

**Universidade Federal de São Carlos  
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica**

**Monografia**

**IMPLEMENTO DE TRATOR PARA AUXÍLIO NA PODA DE BROTOS  
DE ÁRVORE EM ALTURA**

**Orientador:  
Prof. Dr. Gustavo Franco Barbosa**

**Aluno:  
Pedro Curto Napolitano**



São Carlos - SP – 2020

PEDRO CURTO NAPOLITANO

IMPLEMENTO DE TRATOR PARA AUXÍLIO NA PODA DE BROTOS DE  
ÁRVORE EM ALTURA

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Mecânica da  
Universidade Federal de São Carlos  
para obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo  
Franco Barbosa

São Carlos - SP – 2020

**DEDICATÓRIA**

À Marcelo e Maristela, que foram e continuam sendo meus pilares de vida, sendo exemplos de inúmeras virtudes.  
À Vicente, a pessoa mais engenhosa que conheço, que me ensinou que para tudo há solução.

## AGRADECIMENTOS

Para agradecer de forma justa, é necessário lembrar de quem esteve na caminhada até este ponto, e que impulsionou essa jornada para torná-la viável.

Os primeiros a aparecerem nessa lista são meus pais, Marcelo e Maristela, que nunca pouparam esforços para garantir a melhor educação possível. Além disso, sempre foram compreensivos e prestativos em todas as fases da minha vida. Sem dúvida foram os principais atores que me garantiram uma base sólida para eu trilhar uma vida próspera e feliz.

Fora eles, o apoio e incentivo por parte de toda minha família, com certeza, mantiveram minha motivação alta e proporcionaram um ambiente saudável para que eu pudesse focar nos meus estudos.

Se tratando de vida acadêmica, nada pode ser feito sem a tutoria das dezenas de professores e profissionais da educação que cruzam as diversas etapas do ensino. Hoje, chegando no ápice da vida acadêmica, agradeço a cada um por sua parcela de contribuição, que, de sua forma, foi essencial na minha construção como aluno.

Sobre esses, gostaria de mencionar especialmente meu orientador, Gustavo, que conheci logo no meu primeiro dia de faculdade. Tive o privilégio de desenvolver uma relação de amizade com ele durante os últimos anos, que resultou em ele me guiar nessa jornada do desenvolvimento da monografia. Sem dúvidas, foi uma honra desenvolver tantos projetos ao seu lado.

Por fim, mas com uma relevância enorme, me lembro de todos os amigos de curso que, cada um à sua maneira, tornaram essa trajetória mais divertida e leve. Em específico, os meus grandes companheiros: Amanda, Bambam, Filipe, Relâmpago e Parsek. Muito obrigado pela parceria!

## RESUMO

---

Devido às preocupações crescentes com o meio ambiente, o consumo legal de madeira depende das chamadas madeiras de reflorestamento, cuja origem é de árvores plantadas para esse fim. Para que esse plantio seja mais eficiente e rentável, um dos procedimentos utilizados é a poda de brotos (novos galhos). Enquanto as árvores apresentam até 5 metros de altura, o processo pode ser feito por meio de tesouras especiais ou serras com extensores. Porém, ao passar desse limite, a poda acaba dependendo de implementos agrícolas de altos custo e complexidade. Dessa forma, tem-se a possibilidade do desenvolvimento de um mecanismo que se estabeleça no meio desse espectro, em atendimento à necessidade presente. Diante dessa demanda, essa pesquisa contempla a concepção de uma solução integrada, composta por elementos comerciais simples e já disponíveis no mercado, como extensores telescópicos e serra circular, a fim de auxiliar na poda em alturas maiores de forma semiautomática, de maneira simples e acessível financeiramente (baixo custo). Assim, um operador é capaz de escolher os brotos a serem cortados e realizar o procedimento em altura variável de até 12 metros com auxílio de um equipamento acessível, simples e funcional.

**Palavras-chave:** Implemento agrícola para poda. Maquinário para poda de árvore. Implemento para remoção de brotos de árvore.

## ABSTRACT

Due to growing concerns about the environment, consumption of legal timber relies on so-called reforestation timber, whose origin is from planted trees for this specific need. In order to make this plantation more efficient and profitable, one of the commonly used procedures is sprout (new and small branches) pruning. While the trees are shorter than 5 meters, the process can be done using special shears or saws with extenders. However, after they grow beyond this point, pruning becomes dependent on high-cost and high-complexity agricultural implements. Thus, there is the possibility of developing a new mechanism that establishes itself in the middle of this spectrum, meeting the current demand. In the face of this need, this project contemplates the conception of an integrated solution, made of simple commercial elements that are already available in the market, such as telescopic extenders and circular saw. The arrangement will allow the development of the project of a semiautomatic implement whose function is to help sprouts pruning in greater heights, being simple and accessible financially. Therefore, an operator is capable of choosing which sprouts need to be cut and perform the procedure in variable heights until 12 meters with the aid of an accessible, simple and functional equipment.

**Key word:** Pruning agricultural implement. Tree pruning machinery. Tree branch removal implement.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) Tesoura para poda (esq.) e (b) Serrote para poda (dir.) .....	14
Figura 2 – (a) Serrote estático com cabo extensível (sup.) e (b) Serrote móvel com cabo extensível (inf.).....	14
Figura 3 – (a) Podador de altura elétrico (sup.) e (b) Podador de altura à gasolina (inf.) .....	15
Figura 4 – (a) Implemento para poda com dois discos e (b) Implemento para poda com quatro discos .....	15
Figura 5 – Conceito ilustrado da solução proposta.....	17
Figura 6 – Carreta Prancha Facchini 5x2m de 5 toneladas .....	18
Figura 7 – Torre telescópica Bit Eletronics de 15 metros .....	19
Figura 8 – Extensão telescópica de 9 metros em alumínio.....	20
Figura 9 – Podador de galhos com haste telescópica Tekna PA750T1 .....	20
Figura 10 – Representação 3D da montagem do suporte principal.....	22
Figura 11 – Representação 3D da montagem explodida do suporte principal .....	23
Figura 12 – Suporte de interface entre extensão telescópica de controle e extensão da serra..	24
Figura 13 – Esquemático 3D da solução com seus diversos elementos.....	26
Figura 14 – Esquemático 3D de detalhe da solução no topo da torre .....	27

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Mapa de características de cada solução disponível.....	16
Tabela 2 – Elementos da solução e respectivos preços .....	25



## SUMÁRIO

RESUMO .....	5
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
3.1 Artigos acadêmicos .....	12
3.1.1 Biomassa .....	12
3.1.2 Maquinários avançados para poda .....	13
3.2 Produtos existentes.....	13
3.2.1 Tesoura e serrote para poda.....	13
3.2.2 Serrote manual para poda em altura.....	14
3.2.3 Podadores de altura motorizado .....	14
3.2.4 Implementos agrícolas.....	15
3.3 Avaliação de lacunas de mercado .....	16
4 METODOLOGIA.....	17
4.1 Proposta de nova solução .....	17
4.2 Elementos comerciais.....	18
4.2.1 Carreta para trator.....	18
4.2.2 Torre telescópica de apoio.....	18
4.2.3 Tubo extensor de controle .....	19
4.2.4 Serra motorizada .....	20
4.3 Elementos customizados .....	21
4.3.1 Suporte principal de integração entre torre e serra.....	21
4.3.2 Suporte de interface entre extensão de controle e serra .....	23
4.4 Viabilidade .....	24
5 RESULTADOS E CONCLUSÕES .....	25
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28

## 1 INTRODUÇÃO

---

De acordo com as leis ambientais vigentes no país, não é permitido o uso comercial de árvores nativas, fazendo-se necessário o plantio para esse fim. Assim, surge o ramo de empresas responsáveis pela produção e venda adequada dessa mercadoria. Uma tendência nessa área é o de cultivo de árvores do gênero *Khaya*, conhecidas no território nacional, genericamente, como mogno-africano. A escolha desse gênero se deve pelo seu potencial econômico, por se tratar de uma madeira nobre e com diversas aplicações possíveis.

Naturalmente, buscam-se métodos para maximizar o lucro com esse cultivo. Para esse gênero, um dos métodos é garantir a uniformidade e a retidão da árvore, resultando em maior aproveitamento da madeira. Para atingir esses parâmetros, realiza-se a poda de novos galhos quando esses são apenas brotos no tronco principal da árvore.

Essa poda pode ser feita de forma mecanizada, utilizando grandes e caros implementos agrícolas de corte, ou de forma manual, empregando alicates de corte ou serras automatizadas de mão. O problema para o tipo manual é realizar tal procedimento quando os brotos começam a aparecer em alturas superiores a 5 metros, visto que existem extensores de 3 metros para serras manuais.

Portanto, as únicas maneiras viáveis de fazer a poda em alturas elevadas envolvem desvantagens relevantes: para o uso de implementos automatizados de corte ou de elevação do operador, faz-se necessário grande investimento; para o uso de escadas e corte manual, existe uma preocupação com a segurança do operador, mas gera uma perda de eficiência muito grande, dado o tempo necessário para posicionar a escada em cada árvore.

A proposta desse projeto é, justamente, oferecer uma alternativa que mitigue essas dificuldades apresentadas: um implemento mais acessível financeiramente e que auxilie na poda em alturas mais elevadas, garantindo a segurança do operador e a eficiência do processo.

## **2 OBJETIVOS**

---

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo principal do presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é desenvolver o projeto conceitual de um implemento agrícola para trator que, através da integração de produtos comerciais e peças customizadas, permita a poda de árvores em altura de até 12 metros, de forma que a solução seja acessível financeiramente, seguro, simples e eficiente.

Nota-se que, por se tratar da proposta de um projeto conceitual, o trabalho não apresenta discussões técnicas e normativas mais aprofundadas, já que o objetivo é propor uma abordagem inicial inovadora para poda de árvores.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Escolher elementos comerciais para a solução;
- Desenvolver componentes customizados para integração da solução;
- Avaliar o custo total da solução.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

A literatura apresenta poucos artigos que abordem diretamente a concepção de uma solução para poda em altura de árvores. Entretanto, sabe-se que o mercado já oferece mais de uma solução para a poda, mas não relatadas em artigos acadêmicos.

Dessa forma, a revisão bibliográfica está dividida em três partes: artigos acadêmicos que abordam temas similares ao tratado nesse projeto de pesquisa; produtos com o mesmo objetivo, disponíveis para venda, que são mais comparáveis com o projeto desenvolvido e; avaliação das lacunas de mercado, dadas as soluções já comercializadas.

#### 3.1 Artigos acadêmicos

Como citado anteriormente, os artigos acadêmicos encontrados tangenciam o tema principal em alguns aspectos, não resultando em nenhum artigo diretamente comparável ao desenvolvido nesse projeto. De toda forma, como parte da pesquisa, os textos mais relevantes estão apresentados.

##### 3.1.1 Biomassa

Pari *et al.* (2016) apresentam um estudo sobre controle do tamanho de lascas de madeira, provenientes da trituração de restos de poda de pessegueiros. A motivação do estudo vem de entender como diferentes parâmetros afetam as dimensões dessas lascas, a fim de que elas atendam as normas europeias para uso como biomassa.

Velázquez-Martí *et al.* (2011) fizeram uma abordagem com o objetivo de quantificar a biomassa residual da poda de amendoeiras. Através da variação de parâmetros e modelos de regressão, foi possível ter equações para prever o peso de biomassa (seca) por árvore, ou também por hectare.

Spinelli, Magagnotti e Nati (2010) trazem uma visão mais financeira, avaliando se coletar os restos de poda de videiras e destinar para locais que utilizam biomassa como fonte de energia é rentável ou não, e em quais condições é melhor para desenvolver esse reuso de subprodutos. Spinelli e Picchi (2010) também trazem essa visão para a poda de oliveiras, investigando custos de máquinas e desenvolvendo modelos de previsão de produtividade, custos e ponto de *break-even* de investimento (parâmetros específicos que não oferecem nem lucro nem perda para o investidor)

### **3.1.2 Maquinários avançados para poda**

Ueki *et al.* (2011) mostram o desenvolvimento de um robô autônomo capaz de realizar a poda de árvores pelo método de escalá-las. A abordagem do mecanismo para realizar essa ação assemelha-se com a de lenhadores, que escalam árvores utilizando apenas cordas que envolvem a árvore e o próprio corpo (centro de massa externo à árvore).

Já Botterill *et al.* (2017) propõe um sistema ainda mais complexo para a poda de videiras: através de uma plataforma móvel, câmeras fazem o escaneamento da fileira, que é reconstituída em 3D por um sistema computacional. Assim, utilizando inteligência artificial, decidem-se quais galhos podar, ação que é realizada por um braço robótico de 6 graus de liberdade.

Sessiz e Özcan (2005) expõe a criação de um mecanismo responsável por chacoalhar galhos de oliveira e, assim, realizar sua colheita. Para isso, estudaram os parâmetros de força necessária para separação (entre o fruto e o galho) e também o peso das azeitonas. Assim, foram capazes de calibrar a máquina para operar com sucesso, dados diferentes tempos de colheita.

## **3.2 Produtos existentes**

Para fim de comparação comercial e viabilidade financeira, é necessário avaliar as soluções já propostas e presentes no mercado. Estas soluções são variadas, partindo de ferramentas totalmente manuais e simples, e indo até implementos agrícolas de grande porte, para poda em escalas de latifúndios.

### **3.2.1 Tesoura e serrote para poda**

Partindo dos dispositivos mais simples, têm-se a tesoura e o serrote para poda, dispostos nas Figura 1. Nota-se que o uso destas ferramentas é exclusivo ao alcance humano, limitando seu uso para árvores mais altas, como desejado. Os preços praticados para a tesoura são na faixa de R\$20; e R\$70 para o serrote.

Figura 1 – (a) Tesoura para poda (esq.) e (b) Serrote para poda (dir.)

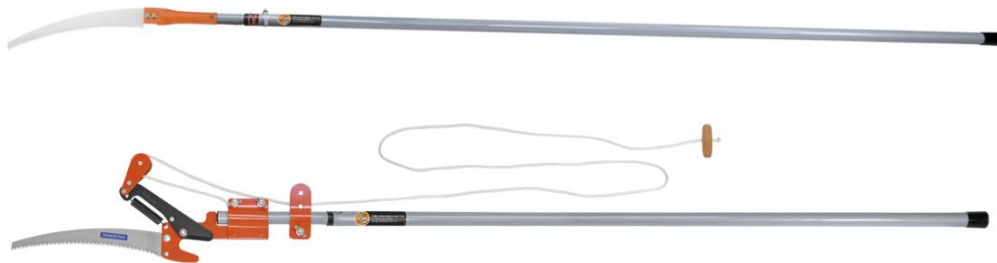


Fonte: Tramontina

### 3.2.2 Serrote manual para poda em altura

Avançando na complexidade das ferramentas, existem dois tipos de serrotes manuais para podas em altura, ilustrados na Figura 2. Um deles é estático (serrote fixo ao cabo de controle), enquanto o outro possibilita o movimento exclusivo do serrote através de um mecanismo de mola e corda. Existem duas variações para o cabo: metálico extensível em até 3 metros; e de madeira (não extensível) de 1,5 metro.

Figura 2 – (a) Serrote estático com cabo extensível (sup.) e (b) Serrote móvel com cabo extensível (inf.)



Fonte: Tramontina

Os preços para os modelos mostrados são em torno de R\$180 para o estático, e de R\$250 para o de mecanismo móvel.

### 3.2.3 Podadores de altura motorizado

A próxima evolução dos serrotes com cabos extensíveis apresentados acima é a sua motorização, podendo esta ser por motor elétrico ou à gasolina, ambos mostrados na Figura 3. O primeiro tipo é mais prático (*plug and play*) e também mais barato, custando por volta de R\$600. Já o segundo tipo é mais complexo e mais caro, ficando em torno de R\$1000.

Entretanto, o motor à gasolina permite maior flexibilidade quanto ao local de uso, por não precisar de uma tomada elétrica para funcionamento.

Figura 3 – (a) Podador de altura elétrico (sup.) e (b) Podador de altura à gasolina (inf.)



Fonte: Nagano

### 3.2.4 Implementos agrícolas

No extremo do espectro de complexidade e mecanização estão os diversos tipos de implementos agrícolas de poda para trator. Existem arranjos com serras opostas, como mostrado na Figura 4, e também com serras em linha. Os implementos que se utilizam de braços hidráulicos permitem tanto a poda de topo, quanto a poda de lateral da plantação. Existem tipos específicos que só fazem uma das funções.

Figura 4 – (a) Implemento para poda com dois discos e (b) Implemento para poda com quatro discos



Fonte: Luma Implementos

Dadas as diversas variações possíveis, tanto de modelo, quanto de fabricante, é difícil precisar um preço. Entretanto, sabe-se que o modelo com dois discos parte de R\$100.000.

### 3.3 Avaliação de lacunas de mercado

Apresentadas as soluções disponíveis no mercado, é possível mapear suas vantagens e desvantagens, de acordo com o uso desejado. Para a proposta desse projeto, avaliaram-se os diferentes itens de acordo com características chave. Essa avaliação está na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Mapa de características de cada solução disponível

Característica	Tesoura e serrote	Serrote de altura	Podador motorizado	Implementos agrícolas
<b>Custo</b>	+	+	+	+++
<b>Manutenção</b>	-	-	++	+++
<b>Viável em até 5m</b>	-	+	++	+++
<b>Viável em até 12m</b>	-	-	-	+++
<b>Complexidade</b>	-	-	+	+++
<b>Eficiência</b>	+	+	++	+++

Legenda: “-” Não aplicável; “+” Baixo/Pouco; “++” Médio; “+++” Alto/Muito

Fonte: Próprio autor.

Como é possível notar, há uma lacuna para soluções que permitam a poda em até 12 metros de altura, mas que seja simples, eficiente e de baixo custo de aquisição e manutenção.



## 4 METODOLOGIA

---

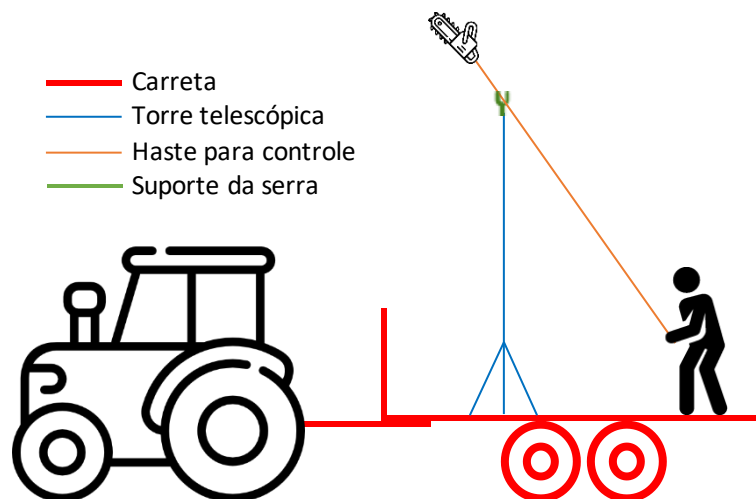
Com base no propósito desse projeto, tem-se o desenvolvimento da metodologia dividido em quatro blocos, sendo eles: proposta de nova solução, escolha de itens comerciais, desenvolvimento de peças customizadas e avaliação final de viabilidade.

### 4.1 Proposta de nova solução

Diante das pesquisas e estudos realizados no tocante à disponibilidade de soluções que atendam as necessidades em questão, buscou-se desenvolver um equipamento capaz de suprir as deficiências encontradas.

Para isso, optou-se por elaborar um equipamento que permitisse o uso das ferramentas mais simples já existente, integrando-as de uma forma inovadora, maximizando eficiência, simplicidade e acessibilidade financeira. O conceito desenvolvido está na Figura 5 abaixo.

Figura 5 – Conceito ilustrado da solução proposta



Fonte: Próprio autor.

Destaca-se que não se preferiu automatizar completamente o processo a fim de manter a simplicidade e o baixo custo. Contudo, priorizou-se o uso de uma serra motorizada, para não comprometer tanto a eficiência da ação.

Outro ponto a ser notado é que o suporte da serra está simplificado apenas para propósito de representação. Esta peça será fundamental para o conjunto, e terá um desenvolvimento mais aprofundado.

## 4.2 Elementos comerciais

A fim de seguir a proposta de produzir uma solução simples, a abordagem é usar o maior número possível de elementos comerciais, integrando-os com os elementos customizados.

Dessa forma, os produtos utilizados serão: carreta para trator, torre telescópica (responsável pelo suporte da serra), motosserra (elétrica ou à gasolina) e extensor telescópico (para controle da serra em altura).

### 4.2.1 Carreta para trator

Buscando facilitar a montagem do conjunto, optou-se por utilizar uma carreta já disponível no mercado, que atende às normas vigentes, e tem qualidade garantida. Assim, não é necessário despender tempo avaliando a construção de uma carreta semelhante às disponíveis.

Visando, facilitar o acesso do operador da serra à carreta, escolheu-se uma do tipo prancha, que só possui uma das laterais. No empenho de se diminuir ao máximo o custo da carreta, priorizou-se uma de tamanho menor.

Dessa forma, a escolha foi de uma Carreta Agrícola Prancha Facchini, com 5 metros de comprimento e 2 metros de largura, suportando uma carga de até 5 toneladas. O produto está mostrado na Figura 6 abaixo.

Figura 6 – Carreta Prancha Facchini 5x2m de 5 toneladas



Fonte: Facchini

### 4.2.2 Torre telescópica de apoio

Para a torre telescópica, as principais exigências foram de alcançar a altura desejada de 12 metros de altura e de suportar um peso razoável nessa altura. Para ter uma folga no

questo de balanço do peso na altura desejada, escolheu-se uma cuja altura máxima era um pouco superior à de 12 metros.

A torre escolhida, mostrada na Figura 7, possui 15 metros de altura máxima, divididos em 5 segmentos telescópicos de 3 metros. Suporta uma carga de 10 kg no seu topo e é da marca Bit Eletronics. A sua fixação se dá pelo acoplamento do seu suporte na carreta, através de parafusos e porcas.

Nota-se que, em vez de usar uma torre telescópica, poderia ser utilizada uma plataforma pantográfica. O que dificulta sua aplicação nesse projeto é seu preço, que passa dos R\$35.000 para uma plataforma que alcance 10 metros de altura.

Figura 7 – Torre telescópica Bit Eletronics de 15 metros



Fonte: Bit Eletronics

#### 4.2.3 Tubo extensor de controle

Para o tubo extensor, procurou-se por uma haste que fosse telescópica para facilitar sua extensão e possibilitar o alcance de em altura. Outro ponto considerado foi o peso, que deveria ser baixo para auxiliar no controle pelo operador.

Assim, o modelo definido foi a Bralimpia Extensão Telescópica 9 metros, mostrada na Figura 8 abaixo. A sua ponta roscada auxilia na integração com a extensão do podador.

Figura 8 – Extensão telescópica de 9 metros em alumínio



Fonte: Bralimpia

#### 4.2.4 Serra motorizada

Para a definição da serra motorizada, avaliaram-se as desvantagens de cada tipo de motorização, e como contorná-las. A serra à gasolina, apesar de não depender de tomada elétrica, tem peso total muito próximo ao suportado pela torre. Uma forma de solucionar isso seria utilizá-la com o motor sendo segurado pelo operador, no chão, o que acaba complicando a transmissão de torque entre o motor e a serra, que é feita por eixo cardã, limitando e complicando a extensão de 10 metros.

Dessa forma, a opção foi de utilizar uma serra elétrica, cuja principal desvantagem é ter que depender de uma tomada de energia de corrente alternada. Assim, se faz necessário adicionar ao sistema um conjunto de baterias e um inversor de correntes (para fazer com que a energia DC das baterias se transforme em AC para uso da serra). Os lados positivos de usar a motorização elétrica é, primeiramente, o peso (próximo a um terço do peso da serra à gasolina) e também a facilidade com que se pode acioná-la a distâncias variáveis, por se tratar de apenas um fio de energia entre a serra e o operador. Assim, para acionar a serra serão utilizados uma de extensão elétrica e um gatilho de 3 níveis para a segurança do operador.

Portanto, a serra escolhida tem motorização elétrica de 750 W, utilizando corrente de 110 V, e da marca Tekna. Seu modelo, PA750T1, já conta com uma haste telescópica de 2,9 metros, totalizando um peso de apenas 3,3 kg. A ferramenta está ilustrada na Figura 9 abaixo.

Figura 9 – Podador de galhos com haste telescópica Tekna PA750T1



Fonte: Dutra Máquinas

Dadas a potência e a voltagem do motor, é possível calcular a amperagem média do seu uso, segundo a Equação 1. Com essa informação e com a Equação 2, é possível escolher uma bateria que forneça horas de uso que tornem o sistema funcional.

$$\text{Potência elétrica [W]} = \text{Amperagem [A]} * \text{Voltagem [V]} \quad (1)$$

$$\text{Capacidade da bateria [Ah]} = \text{Amperagem (A)} * \text{Horas de uso (h)} \quad (2)$$

Isso resulta em uma amperagem de, aproximadamente 6,82 A. Para um uso de 12 horas, se faz necessário uma bateria com capacidade de 82 Ah. Com esses dados, foi possível escolher a bateria Moura Tração MT110 5-200 C5 com 100 Ah de capacidade. As baterias do tipo tração são preparadas para suportar vibrações e ambientes não controlado.

O último elemento restante é o inversor de corrente, responsável por transformar a corrente contínua da bateria em corrente alternada para o podador. Este equipamento é definido a partir da potência e corrente de saída. Assim, optou-se pelo uso do inversor DIK 1000W 110V, que atende à demanda do podador elétrico.

### 4.3 Elementos customizados

As únicas peças restantes são: o suporte a ser fixado na ponta da torre e se acoplará à serra e; o suporte de interface entre o extensor controlador e a extensão própria da serra. Juntos, esses dois elementos permitirão os graus de liberdade necessários para direcionar o corte.

Essas peças serão concebidas em ambiente CAD (*Computer Aided Design*) de forma a ser compatível com os elementos comerciais escolhidos e permitir sua fabricação.

#### 4.3.1 Suporte principal de integração entre torre e serra

A primeira peça a ser criada para integrar os elementos comerciais escolhidos é o suporte do topo da torre telescópica, responsável pela fixação e, também, deslocamento linear da serra.

Assim, o componente precisa permitir o giro da serra no eixo da torre, e também o avanço desta em direção da árvore. Não será preciso variar a angulação entre o extensor da serra e o chão, já que é possível ajustar a altura da torre telescópica.

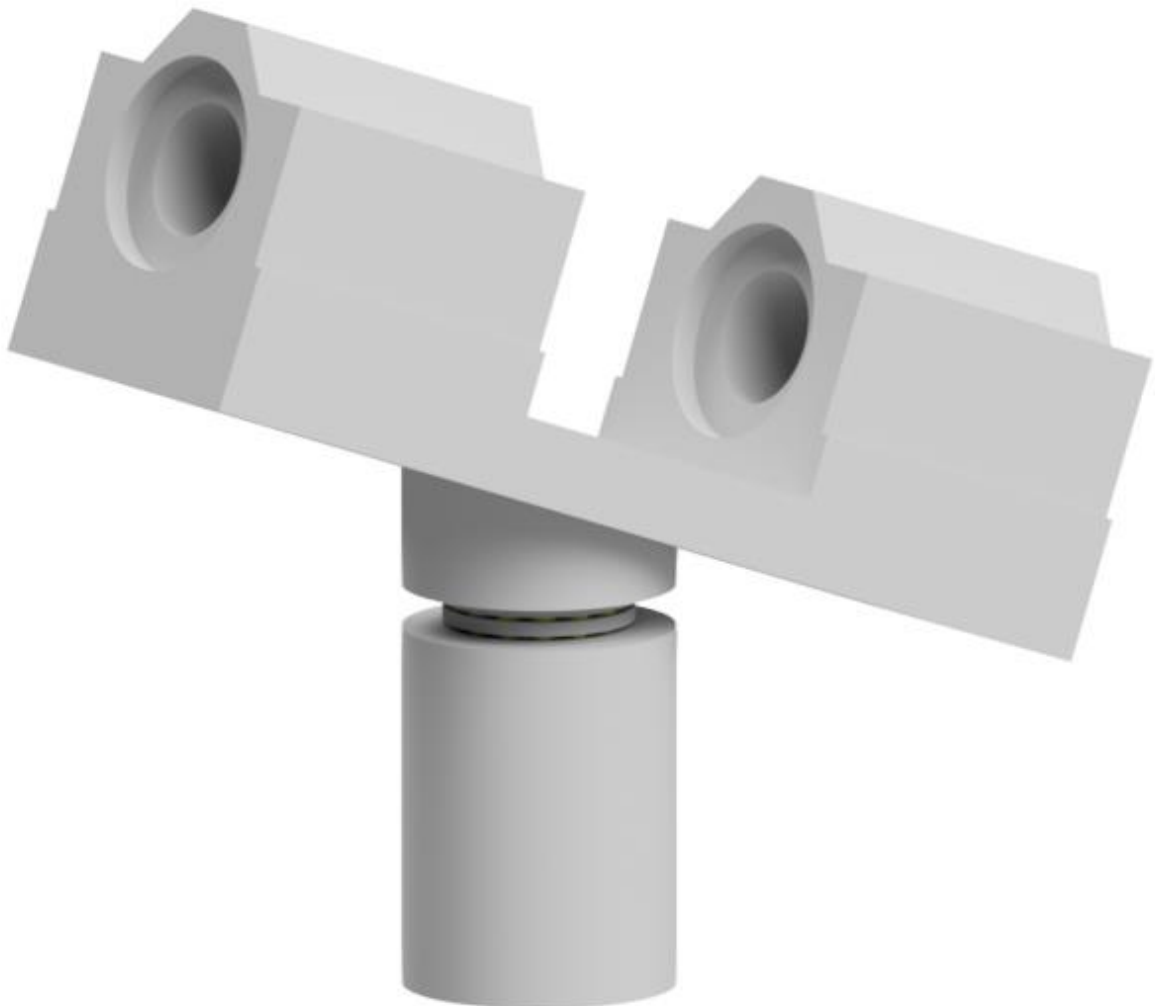
Para esse fim, construiu-se a peça de modo que ela integre um rolamento axial, permitindo o giro; e também dois rolamentos lineares, possibilitando o avanço da serra. Além

disso, foi adicionada uma angulação de 20° para os rolamentos lineares com o objetivo de facilitar o controle da serra através da extensão.

Segundo simulações do *software CAD* utilizado (Autodesk Inventor), a peça tem um peso aproximado de 1,5 kg, sendo feita de alumínio. Como a peça não está sob esforços críticos, foi possível escolher o material priorizando sua densidade, visto que a carga suportada no topo da torre telescópica é bem reduzida.

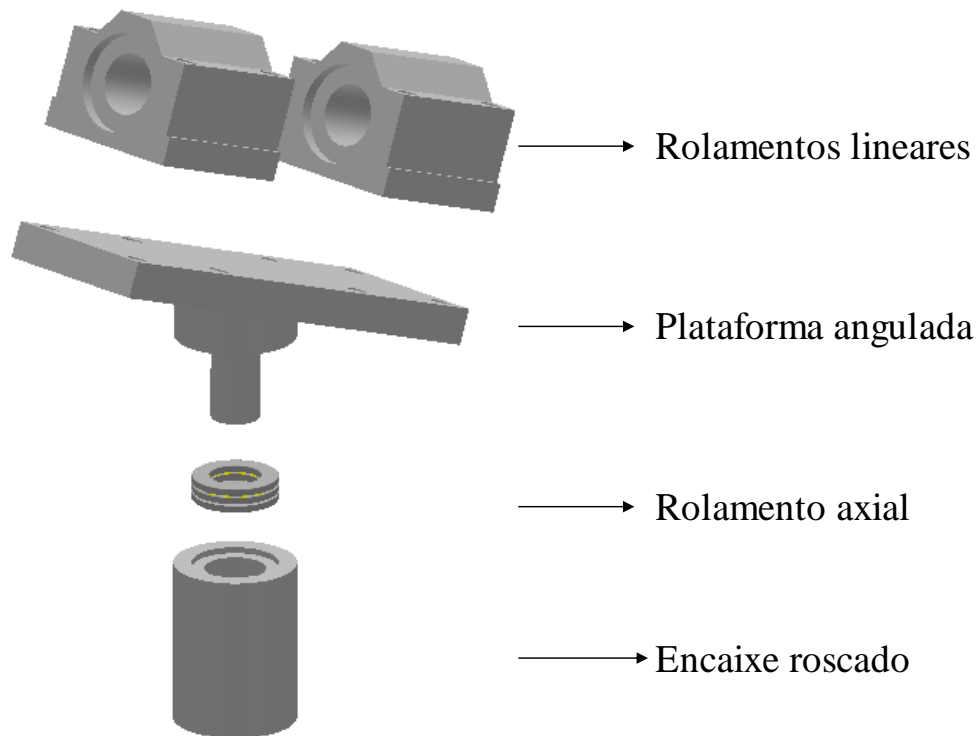
As representações da montagem nas versões normal e explodida, juntamente com os rolamentos, estão na Figura 10 e na Figura 11 respectivamente. Os rolamentos escolhidos foram: SKF 51104 de escora simples para o axial; e Kalatec SMA25UU Pillow Block Fechado para os lineares. Nota-se que o conjunto é composto por duas partes customizadas, e três comerciais, sendo dois rolamentos lineares e um axial.

Figura 10 – Representação 3D da montagem do suporte principal



Fonte: Próprio autor.

Figura 11 – Representação 3D da montagem explodida do suporte principal



Fonte: Próprio autor.

#### 4.3.2 Suporte de interface entre extensão de controle e serra

A outra peça customizada a ser concebida é o suporte que faz a junção entre a extensão telescópica de controle e a extensão da serra.

Já que essa peça é apenas para controle, escolheu-se utilizar uma junção pinada, que permite apenas um giro de grau de liberdade. Um dos elos da junta é roscado, para acoplamento no extensor telescópico. O outro possui um furo passante para fixação no tubo da serra, podendo ser por parafuso e porca, ou rebite.

Além disso, não se limitou a geometrias comuns, dado que a peça será produzida por *FDM (Fused Deposition Modeling)*, um tipo de impressão 3D em que se funde um filamento e são depositadas camadas sobrepostas deste material para formar a peça desejada.

Outra vantagem do método de fabricação dessa peça é seu peso, que é bem reduzido ao comparado com metais. Assim, esse componente não será crítico nesse aspecto para a montagem.

A peça, composta por 3 elementos, está ilustrada na Figura 12 abaixo.

Figura 12 – Suporte de interface entre extensão telescópica de controle e extensão da serra



Fonte: Próprio autor.

#### 4.4 Viabilidade

Para avaliar a viabilidade financeira da solução, foi necessário estimar os custos de cada elemento integrante. Tendo o preço total do conjunto, comparou-o com os valores das outras soluções, apresentadas na seção de revisão bibliográfica.

Avaliando essas comparações, foi possível sensibilizar o quão positiva foi essa nova proposição de mecanismo, visto que, como qualquer outra ferramenta, ela tem seus pontos fortes e fracos.

Para avaliar a viabilidade funcional, se considerou o balanço entre a simplicidade do conjunto e a eficiência provável do processo. Assim, foi possível ter uma noção do desempenho do conjunto, dadas suas limitações.



## 5 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Após escolhidos todos os elementos que integrarão a solução concebida no projeto, foi possível estimar seu custo e confrontá-lo com o preço dos equipamentos disponíveis apresentados. Dessa forma, se construiu a Tabela 2 apresentando os itens com seus valores.

Tabela 2 – Elementos da solução e respectivos preços

Produto	Preço Total [R\$]
<b>Carreta prancha Facchini</b>	11.200,00
<b>Torre telescópica Bit Eletronics</b>	640,00
<b>Extensão telescópica Bralímpia</b>	330,00
<b>Podador de galhos elétrico Tekna</b>	520,00
<b>Bateria tração Moura</b>	800,00
<b>Inversor de corrente DIK</b>	190,00
<b>Rolamento axial SKF</b>	150,00
<b>Rolamento pillow block linear Kalatec (dois)</b>	170,00
<b>Suportes customizados (estimativa)</b>	2.000,00
<b>Outras despesas</b>	1.000,00
<b>Frete</b>	1.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 18.000,00</b>

Fonte: Próprio autor.

Com a estimativa de custo apresentada, prevê-se que a solução seja, de fato, viável financeiramente frente a soluções mais complexas. Isto é, o conceito proposto apresenta um custo-benefício inovador para o processo de poda de árvores em altura, ocupando um novo nicho nesse mercado, que antes apresentava uma lacuna muito grande.

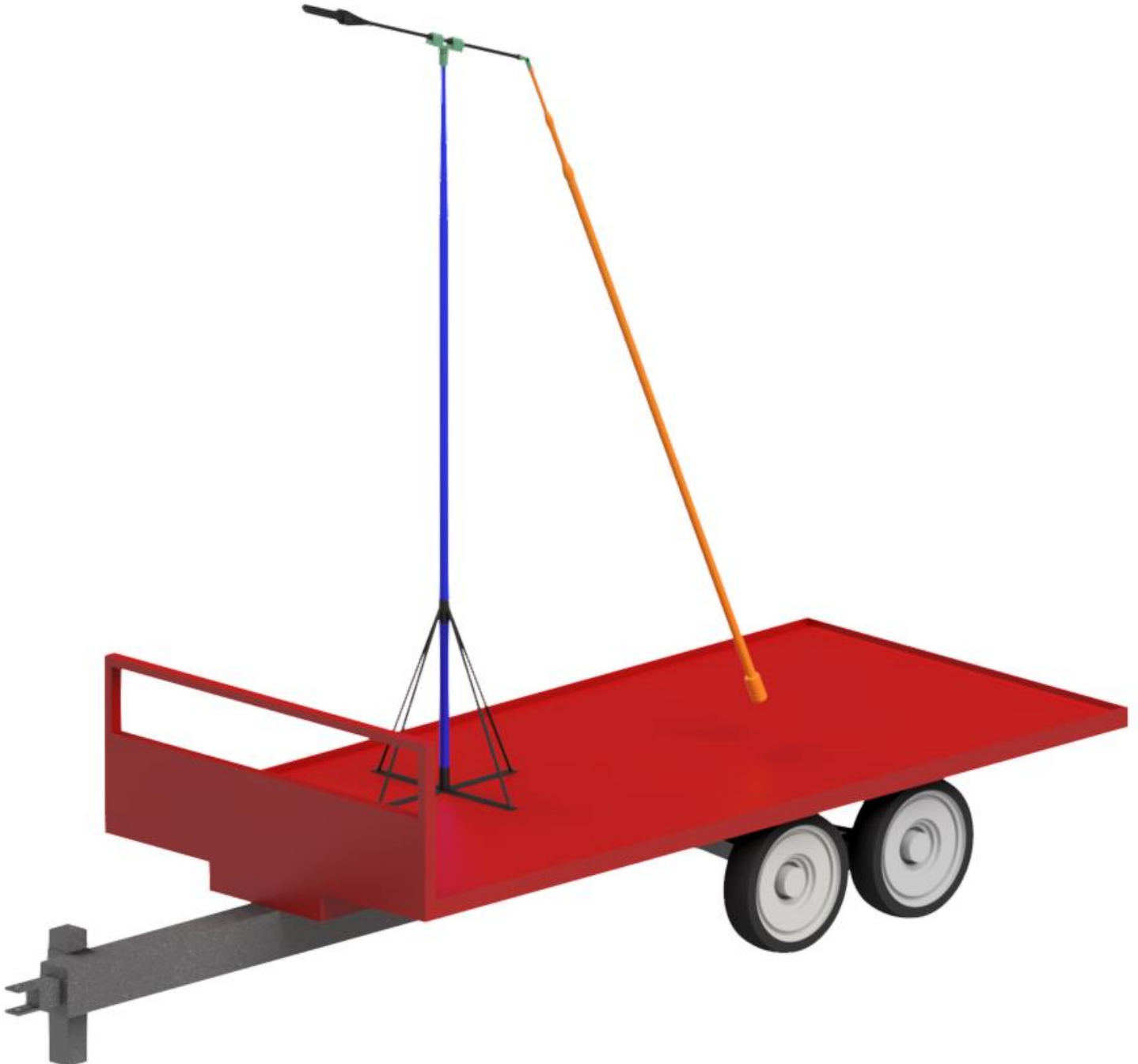
Sobre o conceito desenvolvido para o atendimento da demanda, se tem uma viabilidade operacional com ressalvas. Sua simplicidade favorece a funcionalidade e a manutenção. Porém, por se tratar de um implemento para auxílio, ou seja, que compõe um processo semimanual, a sua eficiência não é a maior das disponíveis.

Todavia, ao levar em consideração a proposta de ocupação de um novo nicho, com um custo-benefício inédito, não ter uma eficiência igual a de implementos que são mais de cinco vezes mais caros não se mostra uma desvantagem crítica. Isso porque os prováveis compradores desta solução não serão grandes empresas que possuem latifúndios de plantação, mas sim produtores locais, de tamanho pequeno a médio. Dessa forma, o mecanismo encaixa muito bem nas necessidades de poda, sem ser oneroso financeiramente a fim de inviabilizar sua aquisição.

Por fim, a

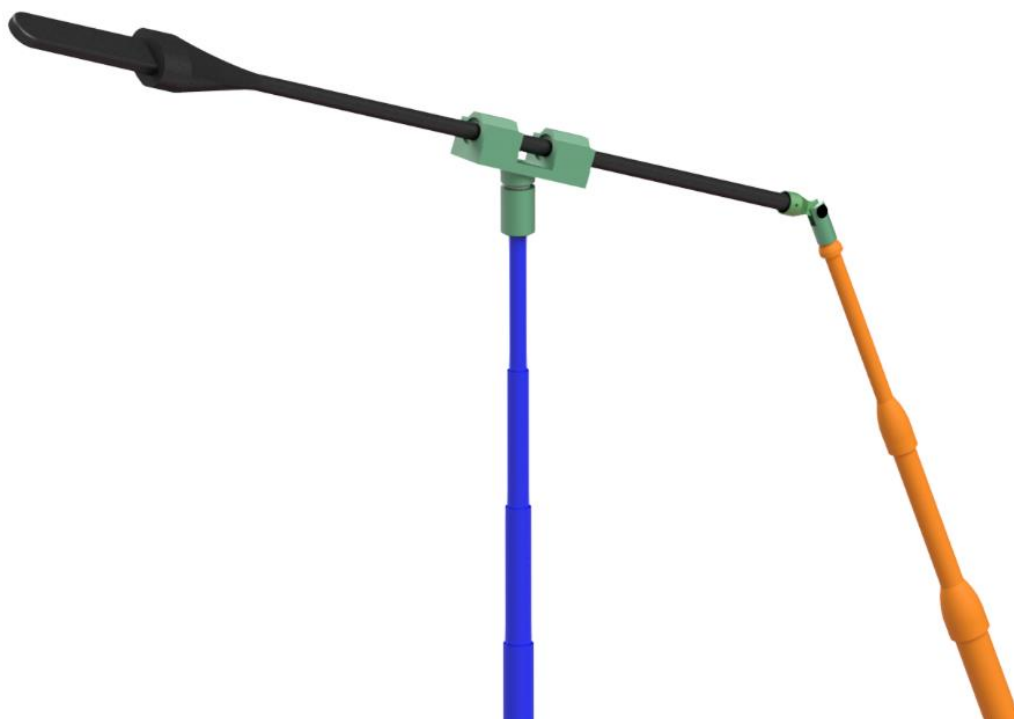
Figura 13 e a Figura 14 mostram, respectivamente, um esquemático do conjunto e um em detalhe do topo da torre (com as mesmas cores da Figura 5) para exemplificar as qualidades descritas.

Figura 13 – Esquemático 3D da solução com seus diversos elementos



Fonte: Próprio autor.

Figura 14 – Esquemático 3D de detalhe da solução no topo da torre



Fonte: Próprio autor.

De forma geral, pode-se debater que o desenvolvimento dessa solução inovadora é muito positiva e de grande relevância para a área de produção madeireira. Isso faz com que essa proposta tenha um bom potencial mercadológico, inaugurando uma nova dimensão para ferramentas e maquinários para poda em altura.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

PARI, L.; SCARFONE, A.; DEL GIUDICE, A.; SANTANGELO, E.; SUARDI, A. **Effect of Different Knives on Particle Size Distribution of Peach Pruning**. European Biomass Conference And Exhibition, n. 24, p. 246-248, 2016.

VELÁZQUEZ-MARTÍ, B.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, E.; LÓPEZ-CORTÉS, I.; SALAZAR-HERNÁNDEZ, D.M. **Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean almond groves**. Renewable Energy, v. 36, n. 2, p. 621-626, 2011.

SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N.; NATI, C. **Harvesting vineyard pruning residues for energy use**, *Biosystems Engineering*. v. 105, n. 3, p. 316-322, 2010.

SPINELLI, R.; PICCHI, G. **Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass**. Bioresource Technology, v. 101, n. 2, p. 730-735, 2010.

UEKI, S.; KAWASAKI, H.; ISHIGURE, Y.; KOGANEMARU, K.; MORI, Y. **Development and experimental study of a novel pruning robot**. Artificial Life and Robotics, n. 16, p. 86-89, 2011.

BOTTERILL, T.; PAULIN, S.; GREEN, R.; WILLIAMS, S.; LIN, J.; SAXTON, V.; MILLS, S.; CHEN, X.; CORBETT-DAVIES, S. **A Robot System for Pruning Grape Vines**. Journal of Field Robotics, n. 34, p. 1100-1122, 2017.

SESSIZ, A.; ÖZCAN, M.T. **Olive removal with pneumatic branch shaker and abscission chemical**. Journal of Food Engineering, v. 76, n. 2, p. 148-153, 2006.

TRAMONTINA. Disponível em: <<https://www.tramontina.com.br/303-tesouras-de-poda/239-poda>>. Acesso em 26 nov. 2020.

NAGANO. Disponível em: <<https://naganoprodutos.com.br/novo/subcategoria.asp?codCategoria=1&codSubCategoria=82>>. Acesso em 26 nov. 2020.

LUMA IMPLEMENTOS. Disponível em: <<https://www.lumaimplementos.com.br/produtos/podadoras/>>. Acesso em 26 nov. 2020.

FACCHINI. Disponível em: <<https://www.facchini.com.br/produto/carreta-agricola-prancha>>. Acesso em 26 nov. 2020.

BIT ELETRONICS. Disponível em: <<https://www.bitelectronics.com.br/telecomunicacao/torres/torre-telescopica-de-15-metros>>. Acesso em 26 nov. 2020.

BRALIMPIA. Disponível em: <<https://www.bralimpia.com.br/listings/extensao-telescopica/>>. Acesso em 26 nov. 2020.

DUTRA MÁQUINAS. Disponível em: <<https://www.dutramaquinas.com.br/p/podador-de-galhos-750-watts-haste-telescopica-pa750t1-pa750t1>>. Acesso em 26 nov. 2020.

MOURA. **Catálogo baterias tração**. Disponível em: <<https://www.moura.com.br/produtos/tracionarias/>>. Acesso em 26 nov. 2020.

SKF. **Rolamento 51104**. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/ball-bearings/thrust-ball-bearings/productid-51104>>. Acesso em 26 nov. 2020.

KALATEC. **Rolamento SMA25UU**. Disponível em: <<https://loja.kalatec.com.br/rolamento-linear/sma25uu-pillow-block-fechado-25mm>>. Acesso em 26 nov. 2020.