos Específicos.....	4
3 – REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 – A cultura do café e sua importância.....	5
3.2 – A colheita do café.....	6
3.3 – A colheita do café em montanha.....	9
3.4 – Eficiência no recolhimento mecanizado do café.....	11
3.5 – Projeto de máquinas na agricultura	12
4 – MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4.1 – Desenvolvimento do Projeto	14
4.1.1 – Planejamento e esclarecimento da tarefa.....	14
4.1.2 – Projeto conceitual	14
4.1.3 – Projeto detalhado	15
4.2 – Construção do protótipo	17
4.3 – Avaliação do protótipo.....	17
4.4 – Delineamento Experimental.....	18
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5.1 – Desenvolvimento do Projeto	20
5.1.1 – Projeto Informacional.....	20
5.1.2 – Projeto Conceitual.....	21
5.1.3 – Projeto Detalhado.....	25
5.2 – Construção do Protótipo.....	56
5.3 – Avaliação do Protótipo.....	58
5.4 – Modelagem da eficiência do mecanismo de recolhimento em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do mecanismo.	60
6 – CONCLUSÕES	65
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos de tensão normal atuantes em um cubo elementar.	16
Figura 2 – Chassi da colhedora de café com projeção do mecanismo recolhedor.	17
Figura 3 – Lista de requisitos do mecanismo recolhedor desenvolvido.	20
Figura 4 – Estrutura de funções do sistema de recolhimento de café.	21
Figura 5 – Perspectiva do mecanismo de articulação de lâminas retráteis utilizado no protótipo.	25
Figura 6 – Perspectiva do protótipo do mecanismo recolhedor de café.	25
Figura 7 – Mecanismo de recolhimento de café desenvolvido para operar em regiões de montanha.	26
Figura 8 – Distribuição da largura ocupada pelo mecanismo recolhedor em função da declividade do terreno.	27
Figura 9 – Distribuição do fluxo de grãos recebido pela bandeja inferior em função da declividade do terreno.	30
Figura 10 – Distribuição do fluxo de grãos recebido pela bandeja superior em função da declividade do terreno.	30
Figura 11 – Mecanismo de recolhimento de café utilizado para a análise cinemática.	33
Figura 12– Mecanismo utilizado para representar as oscilações do solo.	34
Figura 13 – Representação do mecanismo recolhedor atuando em uma superfície irregular com baixa (a) e alta declividade (b).	35
Figura 14 – Perfil do mecanismo de cames utilizado para representar as irregularidades do solo na situação de baixa declividade.	36
Figura 15 – Perfil do mecanismo de cames utilizado para representar as irregularidades do solo na situação de alta declividade.	36
Figura 16 – Análise cinemática dos pontos P1 e P2 para a condição de baixa declividade.	37
Figura 17 – Análise cinemática dos pontos P1 e P2 para a condição de alta declividade.	38
Figura 18– Variação da declividade da superfície em condição de baixa declividade.	39
Figura 19 – Variação da declividade da superfície em condição de alta declividade.	39
Figura 20 – Cenários de baixa (a) e alta (b) declividade utilizados para a análise dinâmica do mecanismo de vedação.	40

Figura 21 – Momento dos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h ⁻¹	41
Figura 22 – Forças nos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade 1000 m h ⁻¹	41
Figura 23 – Momento dos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 25N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h ⁻¹	42
Figura 24 – Forças nos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 25N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h ⁻¹	42
Figura 25 – Momento dos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h ⁻¹	43
Figura 26 – Forças nos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h ⁻¹	43
Figura 27 – Momento dos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 25N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h ⁻¹	44
Figura 28 – Forças nos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 25 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h ⁻¹	45
Figura 29 – Momento dos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h ⁻¹	46
Figura 30 – Forças nos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 10 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h ⁻¹	46
Figura 31 – Momento dos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 25N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h ⁻¹	47
Figura 32 – Forças nos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 25 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h ⁻¹	48
Figura 33 – Momento dos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h ⁻¹	49
Figura 34 – Forças nos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 10 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h ⁻¹	49
Figura 35 – Momento dos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 25N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h ⁻¹	50
Figura 36 – Forças nos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 25 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h ⁻¹	51
Figura 37 – Conformação das forças aplicadas no mecanismo de vedação para realização da análise de tensões e deformações na declividade de 0%.....	52

Figura 38 – Tensões no mecanismo de recolhimento submetido a uma carga de 25N distribuída uniformemente em uma declividade de 0%.....	53
Figura 39 – Deformações no mecanismo de recolhimento submetido a uma carga de 25N distribuída uniformemente em uma declividade de 0%.....	53
Figura 40 – Conformação das forças aplicadas no mecanismo de vedação para realização da análise de tensões e deformações na declividade de 40%.....	54
Figura 41 – Tensões no mecanismo de recolhimento submetido a uma carga de 25N distribuída uniformemente em uma declividade de 40%.....	55
Figura 42 – Deformações no mecanismo de recolhimento submetido a uma carga de 25N distribuída uniformemente em uma declividade de 40%.....	55
Figura 43 – Mecanismo de lâminas retráteis utilizado no sistema de recolhimento..	56
Figura 44 – Mecanismo de articulação que permite que o sistema de vedação acompanhe a declividade do terreno.....	57
Figura 45 – Estrutura do mecanismo recolhedor simulando um ambiente de alta declividade.....	57
Figura 46 – Comportamento da eficiência no recolhimento ao ser aplicado uma carga de 10 L de café sobre o mecanismo de vedação em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do protótipo.....	61
Figura 47 – Comportamento da eficiência no recolhimento ao ser aplicado uma carga de 8 L de café sobre o mecanismo de vedação em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do protótipo.....	62
Figura 48 – Comportamento da eficiência no recolhimento ao ser aplicado uma carga de 6 L de café sobre o mecanismo de vedação em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do protótipo.....	63

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 – Matriz morfológica contendo as soluções e sub-funções do mecanismo recolhedor.....	22
Tabela 2 – Variáveis de soluções para o desenvolvimento do protótipo do mecanismo recolhedor.....	23
Tabela 3 – Critérios de avaliação utilizados para a escolha da melhor solução	24
Tabela 4 – Solução selecionada no projeto conceitual.....	24
Quadro 1 – Principais características dos frutos de cafés utilizados na avaliação do protótipo	58
Quadro 2 – Estatística descritiva com os valores de eficiência no recolhimento dos frutos de café	59
Quadro 3 – Coeficientes de correlação de Pearson dos variáveis em função da eficiência no recolhimento.	59

RESUMO

LOUREIRO, Danilo Roberto, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2015. **Projeto de um recolhedor de frutos para uma colhedora de café em áreas inclinadas.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Mauri Martins Teixeira e Fábio Lúcio Santos.

O café é produzido em quase todos os estados do país e devido a sua grandeza territorial, o parque cafeeiro apresenta uma heterogeneidade em relação ao relevo e o clima que torna necessária a utilização de tecnologias diferentes para cada região. A utilização de diferentes tecnologias de produção tem afetado a competitividade entre os produtores de diferentes regiões, pois conforme é demonstrado em diversas pesquisas, quanto maior o índice de mecanização de uma lavoura, menor será o custo de produção. A escolha do processo de colheita do café é influenciada por diversos fatores, porém, a condição do relevo é de crucial importância para a definição desse processo, visto que em declividades mais acentuadas, a inexistência de tecnologia capaz de mecanizar essa região praticamente define o tipo de colheita a ser implantado. Analisando a situação exposta, pode-se afirmar que nas áreas que apresentam uma maior declividade só se tornarão competitivas em relação às outras com o surgimento de uma tecnologia capaz de mecanizar essas regiões. No presente trabalho objetivou-se projetar um sistema recolhedor de frutos de uma colhedora de café para a colheita mecanizada em regiões de declividades elevadas. Para isso, foram realizados os projetos informativos, conceitual e detalhado de um mecanismo capaz de recolher frutos de café em declividades de até 40%. Após a definição do projeto, foi construído um protótipo para verificar a eficiência no recolhimento dos frutos de café. Foi montado um experimento utilizando o delineamento inteiramente casualizado com 27 tratamentos e 5 repetições, onde os tratamentos constituem um esquema fatorial $3 \times 3 \times 3$, sendo 3 declividades de operação ($D_1 = 0\%$; $D_2 = 20\%$ e $D_3 = 40\%$); 3 velocidades de deslocamento da haste ($V_1 = 230 \text{ m h}^{-1}$; $V_2 = 460 \text{ m h}^{-1}$ e $V_3 = 690 \text{ m h}^{-1}$) e 3 cargas de frutos de café aplicadas sobre o mecanismo de recolhimento ($C_1 = 10 \text{ L}$; $C_2 = 8 \text{ L}$ e $C_3 = 6 \text{ L}$), totalizando 135 unidades experimentais. Os valores de eficiência foram submetidos a uma análise de regressão e foram gerados modelos para estimar os valores de eficiência de recolhimento em função das variáveis: velocidade, inclinação e carga. Observou-se que a variável carga não influenciou os valores de eficiência de recolhimento. Os modelos gerados indicam que com o aumento da velocidade de trabalho ocorreu uma diminuição da

eficiência no mecanismo recolhedor e que os tratamentos que trabalharam com a inclinação do protótipo em 20% apresentaram os melhores valores de eficiência no recolhimento dos frutos de café, apresentando uma média de 80%. Contudo, os valores médios de eficiência encontrados nas declividades de 0 e 40% ficaram próximos, apresentando valores de 78,57 e 77,36% respectivamente. O desenvolvimento do mecanismo recolhedor de frutos de café para operar em regiões de montanha foi considerado satisfatório, pois conseguiu atingir valores de eficiência no recolhimento próximos aos encontrados por colhedoras que trabalham em terrenos planos.

ABSTRACT

LOUREIRO, Danilo Roberto, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July of 2015. **Project a pickup for fruit a harvester coffee in areas sideways.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Coadviser: Mauri Martins Teixeira and Fábio Lúcio Santos.

Coffee is produced in almost every state of the country and due to its territorial greatness, the coffee crop has a heterogeneity in relation to the topography and the climate that necessitates the use of different technologies for each region. The use of different manufacturing technologies have affected the competition between producers in different regions, as it is demonstrated in various studies, the higher the index of a mechanized farming, the lower the production cost. The choice of the coffee harvest process is influenced by several factors, however, the condition of the relief is crucial to define this process, since in most steep slopes, lack of capable technology to mechanize this region practically defines the type crop to be implanted. Analyzing the exposed situation, it can be said that in areas that have a higher slope only become competitive with other with the emergence of a technology to mechanize these regions. In the present study aimed to design a collector system fruits of a coffee harvester for mechanized crop in high slope areas. For this, informative, conceptual and detailed design of a mechanism to collect coffee fruits on slopes of up to 40% were realized. After defining the project, a prototype was built to verify the efficiency in the collection of coffee fruit. An experiment was set up using a randomized design with 27 treatments and 5 repetitions where the treatments are a factorial 3 x 3 x 3, 3 Operating slopes (D1 = 0%; D2 and D3 = 20% = 40%) ; 3 stem travel speeds (V1 = 230 m h-1; V2 = 460 m h-1 and V3 = 690 m h-1) and 3 loads applied coffee fruits on the payment mechanism (C1 = 10 L; 8 C2 = C3 = L and 6 L), totaling 135 experimental units. The efficiency values were subjected to a regression analysis and models were generated to estimate the collection efficiency values as a function of variables: speed, incline and cargo. It was observed that the variable load does not influence the collecting efficiency values. The models indicate that with increasing working speed was a decrease in efficiency in the collector mechanism and the treatments that worked with the prototype of the slope at 20% had the best efficiency values in the collection of coffee fruit, with an average 80%. However, the average efficiency values found for the steepness of 0 and 40% were next, with values of 78.57 and 77.36% respectively. The development of the collector of coffee fruits mechanism to operate in mountain

areas was considered satisfactory as it has achieved efficiency values in the gathering close to those found by harvesters who work in flat terrain.

1 – INTRODUÇÃO

Historicamente o Brasil destaca-se como o maior produtor mundial de café. A primeira estimativa para a produção da safra cafeeira (espécies arábica e conilon) em 2015 indica que o país deverá colher entre 44,11 e 46,61 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado.

Nas últimas quatro safras de bienalidade positiva, a produção tem mantido um crescimento constante, demonstrando que a maior utilização da mecanização, aliada às inovações tecnológicas, às exigências do mercado, à qualidade do produto e a boa gestão da atividade são fatores extremamente importantes e necessários para o avanço e modernização da cafeicultura.

O café é produzido em quase todos os estados do país e devido a sua grandeza territorial, o parque cafeeiro apresenta uma heterogeneidade em relação ao relevo e o clima que torna necessária a utilização de tecnologias diferentes para cada região.

A utilização de diferentes tecnologias de produção tem afetado a competitividade entre os produtores de diferentes regiões, pois conforme é demonstrado em diversas pesquisas, quanto maior o índice de mecanização de uma lavoura, menor será o custo de produção.

O processo de colheita do café é uma das etapas que mais influenciam no custo final do produto. Esse processo pode ser realizado de maneira manual, semi-mecanizada e mecanizada.

A escolha do processo de colheita do café é influenciada por diversos fatores, porém, a condição do relevo é de crucial importância para a definição desse processo, visto que em relevos mais acentuados, a inexistência de tecnologia capaz de mecanizar essa região praticamente define o tipo de colheita a ser implantado.

Diversos fatores influenciam a qualidade dos frutos de café colhidos, entre eles podemos destacar o grau de maturação do fruto. O fruto de café verde não atingiu sua maturação completa, ou seja, não atingiu seu potencial para garantir sua máxima qualidade. O fruto de café cereja encontra-se no seu estado de maturação completo, ou seja, é o ponto ideal para realizar sua retirada da lavoura para a obtenção de um produto final de qualidade. Ao passar por esse ponto de maturação, o fruto do café começa a secar na própria planta e é conhecido como café passa. Nesse ponto, o café já perdeu seu potencial para alcançar sua melhor qualidade. A grande dificuldade em colher o café é que em uma mesma planta podem existir frutos com diferentes graus de maturação.

Na colheita manual, os trabalhadores realizam-na puxando todos os frutos existentes nos galhos das plantas. Dessa forma, são colhidos frutos com diferentes graus de maturação ao mesmo tempo.

Na colheita semi-mecanizada, empregando-se as derriçadoras portáteis, o trabalhador conta com o auxílio de um dispositivo mecânico capaz de introduzir uma haste vibratória no interior do dossel da planta e por meio da vibração dessa haste os frutos se desprendem dos ramos e caem sobre um tecido posicionado abaixo da planta permitindo o seu recolhimento. O tempo gasto para realizar a retirada dos frutos da planta é menor quando comparado ao método manual, porém não é possível realizar uma seletividade do grau de maturação e ainda necessita de um maior número de trabalhadores quando comparado ao método mecanizado.

O método de colheita mecanizado tem facilitado a vida dos produtores no campo. A maioria das colhedoras utilizam hastes vibratórias que penetram no interior do dossel da planta e promovem o rompimento do sistema fruto – pedúnculo promovendo a queda do fruto em um sistema de recolhimento que faz a vedação do tronco da planta e garante que os frutos sejam direcionados para um depósito.

Essas colhedoras possuem um sistema de controle de vibração, selecionando a frequência e a amplitude das hastes vibratórias. Essa técnica permite selecionar o grau de maturação dos frutos, permitindo a retirada dos frutos mais maduros e deixando na planta os frutos verdes para que possam ser retirados posteriormente.

A agilidade na retirada do produto do campo afeta o custo de produção. O sistema mecanizado permite que o processo de colheita seja iniciado de maneira mais atrasada em comparação aos outros métodos, pois possui uma agilidade maior na retirada dos frutos de café da lavoura, permitindo o surgimento de um maior índice de cafés cerejas.

Por outro lado, o processo manual é o processo mais demorado na retirada dos frutos de café. Por isso o processo de colheita manual deve começar antes para que os frutos de café atinjam seu grau de maturação ideal durante a colheita, evitando ao máximo a colheita dos cafés passas.

Outro problema enfrentado pelos produtores que necessitam realizar a colheita de forma manual é a escassez da mão de obra na época da colheita. A dificuldade em contratar esse serviço tem aumentado nos últimos anos devido ao êxodo rural.

Geralmente os trabalhadores que realizam a colheita manual do café recebem por produtividade. Dessa forma eles acabam optando por trabalharem em lavouras que apresentam maiores produções e que sejam mais facilmente acessíveis para agilizar a operação.

A diferença entre os preços de venda dos cafés de alta qualidade para os cafés de baixa qualidade é significativa, dificultando ainda mais a vida dos produtores que necessitaram utilizar o método de colheita manual.

Ao optar pelo método de colheita mecanizada, o produtor terá que arcar com um alto valor inicial para tornar sua lavoura mecanizada e pelo alto custo de aquisição dos equipamentos.

Para deixar a lavoura mecanizada, o produtor terá que adequar o tamanho e o espaçamento entre linhas das plantas para que a colhedora possa passar sem causar danos significativos às plantas. Também terá que delimitar a declividade do terreno onde a colhedora irá operar, visto que essas máquinas apresentam baixa estabilidade lateral e que em terrenos mais acentuados o risco de tombamento é grande.

A união de pequenos e médios produtores em cooperativas tem possibilitado a aquisição desse maquinário de alto investimento por essas associações e colaborado para o aumento da rentabilidade da atividade cafeeira.

Muitos produtores têm optado pela terceirização da colheita, mesmo que o custo dessa terceirização seja equivalente à colheita manual.

Analisando a situação exposta, pode-se afirmar que as regiões que apresentam uma maior declividade só se tornarão competitivas em relação às outras com o surgimento de tecnologia capaz de mecanizar a colheita nessas regiões.

2 – OBJETIVOS

2.1 – Objetivo Geral

Projetar um sistema recolhedor de frutos para uma colhedora de café usada em regiões de declividades elevadas.

2.2 – Objetivos Específicos

- Elaborar um projeto informativo, conceitual, preliminar e detalhado do mecanismo.
- Construir um protótipo do projeto desenvolvido.
- Avaliar o desempenho do protótipo construído, em condições controladas, simulando diferentes velocidades de trabalho e declividades variadas.

3 – REVISÃO DE LITERATURA

3.1 – A cultura do café e sua importância

A primeira estimativa para a produção da safra cafeeira (espécies arábica e conilon) em 2015 indica que o país deverá colher entre 44,11 e 46,61 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado. O resultado representa desde uma redução de 2,7% a um crescimento de 2,8%, quando comparado com a produção de 45,34 milhões de sacas obtidas na safra anterior. O café arábica representa na nova safra, 73,7% da produção total (arábica e conilon) de café do país. Para esta safra, estima-se que sejam colhidas entre 32,5 e 34,4 milhões de sacas. O resultado se deve principalmente ao expressivo crescimento de 31,3% a 38,6% na região da Zona da Mata mineira, que compensou as perdas nas demais regiões do estado, sobretudo nas regiões do Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste, com as perdas situadas entre 625,5 e 896,5 mil sacas. CONAB (2015).

Pedroso (2005) afirma que, quando o café chegou ao país, no ano de 1727, pelas mãos do Sargento-Mor Francisco de Mello Palheta, até os dias de hoje, o café espalhou riquezas por onde passou, deu origem a cidades, determinou a ocupação de terras e até decidiu os rumos do poder.

O café, sendo uma commodity e tendo seu preço atrelado ao dólar, esta sujeito as variações de cotações do mercado, ficando o produtor muito susceptível as flutuações de preço do produto, que são afetadas constantemente pela produção, consumo e estoques mundiais (Castro Júnior, 2002).

A cadeia agroindustrial brasileira de café, segundo relatos de Teixeira (2002), é um dos setores mais importantes da economia brasileira, pela sua expressiva participação na pauta de exportações e na geração de emprego e renda, representando, no médio e longo prazo, um dos principais produtos estratégicos para o país.

Nas últimas quatro safras de bienalidade positiva, a produção mantém um crescimento constante, demonstrando que a maior utilização da mecanização, aliada às inovações tecnológicas, às exigências do mercado à qualidade do produto e a boa gestão da atividade são fatores extremamente importantes e necessários para o avanço e modernização da cafeicultura. CONAB (2015).

Na safra de carga alta é comum observar plantas com elevada produtividade ao lado de plantas com baixa produtividade. Esse fato ocorre em maior proporção à

medida que a planta vai ficando mais velha, notadamente após podas de recuperação (FERNANDES et al., 2012b).

Historicamente a cafeicultura possui um papel importante na economia e desenvolvimento do Brasil, contribuindo com uma parcela considerável dos indicadores de exportações e ao superávit da balança comercial do país.

3.2 – A colheita do café

A falta de mão de obra durante o período da colheita do café tem sido um dos maiores problemas enfrentados pelos produtores. A consequência mais marcante desse fato é o atraso na operação da retirada dos grãos de café da lavoura. Dados do IBGE (2013) demonstraram que a população rural torna-se a cada ano menor, quando comparada à população urbana, representando apenas 18,3% do total, o que já é um fator agravante para o setor produtivo agrícola, frente à expansão das áreas plantadas com café.

A falta de mão de obra na época da colheita vem sendo um problema cada vez mais constante para os cafeicultores, ocasionando problemas como perdas na qualidade do produto decorrente do atraso da colheita.

A utilização da máquina colhedora de café trouxe agilidade e qualidade nesse processo, porém sua utilização apresenta limitações, quanto à operação, em terrenos com maiores declividade.

A mecanização na colheita do café vem sendo utilizada no Brasil desde a década de 70 como alternativa para o barateamento dos custos operacionais (MATIELLO et al., 2010).

A colheita mecanizada do café reduz drasticamente a utilização dessa mão de obra, resolvendo parcialmente esse problema. Segundo Marques (2001) a mecanização das lavouras cafeeiras reduz o custo operacional de 10 a 45% quando comparado à operação manual.

Em comparação com o sistema de colheita manual, Barbosa et al. (2005), afirma que o sistema de colheita mecanizada apresenta menor custo operacional e melhor qualidade dos frutos de café.

De acordo com Martins et al. (2011), sementes colhidas no estágio de maturação cereja apresentam maior qualidade fisiológica. Se os frutos de cafés permanecerem na planta depois de atingir sua maturação fisiológica ou caem no solo, as chances de se tornarem grãos de menor qualidade aumentam e, juntamente com os

frutos que não atingiram sua maturação ótima, apresentam os piores parâmetros de classificação utilizados para a definição do tipo de bebida produzida.

De acordo com Silva et al. (2004) a mecanização das operações de colheita do café tem trazido vários benefícios ao processo de colheita, destacando-se a rapidez e sobretudo a redução dos custos.

De modo geral a colheita do café é uma operação complexa, que se constitui de arruação, derriça, varrição, recolhimento, abanação e transporte, devendo ser iniciada, quando a maior parte dos frutos estiver madura e antes que se inicie a queda dos frutos secos no chão, (FILGUEIRAS 2000).

Hoje a tecnologia utilizada para retirar os frutos de café da planta sem danificá-la é executada predominantemente por meio da vibração de hastes flexíveis fixadas em cilindros giratórios. Para se retirar o maior número de frutos cerejas, é necessário ajustar a vibração das hastes da colhedora, deixando a maioria dos frutos verdes na planta, o que é feito variando a vibração de 650 a 950 ciclos/minuto, conforme citam Silva et al. (2002).

Na maioria das regiões produtoras de café onde as lavouras e topografia são favoráveis, a mecanização da colheita vem crescendo rapidamente. Kashima (1990) afirmaram que a possibilidade de mecanização da colheita é a grande saída para o país continuar na liderança mundial como maior produtor de café por meio da competitividade tanto em relação aos custos quanto na qualidade do produto.

Vários fatores devem ser analisados durante a colheita do café, pois este é um dos poucos produtos agrícolas brasileiros que têm seu preço baseado em parâmetros qualitativos e cujo valor cresce significativamente com a melhoria da qualidade (Carvalho Junior, 2002).

O tamanho da propriedade pode limitar o uso das colhedoras por se tratar de um grande investimento financeiro. Porém, alguns produtores têm obtido alternativas para driblar esse problema, se associando a cooperativas ou terceirizando a operação.

Ferreira e Ortega (2004), afirmaram que o aumento do grau de associação dos produtores de café em cooperativas na região do cerrado mineiro possibilitou o aumento da mecanização da região, mesmo entre os pequenos e médios produtores.

Segundo Ortega et al. (2009), a mecanização da colheita vem crescendo mesmo entre os produtores pequenos e médios, pois, apesar do elevado custo de aquisição de uma colhedora (entre 200 e 500 mil Reais), sua adoção na colheita vem

se viabilizando em função da existência de empresas que terceirizam esse tipo de serviço e que alugam as máquinas aos produtores.

Existem atualmente no mercado diversas opções de máquinas para a colheita do café. Algumas realizam o processo completo, que é a derriça, a abanação e o ensacamento.

De acordo com Jesus (2003) e Ortega et al.(2003), uma colhedora de café pode colher em média, 60 sacos de café por hora no período de 18 à 22 horas por dia, substituindo mais de 100 trabalhadores por dia de serviço. Na pesquisa realizada pelos autores entre técnicos e produtores, a utilização da colhedora economiza entre 30% e 40% dos custos de colheita em relação à colheita manual.

Segundo Silva (1999) algumas colhedoras podem apresentar a capacidade de trabalho equivalente a 200 homens durante a operação da colheita e ainda, a vantagem de trabalhar 24 horas por dia reduzindo em 40% o custo de produção do café.

Como a eficiência da retirada dos grãos da lavoura é muito maior quando se utiliza a colheita mecanizada, o produtor possui a opção de retardar o processo de colheita até que os grãos de café apresentem um grau de maturação mais adequado para a obtenção de um produto com mais qualidade e conseqüentemente apresente uma maior rentabilidade em seu negocio.

O Brasil, por possuir vastas áreas com café, com variações de ambiente e forma de manejo das lavouras, pode classificar a cafeicultura em seis padrões mais típicos, segundo Matiello (2001). Cada uma delas tem características próprias e problemas específicos com bases tecnológicas diferenciadas para a sua solução.

Desses padrões, Matiello (2001) descreveu a cafeicultura do cerrado, região em crescimento, com lavouras empresariais e prioridade para a mecanização. Atualmente, tem cerca de 2,4 bilhões de cafeeiros, concentrando-se em Minas Gerais, no Alto Paranaíba, Triângulo, Sul e Oeste de Minas, na região da Mogiana, em São Paulo, no Oeste da Bahia e áreas menores de Goiás e Mato Grosso.

A cafeicultura das montanhas, nas regiões serranas da Zona da Mata de Minas, Espírito Santo, parte do Sul de Minas e áreas vizinhas de São Paulo e estado do Rio de Janeiro compreende, na sua maioria, pequenas propriedades, exigindo maior necessidade de mão-de-obra.

A cafeicultura robusta ou do conillon, concentra-se, na sua maioria, nas zonas baixas e quentes do Espírito Santo, em Rondônia, em menor escala no sul da Bahia,

Vale do Rio Doce, em Minas, Mato Grosso, Acre e Pará, sendo cultivado em sua maioria, por pequenos produtores e, em muitas áreas por meeiros ou parceiros (Matiello, 2001).

A cafeicultura do Amazonas, em Rondônia, a das zonas de arenito em São Paulo e Paraná e a cafeicultura do Nordeste, que abrange áreas de planalto nos estados da Bahia, Pernambuco e Ceará, existe um predomínio de médios produtores e algumas empresas cafeeiras, com área de boa topografia, e facilidade para a mecanização (Matiello, 2001).

Das áreas cafeeiras em Minas Gerais, muitas já são mecanizadas, inclusive a colheita, podendo-se citar como exemplo as regiões do Cerrado Mineiro, onde as lavouras são novas e planejadas, atendendo à prática da mecanização da colheita (Santinato et al., 1998).

A região do Cerrado brasileiro apresenta o menor custo por saca de café produzida no País devido às maiores produtividades e por abranger áreas mecanizáveis, possibilitando a substituição da mão de obra manual pela mecanização nas operações da lavoura, dentre elas a colheita (FERNANDES et al., 2012a).

3.3 – A colheita do café em montanha

A cafeicultura de montanha é responsável por uma grande parcela da produção nacional e vem nos últimos anos enfrentando dificuldades para competir no mercado pelo alto custo de produção existente.

Atualmente a colheita de café nas regiões de montanha é realizada manualmente e de forma semi-mecanizada, através de derriçadoras portáteis que incorporam velocidade ao processo de colheita.

Resultante da grandeza territorial, a heterogeneidade do parque cafeeiro apresenta algumas desvantagens como necessitar de diferentes tecnologias nos sistemas de colheita e pós-colheita (RUGANI e SILVEIRA 2006). Em regiões de montanha, a inexistência de tecnologia capaz de colher o café com eficiência e baixo custo vem tornando a atividade menos competitiva em comparação a regiões de relevo mais suave onde à mecanização agrícola consegue atuar.

Matiello & Pinto (1998) afirmaram que a possibilidade da mecanização da colheita é bastante reduzida nas pequenas propriedades, nos plantios adensados e, principalmente nas áreas montanhosas, restando ao cafeicultor somente a colheita de forma manual. Porém, nos últimos anos, vêm sendo introduzidos equipamentos

derrçadores, e nas regiões onde se tem observado falta de mão-de-obra para a colheita do café, está ocorrendo à substituição do trabalho manual por mecanismos com potência superior à humana, sendo uma alternativa os sistemas semimecanizados com derrçadora portátil (Silva et al., 1997).

Ao estudar os problemas enfrentados pelos cafeicultores das regiões de montanha, SILVEIRA et al (2009) concluíram que a utilização de equipamentos de derriça permitiu incrementar a produtividade do trabalho “em média de duas a três vezes quando comparada à colheita manual”. Aderente ao estudo acima citado, os autores registraram que a permuta da colheita manual para a mecânica trouxe uma redução de 27% nos custos unitários com a atividade (R\$ sc⁻¹).

O processo de derriça mecânico foi analisado por GARCIA (2005) que constataram o elevado rendimento do trabalho na colheita com o emprego desses equipamentos. Enquanto na colheita manual são gastos entre 47 a 54 dias homem para a colheita de um hectare, por meio das derrçadoras esse tempo pode ser reduzido para 5,5 horas de derriça e 5 horas para a abanação mecânica dos grãos derriçados. Os autores concluem que com o emprego de derrçadoras associada à abanação mecânica, pode-se reduzir em 60% os custos de mão de obra na colheita. Em termos de custos totais, o emprego de equipamento de derriça permitiu uma economia de 30% nos custos da colheita.

A colheita mecanizada, de maneira geral, consegue atuar em regiões que apresentam declividade máxima em torno de 15%. Atualmente Minas Gerais é o maior produtor de café do Brasil e se caracteriza por apresentar terrenos com declividade mais acentuados na maioria das propriedades produtoras de café.

Silva (2004) descreveu a colhedora K-3, da Jacto, como sendo uma máquina que opera a cavaleiro nas linhas das plantas, apoiada sobre quatro rodas, possuindo varetas, ou hastes, vibratórias, sustentadas por dois cilindros laterais que envolvem as plantas. Devido à vibração das varetas, os grãos se soltam e são coletados por um conjunto de lâminas retráteis, os recolhedores, que fecham o espaço sob a saia do cafeeiro. Os frutos colhidos são levados pelos transportadores, horizontais e verticais, até o sistema de limpeza, onde as impurezas são separadas por processo de ventilação. Limpos, os grãos são ensacados e retirados por operadores auxiliares ou descarregados a granel em carretas que acompanham a colhedora durante a colheita. Esta colhedora pode trabalhar em terrenos com declividade de até 15%.

Também existem as colhedoras tracionadas que, segundo Silva (2004), apresentam sistema de colheita igual ao das colhedoras automotrizes, diferindo dessas por necessitarem de um trator para tracioná-las. Estas são acopladas ao sistema de três pontos do trator, sendo acionadas pela tomada de potência, (TDP), podendo trabalhar em terrenos com até 10% de declividade. Um exemplo é o modelo KTR, da Jacto, existindo no mercado outros fabricantes.

3.4 – Eficiência no recolhimento mecanizado do café

Com a evolução do processo de colheita o desafio passou a ser a operação de recolhimento do café derriçado ou caído no chão, visto que, mesmo fazendo a colheita com duas passadas da colhedora, cerca de 10 a 20% do volume colhido cai no chão, necessitando da operação de varrição, levantamento e abanação do chamado café de chão (Silva et al., 2007)

Silva et al. (1999) desenvolveram um trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho operacional e econômico da colheita mecanizada com duas passadas da colhedora em lavouras típicas da região Sul de Minas Gerais, buscando levantar dados que justificassem essa prática operacional e subsidiassem o desenvolvimento de novas pesquisas, em virtude da expansão da colheita mecanizada na região. Concluíram que, com duas passadas da colhedora foram recolhidos 72% da produção, não tendo repasse manual e restando 28% de café caído no chão.

Oliveira (2006). trabalhou com uma colhedora modelo “KTR” fabricada pela Jacto observou que na primeira passada da colhedora, o volume de café caído no chão foi da ordem de 27% do total recolhido, restando na planta cerca de 1,27 L de café.

Santinato et al. (1998) avaliaram o número e o modo de passadas da colhedora e seus efeitos na produção cafeeira e observaram que, com duas passadas, o repasse foi de 0% a 1,7% da carga pendente, apresentando 74,7% e 72% de eficiência no recolhimento.

No caso da lavoura cafeeira, principalmente na operação de colheita, a velocidade com que a mesma deve ser efetuada implicará na qualidade do produto e na redução de perdas, aumentando, dessa forma, os lucros do cafeicultor (Silva et al., 2003).

3.5 – Projeto de máquinas na agricultura

Vários autores têm estudado a mecanização da colheita de café (CASSIA et al., 2013; SILVA et al., 2013), uma vez que a experiência da utilização das colhedoras ao longo dos anos, bem como pesquisas e aperfeiçoamentos no projeto das máquinas têm melhorado cada vez mais a eficiência do processo.

Segundo Fialho (2006) , a partir dos anos 70 foram desenvolvidos softwares CAD. que permitiram ao engenheiro projetar e visualizar seus componentes em diferentes vistas, bem como modifica-los e dimensiona-los. Dessa forma foram desenvolvidos softwares para análise estrutural, dando início às tecnologias CAE (computer aided engineering) que possibilitavam aperfeiçoar os modelos pela simulação e análise cinemática, dinâmica, térmica e estrutural.

A falta de aplicação dos conhecimentos de engenharia e de metodologia de projeto pode causar erros na execução do projeto, resultando em falhas durante a operação com potencial risco na geração de acidentes. (SANTOS et al., 2008).

Com objetivo de simular o funcionamento de protótipos, verificar as condições de funcionamento e durabilidade das peças que fazem parte da constituição das máquinas, podem ser utilizados programas de computador com base no sistema CAD (Computer Aided Design) (MAGALHÃES et al., 2006).

Segundo SRIVASTAVA et al. (1996) o tamanho e a massa do fruto são os parâmetros mais importantes no recolhimento do produto. Para o desenvolvimento adequado da máquina recolhedora, é importante conhecer as características aerodinâmicas, como velocidade terminal e coeficiente de arrasto, dos produtos a serem recolhidos.

Além da determinação das características físicas dos produtos, a modelagem matemática tem se apresentado como uma ferramenta importante no desenvolvimento de uma máquina agrícola. O aumento da velocidade e capacidade de processamento dos computadores e a necessidade de estudos de máquinas sofisticadas são os principais fatores que contribuíram para o desenvolvimento dessas técnicas de análise e projeto de máquinas (NORTON, 2004; KNIGHT, 1993).

De acordo com GARCIA (1998) o uso de computadores tem proporcionado o desenvolvimento de "protótipos virtuais", em que determinada máquina, ou sistema, é modelada usando-se um programa computacional, sendo o seu comportamento simulado sob diferentes condições de funcionamento, antes que ela entre em linha de produção.

A Cinemática é a área da Mecânica que se ocupa das leis do movimento dos corpos independentemente das causas que o provocam. Neste tipo de análise apenas se estudam os aspectos puramente geométricos do movimento, não sendo considerados os esforços envolvidos neste processo. Definir cinematicamente um mecanismo ou formular a lei do movimento de um corpo é estabelecer, para cada instante, a posição, a velocidade e a aceleração, em relação a um referencial previamente escolhido. Por outro lado, a cinemática serve de base à dinâmica, uma vez que o estabelecimento das relações cinemáticas é necessário ao estudo do movimento dos corpos submetidos à ação de forças (NORTON, 2004).

A Dinâmica dedica-se ao estudo da relação entre o movimento dos corpos e as ações/causas que o provocam. Ao contrário da cinemática, na dinâmica, ao estudar-se o movimento dos corpos, consideram-se não só os esforços que atuam sobre os corpos, mas também a sua inércia/massa. A dinâmica permite prever o movimento causado por determinadas ações ou vice-versa (NORTON, 2004).

A simulação dinâmica em programas computacionais tem como base a teoria da dinâmica multi-corpos. Nesta teoria, os componentes de um sistema mecânico são modelados como corpos rígidos interconectados por juntas. As equações de restrições para cada junta são utilizadas em conjunção com a equação de movimento de Lagrange para criar um sistema de equações diferenciais-algébricas. A solução dessas equações provê a posição, velocidade e aceleração de cada parte, tão bem como as forças de reação em cada junta. Cada parte está em equilíbrio dinâmico em cada instante de tempo do processo de solução (AUTODESK, 2013).

4 – MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), estabelecida no município de Viçosa, MG e foi constituído de três etapas; desenvolvimento, construção e avaliação do protótipo.

4.1 – Desenvolvimento do Projeto

Na primeira etapa foi desenvolvido o projeto informacional, conceitual e detalhado de um mecanismo de recolhimento para ser adaptado em uma colhedora de café com capacidade de operar em terrenos que apresentem declividades de até 40%. A metodologia utilizada nesta etapa seguiu a metodologia para elaboração de projetos proposta por Pahl e Beitz (2005), como descrita a seguir:

4.1.1 – Planejamento e esclarecimento da tarefa

A primeira fase do projeto envolveu o planejamento e esclarecimento da tarefa realizada. Este esclarecimento da formulação da tarefa destinou-se à coleta de informações sobre os requisitos necessários para o funcionamento do sistema a ser desenvolvido, bem como sobre as condicionantes existentes e sua relevância.

O resultado dessa fase foi a definição informativa numa lista de requisitos que o produto deverá atender. As afirmações e determinações da lista de requisitos foram ajustadas e sintonizadas às necessidades do desenvolvimento do projeto e às etapas de trabalho subsequentes.

4.1.2 – Projeto conceitual

Com base nos requisitos da máquina a ser desenvolvida determinou-se a função que representa a interação geral objetivada entre entrada e saída de um sistema. Portanto, a função global pode ser indicada, a qual aponta, mediante utilização de um diagrama de blocos, a inter-relação entre variáveis de entrada e de saída com referência à conversão de energia, material e/ou sinal, de forma neutra com relação à solução.

As variantes de soluções elaboradas foram avaliadas e as que não atenderam as exigências da lista de requisitos foram eliminadas, as restantes foram avaliadas por critérios estabelecidos. Com base na avaliação decidiu-se pelo conceito cujo desenvolvimento foi continuado.

O método empregado para a determinação das soluções foi o da matriz morfológica que consiste de uma tabela onde são listadas as funções necessárias no produto a ser projetado e ao lado dessas funções são citadas em forma de esboço as soluções possíveis para que seja suprida aquela função. As soluções foram colocadas num diagrama morfológico ou matriz de projeto de um modo que as diversas combinações fossem facilmente analisadas. Por intermédio do simples arranjo das diferentes linhas e colunas da matriz o método utilizado permitiu a elaboração de uma quantidade muito grande de soluções para o problema. O método permitiu ainda a visualização das diversas possibilidades em estudo, oportunizando o surgimento de concepções inovadoras obtidas, por exemplo, através da interação entre dois ou mais princípios.

4.1.3 – Projeto detalhado

Essa é a fase do projeto que complementa a estrutura de criação do sistema desenvolvido por meio de prescrições definitivas sobre a forma do mecanismo, dimensionamento e acabamento superficial de todas as peças, definição de todos os materiais e verificação das possibilidades de produção. Assim, foram criados subsídios gráficos obrigatórios, além de outros, para a concretização material. O resultado do detalhamento foi a definição da tecnologia de produção da solução.

Nesta fase ocorreu a elaboração da documentação para a produção, especialmente dos desenhos de componentes individuais para a fabricação, dos desenhos de conjuntos, até onde necessário, e do desenho completo até as listas das peças. Esta fase da etapa de detalhamento foi auxiliada e automatizada por meio de processamento gráfico, utilizando-se o software Autodesk Inventor, o qual possui compatibilidade com máquinas de comando numérico.

Os desenhos de detalhamento foram elaborados da seguinte forma: peças individuais apresentam informações sobre o material utilizado, processo de fabricação e tolerância nas dimensões. Conjuntos soldados contem as peças individuais que compõe o conjunto, o processo de soldagem e as tolerâncias do conjunto soldado. Montagens detalham os conjuntos de solda e as peças individuais que compõe a montagem, o processo de montagem e as tolerâncias finais.

Dessa forma, ao acessar a montagem final do sistema de recolhimento foi possível identificar todas as partes constituintes sabendo como foi seu processo de fabricação e qual material foi utilizado.

Após a definição dos materiais e da conformação que envolve o mecanismo recolhedor, foi realizada uma análise cinemática e dinâmica com o objetivo de verificar os parâmetros de posição, velocidade e aceleração, forças e momentos envolvidos no sistema. Também foi realizada uma análise de tensões e deformações para verificar se os materiais escolhidos suportam as condições de operação com carga máxima aplicada. Para realização desta análise foi utilizado o módulo de análise de tensões do software Autodesk Inventor que utiliza a ferramenta de análise por elementos finitos.

Para materiais dúcteis como o aço, a teoria mais utilizada é a teoria de energia de distorção máxima conhecida como teoria de Von Mises, que leva em consideração os componentes de tensão normal atuantes em cada face de um cubo elementar, conforme ilustrado na Figura 1.

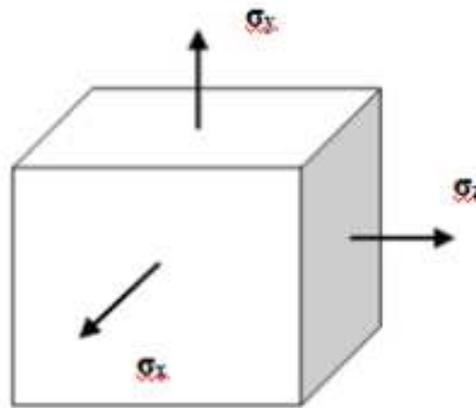


Figura 1 – Elementos de tensão normal atuantes em um cubo elementar.

A equação de Von Mises pode ser expressa de acordo com a Equação 1:

$$\sigma = \sqrt{0,5 \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \right]} \quad \text{Equação 1}$$

Onde,

- σ = Tensão de Von Mises, Pa;
- σ_x = Tensão de Normal no eixo X, Pa;
- σ_y = Tensão de Normal no eixo Y, Pa;
- σ_z = Tensão de Normal no eixo Z, Pa;

4.2 – Construção do protótipo

Após o desenvolvimento do mecanismo, deu-se início à segunda etapa do projeto com a construção de um protótipo capaz de simular o recolhimento do café em diversas condições de declividade, velocidade de deslocamento da colhedora e cargas aplicadas sobre o mecanismo recolhedor.

O desenvolvimento do protótipo baseou-se no chassi de uma colhedora de café desenvolvida no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. O chassi da colhedora apresenta um mecanismo pantográfico que permite a articulação de suas colunas possibilitando operar em terrenos com alta declividade, conforme ilustrado na Figura 2. Utilizando o software Autodesk Inventor, foi realizada uma síntese de um mecanismo recolhedor de café capaz de se adaptar à estrutura da colhedora.

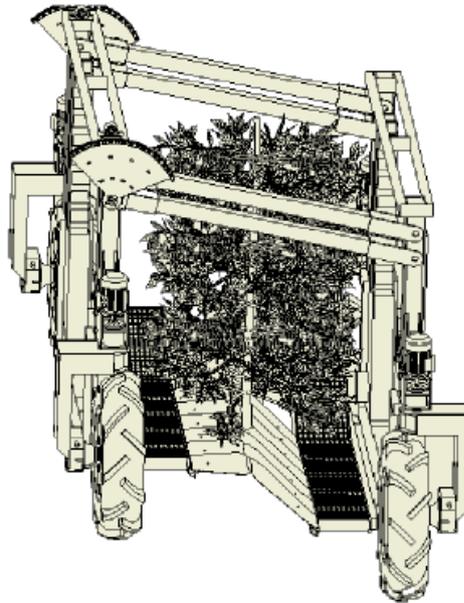


Figura 2 – Chassi da colhedora de café com projeção do mecanismo recolhedor.

4.3 – Avaliação do protótipo

A avaliação do protótipo foi realizada em laboratório e para isso foi necessário fixar um dos lados da estrutura do chassi do sistema de recolhimento no piso, deixando o outro lado da estrutura apenas apoiado sobre o piso. Para simular diferentes declividades do terreno foram utilizados calços para elevar o lado apoiado da estrutura, alterando dessa forma a declividade transversal do sistema de recolhimento.

Abaixo do sistema de recolhimento foi fixado um sistema de trilhos centralizado com o mecanismo de vedação. Foi utilizado uma haste metálica com um diâmetro de 63,5 mm para simular o tronco da planta de café. Essa haste foi acoplada sobre um dispositivo conectado aos trilhos. Esse dispositivo foi acionado por um motor elétrico de 50 cv de potencia conectado a um inversor de frequência. Dessa forma foi possível simular diferentes velocidades da haste passando pelo mecanismo de vedação do sistema de recolhimento.

Acima do sistema de recolhimento foram posicionadas duas peneiras com o objetivo de simular a derriça e uniformizar a distribuição dos frutos de café sobre o mecanismo de vedação.

Antes de ser despejada sobre as peneiras utilizadas para simular a derriça do café sobre o mecanismo recolhedor, o volume dos grãos de café foi mensurado utilizando um recipiente graduado, com capacidade de 10 litros e pesado utilizando uma balança com precisão de 1 grama.

Os grãos de café foram despejados sobre as peneiras no momento em que uma haste, utilizada para simular a passagem da planta de café, acionasse o mecanismo de vedação do sistema de recolhimento. Ao lado do mecanismo de vedação foram posicionadas bandejas de coleta para receber os frutos de café derriçados que passaram pelo mecanismo.

A eficiência do recolhimento foi calculada de acordo com a Equação 2:

$$Erl = \left(\frac{Mr}{Mcr} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde,

Erl = Eficiência no recolhimento, %;

Mr = Massa de café recolhida pelas bandejas coletoras, kg e

Mcr = Massa de café presente inicialmente no recipiente graduado, kg.

4.4 – Delineamento Experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC) com 27 tratamentos e 5 repetições, onde os tratamentos constituíram um esquema fatorial 3 x 3 x 3, sendo 3 declividades de operação ($D_1 = 0\%$; $D_2 = 20\%$ e $D_3 = 40\%$); 3 velocidades de deslocamento da haste ($V_1 = 230 \text{ m h}^{-1}$; $V_2 = 460 \text{ m h}^{-1}$ e V_3

= 690 m h⁻¹) e 3 cargas volumétricas aplicadas sobre o mecanismo de vedação ($C_1 = 10$ L; $C_2 = 8$ L e $C_3 = 6$ L), totalizando 135 unidades experimentais.

Os valores de eficiência no recolhimento foram submetidos à uma análise de correlação com os fatores estudados e posteriormente submetidos a uma análise de regressão utilizando o software R.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 – Desenvolvimento do Projeto

5.1.1 – Projeto Informacional

Após separar as necessidades que o mecanismo recolhedor deve atender e as condições técnicas e econômicas disponíveis para a realização do projeto, foram classificados os requisitos necessários que o mecanismo recolhedor deve apresentar de forma quantitativa e qualitativa. Na Figura 3 é apresentada a lista de requisitos elaborada para o mecanismo de recolhimento.

Edição: 09			
Lista de Requisitos			Identificação Classificação Pag.: 01 Folha: 01
Usuário: Danilo R. Loureiro	Para: DEA	Projeto/Produto: Recolhedor de Café em montanha	
Modificação	N/V	Requisitos	Exigência
Data da alteração: 26/03/2015	Assinalar (N) necessidade ou (V) vontade	1- Geometria - Dimensões externas do mecanismo recolhedor:	
		N Comprimento:	1200mm
		N Largura:	1500mm
		N Altura:	1700mm
		2- Declividade do terreno:	
		N Longitudinal ao deslocamento:	0%
		N Transversal ao deslocamento:	0 - 40%
		3- Cinemática e Dinâmica:	
		N Posicionamento da Planta de café:	Centralizada com o recolhedor
		N Velocidade de trabalho:	até 2000 m h ⁻¹
		Coleta dos frutos de café:	Em Batelada
		N Vedação do sistema:	Reter os frutos e permitir a passagem da planta
		N Danos mecânicos:	
		N Causados nas plantas:	“Mínimo possível”
		N 4- Causados nos frutos:	“Mínimo possível”
N Fonte de energia:	Elétrica		
N 5- Potencia disponível:	30 cv		
N Simulação do Sistema de Derrixa:	Distribuição com o menor CV possível		
Baixo custo:	Limite de R\$ 2000,00		

Figura 3 – Lista de requisitos do mecanismo recolhedor desenvolvido.

5.1.2 – Projeto Conceitual

A estrutura de funções do mecanismo de recolhimento de café é apresentada na Figura 4.

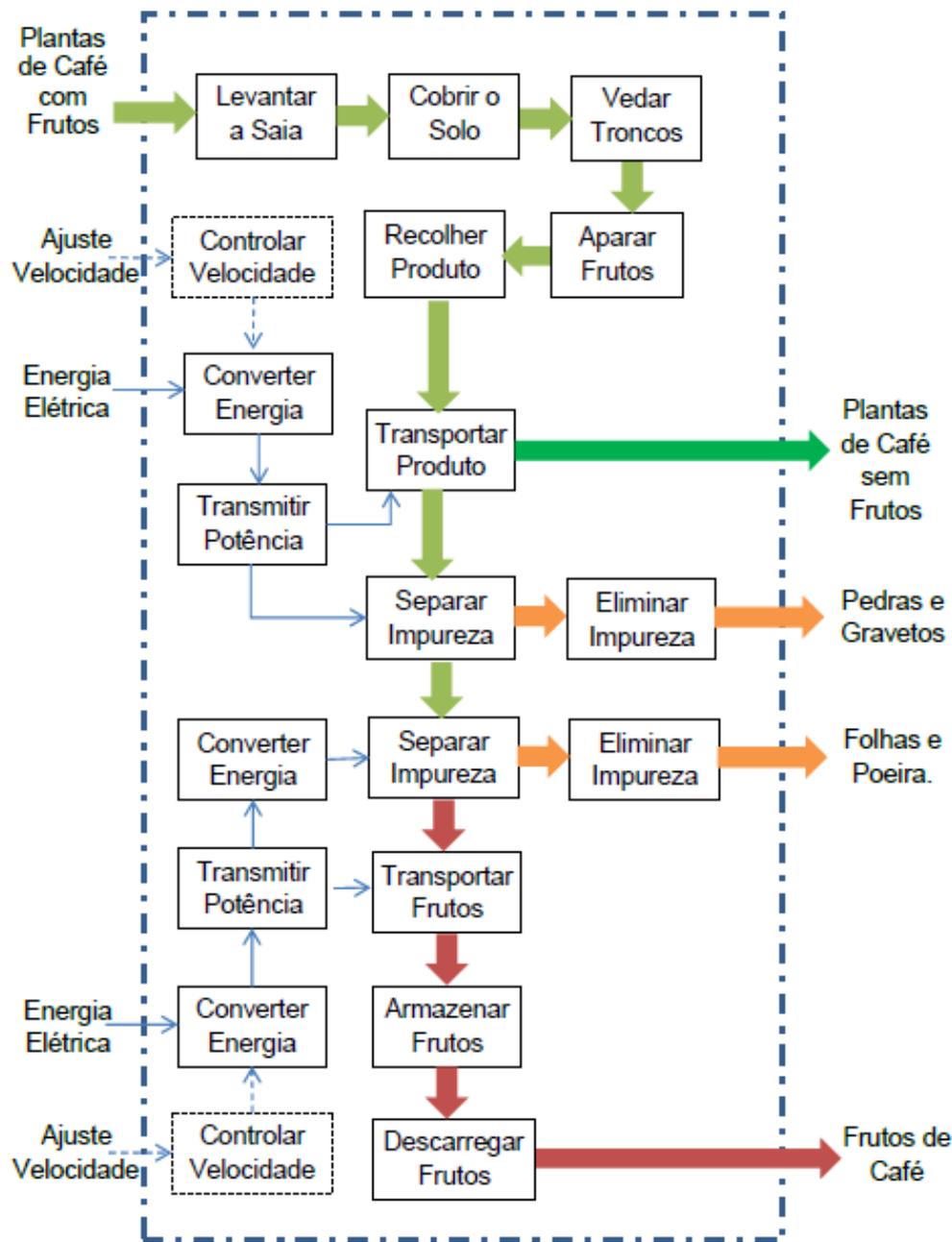


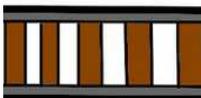
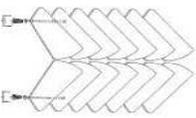
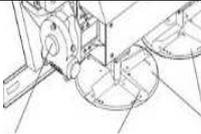
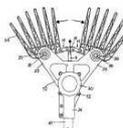
Figura 4 – Estrutura de funções do sistema de recolhimento de café.

A estrutura de funções permitiu desmembrar uma função complexa como ‘recolher os frutos de café em diversas sub-funções. Dessa forma foi possível analisar e solucionar todos as sub-funções de maneira individual e chegar à uma

solução mais adequada seguindo os critérios técnicos e econômicos estabelecidos nos requisitos do projeto.

Na Tabela 1 é apresentada a matriz morfológica utilizada para documentar as soluções individuais de cada sub-função e mostrar todo o campo de soluções por meio de desenhos.

Tabela 1 – Matriz morfológica contendo as soluções e sub-funções do mecanismo recolhedor

Sub-funções		Soluções			
		1	2	3	4
1	Deslocamento da Protótipo	 Rodas	 Esteira	 Trilhos	
2	Vedar Tronco e Reter Frutos	 Laminas	 Velcro	 Câmara de ar	 cerdas
3	Trabalhar em declividade	 Mecanismo de Barras	 Sistema hidráulico	 Sistema elétrico	
4	Simular Deriça dos Frutos	 Peneiras	 Agitador rotativo	 Hastes	
5	Fonte de Potencia	 Motor Elétrico	 Motor de Combustão	 manual	
6	Armazenar os frutos	 bandejas	 tanques	 sacos	

As sub-soluções para cada sub-função foram colocadas num diagrama morfológico ou matriz de projeto para serem combinadas em forma de variáveis de solução de um modo que as diversas combinações possam ser facilmente analisadas

e visualizadas. Por intermédio do simples arranjo das diferentes linhas e colunas da matriz, o método utilizado permitiu a elaboração de diversas variantes de soluções para o problema. Na Tabela 2 são apresentadas as variantes de soluções criadas.

Tabela 2 – Variáveis de soluções para o desenvolvimento do protótipo do mecanismo recolhedor

Sub - Função	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4
Deslocamento da Protótipo	Rodas	Esteira	Trilhos	Esteira
Vedar Tronco e Reter Frutos	Cerdas	Câmara de ar	Laminas Retráteis	Velcro
Trabalhar em declividade	Sistema Hidráulico	Sistema elétrico	Sistema hidráulico	Sistema Hidráulico
Simular Derricha dos Frutos	Agitador Rotativo	Peneiras	Hastes	Hastes
Fonte de Potencia	Motor Elétrico	Motor de Combustão	Manual	Motor de Combustão
Armazenar os frutos	Tanque	Sacos	Bandejas	Bandejas

Sub - Função	Solução 5	Solução 6	Solução 7	Solução 8
Deslocamento da Protótipo	Trilhos	Esteira	Trilhos	Rodas
Vedar Tronco e Reter Frutos	Laminas Retráteis	Sistema hidráulico	Velcro	Velcro
Trabalhar em declividade	Sistema de Barras	Sistema elétrico	Sistema hidráulico	Sistema Hidráulico
Simular Derricha dos Frutos	Peneiras	Peneiras	Hastes	Peneiras
Fonte de Potencia	Motor Elétrico	Manual	Motor de Combustão	Motor de Combustão
Armazenar os frutos	Bandejas	Tanque	Bandejas	Bandejas

Sub - Função	Solução 9	Solução 10	Solução 11	Solução 12
Deslocamento da Protótipo	Rodas	Esteira	Rodas	Rodas
Vedar Tronco e Reter Frutos	Velcro	Câmara de ar	Laminas Retrateis	Laminas Retrateis
Trabalhar em declividade	Sistema de Barras	Sistema hidráulico	Sistema hidráulico	Sistema de Barras
Simular Derricha dos Frutos	Hastes	Agitador Rotativo	Peneiras	Peneiras
Fonte de Potencia	Motor Elétrico	Manual	Motor de Combustão	Motor de Combustão
Armazenar os frutos	Bandejas	sacos	Bandejas	Bandejas

Após criar as variantes de soluções, elas foram avaliadas de acordo com os critérios técnicos e econômicos. Para cada critério utilizado foi fornecido uma nota com um peso, e no final da avaliação a variante de solução que apresentou a maior nota foi utilizada como solução no projeto conceitual. Na Tabela 3 são apresentados os critérios de avaliações utilizados para a escolha da solução.

Tabela 3 – Critérios de avaliação utilizados para a escolha da melhor solução

Critérios de Avaliação	Peso do Critério	Variante Perfeita	Nota
Baixo custo de construção	0,100	100	10,0
Baixo custo de operação e manutenção	0,100	100	10,0
Soluções que respeitam o ambiente	0,030	100	3,0
Eficiência no recolhimento	0,200	100	20,0
Eficiência no transporte	0,200	100	20,0
Eficiência na separação e limpeza	0,200	100	20,0
Baixos danos mecânicos nos frutos	0,050	100	5,0
Eficiência da conversão de energia	0,050	100	5,0
Fácil operação e Manutenção	0,010	100	1,0
Segurança na operação	0,010	100	1,0
Utilização de peças padronizadas	0,050	100	5,0
Total	1,00		100

A variante de solução 5 apresentou os melhores resultados, recebendo a nota 85 no final da avaliação. Portanto, o conceito de solução a ser utilizada está descrita na Tabela 4.

Tabela 4 – Solução selecionada no projeto conceitual

Sub-funções	Solução Conceitual
Deslocamento do Protótipo	Trilhos
Vedar Tronco e Reter Frutos	Lâminas Retrâteis
Trabalhar em Declividade	Sistema de Barras
Simular Derrixa dos Frutos	Peneiras
Fonte de Potencia	Motor elétrico
Armazenar os Frutos	Bandejas

5.1.3 – Projeto Detalhado

O protótipo do mecanismo de recolhimento do café foi projetado para trabalhar com materiais padronizados, facilitando dessa forma a construção das peças constituintes.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados as perspectivas do mecanismo de vedação e do protótipo do mecanismo recolhedor.

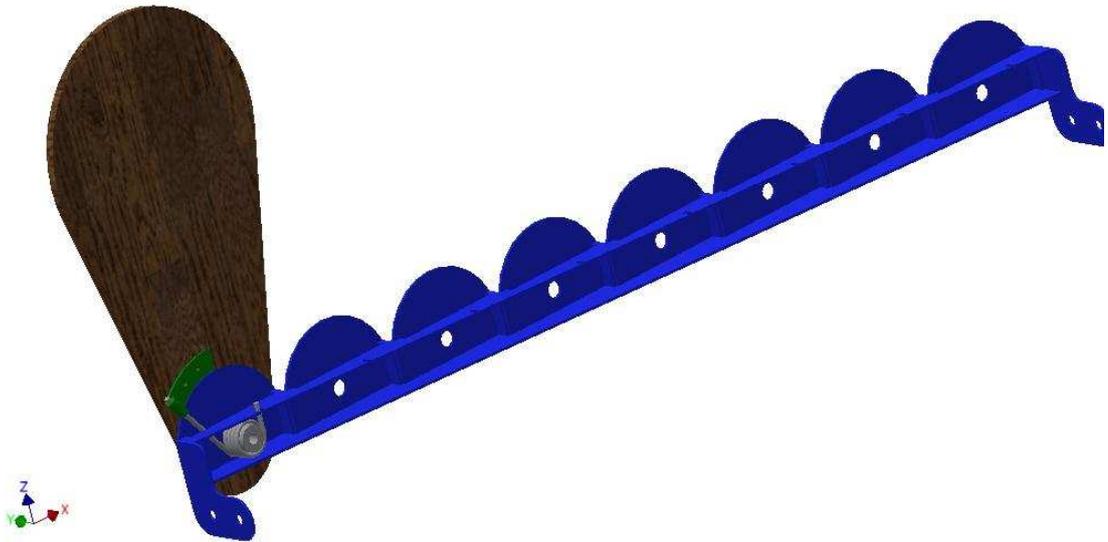


Figura 5 – Perspectiva do mecanismo de articulação de lâminas retráteis utilizado no protótipo.

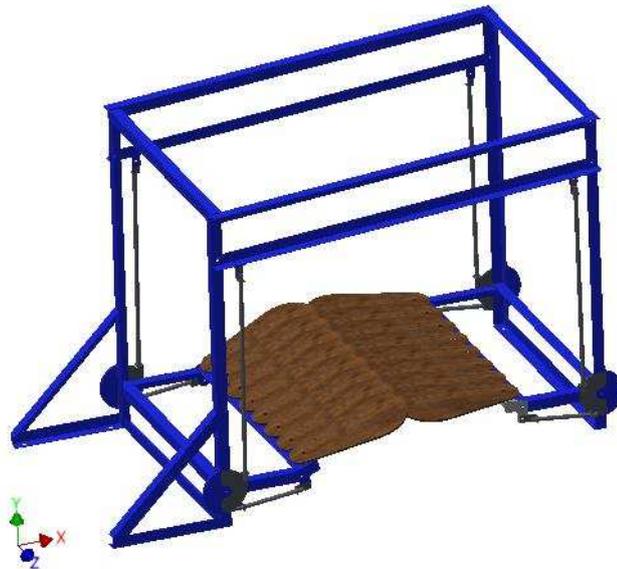


Figura 6 – Perspectiva do protótipo do mecanismo recolhedor de café.

O sistema de recolhimento proposto foi acoplado a uma estrutura formada por um mecanismo de quatro barras, que permite que a coluna da estrutura sempre trabalhe na posição vertical fornecendo estabilidade ao sistema. Na Figura 7 estão apresentados os elementos constituintes do mecanismo de recolhimento de café.

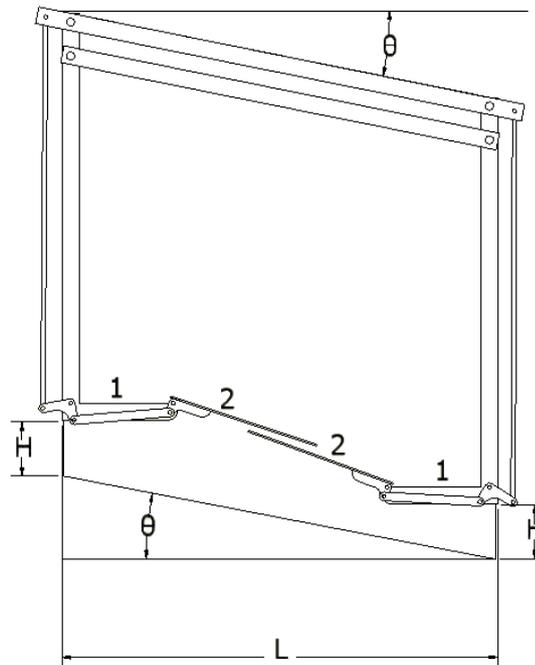


Figura 7 – Mecanismo de recolhimento de café desenvolvido para operar em regiões de montanha.

O ângulo θ representa a declividade do terreno. Conforme a inclinação do terreno se altere, as colunas do mecanismo recolhedor permanecerão sempre na posição vertical, conferindo estabilidade lateral ao mecanismo.

O elemento 1 representa as bandejas coletoras que possui a função de receber os frutos de café provenientes da derraça e armazená-los. O elemento 2 representa o mecanismo de vedação. Esse mecanismo permite que a planta atravesse a máquina sem ser danificada e que seus frutos, ao se desprender da planta pelo sistema de derraça, sejam coletados e encaminhados para as bandejas coletoras.

A altura que o mecanismo se encontra em relação ao solo é representada por H e permanece constante em qualquer situação de declividade. Porém a largura efetiva do mecanismo recolhedor, representada por L , se altera com a declividade do terreno.

O acionamento do mecanismo de vedação é realizado pela própria inclinação do terreno através de outro mecanismo de barras conectado à estrutura da máquina.

Para o cálculo do fluxo de grãos de café que entram no mecanismo recolhedor foi utilizado a Equação 3.

$$F_e = \frac{V.P.D.E_d}{E} \quad \text{Equação 3}$$

Onde,

- F_e = Fluxo de grãos de café que entra no mecanismo recolhedor, kg s^{-1} ;
- V = Velocidade de deslocamento da máquina, m s^{-1} ;
- P = Produtividade média por planta, m^3 ;
- D = Densidade média dos frutos de café colhidos, kg m^{-3} ;
- E = Espaçamento entre plantas na linha de plantio, m e
- E_d = Eficiência na derriça

No cenário em que o ângulo θ for igual à zero, o fluxo de grãos de café que entra no mecanismo será dividido igualmente para as bandejas coletoras. Porém, quando o mecanismo trabalhar em um plano inclinado, a distribuição desse fluxo será diferente para cada bandeja.

Conforme ilustrado na Figura 8, a largura ocupada pelo mecanismo recolhedor (L) pode ser dividida em três seções, sendo duas delas constantes apresentadas pela seção (A1) das bandejas e uma seção (A2) apresentada pelo mecanismo de vedação, o qual se modifica de acordo com a declividade do terreno.

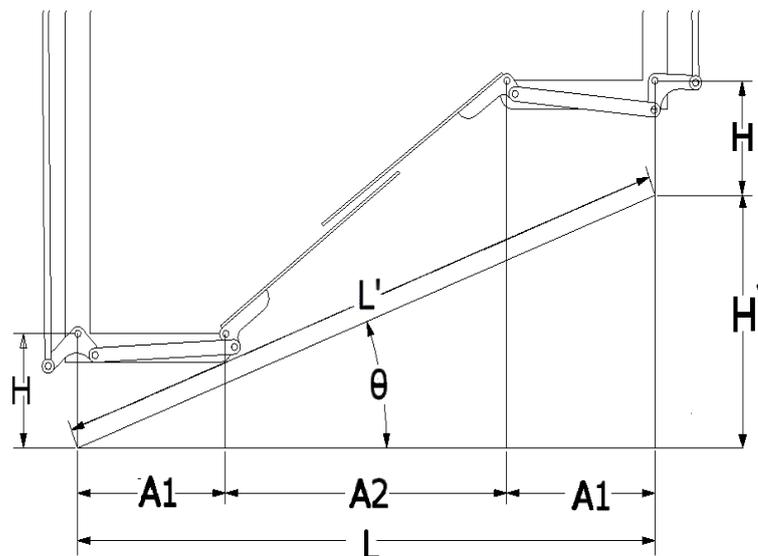


Figura 8 – Distribuição da largura ocupada pelo mecanismo recolhedor em função da declividade do terreno

Considerando que a queda dos grãos de café sobre o mecanismo recolhedor seja uniformemente distribuída na largura ocupada pelo mecanismo recolhedor, a bandeja posicionada na parte inferior receberá os grãos que cairão sobre sua seção A1 e também os que cairão na seção A2, conforme a Equação 4.

$$F_i = \left(\frac{A1 + A2}{2 \cdot A1 + A2} \right) \cdot F_e \quad \text{Equação 4}$$

Onde,

- F_i = Fluxo de grãos recebido pela bandeja posicionada na parte inferior do mecanismo de recolhimento, kg s^{-1} ;
- $A1$ = Seção ocupada pela bandeja, m;
- $A2$ = Seção ocupada pelo mecanismo de vedação, m e
- F_e = Fluxo de grãos de café que entra no mecanismo recolhedor, kg s^{-1} ;

Como L' é constante, pode-se relacionar L com a declividade do terreno, de acordo com a Equação 5.

$$L = \sqrt{L'^2 (1 - \text{sen}^2 \theta)} \quad \text{Equação 5}$$

Onde,

- L = Largura ocupada pelo mecanismo recolhedor, m;
- L' = Constante que depende das dimensões do projeto, m e
- θ = Ângulo que representa a declividade do terreno, graus.

Como $A1$ apresenta valor constante que depende de valores do projeto, pode-se relacionar $A2$ com a declividade do terreno de acordo com a Equação 6.

$$A2 = \left(\sqrt{L'^2 (1 - \text{sen}^2 \theta)} \right) - 2A1 \quad \text{Equação 6}$$

Onde,

- A2 = Seção ocupada pelo mecanismo de vedação, m;
- A1 = Seção ocupada pela bandeja coletora, m;
- L' = Constante que depende das dimensões do projeto, m e
- θ = Ângulo que representa a declividade do terreno, graus.

Substituindo a Equação 5 na Equação 3 e realizando alguns procedimentos matemáticos, pode-se apresentar o fluxo de grãos recebido pela bandeja inferior (F_i) do mecanismo de recolhimento em função do ângulo θ , conforme a Equação 7.

$$F_i = \left[1 - \left(\frac{A1}{\left(\sqrt{L'^2 (1 - \text{sen}^2 \theta)} \right)} \right) \right] \cdot F_e \quad \text{Equação 7}$$

Onde,

- F_i = Fluxo de grãos recebido pela bandeja posicionada na parte inferior do mecanismo de recolhimento, kg s^{-1} ;
- A1 = Seção ocupada pela bandeja, m;
- L' = Constante que depende das dimensões do projeto, m;
- θ = Ângulo que representa a declividade do terreno, graus e
- F_e = Fluxo de grãos de café que entra no mecanismo recolhedor, kg s^{-1} ;

Como o fluxo de frutos de café que entra no mecanismo será dividido para as esteiras transportadoras superior e inferior, pode-se encontrar o fluxo recebido pela bandeja superior de acordo com a Equação 8.

$$F_s = F_e - F_i \quad \text{Equação 8}$$

Onde,

- F_e = Fluxo de grãos de café que entra no mecanismo recolhedor, kg s^{-1} ;
- F_s = Fluxo de grãos recebido pela bandeja posicionada na parte superior do mecanismo de recolhimento, kg s^{-1} e
- F_i = Fluxo de grãos recebido pela bandeja inferior do mecanismo, kg s^{-1} ;

Considerando o cenário em que a velocidade de deslocamento do mecanismo recolhedor é de $0,28 \text{ m s}^{-1}$ operando em uma lavoura que apresente uma produtividade média de $0,035 \text{ m}^3$ por planta com um espaçamento entre plantas na linha de plantio de 1m e uma eficiência na operação de derriça de 85% . Nessas circunstâncias, o fluxo de frutos de café que entra no mecanismo recolhedor é de 10 kg s^{-1} . Esse fluxo de café será distribuído entre as duas bandeja coletoras em função da declividade do terreno. As Figuras 9 e 10 apresentam a distribuição do fluxo de grãos recebido pelas bandejas superior (F_s) e inferior (F_i), respectivamente, em função da declividade do terreno.

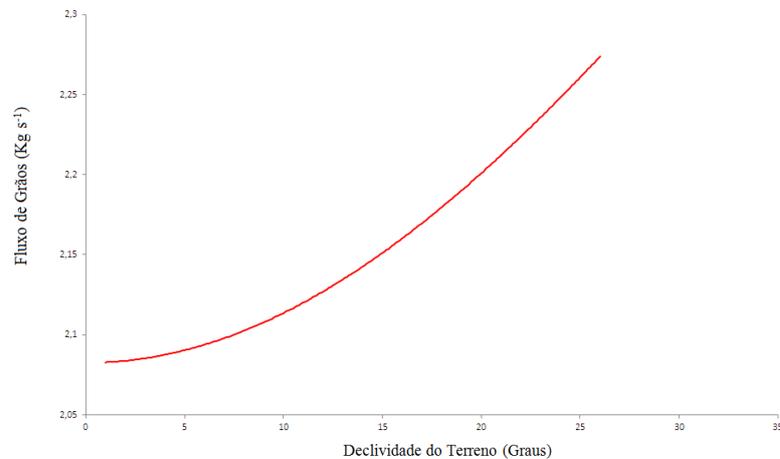


Figura 9 – Distribuição do fluxo de grãos recebido pela bandeja inferior em função da declividade do terreno.

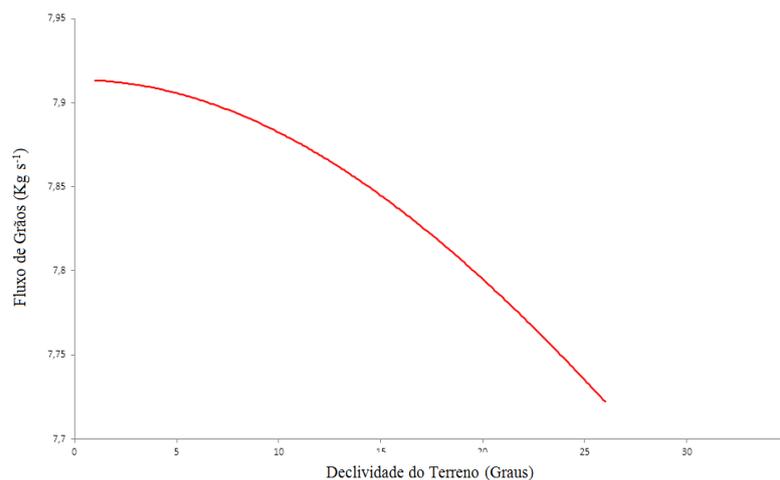


Figura 10 – Distribuição do fluxo de grãos recebido pela bandeja superior em função da declividade do terreno.

Essa distribuição somente é válida quando o mecanismo recolhedor não se encontra no cenário de “declividade zero”, pois nessa situação pressupõe-se que a distribuição seja igual para as duas bandejas coletoras.

Para o cálculo do tempo necessário para realizar a descarga das bandejas, deve ser considerado o maior fluxo de grãos recebido pela bandeja, que ocorre na bandeja inferior quando o mecanismo está trabalhando à uma declividade próxima de zero. Nesse cenário, o maior fluxo de grãos de café encontrado na bandeja inferior foi de $7,9135 \text{ kg s}^{-1}$.

Desta forma, o tempo necessário para descarregar as bandejas pode ser calculada de acordo com a Equação 9.

$$T = \frac{D \cdot V_{ol}}{F_i} \quad \text{Equação 9}$$

Onde,

- T = Tempo necessário para preencher o volume das bandejas coletoras, s;
- F_i = Fluxo de grãos recebido pela bandeja posicionada na parte inferior do mecanismo de recolhimento, kg s^{-1} ;
- D = Densidade média dos frutos de café colhidos, kg m^{-3} e
- V_{ol} = Capacidade da bandeja coletora, m^3

Substituindo o valor de F_i encontrado na Equação 7 na Equação 9 tem-se:

$$T = \frac{D \cdot V_{ol}}{\left[1 - \left(\frac{A1}{\left(\sqrt{L'^2 (1 - \text{sen}^2 \theta)} \right)} \right) \right] \cdot F_e} \quad \text{Equação 10}$$

Onde,

- T = Tempo necessário para preencher o volume das bandejas coletoras, s;
- F_e = Fluxo de grãos de café que entra no mecanismo recolhedor, kg s^{-1} ;
- D = Densidade média dos frutos de café colhidos, kg m^{-3} ;
- V_{ol} = Capacidade da bandeja coletora, m^3
- A1 = Seção ocupada pela bandeja, m
- L' = Constante que depende das dimensões do projeto, m e
- θ = Ângulo que representa a declividade do terreno, graus.

Para encontrar o tempo necessário para preencher o volume das bandejas coletoras em função da velocidade de deslocamento da máquina, declividade do terreno, eficiência de derriça, produção por planta e espaçamento entre plantas deve-se substituir a Equação 3 na Equação 10. Dessa forma tem-se:

$$T = \frac{E.V_{ol}}{\left[1 - \left(\frac{A1}{\left(\sqrt{L'^2(1 - \text{sen}^2\theta)} \right)} \right) \right] \cdot V.P.E_d} \quad \text{Equação 11}$$

Onde,

- T = Tempo necessário para preencher o volume das bandejas coletoras, s;
- E = Espaçamento entre plantas na linha de plantio, m;
- V_{ol} = Capacidade da bandeja coletora, m^3 ;
- A1 = Seção ocupada pela bandeja, m;
- L' = Constante que depende das dimensões do projeto, m;
- θ = Ângulo que representa a declividade do terreno, graus;
- V = Velocidade de deslocamento da máquina, $m\ s^{-1}$;
- P = Produtividade média por planta, $m^3\ e$
- E_d = Eficiência na derriça.

Analise Cinemática

Para realização da análise cinemática do sistema recolhedor foi utilizado o programa computacional Autodesk Inventor 2008^R no qual foi definida a geometria do sistema mecânico bem como as propriedades físicas dos materiais utilizados.

As dimensões do sistema recolhedor foram selecionadas com base no chassi já existente, projetado para operar em terrenos íngremes, o qual suporta o mecanismo de derriça assim como o sistema de recolhimento. O mecanismo de recolhimento, com o detalhe dos corpos que o compõem, está representado na Figura 11.

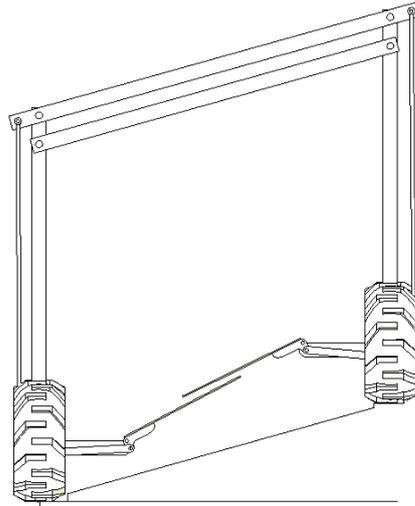


Figura 11 – Mecanismo de recolhimento de café utilizado para a análise cinemática.

O material de fabricação de cada componente do mecanismo foi escolhido na biblioteca disponível no programa, sendo utilizado aço carbono 1020 para os componentes estruturais e náilon para as lâminas retráteis do sistema recolhedor, que apresentam massa específica de 7860 e 1130 kg m³, respectivamente. Com essas informações, foram calculadas a massa e os momentos principais de inércia de cada elemento constituinte do sistema.

Para representar as irregularidades do solo foi utilizado um mecanismo tipo cames localizado abaixo de cada rodado conforme ilustrado na Figura 12. A origem global do sistema foi posicionada no eixo do mecanismo de cames que atua sobre a roda esquerda do sistema recolhedor. Para a realização da simulação, o mecanismo de recolhimento foi fixado no plano YZ, portanto, os valores referentes à posição, velocidade e aceleração no eixo X são nulos.

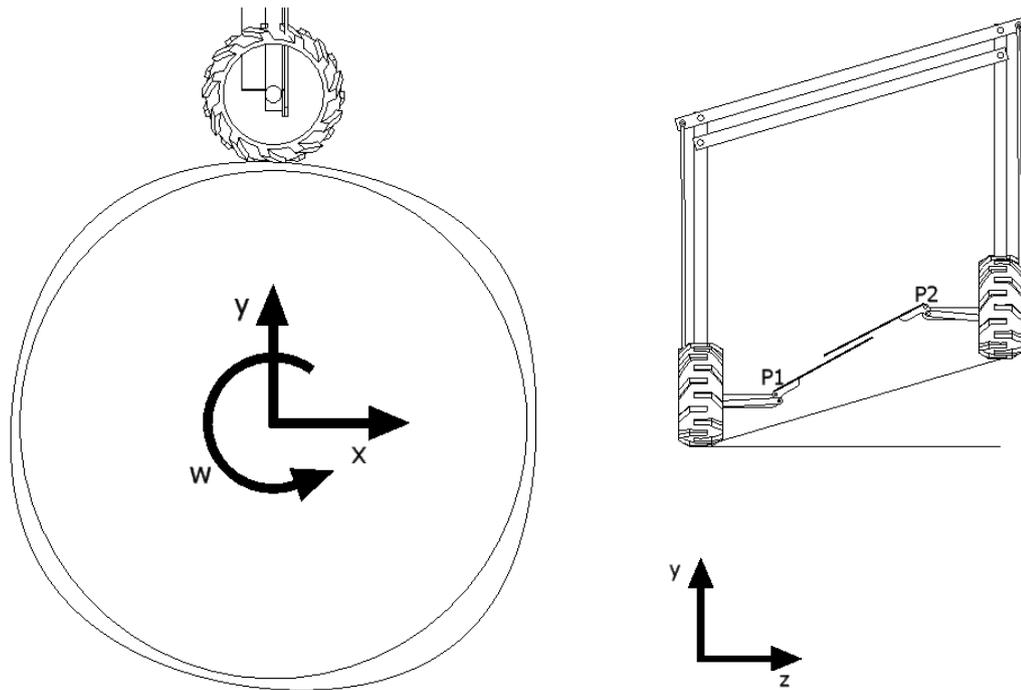


Figura 12– Mecanismo utilizado para representar as oscilações do solo.

Para iniciar o movimento do mecanismo foi criada uma junta de revolução entre o eixo Z do sistema global e o eixo do mecanismo de cames, permitindo alterar a velocidade angular do mecanismo de cames. Essa velocidade foi ajustada para permitir que a velocidade tangencial do ponto existente entre o mecanismo de cames e a roda do mecanismo recolhedor fosse de 1000 m h^{-1} , ou seja, a velocidade média de operação desse tipo de maquinário.

Os pontos P1 e P2 são os pontos de articulação do mecanismo de lâminas retráteis existentes no sistema para realizar a vedação do mecanismo de recolhimento.

Foram criados dois cenários para a realização da análise. O primeiro cenário se refere a uma situação de baixa declividade, onde somente as irregularidades do solo atuam sobre a inclinação do mecanismo recolhedor. O segundo cenário se refere a uma situação de alta declividade e ainda considera as irregularidades do solo que também irão modificar a inclinação do mecanismo recolhedor, conforme ilustrado na Figura 13.

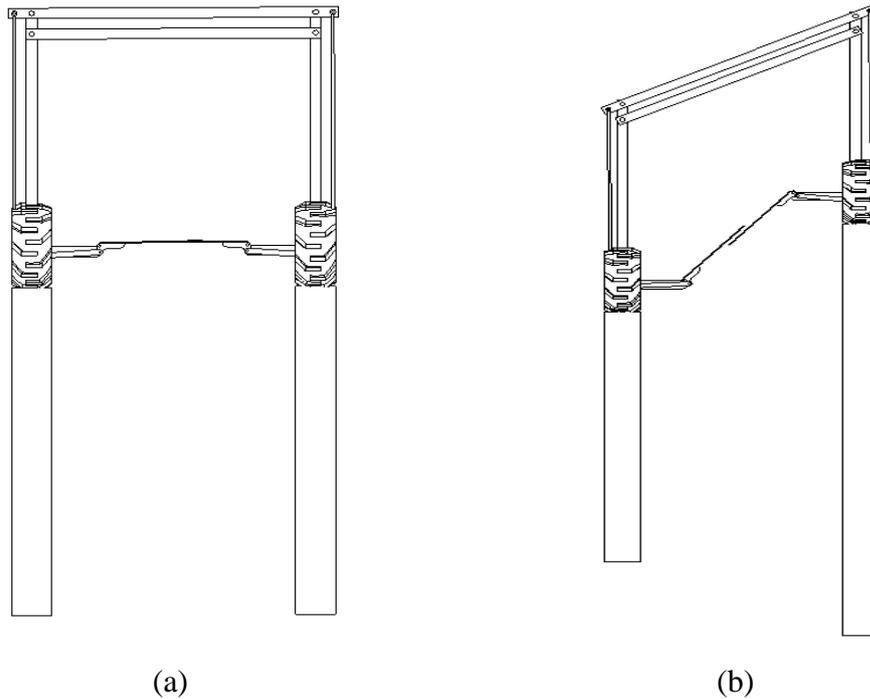


Figura 13 – Representação do mecanismo recolhedor atuando em uma superfície irregular com baixa (a) e alta declividade (b).

No primeiro cenário onde a declividade do terreno é baixa, foi utilizado o mesmo mecanismo de cames em ambas as rodas do mecanismo, porém, o cames em contato com o rodado direito está defasado em 15 graus em relação ao cames atuante no rodado esquerdo.

No segundo cenário foi criado outro mecanismo de cames para atuar no rodado direito o qual apresenta uma altura média, em relação à superfície de contato do cames com o rodado e o eixo do mecanismo de cames, superior ao utilizado no rodado esquerdo. As Figuras 14 e 15 apresentam o perfil dos mecanismos de cames utilizados em cada rodado, representando as irregularidades do solo nos cenários de baixa e alta declividade, respectivamente.

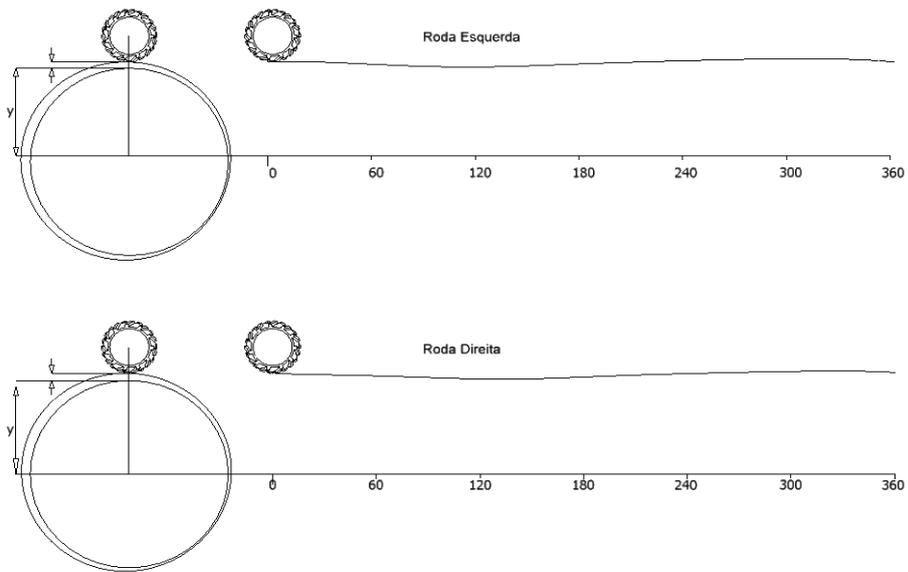


Figura 14 – Perfil do mecanismo de cames utilizado para representar as irregularidades do solo na situação de baixa declividade.

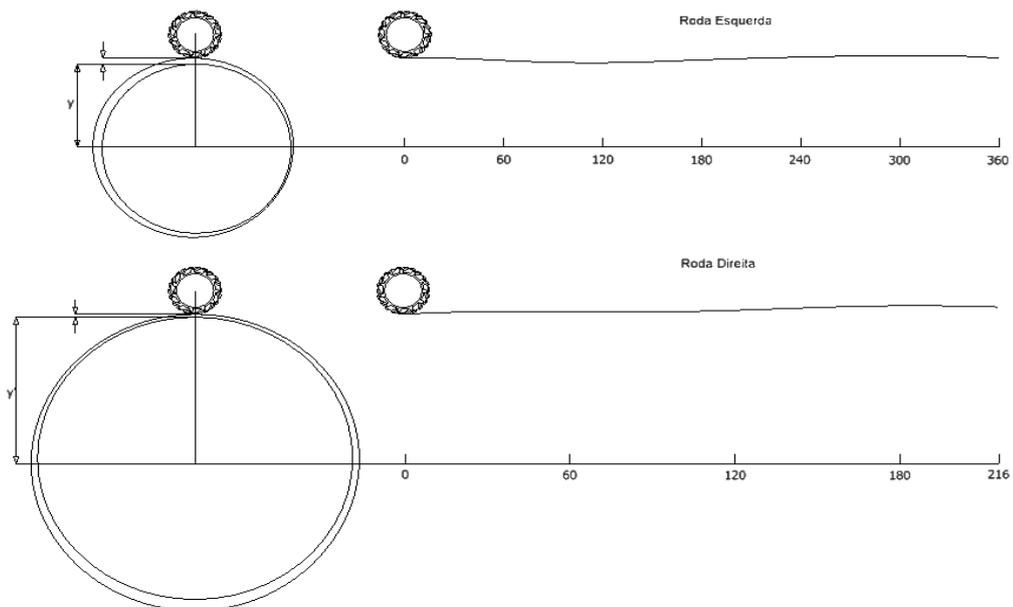


Figura 15 – Perfil do mecanismo de cames utilizado para representar as irregularidades do solo na situação de alta declividade.

As velocidades angulares dos mecanismos de cames foram iguais no cenário de baixa declividade, porém, no cenário de alta declividade a velocidade angular do mecanismo de cames utilizado no rodado direito foi menor que o apresentado pelo mecanismo atuante no rodado esquerdo. Essa velocidade foi ajustada para garantir que ambos os rodados apresentem a mesma velocidade média de deslocamento.

Após esse ajuste, foi processada a simulação e os resultados da análise cinemática especificando os pontos P1 e P2 de interesse, bem como as velocidades dos rodados para os cenários de baixa e alta declividade são apresentados nas Figuras 16 e 17, respectivamente.

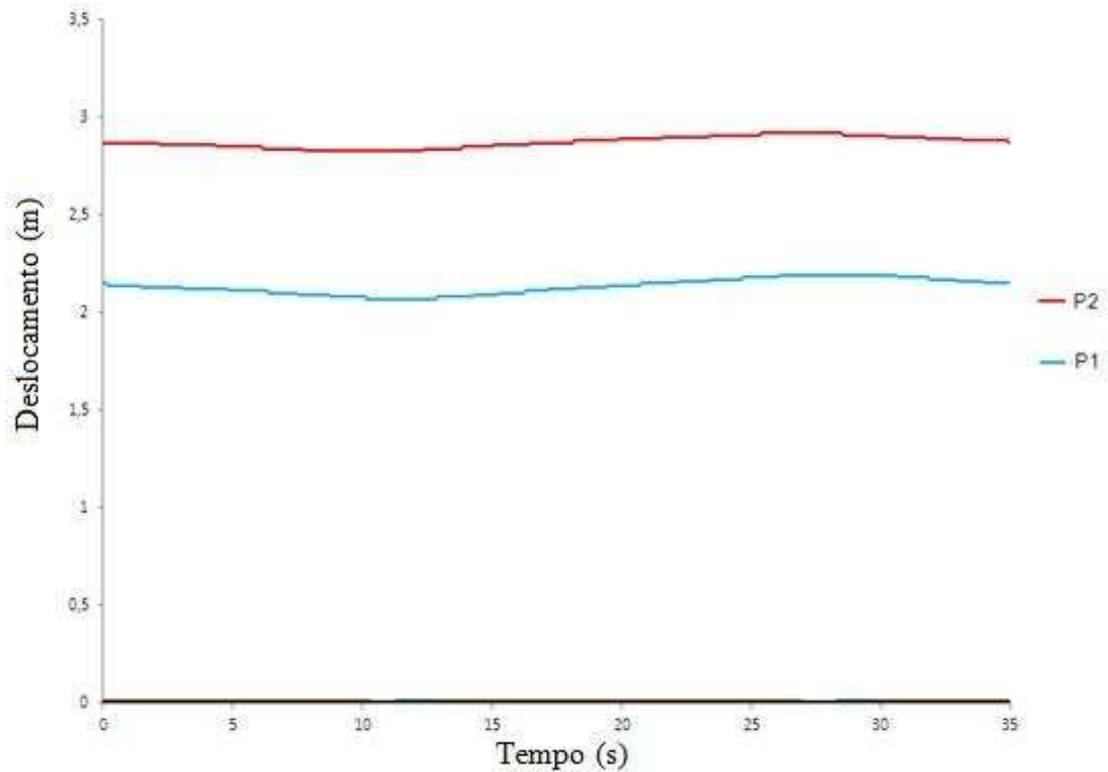


Figura 16 – Análise cinemática dos pontos P1 e P2 para a condição de baixa declividade.

Como o esperado, as posições dos pontos P1 e P2 variam de acordo com o perfil do mecanismo de cames utilizado. As grandezas de velocidade e aceleração nesses pontos são próximas à zero, devido à baixa velocidade de deslocamento utilizado para o acionamento do mecanismo, 1000 m h^{-1} . Os valores da posição do ponto P2 são maiores que os valores encontrados em P1 devido à origem global do sistema estar posicionada abaixo de P1.

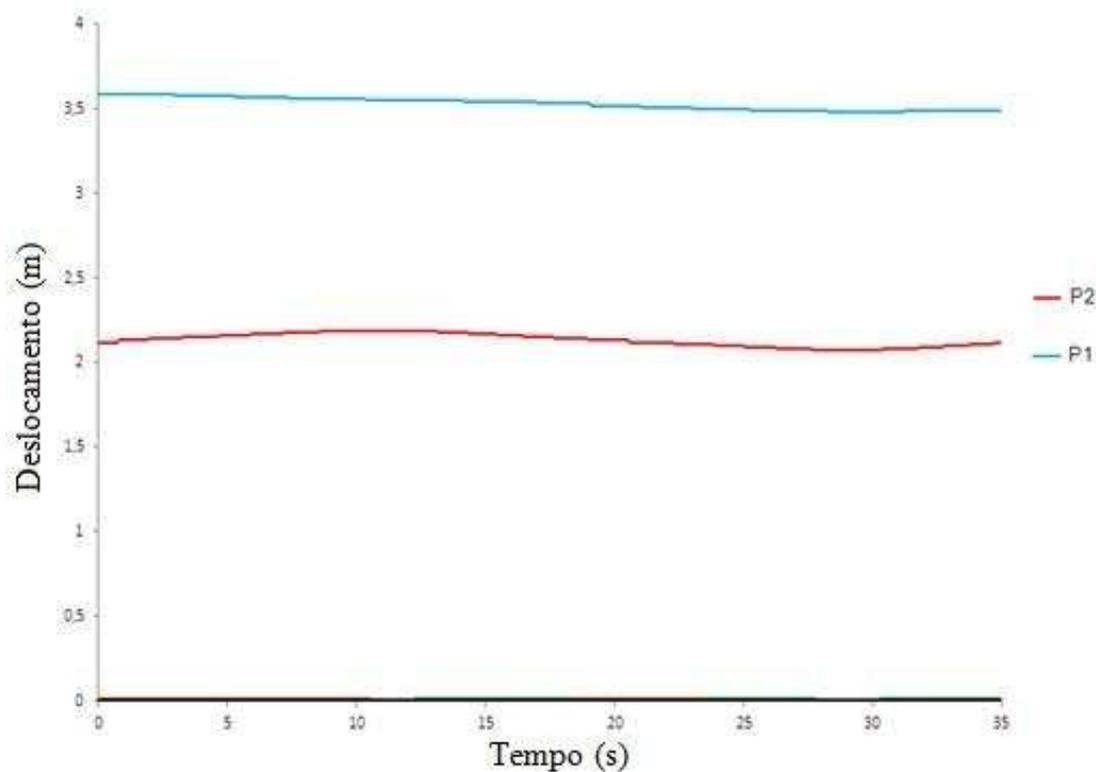


Figura 17 – Análise cinemática dos pontos P1 e P2 para a condição de alta declividade.

Semelhante ao cenário de baixa declividade, o cenário de alta declividade também apresentou baixos valores de velocidade e aceleração nos pontos P1 e P2. Uma mudança ocorreu na posição do ponto P2 aumentando seu valor em relação ao cenário de baixa declividade. Esse acréscimo no valor de P2 é referente à utilização do mecanismo de cames no rodado da direita maior que o mecanismo utilizado no rodado da esquerda.

Os perfis das variações da declividade durante a análise nos cenários de baixa e alta declividade são ilustrados nas Figuras 18 e 19 respectivamente.

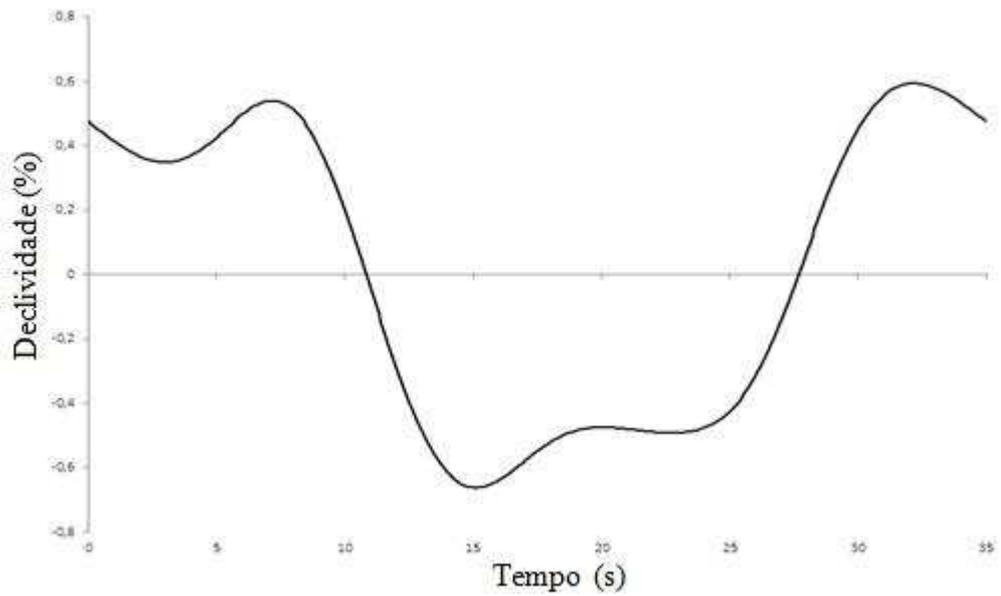


Figura 18– Variação da declividade da superfície em condição de baixa declividade.

O valor de declividade para o cenário de baixa declividade ficou na média de 0%. Observe que a variação da declividade durante a análise foi de 1,6% apresentando os maiores e menores valores de 0,8 e -0,8%, respectivamente.

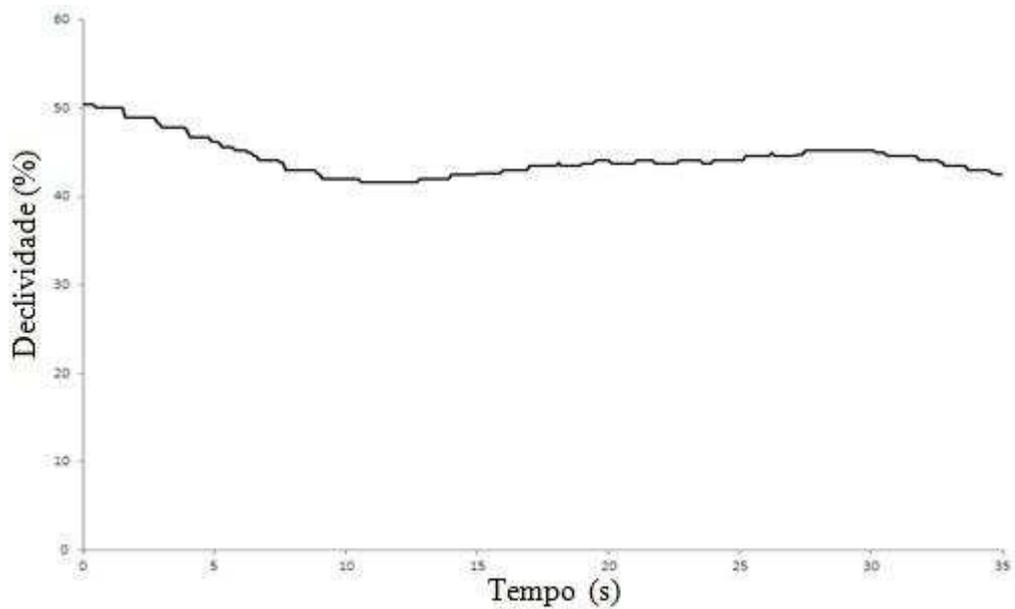


Figura 19 – Variação da declividade da superfície em condição de alta declividade.

O valor de declividade para o cenário de alta declividade ficou na média de 45%. Observe que a variação da declividade durante a análise foi de 9% apresentando os maiores e menores valores de 50,5 e 41,5%, respectivamente.

Análise Dinâmica.

Para a realização da análise dinâmica, além dos cenários de baixa e alta declividade, foram criadas situações onde ocorre a aplicação de diferentes cargas sobre o mecanismo de recolhimento. Essas cargas representam os frutos de café que ao serem derriçados são coletados pelo mecanismo de vedação e direcionado para as bandejas coletoras.

As cargas utilizadas foram de 25 e 10 N, aplicadas no centro de massa de cada lamina retrátil do mecanismo de vedação. Por fim, a velocidade de deslocamento do mecanismo foi modificada para trabalhar em 1000 e 2000 m h^{-1} . Na Figura 20 são apresentados os cenários de baixa e alta declividade com as forças atuando nas lâminas retráteis do mecanismo de vedação.

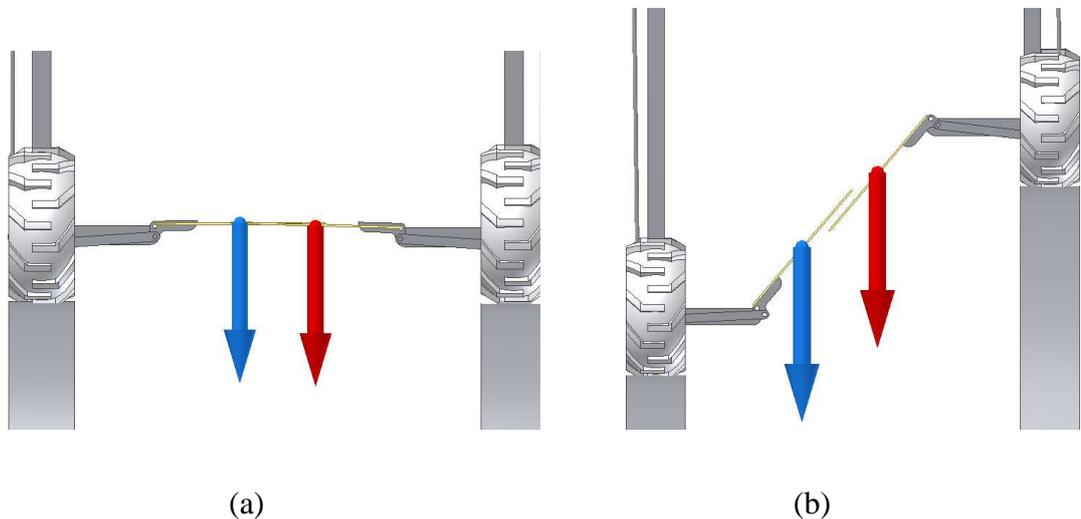


Figura 20 – Cenários de baixa (a) e alta (b) declividade utilizados para a análise dinâmica do mecanismo de vedação.

O primeiro cenário analisado é na condição de baixa declividade com uma carga vertical de 10 N aplicada no centro das lâminas com o mecanismo recolhedor trabalhando a uma velocidade de 1000 m h^{-1} . Nas Figuras 21 e 22 são apresentados respectivamente os valores do momento e das forças envolvidas nos pontos P1 e P2 para esse cenário.

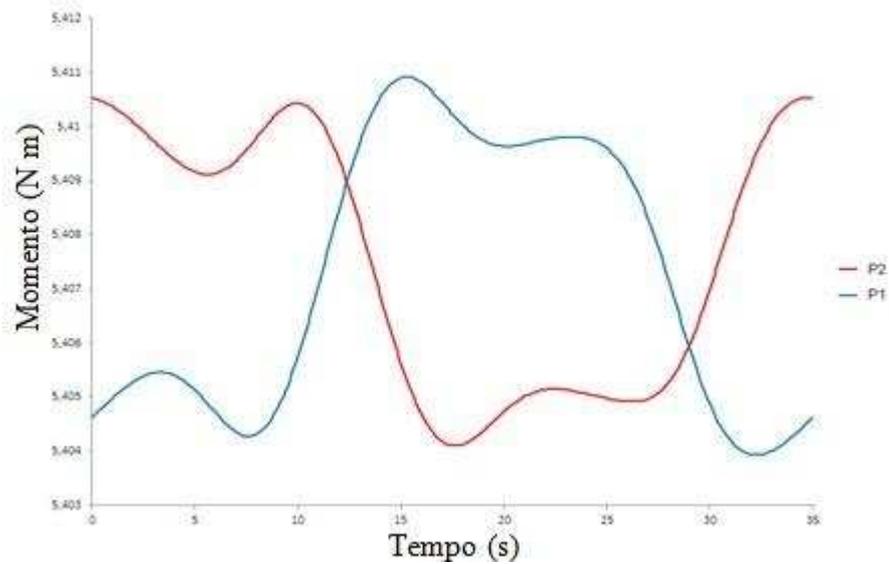


Figura 21 – Momento dos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h^{-1} .

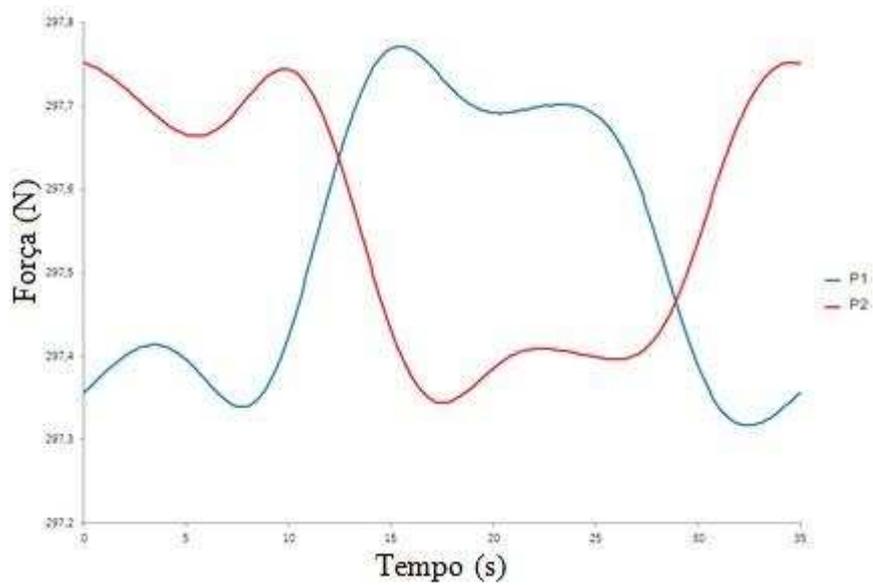


Figura 22 – Forças nos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade 1000 m h^{-1} .

Pode-se observar que o perfil da distribuição dos valores de momento e força nos pontos P1 e P2 são semelhantes. Isso se deve a utilização do mesmo mecanismo de cames utilizado em cada rodado, porém, existe uma defasagem de 15 graus entre eles. Desta forma, os valores das médias de momento e força no cenário de baixa declividade serão os mesmos nesses pontos.

A média do momento apresentado pelos pontos P1 e P2 foi igual com um valor de 5,4 N m apresentando uma variação de 0,006 N m. As forças envolvidas nesses pontos apresentaram um comportamento semelhante com valores superiores, apresentando valor médio de 297,53 N com uma variação de 0,4 N.

O próximo cenário analisado é na condição de baixa declividade com uma carga vertical de 25 N aplicada sobre as lâminas do mecanismo de vedação trabalhando com uma velocidade de deslocamento de 1000 m h⁻¹. Nas Figuras 23 e 24, são apresentados respectivamente os valores do momento e das forças envolvidas nos pontos P1 e P2 para esse cenário.

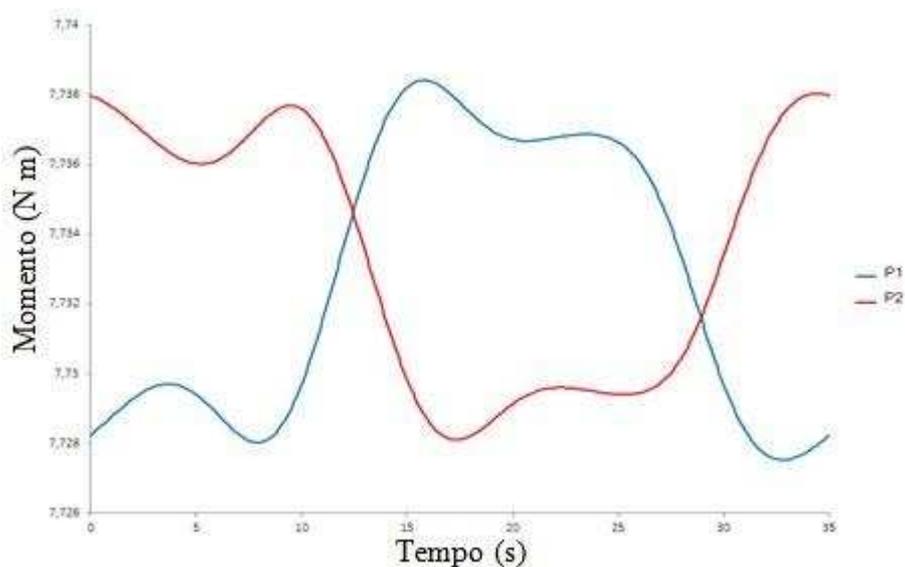


Figura 23 – Momento dos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 25N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h⁻¹.

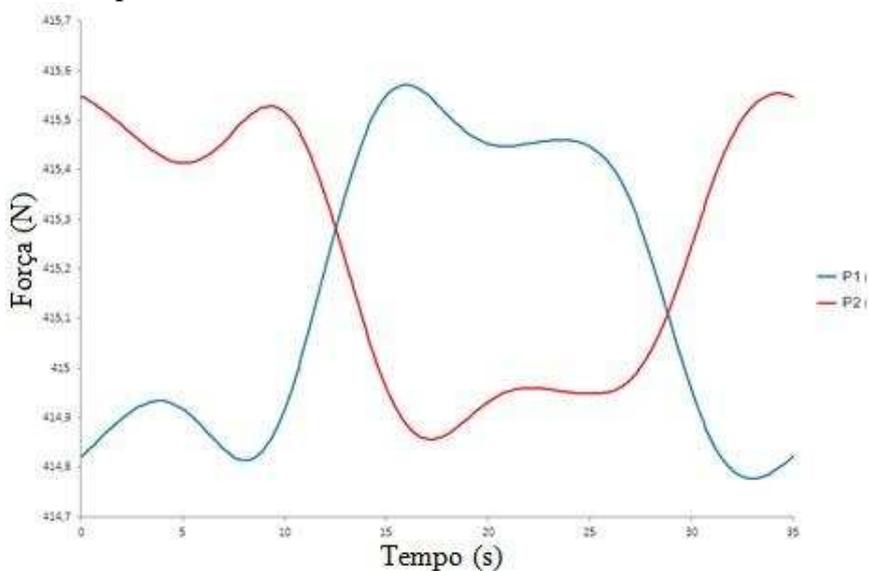


Figura 24 – Forças nos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 25N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h⁻¹.

O comportamento dos momentos e das forças apresentados nesse novo cenário é igual ao cenário anterior, modificando apenas os valores brutos devido ao aumento da carga imposta sobre lâminas do mecanismo de vedação .

A média do momento apresentado pelos pontos P1 e P2 nesta situação foi de 7,73 N m apresentando uma variação de 0,01 N m. As forças envolvidas nesses pontos apresentaram valor médio de 415,18 N com uma variação de 0,75N.

A seguir, será analisado o cenário que apresenta baixa declividade, carga vertical de 10 N aplicada no centro das lâminas do mecanismo de vedação, operando a uma velocidade de 2000 m h⁻¹. As Figuras 25 e 26 apresentam respectivamente os valores do momento e das forças envolvidas nos pontos P1 e P2 para esse novo cenário.

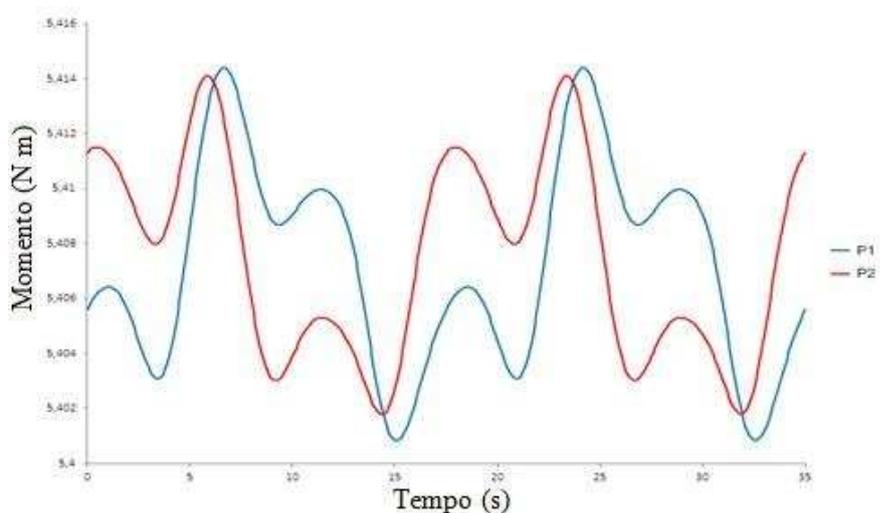


Figura 25 – Momento dos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h⁻¹.

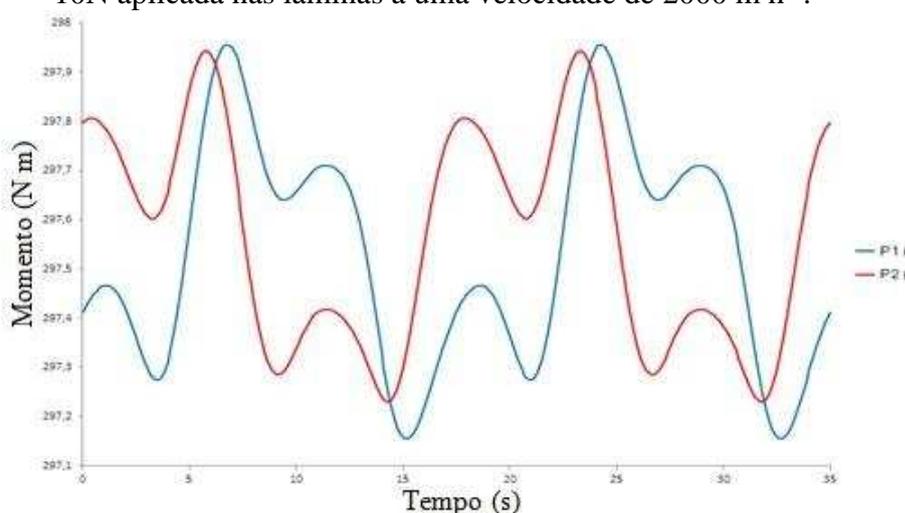


Figura 26 – Forças nos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h⁻¹.

Com a utilização da velocidade de deslocamento de 2000 m h^{-1} , os valores dos momentos dos pontos P1 e P2 apresentaram uma variação de valores mais intensa em relação aos valores apresentados pela velocidade de deslocamento de $1000 \text{ m}^{\text{h}}$. Ainda assim, a média do momento apresentado pelos pontos P1 e P2 continua igual com um valor de $5,4 \text{ N m}$, porém, apresentando uma variação maior de $0,013 \text{ N m}$. As forças envolvidas nesses pontos, de maneira semelhante à situação anterior, acompanharam o mesmo perfil de distribuição dos momentos, apresentando valor médio de $297,53 \text{ N}$, porém com uma variação superior de $0,8 \text{ N}$.

O próximo cenário apresentado corresponde a uma situação de baixa declividade utilizando uma carga vertical de 25 N aplicada no centro das lâminas do mecanismo de vedação, trabalhando à uma velocidade de deslocamento de 2000 m h^{-1} . Nas Figuras 27 e 28 são apresentados respectivamente os valores do momento e das forças envolvidas nos pontos P1 e P2 para essa nova situação.

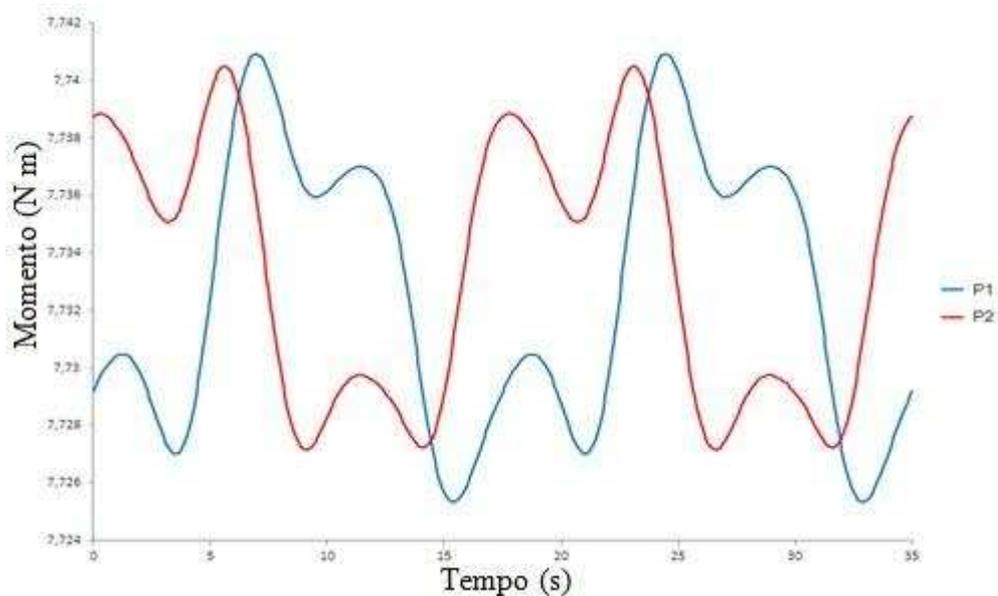


Figura 27 – Momento dos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 25 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h^{-1} .

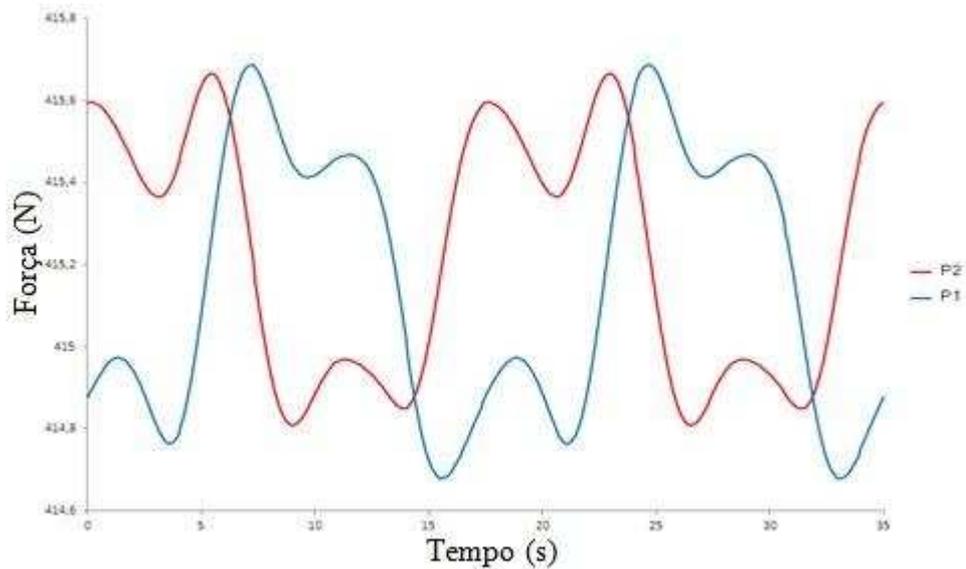


Figura 28 – Forças nos pontos P1 e P2 em baixa declividade com uma carga de 25 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h⁻¹.

O perfil da distribuição dos valores de momento e força, envolvidos nos pontos P1 e P2 é o mesmo apresentado no cenário anterior, porém, apresentam valores superiores devido ao incremento da carga aplicada no centro de cada palheta do mecanismo recolhedor.

Em média, os valores do momento apresentados pelos pontos P1 e P2 foi de 7,73 N m, que é a mesma quando se trabalhou com a velocidade de deslocamento inferior na mesma carga, porém, a variação do momento apresentou um aumento ficando em 0,016 N m. A mesma situação ocorre para as forças que apresentam média dos pontos P1 e P2 de 415,18 N e uma variação superior de 0,88 N.

A análise realizada até agora envolvia os cenários de baixa declividade onde o perfil do mecanismo de cames utilizado em cada rodado foi o mesmo, porém com uma defasagem de 15 graus entre eles.

As próximas análises foram realizadas utilizando a condição de alta declividade onde os mecanismos de cames utilizados são diferentes para cada rodado. Neste caso foi utilizada uma carga vertical de 10 N aplicada no centro de cada lâminas do mecanismo de vedação com o mecanismo recolhedor trabalhando com uma velocidade de deslocamento de 1000 m h⁻¹. Nas Figuras 29 e 30 foram apresentadas respectivamente os valores do momento e das forças envolvidas nos pontos P1 e P2.

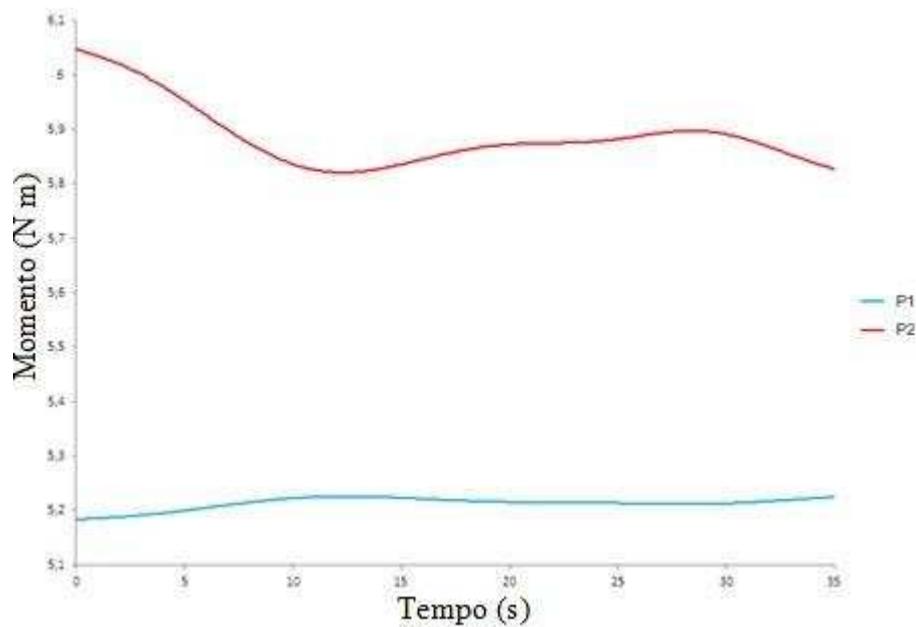


Figura 29 – Momento dos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h^{-1} .

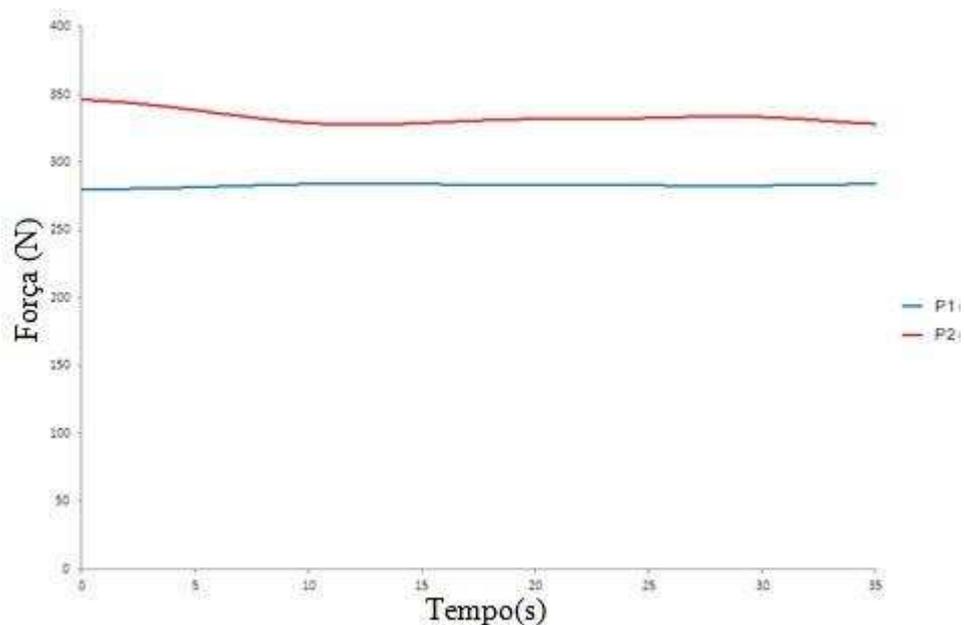


Figura 30 – Forças nos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 10 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h^{-1} .

Diferentemente do ocorrido no cenário de baixa declividade, o perfil da distribuição dos valores de momento e força nos pontos P1 e P2 se distinguem. Isso se deve a diferentes mecanismos de cames utilizado em cada rodado. Desta forma, o perfil do mecanismo de cames utilizado no rodado esquerdo e direito será responsável pelo perfil da distribuição dos valores de momento e força nos pontos P1 e P2 respectivamente.

Para o cenário descrito acima, as médias de momento apresentados nos pontos P1 e P2 foram de 5,21 e 5,88 N m, respectivamente. A variação apresentada pelo ponto P1 foi de 0,04 N m enquanto a apresentada pelo ponto P2 foi de 0,22 N m. As forças atuantes nos pontos P1 e P2 apresentaram média de 282,80 e 333,01 N respectivamente. O ponto P1 apresentou uma variação na força de 4,24 N enquanto que o ponto P2 apresentou uma variação na força de 18,53 N.

A próxima análise ocorreu em uma situação de alta declividade com uma carga vertical de 25 N aplicada no centro das lâminas do mecanismo de vedação trabalhando com uma velocidade de deslocamento de 1000 m h^{-1} . Nas Figuras 31 e 32 foram apresentadas respectivamente os valores do momento e das forças envolvidas nos pontos P1 e P2 nessa situação.

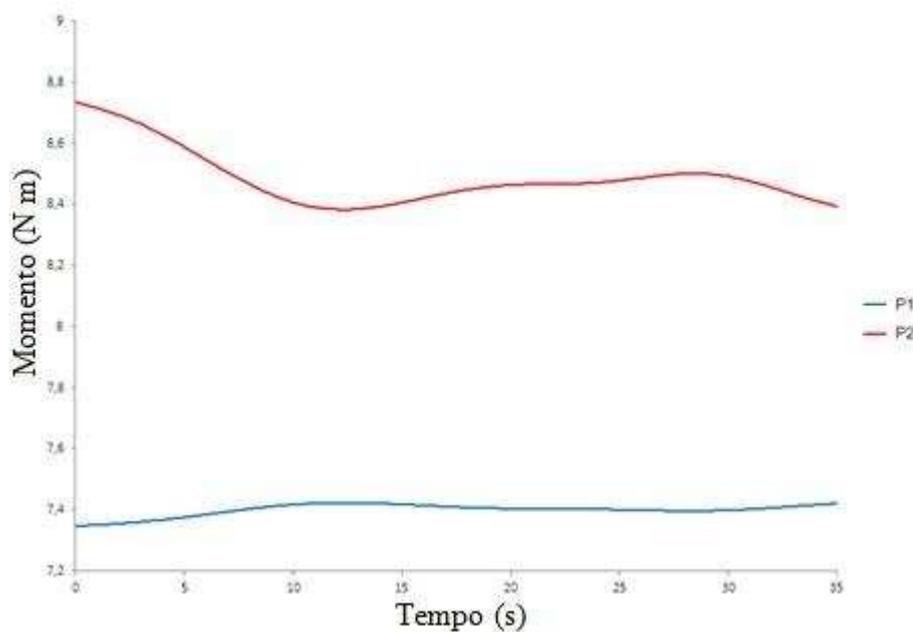


Figura 31 – Momento dos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 25N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h^{-1} .

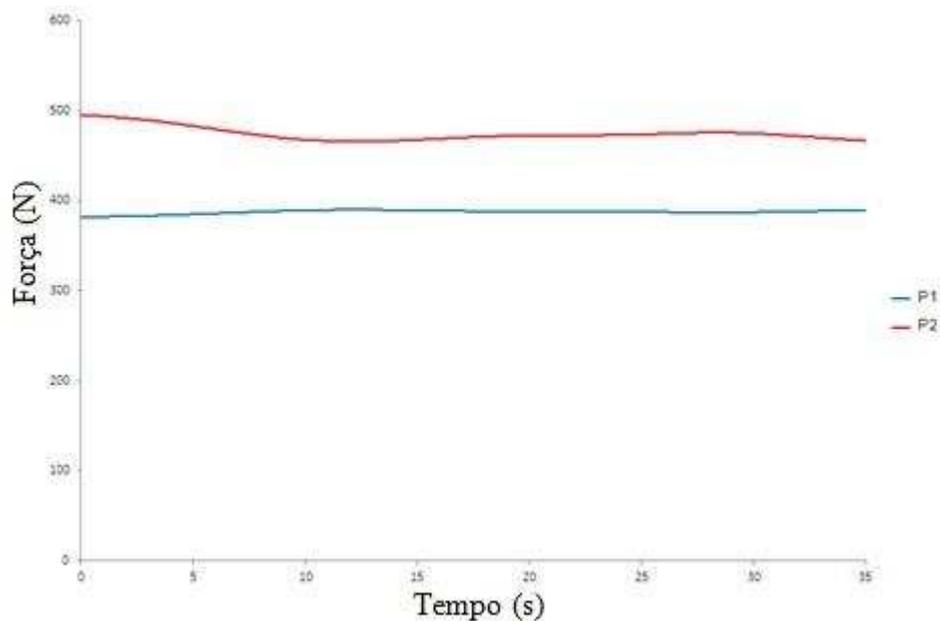


Figura 32 – Forças nos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 25 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 1000 m h⁻¹.

Como o esperado, o comportamento do perfil de distribuição do momento e força nos pontos P1 e P2 foi o mesmo apresentado na situação anterior, porém, apresentando um acréscimo nos valores devido a utilização de uma carga superior nas palhetas do mecanismo recolhedor.

A média dos momentos nos pontos P1 e P2 foram de 7,40 e 8,49 N m. O ponto P1 apresentou uma variação de 0,08 N m enquanto a apresentada pelo ponto P2 foi de 0,35 N m. As médias das forças envolvidas nos pontos P1 e P2 foram de 387,12 e 474,09 N respectivamente com uma variação de 8,03 N apresentada pelo ponto P1 e 29,63 N apresentada pelo ponto P2.

Na sequência da análise, foi verificado o perfil da distribuição dos momentos e forças na condição de alta declividade com uma carga vertical de 10N aplicada no centro das palhetas do mecanismo recolhedor com uma velocidade de deslocamento de 2000 m h⁻¹, conforme apresentado nas Figuras 33 e 34, respectivamente.

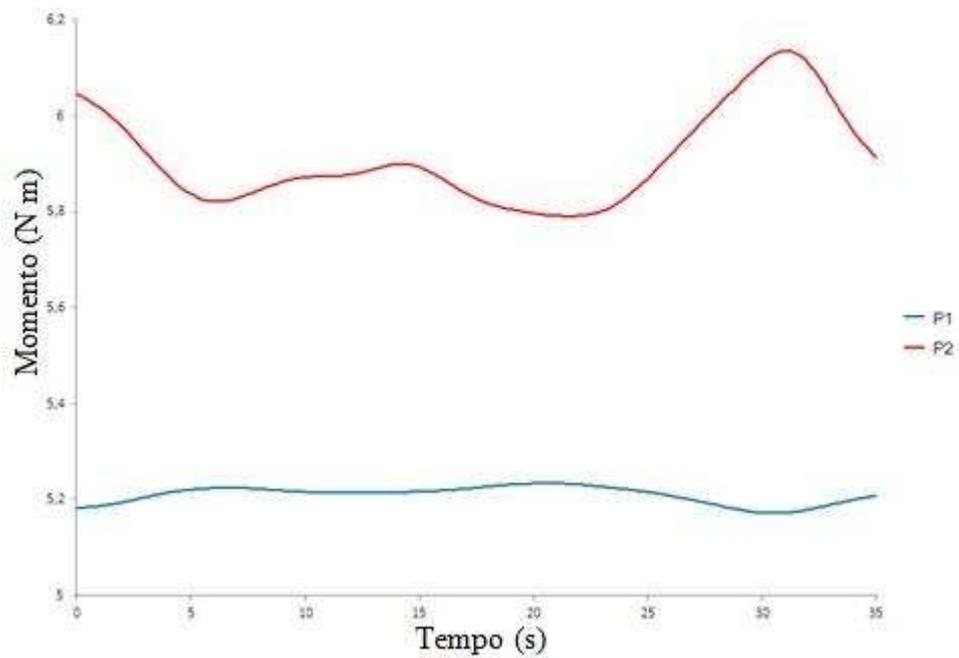


Figura 33 – Momento dos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 10N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h^{-1} .

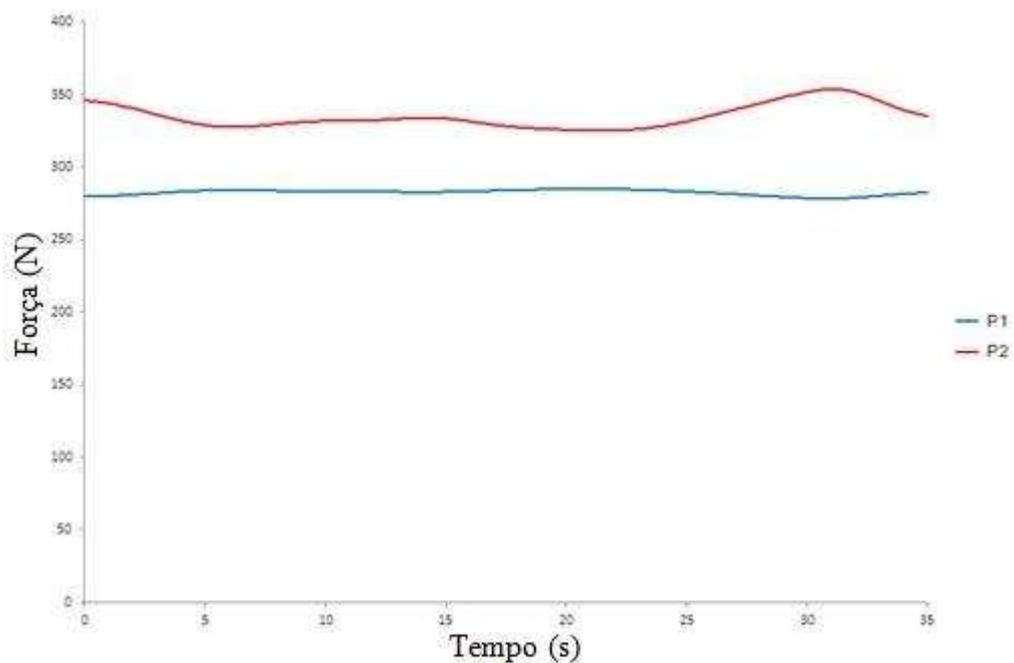


Figura 34 – Forças nos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 10 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h^{-1} .

Os valores das médias de momento e força atuantes nos pontos P1 foram de $5,21 \text{ N m}$ e $282,43 \text{ N}$, respectivamente. No ponto P2, os valores das médias foram de $5,91 \text{ N m}$ para o momento e $334,90 \text{ N}$ para a força. Esses valores foram próximos ao encontrado no cenário que utilizou uma velocidade de deslocamento inferior na

mesma condição de carga aplicada sobre as lâminas do mecanismo de vedação. Todavia, a variação dos valores de momento e força apresentados pelos pontos P1 e P2 nesse cenário que apresenta maior velocidade de deslocamento, foram maiores que os valores encontrados no cenário que utilizou uma velocidade de deslocamento inferior.

Nesse caso, a variação do momento e da força encontrada no ponto P1 foi de 0,06 N m e 6,46 N, respectivamente enquanto que o ponto P2 apresentou uma variação de 0,35 N m para o momento e uma variação de 28,45 N.

O último cenário analisado descreve uma situação de alta declividade com uma carga vertical de 25 N aplicada sobre cada lâmina do mecanismo de vedação trabalhando a uma velocidade de deslocamento de 2000 m h^{-1} . Nas Figuras 35 e 36 foram apresentadas respectivamente os valores do momento e das forças envolvidas nos pontos P1 e P2 nessa situação.

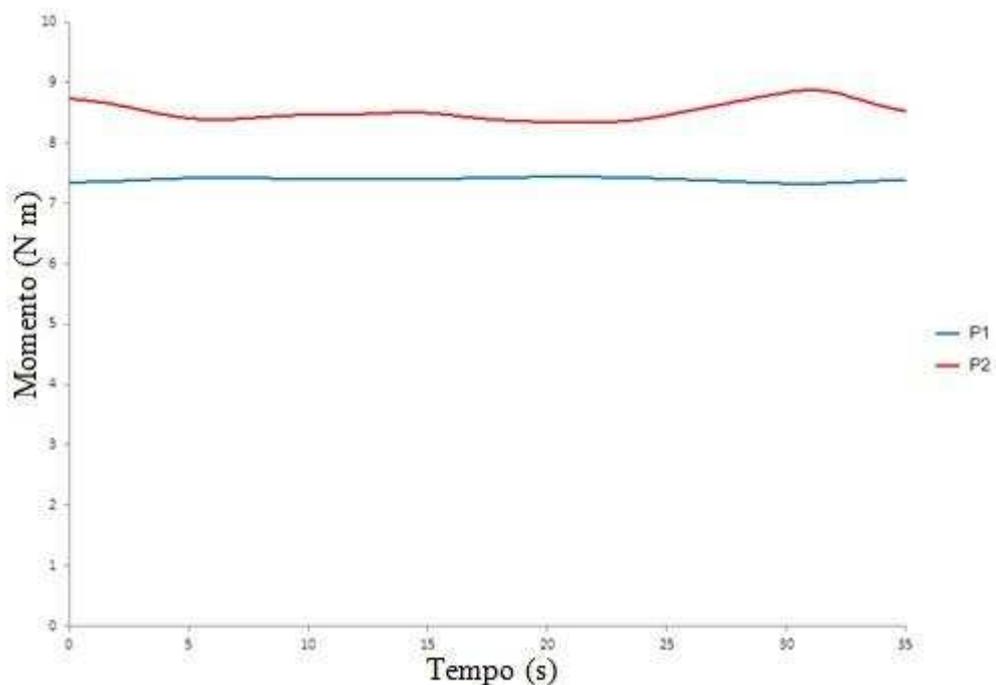


Figura 35 – Momento dos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 25N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h^{-1} .

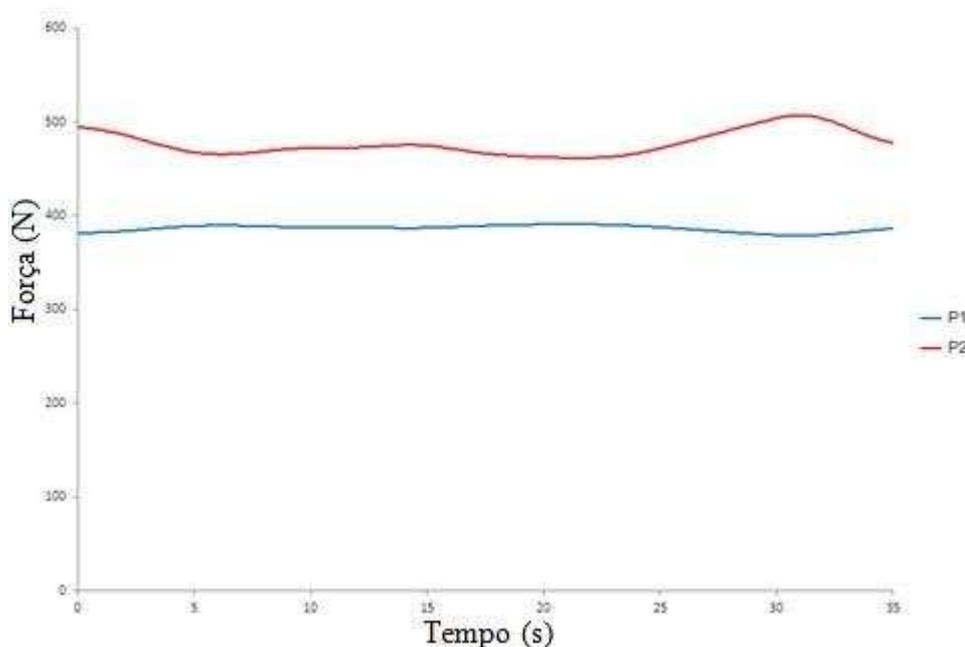


Figura 36 – Forças nos pontos P1 e P2 em alta declividade com uma carga de 25 N aplicada nas lâminas a uma velocidade de 2000 m h^{-1} .

As médias dos valores de momento e força apresentados pelo ponto P1 foram de $7,39 \text{ N m}$ e $386,41 \text{ N}$ respectivamente. No ponto P2 encontraram-se valores médios de $8,52 \text{ N m}$ de momento e $477,08 \text{ N}$ de força. Como o ocorrido anteriormente, esses valores foram bem próximos aos valores encontrados no cenário de alta declividade com mesma carga vertical aplicado no centro das palhetas do mecanismo recolhedor trabalhando com uma velocidade de deslocamento inferior. Contudo, a variação nessa situação de maior velocidade de deslocamento apresenta maior variação do momento e da força atuando nos pontos P1 e P2.

A variação do momento e da força atuando no ponto P1 foi de $0,11 \text{ N m}$ e $12,04 \text{ N}$, respectivamente. O ponto P2 apresentou uma variação de $0,53 \text{ N m}$ no momento atuante e uma variação de $45,40 \text{ N}$ na força que atua sobre o ponto.

O cenário que apresentou o maior momento e força no ponto P1 foi o cenário de baixa declividade utilizando uma carga vertical de 25 N aplicada sobre as lâminas do mecanismo de vedação trabalhando na velocidade de deslocamento de 2000 m h^{-1} , apresentando valores de $7,73 \text{ N m}$ e $415,18 \text{ N}$, respectivamente

O maior valor médio de momento e força atuante no ponto P2 foi encontrado no cenário de alta declividade utilizando uma carga vertical de 25 N aplicada sobre as lâminas do mecanismo de vedação trabalhando com uma velocidade de

deslocamento de 2000 m h^{-1} , apresentando valores de $8,52 \text{ N m}$ e $477,08 \text{ N}$, respectivamente.

Análise de Tensões.

Após a escolha e definição dos materiais a serem utilizados na construção do protótipo foi realizado uma análise de tensões utilizando o software Autodesk Inventor. A análise ocorreu em situações em dois cenários distintos. O primeiro cenário foi aplicado uma força uniformemente distribuída no mecanismo de vedação de 25 N e a declividade do mecanismo foi de 0% , conforme ilustrado na Figura 37

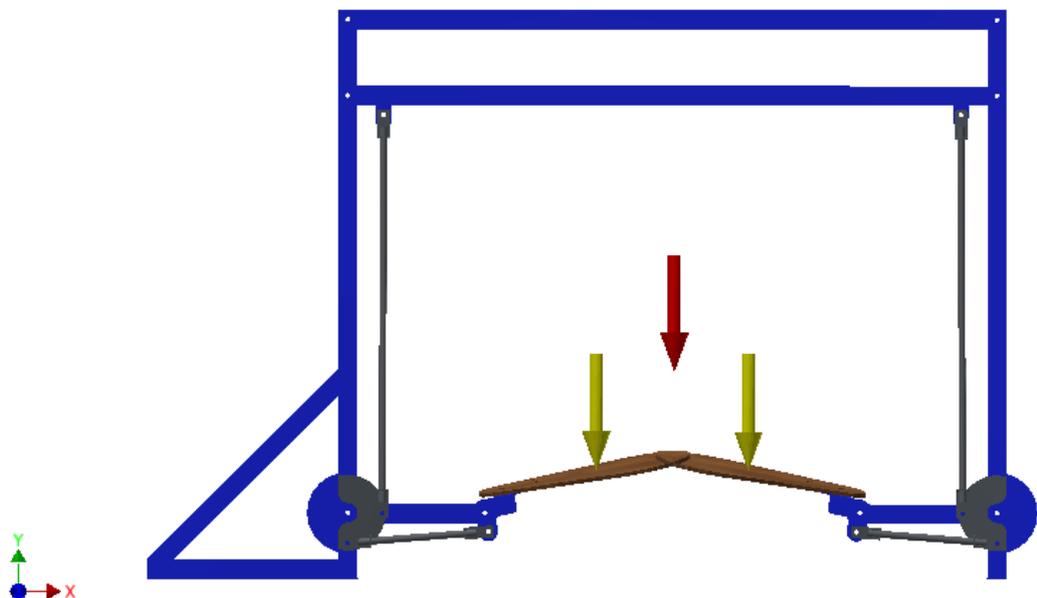


Figura 37 – Conformação das forças aplicadas no mecanismo de vedação para realização da análise de tensões e deformações na declividade de 0% .

Nas Figuras 38 e 39 são apresentados respectivamente os resultados das tensões e deformações do mecanismo de recolhimento quando submetidos a uma carga de 25 N distribuídas uniformemente.

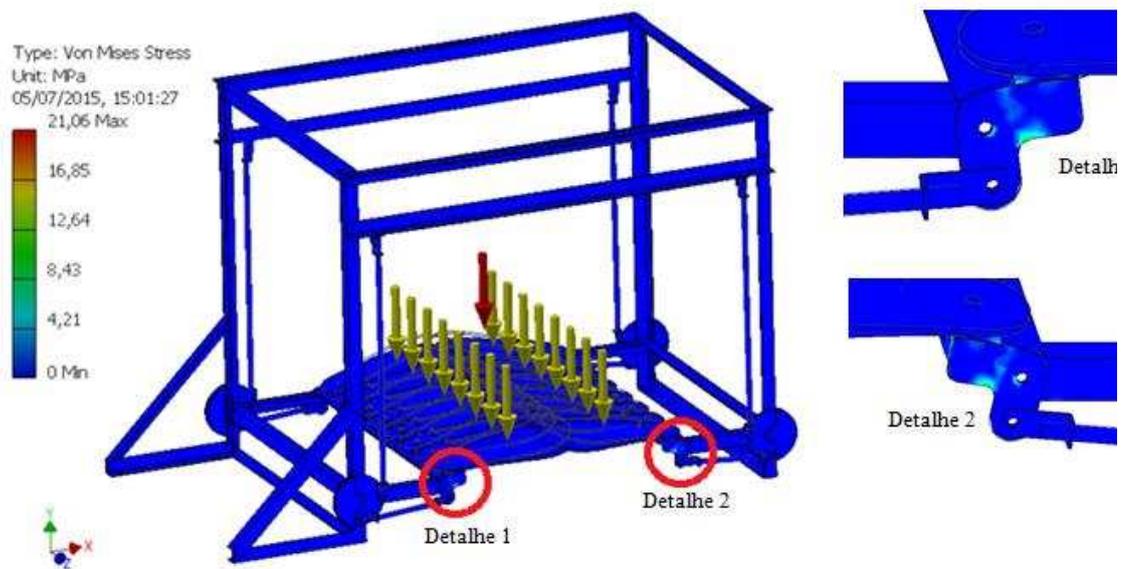


Figura 38 – Tensões no mecanismo de recolhimento submetido a uma carga de 25N distribuída uniformemente em uma declividade de 0%.

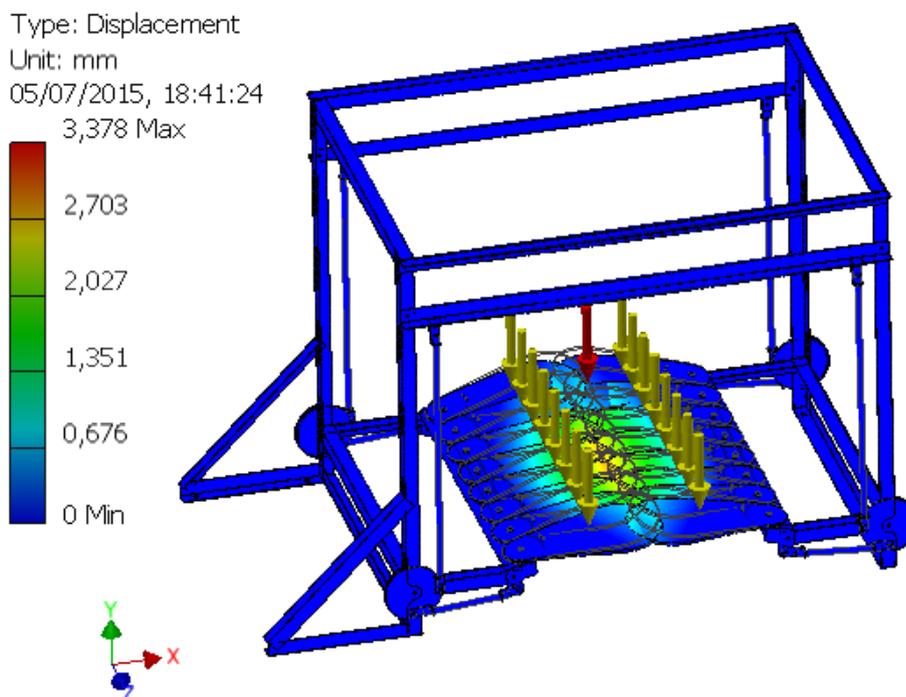


Figura 39 – Deformações no mecanismo de recolhimento submetido a uma carga de 25N distribuída uniformemente em uma declividade de 0%.

Pode-se observar que somente nos pontos marcados na Figura 37 ocorreu tensões na faixa de 5 MPa. Conforme apresentado na Figura 38, as maiores

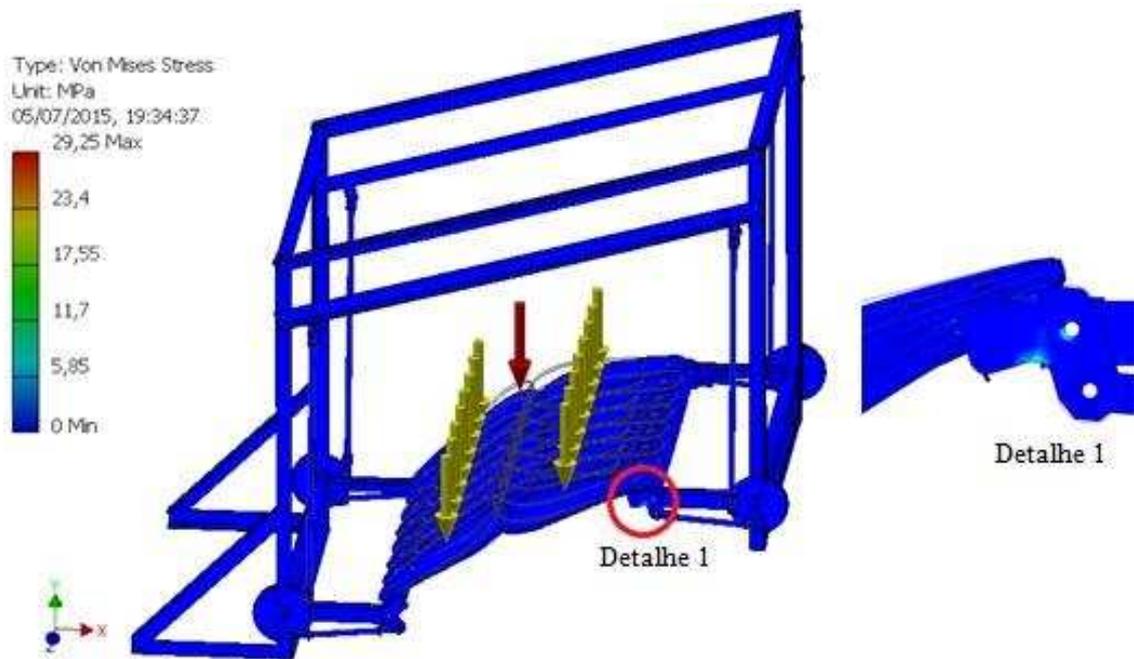


Figura 41 – Tensões no mecanismo de recolhimento submetido a uma carga de 25N distribuída uniformemente em uma declividade de 40%.

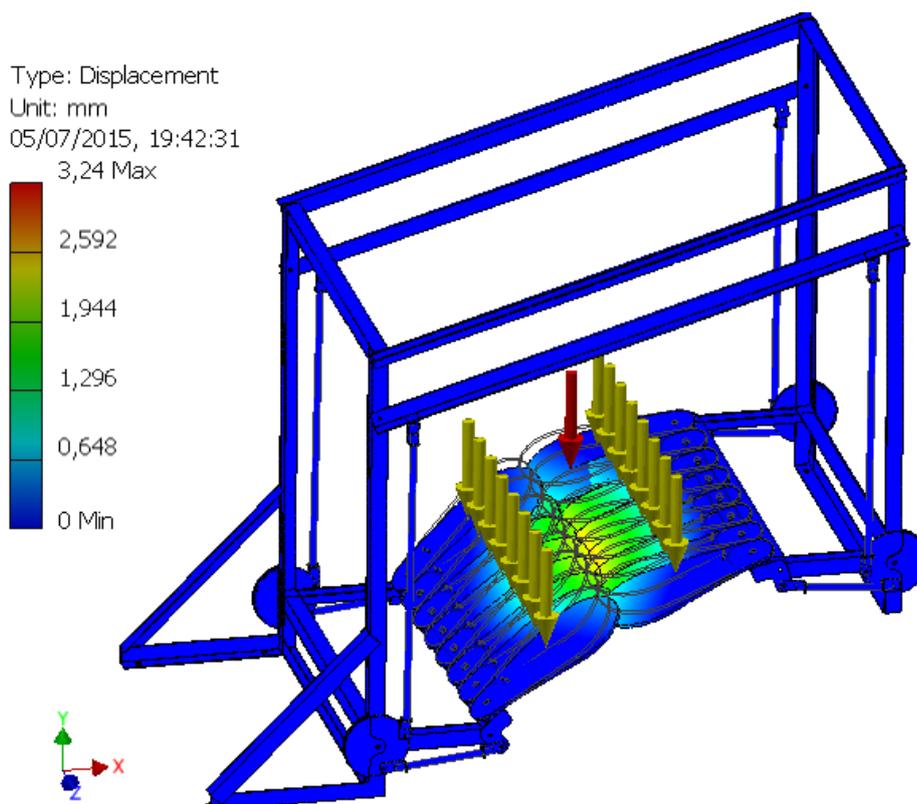


Figura 42 – Deformações no mecanismo de recolhimento submetido a uma carga de 25N distribuída uniformemente em uma declividade de 40%.

Pode-se observar que diferentemente da situação de declividade de 0%, apenas um dos lados da estrutura do protótipo apresentou uma tensão mais elevada na faixa de 7,0 MPa e a deformação máxima ocorreu no mesmo ponto localizado no centro do mecanismo de vedação, composto pelas lâminas retráteis, atingindo o valor máximo de deformação de 3,2 mm.

Mesmo neste cenário, os valores de tensões e deformações não atingiram valores críticos que possam afetar a segurança e desempenho do mecanismo.

5.2 – Construção do Protótipo

Para realizar o corte das peças de chapa de aço foi utilizado uma máquina de corte a plasma com comando numérico computacional (CNC) capaz de ler os desenhos gerados na etapa anterior e processar o corte com precisão de 1mm.

A estrutura do chassi do protótipo foi desenvolvida utilizando perfil de 50,8 mm de cantoneira de aço carbono 1020 com espessura de 6,35 mm e as articulações do mecanismo foram utilizados parafusos de 12,7mm.

Para realizar a vedação da planta durante sua passagem pelo sistema de recolhimento foi utilizado um mecanismo de lâminas retráteis composto por palhetas de madeira de alta densidade, molas de torção, buchas de articulação e parafusos de fixação, conforme ilustrado na Figura 43.



Figura 43 – Mecanismo de lâminas retráteis utilizado no sistema de recolhimento

O mecanismo de laminas retráteis foi acoplado a outro dispositivo, que permite que as palhetas que realizam a vedação da planta, acompanhe a declividade do terreno. Esse mecanismo foi conectado diretamente ao pantográfico do chassi, permitindo que seu acionamento ocorra apenas com o deslocamento da colhedora.

Esse mecanismo é composto de barras rosqueadas, parafusos de fixação, porcas, e discos de articulação conforme ilustrado na Figura 44.

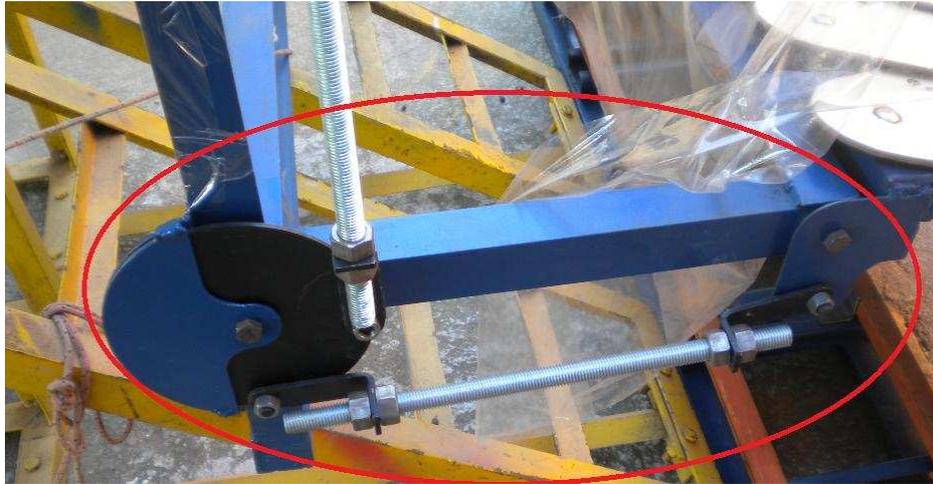


Figura 44 – Mecanismo de articulação que permite que o sistema de vedação acompanhe a declividade do terreno.

Como o experimento foi desenvolvido em laboratório, uma das colunas do chassi foi fixada ao solo e a outra coluna possibilitava a articulação do mecanismo simulando diferentes declividades conforme ilustrado na Figura 45.



Figura 45 – Estrutura do mecanismo recolhedor simulando um ambiente de alta declividade.

Abaixo do mecanismo de vedação foi posicionado um sistema com uma haste acoplada em uma plataforma sobre trilhos acionada por um motor elétrico com 50 cv de potencia simulando uma planta de café passando pelo mecanismo recolhedor. Esse motor elétrico foi conectado a um inversor de frequência possibilitando controlar a rotação do motor. Dessa forma foi possível simular diferentes velocidades de deslocamento da planta ao longo do mecanismo de recolhimento.

Acima do chassi do mecanismo de recolhimento foram posicionadas duas peneiras para simular a derriça do café sobre o sistema. Essas peneiras permitiram homogeneizar a distribuição do café ao longo do mecanismo de vedação. Esse mecanismo foi isolado utilizando uma manta de polietileno garantido que todo os grãos de café derriçado fossem direcionado para o mecanismo de vedação.

5.3 – Avaliação do Protótipo

Após a construção do protótipo do sistema de recolhimento de café , foram utilizadas amostras de café para simular a derriça sobre o mecanismo construído. No Quadro1 apresenta as principais características dos frutos de cafés utilizados.

Parâmetros	Média	DP	CV
Umidade (%)	56,00	0,01	0,02
Comprimento (mm)	14,51	1,05	0,07
Altura (mm)	10,50	0,79	0,08
Largura (mm)	10,59	0,89	0,08

DP – Desvio Padrão CV – Coeficiente de Variação

Os valores de eficiência no recolhimento dos frutos de café estão apresentados no Quadro 2, onde foram separadas os tratamentos utilizados em Inclinação transversal do mecanismo, Velocidade de deslocamento do mecanismo e carga de café aplicada sobre o mecanismo.

Quadro 2 – Estatística descritiva com os valores de eficiência no recolhimento dos frutos de café

Inclinação (%)	Média	DP	CV
0	78,57	9,98	0,13
20	80,00	4,47	0,06
40	77,36	5,81	0,08
Velocidade (m. h⁻¹)	Média	DP	CV
230	81,34	6,30	0,08
460	77,29	6,80	0,09
690	77,30	7,88	0,10
Carga (L)	Média	DP	CV
6	79,06	7,41	0,09
8	78,52	7,16	0,09
10	78,36	7,26	0,09

DP – Desvio Padrão CV – Coeficiente de Variação

A maior média na eficiência de recolhimento, 81,34% ocorreu ao se utilizar a velocidade mais baixa no deslocamento do protótipo, 230 m.h⁻¹.

Ao analisar os valores das médias mensuradas nos tratamentos, observa-se que a variação das eficiências foram próximas. Porém ao analisar os maiores e menores valores nota-se uma distância grande entre os dados de eficiência. Com exceção dos valores encontrados no tratamento onde a inclinação do protótipo foi de 0%, o coeficiente de variação ficou abaixo dos 10%, indicando uma alta precisão nos valores medidos. O Quadro 3 apresenta os valores dos coeficientes de correlação de Pearson das variáveis em função da eficiência no recolhimento.

Quadro 3 – Coeficientes de correlação de Pearson dos variáveis em função da eficiência no recolhimento.

Variáveis	Velocidade	Declividade	Carga	Eficiência
Velocidade	1	0	0	-0,52
Declividade	0	1	0	-0,15
Carga	0	0	1	-0,09
Eficiência	-0,52	-0,15	-0,09	1

Observa-se que o fator velocidade apresentou um coeficiente de correlação de 0,52 em relação a eficiência no recolhimento, indicando uma correlação moderada

negativa segundo Santos, (2007) entre as variáveis. O valor negativo indica que com o aumento da velocidade ocorre uma diminuição da eficiência no recolhimento.

O fator declividade apresentou uma correlação de -0,15 em relação a eficiência no recolhimento, sendo considerada por Santos (2007) como uma correlação fraca negativa.

Por fim, a variável carga apresentou uma correlação com a eficiência no recolhimento de -0,09, sendo considerada por Santos (2007) uma correlação ínfima negativa.

Como o fator carga apresentou uma ínfima relação com a eficiência no recolhimento, os modelos matemáticos gerados para prever a eficiência no recolhimento do café consideraram apenas os fatores velocidade e declividade do protótipo, sendo que esses fatores foram estudados separadamente dentro do fator Carga de café aplicado sobre o mecanismo recolhedor.

5.4 – Modelagem da eficiência do mecanismo de recolhimento em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do mecanismo.

Após realizar a análise de regressão foi ajustado o modelo que explica o comportamento da eficiência no recolhimento em função da velocidade e da inclinação.

Na Figura 46 foi apresentada as linhas de contorno dos valores de eficiência no recolhimento em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do protótipo, mantendo-se constante a carga aplicada sobre o mecanismo em 10 Litros de café.

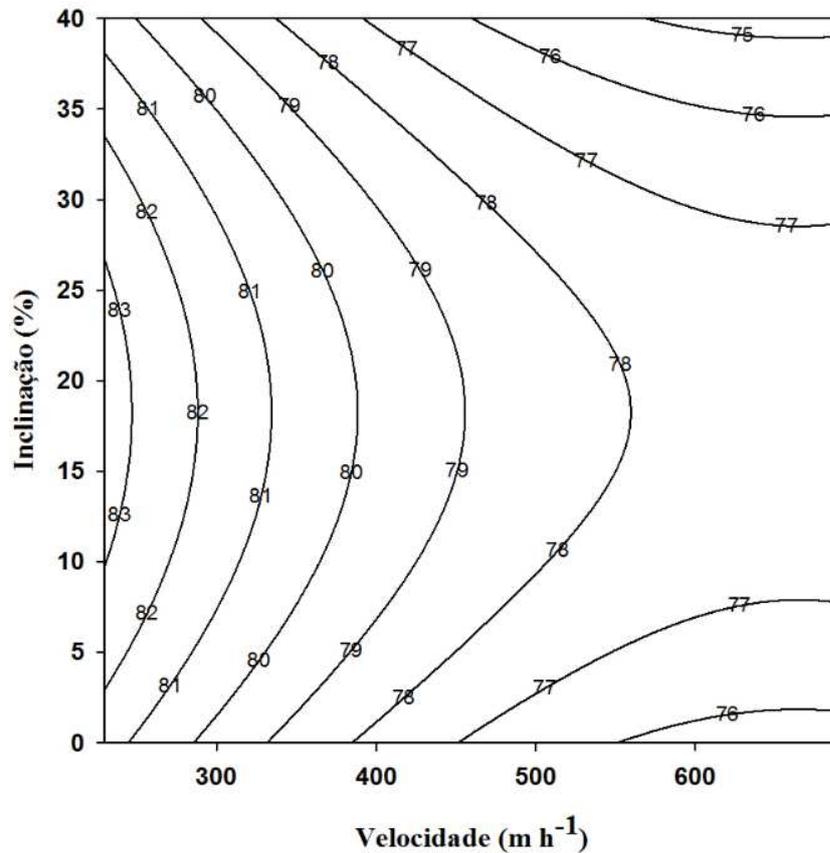


Figura 46 – Comportamento da eficiência no recolhimento ao ser aplicado uma carga de 10 L de café sobre o mecanismo de vedação em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do protótipo

O modelo de regressão ajustado está descrito na Equação 12:

$$E = 89,10 - 0,0406V + 0,2258 I + 3,0521 \cdot 10^{-5}V^2 - 0,0062 I^2 \quad \text{Equação 12}$$

($R^2=96,71\%$)

Ao analisar a Figura 46, pode-se observar que com o aumento da velocidade de deslocamento ocorre uma diminuição dos valores de eficiência e esses valores são máximos ao trabalhar na declividade intermediária de 20%. Pode-se observar ainda que 96,71% dos dados são explicados pelo modelo ajustado.

Silva et al (2003) encontraram os melhores valores na eficiência do recolhimento do café ao trabalhar com velocidades mais baixas em uma colhedora convencional, encontrando valores médios de eficiência de 76,9%.

O motivo do aumento da velocidade proporcionar uma redução na eficiência de recolhimento pode ser explicado pelo fato que maiores velocidades proporcionam

maiores impactos nas laminas retrateis, fazendo com que a abertura dessas lâminas sejam maiores, dando condições para a passagem dos frutos de café por esse mecanismo.

O fato da melhor eficiência ter sido encontrado na declividade intermediária de 20% pode ser explicado devido a sobreposição das laminas retrateis que nessa condição, promove um fechamento mais eficiente em torno da haste utilizada para simular a passagem de uma planta pelo mecanismo de recolhimento.

Ao mudar a carga de café aplicada sobre o mecanismo para 8 Litros, foi desenvolvido um novo modelo de regressão para explicar o comportamento da eficiência no recolhimento em função da velocidade e da inclinação.

Na Figura 47 são apresentadas as linhas de contorno dos valores de eficiência no recolhimento em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do protótipo, mantendo-se constante a carga aplicada sobre o mecanismo de 8 Litros de café.

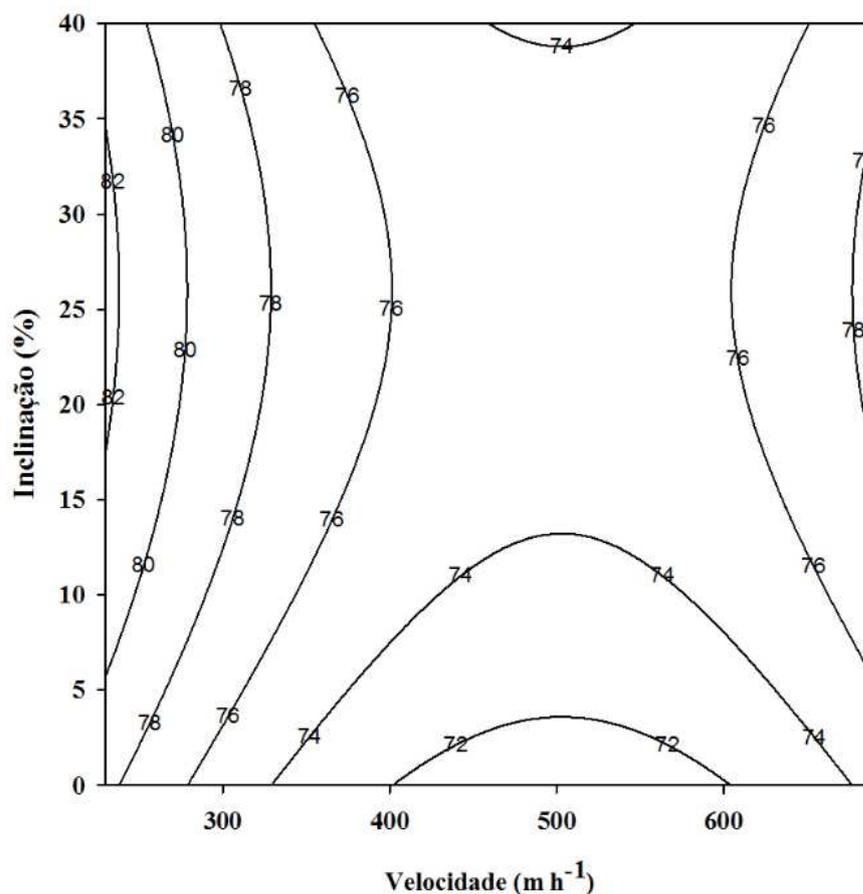


Figura 47 – Comportamento da eficiência no recolhimento ao ser aplicado uma carga de 8 L de café sobre o mecanismo de vedação em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do protótipo

O modelo de regressão ajustado está descrito na Equação 13:

$$E = 96,2774 - 0,1006V + 0,3068I + 0,0001V^2 - 0,0059 I^2 \quad \text{Equação 13}$$
$$(R^2=89,44\%)$$

Ao analisar a Figura 47, pode-se observar que os menores valores de eficiência no recolhimento ocorrem na velocidade intermediária de 460 m h⁻¹, e conforme apresentado na condição anterior, esses valores são máximos ao trabalhar na declividade intermediária de 20 %. Pode-se observar ainda que 89,44% dos dados são explicados pelo modelo ajustado.

Este aumento da eficiência devido ao aumento da velocidade pode ser justificado pelo fato das lâminas conseguirem fechar mais rapidamente, aumentando seu poder de vedação.

Na Figura 48 são apresentadas as linhas de contorno dos valores de eficiência no recolhimento em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do protótipo, mantendo-se constante a carga aplicada em 6 Litros de café.

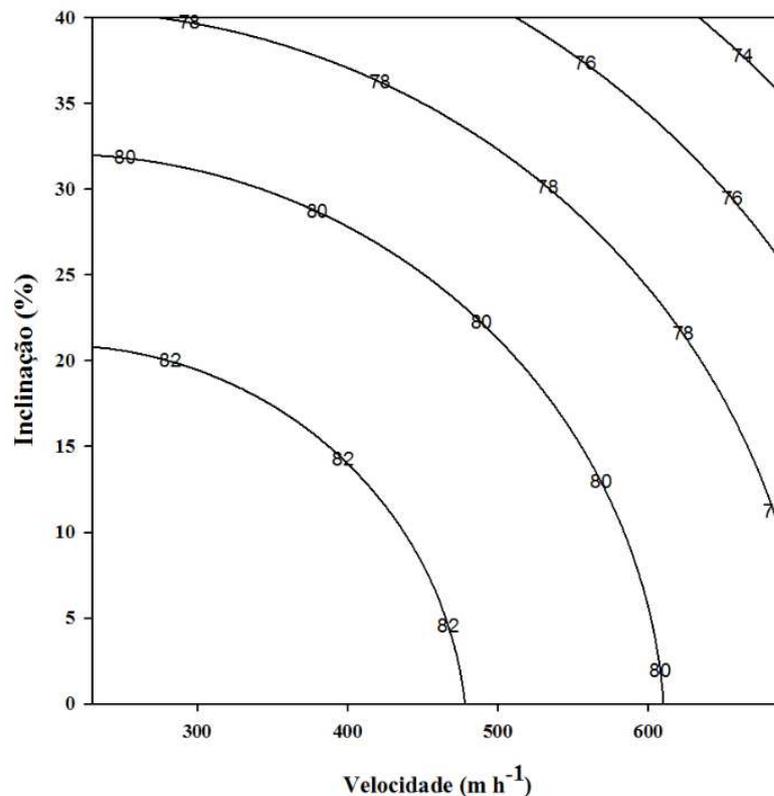


Figura 48 – Comportamento da eficiência no recolhimento ao ser aplicado uma carga de 6 L de café sobre o mecanismo de vedação em função da velocidade de deslocamento e da inclinação do protótipo

O modelo de regressão ajustado está descrito na Equação 14:

$$E = 82,73 + 0,0091V - 0,015 I - 2,2263 \cdot 10^{-5}V^2 - 0,0031 I^2 \quad \text{Equação 14}$$

$(R^2=89,45\%)$

Ao analisar a Figura 48 pode-se observar que com o aumento da velocidade e da declividade, ocorre uma diminuição da eficiência no recolhimento. Pode-se observar ainda que 89,45% dos dados são explicados pelo modelo ajustado.

Os valores de eficiência no recolhimento encontrados colaboram com os resultados encontrados por Silva (2004), que em trabalho avaliando o desempenho operacional de uma colhedora K3 da Jacto observou que com o aumento da velocidade operacional da colhedora ocorreu uma diminuição da eficiência no recolhimento, porém de forma não significativa, destacando ainda que ao utilizar maiores velocidades de trabalho, o produtor alcançará menores custos com a operação devido a agilidade na retirada do produto do campo

6 – CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um conceito de um mecanismo de recolhimento de café capaz de operar em regiões de montanha, que apresenta uma eficiência no recolhimento similar aos mecanismos utilizados em colhedoras convencionais.

Com o aumento da velocidade operacional ocorreu uma diminuição da eficiência no recolhimento. Desta forma, a velocidade de 200 m h⁻¹ apresentou os melhores valores de eficiência no recolhimento.

A influência da declividade apresentou uma correlação de -0,15 com a eficiência no recolhimento.

A Carga de café aplicada sobre o mecanismo de vedação não alterou o desempenho do protótipo, apresentando uma correlação de -0,09 com a eficiência no recolhimento.

A condição que apresentou a melhor eficiência no recolhimento foi trabalhando com o protótipo na velocidade de 230 m h⁻¹ na declividade de 20%.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTODESK INVENTOR. **Workshop: Section 4: Dynamic Simulation.** Disponível

em:<http://studentsdownload.autodesk.com/ef/27288/cdcoll/downloads/CAEproject/CAEproject_Section4/CAEproject_Section4_Module1/Section4_Module1_Instructor_Notes_r3.pdf>. Acesso em: 20/03/2013.

BARBOSA, J. A.; SALVADOR, N.; SILVA, F. M.. **Desempenho operacional de derriçadores mecânicos portáteis, em diferentes condições de lavouras cafeeiras.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, n.1, p.129-132, 2005.

CARVALHO JUNIOR, C. **Efeito de sistemas de colheita na qualidade do café (Coffea arábica L.)** 2002. 140p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CASSIA, M. T.; SILVA, R.P.; CHIODEROLLI, C.A.; NORONHA, R.H.F.; SANTOS, E.P.. Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 28-34, 2013

CASTRO JUNIOR, L. G. **Mercados de derivativos agropecuários: futuros, opções e cpr.** Lavras: UFLA/DAE, 2002. p. 1-163.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: primeira estimativa da safra de 2015.** Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento, 2015. 17 p. (Boletim técnico).

FERNANDES, A. L. T.; PARTELLI, F.; L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012a.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, F. MICHELIN, V.. Condução das podas do cafeeiro irrigado por gotejamento cultivado no Cerrado de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 110-19, 2012b.

FERREIRA, R. G.; ORTEGA, A.C.. **Progresso técnico e agricultura familiar – impactos sobre a ocupação e a migração rural-urbana nas microrregiões de Patos de Minas e Patrocínio.** XLII Congresso da Sober – Cuiabá – MT, 2004.

FIALHO, A. B. **Pro/Enginner wildfire 5.0: teoria e prática no desenvolvimento de produtos industriais:** São Paulo: Érica, 2006. 586 p.

FILGUEIRAS, W. H. **Modelagem da planta de café por elementos finitos para estudo de colheita por vibração.** Viçosa, MG: UFV. 2000. 81p. Tese de Mestrado

GARCIA, A. W. R.; MATIELLO, J. B., FIORAVANTE, N. **Avaliação do rendimento da colheita de café em vários sistemas de combinação de derriça, recolhimento e abanação, mecânica e manual.** Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira – COFFEA. Fundação Procafé, Convênio MAPA/UFLA, ano 2, n.6, março/junho 2005. pg.13-14.

GARCIA, R..F. **Otimização do projeto de componentes de uma colhedora de forragem**. 1998. 78 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas e Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 1998.

GOMES, F. G.: Curso de estatística experimental. 14 ed. Piracicaba: Desgaspari, 2000. 477 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro .Fundação IBGE: 2013.

JESUS, C. M.. **A terceirização na agricultura do cerrado mineiro: a mecanização da colheita de café**. Uberlândia. IE/UFU, 2003. (Monografia)

KASHIMA, T. **A colheita mecanizada do café: produtos, desempenho e custos**. In: Ciclo de Estudos Sobre Mecanização Agrícola, 4., 1990, Campinas, Anais... Campinas: Fundação Cargil, 1990. P. 234-46

KNIGHT, C. E. **The finite elementy method in mechanical design**. Boston: PWS-KENT, 1993. 326p.

MAGALHÃES, A. C.; TEIXEIRA, M. M.; COUTO, S. M.; RESENDE, R. C. de. Modelagem de máquina pneumática recolhedora de frutos de café em terreno usando análise por elementos finitos. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 483-492, 2006.

MARQUES, S. **É da colheita que nascem os bons frutos: Mecanização coloca café brasileiro no caminho certo**. Revista da Case 2001. 18p.

MARTINS, D. C.; BALIZA, D. P.; CAIXETA, F.; ; VON PINHO, E. V. R.; CUNHA, R. L.; BALDONI, A.. **Qualidade fisiológica de sementes de café provenientes de diferentes níveis de radiação solar e estádios de maturação**. Araxá In. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2011.

MATIELLO, J. B. Tipos de cafeicultura no Brasil. **Anuário Estatístico do café: Coffee Business**. 6. ed. Rio de Janeiro, 2001. p. 38-42.

MATIELLO, J. B.; PINTO, J. F. **Comparativo de rendimento em diversos processos de colheita manual de café**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. Anais... Poços de Caldas: MAA/PROCAFÉ, 1998. p. 13-14.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R.. Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA; Varginha: PROCAFÉ, 2010. 542 p.

NORTON, R. L. **Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines**. New York, EUA: McGraw-Hill, 2004. 714p.

OLIVEIRA, E. **Colheita mecanizada do café em maiores velocidades operacionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2006. 92 p

ORTEGA, A. C.; GARLIPP, A. A. D.; JESUS, C. M. **Terceirização e emprego rural na agricultura do cerrado mineiro: os casos da mecanização no café e na cana-de-açúcar**. XLI Congresso da Sober, Juiz de Fora, Julho de 2003

ORTEGA, A. C.; JESUS, C. M.; MOURO, M. C.. **Mecanização e emprego na cafeicultura do cerrado mineiro**.. Revista ABET. Curitiba – Pr. Vol. VIII — n. 2/2009.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J. E.; GROTE, K. H. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e Aplicações**. São Paulo, v 6: Edgard Blucher, 2005.

PEDROSO, S. A. **A lavoura, história e agronegócios no Brasil**. Disponível em: <<http://www.nucleoestudo.ufla.br/necaf/homepagenecaf.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2005.

RUGANI, F. L. e SILVEIRA, S. F. R. **Análise de Risco para o café em Minas Gerais**. Revista de Economia e Agronegócio. Viçosa, v. 4, n. 3, p 343-364. 2006.

SANTINATO, R.; CORREIA, J. P.; JUNIOR, L. Z. **Número e modo de passada da colhedora K3-Jacto e seu efeitos na produção do cafeeiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. Anais... Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 1998. p. 60-61.

SANTOS, C. **Estatística Descritiva - Manual de Autoaprendizagem**, Lisboa, Edições Sílabo , 2007.

SANTOS, P. M. dos; SCHLOSSER, J. F.; ROMANO, L. N.; ROZIN, D.; TURATTI, J. da C.; WITTER, M. Prioridades de requisitos para projeto de postos de operação de tratores quanto à ergonomia e segurança. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 869-877, jul. 2008.

SILVA, F. M. **Colheita mecanizada e seletiva do café**. Cafeicultura Empresarial: Produtividade e Qualidade. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. p. 75.

SILVA, F. M.; ALVES, M. C.; SILVA, F.C.; SOUZA, J.C.S. **Desempenho operacional da recolhedora de café Dragão Eco**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIRAS,33., 2007. Lavras. Trabalhos apresentados... Lavras: UFLA, 2007. p. 1-3.

SILVA, F. M., KASHIMA, T., SALVADOR, N., RODRIGUES, R. F. OLIVEIRA, E. **Avaliação da influencia da colheita na produtividade da lavoura cafeeira**. In. **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeiras**, 30., 2004, São Lourenço. Anais... Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2004, p. 258-259.

SILVA, F. M., OLIVEIRA, E., SALVADOR, N., TOURINO, E. S.: **Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada** Caxambu, In. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 28, 2002.

SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; BARBOSA, R. R.; ABREU, E. M. **Desempenho da operação mecanizada de derriça do café.** In. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 23., 1997, Manhuaçu. Anais... Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 1997. p. 174-176.

SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; RODRIGUES, R. F.; TOURINO, E. S. Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 309-315, maio/ago. 2003.

SILVA, F. C.; SILVA, F. M.; SILVA, A. C.; BARROS, M. M.; PALMA, M. A. Z.: Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, Lavras, v.8, n.1, p.53-60, 2013.

SILVA, G. J.. **Tecnologia e agricultura familiar.** Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1999.

SILVEIRA, A. O. **O impacto do uso da derriçadeira semi-mecanizada nos custos da colheita em café de montanha.** In: GIORDANO, S & REZENDE, C.L. Cadernos da Universidade do Café, v.3, 2009. pg.101-111

SRIVASTAVA, K.A.; GOERING, E.C.; ROHRBACH, P.R. **Engineering principles of agricultural machines.** St. Joseph: ASAE, 1996. 601 p.

TEIXEIRA, T. D. **Política estratégica para a cafeicultura brasileira.** In. PALESTRAS DO SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. Anais... Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2002. p. 169- 176.