

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

YU KAWAHARA

Colheita de coco: um estudo para a mecanização

São Carlos

2017

YU KAWAHARA

Colheita de coco: um estudo para a mecanização

Dissertação apresentada à Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Manufatura

Orientador: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto

ESTE EXEMPLAR TRATA-SE DA
VERSÃO CORRIGIDA.
A VERSÃO ORIGINAL ENCONTRA-
SE DISPONÍVEL JUNTO AO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
MECANICA DA EESC-USP.

São Carlos

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

K22c Kawahara, Yu
Colheita de coco: um estudo para a mecanização / Yu
Kawahara; orientador Arthur José Vieira Porto. São
Carlos, 2017.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em
Manufatura -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2017.

1. Coco. 2. Colhedor. 3. Mecanização. 4. Análise de
viabilidade. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **YU KAWAHARA**.

Título da dissertação: "Colheita de coco: um estudo para a mecanização".

Data da defesa: 27/07/2017.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **Arthur José Vieira Porto**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Dr. **Humberto Filipe de Andrade Januário Bettini**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Apovado

Prof. Dr. **Roberto Funes Abrahão**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Apovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica:
Prof. Associado **Gherhardt Ribatski**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luis Fernando Costa Alberto**

DEDICATÓRIA

“Aos meus pais, aos meus avós, aos meus professores e meus amigos”

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, minha mãe e meus avós, por sempre terem incentivado e sustentado a minha vida e os meus estudos.

Ao Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto, pela sua orientação, disponibilidade e paciência ao longo deste trabalho.

Ao Dr. Ricardo Inamasu, pelo tema do trabalho, paciência, disponibilidade e discussões que foram fundamentais para ampliar os meus horizontes como engenheiro e pessoa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia mecânica da EESC-USP pela oportunidade de realização do mestrado

A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos os meus professores do DEMec da UFSCar que me forneceram a base necessária para a realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de engenharia mecânica da EESC-USP por aprimorarem meus conhecimentos.

Aos colegas da Embrapa Instrumentação em especial ao Daniel, Tim, Sr. Godoy pela companhia, conversa e disponibilidade.

Aos pesquisadores da Embrapa Tabuleiros Costeiros, em especial a Viviane, Sr. Edson, Sr. Humberto e Sra. Joana pela atenção e informações fornecidas para a realização deste trabalho.

Ao Sr. Hidelberto que se disponibilizou para fornecer informações relacionadas ao cultivo de coco.

Aos meus colegas do Nepas, pelo convívio e amizade. Um agradecimento especial ao Leo, pelas risadas e pela companhia.

Aos meus queridos colegas do Churrasco Futebol Arte pelo Futebol, pelos gols, churrascos, carinho, risadas e amizade.

Ao Jürgen e Sylvia Liebau pelo carinho e apoio.

Für meine Freunde Henrik, Torsten und David für die Freundschaft und Unterstützung.

いつも応援して下さった皆様へ、ありがとう。特にチャコ、ありがとう。

A todos os meus amigos, em especial ao Aniki, Fernando, Thales, Paola, Marye e Eiki pelo carinho, risadas e consolações.

RESUMO

KAWAHARA, Yu. **Colheita de coco: um estudo para a mecanização**. 2017. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Com a onda de consumo de produtos naturais e de qualidade nutricional, a água de coco tem entrado em evidência no mercado. Assim, nos últimos anos, o seu consumo tem apresentado um crescimento em escala mundial e o cenário mostra uma perspectiva favorável para a expansão de mercado. O Brasil, na posição de um dos maiores produtores de coco verde, possui o potencial de contribuir para o abastecimento da demanda mundial do coco e consequentemente uma oportunidade para o desenvolvimento da economia brasileira. Um dos maiores obstáculos para atender essa demanda é a operação de colheita, causada pela altura na qual os frutos se localizam. A solução tecnológica satisfatória para realizar a colheita nestas alturas é inexistente. Este trabalho teve como objetivo dar luz a esse tema sob a ótica da engenharia, de forma a compreender melhor o processo de colheita do coco e analisar a viabilidade de mecanização da colheita tanto do ponto de vista técnico como econômico. Foi realizada uma revisão bibliográfica e foram coletadas informações relacionadas ao coco e ao processo de colheita sob a ótica da engenharia. Em seguida os aspectos econômicos que envolvem a cultura de cocos foram analisados e foi obtido através de matemática simples dois critérios que estipulam uma faixa de preços da solução que gera receitas aos produtores de coco. Um conceito do equipamento de colheita foi criado na expectativa de se analisar a viabilidade técnica da solução.

O trabalho concluiu que ainda não há uma solução tecnológica que tenha alcançado sucesso no mercado, ou seja, a sua solução ainda não está adequadamente concluída. Os dados existentes na literatura sobre os elementos do coqueiro como geometria e seu processo de formação são insuficientes para que a engenharia crie uma solução de forma adequada. Muitas informações estão em forma tácita. Nesse sentido, não havia também dados que sustentem que a cultura apresentaria condição de criar, desenvolver e sustentar economicamente um equipamento com as tecnologias disponíveis atualmente para realizar tal operação. O presente trabalho formatou e sistematizou esses dados.

O processo de colheita foi analisado através do estudo de tempos e métodos. Planilhas de custos foram formatadas para análise do potencial de retorno econômico, da cultura. Assim,

os resultados mostraram que um equipamento que realizar a colheita em 30 segundo por coqueiro, pode ter um preço máximo de R\$ 373.927,74 para se gerar um fluxo de caixa anual de R\$ 11.673,63/(ano.ha) a partir do ano que o equipamento tornar-se necessário.

Com base na metodologia de projeto clássica, foi estudado propostas de soluções, os quais, convergiram na solução baseado em plataforma montada em veículo para posicionar o(s) operador(es) em altura elevada para corte dos cachos, conjugado com equipamento auxiliar para descida dos cachos através de um mecanismo armazenando-os diretamente em uma caçamba, sem a necessidade de descida do operador. Considerando-se os valores de mercado do caminhão, plataforma e dos custos estimados para as adaptações, conclui-se que o equipamento proposto é viável tanto do ponto de vista técnico como econômico.

Palavras-chave: Coco, Colhedor, Mecanização, Análise de viabilidade.

ABSTRACT

KAWAHARA, Yu. **Coconut harvesting: a study for the mechanization.** 2017. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

With the wave of consumption of natural products with nutritional features, the coconut water has been coming into evidence on the market. Thus, in the last years, its consumption showed an increase worldwide and the current scene shows a favorable perspective for the market expansion. Brazil, as one of biggest growers of coconuts in the world, has the potential to contribute for the worldwide coconut supply and consequently is an opportunity for the Brazilian economy development. One of the biggest hurdles to supply this demand is the harvesting operation, caused by the height which the fruits are located. A satisfactory technical solution to perform the harvesting at these heights is inexistent. The aim of this work is to provide an insight about this topic from the engineering point of view, in order to understand the harvesting process and to analyze the mechanization-viability of the coconut harvesting from an economical and technical point of view. A literature review was performed and information related do coconuts and its harvesting process were gathered from an engineering point of view. Then, the economic aspects that involve the coconut production were analyzed and two criteria that stipulate a price range of the solution which brings satisfactory incomes for the coconut growers were obtained through simple mathematics. Lastly, a concept of the harvesting device was created in order to analyze the technical feasibility of the solution.

This work concluded that there is still no technological solution that achieved success on the marked, in other words, its solution is not properly concluded. The existing data in the literature about elements of coconut such as geometry and its growing process are insufficient for the engineering to create a solution properly. A lot of information is in a tacit form. In this sense, there aren't also data that supports that the coconut culture shows conditions to create, develop and economically sustain equipment with the currently available technologies to perform such operations. The present work formatted and systematized these data.

The harvest method was analyzed through motion and time study. Cost sheets were formatted to analyze the potential economic return for the coconut culture. Then, the results show that an equipment that harvests in 30 seconds per tree can have a maximal price of R\$ 373.927,74

in order to generate an income of R\$ 11.673,63/(year.ha), starting in the year which equipment will be required.

Based on the classical design methodology, solution proposals were studied, which converged into the solution based on using a truck-mounted working lift, in order to raise the workers, to cut the coconut bunches, combined with an auxiliary equipment do lower and store the harvested bunches through a mechanism directly to a truck bucket, without the necessity to lower the operator. Considering the market price of the truck, working lift and the estimated costs for the adaptations, this work concludes that the proposed equipment is viable from both technical and economical point of view.

Keywords: Coconut, Harvester, Mechanization, Viability Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução das vendas de água de coco das três maiores marcas nos EUA entre os anos de 2004 a 2013.	28
Figura 2 – Instrumento Peconha e sua aplicação.....	33
Figura 3 – Extremidade da vara para corte.....	34
Figura 4 – Extremidade da vara para controle de queda	34
Figura 5 – Varas em utilização para a colheita do cacho	35
Figura 6 – Amortecimento dos cachos com a corda.....	36
Figura 7 - Plataforma em “U” acoplado a um trator.....	37
Figura 8 - Plataforma em funcionamento	37
Figura 9 - Descarregador utilizado e esquema ilustrativo do dispositivo em uso.	39
Figura 10 - Garra acoplada em uma vara proposta por Li (2007)	39
Figura 11 - Extremidade do traz-cacho	40
Figura 12 - Vara telescópica proposta por Chen <i>et al.</i> (2012).....	40
Figura 13 - Foice de corte com olhais e ponta para espetar com olhais	41
Figura 14 - Esquema ilustrativo da colheita de dendê.....	41
Figura 15 - Sistema de elevação proposta por Fadel (2005)	43
Figura 16 - Sistema desenvolvido por Al-Suhaibani <i>et al.</i> (1988)	43
Figura 17 – Sistema desenvolvido por Al-Suhaibani <i>et al.</i> durante testes (1992).....	44
Figura 18 - Sistema de elevação e armazenamento proposto por Blundell & Stanners (2001)	45
Figura 19 – Máquina para colheita proposta por Liang <i>et al.</i> (2010).....	46
Figura 20 - Equipamento de colheita de coco proposta por Zhang (2014)	46
Figura 21 - Equipamento de colheita proposta po Xie & Li (2014).....	47
Figura 22 - Colhedora proposta por Zine (2011).....	47
Figura 23 - Colhedora de Babaçu desenvolvida por Albiero <i>et al.</i> (2011).....	48
Figura 24 - Esquema cinemático da subida através de garras	49
Figura 25 – Máquina de elevação desenvolvida por Keramat Jahromi et al. (2008)	49
Figura 26 - Conceito de robô de colheita de coco remotamente controlado	50
Figura 27 — Plataforma içada por um sistema de roletes.....	51
Figura 28 - Modelo proposto por Schäfer (1984).....	51
Figura 29 — Equipamento proposto por Schäfer (1987).....	52
Figura 30 - Plataforma de elevação de Ali e Akyurt (1998)	53
Figura 31 – Equipamento proposto por Nourani & Pegna (2014)	53

Figura 32 – Esboço do equipamento.....	54
Figura 33 – Protótipo do equipamento.....	54
Figura 34 – Cicatriz foliar no estipe.....	58
Figura 35 – Folha, espata e axilas foliares no coqueiro	59
Figura 36 – Espata nova e espata aberta com seus ramos florais e inflorescências.....	60
Figura 37 – Fruto em formação após a polinização da inflorescência.....	60
Figura 38 - Gráfico de produção anual de cocos em função da idade do coqueiro	62
Figura 39 – Modelo 3D do cacho de coco com seu envelope.....	62
Figura 40 – Dimensões da seção transversal do Pedúnculo.....	63
Figura 41 – Fluxograma das operações de colheita das respectivas equipes em função do tempo.....	73
Figura 42 – Variação do custo de produção unitária do coco em função do ano de produção	84
Figura 43 – Receita, Custo Total e fluxo de caixa acumulado em 10 anos de 1 hectare de plantio de cocos.....	85
Figura 44 – Coqueiros novos plantados entre os coqueiros antigos	88
Figura 45 – Faixa de Valores de P viáveis segundo o critério do fluxo de Caixa	92
Figura 46 – Faixa de valores de P viáveis segundo o critério do Custo unitário	97
Figura 47 – Fluxograma simplificado da metodologia compilada por Pahl & Beitz (2007).	101
Figura 48 – Fluxograma do processo de concepção segundo Pahl/Beitz (2007).....	103
Figura 49 – Diagrama de funções	107
Figura 50 – Matriz Morfológica.....	108
Figura 51 – Diagrama ilustrativo da combinação dos princípios propostos	111
Figura 52 – Plataforma aérea montado em um caminhão.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Peso (g) e composição (%) média dos componentes dos frutos de coqueiro-anão em diferentes idades	61
Tabela 2 – Resumo dos dados físicos e fisiológicos relacionados ao coco.....	64
Tabela 3 - Fatores de Tolerância no trabalho (continua).....	66
Tabela 4 – Instante de início e fim das etapas durante a colheita com a plataforma em U acoplada ao trator.....	69
Tabela 5 – Fator de tolerância do operador da plataforma em U	70
Tabela 6 - Fator de tolerância do tratorista.....	70
Tabela 7 – Duração das operações da equipe 1	74
Tabela 8 - Duração das operações da equipe 2.....	74
Tabela 9 – Duração, número de impacto necessários e o tempo médio dos impactos durante a operação de corte	74
Tabela 10 - Fator de tolerância do operário da equipe 1(Cortador)	75
Tabela 11 – Fator de tolerância do operário da equipe 2(control de queda)	76
Tabela 12 - Coeficientes técnicos plantio e manutenção de um ha de coqueiro anão.....	80
Tabela 13 - Coeficientes técnicos plantio e manutenção de um ha de coqueiro anão atualizados (Continua).....	81
Tabela 14 - Rentabilidade de um hectare de cultura do coqueiro	84
Tabela 15 – Comparação do fluxo de caixa acumulado, custo unitário e rentabilidade no ano 10 para diferentes formas de colheita	87
Tabela 16 – Valores utilizados para simulação	91
Tabela 17 – Valores de P em função do t_c segunda o critério do fluxo de caixa.....	91
Tabela 18 – Rentabilidade do cultivo entre os anos 11 a 18 calculados a partir dos coef. obtidos	93
Tabela 19 – Rentabilidade do cultivo entre os anos 19 a 25 calculados a partir dos coef. obtidos	94
Tabela 20 – Valores utilizados para a simulação	96
Tabela 21 – Valores de P em função do t_c segundo o critério da variação do custo unitário	97
Tabela 22 – Rentabilidade dos cultivos entre os anos 11 a 18 simulados a partir dos coef. Obtidos pelo critério do custo unitário	98
Tabela 23 - Rentabilidade dos cultivos entre os anos 19 a 25 simulados a partir dos coef. obtidos pelo critério do custo unitário	99

Tabela 24 – Lista de Requisitos do Projeto de desenvolvimento de um equipamento de colheita de cocos (Continua)..... 104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AET	Análise Ergonômica do Trabalho
ANSI	American National Standards Institute
ASCONDIR	Associação dos Concessionários do Distrito de Irrigação Platô de Neópolis
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FNE	Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste
H/D	Homens Dia
H/M-TE	Horas máquina - Trator Esteira
H/M-TP	Horas máquina - Trator de Pneu
Obs.	Observação
Quant.	Quantidade
SIA	Scaffold Industry Association Inc.
Sobratema	Associação Brasileira de tecnologia para construção e mineração
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa mínima de Atratividade
Unid.	Unidade
Unit.	Unitário
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

h	Altura do pé de coqueiro
n_a	Número de anos do coqueiro
h_{cacho}	Altura do cacho
TC	Tempo Cronometrado
n	número de ciclos a serem cronometrados
z	coeficiente de distribuição normal padronizada (Tabelado)
R	amplitude da amostra
d_2	coeficiente em função do número de cronometragens da amostra (Tabelado)
E_r	Erro máximo admitido (5% a 10%)
\bar{x}	média da amostra
TN	Tempo Normal
v	Coefficiente de velocidade
TP	Tempo Padrão
FT	Fator de tolerância
C_a	Subtotal do custo anual
C_{serv}	Subtotal dos custos de serviços
C_{ins}	Subtotal dos custos de insumos
C_f	Subtotal dos custos fixos
J_{cap}	Juros sobre o capital investido
I_R	Imposto sobre a receita bruta
FC_n	Fluxo de caixa no período n
FC	Fluxo de Caixa anual
R_a	Receita anual
C_{col}	Custo anual de colheita
C_o	Custo de outros serviços
N_{man}	Número de pessoas na parte manual
C_d	Custo diário da parte manual da colheita
N_{mec}	Número de pessoas na parte mecânica
CV	Custo Variável da parte mecânica da colheita

t_c	Tempo de colheita
A	Quantidade de hectares do cultiv a ser analisado
VU	Vida útil da parte mecânica
P	Preço do equipamento
C_{un}	Custo unitário do coco
C_{AC10}	Custo acumulado até o ano 10
$Prod_{AC10}$	Produção de cocos acumulados até o ano 10
$Prod_a$	Produção anual de cocos
SO	Salário diário do Operador
SM	Salário Mensal
S_{min}	Salário Mínimo
CF	Custo Fixo
D	Depreciação
J	Juros
AL	Alojamento
S	Seguro
C	Combustíveis
L	Lubrificantes
RM	Reparos e Manuntenção
u	tempo em horas que a máquina irá operar por ano

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO.....	27
1.1. Objetivos.....	29
1.2. Estrutura do Trabalho	30
1.3. Metodologia.....	31
1.4. Motivação	31
2. ESTADO DA ARTE	33
2.1. Método de colheita de coco atual	33
2.2. Revisão Bibliográfica	38
2.2.1. Escadas.....	38
2.2.2. Varas	39
2.2.3. Máquinas terrestres	42
2.2.4. Máquinas com sustentação na árvore	48
2.3. Considerações finais	55
3. COCO E SUA COLHEITA SOB ÓTICA PARA ENGENHARIA.....	57
3.1. Dados Físicos e Fisiológicos relacionados a cultura do coqueiro	57
3.1.1. Cultivo	57
3.1.2. Disposição dos cachos e folhas no coqueiro.....	58
3.1.3. Estipe e raiz.....	58
3.1.4. Processo de formação dos cocos.....	59
3.1.5. Características do coco (fruto).....	60
3.1.6. Altura do coco e cachos	63
3.1.7. Síntese dos dados físicos.....	63
3.2. Processo de colheita.....	64
3.2.1. Estudos de tempos e métodos	65
3.2.2. Estudos de tempos e métodos: Colheita com trator com plataforma em U	68
3.2.2.1. Etapa 1 – Determinação do Tempo cronometrado (TC).....	68
3.2.2.2. Etapa 2 – Determinação do número de ciclos a serem cronometrados	68
3.2.2.3. Etapa 3 – Obtenção do tempo normal	69
3.2.2.4. Etapa 4 – Obtenção do tempo padrão.....	69

3.2.3.	Estudo de tempos e métodos: Colheita com varas	71
3.2.3.1.	Etapa 1 – Determinação do Tempo cronometrado (TC)	71
3.2.3.2.	Etapa 2 – Determinação do número de ciclos a serem cronometrados	75
3.2.3.3.	Etapa 3 – Obtenção do tempo normal.....	75
3.2.3.4.	Etapa 4 – Obtenção do tempo padrão	75
3.3.	Considerações	76
4.	POTENCIALIDADE DE IMPACTO ECONÔMICO COM COLHEITA DE COCO MECANIZADA.....	79
4.1.	Custo da produção de coco	79
4.2.	Faixa de preços do equipamento.....	88
4.2.1.	Caso 1: Critério do Fluxo de Caixa.....	89
4.2.2.	Caso 2 Critério do Custo unitário.....	94
4.3.	Considerações	99
5.	PROPOSTA DE SOLUÇÃO E ANÁLISE DE VIABILIDADE DO EQUIPAMENTO 101	
5.1.	Metodologia de Projeto compilada por Pahl & Beitz	101
5.2.	Metodologia de concepção compilada por Pahl & Beitz.....	102
5.3.	Concepção.....	103
5.3.1.	Lista de requisitos.....	103
5.3.2.	Abstração do problema.....	106
5.3.3.	Diagrama de Funções	107
5.3.4.	Matriz morfológica.....	108
5.3.5.	Combinação de soluções	109
5.4.	Viabilidade	111
5.5.	Considerações	113
6.	CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS	115
6.1.	Análise dos Objetivos e resultados	115
6.2.	Sugestão para trabalhos futuros	116
6.3.	Encerramento	118
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
	APÊNDICE A – Cálculo do custo diário de um operário.....	127
	APÊNDICE B – Cálculo do tempo de colheita por pessoa	129
	APÊNDICE C – Obtenção da expressão para cálculo do Custo de colheita (Ccol)	131

1. INTRODUÇÃO

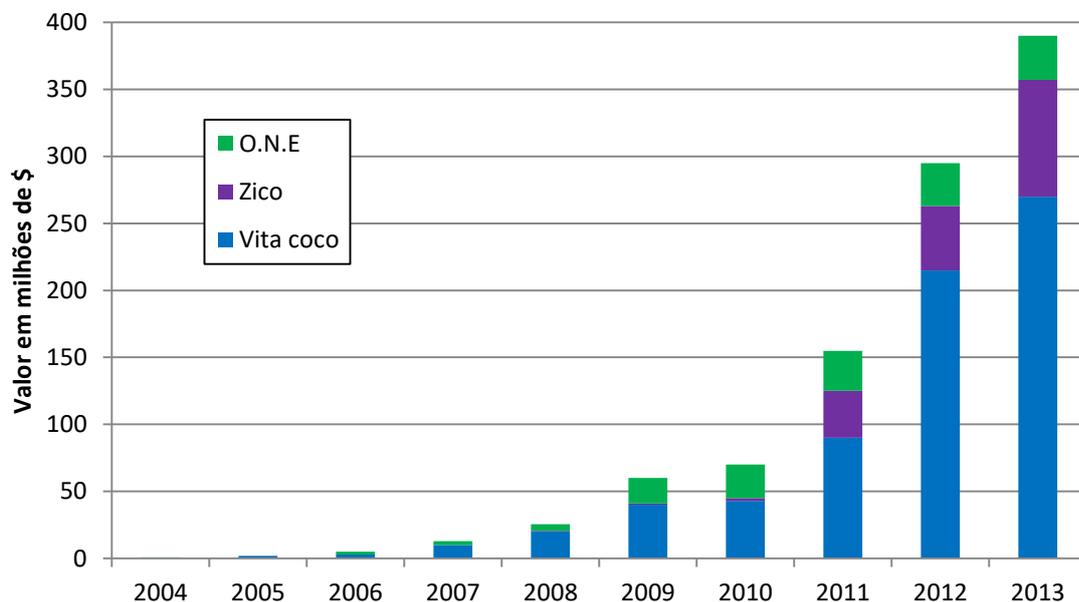
Nos últimos anos, o consumo de água de coco aumentou em escala mundial. Há um registro de crescimento de procura de produtos considerados mais benéficos para a saúde, como legumes e verduras livres de agrotóxicos e sucos naturais. Dentro destas, a água de coco ganhou destaque na última década, graças as suas qualidades nutricionais.

A água de coco é uma bebida rica em vitaminas, minerais, aminoácidos, antioxidantes, enzimas e outros nutrientes que contribuem para o bom funcionamento do corpo humano (RONDÓ, 2012). Pesquisas apontam que a bebida traz vários efeitos benéficos ao organismo como, por exemplo, diminuir o colesterol e o nível de glicose no sangue, além de possuir propriedades antibacterianas (JI, S., 2012). Em hospitais de lugares remotos, onde não há recursos médicos suficientes, a água de coco é injetada diretamente nas veias para reidratação e ressuscitação de pacientes, como relatado por Campbell-Falck *et al.* (2000), devido à similaridade da composição eletrolítica da água de coco com os fluidos intracelulares do corpo humano. Graças a essa semelhança, a água de coco é fortemente recomendada como isotônico para a reidratação e reposição dos nutrientes durante atividades esportivas.

Estas qualidades levaram ao aumento de seu consumo mundialmente. No Brasil, o consumo de água de coco cresce de 10% a 20% ao ano (IDOETA, 2014), sendo que as classes econômicas de mais alta renda são os maiores demandantes do produto. A população deste segmento, motivados tanto por questões de educação alimentar como por preocupação com a estética, tendem a valorizar a realização de uma dieta saudável e possuem os recursos financeiros necessários para colocar este estilo de vida em prática (MARTINS, 2014). Nos Estados Unidos (EUA), as vendas cresceram de forma exponencial. A figura 1 apresenta a evolução das vendas das três maiores marcas de água de coco nos EUA.

A venda de água de coco da empresa Vita Coco em 2013 foi 300 vezes maior que a do ano de 2004, quando a empresa iniciou suas atividades. A Zico, pertencente ao grupo Coca-Cola, vendeu 100 mil dólares no seu primeiro ano no mercado, em 2007, e em 2013 essas vendas foram de 87 milhões de dólares. A O.N.E, do grupo Pepsico, teve um crescimento de 1100% desde sua entrada em 2006. Considerando apenas estes três líderes do setor, observa-se que a venda de água de coco em caixinha teve um crescimento de 2759% desde 2007, sendo um mercado de aproximadamente 400 milhões de dólares e ainda em expansão (QUARTZ, 2014).

Figura 1 - Evolução das vendas de água de coco das três maiores marcas nos EUA entre os anos de 2004 a 2013.



Fonte: Adaptado de QUARTZ (2014)

Na Europa, a água de coco ainda está em processo de entrada no mercado, porém já apresenta resultados econômicos positivos. A Vita Coco, por exemplo, teve no Reino Unido um aumento em sua receita e está expandindo seu mercado na Europa, além de possuir planos para ampliar seu mercado para o Oriente médio, Ásia e África. (DEVLIN, 2015)

Além do atual crescimento mundial no consumo, seguindo a tendência de uma busca de alimentação mais saudável, a água de coco possui ainda um grande potencial de crescimento na área de isotônicos esportivos, sendo uma alternativa natural para os produtos que existem atualmente no mercado, dominadas hoje por produtos artificiais. (QUARTZ, 2014)

Neste cenário, o Brasil coloca-se como um dos maiores fornecedores de coco do mundo. Em 1990, o país se encontrava na décima colocação na classificação mundial de produção do coco e em 2012 passou a ser o quarto maior produtor de coco no mundo, e no quesito produtividade (toneladas colhidas por área) ocupou a posição de número 1. Essa evolução ocorreu graças ao incremento tecnológico na condução e manejo dos coqueirais, tais como adubação, sistema de cultivo, variedades melhoradas dos coqueiros, entre outros (MARTINS, 2014). Apesar destes progressos tecnológicos, a produção do coco ainda não é suficiente para suprir a demanda mundial. Um dos empecilhos para aumentar a produção de

frutos e conseqüentemente contribuir para o suprimento de uma maior demanda está na altura em que os cachos de cocos se localizam.

Por motivos estruturais do instrumento de colheita, as técnicas de colheita utilizadas atualmente possuem um alcance máximo de 8 metros de altura, porém, o coqueiro atinge sua máxima produtividade a alturas superiores. Os donos dos cultivos de cocos são obrigados a cortarem os coqueiros assim que atingem esta altura limite, ou seja, antes de aproveitar a máxima produtividade do coqueiro, pois não possuem uma tecnologia para realizar este processo.

Apesar da problemática que envolve a colheita aparentar-se simples, em uma revisão preliminar, observou-se que equipamentos ou instrumentos para colheita em alturas elevadas é inexistente. Além disso, foi observado também que esta dificuldade da altura de localização dos frutos não é exclusiva do coco, sendo na realidade um obstáculo para os frutos de palmáceas em geral, como por exemplo açai e dendê.

Caso um equipamento para a colheita realmente for inexistente, o resultado anterior leva a questionar o motivo da inexistência de um equipamento para a colheita de cocos. A primeira hipótese é de que o processo da colheita é uma operação complexa, exigindo habilidade difícil de ser copiada por um mecanismo simples, ou seja de difícil solução tecnológica. A segunda hipótese são os valores gerados pelo mercado de cocos ser baixo face ao investimento exigido para desenvolvimento de um equipamento, ou seja, sem o potencial de retorno econômico. Conjectura-se também como terceira hipótese o baixo interesse das empresas e instituições por simples desconhecimento da oportunidade ou pelo produto não trazer conforto por exigir um investimento com um retorno desconhecido.

1.1. Objetivos

Diante do panorama e questionamentos apresentados, este trabalho visa dar luz a esse tema sob a ótica da engenharia, de forma a compreender melhor o processo de colheita do coco e analisar a viabilidade da mecanização da colheita tanto do ponto de vista técnico como econômico.

Coloca-se como objetivos específicos:

- a) Verificar a existência de um equipamento para colheita de cocos;
- b) Coletar e disponibilizar dados e informações seguras para criar oportunidade na geração de um projeto de equipamento;
- c) Explorar os custos do processo de colheita do coco

- d) Analisar a viabilidade de desenvolvimento de um equipamento;
- e) Propor uma solução dentro das condições propostas.

De forma a responder os questionamentos mencionados, busca-se primeiramente verificar se realmente não existe um equipamento já desenvolvido. Confirmado isso, pretende-se coletar as informações associadas ao processo de colheita, no intuito de se compreender melhor a problemática desta, e também para disponibilizar informações confiáveis e organizadas para um possível projeto de desenvolvimento de um equipamento. Também pretende-se verificar os aspectos econômicos do cultivo e, com base nestas informações, analisar se a introdução de um equipamento é viável tanto do ponto de vista econômico como técnico. Após a verificação destes pontos, almeja-se também propor uma solução para o problema, levando-se em consideração as informações e os requisitos propostos.

1.2. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em 6 capítulos: Introdução; Estado da arte; Coco e sua colheita sob ótica para engenharia; Potencialidade de impacto econômico com colheita de coco mecanizada; Proposta de solução e análise de viabilidade do equipamento e por fim, Conclusão de prespectivas

No capítulo 2 – ESTADO DA ARTE, é apresentado o resultado do levantamento técnico realizado em base de dados acadêmicos e base de patentes para se verificar a existência de equipamentos de colheita para cocos e seu estado da arte. Também é apresentado o relato do processo de colheita observado durante uma visita em uma cocoicultura. Os resultados encontrados foram classificados de acordo com o tipo de equipamento, e a seção se encerra com uma discussão dos trabalhos encontrados.

No capítulo 3 – COCO E SUA COLHEITA SOB ÓTICA PARA ENGENHARIA, são disponibilizadas as informações técnicas referentes ao cultivo do coco e seu processo de colheita. São apresentados dados sobre a arquitetura do coqueiro e seus elementos, informações sobre a fisiologia do coqueiro e uma descrição detalhada do processo de colheita observado durante a visita no cultivo do platô de Neópolis, baseando-se no estudo de tempos e métodos.

No capítulo 4 – POTENCIALIDADE DE IMPACTO ECONÔMICO COM COLHEITA DE COCO MECANIZADA, é apresentado os aspectos econômicos que envolvem a cocoicultura. Apresenta-se os custos envolvidos no cultivo dando um destaque no

processo de colheita. A partir dos dados obtidos no capítulo 3 e 4, é obtido a partir de matemática simples uma faixa de preços que gera receitas satisfatórias para os donos o cultivo.

No capítulo 5 – PROPOSTA DE SOLUÇÃO E ANÁLISE DE VIABILIDADE DO EQUIPAMENTO, é criada e descrita de forma sucinta uma concepção do equipamento de colheita do coco, na expectativa de se analisar a viabilidade técnica.

No capítulo 6 – CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS, é realizado uma análise dos objetivos e resultados, proposta de trabalhos futuros e o encerramento do trabalho.

1.3. Metodologia

O trabalho é uma pesquisa exploratória, na qual se buscou obter avanços no conhecimento a respeito dos processos de colheita de coco, organizá-los e formalizá-los através desta dissertação. As informações foram obtidas da literatura quando possível, porém, no tema deste trabalho, muitas informações encontravam-se tácitas, e buscou-se obter esse conhecimento por meio de visitas na área de cultivo de coco e em entrevistas com pesquisadores da Embrapa Tabuleiros Costeiros, proprietários de lavoura de coco e por fim especialistas do coco.

Além da pesquisa exploratória, em cada etapa do trabalho foram aplicadas metodologias auxiliares julgadas pertinentes. No capítulo 3, o processo de colheita é analisado utilizando-se a metodologia do estudo de tempos e métodos. Executou-se o estudo de viabilidade financeira utilizando-se tabela de coeficientes técnicos de plantio e cultivo, juntamente com equacionamento simples obtendo-se uma expressão que calculou a faixa de preços viáveis para o equipamento. No capítulo 5, a concepção é construída utilizando-se a metodologia de projetos sintetizada por Pahl & Beitz (2007). As metodologias utilizadas estão descritas com detalhes nos respectivos capítulos.

1.4. Motivação

O cenário mundial é favorável para expansão do mercado do coco, e o Brasil, na colocação de um dos maiores produtores mundiais de coco verde, possui o potencial de contribuir para o abastecimento da demanda nacional e mundial, sendo assim uma oportunidade para contribuir no desenvolvimento da economia brasileira. A hipótese é que a

alta produtividade dos coqueiros com alturas elevadas justifica um investimento de alto valor para a compra de um equipamento que viabilize a colheita, de forma a trazer retornos para os produtores. Além disso, o equipamento pode contribuir também para o cultivo de outros frutos de palmáceas que possuem a mesma dificuldade técnica no processo de colheita.

2. ESTADO DA ARTE

Nesta seção, será descrito o estado da arte da tecnologia de colheita de cocos. A seção está dividida em duas partes, sendo que a primeira relata as práticas de colheita observadas em uma plantação de coco em Sergipe, e a segunda seção de revisão bibliográfica, que apresenta as tecnologias encontradas na literatura.

2.1. Método de colheita de coco atual

A colheita de coco ainda é realizada na maioria dos casos de uma forma que pode ser considerada rudimentar. O modo mais simples é escalando o estipe (tronco do coqueiro) com o auxílio de instrumentos artesanais, chamados de peconha, manufaturados por meio de folhas do próprio coqueiro ou fibras naturais de fácil obtenção no campo. O instrumento e sua utilização são apresentados na figura 2. O colhedor finaliza a peconha torcendo as folhas ou fibras, moldando em um formato de anel. A peconha é utilizada nas pernas para laçar o estipe aumentando a superfície de contato do colhedor, o que por sua vez aumenta a força de atrito que irá sustentar o operário enquanto realiza a subida. Esta forma de colheita não é exclusiva do coco, além dele, outros frutos de palmáceas como açaí e babaçu são colhidos do mesmo modo.

Figura 2 – Instrumento Peconha e sua aplicação



Fonte: Repositório digital Instituto Peabiru ¹⁾ e Meio ambiente Açaí e farinha ²⁾

Após alcançar o cacho na altura desejada, o colhedor utiliza um facão para cortar o cacho e esta cai em queda livre. Dependendo da altura, a queda pode danificar os frutos, que

perdem valor de mercado. Este tipo de colheita exige esforço físico e cria uma condição de risco, isto é, possibilidade de um cacho de cerca de 50 kg despencar de uma altura considerável sobre o operador, além do risco de queda do colhedor. Como o coco tem valores sazonais de mercado influenciado pelo clima, esses fatores, combinados com a escassez de mão-de-obra na agricultura, pode prejudicar expressivamente o retorno econômico.

Na cocoicultura na região do Platô de Neópolis, em Sergipe, foi apresentado a utilização de outras formas de colheita. Em uma delas, os cocos são colhidos utilizando-se duas varas: uma vara para a realização do corte dos cachos e a outra vara para auxiliar a descida do cacho de forma controlada. As varas estão apresentadas na figura 3 e 4. O instrumento de corte consiste de uma lâmina tipo foice conectado a um tubo de alumínio de 6 m de comprimento. A vara para controle de queda consiste de uma extremidade para encaixe do cacho conectado a um tubo de aço galvanizado de 6 m de comprimento. Neste último, está preso uma corda, que será utilizado para controlar a queda do cacho.

Figura 3 – Extremidade da vara para corte



Fonte: Inamasu, R. Acervo Pessoal.

Figura 4 – Extremidade da vara para controle de queda



Fonte: Inamasu, R. Acervo Pessoal.

A colheita é realizada através destas duas varas e três operários: um operário responsável pelo corte, outro responsável por controlar a queda, e outro operário responsável por acoplar a extremidade dessa vara no cacho de coco. O cortador escolhe o cacho a ser cortado e posiciona a foice na extremidade do cacho presa a árvore (pedúnculo). O outro funcionário encaixa o equipamento de controle de queda no cacho e o corte é realizado. O posicionamento das varas antes do corte é apresentado na figura 5. Durante o posicionamento, não é permitido o corte de folhas para facilitar esta etapa, pois as folhas, mesmo aparentemente estarem secas, realizam fotossíntese e contribuem para o desenvolvimento dos frutos. Para evitar uma queda e, conseqüentemente, a danificação dos cocos, o funcionário com a vara de controle de queda espeta sua haste no solo, ao mesmo tempo que o terceiro funcionário puxa a corda ligada ao instrumento para diminuir a velocidade de queda, utilizando o estipe como superfície de apoio e posteriormente utilizando a própria corda para amortecer a queda, como apresentado na figura 6. Após colocar o cacho no solo, repete-se o processo para o cacho seguinte, e terminando a colheita em um coqueiro, os funcionários dirigem-se ao próximo pé de coco. Este processo de colheita será analisado com mais detalhes no capítulo 3.

Figura 5 – Varas em utilização para a colheita do cacho



Fonte: Kawahara. Y. Acervo Pessoal.

Figura 6 – Amortecimento dos cachos com a corda



Fonte: Inamasu, R. Acervo Pessoal.

As varas propiciam uma colheita mais segura e menos onerosa do que o método da escalção, porém, o alcance das varas não é suficiente para colher os cachos em sua época de máxima produtividade. Varas com comprimento maior não são viáveis pois além de serem de difícil manuseio, estão sujeitas a maiores solicitações mecânicas como flexão e fadiga na estrutura, o que resulta na sua fratura. O problema pode ser contornado alterando-se o material da vara para um mais resistente, porém, normalmente, isso acarreta em maior massa da vara, o que pode inviabilizar o manuseio da mesma para a aplicação de colheita do coco.

Em um outro cultivo no platô de Neópolis, foi apresentada uma colheita com auxílio de máquinas, na qual uma plataforma em forma de “U” é acoplada a um trator. O equipamento é apresentado na figura 7. Para a colheita, o trator com os colhedores na plataforma aproxima-se ao coqueiro de forma a colocar o estipe no vão da plataforma. Em seguida, a plataforma é elevada, e ao atingir a altura desejada, o colhedor faz um sinal sonoro batendo o seu facão na plataforma. Ao escutar o sinal, o operador do trator cessa a elevação e os colhedores realizam a colheita dos cachos com seus facões. Os cachos colhidos são armazenados na própria plataforma, e ao terminar a colheita, o colhedor realiza o sinal sonoro novamente, para que o operador possa abaixar a plataforma e se dirigir para o próximo coqueiro. Uma figura do processo é apresentada na figura 8. Após a plataforma ser carregada, os cocos são transferidos para um vagão, onde os cocos são contados e as ramificações dos cachos são podadas, para não danificar o fruto.

Figura 7 - Plataforma em “U” acoplado a um trator



Fonte: Kawahara, Y. Acervo Pessoal.

Figura 8 - Plataforma em funcionamento



Fonte: Inamasu, R. Acervo Pessoal.

Este método ainda apresenta alguns problemas como a considerável habilidade e concentração necessária para o tratorista, que deve estar atento para manobrar o trator sem danificar o estipe com a plataforma e ainda ter atenção para o sinal sonoro do colhedor. A operação demanda muita atenção e concentração e a realização desta tarefa durante a jornada de trabalho de um dia pode ser estressante e comprometer a segurança dos funcionários. Outro

problema é novamente o alcance da plataforma, na qual não consegue alcançar os coqueiros na sua máxima produtividade.

2.2. Revisão Bibliográfica

Em uma primeira busca, observa-se que a literatura é escassa em relação a equipamento de colheita para cocos. Inserindo os termos “TITLE(coconut) AND TITLE(machine) AND TITLE(harvest* OR pick*)” na base de dados *Scencedirect*, nenhum resultado foi encontrado. Inserindo os mesmos parâmetros para todas as bases de dados pertencentes ao *Web of Science*, foram localizados 9 resultados de patentes, todas provenientes da base de patentes *Derwent Innovations Index*. Utilizando outros meios de busca, foi possível localizar mais dois artigos específicos de equipamento de colheita de coco, totalizando assim 11 resultados. Destes, duas delas tratavam-se de patentes de equipamentos para separação de fibras no coco, uma tratava de um equipamento auxiliar de colheita (GUO, C. & GUO Z., 2014), e o restante tratavam as abordagens de colhedoras de fato.

Ampliando-se a busca para “equipamento de colheita de palmáceas” o número de resultados encontrados foi maior. Muitos equipamentos foram desenvolvidos para o cultivo de tâmaras, que apresentam o mesmo problema de localização em alturas elevadas e necessitam de várias operações além da própria colheita. Segue em subitens as sínteses das tecnologias que foram encontradas nesta revisão.

2.2.1. Escadas

Uma alternativa simples para alcançar locais de elevada altura é a utilização de escadas. Em alguns cultivos de tâmaras, as escadas permanentes são instaladas nas próprias árvores (BROWN, 1983). Outra alternativa seria a utilização de escadas telescópicas, porém, para a altura desejada, estas são pesadas (aprox. 80 kg) sendo de difícil transporte e instalação. Nesse contexto, Pegna (2008) procura uma solução para mecanizar as operações mais onerosas no cultivo de tâmaras e propõe a adaptação de um *mini-dumper* (descarregador), na qual a caçamba é desmontada e substituída por uma escada telescópica, conforme apresentada na Figura 9. A solução proposta possui dimensões reduzidas, o que possibilita o acesso em cultivos de alta densidade. O autor afirma que esse sistema permite

também agilizar o alcance à coroa da árvore, consequentemente uma melhor produtividade na colheita de frutos.

Figura 9 - Descarregador utilizado e esquema ilustrativo do dispositivo em uso.

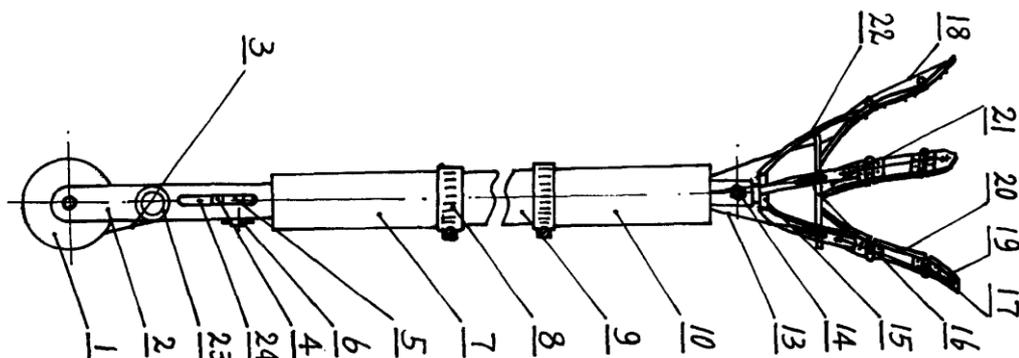


Fonte: Pegna (2008)

2.2.2. Varas

Uma outra forma de alcançar locais mais elevados é utilizando-se varas. Na cocoicultura do Platô de Neópolis, relatado nas seções anteriores, utiliza-se duas varas para realizar o corte e o controle de queda dos cachos. Li (2007) desenvolve para cocos um colhedor do tipo garra, apresentado na figura 10. As articulações das garras são presas em uma base que por sua vez estão acopladas a uma vara telescópica. Neste instrumento não há ferramenta de corte, sendo que os frutos são colhidos apenas pela tração e rotação realizada pelo equipamento.

Figura 10 - Garra acoplada em uma vara proposta por Li (2007)



Fonte: LI (2007)*

*Obs: Os números apresentados são originais da figura

Embrapa (2005) desenvolveu o instrumento “Traz-cacho” para os frutos de pupunheira e açaí, que consiste em uma vara telescópica de alumínio com três metros de comprimento por lance, com uma lâmina e recipiente em forma de cesta para armazenamento do cacho cortado no seu pedúnculo. O cacho, após o corte, é armazenado na cesta. A cesta é móvel, içada por um cabo e corre seguindo a vara. O cacho é trazido pelo operador, evitando a queda e conseqüente dano aos frutos. Esta está apresentada na figura 11. O instrumento propicia uma colheita mais segura uma vez que o operador situa-se no solo, porém, a colheita requer habilidade do operário, além da eficiência parecer não ter alcançado o desejável.

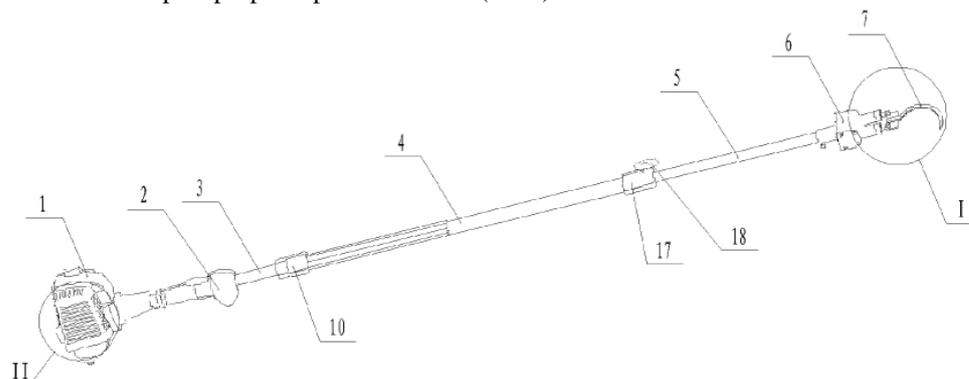
Figura 11 - Extremidade do traz-cacho



Fonte: Inamasu, R. Acervo Pessoal

Outros instrumentos neste estilo foram elaborados com suas variações. Lin (2014), Chen *et al.* (2012) e Wang *et al.*(2012) acoplaram à vara um motor que irá acionar o mecanismo para o corte dos frutos. Chen *et al.*(2012) promove o movimento necessário de corte utilizando um mecanismo com engrenagens e eixo excêntrico acionados por este motor. A vara proposta é apresentada na Figura 12.

Figura 12 - Vara telescópica proposta por Chen *et al.* (2012)

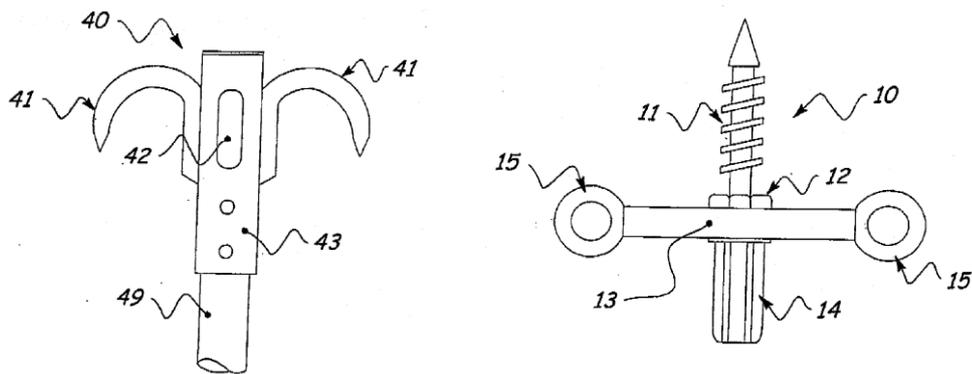


Fonte: CHEN et al. (2012)*

*Obs: Os números apresentados são originais da figura

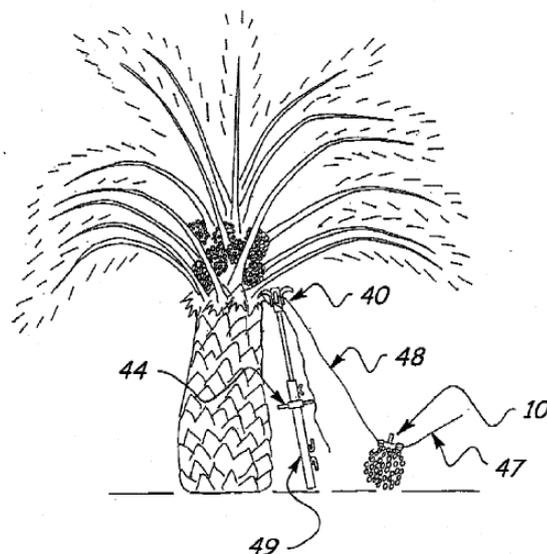
Uma outra forma de colher utilizando varas é proposta por Richard (2008). O instrumento foi inventado para a colheita de Dendê, e seu funcionamento é análogo ao processo observado no Platô de Neópolis. A solução consiste em uma vara e diferentes tipos de extremidades (pontas) para serem acoplados na vara. A Figura 13 apresenta algumas de suas extremidades, sendo o esquerdo a extremidade para o corte e o direito para o controle de queda. Inicialmente, espetar-se o a ponta para a colheita (Elemento 10) no fruto desejado. Confirmada a fixação do instrumento no fruto, a ponta é desacoplada e acopla-se a outra extremidade (elemento 40) para a realização do corte. A queda do cacho é controlado através da corda que está presa na extremidade para a colheita (olhal do elemento 15) e que também passa pelo olhal (elemento 42) da ponta para o corte. Um esquema ilustrativo do processo de colheita é mostrado na figura 14.

Figura 13 - Foice de corte com olhais e ponta para espetar com olhais



Fonte: RICHARD (2008)*

Figura 14 - Esquema ilustrativo da colheita de dendê



Fonte: RICHARD (2008)*

*Obs: Os números apresentados são originais da figura

2.2.3. Máquinas terrestres

O maior obstáculo para a colheita de frutos em palmáceas é a altura onde estas se situam e vários projetos consistem apenas em levar o operador à altura desejada. Blundell e Stanners (2001) tenta subclassificar as máquinas existentes para superar esse obstáculo em três classes: sistema de elevação com estrutura articulada; sistema com estrutura telescópica e plataformas de tesouras.

- a) As máquinas com estrutura articulada realizam a elevação através de braços com juntas rotativas. Um problema deste tipo de elevação é a baixa velocidade para elevar o cortador além da difícil manobra para locomoção do conjunto inteiro em terra. Outro ponto crítico é a necessidade de manter a estabilidade do conjunto quando a extremidade do mecanismo de barras é carregada, por exemplo, pelo operador e pelos frutos colhidos.
- b) As máquinas com estrutura telescópica possuem estruturas pesadas e necessitam de um contrapeso significativo para sustentar o conjunto quando acionado. Além de serem lentos para a operação, possuem um limitado acesso aos cachos.
- c) As plataformas de tesouras, utilizadas comumente em indústrias, são alternativas simples e de menor custo. São menores e mais leves quando comparados aos outros dois tipos, mas ainda possuem lenta elevação, além de apresentar dificuldades no posicionamento em plantações que possuem irregularidades no solo.

Fadel (2005) desenvolve um sistema de elevação de estruturas articuladas montáveis em um trator para a operação em pés de tâmaras. O equipamento é apresentado na figura 15. Na extremidade do sistema está montada uma plataforma na qual o colhedor irá realizar seu trabalho. O mecanismo de elevação teve um custo de US\$ 13.900,00 em 2005 e a altura de trabalho do equipamento é de aprox. 4,5 metros

O nivelamento é realizado por dois mecanismos de 4-barras acionados hidráulicamente e a plataforma é constituída de vários instrumentos para garantir a segurança do operador. Deve-se atentar que, para palmáceas de elevada altura, quanto maior os braços, maior deve ser o contrapeso necessário, conseqüentemente maior será a máquina, o que pode impossibilitar o acesso nos cultivos.

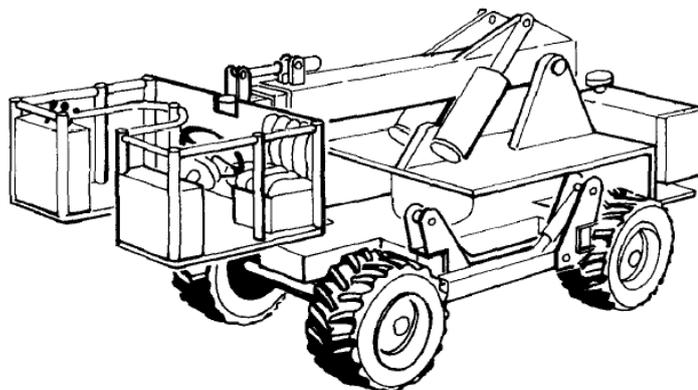
Figura 15 - Sistema de elevação proposta por Fadel (2005)



Fonte: Adaptado de Fadel (2005)

Al-Suhaibani *et al.* (1988) desenvolve uma máquina para Tâmaras que consiste em uma plataforma em forma de “U” nivelada por um sistema telescópico montado em um dispositivo móvel. Este é apresentado na figura 16. Os requisitos geométricos deste projeto foram especificados a partir de uma pesquisa realizada em 19 cultivos na Arábia Saudita, na qual dados como altura das palmáceas, distância entre as árvores e diâmetros do tronco foram coletados e analisados estatisticamente para se obter os requisitos do projeto. No teste do protótipo, Al-Suhaibani *et al.* (1992) mostra que a colheita com o equipamento é viável (Figura 17), chegando a alturas de aprox. 12 m e apresentando produtividade similar à colheita manual, porém muito mais seguro. O autor também coloca que o posicionamento do equipamento e da plataforma são as etapas mais demoradas, e tornar essa operação mais rápida implica diretamente em uma maior velocidade de colheita.

Figura 16 - Sistema desenvolvido por Al-Suhaibani *et al.* (1988)



Fonte: Al-Suhaibani *et al.* (1988)

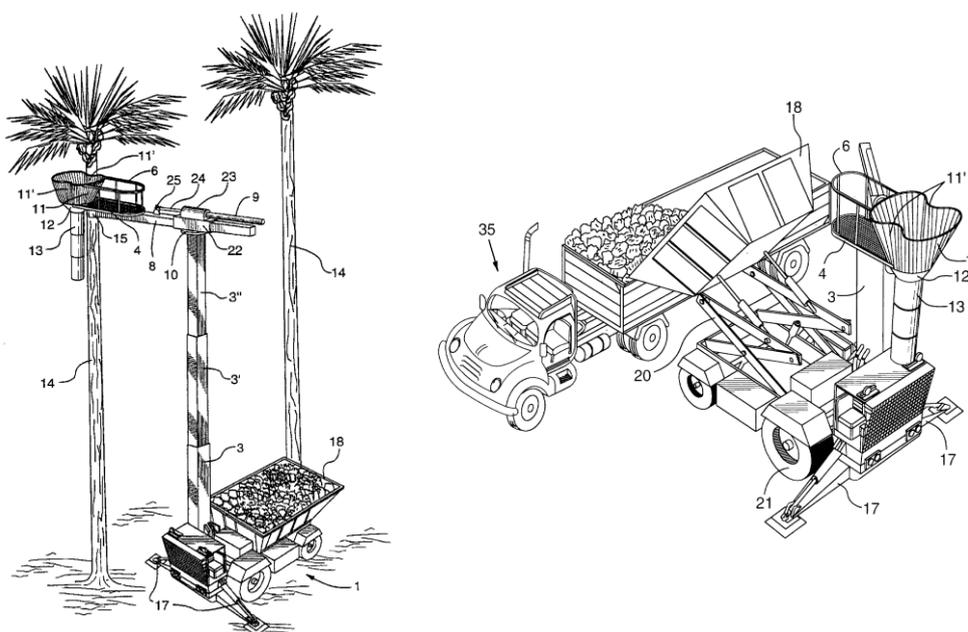
Figura 17 – Sistema desenvolvido por Al-Suhaibani *et al.* durante testes (1992)



Fonte: Al-Suhaibani et al. (1992)

Blundell e Stanners (2001) destaca a questão do manuseio dos frutos das palmáceas durante a colheita como um outro ponto negativo do processo atual. Os frutos são danificados devido aos impactos causados durante e após a colheita, por exemplo, na queda no momento da colheita, no carregamento aos caminhões e vagões. Assim, um sistema de colheita que minimiza esses danos é sugerido pelo mesmo autor, e essa é apresentada na Figura 18. A máquina é formada por um sistema de elevação telescópico, acionado por meio de um motor, cordas e polias. Na extremidade é acoplada uma plataforma e um cesto, com possível ajuste de posição, realizado por motores (rotação) e cilindro hidráulico (translação). O cesto vem vinculado a uma calha, que ao encher, é descarregado na caçamba montada no próprio veículo. Após encher o depósito, ela descarrega em um caminhão para o transporte. A solução proposta além de aumentar a produtividade e diminuir os custos para a mão de obra, melhora a qualidade dos frutos colhidos, uma vez que se causam menores danos aos frutos comparados ao método de colheita manual.

Figura 18 - Sistema de elevação e armazenamento proposto por Blundell & Stanners (2001)

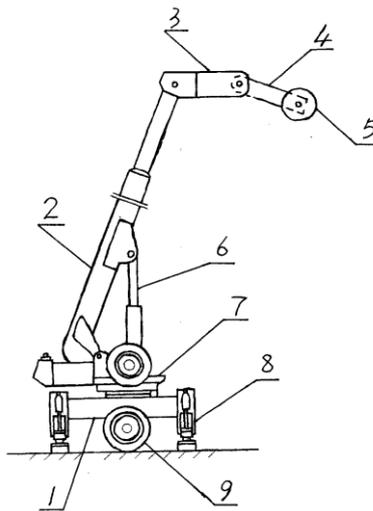


Fonte: BLUNDELL & STANNERS (2001)*

Outra categoria de máquinas terrestres são as máquinas controladas do solo, na qual o operário não sobe até os cachos. Comparadas ao tipo plataforma, apresentam vantagem na diminuição da massa a ser elevada, conseqüentemente um motor menos potente pode ser utilizado, o que, por sua vez, diminui os custos da máquina. Entretanto, a máquina passa a requerer um melhor controle e posicionamento do sistema de corte, o que pode tornar a tarefa mais lenta.

Liang *et al.* (2010) propõe uma construção simples para a colheita de cocos. Constituído por uma base móvel, os frutos são alcançados por um mecanismo telescópico acionado hidráulicamente, o posicionamento do corte é realizado por juntas rotativas e articulações acionadas por motores, e o corte é efetuado por serra circular. Seu esboço é apresentado na Figura 19.

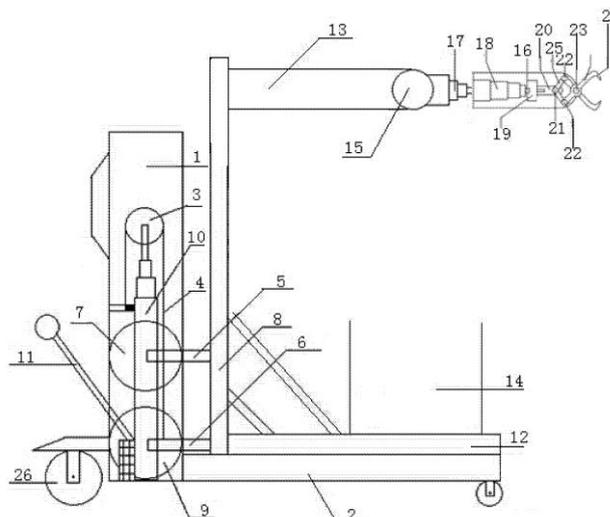
*Obs: Os números apresentados são originais da figura

Figura 19 – Máquina para colheita proposta por Liang *et al.* (2010)

Fonte: LIANG *et al.* (2010)*

Zhang (2014) propõe um equipamento análogo, no qual os cocos são colhidos separadamente por meio de um mecanismo do tipo garra acionada por motores elétricos, e a elevação desta garra é realizada através de um mecanismo combinado de cilindro hidráulico e correntes, que elevam a coluna que contém o manipulador e um cesto de armazenamento. Um esquema ilustrativo é apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Equipamento de colheita de coco proposta por Zhang (2014)



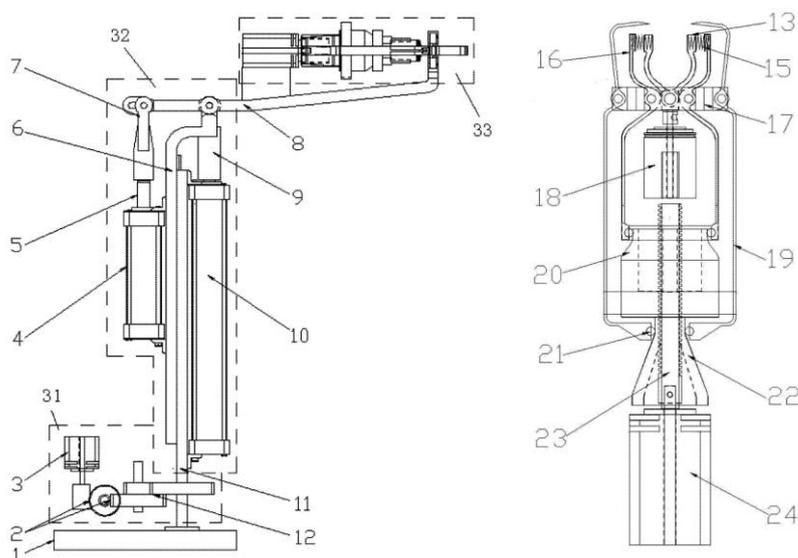
Fonte: ZHANG (2014)*

Outro equipamento análogo é proposto por Xie & Li (2014) para a colheita de cocos. Neste equipamento, os cocos são colhidos separadamente através de um manipulador com garras, que está acoplado a um braço equipado com dois cilindros hidráulicos. Estes, por sua

*Obs: Os números apresentados são originais da figura

vez, estão conectados em uma base giratória acionada por um motor, e este juntamente com os cilindros realiza o posicionamento do manipulador para a realização da colheita. Um desenho esquemático do conjunto e detalhe do manipulador são apresentados na Figura 21.

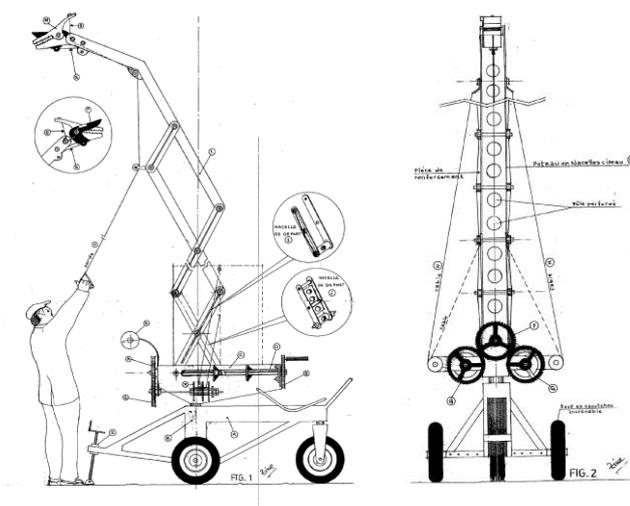
Figura 21 - Equipamento de colheita proposta por Xie & Li (2014)



Fonte: XIE, X. & LI, G. (2014)*

Outra construção simples é proposta por Zine (2011), apresentado na Figura 22. Projetada para colher tâmaras, a ferramenta de corte para colheita é elevada por um mecanismo de tesoura acionado manualmente através de manivelas. O corte do cacho é realizado pelo operador posicionado no solo puxando-se uma corda.

Figura 22 - Colhedora proposta por Zine (2011)

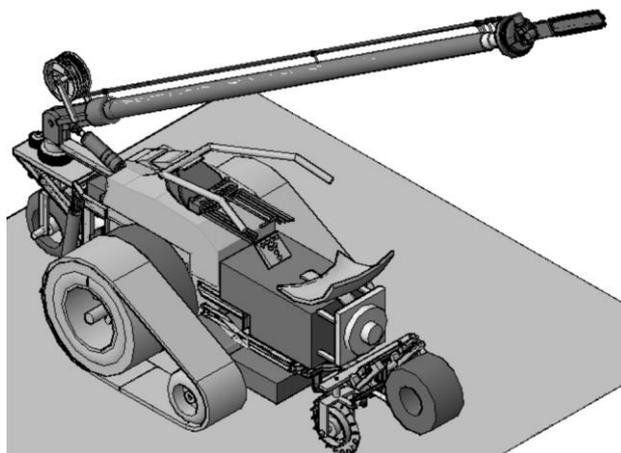


Fonte: ZINE (2011)*

*Obs: Os números apresentados são originais da figura

Albiero *et al.* (2007) propõe um conceito de máquina colhedora de babaçu e Albiero *et al.* (2011) desenvolve a concepção proposta. Esta é apresentada na Figura 23. O sistema de corte do equipamento é constituído por uma motoserra, e outros três motores estão ortogonalmente posicionados no cabeçote de corte para se posicionar a ferramenta. A motoserra alcança os frutos através de pistões telescópicos acionados hidráulicamente, que também ativam o sistema de equilíbrio do conjunto inteiro. Para a locomoção, foram escolhidas esteiras para se aumentar a área de contato do sistema e melhorar a dirigibilidade da máquina. Segundo o autor a máquina é tecnicamente e economicamente viável possibilitando uma melhor condição de trabalho e renda.

Figura 23 - Colhedora de Babaçu desenvolvida por Albiero *et al.* (2011)

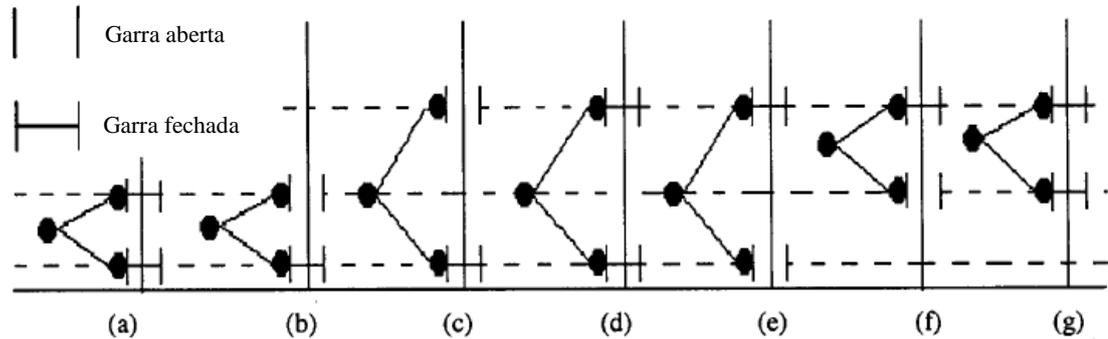


Fonte: ALBIERO, *et al.* (2011)

2.2.4. Máquinas com sustentação na árvore

Uma abordagem inovadora para o problema é realizada por alguns autores, que tentam utilizar o próprio estipe da palmácea para a sustentação da máquina. Isso permite uma diminuição do tamanho e peso do equipamento e, conseqüentemente, uma diminuição nos custos e um melhor acesso da máquina (Keramat Jahromi *et al.*, 2008). Ripin *et al.* (2000) propõem um sistema de subida utilizando garras conectadas por uma estrutura acionada hidráulicamente que realiza a subida na palmeira. O esquema cinemático do movimento é apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Esquema cinemático da subida através de garras



Fonte: adaptado de RIPIN, *et al.* (2000)

A máquina é acoplada ao tronco acionando-se as garras superior e inferior (a). Libera-se a garras superior (b), e o cilindro hidráulico no conector é acionado para propiciar a abertura dos braços (c). A garras superior é acionada (d), seguido da liberação da garras inferior (e) e o cilindro do corpo central é liberado de modo a fechar os braços (f) e a garras inferior é acionada de modo a fixar a máquina no tronco. Esse ciclo é repetido até se alcançar a altura desejada.

Um mecanismo análogo é proposto e analisado por Keramat Jahromi *et al.* (2008). O modelo 3D do equipamento é apresentado na Figura 25. A máquina é formada por uma estrutura com cilindros hidráulicos, quatro garras localizadas em duas seções diferentes (seção superior e seção inferior) e rodas para auxiliar a estabilidade. Após o desenvolvimento da máquina, é realizada uma análise na estrutura do tronco contra os carregamentos causados pela máquina, na qual a flambagem no tronco é o carregamento crítico.

Figura 25 – Máquina de elevação desenvolvida por Keramat Jahromi et al. (2008)

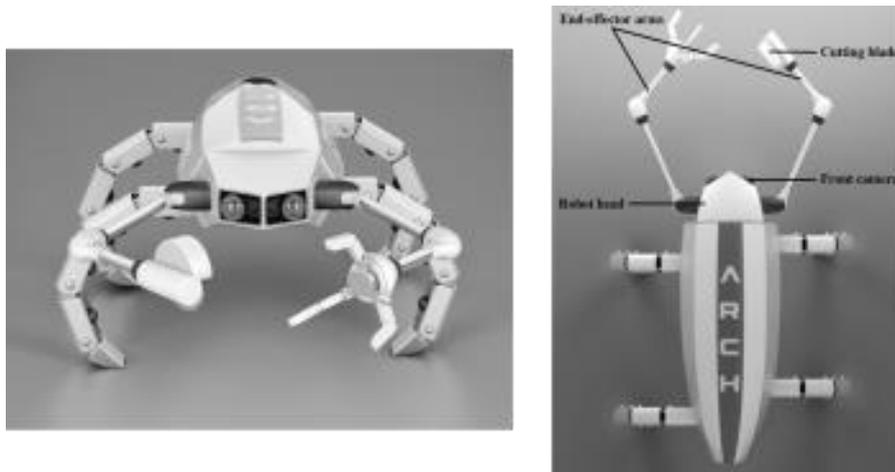


Fonte: KERAMAT JAHROMI, et al. (2008)

Os autores concluem que para se utilizar a máquina proposta é necessário definir uma faixa de diâmetros e alturas da árvore para que ela possa ser utilizada, além de se controlar a máquina remotamente, uma vez que a subida com um operador pode ser crítica para a estrutura vegetal.

Abraham et al. (2014) propõe um equipamento para a colheita de cocos com mecanismo análogo através do seu robô A.R.C.H. - *Advanced Remote-controlled Coconut Harvesting robot*. O conceito do robô é apresentado na Figura 26. Trata-se de um robô leve e simples, teleoperado, com atuadores e ferramentas de corte rotativos e uma câmera para um operador monitorar as operações. Segundo os autores, o protótipo se encontra em testes e já obteve resultados positivos quanto a colheita.

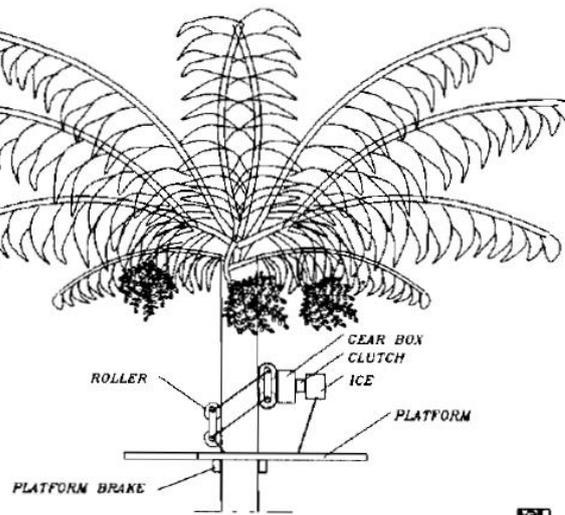
Figura 26 - Conceito de robô de colheita de coco remotamente controlado



Fonte: ABRAHAM, et al. (2014)

Bankhar e Akyurt (1995) propõem um sistema de subidas composta por uma plataforma içada a roletes, mostrado na Figura 27. Os roletes, conectados por barras para contornar os diferentes diâmetros de troncos, são acionados por um motor de combustão interna que permite a subida da plataforma içada. Cálculos mostram que a plataforma mantém-se estável mesmo com um operador na plataforma.

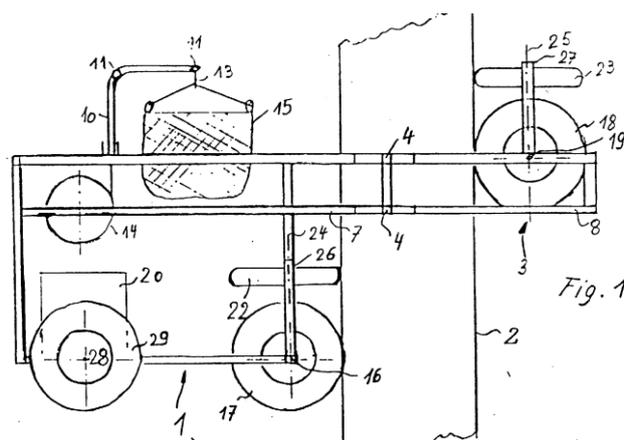
Figura 27 — Plataforma içada por um sistema de roletes



Fonte: BANKHAR & AKYURT (1995)

Schäfer (1984) propõe um modelo similar para um equipamento de subida com cesto para armazenamento. Os eixos, conseqüentemente as rodas, são dispostas de forma que o próprio peso do equipamento contribua para a sustentação do sistema no tronco. O dispositivo é provido de um motor, na qual aciona o eixo superior para a subida do equipamento. Rodas ortogonalmente dispostas a estes eixos são colocadas para permitir a rotação da estrutura em torno do tronco. Um esboço do equipamento é apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Modelo proposto por Schäfer (1984)



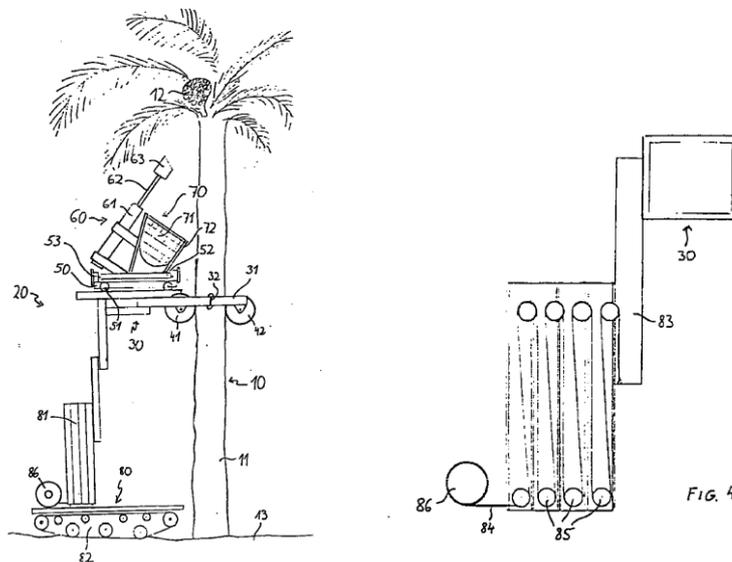
Fonte: SHÄFER (1984)*

Schäfer (1987) afirma que a invenção anterior é muito complexa e não indicada para troncos com perfis irregulares como os pés de dendê. Ele propõe então um método totalmente mecanizado para a colheita, com intuito de se diminuir o tamanho e complexidade da máquina

*Obs: Os números apresentados são originais da figura

e contornar as irregularidades da superfície do tronco. O equipamento é ilustrado na Figura 29. Uma plataforma com a ferramenta de corte e cesto de armazenamento é montada a um chassi com ajuste de posição. Esta plataforma é por sua vez acoplada a um sistema de elevação, formado por um conjunto de trilhos móveis acoplados às roldanas. Passam-se cabos através das roldanas, e o acionamento de um motor recolhendo os cabos propicia a elevação dos trilhos e, conseqüentemente o sistema. A plataforma é sustentada principalmente pelos cabos e trilhos de elevação, sendo que o tronco da árvore serve apenas para guiar a plataforma até os frutos.

Figura 29 — Equipamento proposto por Schäfer (1987)

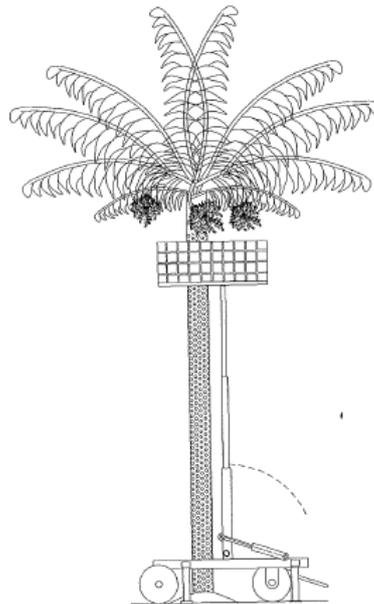


Fonte: SHÄFER (1987)*

Ali e Akyurt (1998) desenvolveram uma plataforma móvel que é fixada no próprio tronco após elevação. Um esboço do equipamento é mostrado na Figura 30. Cilindros telescópicos são acionados para se promover a altura desejada, e depois de atingida, o mecanismo de fixação é ativado de modo a fixar a plataforma no tronco. A fixação consiste em um mecanismo de 6-barras com fitas de borracha que garantem uma melhor distribuição dos carregamentos além de não danificarem o tronco. Após a fixação, o operador sobe na plataforma com uma escada e a carga durante a operação será suportada pela própria árvore. Cálculos realizados comprovam que a plataforma com o operador é mantida estável na altura desejada com o mecanismo desenvolvido.

*Obs: Os números apresentados são originais da figura

Figura 30 - Plataforma de elevação de Ali e Akyurt (1998)



Fonte: Ali e Akyurt (1998)

Nourani & Pegna (2014) propõem um modelo no qual o equipamento colhedor é preso ao tronco da palmeira. O modelo em 3D do equipamento é apresentado na Figura 31. Uma barra estabilizadora é presa ao tronco, suspensa do chão através de cintos. Um poste telescópico é acoplado ao estabilizador de modo que o sistema de elevação possa girar em torno dela. Na extremidade do poste são montados um cesto e uma serra elétrica que realizará o corte. O modelo possui alcance de até 8 metros de altura, pesaria em torno de 28 kg, sendo facilmente transportável por operários, e estima-se um custo de 1300 euros o que é interessante aos produtores.

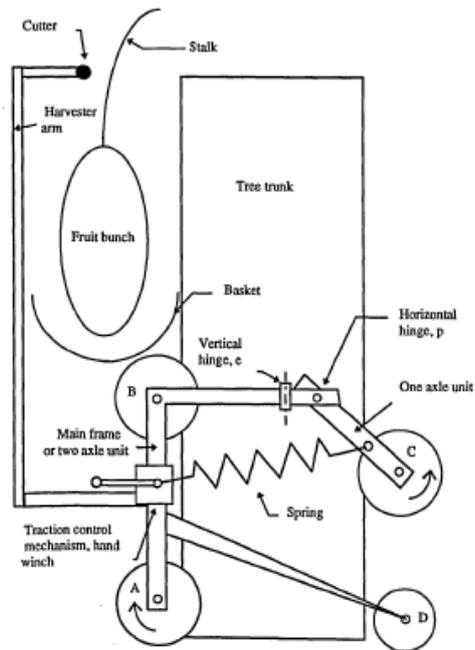
Figura 31 – Equipamento proposto por Nourani & Pegna (2014)



Fonte: NOURANI & PEGNA (2014)

Shamsi (1998) projeta, desenvolve e avalia um protótipo de um dispositivo de colheita para tâmaras. Um esboço ilustrativo do equipamento e uma fotografia do protótipo é apresentado na Figura 32 e Figura 33.

Figura 32 – Esboço do equipamento



Fonte: SHAMSI (1998)

Figura 33 – Protótipo do equipamento



Fonte: SHAMSI (1998)

O autor obtém dados das propriedades do material do tronco para efetuar o dimensionamento dos componentes para a subida. A máquina sobe pelo tronco através das rodas pneumáticas, e a colheita é realizada por um braço, que gira 180° em torno do tronco, com uma tesoura para corte na sua extremidade. Os testes mostram que a máquina desenvolvida apresenta resultados melhores que os atuais métodos utilizados em questões de eficiência, custo e segurança, permitindo assim uma colheita mais rápida, segura e economicamente viável.

2.3. Considerações finais

Nesta seção, foram apresentadas as tecnologias existentes para a colheita de coco e outros frutos de palmáceas. Observou-se que a forma de colheita adotada nos cultivos de coco não satisfaz os requisitos dos cocoicultores, pois o método atual não permite a colheita dos cocos acima de 8 m, quando o coqueiro atinge sua ótima produtividade. A literatura é escassa quando se trata de equipamentos para a colheita de coco exclusivamente, e o número de trabalhos encontrados foi maior quando se expandiu a busca para frutos de palmáceas em geral.

Observa-se que apesar dos esforços realizados, uma tecnologia que satisfaz os usuários e o mercado ainda é inexistente não só para o coco, mas para os frutos de palmáceas como um todo. Os equipamentos do tipo vara propiciam maior segurança uma vez que é manuseada do solo, porém requer habilidade incomum para utilizar os instrumentos, além de ser de difícil operação em cachos em alturas elevadas, se não inviável tecnicamente ou economicamente. As máquinas terrestres com sistemas telescópicos ou braços articulados contornam o problema da elevação, porém essas máquinas possuem grande porte, possuem baixa mobilidade e são pesadas, limitando os cultivos nas quais podem ser utilizados, além da questão adicional do elevado custo, que deve ser analisado. A utilização da estrutura do tronco para a sustentação do equipamento diminuiu significativamente as dimensões do equipamento e aparentam ser uma solução promissora, porém, esta teoria só é validada por Shamsi (1998) em seu trabalho. Este tipo de solução deve enfrentar dificuldades tecnológicas até sua aplicação nos cultivos, principalmente nas questões envolvendo a autonomia energética do equipamento.

Cabe ressaltar que, com exceção dos trabalhos de Al-Suhaibani (1992), Fadel (2005) e Shamsi (1998), todas as tecnologias encontradas tratavam-se de conceitos, sem uma prova de

que o equipamento foi testado com protótipos. A maioria dos resultados estavam na forma de patentes, e em muitos deles sua aplicação, funcionabilidade e performance são questionáveis. Mesmo nos três trabalhos mencionados, as construções dos protótipos provam suas funcionalidades, porém não houve evidências de introdução dos equipamentos no mercado no momento da realização deste levantamento.

Portanto, a revisão bibliográfica confirma a inexistência de um equipamento satisfatório para o mercado, e leva a concluir que apesar dos esforços realizados para tornar a colheita de cocos e em palmáceas mais fácil, rápida e segura; ainda não há um sistema bem sucedido no mercado. Assim o tema é um desafio e uma oportunidade para a engenharia brasileira.

3. COCO E SUA COLHEITA SOB ÓTICA PARA ENGENHARIA

Este capítulo disponibilizará as informações técnicas referentes ao cultivo do coco e seu processo de colheita. As informações foram coletadas na literatura, obtidas através de visita nas áreas de cultivo e através de entrevistas com os especialistas e gestores dessas lavouras.

O capítulo está dividido em três partes. Na primeira parte são apresentados os dados físicos e fisiológicos relacionados ao coqueiro. Na segunda parte, os processos de colheita observados na visita no platô de Neópolis serão analisados sob a ótica da engenharia, aplicando-se o estudo de tempos e métodos em ambos processos. O capítulo se encerra com a terceira parte de considerações sobre o mesmo.

3.1. Dados Físicos e Fisiológicos relacionados a cultura do coqueiro

Nesta seção serão apresentadas as informações sobre os aspectos físicos e fisiológicos do coqueiro. As informações aqui registradas foram baseadas na literatura quando disponível, e nos valores aferidos durante a visita no cultivo de coco na cidade de Neópolis, em Sergipe.

3.1.1. Cultivo

Segundo Embrapa (2002), a disposição de cultivo de coqueiro anão mais comum é no formato de triângulos equiláteros de lado 7,5 m, o que resulta em ruas com aprox. 6,8 m de largura. Há também cultivos com disposição triangular com 8 m de lado. A primeira configuração resulta em uma densidade de 205 plantas/hectare e a segunda de 188 plantas por hectare. Para cada coqueiro, há geralmente 1 a 2 bicos de irrigação, e sua tubulação permanece no solo. Cabe observar que existe uma tendência de adensamento dos plantios, ou seja, diminuir a distância entre as plantas. Porém, isso afetaria diretamente no índice de radiação solar nas plantas, o que resultaria em cocos com dimensões menores. Ou seja, aumentaria o número de cocos produzidos por hectare, porém com quantidade de água menor. Um estudo mais detalhado é necessário para analisar qual forma é mais vantajosa para a cadeia de produção do coco. É interessante observar que os pesquisadores da Embrapa Tabuleiros Costeiros apresentaram dúvidas quando ao benefício financeiro em relação ao

adensamento, o que aparentemente denota uma certa falta de um conhecimento quantificado com bases acadêmicas sólidas.

3.1.2. Disposição dos cachos e folhas no coqueiro

As folhas e cachos ficam presos no estipe. Os especialistas relataram que uma estimativa razoável é que a cada uma volta no coqueiro em torno do estipe, nascem aproximadamente 5 folhas, conseqüentemente 5 cachos, o que resulta em uma distância angular de 72 graus entre eles. Os cachos, juntamente com as folhas, formam uma espiral que podem estar tanto no sentido horário como no sentido anti-horário, o que categoriza os coqueiros entre levógiros e dextrógiros, respectivamente. Quanto a altura entre os cachos, foi relatado que há variação acentuada com as condições ambientais. Por exemplo, quanto menor a temperatura, menor é o número de folhas que irão se formar, ou seja, maior a distância entre as folhas. Para o projeto, estimou-se a partir de imagens de que a altura entre os cachos é de 150 mm.

3.1.3. Estipe e raiz

O coqueiro é uma monocotiledônea, assim, na seção transversal do estipe encontram-se feixes de vasos libero-lenhosos, ou seja, toda área do tronco conduz tanto o floema como o xilema. A seção transversal tem formato circular e a medição preliminar apontou que o estipe possui em torno de 300 mm de diâmetro. Na superfície da estipe, é possível observar linhas circulares chamadas de cicatriz foliar, como é possível observar na Figura 34.

Figura 34 – Cicatriz foliar no estipe



Fonte: Kawahara, Y., Acervo pessoal

As raízes do coqueiro são superficiais, tendo maior densidade em uma profundidade de 40 cm. Horizontalmente, as raízes prolongam-se a até 2 m de raio e a profundidade máxima é em torno de 1,5 m.

3.1.4. Processo de formação dos cocos

Após o plantio da semente do coco, irrigação, realização de manejo e tratos culturais adequados, o coqueiro começa a produzir frutos comercializáveis a partir do terceiro ano após o plantio da semente (Embrapa, 2002).

O processo de formação de folhas e cocos inicia-se com o nascimento de uma folha, que ocorre a cada 20 a 30 dias. Ao mesmo tempo, logo acima da região de conexão entre a folha e a estipe, denominada axila foliar, forma-se a espata, que nesta fase ainda não está visível. Com o tempo, a espata cresce e torna-se visível como apresentada na Figura 35, até um ponto em que ela se abre, mostrando os ramos florais e as inflorescências, conforme apresentada na Figura 36. As inflorescências são polinizadas de forma natural (através dos ventos e insetos) e os frutos começam a se formar com a fecundação (Figura 37), até tornarem-se maduros. Normalmente, para cada ramo floral forma-se apenas um coco, uma vez que em casos a qual ocorre fecundação em mais de uma inflorescência, apenas um coco fica preso e o outro cai por motivos espaciais. A probabilidade de formação de frutos em uma espata é de quase 100% em condições normais. Os cachos não se formam em alguns casos quando o coqueiro sofre algum *stress* ou desnutrição.

Figura 35 – Folha, espata e axilas foliares no coqueiro



Fonte: Ferreira, J. M. S., Acervo pessoal

Figura 36 – Espata nova e espata aberta com seus ramos florais e inflorescências



Fonte: Ferreira, J. M. S., Acervo pessoal

Figura 37 – Fruto em formação após a polinização da inflorescência



Fonte: Inamasu, R., Acervo pessoal

3.1.5. Características do coco (fruto)

A partir da polinização, os cocos levam entre 6 a 7 meses para se tornarem maduros. Segundo Aragão (2002), a massa média do fruto em seu sexto e sétimo mês de crescimento é de 1358,92 g e 1558,97 g, respectivamente. A

Tabela 1 apresenta os valores de massa e composição dos frutos do coqueiro-anão.

Tabela 1 – Peso (g) e composição (%) média dos componentes dos frutos de coqueiro-anão em diferentes idades

Mês	Peso do fruto (g)	Composição do fruto (%)			
		Casca + Fibra	Coque	Albúmen Sólido	Albúmen Líquido
6	1358,92	61,43	8,72	5,77	24,07
7	1558,97	64,30	7,52	9,12	19,04
12	770,34	44,16	12,83	27,85	15,15

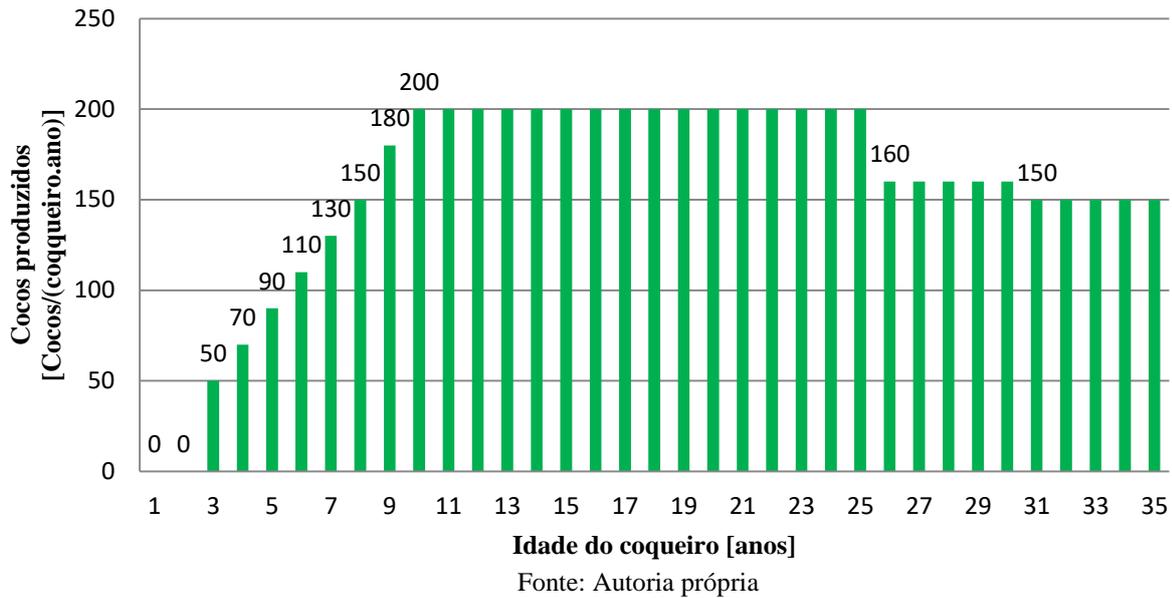
Fonte: Aragão, 2002, p.20

Na medição preliminar de alguns frutos durante a entrevista realizada com os pesquisadores da Embrapa Tabuleiros costeiros, foi observado que os cocos têm formato aproximadamente esférico com diâmetro de 250 mm, com massa de aproximadamente 1,5 kg em seu 7º mês de maturação, o que está de acordo com os dados encontrados por Aragão (2002). Os pesquisadores relataram também que os cocos estão ideais para colheita depois de 6 a 7 meses após o surgimento das inflorescências, porém as condições ambientais podem aumentar este período para 8 meses. Acredita-se que em culturas na região sudeste, onde a temperatura e a insolação são menores que na região nordeste, os cocos precisam de um tempo maior para atingir o ponto de maturação. A identificação dos cachos com os cocos maduros é realizada por reconhecimento visual, avaliando-se o tamanho, cor e posição do coco. É possível também verificar a maturidade do coco através do som gerado nos frutos com a batida do facão para o corte do cacho.

Aragão (2002, p.20) afirma que “um fruto com 6 e 7 meses contém cerca de 300 a 600 mL de água, de acordo com a cultivar do coqueiro”. Na medição preliminar foi possível observar que um coco possui de 300 a 400 mL de água e alguns casos ótimos possuem 400 mL a 500 mL. O sabor da água de coco é salobra e pouco doce nos primeiros 3 a 4 meses, e seu nível de glicose chega ao máximo juntamente com o volume de água no período de 6 a 7 meses, sendo esta a época ideal para a colheita do coco. Dependendo da demanda do coco, estes são colhidos com 5 meses de idade, porém com teor de glicose menor. Após o período de máxima concentração de glicose, o volume de água de coco diminui devido à evaporação e absorção do líquido pelo albúmen sólido, até se tornar o coco seco, estado atingido após 12 meses da formação do fruto. A vida útil do coco após a colheita é de aproximadamente 5 dias.

A partir dos dados fornecidos pelos pesquisadores da Embrapa Tabuleiros costeiros, foi possível esboçar o gráfico da Figura 38, que apresenta uma estimativa da produção média anual de frutos de um coqueiro em função de sua idade.

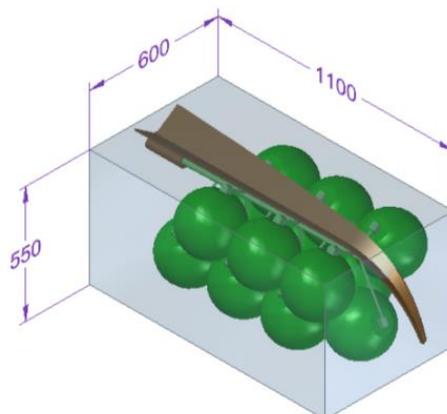
Figura 38 - Gráfico de produção anual de cocos em função da idade do coqueiro



Pode-se observar que o coqueiro inicia a produção de frutos a partir do terceiro ano, e a cada ano esta quantidade aumenta, até que no décimo ano atinge o seu máximo de 200 frutos anuais. Essa produtividade se mantém até o 25º ano, quando a produção sofre uma queda para 160 frutos por ano, e no 30º ano diminui para 150 frutos ano. A vida útil do coqueiro é estimada em torno de 35 anos.

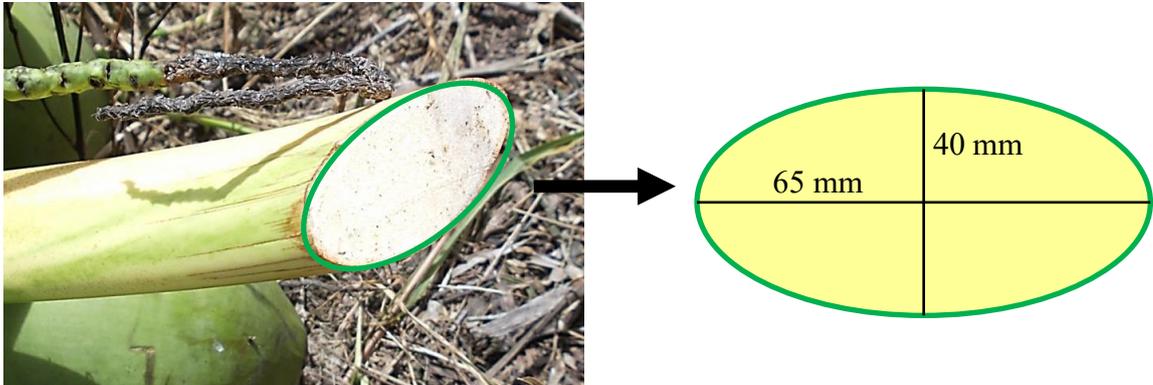
Os pesquisadores relataram também que um cacho possui em torno de 10 a 15 cocos. Assim, considerando-se que cada coco possui 1,5 kg, pode-se estimar que cada cacho possui uma massa de aproximadamente 22,5 kg. Para o projeto, será considerado que cada cacho possui 30 kg. Na medição preliminar, constatou-se que o envelope de um cacho possui as dimensões de 1100 mm x 550 mm x 600 mm, como mostra a Figura 39. Também foi possível aferir que a seção transversal do pedúnculo possui um formato elíptico de 65 mm de largura e 40 mm de altura, como apresentado esquematicamente na Figura 40.

Figura 39 – Modelo 3D do cacho de coco com seu envelope



Fonte: Autoria própria

Figura 40 – Dimensões da seção transversal do Pedúnculo



Fonte: Aatoria própria

3.1.6. Altura do coco e cachos

A partir das observações realizadas na visita no cultivo de coco, e dos relatos dos pesquisadores, uma estimativa razoável para a altura dos coqueiros é que o coqueiro cresce 1 metro por ano, até aproximadamente o ano 15 e que os cachos estão localizados aproximadamente a 2 metros abaixo do ponto mais alto do coqueiro. Matematicamente, obtém-se as equações 1 e 2.

$$h = n_a, \quad n_a \leq 15 \quad (1)$$

$$h_{cacho} = h - 2 \quad (2)$$

Onde:

- h : altura do coqueiro [m]
- n_a : número de anos do coqueiro [anos]
- h_{cacho} : altura do cacho [m]

Assim, pode-se considerar que no décimo o coqueiro possui 10 metros e que os cachos estão localizados a aproximadamente 8 metros de altura.

3.1.7. Síntese dos dados físicos

A Tabela 2 mostra de forma resumida os dados obtidos e discutidos anteriormente.

Tabela 2 – Resumo dos dados físicos e fisiológicos relacionados ao coco.

Cultivo	
Disposição dos coqueiros	Triângulo equilátero com 7,5 m de lado
Largura das ruas	Aprox. 6,8m
Número de plantas por hectare	205 plantas
Observação	1 a 2 bicos de irrigação para cada coqueiro
Estipe e Raiz	
Diâmetro da estipe(tronco) do coqueiro	300 mm
Profundidade máx. da Raiz	1,5 m
Distribuição da raiz	2m de raio
Folhas e Cachos	
Distância angular entre folhas/cachos	Aprox. 72 ° (5 folhas/cachos por volta) *direção dextrógira ou levógira
Altura entre as folhas/cachos	Aprox. 150 mm
Frequência de formação de folha/cacho	1 folhas(cachos) para cada 20 a 30 dias
Tempo de maturação ideal para a colheita do cacho	7 meses
Massa do coco	1,5 kg (no sétimo mês de maturação)
Quantidade de água de coco em um coco	300 a 400 mL
Quantidade de cocos em um cacho	10 a 15 cocos
Massa de projeto do cacho	30 kg
Dimensões do envelope do cacho (Comprimento x Largura x Altura)	1100 mm x 550 mm x 600 mm (Figura 39)
Seção transversal do pedúnculo	Elipse com 65mm de largura e 40mm de altura (Figura 40)
Altura do pé de coqueiro [m]	$h = n_a, (n_a \leq 15)$
Altura da localização do fruto [m]	$h_{cacho} = h - 2$
Produtividade	
Produtividade do coqueiro	Figura 38

Fonte: Autoria Própria

3.2. Processo de colheita

O processo de colheita foi descrito de uma forma geral no capítulo 2. Nesta seção, os processos de colheita observados durante a visita no platô de Neópolis (Colheita com varas e trator com plataforma em U) serão analisados de uma forma mais detalhada com o foco na operação e no tempo de processo, baseando-se nos conceitos dos “Estudos de tempos e métodos” da engenharia de produção.

3.2.1. Estudos de tempos e métodos

O estudo de tempos e métodos tem como finalidades: estabelecer padrões de produção, fornecer dados para a determinação de custos, estimar o custo de um produto novo e fornecer dados para balanceamento das linhas de produção e entender a dinâmica do processo como um todo (MARTINS & LAUGENI, 1998). Para este trabalho, serão utilizados os conceitos desta teoria para se determinar, de uma forma preliminar, o tempo necessário para o processo de colheita.

Segundo Peinado e Graeml (2007), o estudo de tempos consiste em 4 etapas:

1. Determinação do tempo cronometrado (TC) – A operação deve ser desmembrada em elementos menores que constituem o processo para possibilitar uma medição mais precisa do processo. Deve-se atentar para não dividir o processo em um número excessivo de elementos.
2. Determinação do número de ciclos a serem cronometrados – a partir de uma amostra inicial de cronometragens, deve-se analisar se o número de amostras é suficiente, e este deve ser determinado a partir da equação 3:

$$n = \left(\frac{z \cdot R}{E_r \cdot d_2 \cdot \bar{x}} \right)^2 \quad (3)$$

Onde:

- n: número de ciclos a serem cronometrados
- z: coeficiente de distribuição normal padronizada (Tabelado)
- R: amplitude da amostra
- d_2 : coeficiente em função do número de cronometragens da amostra (Tabelado)
- E_r : Erro máximo admitido (5% a 10%)
- \bar{x} : média da amostra

Martins (1998) afirma que, em geral, 5 observações preliminares são suficientes para obter os dados necessários para a determinação do número necessário de cronometragens.

3. Determinação do tempo normal (TN) – O Tempo normal é obtido por intermédio da equação 4, multiplicando-se o tempo cronometrado por um coeficiente v , que representa a velocidade do operador. O ritmo de trabalho do operador deve ser analisado pelo cronometrista e o tempo cronometrado deve ser corrigido em função da velocidade do operador.

$$TN = TC \cdot v \quad (4)$$

4. Determinação do tempo padrão (TP) – Por fim, o tempo padrão é obtido através da equação 5.

$$TP = TN \cdot FT \quad (5)$$

Onde FT é o valor de tolerância ao tempo normal que corrige o período no qual o operador não trabalha e também compensam as fadigas durante o trabalho, como por exemplo o uso de força e condições ambientais do trabalho. A Tabela 3 apresenta as tolerâncias de trabalho e seus respectivos FTs a serem considerados. Quando há mais de um fator de tolerância envolvido no processo, os fatores devem ser somados para se obter o FT do processo.

Tabela 3 - Fatores de Tolerância no trabalho (continua)

Descrição	%
A. Tolerâncias invariáveis	
1. Tolerâncias para necessidades pessoais	5
2. Tolerâncias básicas para fadiga	4
B. Tolerâncias variáveis	
1. Tolerância para ficar em pé	2
2. Tolerância quanto a postura	
a. Ligeiramente desajeitada	0
b. Desajeitada (recurvada)	2
c. Muito desajeitada (deitada, esticada)	7
3. Uso de força ou energia muscular (erguer, puxar ou levantar)	
Peso levantado em quilos:	
2,5	0
5,0	2
7,5	2
10,0	3

Tabela 3 - Fatores de Tolerância no trabalho (Conclusão)

Descrição	%
3. Uso de força ou energia muscular (erguer, puxar ou levantar)	
Peso levantado em quilos:	
12,5	4
15,0	5
17,5	7
20,0	9
22,5	11
25,0	13
27,5	17
30,0	22
4. Iluminação deficiente:	
a. Ligeiramente abaixo do recomendado	0
b. Be abaixo do recomendado	2
c. Muito inadequada	5
5. Condições atmosféricas (calor e umidade) - variáveis	0-10
6. Atenção cuidadosa	
a. Trabalho razoavelmente fino	0
b. Trabalho fino ou precisão	2
c. Trabalho fino ou de grande precisão	5
7. Nível de ruído	
a. Contínuo	0
b. Intermitente – Volume alto	2
c. Intermitente – volume muito alto	5
d. Timbre elevado – volume alto	5
8. Estresse mental	
a. Processo razoavelmente complexo	1
b. Processo complexo, atenção abrangente	4
c. Processo muito complexo	8
9. Monotonia	
a. Baixa	0
b. Média	1
c. Elevada	4
10. Grau de tédio	
a. Um tanto tedioso	0
b. Tedioso	2
c. Muito tedioso	5

Fonte: Niebel (1988, p.416)

Infelizmente, a realização de uma visita específica em um cultivo de coco para a execução do estudo não foi possível, e também não foi possível realizar uma gravação com várias amostras do processo de colheita. Assim, a análise do processo foi conduzida a partir de vídeos obtidos durante a primeira visita nos cultivos de cocos, na qual alguns detalhes do processo necessários para o estudo de tempos e métodos não foram capturados. Mesmo assim,

foi possível extrair resultados preliminares como o tempo padrão para a colheita e conclusões preliminares sobre o processo.

Por possuir apenas uma única amostra, a etapa 2 não será realizada, e por isso o tempo padrão calculado será categorizado como uma medição preliminar. Os vídeos foram analisados com auxílio do programa *Windows Movie Maker*. Nos vídeos estudados, na colheita com varas estavam sendo colhidos dois cachos por coqueiro, devido a alta demanda de coco na época da gravação, e na colheita com o trator com a plataforma estavam sendo colhidos três cachos por coqueiro.

3.2.2. Estudos de tempos e métodos: Colheita com trator com plataforma em U

Nesta seção, serão apresentados os resultados da análise de tempos e métodos para a colheita com a plataforma em U acoplada ao trator.

3.2.2.1. Etapa 1 – Determinação do Tempo cronometrado (TC)

O primeiro passo para se determinar o tempo cronometrado é a divisão da operação em elementos menores. A colheita é realizada por dois operários que ficam na plataforma em “U”, que está acoplada em um trator de pneus, conduzida por um terceiro operador. Analisando-se o vídeo, observa-se que o ciclo de operação se divide em 4 etapas: translação, elevação da plataforma, Corte e colheita e descida da plataforma. Terminando a descida da plataforma, o trator dirige-se ao coqueiro seguinte.

A Tabela 4 apresenta o início e fim da operação no vídeo analisado e a duração de cada etapa. O vídeo apresenta somente 1 ciclo completo de colheita, cujo início ocorre no instante $t = 46,3$ s e se encerra em $t = 102$ s, resultando em uma duração de 55,7 s. Porém, deve-se lembrar que foram colhidos 3 cachos durante a operação de corte e colheita, o que leva a uma duração média de 18,57 s por cacho. Este valor será considerado como o tempo cronometrado para o estudo de tempos e métodos.

3.2.2.2. Etapa 2 – Determinação do número de ciclos a serem cronometrados

Como se tem apenas uma única amostra, esta etapa não será realizada, e os resultados aqui obtidos serão considerados preliminares.

Tabela 4 – Instante de início e fim das etapas durante a colheita com a plataforma em U acoplada ao trator

Operação	Início	Fim	Duração
Elevação	0	8.5	8.5
Corte e Colheita	8.5	35.3	26.8
Descida	35.3	46.3	11
Translação	46.3	55	8.7
Elevação	55	70	15
Corte e Colheita	70	91	21
Descida	91	102	11
Translação	102	108	6
Elevação	108	111	3

Fonte: Autoria Própria

3.2.2.3. Etapa 3 – Obtenção do tempo normal

A partir do vídeo analisado, observa-se que o tratorista e os operadores realizam suas respectivas atividades de forma regular, considerando-se assim o coeficiente $v = 1,0$. Esta avaliação deve ser verificada no futuro com um maior número de amostras, comparando-se as velocidades entre elas. Logo,

$$TN = TC \cdot v = 18,6 \cdot 1,0 = 18,6 \text{ s}$$

3.2.2.4. Etapa 4 – Obtenção do tempo padrão

A obtenção do tempo padrão é realizada multiplicando-se o tempo normal pelo fator de tolerância FT. Na colheita com os tratores, o motorista do trator e os operadores na plataforma estão submetidos sobre diferentes condições de exigências laborais no decorrer do processo. Os fatores foram calculados separadamente para cada tipo de operador, realizando o somatório dos fatores de tolerâncias considerados relevantes da Tabela 3. As tabelas seguintes apresentam as tolerâncias consideradas juntamente com a respectiva contribuição percentual.

Para o operador na plataforma, Tabela 5, as tolerâncias invariáveis de necessidades pessoais e tolerâncias básicas para a fadiga foram consideradas, uma vez que o operador precisa ter seu tempo de intervalo e tempo para suas necessidades pessoais. Como a operação é realizada em pé, e o operador precisa realizar força para colher o cacho de 30 kg, as respectivas tolerâncias foram consideradas. A tolerância de condições atmosféricas varia de 0 a 10, e foi considerado um fator de 9%, uma vez que nos cultivos de Sergipe as temperaturas são altas e a umidade também é consideravelmente alta. Considerou-se também a fadiga

correspondente ao estresse mental em seu nível mínimo. O valor total dos FTs para o operador na plataforma foi de 43%.

As tolerâncias invariáveis para o tratorista são as mesmas do operador da plataforma e o mesmo ocorre com a tolerância referente as condições atmosféricas. O tratorista não fica em pé e também não precisa realizar força para manusear os cachos, porém, precisa de atenção cuidadosa para o trabalho fino de posicionar o trator e consequentemente a plataforma de forma correta, sem danificar o coqueiro. O tratorista também está sujeito a um nível de ruído intermitente com alto volume proveniente do próprio trator e sistema de elevação. Devido à necessidade de precisão e atenção no posicionamento e na segurança dos operadores da plataforma, foi considerado que o processo é complexo, adotando-se o fator de 4%. Por fim, foi levado em consideração que a monotonia do processo é média, resultando em um FT total de 30% para o tratorista.

Tabela 5 – Fator de tolerância do operador da plataforma em U

Cálculo do FT – Operador na plataforma	
Descrição	%
A. Tolerâncias invariáveis	
- Tolerâncias para necessidades pessoais	5
- Tolerâncias básicas para fadiga	4
B. Tolerâncias variáveis	
- Tolerância para ficar em pé	2
- Uso de força ou energia muscular: 30 kg	22
- Condições atmosféricas (calor e umidade) - variáveis	9
- Estresse mental - Processo razoavelmente complexo	1
TOTAL:	43

Fonte: Autoria Própria

Tabela 6 - Fator de tolerância do tratorista

Cálculo do FT - Tratorista	
Descrição	%
A. Tolerâncias invariáveis	
- Tolerâncias para necessidades pessoais	5
- Tolerâncias básicas para fadiga	4
B. Tolerâncias variáveis	
- Condições atmosféricas (calor e umidade) - variáveis	9
- Atenção cuidadosa: trabalho fino ou precisão	2
- Nível de Ruído Intermitente – volume muito alto	5
- Estresse mental - Processo complexo, atenção abrangente	4
- Monotonia: Média	1
TOTAL:	30

Fonte: Autoria Própria

Para simplificar o cálculo do tempo padrão, será considerado o FT de maior valor para o processo, para obter o maior tempo padrão. Este tempo será utilizado posteriormente para o cálculo dos custos do processo, sendo que quanto maior o FT, maior será o tempo e, conseqüentemente, maior será o custo da colheita, representando o pior cenário. Assim, será adotado o fator de 43% e logo $FT = 1,43$. Portanto, calculando-se o tempo padrão TP através da equação 5 temos:

$$TP = TN \cdot FT = 18,6 \cdot 1,43 = 26,5 \text{ s}$$

3.2.3. Estudo de tempos e métodos: Colheita com varas

Nesta seção, serão apresentados os resultados da análise de tempos e métodos para a colheita com com varas.

3.2.3.1. Etapa 1 – Determinação do Tempo cronometrado (TC)

Analisando-se o vídeo, observa-se que a colheita é realizada por um trabalho paralelo de duas equipes: uma equipe com um único integrante cuja função é cortar o cacho, e uma segunda equipe com dois integrantes com o objetivo de controlar a queda do cacho, para não danificar os frutos. Assim, a divisão da operação em elementos foi realizada separadamente para cada equipe.

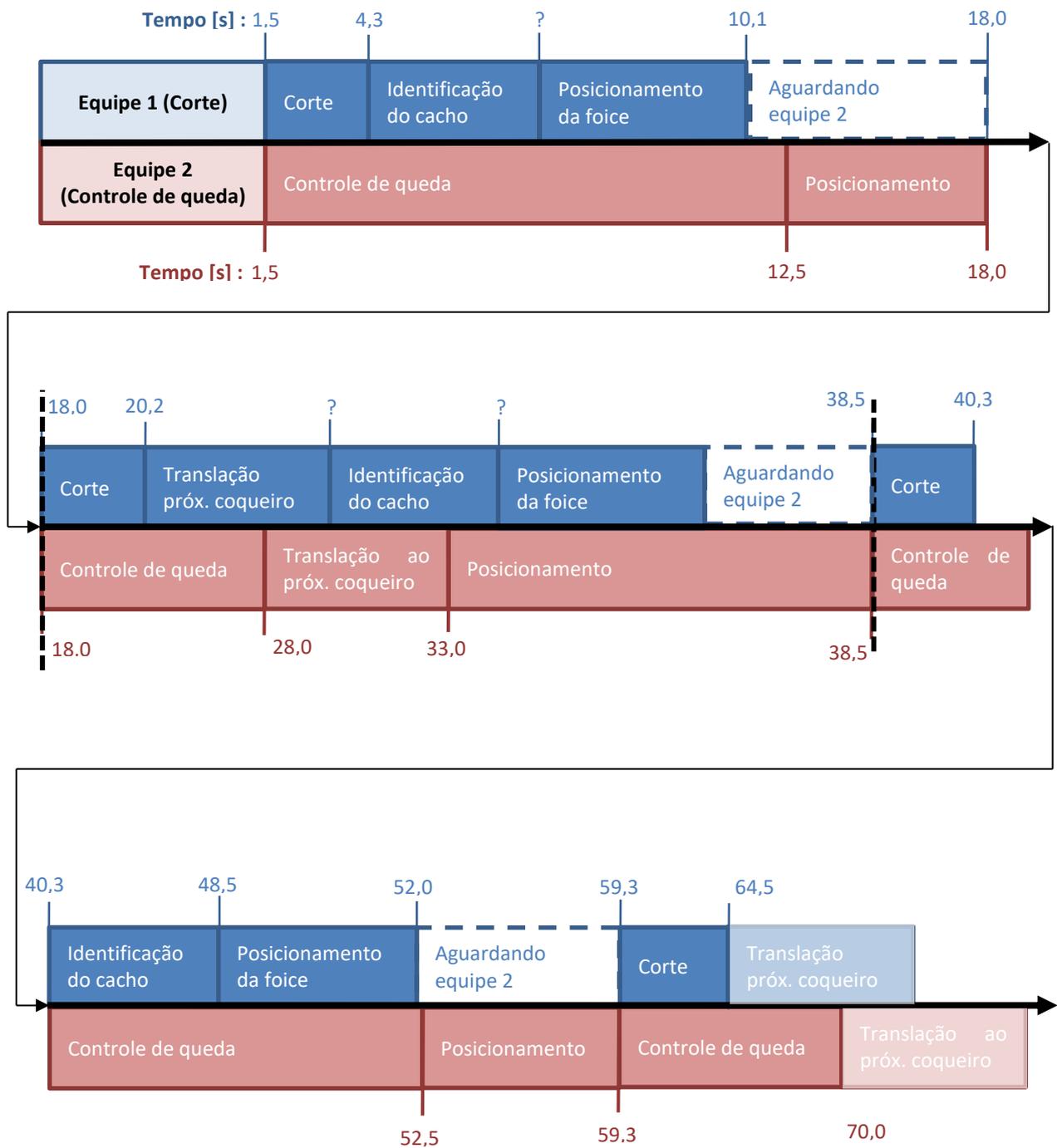
O ciclo do operário responsável pelo corte foi dividido nas seguintes operações: translação até o coqueiro, identificação do cacho a ser cortado, posicionamento da foice, aguardar a equipe 2, corte, identificação do segundo cacho, posicionamento, aguardo da equipe 2 e corte.

O procedimento da segunda equipe, responsável pelo controle de queda, foi dividido nos seguintes elementos: translação, posicionamento da vara, controle da queda, posicionamento e controle de queda.

Esboçando-se o fluxograma das operações das duas equipes observadas no vídeo em questão, obteve-se a Figura 41. Nesta, os números representam o instante de tempo em segundos do vídeo na qual o início e fim das ações ocorreram. O ponto de interrogação (“?”) indica os instantes no qual não foi possível determinar o início/fim daquela ação através do vídeo. Do fluxograma, observa-se que:

- a) No instante $t = 1,5$ s; a equipe 1 inicia o corte e a equipe 2 inicia o controle de queda;
- b) No instante $t = 4,3$ s; a equipe 1 encerra a operação de corte e inicia a ação de identificação do cacho. A equipe 2 continua realizando a operação de controle de queda;
- c) Em um instante que não foi possível determinar no vídeo, a equipe 1 encerra a ação de identificação do cacho e inicia a etapa de posicionamento do instrumento de corte;
- d) Em $t = 10,1$ s; a equipe 1 encerra o posicionamento e fica no aguardo da equipe 2;
- e) Em $t = 12,5$ s; a equipe 2 encerra o controle de queda e inicia o posicionamento do garfo;
- f) Em $t = 18,0$ s a equipe 2 conclui o posicionamento e permite a equipe 1 realizar o corte. Juntamente com o corte inicia-se o processo de controle de queda;
- g) Em $t = 20,2$ s; a equipe 1 termina o corte e movimenta-se para o próximo coqueiro;
- h) Não foi possível observar no vídeo os instantes nas quais a equipe 1 inicia as ações de identificação, posicionamento e aguardo da equipe 2;
- i) Em $t = 28,0$ s a equipe 2 termina o processo de controle de queda e movimenta-se para o próximo coqueiro;
- j) A equipe 2 chega no próximo coqueiro em $t = 33,0$ s e inicia o posicionamento da vara;
- k) Em $t = 38,5$ s o posicionamento é concluído e conseqüentemente a equipe 1 inicia o corte;
- l) Em $t = 40,3$ s a equipe 1 conclui o corte e inicia a identificação do próximo cacho a ser colhido;
- m) Em $t = 48,5$ s a identificação é concluída e inicia-se o posicionamento;
- n) Em $t = 52,0$ s o posicionamento é concluído e fica no aguardo da equipe 2 ficar pronta;
- o) Em $t = 52,5$ s a equipe 2 conclui o controle de queda e inicia o posicionamento do instrumento para controle de queda;
- p) Em $t = 59,3$ s o posicionamento é concluído e a equipe 1 inicia o corte;
- q) Em $t = 64,5$ s o corte é concluído e o operador repete o ciclo prosseguindo para o próximo coqueiro;
- r) Em $t = 70,0$ s o cacho é colocado ao solo e a colheita é concluída e prossegue para o coqueiro seguinte, repetindo o ciclo.

Figura 41 – Fluxograma das operações de colheita das respectivas equipes em função do tempo



Fonte: Autoria Própria

As tabelas a seguir apresentam os instantes de início e fim e a duração de cada operação para a respectiva equipe.

Tabela 7 – Duração das operações da equipe 1

Operação	Início	Fim	Duração
Corte	1.5	4.3	2.8
Identificação do Cacho	4.3	10.1	5.8
Posicionamento			
Aguardando equipe 2	10.1	18	7.9
Corte	18	20.2	2.2
Translação ao próx. coqueiro	20.2	38.5	18.3
Identificação do Cacho			
Posicionamento			
Aguardando equipe 2			
Corte	38.5	40.3	1.8
Identificação próx. Cacho	40.3	48.5	8.2
Posicionamento	48.5	52	3.5
Aguardando equipe 2	52	59.3	7.3
Corte	59.3	64.5	5.2

Fonte: Autoria Própria

Tabela 8 - Duração das operações da equipe 2

Operação	Início	Fim	Duração
Controle da queda	1.5	12.5	11
Posicionamento	12.5	18	5.5
Controle da queda	18	28	10
Translação	28	33	5
Posicionamento	33	38.5	5.5
Controle de queda	38.5	52.5	14
Posicionamento	52.5	59.3	6.8
Controle da queda	59.3	70	10.7

Fonte: Autoria Própria

É importante observar que na operação de corte com a foice, a quantidade de impactos necessários para se cortar o pedúnculo foram diferentes, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 – Duração, número de impacto necessários e o tempo médio dos impactos durante a operação de corte

Ação	Duração [s]	Número de impacto	Tempo por impacto [s]
Corte (t=1,5s)	2,8	3	0,93
Corte (t=18,0s)	2,2	2	1,10
Corte (t=38,5s)	1,8	2	0,90
Corte (t=59,3s)	5,2	5	1,04

Fonte: Autoria Própria

Assim, observa-se que o tempo de duração desta ação está ligado diretamente ao número de impacto necessário.

Como no vídeo analisado foram colhidos dois cachos por coqueiro, é necessário extrair o tempo de colheita de um único cacho. Será considerado que a colheita de um cacho

inicia-se no instante 18,0 s e encerra-se no instante 38,5 s; pois são os instantes em que as equipes 1 e 2 iniciam e encerram a operação no mesmo instante e contemplam as operações necessárias para a colheita de um único cacho. Assim, o tempo cronometrado (TC) para a colheita de um único cacho será considerado como 20,5 s.

3.2.3.2. Etapa 2 – Determinação do número de ciclos a serem cronometrados

Esta etapa não será realizada uma vez que só se possui uma amostra. Assim, os tempos e cálculos obtidos aqui serão considerados como preliminares.

3.2.3.3. Etapa 3 – Obtenção do tempo normal

No vídeo, observa-se que tanto os operários da equipe 1 como da equipe 2 realizam suas operações com bastante calma. Assim, será considerado que a velocidade é normal, adotando se o coeficiente $v = 1,0$. Esta avaliação deve ser verificada no futuro com um maior número de amostras, comparando-se as velocidades entre elas.

3.2.3.4. Etapa 4 – Obtenção do tempo padrão

Para se obter o tempo padrão, é necessário obter o fator de tolerância FT. O coeficiente será obtido realizando um somatório dos fatores de tolerância relevantes de acordo com a Tabela 3. As tabelas seguintes apresentam as tolerâncias consideradas para os operadores da equipe 1 (corte) e equipe 2 (controle de queda) separadamente durante o processo de colheita e a respectiva porcentagem.

Tabela 10 - Fator de tolerância do operário da equipe 1 (Cortador)

Descrição	%
A. Tolerâncias invariáveis	
- Tolerâncias para necessidades pessoais	5
- Tolerâncias básicas para fadiga	4
B. Tolerâncias variáveis	
- Tolerância para ficar em pé	2
- Uso de força ou energia muscular: 12,5 kg	4
- Condições atmosféricas (calor e umidade) - variáveis	9
- Atenção cuidadosa: Trabalho fino ou precisão	2
- Estresse mental : Processo razoavelmente complexo	1
TOTAL:	27

Tabela 11 – Fator de tolerância do operário da equipe 2 (controle de queda)

Descrição	%
A. Tolerâncias invariáveis	
- Tolerâncias para necessidades pessoais	5
- Tolerâncias básicas para fadiga	4
B. Tolerâncias variáveis	
- Tolerância para ficar em pé	2
- Uso de força ou energia muscular: 30 kg	22
- Condições atmosféricas (calor e umidade) - variáveis	9
- Atenção cuidadosa: Trabalho fino ou precisão	2
- Estresse mental - Processo razoavelmente complexo	1
TOTAL:	45

Tanto para a equipe 1 como para a equipe 2, as tolerâncias invariáveis de necessidades pessoais e tolerâncias básicas para a fadiga foram consideradas, uma vez que o operador precisa ter seu tempo de intervalo e tempo para suas necessidades pessoais. O mesmo vale para a tolerância de ficar em pé e a tolerância de condições atmosféricas, considerando um fator de 9%. Considerou-se também que a operação de posicionamento, operação de corte e controle de queda dos cachos requerem uma certa atenção e destreza, além de provocar um estresse mental por ser um processo razoavelmente complexo. As tolerâncias das duas equipes diferem-se somente na tolerância quanto ao uso de força muscular: a equipe 1 carrega somente uma vara com massa de aproximadamente 12,5 kg; enquanto a equipe 2 tem que lidar com cachos com massa de 30 kg.

Novamente, para simplificar, será considerado o FT de maior valor para o processo, que é o FT da equipe 2 de 45. Obtém-se assim o coeficiente $FT = 1,45$. Portanto, como o TP é dado pela equação 5, temos que:

$$TP = TN \cdot FT = 20,5 \cdot 1,45 = 29,725 \text{ s}$$

3.3. Considerações

Neste capítulo foram apresentadas as informações técnicas referente aos elementos do cultivo do coco e do processo de colheita, de forma a formalizar os conhecimentos tácitos sob a ótica da engenharia. As informações sobre a arquitetura do coqueiro foram disponibilizadas, necessitando-se porém uma abordagem estatística para obter medidas com maior confiabilidade. Foi realizado também o estudo de tempos e métodos nos processos de colheita observados, e foram obtidos resultados preliminares, uma vez que o estudo foi realizado com

poucas amostras. A análise com um maior número de amostras é necessário para resultados mais seguros.

Ressalta-se que as informações apresentadas foram baseadas nos parâmetros obtidos na região do platô de Neópolis-SE. Como explicado neste capítulo, as condições climáticas como temperatura e insolação tem influência direta no tamanho dos elementos e na sua forma de crescimento, assim, é natural que os cocos produzidos em condições climáticas diferentes tenham variações nos parâmetros apresentados. Apesar das variações, o presente capítulo contribui de forma a fornecer uma noção dos tamanhos dos elementos do cultivo juntamente com sua forma de crescimento.

Quanto a análise do processo de colheita, apesar do caráter preliminar dos resultados, é possível tirar algumas conclusões.

Na colheita com a plataforma em “U” acoplada no trator, observa-se que o ruído é intermitente sendo um dos fatores de exigência laboral do tratorista. O uso de um protetor auricular resolveria o problema de ruído intermitente eliminando esta, porém, o operador não pode usá-lo pois precisa escutar o sinal sonoro proveniente dos operadores na plataforma para cessar a elevação da plataforma. Esta ação também é outro fator que causa fadiga no tratorista, que precisa de grande atenção e, conseqüentemente, estresse mental para o posicionamento da plataforma no coqueiro e sua elevação. A fadiga poderia ser amenizada por exemplo transferindo a função de elevação aos operadores na plataforma, colocando o controlador do sistema de elevação na própria plataforma. Isso permitiria também o uso dos protetores auriculares e amenizando a causa do elemento que potencializa o dano de audição do operador devido ao ruído.

Na colheita com varas, observa-se que a equipe 1 fica ociosa enquanto aguarda a equipe 2, e zerar esse intervalo resultaria em um melhor aproveitamento da mão de obra. Para isso, poderia-se trabalhar na diminuição da duração das atividades da equipe 2, principalmente na etapa de controle de queda que possui uma duração maior e aparenta possuir maior margem para a diminuição do intervalo de tempo. Outro ponto a se discutir é na operação de corte da equipe 1, que poderia ser mais rápido se os cachos fossem apanhados com apenas um único golpe. Isso pode ser viabilizado através da troca da ferramenta de corte por uma tesoura ou alguma outra ferramenta, porém, deve ser estudado se o tempo necessário para o posicionamento da ferramenta não irá aumentar. Pode ser introduzido também ferramentas energizadas como motosserras, porém, deve ser estudado se o ganho no tempo com o uso destes instrumentos compensa o investimento realizado com a compra destes equipamentos.

Em ambos os casos, observa-se que o principal fator que causa fadiga é o uso de força para a colheita dos cachos. Pensando-se somente em diminuir a fadiga dos operários, deve-se propor uma solução na qual estes precisem realizar pouco ou nenhum esforço físico durante a colheita.

Segundo o tempo cronometrado, a colheita mecanizada (18,6 s) é mais rápida que a manual (20,5 s). Porém, cabe lembrar que o tempo cronometrado é em ciclo de operação no qual são colhidos 3 cachos de uma vez, e se fossem colhidos menos cachos (ou seja, 1 ou 2 cachos por subida), o tempo cronometrado seria maior que o da colheita com varas. Além disso, apesar da colheita mecanizada ser mais rápida neste ciclo de colheita de 3 cachos de uma vez, esta possui um custo mais elevado, e levando em consideração que os fatores de tolerância para ambos os métodos são próximos, supõe-se que a colheita com varas seria a melhor opção para o processo de colheita. Esta hipótese será averiguada no próximo capítulo onde os custos do cultivo serão apresentados e calculados.

Por fim, nota-se que há vários elementos na região onde os cachos estão presos o que dificulta de certa forma o posicionamento dos instrumentos para a colheita, porém existe um certo padrão em sua disposição, o que deve ser considerado e, se possível, explorado no momento do desenvolvimento de um equipamento. Desta forma, o desafio não consiste simplesmente em atingir a altura em que os cachos se localizam, mas também de encontrar precisamente o local a ser cortado desviando de outros elementos como folhas e cachos mais jovens, além de prevenir danos nos frutos após o corte.

4. POTENCIALIDADE DE IMPACTO ECONÔMICO COM COLHEITA DE COCO MECANIZADA

Neste capítulo serão apresentados os aspectos financeiros envolvidos no processo de cultivo e produção do coco atual.

Inicialmente será apresentado a ferramenta e os cálculos utilizados para a estimativa de custos e rendas de um cultivo de cocos, juntamente com a forma de análise da rentabilidade do cultivo. Com base nestes cálculos, a segunda parte busca matematicamente analisar a viabilidade da introdução de um equipamento, obtendo-se uma faixa de preços do equipamento que garante a rentabilidade dos investidores. O capítulo se encerra com considerações sobre o capítulo.

4.1. Custo da produção de coco

Para o agricultor, é de essencial importância conhecer os custos de produção e a rentabilidade da cultura para decidir a implantação de uma determinada cultura (CUENCA, 2002). Dentro destas despesas, o custo do equipamento e da operação de colheita tem influência direta no preço final do produto agrícola e conseqüentemente na renda dos donos do cultivo.

Cuenca (2002) apresenta a Tabela 12 contendo os coeficientes técnicos e preços dos fatores de produção para analisar os custos e rentabilidade por hectare da cocoicultura irrigada. Ao entrar em contato com o Sr. Manuel Cuenca, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros e autor da tabela, este gentilmente forneceu uma versão mais recente da planilha, com coeficientes, operações e custos atualizados, como por exemplo a inserção dos impostos sobre a receita bruta nos custos. Os dados foram atualizados para o ano de 2016 e é apresentada na Tabela 13. Os coeficientes técnicos da colheita apresentados são referentes a colheita manual com varas. Esta tabela será a base para todas análises de custo deste trabalho.

É importante observar que o custo de produção não pode ser generalizado para todas as regiões, devido a variação de fatores como condições de solo, relevo, clima, níveis de manejo adotados e também os custos dos insumos na respectiva região (Cuenca, 2002). As tabelas apresentam os coeficientes técnicos e preços dos fatores de produção no Estado de Sergipe referente a um hectare do coqueiro anão irrigado no espaçamento 7,5m x 7,5 m em triângulo equilátero, com 205 plantas por hectare.

Tabela 12 - Coeficientes técnicos plantio e manutenção de um ha de coqueiro anão

DISCRIMINAÇÃO	Unid.	Preço	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OPERAÇÕES		Unít.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.
Gradagem Pesada	H/M-TP	22.00	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gradagem Niveladora	H/M-TP	22.00	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Desmatamento e enleiteamento*	H/M-TP	22.00	10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Destoca Mecânica	H/M-TP	22.00	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aplicação de Calcário	H/M-TP	22.00	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aração e Gradagem*	H/M-TP	22.00	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marcação e Piqueteamento e Abertura de Covas	H/D	8.00	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Enchimento de covas/adubação fundação	H/D	8.00	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plantio e replantio	H/D	8.00	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Roçagem das Entrelinhas	H/M-TP	22.00	4.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Coroamento	H/D	8.00	12.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Aplicação de Herbicida	H/D	8.00	0.0	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Aplicação de fertilizantes(manual)	H/D	8.00	3.0	1.5	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Combate a formiga	H/D	8.00	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pulverizações Mecânicas	H/M-TP	22.00	0.0	0.0	1.0	20.0	20.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
Manejo do Sistema (de irrigação)	H/D	8.00	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Colheita e limpeza da copa	H/D	8.00	0.0	-	-	2.0	2.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Transporte interno (frutos + insumos)	H/M-TP	22.00	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
INSUMOS												
Mudas (Plant/Replant)	un	2.50	215.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formicida (isca)	kg	3.50	2.0	1.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-
Inseticida (liq) dipterec	ml	0.02	43.0	43.0	43.0	284.0	284.0	284.0	284.0	710.0	710.0	710.0
Calcário dolomítico	t.	62.50	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Torta de mamona	kg	0.41	615.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uréia**	kg	0.45	287.0	287.0	328.0	451.0	451.0	451.0	451.0	451.0	451.0	451.0
Superfosfato simples**	kg	0.50	182.0	246.0	246.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0
Cloreto de potássio**	kg	0.55	164.0	164.0	205.0	287.0	328.0	328.0	328.0	328.0	328.0	328.0
Fungicidas: Benlate	kg	80.00	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Bendazol	lit.	60.00	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
CUSTOS FIXOS												
Administração (Gerencia Auxiliares)		RS/ha										
Irrigação (Manut.e Deprec. Equipamentos)		100.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SUBTOTAL (R\$)												
Subtotal Serviços (R\$)			978.00	212.00	246.00	716.00	724.00	806.00	822.00	822.00	822.00	822.00
Subtotal Insumos (R\$)			1,232.82	346.67	527.67	711.20	733.75	733.75	733.75	741.84	741.84	741.84
Subtotal Custos Fixos (R\$)			500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
Subtotal (Para cálculo dos juros) (R\$)			2,710.82	1,058.67	1,273.67	1,927.20	1,957.75	2,039.75	2,055.75	2,063.84	2,063.84	2,063.84
Juros sobre o cap. invest.	8.5%	0.085	230.42	89.99	108.26	163.81	166.41	173.38	174.74	175.43	175.43	175.43
SUBTOTAL ANUAL (R\$)												
			2,941.24	1,148.65	1,381.93	2,091.01	2,124.15	2,213.12	2,230.48	2,239.27	2,239.27	2,239.27
CUSTO TOTAL ACUMULADO (R\$)												
			2,941.24	4,089.89	5,471.82	7,562.83	9,686.98	11,900.11	14,130.59	16,369.86	18,609.12	20,848.39
* Atividades dispensáveis em certos tipos de solos e coberturas vegetais (Por exemplo nos solos de Tabuleiros Costeiros nordestinos)												
** Recomendação para cultivos em solos de baixa fertilidade(Tipo Tabuleiros Costeiros) nos demais recomenda-se aplicação de acordo com a análise do solo.												
Abreviaturas utilizadas												
H/M-TE = Horas máquina - Trator Esteira						H/D = Homens Dia			ml = mililitro		lit= litro	
H/M-TP = Horas máquina - Trator de Pneu						kg = kilograma			gr = grama		m ³ = metros cúbicos	

Fonte: Adaptado de Embrapa, 2002

Tabela 13 - Coeficientes técnicos plantio e manutenção de um ha de coqueiro anão atualizados (Continua)

DISCRIMINAÇÃO			Ano									
	Unid.	Preço	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OPERAÇÕES		Unid.	Quant.									
Gradagem Pesada	H/M-TP	121.64	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gradagem Niveladora	H/M-TP	121.64	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Desmatamento e enleiteamento*	H/M-TE	251.58	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aplicação de Calcário	H/M-TP	121.64	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Auxílio Manual na Calagem	H/D	85.80	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aração e Gradagem*	H/M-TP	121.64	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marcação e Piqueteamento	H/D	85.80	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abertura de Covas (Com Broca tratorizada)	H/M-TP	121.64	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Enchimento de covas/adubação fundação	H/D	85.80	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transporte demudas (plantio e replantio)	H/M-TP	121.64	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plantio e replantio	H/D	85.80	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Adubação de Fundação	H/D	85.80	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Roçagem das Entrelinhas	H/M-TP	121.64	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Coroamento	H/D	85.80	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Aplicação de Herbicida (3)	H/D	85.80	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Aplicação de fertilizantes(manual)	H/D	85.80	2.5	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Combate a formiga	H/D	85.80	3.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Pulverização Manual	H/D	85.80	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Pulverizações Mecânicas	H/M-TP	121.64	3.0	3.0	4.0	6.0	6.0	7.0	7.0	8.0	8.0	8.0
Manejo do Sistema (de irrigação)	H/D	85.80	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Colheita e limpeza da copa	H/D	85.80	-	-	-	3.0	3.5	4.0	7.6	7.6	7.6	7.6
Transporte interno (frutos + insumos)	H/M-TP	121.64	-	0.5	0.5	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0
INSUMOS												
Mudas (Plant/Replant)	um	5.00	215.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formicida (isca)	kg	12.00	2.0	1.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-
Inseticida	lit.	0.21	1.5	2.5	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Calcário dolomítico	t.	35.00	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Torta de mamona	kg	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uréia**	kg	1.22	287.0	287.0	328.0	451.0	451.0	451.0	451.0	451.0	451.0	451.0
Superfosfato simples**	kg	0.90	182.0	246.0	246.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0
Cloreto de potássio**	kg	1.08	164.0	164.0	205.0	287.0	328.0	328.0	328.0	328.0	328.0	328.0
Sulfato de Zinco	kg	7.64	1.0	1.0	1.0	2.5	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Sulfato de Cobre	kg	16.00	0.5	0.5	1.0	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Sulfato de Manganês	kg	12.60	0.5	0.5	0.5	2.5	6.0	6.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Ácido Bórico	kg	14.00	1.0	1.0	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Acaricidas	lit.	110.00	-	-	-	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Fungicidas	lit.	85.16	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Herbicida	lit.	70.00	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Água (para irrigação)	m3	0.12	13284.0	13284.0	14760.0	14760.0	14760.0	14760.0	14760.0	14760.0	14760.0	14760.0
CUSTOS FIXOS												
		RS/ha										
Administração (Gerencia e Auxiliares)		160.00	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4
Visitas Técnicas e Consultoria (agronomo)		40.00	2.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Registros Contábeis e Auxiliares		1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Irrigação (Manut.e Deprec. Equipamentos)		6.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SUBTOTAL (R\$)												
Subtotal Serviços (RS)			5,362.04	1,450.56	1,658.00	2,237.42	2,366.12	2,530.66	2,961.18	3,082.82	3,082.82	3,082.82
Subtotal Insumos (RS)			3,490.39	2,391.20	2,832.89	3,415.17	3,559.57	3,614.78	3,639.98	3,639.98	3,639.98	3,639.98
Subtotal Custos Fixos (RS)			247.00	227.00	227.00	279.00	279.00	295.00	295.00	311.00	311.00	311.00
Subtotal (Para cálculo dos juros) (RS)			9,099.43	4,068.76	4,717.89	5,931.59	6,204.69	6,440.44	6,896.16	7,033.80	7,033.80	7,033.80

Tabela 13 - Coeficientes técnicos plantio e manutenção de um ha de coqueiro não atualizados (Conclusão)

DISCRIMINAÇÃO	Unid.	Preço	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Juros sobre o cap. invest. (R\$)		8.7465%	795.88	355.87	412.65	518.81	542.69	563.31	603.17	615.21	615.21	615.21
Impostos sobre Receita Bruta (R\$)		-	-	166.56	233.19	299.81	366.44	433.06	499.69	599.63	666.25	666.25
SUBTOTAL ANUAL (R\$)			9,895.32	4,424.64	5,297.10	6,683.58	7,047.19	7,370.19	7,932.39	8,148.69	8,248.63	8,315.26
CUSTO TOTAL ACUMULADO (R\$)			9,895.32	14,319.95	19,617.05	26,300.63	33,347.82	40,718.01	48,650.40	56,799.10	65,047.73	73,362.99
* Atividades dispensáveis em certos tipos de solos e coberturas vegetais (Por exemplo nos solos de Tabuleiros Costeiros nordestinos)												
** Recomendação para cultivos em solos de baixa fertilidade(Tipo Tabuleiros Costeiros) nos demais recomenda-se aplicação de acordo com a análise do solo.												
Abreviaturas utilizadas												
H/M-TE = Horas máquina - Trator Esteira					H/D = Homens Dia			ml = mililitro			lit= litro	
H/M-TP = Horas máquina - Trator de Pneu					kg = kilograma			gr = grama			m ³ = metros cúbicos	

Fonte: Autoria Própria

Os preços unitários de “Horas máquina – Trator Esteira” e “Horas máquina – Trator de Pneu” são tabelados, conforme Associação Brasileira de tecnologia para construção e mineração - Sobratema (2016). O preço de “Homens Dia” foi calculado a partir da metodologia apresentada em Pacheco (2000), e o cálculo é apresentado no apêndice A. O preço dos insumos foram atualizados de acordo com valores encontrados em lojas virtuais de insumos agrícolas.

As tabelas anteriores apresentam os coeficientes, que representam a quantidade da operação, insumo ou custo fixo necessários para o respectivo ano. Por exemplo, na Tabela 13, no primeiro ano de plantação, são necessárias 3 horas máquina de Trator de Pneu para se realizar a operação de gradagem pesada em 1 hectare de plantação. No quinto ano, são necessários 451 kg de Ureia. No décimo ano são necessários 9 dias de trabalho de um operário (homem) naquele ano para realizar a operação de colheita.

Somando-se para cada ano, o produto entre a o coeficiente técnico da operação, insumo ou custo fixo e o preço por unidade de tempo do respectivo item, obtém-se o respectivo subtotal de custo. O custo anual é dado pela seguinte expressão:

$$C_a = [C_{serv} + C_{ins} + C_f](1 + J_{cap}) + I_R \quad (6)$$

Onde:

- C_a : Subtotal de custo anual [R\$/ano.ha]
- C_{serv} : Subtotal dos custos de serviços [R\$/ano.ha]
- C_{ins} : Subtotal dos custos de insumos [R\$/ano.ha]
- C_f : Subtotal dos custos fixos [R\$/ano.ha]

- J_{cap} : Juros sobre o capital investido (8,7465%)
- I_R : Imposto sobre a receita bruta (2,5% sobre a receita bruta)

Os juros sob o capital investido são os encargos financeiros do programa “Créditos de Custeio” do FNE – Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste, que tem como objetivo “financiar o custeio das atividades agrícolas, pecuárias e de beneficiamento ou industrialização de produtos agropecuários” (BANCO DO NORDESTE DO BRASIL, 2016). São créditos de curto prazo (até dois anos), e por isso os juros são calculados sobre o custo anual da lavoura. O dono do cultivo recebe o financiamento e devolve o capital com os juros no ano seguinte, durante todo o ciclo de produção do coco. Considerou-se que os cultivos possuem médio porte, o que implica no valor de juros de 8,7465% ao ano.

Podemos observar da Tabela 12 que o custo total acumulado em 10 anos para 1 ha de plantação no ano de 2002 era de R\$ 20.848,39. Já em 2016 (Tabela 13) esse custo subiu para R\$ 73.362,99.

Destaca-se que, na primeira tabela (Tabela 12), o coeficiente para a operação de colheita adotado é de 6 dias a partir do sétimo ano, sendo que a colheita era realizada em duas pessoas (EMBRAPA, 2002), o que resulta em um tempo de colheita de 24,22 s por pé por mês-pessoa. (Considerando-se o FT e o número de pessoas envolvidas, são 70,24 s de trabalho necessários para a colheita). Na tabela atualizada, adotou-se o coeficiente de 7,6 dias, uma vez que o tempo de colheita cronometrado foi de 20,5s e utilizando-se os conceitos da técnica de tempos e métodos, o tempo padrão é de 29,72 s (Considerando os fatores de tolerância como fadiga da operação, uso de força, etc.), porém com uma equipe de 3 pessoas para a colheita, o que resulta em 89,16 s de trabalho necessários para a colheita. Os cálculos realizados estão apresentados no Apêndice B.

Na tabela fornecida pelo Sr. Cuenca, além dos custos, é realizado também uma estimativa da rentabilidade da plantação de coco e o cálculo do custo de produção de um fruto de coco. A Tabela 14 apresenta a projeção de rentabilidade utilizando os dados de produtividade da Figura 38.

Considerando que um hectare possui 205 pés de coco, multiplicando com a produção da planta por ano, é possível obter a produção de cocos por hectare. Somando-se as produções de cada ano, obtém-se a produção acumulada do hectare. Na tabela acima, observa-se que o hectare de cultivo produz no total 200.900 frutos de coco durante os dez anos.

Tabela 14 - Rentabilidade de um hectare de cultura do coqueiro

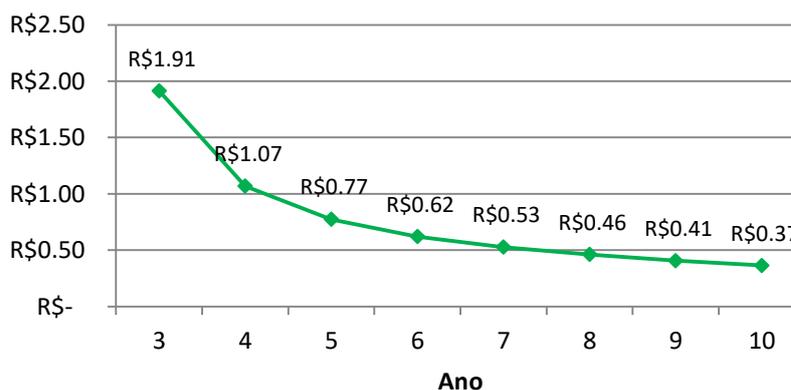
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Preço unitário do coco (R\$)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Produção planta ano	0	0	50	70	90	110	130	150	180	200
Produção por hectare ano	0	0	10250	14350	18450	22550	26650	30750	36900	41000
Produção acumulada	0	0	10250	24600	43050	65600	92250	123000	159900	200900
Receita Anual (R\$ por hectare)	0.00	0.00	6662.50	9327.50	11992.50	14657.50	17322.50	19987.50	23985.00	26650.00
Receita Acumulada (R\$)	0.00	0.00	6662.50	15990.00	27982.50	42640.00	59962.50	79950.00	103935.00	130585.00
Custo Anual (R\$)	9895.32	4424.64	5297.10	6683.58	7047.19	7370.19	7932.39	8148.69	8248.63	8315.26
Custo total acumulado (R\$)	9895.32	14319.95	19617.05	26300.63	33347.82	40718.01	48650.40	56799.10	65047.73	73362.99
Custo unitário do coco (R\$)	#DIV/0!	#DIV/0!	1.91	1.07	0.77	0.62	0.53	0.46	0.41	0.37
Fluxo de Caixa Anual	-9895.32	-4424.64	1365.40	2643.92	4945.31	7287.31	9390.11	11838.81	15736.37	18334.74
Fluxo de Caixa Acumulado	-9895.32	-14319.95	-12954.55	-10310.63	-5365.32	1921.99	11312.10	23150.90	38887.27	57222.01
TMA (Taxa Mínima de Atratividade)	8.7465%									
VPL (Valor Presente Líquido) (R\$)	-9099.43	-12840.94	-11779.21	-9888.67	-6636.92	-2230.60	2990.51	9043.72	16442.62	24369.86
TIR (Taxa Interna de Retorno)	#NUM!	#NUM!	#NUM!	-41.88%	-13.99%	3.37%	14.09%	21.18%	26.36%	29.82%

Fonte: Autoria Própria

Dividindo-se o custo total acumulado e a produção acumulada no respectivo ano, como apresentado na equação 7, é possível calcular o custo necessário para a produção de um fruto de coco. A Figura 42 esboça a variação do custo de produção da unidade do fruto do coco em função do ano.

$$C_{un} = \frac{\text{Custo total acumulado}}{\text{Produção Acumulada}} \quad (7)$$

Figura 42 – Variação do custo de produção unitária do coco em função do ano de produção

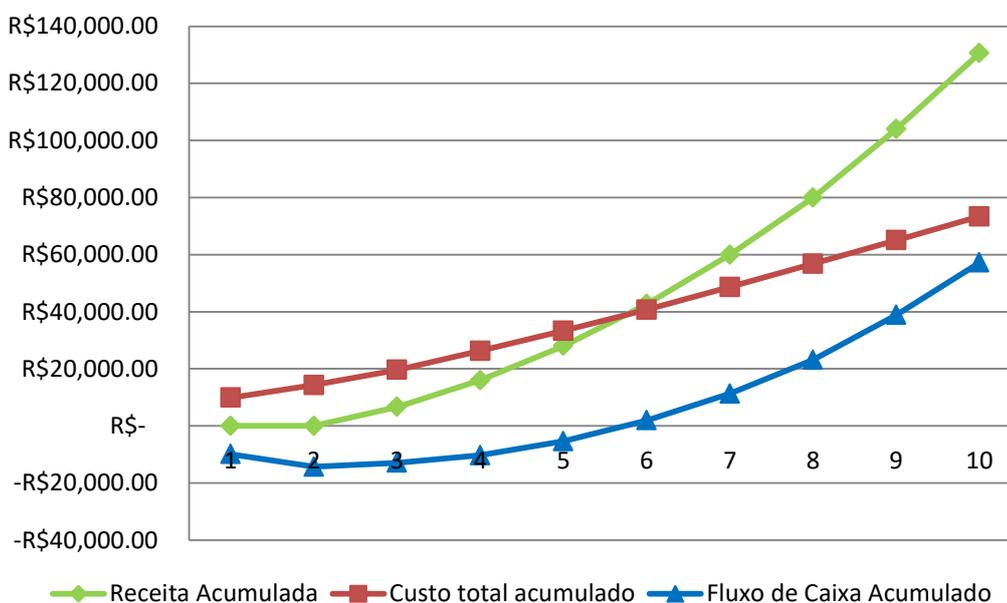


Fonte: Autoria Própria

Observa-se que no terceiro ano, o custo por coco é de R\$ 1,91. No décimo ano, este preço cai para R\$ 0,37/coco. Este valor está de acordo com os valores fornecidos pelos especialistas durante a entrevista, na qual foi relatado que o custo de produção de um fruto de coco é de aproximadamente R\$ 0,36. Esta queda no preço ao longo dos anos está associada ao fato da produção de frutos aumentar em uma taxa maior do que o aumento dos custos, o que resulta em menores preços unitários.

Introduzindo o preço unitário de mercado do coco, é possível calcular a receita anual e a receita acumulada. O preço do coco varia durante o ano, atingindo sua alta no preço no verão, devido a alta demanda do fruto. Foi considerado o preço de R\$ 0,65 por fruto, que é o preço médio anual fornecido pelos donos de cultivo durante a entrevista. Subtraindo o custo anual e custo acumulado, calculados na Tabela 13, obtém-se o fluxo de caixa anual e o fluxo de caixa acumulado. No gráfico da Figura 43 esboça-se a receita, custo total e o fluxo de caixa acumulados em um gráfico em função do ano de produção. Observa-se que o fluxo de caixa acumulado só se torna positivo entre o quinto e o sexto ano, e no décimo ano atinge o fluxo de caixa acumulado de R\$ 57222,01.

Figura 43 – Receita, Custo Total e fluxo de caixa acumulado em 10 anos de 1 hectare de plantio de cocos.



Fonte: Autoria Própria

Um fluxo de caixa positivo não significa necessariamente que o investimento está gerando um retorno. Esta análise deve ser realizada considerando-se o valor do dinheiro no

tempo, trazendo-se os valores no tempo presente. Este método é chamado de método do valor presente líquido (VPL) na análise de investimentos. Para aplicar o método do VPL, é necessário estipular uma taxa mínima de Atratividade (TMA) que é a taxa de juros mínima que o investidor espera de retorno em um investimento. A TMA é definida por cada investidor, que possui sua própria política para a fixação deste valor. Rebelatto (2004) afirma que há discussões e controvérsias com relação na determinação de um valor para a TMA. Há investidores que recorrem a rentabilidade de projetos similares, outras recorrem a estatística para a determinação de taxa e outras recorrem a valores empíricos. Neste caso, o TMA adotado foi de 8,7645% que é igual a taxa de juros cobrada pelo financiamento do FNE. Em outras palavras, o cultivo teve como meta obter um retorno financeiro igual ou superior ao retorno que o banco recebe. O VPL é dado segundo a equação 8.

$$VPL = FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TMA)^1} + \frac{FC_2}{(1+TMA)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TMA)^n} = \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1+TMA)^n} \quad (8)$$

O FC_n é o fluxo de caixa no período n , na análise da rentabilidade do coco, o período é dado em anos. O cálculo do VPL foi realizado através do programa EXCEL®, que já possui uma operação própria para o VPL. Assim, observa-se na Tabela 14 que no ano 6, apesar do fluxo de caixa estar positivo, o VPL é negativo, ou seja, o investimento não gerou rendimento até aquele ano. O investimento tem retorno somente a partir do ano 7, quando o VPL torna-se positivo.

Um outro método para se analisar a rentabilidade de um investimento é o método da taxa interna de Retorno (TIR). A taxa interna de retorno é o percentual de rentabilidade do projeto que está sendo analisado (PRATES, 2016). O TIR é calculado segundo a equação 9.

$$VPL = 0 = \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (9)$$

O TIR pode ser interpretado como a taxa de juros necessária para se zerar o VPL no determinado período do projeto. Se o TIR for maior que o TMA, o percentual de rentabilidade é maior que a taxa mínima de atratividade estipulada, logo, o investimento trará retornos. De forma resumida:

- a) Se $TIR > TMA$, o investimento deve ser realizado
- b) Se $TIR = TMA$, o investimento é indiferente
- c) Se $TIR < TMA$, o investimento não deve ser realizado

Quanto maior for o TIR em relação ao TMA, melhor é o investimento. A Tabela 14 apresenta os valores do TIR calculados através da função do programa EXCEL®. O TIR no ano 6 é de 3,37%; que é menor que o TMA estipulado, logo o investimento não trará retornos. Já no ano 7 a taxa é de 14,09%, sendo maior que o TMA estipulado, ou seja ela trará retornos. Porém, no ano 10, o TIR é de 29,82%, ou seja o investimento traz retornos maiores nos ciclos de 10 anos.

As tabelas utilizadas até agora consideram o uso da colheita manual, através de varas. De forma análoga, é possível obter os preços e rentabilidade do cultivo para o caso da colheita mecanizada com a plataforma em “U”. Deve-se lembrar que na seção anterior foi discutido que a colheita mecanizada era aparentemente mais rápida, porém, se fossem colhidos apenas 1 cacho por subida (diferentemente de 3 cachos como foi observado no vídeo) a colheita com varas era mais rápida. Assim, foram calculados os custos tanto para a colheita de 1 cacho por operação como 3 cachos por operação.

Considerou-se que colheita é realizada com dois operários e um tratorista, e o preço de venda do coco é de R\$ 0,65/unidade. Computando-se esses fatores e realizando-se os cálculos, obtém-se o fluxo de caixa acumulado, rentabilidade do cultivo e o preço unitário do coco. Esses dados são apresentados na Tabela 15, juntamente com os valores obtidos da colheita manual com varas, para comparação.

Tabela 15 – Comparação do fluxo de caixa acumulado, custo unitário e rentabilidade no ano 10 para diferentes formas de colheita

Forma de colheita	1 cacho/op	3 cachos/op	Manual com varas
Fluxo de Caixa acumulado no ano 10 (R\$)	10956.87	39146.53	57222.01
Custo unitário por coco no ano 10 (R\$)	0.60	0.46	0.37
Rentabilidade (TIR) no ano 10	11.26%	24.58%	29.82%

Fonte: Autoria Própria

Fica bastante claro que a colheita manual é a melhor opção do ponto de vista econômico. Observa-se que na colheita mecanizada de 1 único cacho por operação, ela gera um fluxo de caixa acumulado de R\$10.956,87 em 10 anos e ela apresenta um TIR de 11,26%, que ainda é maior que o TMA adotado de 8,7645%; ou seja o investimento trará retornos. Porém, realizando-se a colheita de 3 cachos por operação, o fluxo de caixa chega a R\$ 39.146.53, o que significa em um aumento de aproximadamente 257%, e a rentabilidade dobra. Mesmo colhendo 3 cachos de uma vez, seu fluxo de caixa não chega perto do fluxo gerado com a colheita manual com varas de R\$ 57.222,01, que possui uma rentabilidade ainda

maior, de 29,82%. Ou seja, confirma-se a hipótese de que melhor forma de colheita é a manual com varas.

4.2. Faixa de preços do equipamento

A Figura 38 mostrou que os cocos atingem sua máxima produtividade no décimo ano e a mantém até o seu 25º ano. Porém, o ciclo de cultivo do coco se encerra no décimo ano, sendo que um dos motivos é a altura de 10 metros atingida pelo coqueiro, dimensão da qual a tecnologia atual (Varas ou trator com plataforma em U) não consegue alcançar e, conseqüentemente, não colhe o fruto. Assim, os donos dos cultivos cortam os coqueiros no seu décimo ano e planejando esse corte, realizam o plantio paralelo de coqueiros novos entre os antigos, como apresentado na Figura 44, para que no ano da derrubada dos coqueiros antigos, os novos já estejam produzindo frutos. Porém, o plantio paralelo traz diversos problemas, como por exemplo o conflito pela água e nutrientes no solo, o que compromete o desenvolvimento do coqueiro novo. Além disso, o desenvolvimento dos coqueiros novos são afetados também devido à sombra projetada pelos antigos, que fazem os coqueiros crescerem tortos, e também inibe a fotossíntese, o que, conseqüentemente, compromete o crescimento do coqueiro e a produção de frutos. Os donos de cultivo relatam que são necessários mais de um ano e meio para tentar consertar estes problemas de crescimento e produtividade.

Figura 44 – Coqueiros novos plantados entre os coqueiros antigos



Fonte: Kawahara, Y. Acervo pessoal

Acredita-se que viabilizar a colheita a alturas acima de 10 metros, e conseqüentemente, após o décimo ano de plantio, pode trazer retornos econômicos maiores do que realizar o plantio paralelo. Para o projeto do equipamento, é interessante saber o quanto

ele pode custar, e para os donos do cultivo, ou seja, os clientes, é importante saber o quanto de retorno essa irá trazer. Utilizando-se os dados, tabelas, conceitos e cálculos anteriores, é possível calcular a faixa de preço do equipamento que trará retornos aos donos dos cultivos.

Para esta análise, será considerado que os coeficientes técnicos permanecerão os mesmos entre o ano 11 até o ano 25. Além disso, é necessário estabelecer uma meta financeira a ser atingida com a introdução do equipamento. Neste trabalho, serão analisados duas metas: estipulando uma meta de Fluxo de Caixa anual, e estipulando uma meta na variação de custo unitário.

4.2.1. Caso 1: Critério do Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa anual é obtido subtraindo-se o custo anual da receita anual. Tendo-se um fluxo de caixa a ser atingido, a subtração entre a receita e o custo deve ser maior ou igual a esta meta, conforme a equação 10:

$$R_a - C_a \geq FC \quad (10)$$

Como observado na Tabela 14, a receita anual R_a é obtida multiplicando-se a produção anual dos coqueiros, o número de pés em um hectare e o preço unitário estipulado. Já o custo anual é obtido conforme a equação 6. Nesta equação, pode-se substituir o custo de serviços (C_{serv}) pela seguinte expressão:

$$C_{serv} = C_{col} + C_o \quad (11)$$

Onde

- C_{col} : Custo anual de colheita [R\$/ano.ha]
- C_o : Custo de outros serviços[R\$/ano.ha]

O custo de colheita pode ser obtido pela equação 12, conforme desenvolvimento equacional apresentado no apêndice C.

$$C_{col} = \frac{41}{480} FT(N_{man}C_d + 8 N_{mec}CV).t_c + \frac{[0,615 FT.A.N_{mec}.t_c + 0,04475.VU]}{A.VU} P \quad (12)$$

Onde:

- C_{col} : Custo da operação de colheita no ano [R\$/(ano.ha)]
- FT : Fator de Tolerância
- N_{man} : Número de pessoas na parte manual [pessoas]
- C_d : Custo diário da parte manual da colheita [R\$/dia]
- N_{mec} : Número de pessoas na parte mecânica [pessoas]
- CV : Custo Variável da parte mecânica da colheita [R\$/h]
- t_c : Tempo de colheita [s/pé]
- A : Quantidade de hectares do cultivo a ser analisado [ha]
- VU : Vida Útil da parte mecânica [horas]
- P : Preço do equipamento [R\$]

Assim, introduzindo-se a equação 12 e 11 na 6, e substituindo-se na equação do fluxo de caixa, e isolando o termo do Preço (P), obtém-se a equação 13.

$$P \leq \frac{A.VU}{[0,615 A.FT.N_{mec}.t_c + 0,04475.VU]} \left\{ \frac{[R_a - I_r - FC]}{(1+J_{cap})} - [C_{ins} + C_F + C_o] - \frac{41}{480} \cdot FT(N_{man}C_d + 8N_{mec}CV).t_c \right\} \quad (13)$$

Na expressão acima, considerando-se que os coeficientes técnicos mantém-se constantes entre os anos 11 e 25, os elementos , R_a , I_r , J_{cap} , C_{ins} , C_F , C_o , C_d e CV permanecem constantes. Assim, adotando-se cenários e alterando os valores de FC, A, VU, FT e N_p é possível obter uma faixa de preços e tempo de colheita na qual o equipamento é economicamente viável.

Com o auxílio do programa EXCEL®, é possível esboçar a expressão acima. Os valores do cenário adotados são apresentados na Tabela 16. Alguns valores principais obtidos com a equação 13 são apresentados na Tabela 17 e o gráfico obtido é apresentado na Figura 45.

Na Tabela 16 as linhas com preenchimento cinza são os valores constantes, obtidos da Tabela 13. O cenário considerado foi de uma meta de Fluxo de Caixa (FC) de R\$ 9.500,00 por ano-hectare, o que equivale ao fluxo de caixa anual do sétimo ano de produção. Para a área de cultivo A, foi adotado um valor de 7,00 ha; por ser a área que um dos donos de cultivo entrevistados possui. A vida útil (VU) da máquina adotada foi de 10.000 horas, o FT adotado foi de 1,43 conforme o fator de tolerância calculado para a colheita com o trator (Tabela 5).

Foi considerado também que a colheita seria realizada com 1 pessoa na parte mecânica e 2 pessoas na parte manual.

Tabela 16 – Valores utilizados para simulação

Elemento	Valor	Unidade	Descrição
R_a	26650.00	R\$/ano.ha)	Receita Anual
I_r	666.25	R\$/ano.ha)	Imposto sobre a receita bruta
J_cap	8.7465%	-	Juros sobre o capital investido (FNE)
C_ins	3639.976	R\$/ano.ha)	Custo dos insumos
C_F	311	R\$/ano.ha)	Custos fixos
C_o	2383.52	R\$/ano.ha)	Custos de outras operações
C_d	85.80	R\$/dia	Custo diário da parte manual da nova solução
CV	94.41	R\$/h	Custo variável (Segundo SOBATEMA)
FC	9500	R\$/ano.ha)	Fluxo de Caixa anual almejado
A	7.00	ha	Número de hectares
VU	10000	horas	Vida útil em horas do equipamento
FT	1.43		Fator de tolerancia (tempos e métodos)
N_man	2	peçoas	Número de peçoas na parte manual
N_mec	1	peçoas	Número de peçoas na parte mecânica

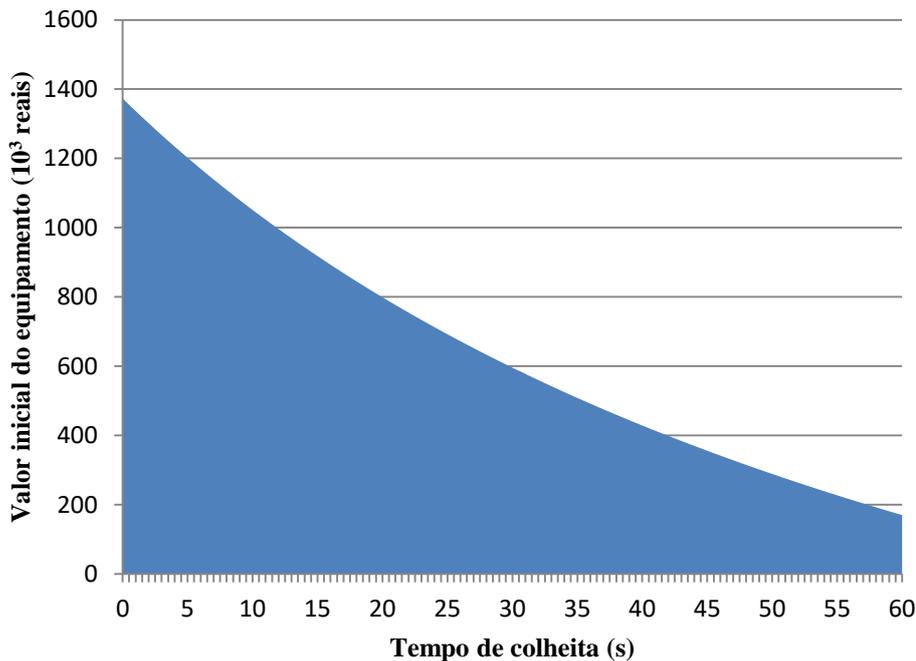
Fonte: Autoria Própria

Tabela 17 – Valores de P em função do t_c segunda o critério do fluxo de caixa

t_c [s/pé]	P	nd_man [dias/(ano.ha)]	nd_mec [h/(ano.ha)]	C_hmec [R\$/h]	u [h/ano]	Anos trabalhados considerando VU [anos]
0	R\$ 1,372,820.15	0.00	0.00	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!
5	R\$ 1,201,620.45	1.22	0.61	R\$ 12,780.62	34.2	292.4
10	R\$ 1,051,124.17	2.44	9.77	R\$ 876.68	547.2	18.3
15	R\$ 917,789.89	3.66	14.66	R\$ 577.30	820.8	12.2
20	R\$ 798,840.35	4.89	19.54	R\$ 427.62	1094.4	9.1
25	R\$ 692,066.84	6.11	24.43	R\$ 337.80	1368.0	7.3
30	R\$ 595,690.82	7.33	29.32	R\$ 277.93	1641.6	6.1
35	R\$ 508,264.07	8.55	34.20	R\$ 235.16	1915.2	5.2
40	R\$ 428,595.38	9.77	39.09	R\$ 203.08	2188.9	4.6
45	R\$ 355,695.97	10.99	43.97	R\$ 178.13	2462.5	4.1
50	R\$ 288,738.25	12.21	48.86	R\$ 158.18	2736.1	3.7
55	R\$ 227,024.23	13.44	53.74	R\$ 141.85	3009.7	3.3
60	R\$ 169,961.15	14.66	58.63	R\$ 128.24	3283.3	3.0
65	R\$ 117,042.33	15.88	63.52	R\$ 116.72	3556.9	2.8
70	R\$ 67,832.14	17.10	68.40	R\$ 106.85	3830.5	2.6

Fonte: Autoria Própria

Figura 45 – Faixa de Valores de P viáveis segundo o critério do fluxo de Caixa



Fonte: Autoria Própria

A Tabela 17 apresenta alguns valores do preço do equipamento calculados a partir da equação 13. A tabela apresenta também os números de dia de trabalho por ano-hectare das partes manuais e mecânicas da solução, juntamente com o custo horário da máquina, horas por ano trabalhadas e o número de anos trabalhados segundo o cenário. A leitura do valor de P pode ser feita da seguinte maneira: Para um tempo de colheita de 30 s/pé, o equipamento de colheita pode custar no máximo R\$ 595.690,82 para se obter um Fluxo de caixa anual de R\$ 9500,00/(ha.ano) em uma plantação de 7 ha, na qual se tem dois operadores na parte manual da colheita e um operador na parte mecânica.

Ainda na Tabela 17, as três colunas seguintes apresentam os coeficientes técnicos de colheita a serem inseridos na planilha, e o respectivo custo horário da parte mecânica. A coluna seguinte apresenta o número de horas que a máquina irá trabalhar no cenário adotado e a última coluna mostra a vida útil da máquina em anos no cenário simulado. Por exemplo, para o tempo de colheita de 30s, deve ser inserido o coeficiente de 7,33 dias na parte manual e 29,32 horas na parte mecânica, sendo que esta possui um custo horário de R\$ 277,93 por por ano-hectarehora. No cenário adotado, o equipamento será utilizado 205,2 horas/ano, e a máquina duraria 48,7 anos.

A Figura 45 mostra a faixa na qual o equipamento atende os critérios do fluxo de caixa. Se um equipamento estiver na parte azul do gráfico, ela irá atingir o fluxo de caixa almejado. Por exemplo, se um equipamento tem preço de R\$ 400.000,00 e realiza a colheita em 20 s/pé, o fluxo de caixa anual de R\$ 9.500,00 será atingido. Agora, um equipamento com R\$ 400.000,00 de preço e tempo de colheita de 45 s estará fora da faixa, ou seja, o equipamento não trará o retorno desejado.

A Tabela 18 e a Tabela 19 mostram a rentabilidade do cultivo entre os anos 11 e 25 com os coeficientes obtidos na simulação para um tempo de colheita de 30 s/pé citado anteriormente.

Tabela 18 – Rentabilidade do cultivo entre os anos 11 a 18 calculados a partir dos coef. obtidos

Ano	11	12	13	14	15	16	17	18
Preço unitário do coco (R\$)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Produção planta ano	200	200	200	200	200	200	200	200
Produção por hectare ano	41000	41000	41000	41000	41000	41000	41000	41000
Produção acumulada	241900	282900	323900	364900	405900	446900	487900	528900
Receita Anual (R\$ por hectare)	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00
Receita Acumulada (R\$)	157235.00	183885.00	210535.00	237185.00	263835.00	290485.00	317135.00	343785.00
Custo Anual (R\$)	17151.72	17151.72	17151.72	17151.72	17151.72	17151.72	17151.72	17151.72
Custo total acumulado (R\$)	90514.70	107666.42	124818.14	141969.85	159121.57	176273.28	193425.00	210576.72
Custo unitário do coco (R\$)	0.37	0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	0.40	0.40
Fluxo de Caixa Anual	9498.28	9498.28	9498.28	9498.28	9498.28	9498.28	9498.28	9498.28
Fluxo de Caixa Acumulado	66720.30	76218.58	85716.86	95215.15	104713.43	114211.72	123710.00	133208.28
TMA (Taxa Mínima de Atratividade)	8.7465%							
VPL (Valor Presente Líquido) (R\$)	28146.25	31618.90	34812.25	37748.76	40449.08	42932.22	45215.64	47315.40
TIR (Taxa Interna de Retorno)	30.97%	31.76%	32.32%	32.72%	33.01%	33.22%	33.37%	33.48%

Fonte: Autoria Própria

Tabela 19 – Rentabilidade do cultivo entre os anos 19 a 25 calculados a partir dos coef. Obtidos

Ano	19	20	21	22	23	24	25
Preço unitário do coco (R\$)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Produção planta ano	200	200	200	200	200	200	200
Produção por hectare ano	41000	41000	41000	41000	41000	41000	41000
Produção acumulada	569900	610900	651900	692900	733900	774900	815900
Receita Anual (R\$ por hectare)	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00
Receita Acumulada (R\$)	370435.00	397085.00	423735.00	450385.00	477035.00	503685.00	530335.00
Custo Anual (R\$)	17151.72	17151.72	17151.72	17151.72	17151.72	17151.72	17151.72
Custo total acumulado (R\$)	227728.43	244880.15	262031.87	279183.58	296335.30	313487.02	330638.73
Custo unitário do coco (R\$)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.41
Fluxo de Caixa Anual	9498.28	9498.28	9498.28	9498.28	9498.28	9498.28	9498.28
Fluxo de Caixa Acumulado	142706.57	152204.85	161703.13	171201.42	180699.70	190197.98	199696.27
TMA (Taxa Mínima de Atratividade)	8.7465%						
VPL (Valor Presente Líquido) (R\$)	49246.28	51021.85	52654.62	54156.06	55536.74	56806.38	57973.89
TIR (Taxa Interna de Retorno)	33.56%	33.62%	33.66%	33.70%	33.72%	33.74%	33.75%

Fonte: Autoria Própria

Observa-se que o fluxo de caixa anual é de R\$ 9498,28 anuais, o que é bastante próximo dos R\$ 9500,00 estipulado como meta. Esse desvio-se deve aos erros de aproximação realizados pelo programa durante os cálculos. Nota-se também que nas condições simuladas, o custo unitário do coco aumenta quando comparado aos R\$ 0,36/coco no décimo ano, chegando a R\$ 0,41/ coco no ano 25. Apesar disso, o TIR obtido é maior que no ano 10, ou seja, o cultivo traz retornos maiores, ou seja, o investimento de um novo equipamento compensa financeiramente. O cenário adota que o preço unitário de venda não varia ao longo dos anos, e o retorno seria maior caso considere os devidos reajustes no preço de venda.

4.2.2. Caso 2 Critério do Custo unitário

O segundo critério utilizado foi de estipular uma meta na variação no custo unitário ao longo dos anos. No cenário simulado anteriormente, apesar de se obter o fluxo de caixa almejado, o custo unitário do coco sofre um incremento ao longo dos anos. Neste critério,

estipula-se que a variação do custo unitário será, no máximo, constante, ou seja, o custo unitário permanecerá o mesmo do ano 10 (R\$ 0,36/coco) ou irá diminuir.

O custo unitário é dado pela equação 2, apresentado anteriormente. Considerando-se que os coeficientes técnicos permanecem os mesmos e que a produção anual se mantém, o custo unitário pode ser escrito em função do ano de cultivo através da seguinte expressão.

$$C_{un} = \frac{C_{AC10} + n_a C_a}{Prod_{AC10} + n_a Prod_a} \quad (14)$$

Onde

- C_{un} : Custo unitário do coco [R\$/coco]
- C_{AC10} : Custo acumulado até o ano 10 [R\$/ha]
- n_a : número de anos ($n_a > 10$)
- C_a : Custo anual [R\$/(ano.ha)]
- $Prod_{AC10}$: Produção de cocos acumulados até o ano 10 [cocos/ha]
- $Prod_a$: Produção anual de cocos [cocos/(ano.ha)]

Deseja-se que o custo unitário mantenha-se constante ou varie de forma decrescente ao longo dos anos. Matematicamente, a derivada do custo unitário em função dos anos deve ser menor ou igual a zero, como mostra a equação 15.

$$\frac{dC_{un}}{dn_a} \leq 0 \quad (15)$$

Considerando-se a hipótese de que os coeficientes técnicos permanecerão os mesmos entre o ano 11 até o ano 25, os termos C_{AC10} , C_a , $Prod_{AC10}$ e $Prod_a$ não variam em função de n_a , logo, podem ser consideradas como constantes na operação de derivada. Assim, derivando-se a expressão 14 em n_a , obtém-se a equação 16.

$$\frac{dC_{un}}{dn_a} = \frac{C_a Prod_{AC10} - C_{AC10} Prod_a}{[Prod_{AC10} + n_a Prod_a]^2} \quad (16)$$

Aplicando o critério e isolando-se o termo C_a , obtém-se a seguinte equação.

$$C_a \leq \frac{C_{AC10} Prod_a}{Prod_{AC10}} \quad (17)$$

Introduzindo-se as equações 6, 11 e 12 e na 17, e isolando o termo P, obtém-se a seguinte expressão:

$$P \leq \frac{A.VU}{[0,615 A.FT.N_{mec}.t_c + 0,04475.VU]} \left\{ \frac{1}{(1+J_{cap})} \left[\frac{C_{AC10} Prod_a}{Prod_{AC10}} - I_r \right] - [C_{ins} + C_F + C_o] - \frac{41}{480} \cdot FT(N_{man}C_d + 8N_{mec}CV).t_c \right\} \quad (18)$$

Analogamente ao critério anterior, considerando-se que os coeficientes técnicos mantêm-se constantes entre os anos 11 ao 25, alterando os valores de A , VU , FT e N_p é possível obter uma faixa de preços e tempo de colheita na qual o equipamento é economicamente viável. Os valores do cenário adotados são apresentados na Tabela 20. Alguns valores principais obtidos com a equação 18 são apresentados na Tabela 21 e o gráfico obtido é apresentado na Figura 46.

A Tabela 21 mostra alguns valores do preço inicial do equipamento calculados através da equação 18, juntamente com o número de dias de trabalho por ano-hectare resultante das partes manuais e mecânicas, além do custo horário do equipamento, horas por ano trabalhadas e vida útil em anos no regime de trabalho do cenário.

Tabela 20 – Valores utilizados para a simulação

Elemento	Valor	Unidade	Descrição
R_a	26650.00	R\$/(ano.ha)	Receita Anual
I_r	666.25	R\$/(ano.ha)	Imposto sobre a receita bruta
J_cap	8.7465%	-	Juros sobre o capital investido (FNE)
C_ins	3639.976	R\$/(ano.ha)	Custo dos insumos
C_F	311	R\$/(ano.ha)	Custos fixos
C_o	2430.74	R\$/(ano.ha)	Custos de outras operações
C_d	85.80	R\$/dia	Custo diario da parte manual da nova solução
CV	94.41	R\$/h	Custo variável (Segundo SOBRATEMA)
C_ac10	73362.99	R\$/ha	Custo acumulado até o ano 10
Prod_a	41000	cocos/(ano.ha)	Produção anual de cocos
Prod_ac10	200900	cocos/ha	Produção acumulada de cocos
A	7.00	ha	Número de hectares
VU	10000	horas	Vida útil em horas do equipamento
FT	1.43		Fator de tolerancia (tempos e métodos)
N_man	2	peessoas	Número de pessoas na parte manual
N_mec	1	peessoas	Número de pessoas na parte mecânica

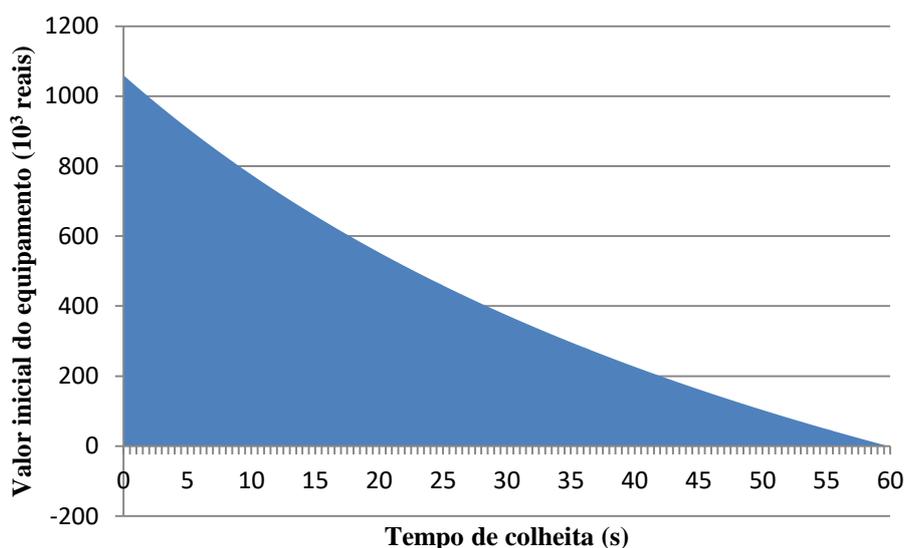
Fonte: Autoria Própria

Tabela 21 – Valores de P em função do t_c segundo o critério da variação do custo unitário

t_c [s/pé]	P	nd_man [dias/(ano.ha)]	nd_mec [h/(ano.ha)]	C_hmec [R\$/h]	u [h/ano]	Anos trabalhados considerando VU [anos]
0	R\$ 1,059,534.83	0.00	0.00	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!
5	R\$ 908,497.26	1.22	4.89	R\$ 1,364.90	34.2	292.4
10	R\$ 775,724.87	2.44	9.77	R\$ 671.72	68.4	146.2
15	R\$ 658,093.32	3.66	14.66	R\$ 440.67	102.6	97.5
20	R\$ 553,152.42	4.89	19.54	R\$ 325.14	136.8	73.1
25	R\$ 458,953.59	6.11	24.43	R\$ 255.82	171.0	58.5
30	R\$ 373,927.74	7.33	29.32	R\$ 209.61	205.2	48.7
35	R\$ 296,797.21	8.55	34.20	R\$ 176.60	239.4	41.8
40	R\$ 226,511.08	9.77	39.09	R\$ 151.84	273.6	36.5
45	R\$ 162,197.00	10.99	43.97	R\$ 132.59	307.8	32.5
50	R\$ 103,124.86	12.21	48.86	R\$ 117.18	342.0	29.2
55	R\$ 48,678.88	13.44	53.74	R\$ 104.58	376.2	26.6
60	-R\$ 1,663.90	14.66	58.63	R\$ 94.08	410.4	24.4
65	-R\$ 48,350.48	15.88	63.52	R\$ 85.19	444.6	22.5
70	-R\$ 91,765.21	17.10	68.40	R\$ 77.57	478.8	20.9

Fonte: Autoria Própria

Figura 46 – Faixa de valores de P viáveis segundo o critério do Custo unitário



Fonte: Autoria Própria

Observa-se que para um tempo de colheita de 30 s por pé, o preço inicial da máquina pode ser no máximo R\$ 373.927,74 em uma plantação de 7,00 ha, com um operador na parte mecânica e dois na manual, para que o preço unitário do coco mantenha-se igual ou torne-se

menor do que aquela atingida no seu décimo ano (No caso, o custo unitário deve-ser menor que R\$ 0,37). As três últimas colunas mostram os dados a serem inseridos na planilha. Para o tempo de colheita de 30 s, deve ser inserido o coeficiente de 7,33 na parte manual e 29,32 na parte mecânica. O custo horário do equipamento vai ser de R\$ 209,61/hora, e no cenário adotado, o equipamento trabalharia aprox. 205 horas por ano, o que resultaria em uma vida útil de 48,7 anos.

A faixa de preço em função do tempo de colheita na qual o equipamento atende o critério da variação do custo unitário é apresentada na Figura 46. Por exemplo, se preço do equipamento for de R\$ 600.000,00; pelo gráfico, o tempo de colheita pode ser no máximo de 18 segundos. Se o equipamento realiza a colheita em 40 segundos porém seu preço é de R\$ 400.000,00; o custo unitário terá um acréscimo ao longo dos anos.

A rentabilidade do cultivo entre os anos 11 a 25 são apresentadas nas Tabela 22 e Tabela 23. Para a simulação, foram inseridos os valores obtidos para um tempo de colheita de 30 s/pé.

Tabela 22 – Rentabilidade dos cultivos entre os anos 11 a 18 simulados a partir dos coef. Obtidos pelo critério do custo unitário

Ano	11	12	13	14	15	16	17	18
Preço unitário do coco (R\$)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Produção planta ano	200	200	200	200	200	200	200	200
Produção por hectare ano	41000	41000	41000	41000	41000	41000	41000	41000
Produção acumulada	241900	282900	323900	364900	405900	446900	487900	528900
Receita Anual (R\$ por hectare)	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00
Receita Acumulada (R\$)	157235.00	183885.00	210535.00	237185.00	263835.00	290485.00	317135.00	343785.00
Custo Anual (R\$)	14973.37	14973.37	14973.37	14973.37	14973.37	14973.37	14973.37	14973.37
Custo total acumulado (R\$)	88336.35	103309.72	118283.09	133256.46	148229.83	163203.20	178176.57	193149.94
Custo unitário do coco (R\$)	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Fluxo de Caixa Anual	11676.63	11676.63	11676.63	11676.63	11676.63	11676.63	11676.63	11676.63
Fluxo de Caixa Acumulado	68898.65	80575.28	92251.91	103928.54	115605.17	127281.80	138958.43	150635.06
TMA (Taxa Mínima de Atratividade)	8.7465%							
VPL (Valor Presente Líquido) (R\$)	29012.33	33281.41	37207.12	40817.09	44136.71	47189.33	49996.43	52577.75
TIR (Taxa Interna de Retorno)	31.21%	32.16%	32.82%	33.28%	33.61%	33.84%	34.01%	34.14%

Fonte: Autoria Própria

Tabela 23 - Rentabilidade dos cultivos entre os anos 19 a 25 simulados a partir dos coef. obtidos pelo critério do custo unitário

Ano	19	20	21	22	23	24	25
Preço unitário do coco (R\$)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Produção planta ano	200	200	200	200	200	200	200
Produção por hectare ano	41000	41000	41000	41000	41000	41000	41000
Produção acumulada	569900	610900	651900	692900	733900	774900	815900
Receita Anual (R\$ por hectare)	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00	26650.00
Receita Acumulada (R\$)	370435.00	397085.00	423735.00	450385.00	477035.00	503685.00	530335.00
Custo Anual (R\$)	14973.37	14973.37	14973.37	14973.37	14973.37	14973.37	14973.37
Custo total acumulado (R\$)	208123.31	223096.68	238070.05	253043.42	268016.79	282990.16	297963.52
Custo unitário do coco (R\$)	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Fluxo de Caixa Anual	11676.63	11676.63	11676.63	11676.63	11676.63	11676.63	11676.63
Fluxo de Caixa Acumulado	162311.69	173988.32	185664.95	197341.58	209018.21	220694.84	232371.48
TMA (Taxa Mínima de Atratividade)							
VPL (Valor Presente Líquido) (R\$)	54951.46	57134.25	59141.48	60987.26	62684.59	64245.40	65680.68
TIR (Taxa Interna de Retorno)	34.23%	34.29%	34.34%	34.38%	34.41%	34.43%	34.44%

Fonte: Autoria Própria

Observa-se que o custo unitário do coco manteve-se constante a R\$ 0,37/coco, conforme esperado. Nas condições simuladas, o fluxo de caixa anual é de R\$ 11.676,63/ano e o TIR obtido é maior que o obtido no ano 10, ou seja, o investimento de um novo equipamento trará retornos aos donos do cultivo.

4.3. Considerações

Neste capítulo, foram apresentados os custos que envolvem o processo de cultivo do coco e a faixa de preços que pode ser atribuído ao equipamento a ser introduzido para se trazer retornos ao cultivo.

Inicialmente foi apresentado a tabela de coeficientes técnicos de cultivo e de plantio, que estima o custo de cada elemento necessário no cultivo no respectivo ano, para se obter o

custo total anual. Os valores da tabela foram atualizados e os coeficientes da operação de colheita foram ajustados, baseados nos resultados do estudo de tempos e métodos apresentados no capítulo anterior. Juntamente com os dados de produtividade do coqueiro em função de sua idade e com o preço de venda do coco, foi possível estimar a renda anual e a rentabilidade utilizando os conceitos de VPL e TIR da análise de investimentos. Os resultados confirmam a hipótese do capítulo anterior de que ambos métodos de colheita utilizados atualmente trazem retornos, porém a colheita com varas possui uma margem maior de lucro e rentabilidade (29,82% da colheita com varas contra 24,58% da colheita com o trator).

Na segunda parte, foi calculado a faixa de preços em função do tempo de colheita que torna rentável a introdução de um novo equipamento. A partir de critérios como o fluxo de caixa a ser obtido e o preço unitário do fruto, foi obtido um gráfico que representa esta faixa que gera retornos financeiros. Este gráfico irá compor os requisitos de tempo e custo do projeto do equipamento de colheita.

Cabe lembrar que os coeficientes técnicos adotados e os preços adotados baseiam-se nas operações realizadas nos cultivos na região de Sergipe. Em caso de realizar a estimativa de custos para outras regiões, há uma necessidade de atualizar a tabela e corrigir os valores e operações para se obter valores com maior confiabilidade. Ressalta-se também que os valores dos coeficientes são estimativas, podendo ter discrepâncias com os valores reais causados por exemplo por imprevisões climáticas. Apesar disso, a ferramenta é de grande utilidade para a tomada de decisão dos agricultores para a implantação de uma determinada cultura, ou para, neste caso, verificar a viabilidade da introdução de uma nova tecnologia em suas operações.

Foi apresentado somente um cenário no qual considerou-se cultivos com tamanhos de pequeno porte, com 7 ha. Realizando-se simulações utilizando-se um maior número de hectares, o preço do equipamento permitido também sobe de forma considerável. Uma opção seria o compartilhamento do equipamento de colheita entre vários cultivos, por exemplo através de cooperativas que realizariam o aluguel do equipamento para os donos do cultivo.

Nos cenários adotados, para um tempo de colheita de 30s, o preço do equipamento para colheita pode ser de até R\$ 595.690,82 segundo critério do FC e R\$ 373.927,74 segundo o critério da variação do custo unitário. Acredita-se que mesmo adotando o critério mais rigoroso, a oferta de um equipamento para viabilizar a colheita com esse preço de venda seja possível, em outras palavras, a introdução de um equipamento aparenta ser viável do ponto de vista econômico.

5. PROPOSTA DE SOLUÇÃO E ANÁLISE DE VIABILIDADE DO EQUIPAMENTO

Nos capítulos 2 e 3, foram coletadas as informações que contornam a problemática do coco, analisando-se os aspectos físicos e biológicos do coqueiro e também o processo de colheita sob um ponto de vista da engenharia. No capítulo anterior, concluiu-se que a introdução de um equipamento para colheita no modelo atual de produção de coco aparenta ser viável do ponto de vista econômico. Neste capítulo, com base nas informações reunidas até agora, será analisado a viabilidade técnica de um equipamento de colheita e caso positivo, será proposto um conceito desta solução.

Primeiramente será apresentada de forma sucinta a metodologia de projeto compilada por Pahl & Beitz (2007), a qual o presente trabalho seguiu para que o leitor possa acompanhar os passos fundamentados no desenvolvimento da proposição de solução. Após isso, a proposição é analisada sob a ótica da viabilidade. O capítulo se encerra com considerações finais.

5.1. Metodologia de Projeto compilada por Pahl & Beitz

Como mencionado, a análise e proposta de solução será baseada na metodologia de projeto compilada por Pahl & Beitz (2007). Um fluxograma simplificado da metodologia é apresentado na Figura 47.

Figura 47 – Fluxograma simplificado da metodologia compilada por Pahl & Beitz (2007)



Fonte: Autoria Própria

A metodologia propõe uma forma sistemática para se gerar a solução diante de um problema. O processo é dividido em 4 grandes fases: Projeto informacional, Projeto conceitual, Projeto Preliminar e Projeto detalhado.

Na etapa de projeto informacional, também chamado de compreensão do problema, são coletadas as informações que contornam o tema, como por exemplo estado da arte, situação de mercado e dimensões dos elementos de interação. Estes são entregues na forma de lista de requisitos, que determina as condições em que o projeto será realizado.

A etapa seguinte de projeto conceitual consiste em gerar ideias de solução (conceitos) para o problema. As ideias são analisadas e avaliadas e o conceito considerado mais promissor segue para a etapa seguinte.

Na etapa de projeto preliminar, o conceito selecionado é desenvolvido, atribuindo-se formas e materiais à solução, dimensionando-se seus componentes e avaliando-se se a solução está de acordo com os requisitos de projeto. Ao fim da esta etapa, obtém-se o leiaute definitivo da solução.

Por fim, no projeto detalhado é realizado um refinamento do leiaute definitivo, como por exemplo adequar o projeto para viabilizar sua fabricação, montagem e utilização. Após a revisão do projeto, um protótipo é construído para a realização de testes e avaliações para validar a solução proposta.

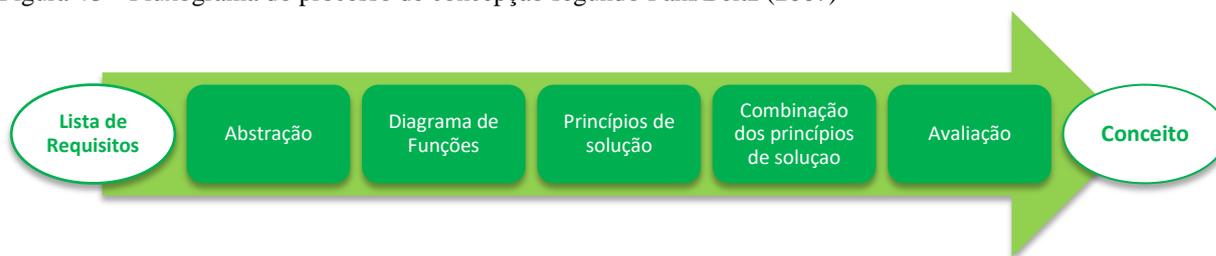
O processo de desenvolvimento de uma solução é iterativo, retornando-se às etapas anteriores quando julgar necessário. Em um caso extremo, por exemplo, o recebimento de informações novas durante o projeto pode alterar a lista de requisitos, que conseqüentemente, causa impacto em todo projeto e obriga a refazer etapas. Do ponto de vista do projeto, estas iterações podem ser interpretadas como amadurecimento do projeto, porém, ao mesmo tempo, significam custos extras dentro de uma empresa, devendo ser evitado. Percebe-se deste último exemplo a importância do projeto informacional no projeto como um todo.

No presente trabalho, será realizado de forma sucinta a concepção de um equipamento de colheita de cocos, de forma a analisar se existe uma solução técnica viável. A metodologia detalhada da etapa de concepção será descrita de forma sucinta na próxima seção.

5.2. Metodologia de concepção compilada por Pahl & Beitz

A etapa de concepção tem como objetivo definir a solução do problema de forma básica, sendo uma ideia consistente, viável tecnicamente e de acordo com o escopo definido no projeto informacional. (Kawahara apud. Pahl & Beitz, 2014). O projeto conceitual tem a lista de requisitos como entrada e é realizada segundo o seguinte fluxograma.

Figura 48 – Fluxograma do processo de concepção segundo Pahl/Beitz (2007)



Fonte: Autoria Própria

A partir da lista de requisitos, realiza-se a abstração do problema para se identificar o cerne do problema, evidenciando as funções que a solução deve cumprir e também as restrições existentes no projeto.

Com a função principal evidente, a etapa seguinte é desmembrar esta função em funções mais simples, no intuito de dividir um problema complexo em vários problemas mais simples, e combiná-las posteriormente para solucionar o problema como um todo. Esta etapa é comumente representada na forma de um diagrama de blocos, no qual cada bloco representa uma função da solução com suas respectivas entradas, saídas e interações com as outras funções.

Após simplificar o problema em problemas menores, busca-se alternativas de solução para cada uma dessas funções para depois combiná-las para obtenção de soluções promissoras. Esses conceitos são avaliados se atendem os requisitos de projeto, e caso positivo, a solução é selecionada como conceito do projeto e encaminhada para o projeto preliminar.

5.3. Concepção

Nesta seção será realizada a concepção do equipamento de colheita de coco, baseando-se na metodologia compilada por Pahl & Beitz (2007).

5.3.1. Lista de requisitos

Com as informações apresentadas nos capítulos anteriores, é possível confeccionar a lista de requisitos para o problema da colheita de cocos. A lista é apresentada a seguir.

Tabela 24 – Lista de Requisitos do Projeto de desenvolvimento de um equipamento de colheita de cocos (Continua)

Lista de Requisitos		
Desenvolvimento de um equipamento de colheita de cocos		
D/E	Requisitos	
E	Geometria e Material	
	Cultivo	
	Disposição dos coqueiros	Triângulo equilátero com 7,5m de lado
	Largura das ruas	Aprox. 6,8m
	Número de plantas por hectare	205 plantas
	Observação	1 a 2 bicos de irrigação para cada coqueiro
	Estipe e Raiz	
	Diâmetro da estipe(tronco) do coqueiro	300 mm
	Profundidade máx. da Raiz	1,5 m
	Distribuição da raiz	2m de raio
	Folhas e Cachos	
	Distância angular entre folhas/cachos	Aprox. 72 ° (5 folhas/cachos por volta) *direção dextrógira ou levógira
	Altura entre as folhas/cachos	Aprox. 150 mm
	Frequência de formação de folha/cacho	1 folhas(cachos) para cada 20 a 30 dias
	Tempo de maturação ideal para a colheita do cacho	7 meses
	Massa do coco	1,5 kg (no sétimo mês de maturação)
	Quantidade de água de coco em um coco	300 a 400 mL
	Quantidade de cocos em um cacho	10 a 15 cocos
	Massa de projeto do cacho	30 kg
	Dimensões do envelope do cacho (Comprimento x Largura x Altura)	1100 mm x 550 mm x 600 mm (Figura 39)
	Seção transversal do pedúnculo	Elipse com 65mm de largura e 40mm de altura (Figura 40)
	Altura do pé de coqueiro [m]	$h = n_a, (n_a \leq 15)$
	Altura da localização do fruto [m]	$h_{cacho} = h - 2$
	Produtividade	
	Produtividade do coqueiro	Figura 38
	E	- Alcançar os cachos a 10 m de altura
	E	- Frutos não devem ser danificados durante a colheita
	E	- Folhas não devem ser cortadas
	Cinemática e forças	
E	- Garantir a estabilidade dos equipamento e dos operadores durante o processo*	
E	- Velocidades e acelerações dentro das normas de segurança*	
	*Para:	
	- Plataformas de elevação móveis de forma geral, consultar norma prEN 280:2009	
	- Equipamentos de elevação montados em veículos, seguir norma ANSI/SIA A92.2	
	- Plataformas de elevação suportadas por braço telescópico, seguir norma ANSI/SIA A92.5	
	- Plataformas de elevação auto-propelidas, seguir norma ANSI/SIA A92.6	

Tabela 24 – Lista de Requisitos do Projeto de desenvolvimento de um equipamento de colheita de cocos (Conclusão)

D/E	Requisitos
E	Energia Fonte de energia deve ser compatível com aquelas disponíveis nos cultivos (Locais remotos, as vezes sem abastecimento de energia elétrica suficiente)
E	Segurança Garantir segurança dos usuários e dos operários durante o processo
E D	Ergonomia Conforto durante a operação Menor FT possível
E	Controle de Qualidade - No caso da escolha de plataformas aéreas, seguir normas da série ANSI/SIA 92 e prEN 280:2009
E E	Montagem/Transporte - Transportável através dos cultivos - Transportável até os cultivos (Montagem no cultivo)
E E E E	Ambiente - Precipitação média anual entre 900 e 1100 mm (concentra-se entre Abril a Julho) - Temperatura média anual 26°C - Umidade relativa do ar 73% - Ventos: 90,64 km/dia em 2016
D	Manuseio - Fácil manuseio, de modo que um rápido treinamento seja suficiente para o operário utilizar o equipamento e realizar a colheita
E	Custo/Tempo - Seguir faixa de preços dos diagramas obtidos conforme cenários (Figura 45 ou Figura 46)
E	Público alvo - Produtores de coco
Data: 11 de Abril de 2017	
D – Desejável / E – Especificação	
Responsável: Yu Kawahara	
Observações: -----	

Fonte: Autoria Própria

Nos requisitos de geometria e material, é rerepresentado a Tabela 2 que resume as características físicas e fisiológicas do coco. Além disso, é especificado que os frutos não devem ser danificados durante o processo, por exemplo colhendo-se os cachos por queda livre, uma vez que torna os frutos suscetíveis a bactérias e infecções, além de danos na aparência ou aspecto visual, perdendo conseqüentemente o valor comercial. Durante a colheita, deve-se evitar o corte das folhas, pois estas, por serem responsáveis por captação de luz para a realização de fotossíntese, mesmo as folhas aparentemente amareladas, reduz a atividade fotossintética, o que implica diretamente no desenvolvimento dos frutos.

Durante o processo, o equipamento e seus usuários devem permanecer estáveis tanto estaticamente como dinamicamente. As velocidades e acelerações devem estar dentro dos valores permitidos pela norma que rege o equipamento, caso essa exista. Por exemplo, caso opte por soluções do tipo plataformas aéreas, as normas que regem são da série ANSI/SIA 92.

A fonte de energia do equipamento deve estar coerente com aquelas disponíveis nos cultivos de coco e a segurança dos usuários e das pessoas ao redor do equipamento devem ser garantidas.

Segundo a norma, os operários devem trabalhar de forma confortável, buscando encontrar um equilíbrio físico, cognitivo e emocional. Como requisito é desejável apresentar o menor fator de tolerância (FT) possível, evitando as fadigas, principalmente as observadas nos processos atuais.

Para o controle de qualidade, deve-se seguir a norma que rege o tipo de solução escolhido, caso esta exista. O equipamento deve ser transportável através e entre os cultivos, e também deve ser transportável até o cliente.

Quanto ao ambiente de trabalho, foram adotados os dados de precipitação média, temperatura média e umidade relativa do platô de Neópolis relatados por Resende, *et al.* (2015). O dado relacionado ao vento foi obtido segundo os dados aferidos pela Associação dos Concessionários do Distrito de Irrigação Platô de Neópolis (ASCONDIR) no ano de 2016, porém, para o projeto, é necessário obter a velocidade máxima do vento, que será utilizado como entrada para os cálculos de estabilidade.

O manuseio do equipamento deve ser simples.

Por fim, o custo e tempo do equipamento deve estar dentro da faixa do diagrama de custo e tempo obtido através das equações apresentadas anteriormente adotando-se os devidos valores para cada produtor de coco, que são o público alvo deste equipamento.

5.3.2. Abstração do problema

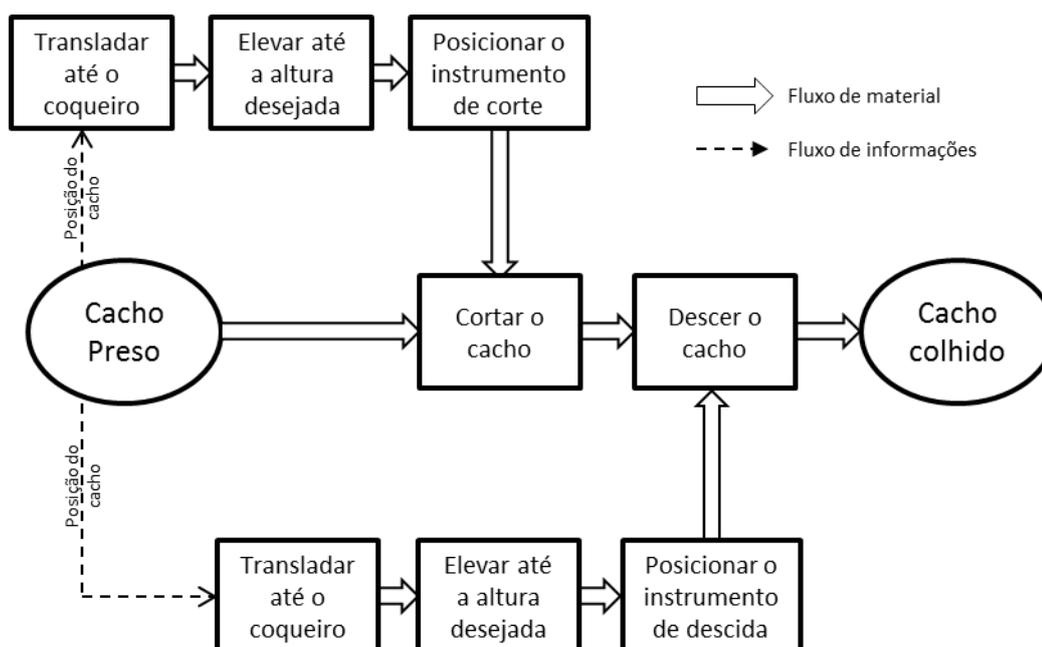
A etapa de projeto conceitual tem início com a abstração do problema, na qual a essência do problema é abstraída a partir da lista de requisitos. Os requisitos desejáveis devem ser afastados, quantidades devem ser substituídas por qualidades e os requisitos devem ser reunidos em uma única afirmação. A abstração do problema retorna a seguinte afirmação:

“Permitir a colheita de cachos de cocos situados em alturas elevadas de uma forma rentável, sem danificar os cachos e ao mesmo tempo garantindo a segurança dos usuários durante o processo de colheita em um cultivo irrigado de coco.”

5.3.3. Diagrama de Funções

A partir da afirmação acima, pode-se observar as principais tarefas que a solução deve desempenhar. Estas consistem em alcançar os cachos, colher o cacho, não danificar os cachos e transladar até o coqueiro, para repetir o processo em diferentes pés. O diagrama de funções proposto é apresentado na Figura 49:

Figura 49 – Diagrama de funções



Fonte: Autoria Própria

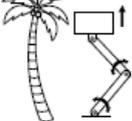
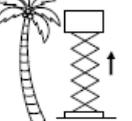
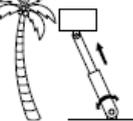
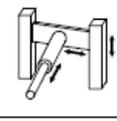
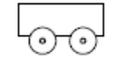
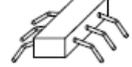
Na tentativa de se obter um diagrama de funções que abrange um maior número de soluções, as funções de translação, elevação e posicionamento foram colocadas tanto para as funções de corte como a de descida. Deste modo, pode se propor soluções com dois equipamentos independentes, um dedicado somente ao corte e outro dedicado exclusivamente à descida, da mesma forma que foi observado na colheita com varas nos cultivos visitados em platô de Neópolis. Porém, o diagrama contempla também soluções nas quais ambos princípios são realizados pelo mesmo dispositivo, como ocorre no trator com plataforma em U, no qual a

elevação do instrumento de corte (operário) e do instrumento de descida (a própria plataforma) são realizados pelo mesmo dispositivo.

5.3.4. Matriz morfológica

A partir do diagrama de funções, a próxima etapa é sugerir alternativas de soluções para cada uma das funções, para posteriormente combiná-las e obter a solução geral. Essas são apresentadas na forma de uma matriz, chamada de matriz morfológica, na qual para cada linha (função) são apresentadas as possíveis soluções para aquela função. A matriz morfológica é apresentada na Figura 50.

Figura 50 – Matriz Morfológica

Alternativa / Função	1	2	3	4	5
(A) Elevação	Rodas tracionadas 	Brasos articulados 	Plataforma tesoura 	Elevação telescópica 	
(B) Posicionamento	Cartesiano (LLL) 	Polar (RRL) 	Cilíndrico (RLL) 	Angular (RRR) 	Pessoa 
(C) Cortar o cacho	Tesoura poda 	Serra linear / rotatória 	Foice / facão 	Tração 	
(D) Descer o cacho	Íçamento 	Amortecedor 1 	Amortecedor 2 	Cesto 	Garfo 
(E) Translação	Rodas 	Esteira 	Pés 		

Fonte: Ilustrado por Silva, B.

A metodologia sugere que a matriz morfológica comece pelas funções consideradas principais para o projeto, na tentativa de direcionar soluções que possuem melhor

compatibilidade com a função principal. Como a altura dos cachos é a motivação para esse projeto, a função de elevação foi considerada como a função principal.

Para a função de elevação, foram propostas quatro alternativas ilustradas na linha A da Figura 50 nas colidas de 1 a 4. Na primeira (coluna 1), de rodas tracionadas, o equipamento utilizaria o tronco para realizar a operação de subida. Nas outras três alternativas (linha A, colunas 2 a 4), o dispositivo teria sua base no solo, e a elevação é realizada por mecanismos de braços articulados, tesoura ou por barras telescópicas.

As alternativas para função de posicionamento (Tanto do instrumento de corte como do instrumento de descida – ilustrados na linha B da Figura 50) foram inspiradas nos manipuladores robóticos, propondo-se o posicionamento através de um sistema Cartesiano (LLL), Polar (RRL), Cilíndrico (RLL) e Angular (RRR). Foi proposto também uma quinta alternativa, a qual confia-se a operação de posicionamento do instrumento a um processo completamente manual.

Para a função de corte (linha C da Figura 50), foram propostas a tesoura de poda, serra linear ou rotatória, Foice/Facão e tração, na qual o cacho seria extraído puxando-o até a ruptura do pedúnculo.

Para a descida (linha D da Figura 50) foram propostos: içamento, na qual a descida do cacho seria controlado através de uma corda; amortecedor 1 que consiste em amortecer a queda do cacho colocando algum dispositivo na base (um colchão por exemplo); o amortecedor 2 no qual o cacho realizaria sua descida através de um escorregador com obstáculos para amenizar a velocidade; o cesto, no qual receberia o cacho cortado e realizaria a descida com o princípio do mecanismo de elevação; e o garfo, que utilizaria o mesmo princípio observado nos cultivos, na qual a queda é amortecida por varas e cordas.

Para a função de translação (linha E da matriz morfológica ilustrada na Figura 50), foram propostas o princípio de rodas, esteiras e pés, na qual a translação é inspirada no movimento de andar dos animais.

5.3.5. Combinação de soluções

A etapa seguinte é combinar os princípios propostos na matriz morfológica da Figura 50 para propor o conceito do equipamento de colheita de coco.

Entre as funções discutidas, imagina-se que o posicionamento do instrumento é a mais problemática devido à disposição dos frutos, cachos e folhas. Assim, por exigir um grau de liberdade com movimentos de controle de elevada sofisticação para evitar obstáculos

apresentados pela planta, o operador humano foi entendido como a melhor alternativa para realizar o posicionamento do instrumento, ou seja, de forma manual..

Como o operador irá realizar a função de posicionamento, entende-se que para plantas acima de 10 metros, essa precisa ser elevada até a altura. Para isso, o princípio de rodas tracionadas não é muito indicado, uma vez que o princípio não eleva cargas altas.

Para tentar realizar a operação de forma mais rápida, seria interessante descartar a necessidade de elevar e descer o operador para cada coqueiro, de forma que ela fique sempre elevada, até para transladar para o próximo coqueiro. Neste sentido, a plataforma tesoura não é muito interessante, pois sua translação com a plataforma elevada não é indicada, enquanto as outras duas alternativas restantes (Braços articulados e elevação telescópica) aparenta ser mais promissora para o terreno em questão. A diferença entre os dois princípios está na altura que deseja-se alcançar, na qual a telescópica possui um maior alcance. A translação do equipamento com a plataforma elevada é permitida pela norma prEN 280:2009 (2009), sendo que a velocidade máxima é de até 1,5 m/s quando a translação é controlada dentro de um cabine (por exemplo em caminhões ou caminhonetes) e de 0,7 m/s quando a translação é controlada pela plataforma ou pelo chassi. A norma também apresenta os cálculos necessários para dimensionamento, critérios de estabilidade, construção, segurança e sobre os ensaios necessários.

O corte pode ser realizado com qualquer um dos princípios, com exceção da tração, na qual imagina-se que é necessário uma força bruta para sua realização. Atualmente utiliza-se o facão, porém poderia-se substituir o princípio para a tesoura por exemplo, na tentativa de realizar o corte com redução de impacto, tanto em número de tentativas como na região de linha da seção de corte, ou para uma alternativa com menor risco de acidentes e ergonomicamente melhor.

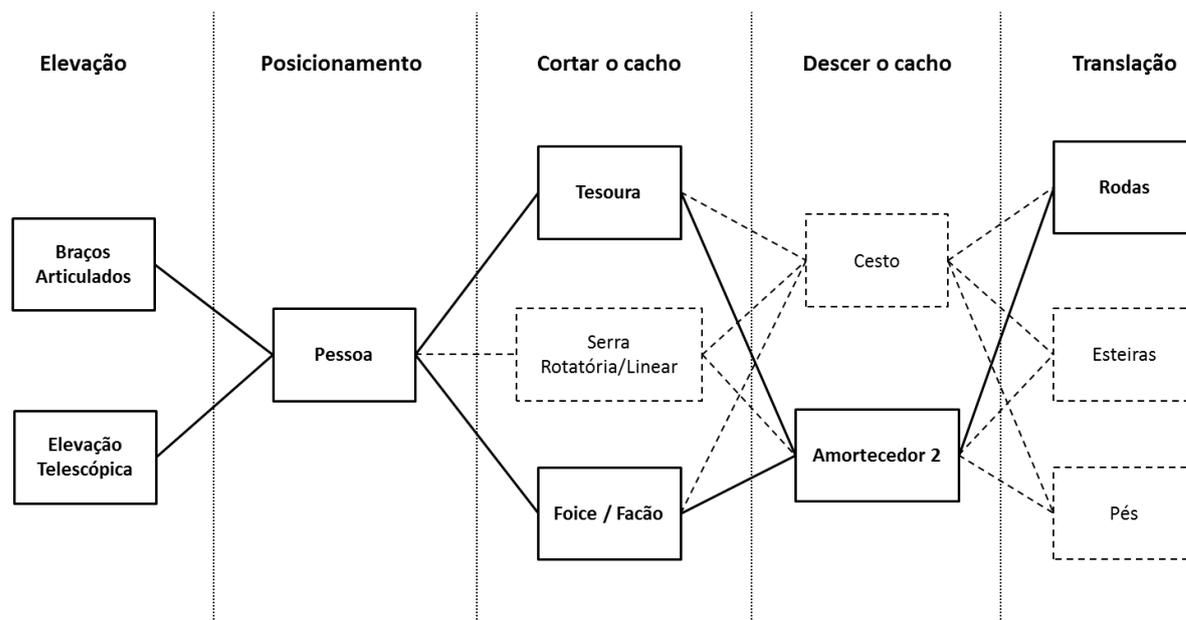
Como o operador estará em posição elevada sobre uma plataforma ou cesto, o cacho poderia ser armazenado no próprio cesto. Porém seria ainda mais atraente se este pudesse descer e ir direto para uma caçamba onde seria armazenada e transportada. Permitir isso eliminaria parte do custo da operação de “Transporte Interno” na tabela de Coeficientes técnicos de plantio e manutenção, o que pode incrementar no preço máximo que o equipamento pode custar.

Para a translação, as três soluções propostas são compatíveis, porém a roda é a mais simples e o princípio de menor custo entre as três.

O diagrama abaixo ilustra as possíveis combinações que o equipamento apresenta, segundo a discussão realizada. As caixas com linha cheia representam as soluções que

aparentam ser mais promissoras, enquanto as tracejadas são soluções possíveis porém com menor preferência.

Figura 51 – Diagrama ilustrativo da combinação dos princípios propostos



Fonte: Autoria Própria

Assim, a solução que aparenta ser a mais promissora consiste em um equipamento que eleva um operário a altura desejada com um sistema de braços articulados ou sistema telescópico, e o corte do cacho é realizado por uma tesoura ou facão, e os cachos colhidos são colocados em uma espécie de escorregador que irá levar os cachos a uma caçamba sem danificá-los e sua translação é realizada com rodas. Para tentar realizar a colheita de forma mais rápida, a translação será realizada com a plataforma elevada, o que é permitido segundo normas internacionais.

5.4. Viabilidade

É necessário observar-se o conceito está de acordo com os requisitos, principalmente na questão de tempo de colheita e custo.

Na tentativa de construir o equipamento com dispositivos já existentes, sugere-se a utilização de uma plataforma de elevação em um caminhão como apresentado na Figura 52, e realizar adaptações na plataforma e no caminhão para construir uma caçamba nela para se armazenar os cachos.

A plataforma de braço articulado montado em um caminhão são itens já existentes no mercado, como ilustrado na Figura 52. O caminhão tem preço em torno de R\$ 180.000,00 e a plataforma, R\$ 120.000,00 segundo fornecedor, totalizando R\$ 300.000,00.

Figura 52 – Plataforma aérea montado em um caminhão



Fonte: Orçamento anexo em mensagem de Padilha (2016)

Haveria a necessidade de introduzir no equipamento a caçamba e o elemento amortecedor e talvez um sistema estabilizador no cesto, para garantir o conforto do operário no cesto durante a operação e a translação no cultivo, cujo solo possui irregularidades. Uma alternativa para garantir a estabilidade seria realizar uma operação de nivelamento do solo antes da colheita, operação que pode ser realizada por um trator com um implemento adequado. Caso opte por esta alternativa, é necessário estimar o impacto deste processo no custo e conseqüentemente no fluxo de caixa do cultivo.

Nesta configuração, acredita-se que a realização da translação com a plataforma elevada reduz de forma significativa o tempo do ciclo. Na colheita com varas o tempo cronometrado de colheita foi de 20,5 s e na colheita com trator o tempo de colheita foi de 18,57 s. Tendo em vista estes valores, acredita-se que um tempo de colheita de 30s seja viável para o equipamento proposto.

Para este tempo de colheita, observou-se pelos gráficos das figuras Figura 45 e Figura 46 do capítulo anterior que o preço máximo do equipamento é de R\$ 373.927,74 segundo critério da variação do custo unitário e de R\$ 595.690,82 segundo critério do fluxo de caixa, almejando-se um fluxo de caixa anual de R\$ 9500,00/ha. Considerando-se o preço do

caminhão, plataforma de elevação, e os custos necessários para a caçamba e outros elementos necessários, acredita-se que o preço do equipamento estaria bem abaixo dos R\$ 595.690,82; podendo chegar perto dos R\$ 373.927,74; o que geraria um fluxo de caixa de aprox. R\$ 11.700,00 anuais por hectare.

Assim, tendo em vista o preço de alguns elementos da solução no mercado, mesmo com a necessidade de se realizar adaptações, conclui-se que o desenvolvimento de um equipamento para a colheita aparenta ser viável tanto do ponto de vista técnico como do ponto de vista financeiro.

5.5. Considerações

Neste capítulo, a viabilidade de um equipamento para a colheita de coco foi explorada utilizando-se as informações coletadas nos capítulos anteriores. Baseando-se a metodologia de projeto compilada por Pahl & Beitz, foi realizado a concepção do equipamento de colheita a partir dos requisitos obtidos, e analisou-se se o conceito proposto está dentro da faixa de preços obtida no capítulo anterior. Foi proposto uma solução que consiste em utilizar uma plataforma de elevação montada num caminhão, e realizar adaptações para descer os cachos através de um escorregador diretamente para uma caçamba construída no próprio caminhão. Foi observado também como uma possível necessidade a adição de um sistema estabilizador no cesto para proporcionar uma maior sensação de segurança nos operários que realizarão o corte dos cachos. Acredita-se que com este conceito, tendo como base os métodos de colheita analisados neste trabalho, a colheita seja viável em um tempo de 30s. Segundo o gráfico da faixa de preços, para este tempo de colheita, o preço máximo segundo o critério da variação do custo unitário é de R\$ 373.927,74. Considerando-se os valores de mercado do caminhão, da plataforma e dos custos necessários para realizar as adaptações, acredita-se que este equipamento seja viável do ponto de vista econômico.

Destaca-se também que neste caso, o equipamento proposto pode ser aplicado em outros cultivos de frutos com problemática similar, como por exemplo açaí e dendê, o que justificaria ainda mais o investimento no desenvolvimento do novo equipamento.

Na solução proposta, almejou-se utilizar tecnologias já existentes e realizar adaptações para se obter a performance desejada, no intuito de sugerir uma solução que possa ser desenvolvida a curto prazo. Nada impede a criação de um equipamento inovador e específico para a colheita de coco, ou palmáceas, porém o projeto requereria mais tempo e dedicação.

6. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Nesta seção será realizado uma discussão dos resultados obtidos, proposta para trabalhos futuros e um encerramento do trabalho.

6.1. Análise dos Objetivos e resultados

No início desta dissertação foi estipulado o objetivo geral de dar luz ao problema na colheita de cocos sob uma ótica da engenharia juntamente com os objetivos específicos. Nesta seção, serão analisados se os objetivos estabelecidos foram cumpridos com sucesso.

O primeiro objetivo específico, de verificar da inexistência de um equipamento de colheita de cocos pôde ser confirmada através da revisão bibliográfica. Foi verificado que apesar de tentativas nos últimos tempos, uma solução de sucesso ainda é inexistente no mercado.

No capítulo 3 foram coletados dados referentes ao coco através de pesquisa bibliográfica e entrevista com especialistas do coco. Foram obtidos de forma preliminar os dados geométricos sobre os elementos que compõe o coqueiro como coco, cachos, estipe e folhas, além de descrever o processo de formação de frutos e seu tempo. O processo de colheita foi estudado sob tempos e métodos, registrando-se não somente o tempo de colheita e as fadigas envolvidas mas também os cuidados necessários durante a colheita dos cocos e as dificuldades encontradas. Apesar do caráter preliminar dos resultados, foi observado que o desafio não consiste apenas em alcançar os cachos, mas também de descer os cachos de forma cuidadosa, além de desviar dos elementos como folhas e cachos jovens para realizar o corte do cacho desejado. Assim, cumpriu-se o objetivo específico de coletar e disponibilizar informações seguras sobre a problemática do coco.

Após obter os dados sobre o cultivo de coqueiro, os custos do processo de colheita foram explorados, utilizando a tabela de coeficientes técnicos de cultivo e plantio. Os parâmetros da tabela foram atualizados e inserindo-se o preço de venda do coco e os dados sobre produtividade do coqueiro, a rentabilidade do cultivo foi estimada. Para os métodos de colheita atual, observou-se que a colheita com varas é mais rentável que a colheita mecanizada. Baseando-se nas operações matemáticas envolvidas e adotando critérios, foi possível desenvolver expressões matemáticas para se determinar uma faixa de preços do equipamento em função do tempo de colheita que tornaria a colheita em alturas acima de 8

metros viáveis de forma rentável. Com base nos tempos de colheita observados, estipulou-se uma meta de tempo de colheita de 30 s, e para este tempo, mesmo utilizando o critério mais rígido, chegou-se no resultado de que o equipamento pode custar até R\$ 373,927.74.

Por fim, a proposta de solução e análise da viabilidade de desenvolvimento de equipamento para a colheita do coco foram verificados. Utilizando-se a metodologia de projeto compilada por Pahl & Beitz (2007), foi possível propor um conceito para o equipamento de colheita de coco. A solução proposta consiste em montar uma plataforma de elevação em um caminhão, que é uma tecnologia já existente, e realizar adaptações para descer os cachos através de escorregamento para uma caçamba montada no próprio caminhão. O corte seria realizado pelo operador no cesto que se eleva até a altura dos cachos e após o corte, o cacho escorregaria para a caçamba, enquanto o operador permanece elevado. A translação para o próximo coqueiro seria realizada com a plataforma elevada, visando-se minimizar o tempo de colheita. Do ponto de vista técnico, o conceito proposto está dentro dos escopos de projeto e aparenta ser promissor não somente para a cocoicultura mas também para a colheita de outros frutos de palmáceas. Do ponto de vista financeiro, o desenvolvimento e posterior oferta do equipamento ao mercado mostra-se viável, uma vez que o preço dos elementos da solução como caminhão e plataforma são de aprox. R\$ 300.000,00 e assim restariam R\$ 73.927,74 para a parte das adaptações para o escorregador e caçamba. Assim, cumpre-se os objetivos de propor uma solução dentro das condições propostas e de analisar a viabilidade de desenvolvimento do equipamento.

6.2. Sugestão para trabalhos futuros

Nesta seção, serão realizadas sugestões para trabalhos futuros. As sugestões estão separadas de acordo com os capítulos desta dissertação para uma melhor organização.

- **Capítulo 3 - COCO E SUA COLHEITA SOB ÓTICA PARA ENGENHARIA**
 - Realizar as medições das dimensões e os estudos de tempos e métodos com tratamento estatístico, levando-se em consideração um número maior de amostragem, incluindo um número maior de regiões e de propriedades;
 - Realizar uma Análise Ergonômica do Trabalho (AET) para a geração de parâmetros de projeto e compreender melhor a estratégia do trabalhador;

- Capítulo 4 - POTENCIALIDADE DE IMPACTO ECONÔMICO COM COLHEITA DE COCO MECANIZADA
 - Aprofundar-se nos outros elementos da tabela como um todo. Este trabalho teve seu foco na operação de colheita, e um detalhamento maior para as outras operações de tratamentos culturais como controle de pragas e doenças, para uma melhor compreensão do problema e melhor previsão dos custos de cultivo;
 - Atualização dos coeficientes técnicos das operações, utilizando o estudo de tempos e métodos;
 - Atualização das operações e insumos, eliminando e/ou adicionando os elementos que não são mais utilizadas ou que foram introduzidas, verificando se os insumos ainda são permitidos pela lei;
 - Aprofundar a Análise econômica, considerando outros fatores como por exemplo a inflação, ajustes sazonais e regionais do preço de venda do coco.
 - Avançar na análise financeira utilizando outros métodos de análise de investimento e também outros tipos de cenários, como por exemplo adotando outros valores de TMA.
 - Explorar os cenários de aplicação do equipamento, variando-se parâmetros;
 - Analisar os possíveis modelos de negócios do equipamento.

- Capítulo 5 - PROPOSTA DE SOLUÇÃO E ANÁLISE DE VIABILIDADE DO EQUIPAMENTO
 - Concluir a etapa de concepção do projeto realizando uma avaliação técnica e econômica utilizando, por exemplo, a análise de valor;
 - Propostas de outras soluções, uma vez que a solução proposta baseou-se em elementos já existentes visando um rápido desenvolvimento e introdução do equipamento no mercado. Talvez o desenvolvimento de um equipamento especializado para a colheita de frutos em palmáceas seja interessante, tendo em vista o potencial econômico que estes frutos possuem;
 - Dar continuidade no projeto: concluir a o projeto conceitual e avançar para o projeto preliminar, projeto detalhado e realizar testes com protótipo.

6.3. Encerramento

O presente trabalho teve como objetivo buscar as informações necessárias para o projeto informacional, e sanar o questionamento do motivo da inexistência de um equipamento para a colheita de cocos, sendo uma das das hipóteses a própria falta de informações seguras para a realização do projeto e a outra, mais plausível, de que o investimento não é interessante do ponto de vista econômico. Esta dissertação buscou sanar estas duas perguntas, disponibilizando as informações seguras e organizadas para o projeto de um equipamento e apresentando uma perspectiva positiva para o investimento no desenvolvimento da tecnologia. Analisando-se os resultados obtidos, acredita-se que os objetivos foram alcançados com sucesso.

Com a disponibilização destas informações, o presente trabalho contribui oferecendo um panorama geral sobre o tema para aqueles que desejam realizar o desenvolvimento de um equipamento e também para empresários que desejam investir na cocoicultura em geral. Do ponto de vista acadêmico, o trabalho colabora na área de projetos em geral, mais especificamente no projeto de máquinas agrícolas, apresentando uma forma de se realizar o projeto informacional do equipamento.

Por fim, espera-se que este trabalho colabore para uma maior iniciativa do desenvolvimento de equipamento para a colheita e também para uma possível expansão do cultivo do coqueiro. Espera-se também que este trabalho contribua não somente para a cocoicultura, mas também para agricultura brasileira, motivando a introdução de novos equipamentos para melhorar os processos e auxiliar a oferta de produtos para o mercado nacional e internacional, contribuindo conseqüentemente para a economia brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, A.; GIRISH, M.; VITALA, R.; PRAVEEN, M. P. Design of Harvesting Mechanism for Advanced Remote-Controlled Coconut Harvesting Robot (A.R.C.H-1). **Indian journal of Science and Technology**, Vol. 7 (20), p. 1465-1470, 2014.

AKYURT, M.; REHBINI, E.; BOGIS, H. AND ALJINAIDI, A. A. A survey of mechanization efforts on date palm crown operations, In: The Saudi Engineering Conference, 6th, 2002, Dhahran. **Anais... KFUPM**, 2002. v. 5, p. 475-489.

ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; GAMERO, C. A. Desenvolvimento e projeto da colhedora de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para a Agricultura familiar nas regiões de matas de transição da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 41, n. 1: p. 337-346, 2011.

ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S; LOPES, O. C.; MELLO, C. A.; GAMERO, C. A. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para a Agricultura familiar. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 3, p. 337 – 346, 2007.

ALI T.; AKYURT M. Design of a Hi-lift Gripper for Palm Trees. **APPLIED ENGINEERING IN AGRICULTURE**, ASAE, v. 14, n. 3, p. 215-221, 1998.

AL-SUHAIBANI, S.A.; BABAEIR, A.S.; KILGOUR, J.; FLYNN, J.C.; The Design of a Date Palm Service Machine. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 40, n. 2, p. 143-157, 1988.

AL-SUHAIBANI; S.A.; BABAEIR, A.S.; KILGOUR, J.; Design specification of a date palm service machine. **AMA: Agriculture mechanization in Asia**, Tóquio, v. 21, n. 4, p. 53-60. 1990.

AL-SUHAIBANI, S.A.; BABAEIR, A.S.; KILGOUR, J.; BLACKMORE, S.; Field Tests of the KSU Date Palm Machine. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 51, n. 4, p. 179-190, 1992.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI/SIA A92.2:** American National Standard for Vehicle-mounted elevating and rotating Aerial Devices. New York, 2009. 62 p.

_____. **ANSI/SIA A92.5:** American National Standard for Boom-Supported Elevating Work Platforms. New York, 2006. 44 p.

_____. **ANSI/SIA A92.6:** American National Standard for Self-propelled Elevating Work Platforms. New York, 2006. 44 p.

ARAGÃO, W. M. (Ed.) **Coco. Pós-Colheita.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 76 p.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. Programas do FNE. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/web/guest/creditos-para-comercializacao>>. Acesso em 25 Mai. 2017.

BANKHAR, A. A.; AKYURT, M. A tree-Climbing Buggy for Date Palms.; In: SAUDI ENGINEERING CONFERENCE, 4., 1995, Jeddah. **Proceedings...** [S.l.: s. n.], 1995. v. 4. p. 171-177.

BRITO, FAUSTO; HORTA, CLÁUDIA; AMARAL, EF DE L. A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas. In: **XXIV IUSSP General Conference.** 2001. p. 168-184.

BROWN, G. K.; SARIG, Y.; PERKINS, R. M. Date production mechanization worldwide. In: International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Harvesting Mechanization, 1983, Bet Dagan, Israel. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1983 p. 171-177.

CAMPBELL-FALCK, D.; THOMAS, T.; FALCK, T. M.; TUTUO, N.; CLEM, K. The Intravenous Use of Coconut Water. **American Journal of Emergency Medicine.** Vol. 18, n.1, p. 108 – 111, 2000.

CHAVES, Thiago. **Pesquisa inédita tenta comprovar em dados os riscos da coleta do açaí.** Instituto Peabiru. 1 fotografia, 1 color. Disponível em <<https://peabiru.org.br/2015/11/26/pesquisa-inedita-tenta-comprovar-em-dados-os-riscos-da-coleta-do-acai/>>. Acesso em 25 de Mai. 2017

CHUNG KUO PING AT RICHARD. **A method and apparatus for harvesting fruit,** AU2008200703-A1. AU. n. AU2008200703-A1. 12 Fev. 2007, 28 Ago. 2008.

CUENCA, M. A. G. Coeficientes Técnicos e custos de produção da cocoicultura irrigada no Brasil. In: FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. (Ed.) **Sistemas de Produção para a Cultura do Coqueiro.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002, p. 58 – 62. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Sistemas de Produção, 1)

DEVLIN, E. **Vita Coco Coconut water sales rocket despite Innocent entry.** Disponível em <<http://www.thegrocer.co.uk/finance/results/vitacococonutwatersalesrocketdespiteinnocententry/526560.article>>. Acesso em 20 de Jun. 2016

EUROMONITOR INTERNATIONAL, **Coconut water - a world of opportunity.** Disponível em <<http://blog.euromonitor.com/2011/06/coconut-water-a-world-of-opportunity.html>>. Acesso em 20 de Jun. 2016.

FADEL, M. A.; Development of a tractor-mounted date palm tree service machine. **Emirates Journal of Agricultural Sciences**, [S.l.], v. 17, n. 2. p. 30-40, 2005.

FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. (Ed.) **Sistemas de Produção para a Cultura do Coqueiro.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002, 63 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Sistemas de Produção, 1).

GUO, C & GUO Z. **Remote-control self-propelled artificial auxiliary picking machine for coconuts.** CN 103597957-A. CN. n. CN10581400. 20 Nov. 2013, 26 Fev. 2014

HAINAN UNIVERSITY. LIANG D.; GUO Z.; YUAN C. **Hydraulic Coconut Picking Machine.** CN101773022 A, CN. N. 201010123328. 5 Fev. 2010, 14 Jul. 2010.

IDOETA, P. A. **Indústria do coco cresce, mas alto desperdício gera desafio tecnológico.** Disponível em <
www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2014/02/140207_coco_reciclagem_abre_pai.shtml >
 acesso em 20 de Jun. 2016.

JI, S. **Coconut Water: Far More than just a Refreshing Beverage.** Disponível em <
<http://www.greenmedinfo.com/blog/coconut-water-far-more-just-refreshing-beverage> >.
 Acesso em 20 de Jun. 2016

JIANGMEN CHAOYANG PREC MFG CO LTD. LIN C. **Electric Palm picking machine.** CN103535157 A. CN. n. 201420343115 14 Jun. 2013, 29 Jan. 2014.

KAWAHARA, Y. **Concepção de projeto mecânico de um equipamento para a colheita de açaí.** 2014. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2014.

KERAMAT JAHROMI M.; MIRASHEH R.; JAFARI A.; Proposed Lifting Model for Gripper Date Palm Service Machines. **Agricultural engineering international: THE CIGR EJOURNAL**,; v. 10, 2008. Manuscript PM 08 018.

LI, H.; **Telescopic tongs type fruit picking machine.** CN200966241 Y, CN. n. CN 200620022532. 16 Nov. 2006, 31 Out. 2007.

MARTINS, C. R.; JESUS JR., L. A. **Produção e comercialização de Coco no Brasil Frente ao Comércio Internacional: Panorama 2014.** Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014, 53 p.

MARTINS, P.G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção.** São Paulo: Saraiva, 1998. 443 p.

MEIO AMBIENTE, AÇAÍ E FARINHA. **Para os piedosos de si mesmo, a Peconha.** 1 fotografia, color. Disponível em <
<http://meioambienteacaiefarinha.blogspot.com.br/2015/12/para-os-piedosos-de-si-mesmo-peconha.html> >. Acesso em 25 de Mai. 2017

NIEBEL, B. W. **Motion and Time Study**. Eighth Edition. Irwin, Homewood, Illinois, 1988. P.416

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIREDO, F. J.C.; MÜLLER, A. A. (Ed.) **Açaí**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005, 137 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de Produção, 4).

NOURANI, A.; PEGNA, F. G. Proposed harvester model for palm date fruit. **Journal of Agricultural Technology**, [S.l.], v. 10, n. 4, p. 817-822. 2014.

PACHECO, E. P.. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21 p. (Embrapa Acre. Documentos, 58).

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Engineering Design: a systematic approach**. 3rd Edition. Tradução: Ken Wallace e Luciënne Blessing. London: Springer-Verlag, 2007. 617 p.

PADILHA, J. C. C. **Orçamento Guindastes PALFINGER - PKB 15500 - EMBRAPA (São Carlos-SP) - A/C Beatriz [mensagem pessoal] Mensagem recebida por <bforastiere@gmail.com>** em 21 Dez. 2016

PEGNA, F. G. Self-moved ladder for date palm cultivation.; In: INTERNATIONAL CONFERENCE: INNOVATION TECHNOLOGY TO EMPOWER SAFETY, HEALTH AND WELFARE IN AGRICULTURE AND AGRO-FOOD SYSTEMS, 3, 2008, Ragusa. **Proceedings...** Ragusa: Ragusa SHWA.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. Estudo de tempos, movimentos e métodos. In:_____. **Administração da Produção (Operações Industriais e Serviços)**. Curitiba: UnicenP. 2007. p. 85 – 138.

PRATES, W. R. **O que é TIR?**. 28 Jun. 2016 Disponível em < <http://www.wrprates.com/o-que-e-tir-taxa-interna-de-retorno/> > Acesso em 22 Jun. 2017.

QUARTZ, **The American coconut-water craze in one health-nut-approved chart.** Disponível em < <http://qz.com/202259/the-american-coconut-water-craze-in-one-health-nut-approved-chart/>>. Acesso em 20 Jun. 2016.

REBELATTO, D. et al. (Org.) **Projeto de Investimento:** Com estudo de caso competo na área de serviços. Barueri: Manole, 2004. 329 p.

RESENDE, R. S.; DE AMORIM, J. R. A.; CRUZ, M. A. S. Uso da água no distrito de irrigação platô de Neópolis, em Sergipe. In: XXV Congresso Nacional de irrigação e Drenagem, 2015; **Anais eletrônicos...** Aracaju: ABID, 2015. Disponível em < <http://www.abid.org.br/cd-xxv-conird/GESTAO.html> >. Acesso em 26 Mai. 2017

RIPIN, Z.M.; SOON, T. B.; ABDULLAH A.B.; SAMAD, Z. Development of a Low-Cost Modular Pole Climbing Robot. In: TENCON 2000, 2000; [S.l.]. **Proceedings...** Kuala Lumpur: IEEE, 2000. p. 196-200.

RONDÓ, W. **Água de Coco traz diversos benefícios à saúde.** Disponível em: < <http://www.minhavidacom.br/alimentacao/materias/12560-agua-de-coco-traz-diversos-beneficios-a-saude>>. Acesso em 20 de Jun. 2016.

SANHE YONGJIA POWER CO LTD. CHEN, Y.; LIU, S.; WU, T. AND ZHANG, Y.; **Stretchable fruit harvester.** CN202455845 U. CN. n. 201120503894 07 Dez. 2011, 03 Oct. 2012.

SCHÄFER, J. **An einer im wesentlichen senkrecht stehenden Gegenstand verfahrbares Gerät mit einem Transportgutträger.** DE3229186-A1. DE. n. DE1982322186. 05 Ago. 1982, 16 Fev. 1984.

SCHÄFER, J. **Verfahren und Gerät zum Ernten von auf Bäumen wachsenden Früchten.** DE3509159C2. DE. n. DE19853509159. 14 Mar. 1985, 19 Mar. 1987.

SHAMSI, M.; **Design and development of a date harvesting machine.**1998, 235 p. Tese (Doutorado), Cranfield University, Cranfield, 1998. Orientador: John Kilgour.

SILVA, Beatriz Correia Forastiere. **Matriz Morfológica_2.pdf**. 2017. 98,8 Kb. Formato pdf.

SILVA, R.P.; FURLANI, C. E. A.; VOLTARELLI, M. A.; TAVARES, T. O. **Custo horário de máquinas agrícolas**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2015.

SOBRATEMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO E MINERAÇÃO. Tabela Custo horário. Disponível em: < <https://www.sobratema.org.br/CustoHorario/Tabela> >. Acesso em: 25 Mai. 2017.

SOURCE HOLDING LTD. BLUNDELL, C.; STANNERS, G. H. **Harvesting Apparatus for tall-growing crops**. WO200158246-A1, CA n. PCT/CA2001/000173.13 Fev.2001, 16 Ago. 2001.

WUXI HUAYING PORTABLE LIGHTING CO LTD. WANG, J.; PEI, H.; YAN, T.; YU, Z. **Palm Fruit Picker**. CN202232186 U. CH. N. PCT/MA2010/00021. 28 Set. 2011, 30 Mai. 2012.

XIE, X. & LI, G. **Coconut Picker**. CN203446220-U. CN. n. CN20529474. 28 Ago. 2013, 26 Feb 2014.

ZHANG, J. **Coconut Picking Device**. CN104054453-A. CN n. CN10278603. 20 Jun. 2014, 24 Sep 2014.

ZINE, E. **Date Harvesting Machine**. WO2011126354-A2. WO. n. WO2011126354A3.05 Abr. 2010, 13 Out. 2011.

APÊNDICE A – Cálculo do custo diário de um operário

O salário do operador é calculado baseando-se na metodologia apresentada por Pacheco (2000). Para o cálculo, considera-se que o salário do operador é 50% a mais do valor do salário mínimo, e aplica-se 20% de custos de encargos sociais sob este valor. Considera-se também o décimo terceiro salário, e que um mês possui 20 dias e trabalho.

$$SO = \frac{13 SM}{12 \cdot 20} \quad (19)$$

$$SM = 1,2(1,5 S_{min}) \quad (20)$$

Onde:

- SO : Salário diário do Operador [R\$/dia]
- SM : Salário Mensal [R\$/mês]
- S_{min} : Salário Mínimo [R\$]

Considerando-se que o valor do salário mínimo é de R\$ 880,00; obtém-se que o salário do operador é de R\$ 85,80/dia.

APÊNDICE B – Cálculo do tempo de colheita por pessoa

Nesta seção será apresentado a forma de conversão de unidades do tempo de colheita em segundos por pé (t_c) para o número de dias de trabalho por ano-hectare (n_d) e vice-versa.

Deseja-se obter a quantidade de dias por ano por hectare necessários a partir do tempo de colheita. A partir da pesquisa, sabe-se que esta é dada em $\left[\frac{s}{pé.mês.pessoa}\right]$, uma vez que é aferida o tempo necessário para a colheita em um pé de coco, que é realizada uma vez por mês devido a característica de crescimento dos cocos. A unidade “pessoas” no denominador deve-se pelo fato da necessidade de considerar a quantidade de pessoas que estão trabalhando no processo, para se calcular posteriormente o custo total do processo. Por exemplo, se a colheita tem duração de 30s, e uma equipe de 3 pessoas, o dono do cultivo deve pagar por 90 s de trabalho.

Sabendo-se que 1 hectare possui 205 pés, 1 ano possui 12 meses, 1 hora possui 3600s, considerando que 1 dia de trabalho possui 8 horas, e incluindo o FT para converter o tempo cronometrado em tempo padrão, através da análise dimensional, tem-se:

$$n_d = t_c \cdot 205 \cdot 12 \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{8} \cdot N \cdot FT \leftrightarrow$$

$$\left[\frac{dias}{ano.ha}\right] = \left[\frac{s}{pé.mês.pessoa}\right] \left[\frac{pé}{ha}\right] \left[\frac{meses}{ano}\right] \left[\frac{hora}{s}\right] \left[\frac{dia}{horas}\right] [pessoas][1]$$

$$\leftrightarrow n_d = \frac{41}{480} FT \cdot N \cdot t_c \quad (21)$$

Assim, o tempo de colheita de 20,5 s (Colheita com varas), com $FT = 1,45$ resulta em um coeficiente de $7,6 \frac{dias}{ano.ha}$.

Para se obter o tempo de colheita(t_c) a partir do número de dias, basta obter a inversa da equação anterior, obtendo-se:

$$t_c = \frac{480}{41 \cdot FT \cdot N} n_d \quad (22)$$

Assim, para $6 \frac{\text{dias}}{\text{ano.ha}}$, considerando-se o $FT=1,45$, obtém-se que o tempo de colheita é de $24,22 \frac{\text{s}}{\text{pé.mês.pessoa}}$, um tempo padrão ($FT \cdot t_c$) de 35,12 s.

APÊNDICE C – Obtenção da expressão para cálculo do Custo de colheita (C_{col})

Considerando que os coeficientes técnicos permanecerão os mesmos, o custo total depende basicamente do custo e tempo da operação de colheita. O custo da operação de colheita pode ser dado pela seguinte expressão.

$$C_{col} = C_{man} + C_{mec} = n_{d_{man}} C_{d_{man}} + n_{d_{mec}} C_{d_{mec}} \quad (23)$$

O custo de colheita C_{col} é dado pela soma entre a o custo da parte manual (C_{man}) e o custo da parte mecanizada (C_{mec}). O custo da parte manual por sua vez é dado pelo produto entre o número de dias de trabalho por ano-hectare para a operação de colheita ($n_{d_{man}}$) e o custo diário da operação ($C_{d_{man}}$). O custo da parte mecânica ($C_{d_{mec}}$) pode ser obtido de forma análoga.

Normalmente, o custo da máquina é dado na forma de custo horário. Considerando que um dia de trabalho tem 8 horas, tem-se:

$$C_{d_{mec}} = 8C_{h_{mec}} \quad (24)$$

O custo horário da parte mecânica ($C_{h_{mec}}$) pode ser calculado adotando-se a metodologia proposta por Pacheco, et al. (1990), que é dado por:

$$C_{h_{mec}} = CF + CV \quad (25)$$

Onde:

- CF: Custo fixo do equipamento [R\$/h]
- CV: Custo variável da máquina [R\$/h]

O custo fixo é dado por meio da soma aa depreciação (D), Juros (J), Alojamento (AL) e o seguro (S), conforme equação 26. O custo variável é obtido através da soma dos custos de Combustíveis (C), Lubrificantes (L), Reparos e manutenção (RM) e Salário do Operador (SO)

$$CF = D + J + AL + S \quad (26)$$

$$CV = C + L + RM + SO \quad (27)$$

Realizando-se as simplificações propostas na referência e por Silva *et al.* (2015), tem-se que:

$$D = \frac{(P-S)}{VU} = \frac{(0,9P)}{VU} \quad (28)$$

$$J = 0,02475 \frac{P}{u} \quad (29)$$

$$AL = 0,01 \frac{P}{u} \quad (30)$$

$$S = 0,01 \frac{P}{u} \quad (31)$$

Onde:

- P : Preço do equipamento
- VU : Vida útil do equipamento [h]
- u : tempo em horas que a máquina irá operar por ano [h]

O u pode ser dado em função do número de dias de trabalho da máquina por ano ($n_{d_{mec}}$), segundo a seguinte equação:

$$u = 8.A.n_{d_{mec}} \quad (32)$$

Em que

- A: número de hectares do cultivo que a máquina irá operar [ha]

Substituindo na equação do Custo fixo, tem-se:

$$CF = \left(\frac{0,9}{VU} + \frac{0,04475}{8.A.n_{d_{mec}}} \right) P \quad (33)$$

Logo o custo horário da máquina é dado por:

$$C_{h_{mec}} = \left(\frac{0,9}{VU} + \frac{0,04475}{8.A.n_{d_{mec}}} \right) P + CV \quad (34)$$

Portanto:

$$C_{col} = n_{d_{man}} C_{d_{man}} + n_{d_{mec}} 8 \left[\left(\frac{0,9}{VU} + \frac{0,04475}{8.A.n_{d_{mec}}} \right) P + CV \right] \leftrightarrow$$

$$C_{col} = n_{d_{man}} C_{d_{man}} + \left(\frac{7,2.n_{d_{mec}}}{VU} + \frac{0,04475}{A} \right) P + n_{d_{mec}} 8CV \quad (35)$$

Sabe-se do apêndice B que é possível obter o $n_{d_{man}}$ em função do tempo de colheita através das seguintes expressões.

$$n_{d_{man}} = \frac{41}{480} FT \cdot N_{man} \cdot t_c \quad (36)$$

$$n_{d_{mec}} = \frac{41}{480} FT \cdot N_{mec} \cdot t_c \quad (37)$$

Onde $N_{p_{man}}$ é o número de pessoas trabalhando na parte manual e $N_{p_{mec}}$ é o número de pessoas na parte mecânica. Introduzindo-se em 36, e desenvolvendo a expressão, tem-se:

$$C_{col} = \frac{41}{480} FT (N_{man} C_d + 8 N_{mec} CV) \cdot t_c + \frac{[0,615 FT \cdot A \cdot N_{mec} \cdot t_c + 0,04475 \cdot VU]}{A \cdot VU} P \quad (38)$$