

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO  
SUCKOW DA FONSECA**

**Ferramenta de apoio ao cálculo de tirolesas de carga  
para escoamento de produção agrícola**

Matheus Gondim de Oliveira

Professores orientadores: Leydervan de Souza Xavier

Ricardo Alexandre Amar de Aguiar

**Rio de Janeiro  
Junho de 2016**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO  
SUCKOW DA FONSECA**

**Ferramenta de apoio ao cálculo de tirolesas de carga  
para escoamento de produção agrícola**

Matheus Gondim de Oliveira

Projeto final apresentado em cumprimento às  
normas do Departamento de Educação Superior  
do CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professores orientadores: Leydervan de Souza Xavier  
Ricardo Alexandre Amar de Aguiar

**Rio de Janeiro  
Junho de 2016**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu forças e sabedoria para percorrer essa jornada.

Agradeço também à minha família, que sempre me orientou e fortaleceu, dando o incentivo necessário nos momentos de desânimo e cansaço. O meu resultado só pôde ser alcançado porque, durante todo esse tempo, estive sobre os ombros de gigantes.

Ao Professor Leydervan e ao Professor Ricardo que, primorosamente, conduzem a disciplina Desenho de Máquinas. Ter sido um dos seus alunos nesta disciplina contribuiu de forma decisiva para minha capacitação no desenvolvimento de projetos. Além disso, tive a sorte em poder contar com a enorme capacidade de ambos enquanto orientadores deste projeto.

Aos amigos do CEFET/RJ, bem como aos companheiros de trabalho na MICHELIN, que estiveram sempre dispostos a me incentivar e apoiar.

## RESUMO

Devido à geografia do Rio de Janeiro apresentar contrastes entre mar, montanhas e florestas, grande parte das atividades agrícolas no Estado ocorre em terrenos montanhosos, fazendo-se necessária a abertura de acessos na mata para realizar o escoamento da produção. Este tipo de intervenção, além de gerar impacto ambiental inicial, devido ao desmatamento, e servir permanentemente como suporte para outras atividades poluentes, pode encontrar dificuldades geográficas que impossibilitem a sua execução. Este trabalho visa desenvolver uma ferramenta de apoio ao cálculo de tirolesas de carga para o escoamento de produtos agrícolas, em regiões desse tipo, a fim de minimizar os impactos ambientais e aumentar a eficiência da atividade fim. A utilização de um software, nesse caso, se faz estratégica, pois o dimensionamento demanda grande quantidade de cálculos iterativos os quais podem ser efetuados de maneira mais rápida, eficiente e segura com a ajuda de um instrumento computacional. Partindo-se de uma aproximação inicial, os resultados são obtidos mediante aproximações sucessivas, o que, somado a necessidade da realização de testes de hipóteses para obtenção da solução ideal, demanda muito tempo. Os cálculos serão realizados inicialmente a partir da tração consequente da configuração de curva catenária, e então será somada a tração devida à carga transportada, que é obtida utilizando um fator dinâmico e o Teorema de Lamy. A ferramenta de apoio ao cálculo de tirolesas de carga foi desenvolvida utilizando *Visual Basics for Applications* em ambiente do Microsoft Excel. O modelo implementado foi validado a partir da comparação dos resultados obtidos com resultados de problemas semelhantes consagrados na literatura. A ferramenta desenvolvida foi então utilizada para realização de estudo preliminar de um caso específico da região do Rio da Prata, RJ, para o projeto de uma tirolesa para transporte de uma carga de 150 kg.

Palavras-chave: Tirolesa; Curva catenária; Transporte de carga.

## ABSTRACT

Due to the geography of Rio de Janeiro present contrasts between sea, mountains and forests, much of the agricultural activities in the state occurs in mountainous terrain, making it necessary to open access in the woods to make the flow of production. This type of intervention, generates an initial environmental impact due to deforestation, and permanently serve as support for other polluting activities, in some cases, may occur geographical difficulties that hinder its implementation. This work aims to develop a tool to support the calculation of load ziplines, designed for the transport of agricultural products in such regions, in order to minimize environmental impacts and increase the efficiency of the core business. The use of software in this case, is strategic, since the sizing demand large amount of iterative calculations, which can be performed more quickly, efficiently and safely with the help of a computational device. Starting from an initial approach, the results are obtained by successive approximations, which, together with the need to perform hypothesis testing to obtain the optimal solution, consumes a lot of time. The calculations will initially be made from the consequent traction of the catenary curve configuration, and then will be added the traction due to the transportation load, which is obtained using a dynamic factor and Lamy theorem. The tool to support the calculation of load ziplines, was developed using Visual Basics for Applications in Microsoft Excel environment. The implemented model was validated by comparing the results with results obtained from similar problems established in the literature. The tool was used to conduct a preliminary study of a specific case in Rio da Prata, region of Rio de Janeiro, designing a zipline to carry the load of 150 kg.

Keywords: Zipline; Catenary curve; Load transport.

# SUMÁRIO

Capítulo 1.....	1
1.    Introdução .....	1
1.1    Motivação.....	2
1.2    Justificativa .....	3
1.3    Objetivos .....	3
1.4    Metodologia e Trabalho realizado .....	4
1.5    Organização do Trabalho .....	5
Capítulo 2.....	6
2.    Referencial Teórico.....	6
2.1    Tirolesa.....	6
2.1.1    Estação de Carga .....	7
2.1.2    Estação de Descarga.....	7
2.1.3    Cabos de aço .....	8
2.1.4    Carretilha.....	15
2.1.5    Freio .....	16
2.1.6    Cesto de Transporte .....	16
2.1.7    Fator dinâmico .....	17
2.1.8    Microsoft Excel.....	18
2.1.9    Solver .....	18
2.1.10    VBA .....	19
Capítulo 3.....	20
3.    Desenvolvimento da ferramenta .....	20
3.1    Tela de abertura.....	20
3.2    Tela de restrição de utilização.....	21
3.3    Tela principal .....	22



3.4	Tela de confirmação dos dados .....	23
3.5	Cálculo das forças no cabo em catenária .....	24
3.6	Cálculo das forças pelo Teorema de Lamy .....	28
3.7	Tela Calcular Existente .....	30
3.8	Tela de resultados globais .....	31
3.9	Tela de análise dos resultados .....	32
3.10	Tela de dados do cabo selecionado .....	34
Capítulo 4.....		36
4.	Tirolesa para Associação AGROPRATA.....	36
4.1	Análise .....	42
Capítulo 5.....		44
5.	Validação dos resultados .....	44
5.1	Cabo suspenso sujeito ao peso próprio .....	44
Capítulo 6.....		47
6.	Conclusões .....	47
BIBLIOGRAFIA .....		48
APÊNDICE A: Códigos VBA comentados.....		50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tirolesa de carga, Fonte: Agrofloresta [17] .....	6
Figura 2 - Detalhe construtivo de cabos de aço[8] .....	8
Figura 3 - Cabo suspenso sobre ação do próprio peso[6] .....	10
Figura 4 - Diagrama de corpo livre de uma porção finita do cabo em catenária[7] .....	10
Figura 5 - Cálculo da resultante entre peso do cabo e carga de vento .....	12
Figura 6 - Efeito da pressão de vento sobre cabo em catenária[4] .....	13
Figura 7 - Esquema do posicionamento do cabo carregado .....	14
Figura 8 - Diagrama de forças pelo Teorema de Lamy .....	15
Figura 9 - Carretilha USCLIMB para tirolesa[5] .....	15
Figura 10 - Caquis dispostos em embalem de Poliuretano e fibras naturais [6].....	16
Figura 11 - Embalagens de poliuretano 100% empilháveis .....	17
Figura 12 - Parâmetros do Solver .....	18
Figura 13 - Tela do Visual Basic .....	19
Figura 14 - Tela de abertura. Fonte da foto: Junior Sampaio .....	20
Figura 15 - Código de abertura do arquivo.....	21
Figura 16 - Mensagem com restrição de utilização .....	21
Figura 17 - Tela Principal .....	22
Figura 18 - Mensagem informativa do sinal da flecha .....	22
Figura 19 - Tela de confirmação dos dados .....	23
Figura 20 - Tela com barra de progresso do calculo .....	23
Figura 21 - Tabela da aba "CATENÁRIA" .....	24
Figura 22 - Código em loop para cálculo da força horizontal .....	25
Figura 23 - Tabela de cálculo da aba "Lamy" .....	28
Figura 24 - Tela calcular tirolesa existente.....	30
Figura 25 - Tela dos resultados.....	31
Figura 26 - Tela de troca do parâmetro de convergência .....	31
Figura 27 - Tela de análise dos resultados .....	33
Figura 28 - Tela de Análise dos resultados filtrada .....	33
Figura 29 - Tela de dados do cabo selecionado .....	34
Figura 30 - Tela de determinação do incremento .....	34

Figura 31 - Mensagem de introdução ao gráfico .....	35
Figura 32 - Gráfico da catenária e sequência de pontos por Lamy.....	35
Figura 33 - Fluxograma de projeto da tirolesa.....	36
Figura 34 - Inputs tirolesa AGROPRATA .....	38
Figura 35 - Dados e velocidade máx. teórica tirolesa AGROPRATA .....	39
Figura 36 - Resultados globais para tirolesa AGROPRATA .....	39
Figura 37 - Cabos aprovados Tirolesa AGROPRATA.....	40
Figura 38 - Cabo Selecionado para Tirolesa AGROPRATA .....	40
Figura 39 - Incremento utilizado para plotar gráficos AGROPRATA .....	41
Figura 40- Gráficos tirolesa AGROPRATA.....	41
Figura 41 - Cabo suspenso sujeito ao peso próprio [7] .....	44
Figura 42 - Inputs para comparativo.....	45
Figura 43 - Resultado para o cabo definido em Hibbeler .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados teóricos x Cabos NLFG [6] .....	44
Tabela 2 - Calculadora de Tirolesas x Cabos-NLFG.....	46

# Capítulo 1

## 1. Introdução

O Rio de Janeiro, maior rota do turismo internacional no Brasil, é uma das cidades brasileiras mais famosas mundialmente, e caracteriza-se, entre outras coisas, pelos contrastes entre mar, montanha e florestas. Na Zona Oeste do Rio de Janeiro está situado o Maciço da Pedra Branca, dentro do Parque Estadual da Pedra Branca, maior floresta urbana do Brasil. Este local, apesar de ser uma área de preservação ambiental, possui uma histórica ocupação agrícola, dedicada ao cultivo de alimentos orgânicos, destacando-se o caqui e a banana. Embora esta atividade agrícola não seja desempenhada em grande escala, existe potencial para seu crescimento e, também para um melhor aproveitamento dos recursos naturais naquilo que tange a preservação ambiental. Este tem sido um dos trabalhos da Enactus, empresa júnior do CEFET/RJ, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, que vem desenvolvendo um trabalho junto à associação AGROPRATA para garantir a subsistência com sustentabilidade e o aumento da qualidade de vida da população local. Esta iniciativa visa também ao reconhecimento da comunidade por meio de atos empreendedores e sustentáveis, reduzindo algumas das dificuldades encontradas diariamente por seus habitantes. Como o cultivo ocorre em terrenos espalhados pelas encostas do maciço, uma das maiores dificuldades dos agricultores da associação está no escoamento da produção. Atualmente, este trabalho é realizado com o auxílio de burros e pode levar até 4 horas por trilhas íngremes e pedregosas, o que, segundo a Enactus, gera elevado custo com ração e gastos veterinários em geral.

O transporte no lombo dos burros gera desperdício sistemático dos frutos e se caracteriza como um gargalo de produção, uma vez que o transporte limita a quantidade de frutos colhidos no período e gera mais desperdício nos sítios, como por exemplo no cultivo de caquis, no qual cerca de 30% dos frutos não são colhidos e apodrecem ainda no pé. Um estudo preliminar da Enactus apontou, como alternativa a ser implantada, um sistema de transporte com tirolesa de carga sobre a mata e os caminhos usados atualmente. A partir da interação da Enactus com os professores-orientadores e este autor, surgiu o tema de projeto e identificou-se a validade de se desenvolver uma ferramenta de projeto que pudesse auxiliar o caso em questão, como facilitar a replicação do projeto em outras comunidades, reduzindo-se

o tempo de transporte do fruto colhido, o desperdício no transporte e na colheita e, conseqüentemente, aumentando-se a capacidade de produção em cada contexto.

## 1.1 Motivação

A possibilidade de desenvolver um projeto final que, além de cumprir um requisito acadêmico para a graduação no curso de Engenharia Mecânica, pudesse contribuir de forma direta para a melhoria da qualidade de vida de uma comunidade foi a principal motivação para o desenvolvimento do *software*<sup>1</sup>. O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de atender à associação AGROPRATA e ser potencialmente útil para outras localidades, visto que existem diversas comunidades onde uma tirolesa poderia gerar ganhos até maiores se comparados aos projetados para a comunidade do Parque Estadual da Pedra Branca.

A Tirolesa de carga tem potencial de reduzir o tempo de transporte da plantação até a estufa, onde os frutos maduram, reduzindo-se assim as perdas no transporte devido ao choque entre os próprios frutos e os efeitos das intempéries. Com a diminuição do tempo necessário para o transporte, espera-se um ganho no tempo disponível para a colheita, aumentando-se conseqüentemente a sua capacidade, sem alterar o efetivo necessário. Deste modo, podem-se reduzir os desperdícios de frutos amadurecidos antes mesmo da realização da colheita. A utilização da tirolesa pode eliminar ou reduzir consideravelmente a utilização de tração animal para o escoamento da produção, o que, além de propiciar uma maior qualidade de vida para esses animais, poderá reduzir a degradação das trilhas e os conseqüentes impactos ambientais associados. É importante ressaltar que todos os ganhos citados anteriormente têm impacto direto na lucratividade dos agricultores, e o uso de uma tirolesa pode contribuir aumentando a receita e diminuindo os custos operacionais.

---

<sup>1</sup>Software é uma seqüência de instruções escritas para serem interpretadas por um computador com o objetivo de executar tarefas específicas.

## 1.2 Justificativa

Paralelamente ao interesse de aumentar a lucratividade das famílias de agricultores, existe um interesse de controlar a área de cultivo, evitando a redução da região de mata. Dessa forma, além de possibilitar o aumento da lucratividade, a tirolesa pode reduzir o impacto ambiental gerado pelas trilhas, muitas vezes utilizadas por veículos motorizados. Sendo assim, caso fosse preciso analisar o *Payback*<sup>2</sup> do investimento, é importante ressaltar que a redução do impacto ambiental já justificaria o mesmo.

Nos dias atuais não se deve negligenciar a importância da melhoria contínua dos processos, inclusive na agricultura familiar, que no Brasil é historicamente resistente a mudanças. As entrevistas realizadas pela Enactus com os agricultores da associação, permitem constatar que o discurso dos agricultores é muito parecido, e existe uma tendência a manter os mesmos processos produtivos utilizados pelos seus pais e avós. Ao conhecer a comunidade e o modo que gerenciam os recursos disponíveis, é perceptível que algumas pequenas modificações poderiam aumentar a lucratividade da associação. A contratação de pessoas para auxílio nos períodos de colheita, por exemplo, possibilitaria extrair 100% dos frutos. Entretanto, este projeto visa dar suporte às atividades já desempenhadas, a mudança de determinados processos poderia modificar a essência da tradicional atividade de produção familiar na região.

## 1.3 Objetivos

A possibilidade de utilização de uma tirolesa no caso em estudo, a oportunidade de replicação de parte da solução para outros ambientes semelhantes e a ausência de metodologias de fácil acesso para este tipo de cálculo justificam o objetivo de se desenvolver uma ferramenta de apoio ao projeto de tirolesas de carga. A finalidade é que esse recurso possa ser utilizado por pessoas interessadas em pré-dimensionar alguns elementos e, também, como ferramenta avançada a ser utilizada por engenheiros na etapa de concepção de projeto, possibilitando a análise de diversas variáveis e seus consequentes resultados de forma automatizada, evitando com isso a realização de grande quantidade de cálculos iterativos.

---

<sup>2</sup> É o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento

Nesta etapa de Projeto Final, pretende-se identificar a maior quantidade possível de variáveis envolvidas no dimensionamento do equipamento, a fim de projetar uma ferramenta de utilização intuitiva e amigável capaz de realizar os cálculos necessários, bem como preservar as memórias de cálculo e, através de um banco de dados, sugerir os componentes aprovados para a montagem da tirolesa.

## **1.4 Metodologia e Trabalho realizado**

A Calculadora de tirolesas foi desenvolvida utilizando o software Microsoft Excel e o *Visual Basic for Applications*, visando possibilitar que seja acessível a qualquer um que tenha à disposição um computador com o pacote Office instalado.

O desenvolvimento da ferramenta se deu a partir do cálculo de uma solução particular e posterior adequação da matematização da mesma, possibilitando o cálculo de qualquer outra situação do tipo, apenas alterando-se as variáveis de projeto. Assim, o usuário poderá obter o resultado de forma simples e objetiva.

Visando garantir o entendimento e, para facilitar futuras modificações, as linhas de código foram comentadas e, sempre que possível, foi utilizado o ambiente do Excel para realização dos cálculos, parametrizados normalmente em formulas que fazem referência àquelas com os dados necessários.

Como a solução de qualquer caso depende do cabo de aço empregado e, sendo este, sempre padronizado e comercial, optou-se por usar o Solver, ferramenta de teste de hipóteses nativa do Excel, para realizar uma sequência de cálculos preliminares com todos os cabos disponíveis, classificando os mesmos de acordo com a possibilidade ou não da sua utilização.

Simultaneamente ao desenvolvimento das rotinas para realização dos cálculos e, demandando grande parte dos esforços na engenharia do código, foram desenvolvidos dispositivos à prova de erro, que garantem que o programa não rode até que o usuário entre com os dados no formato correto. Caso seja digitado um dado com caracteres ou valores inadequados, o programa exibirá mensagens alertando ao usuário a forma correta de preenchimento dos campos. Assim, ao serem atribuídos valores não numéricos, em campos destinados à valores numéricos, ocorreria, caso não houvessem os dispositivos à prova de erro, uma falha no sistema, ou até mesmo erro no resultado.



O resultado obtido é um programa que, embora seja executado através do MSExcel, tem layout amigável ao usuário, comum a qualquer outro programa que seja executado independentemente.

## **1.5 Organização do Trabalho**

O presente trabalho, foi dividido em 6 (seis) capítulos. Apresenta-se a seguir, uma breve descrição do conteúdo de cada um deles.

No Capítulo 1 consta a introdução, motivação, justificativa, objetivos e a metodologia utilizada.

No Capítulo 2 consta o referencial teórico utilizado, onde são apresentados conceitos fundamentais sobre o dimensionamento dos principais componentes da tirolesa; conceitos de conservação de energia mecânica e conceitos mecânicos que serão empregados no projeto para avaliação e comparação.

No Capítulo 3 consta o desenvolvimento da ferramenta, apresentando as principais telas do programa, seu funcionamento e principais operações para obtenção dos resultados.

No Capítulo 4 consta parte do projeto solicitado pela ENACTUS de tirolesa de carga para a associação AGROPRATA, em Campo Grande, Rio de Janeiro – RJ

No Capítulo 5, visando à validação dos procedimentos de cálculo utilizados, consta comparação dos resultados obtidos pelo *software* desenvolvido, com aqueles fornecidos por *software* dedicado à análise não linear de estruturas de cabos suspensos.

No Capítulo 6 constam as conclusões, bem como algumas sugestões de complementação para projetos futuros.

## Capítulo 2

### 2. Referencial Teórico

#### 2.1 Tirolesa

Tirolesa é um equipamento de transporte por um único cabo aéreo, monocabo, e a sua instalação é, basicamente, constituída dos elementos listados a seguir:

- Estação de Carga;
- Estação de Descarga;
- Cabo de aço;
- Carretilha;
- Freio;
- Cesto de Transporte;

Na Figura 1 apresenta-se um exemplo de tirolesa de carga, onde é possível visualizar o cabo de aço e o cesto de transporte.



*Figura 1 - Tirolesa de carga, Fonte: Agrofloresta [17]*

### **2.1.1 Estação de Carga**

A estação de carga é, além da ancoragem do cabo no nível mais alto da tirolesa, um local estratégico para o desenvolvimento da atividade, o local deve ser escolhido levando em consideração a proximidade com os produtos a serem transportados pela tirolesa.

A estação de carga deve cumprir dois papéis fundamentais: garantir uma condição confortável para o agricultor realizar o carregamento do material, o ponto de carga deve ser estudado com critério para evitar a necessidade posterior construção de plataforma de carga para melhorar as condições ergonômicas de trabalho dos agricultores; suportar todos os esforços necessários para manter o cabo tensionado e o sistema íntegro.

A estação de carga pode ser de diferentes formatos, e embora o dimensionamento da mesma não seja objeto deste trabalho, observa-se na prática dessa atividade a frequente utilização de sapatas de concreto, com coluna metálica preparada para a ancoragem do cabo, sendo utilizada quando necessário, uma estrutura em formato de tripé ou torre, para elevar a altura do cabo, evitando choques dos produtos transportados com estruturas de alvenaria, árvores e qualquer outro obstáculo presente.

### **2.1.2 Estação de Descarga**

Assim como a estação de carga, a estação de descarga deve ser de simples instalação e deve ancorar o cabo da tirolesa de maneira a manter a tensão e suportar as cargas transportadas.

A altura da carga em relação ao solo, desejada no ponto de descarga, deve ser considerada ao se determinar a localização do mesmo, de forma que o material transportado fique localizado o mais próximo possível da estufa, posteriormente a ação do freio. É aconselhável acrescentar uma distância de segurança no cabo, após o ponto desejado para a descarga, e a utilização de rede de contenção, de forma a garantir que na falha do sistema de freios, a carga não entre em choque com a estrutura.

É essencial ressaltar a importância da correta sinalização e restrição de acesso a área da estação de descarga, uma vez que os produtos transportados atingem altas velocidades, representando risco fatal em caso de choque com pessoas ou animais.

### 2.1.3 Cabos de aço

É um conjunto de pernas dispostas em forma de hélice, podendo ou não ter uma alma de material metálico ou de fibra. A norma brasileira que contém especificações sobre cabos de aço é a NBR-6327 e os cabos são muito empregados em equipamentos de transporte e na elevação de cargas, como em elevadores, escavadeiras e pontes rolantes.

Cabos de aço são, conforme pode ser visto na Figura 2, um conjunto de arames de aço torcidos, dispostos em pernas, e essas pernas torcidas em torno de uma alma, podendo essa alma ser de fibra ou de aço. Sua finalidade é obter maior resistência, flexibilidade e segurança em suas aplicações. [1]

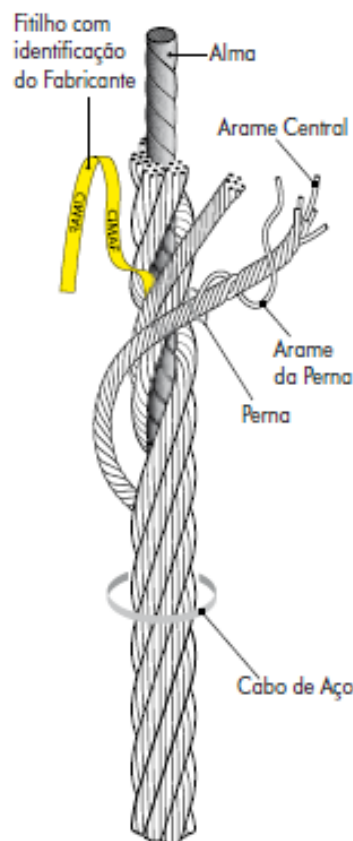


Figura 2 - Detalhe construtivo de cabos de aço[8]

O cabo a ser utilizado na tirolesa deve ser, inapelavelmente, um cabo de aço, em hipótese nenhuma podem ser utilizados cabos de cânhamo ou de qualquer outro material.

### 2.1.3.1 Hipóteses simplificadoras

Os cabos de aço são elementos repetidamente empregados em aplicações de engenharia, utilizados para suportar e transmitir cargas. Na análise das forças atuantes nesses sistemas estruturais, o peso próprio dos cabos pode ser desprezado ou não, dependendo de sua aplicação.

Quando utilizados na construção de guindastes, pontes suspensas ou em talhas mecânicas, os cabos de aço se destacam na transmissão de carregamentos e, nestes casos, o seu peso pode ser desprezado devido ao seu baixo valor quando comparado às cargas a serem suportadas. Quando os cabos de aço são utilizados no estaiamento de torres ou em linhas de transmissão, seu peso pode ser importante e deve ser incluído na análise.

No software desenvolvido neste trabalho o usuário poderá escolher livremente qual será a carga a ser transportada pelo equipamento, e devido a possibilidade de utilização do mesmo para o transporte desde pequenas cargas até o transporte de cargas pesadas, optou-se por considerar sempre o peso próprio do cabo.

No desenvolvimento dos cálculos fez-se necessário utilizar as seguintes hipóteses simplificadoras:

- Cabo perfeitamente flexível

Por ser perfeitamente flexível, o cabo de aço não oferece resistência à flexão, sendo a força de tração atuante sobre ele sempre tangente à sua geometria, em todo o seu comprimento.

- Cabo perfeitamente inextensível

Por ser perfeitamente inextensível, o cabo terá o mesmo comprimento antes e depois da aplicação da carga. Dessa forma, uma vez aplicada a carga, a geometria deformada permanecerá fixa e o cabo ou cada segmento dele pode ser tratado como corpo rígido. Essa consideração só poderá ser feita se realizado um pré-tensionamento do cabo, reduzindo assim a diferença entre o comprimento do mesmo antes e depois da aplicação da carga.

### 2.1.3.2 Curva Catenária

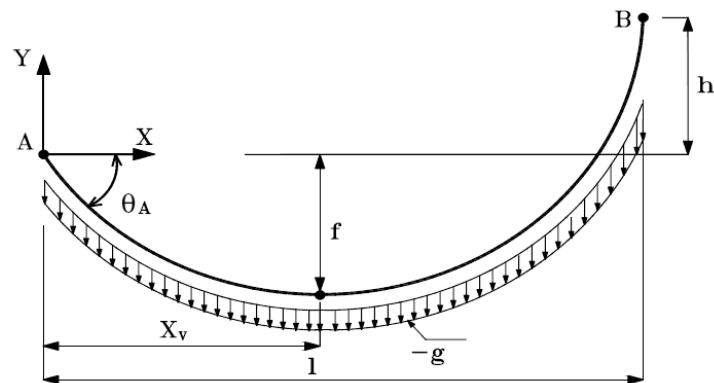


Figura 3 - Cabo suspenso sobre ação do próprio peso[6]

Quando um cabo é suspenso por dois pontos e sujeito apenas ao seu próprio peso, assume a forma curva conhecida como catenária, como pode-se observar na Figura 3.

O diagrama de corpo livre de uma porção finita do cabo de comprimento  $s$ , medido desde a origem é mostrado na Figura 4.

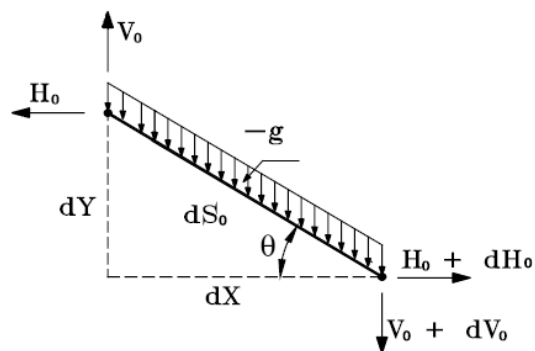


Figura 4 - Diagrama de corpo livre de uma porção finita do cabo em catenária[7]

em que:

$dy$  e  $dx$  são comprimentos infinitesimais nas direções  $x$  e  $y$ ;

$dS_o$  é o comprimento infinitesimal do elemento de cabo;

$H_o$  e  $H_o + dH_o$  são as forças horizontais nas extremidades do elemento de cabo;

$V_o + dV_o$  são forças verticais nas extremidades do elemento de cabo;

$\theta$  é o ângulo de inclinação do elemento de cabo.

Para um desnível ( $h$ ) e flecha do vértice ( $f$ ) conhecidos, sabendo-se que  $y = f$  para  $x = x_v$ , pode-se obter:

$$\cosh\left(\frac{gx_v}{H_0}\right) = \left(1 - \frac{gf}{H_0}\right) \quad (1)$$

$$x_v = \frac{H_0}{g} \cosh^{-1}\left(1 - \frac{gf}{H_0}\right) \quad (2)$$

As equações da tangente e da curva catenária que define a configuração de equilíbrio do cabo, são dadas respectivamente por:

$$y' = \sinh\left[\frac{gx}{H_0} - \cosh^{-1}\left(1 - \frac{gf}{H_0}\right)\right] \quad (3)$$

$$y = \frac{H_0}{g} \cosh\left[\frac{gx}{H_0} - \cosh^{-1}\left(1 - \frac{gf}{H_0}\right)\right] - \frac{H_0}{g} + f \quad (4)$$

Como quando  $x = l$ ;  $y = h$ , da Equação 4, por cálculos iterativos pode-se encontrar o valor de  $H_0$  através da Equação 5

$$h = \frac{H_0}{g} \cosh\left[\frac{gl}{H_0} - \cosh^{-1}\left(1 - \frac{gf}{H_0}\right)\right] - \frac{H_0}{g} + f \quad (5)$$

Após conhecido o valor de  $H_0$  o comprimento do cabo pode ser obtido através da Equação 6

$$S_0 = \frac{H_0}{g} \left\{ \sinh\left[\frac{gl}{H_0} - \cosh^{-1}\left(1 - \frac{gf}{H_0}\right)\right] + \sinh\left[\cosh^{-1}\left(1 - \frac{gf}{H_0}\right)\right] \right\} \quad (6)$$

A força de tração no cabo é dada pela equação 7

$$T = H_0 \cosh\left[\frac{gx}{H_0} - \cosh^{-1}\left(1 - \frac{gf}{H_0}\right)\right] \quad (7)$$

### 2.1.3.3 Cargas de vento

Os cabos de aço de uma tirolesa de carga assim como os condutores das linhas aéreas, além da carga referente ao seu peso próprio, ficam sujeitos às cargas provenientes da pressão do vento.[2]

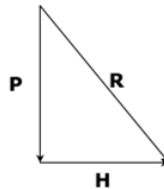


Figura 5 - Cálculo da resultante entre peso do cabo e carga de vento

Como demonstrado na Figura 5, para a determinação do esforço mecânico total a que o cabo ficará submetido, deve-se levar em consideração a resultante das cargas que atuam sobre o mesmo, ou seja, o seu peso próprio (P) e a pressão do vento (H).

O vento incidindo sobre os condutores encontra uma resistência que se manifesta em forma de pressão. Esta pressão é proporcional a velocidade do vento, sendo sua resultante uma força perpendicular ao eixo longitudinal dos cabos. Esta força é transferida pelos cabos às estruturas que o sustentam[3]. Considera-se que o vento atuando perpendicularmente à direção do cabo da tirolesa, assim como nos cabos das linhas elétricas, exerce uma pressão  $q$  dada pela Equação 8.

$$q = \frac{1}{2} \rho U_p^2 \quad (8)$$

em que:

$q$  é a pressão de vento atuante sob os cabos (Pa);

$\rho$  é a massa específica do ar (kg/m<sup>3</sup>);

$U_p$  é a velocidade do vento de projeto (m/s).

Conforme prescrições da NBR 6123, a massa específica do ar, considerada de maneira conservativa, pode ser adotada sempre nas condições normais de temperatura (15°C) e pressão (1,013x10<sup>5</sup>Pa), logo foi definido o valor de 1,226 Kg/m<sup>3</sup> como *default*<sup>3</sup> da massa específica do ar no software criado.

<sup>3</sup> É um termo técnico utilizado em computação e em vários contextos de informática. Pode ser utilizado tanto para referir-se a um valor pré-definido que o sistema computacional assume, como para uma ação tomada pelo sistema a menos que seja instruído de outra maneira.



A força resultante da pressão do vento, pode ser obtida através da Equação 9.

$$f_v = qd \quad (9)$$

em que:

$F_v$  é a força resultante da pressão de vento (Pa);

$q$  é a pressão de vento atuante sob o cabo (N/m<sup>2</sup>);

$d$  é o diâmetro do cabo (m).

Esta força se distribui uniformemente ao longo do condutor e se aplica na horizontal, em sentido transversal ao eixo longitudinal dos cabos. O cabo sujeito à força de vento sofre um deslocamento e passa a descrever uma catenária no plano horizontal, e o efeito do peso do cabo atuando simultaneamente à força do vento, fará com que a catenária se localize em um plano inclinado de ângulo  $\gamma$ , em relação ao plano vertical, conforme mostrado na Figura 6.

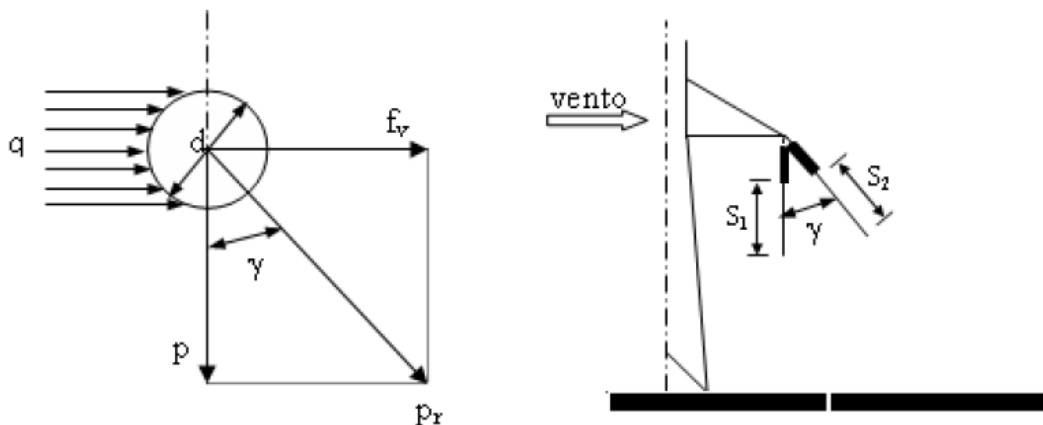


Figura 6 - Efeito da pressão de vento sobre cabo em catenária[4]

Sob a ação simultânea do peso próprio e da força do vento, o cabo sofre um aumento aparente de seu peso, que passa a atuar no plano da catenária deslocada. O peso aparente<sup>4</sup> pode ser calculado através da Equação 10.

$$\rho_r = \sqrt{p^2 + f_v^2} \quad (10)$$

<sup>4</sup> É chamada de peso aparente a força que resulta da soma vetorial do peso do cabo e da força resultante da pressão de vento atuante no cabo

em que:

$\rho_r$  é o peso aparente de um cabo sob ação do vento (N/m);

$p$  é o peso do cabo (N/m)

$f_v$  é a força resultante da pressão de vento (N/m)

Esse aumento aparente no peso, provoca um aumento nas trações no cabo e o aparecimento de uma força horizontal transversal nos pontos de suspensão, a estrutura deve estar preparada para absorver os mesmos. A flecha máxima do cabo suspenso no novo plano também será maior[4].

### 2.1.3.4 Teorema de Lamy

Enquanto o cabo de aço está em repouso ou mesmo sobre ação do vento, o mesmo assume o formato de uma curva catenária conforme dito anteriormente, entretanto, ao iniciar o transporte da carga a condição do cabo passa a ser diferente, como pode ser visto na Figura 7, o cabo se apresenta dividido em dois trechos retilíneos, um a esquerda da carga que nesse trabalho será sempre chamado de Trecho I e outro à direita da carga, chamado de Trecho II.

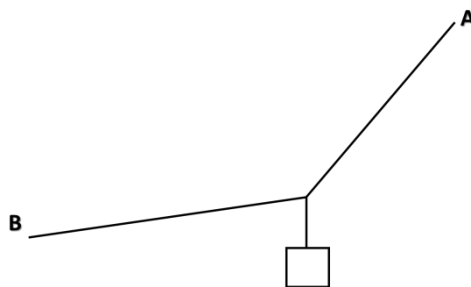


Figura 7 - Esquema do posicionamento do cabo carregado

Para calcular as forças em cada um dos trechos do cabo pode ser utilizado o Teorema de Lamy, que diz que quando um ponto material está em equilíbrio e submetido a ação de três forças coplanares e concorrentes, a razão entre o modulo de cada força e o seno do ângulo oposto é constante. O Teorema de Lamy, explicitado na Equação 11, e é uma aplicação da Lei dos Senos da geometria plana.

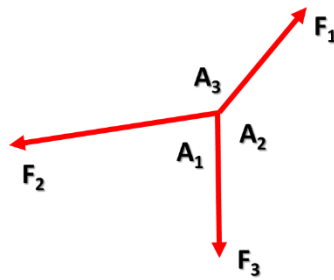


Figura 8 - Diagrama de forças pelo Teorema de Lamy

$$\frac{f_1}{\text{sen}A_1} = \frac{f_2}{\text{sen}A_2} = \frac{f_3}{\text{sen}A_3} \quad (11)$$

Como pode ser visto na Figura 8 e na Equação 11, sabendo a carga transportada ( $f_3$ ) e os ângulos formados pelos cabos pode-se chegar aos valores das forças em cada um dos trechos do cabo.

#### 2.1.4 Carretilha

Há várias formas de se construir uma carretilha, mas a título de ilustração, apresenta-se a fabricada por USCLIMB[5], conforme Figura 9, se trata de um equipamento muito simples com duas polias montadas em uma placa de alumínio, cortada e dobrada com um furo que possibilita prender a mesma a outros equipamentos através de um grampo. A polia dupla USCLIMB pode ser utilizada para cabos de até 12mm de diâmetro e possui resistência de ruptura de 24 KN, com massa de, apenas, 274g.



Figura 9 - Carretilha USCLIMB para tirolesa[5]

### 2.1.5 Freio

O freio da tirolesa pode ser construído de maneiras diferentes, entretanto, devido às restrições do projeto, chegou-se à conclusão de que o freio que melhor se adequa às tirolesas de carga para transporte de produtos agrícolas é o freio por cabos elásticos.

O freio por cabos elásticos consiste em uma carretilha que fica sobre o cabo de aço em um ponto estratégico, próximo do ponto mais baixo da tirolesa, presa por cabos elásticos dimensionados para reduzir a velocidade da carga antes do final do percurso. Quando a carretilha com a carga chega até a carretilha do freio, ocorre o início da desaceleração através do tracionamento dos cabos elásticos, reduzindo assim a velocidade do conjunto.

### 2.1.6 Cesto de Transporte

No transporte de determinadas frutas e legumes é extremamente importante o cuidado com produto, como é o caso dos caquis produzidos na região visada neste trabalho, que possuem casca muito frágil e se deterioram muito facilmente no transporte, visto isso é imprescindível para a realização de um transporte eficiente e a utilização da embalagem adequada. Na Figura 10, está ilustrada uma embalagem desenvolvida pela Embrapa para evitar lesões durante o transporte e a conseqüente perda dos produtos.



*Figura 10 - Caquis dispostos em embalem de Poliuretano e fibras naturais [6]*

Produzidas com poliuretano e fibras vegetais, além de reduzir as perdas pós-colheita, as caixas anatômicas também geram eficiência ao trabalho de embalagem, por acolher frutos de tamanhos variados [6], além disso conforme pode-se ver na Figura 11, as embalagens são 100% empilháveis, aumentando a facilidade de armazenagem e manejo das frutas embaladas.



Figura 11 - Embalagens de poliuretano 100% empilháveis

### 2.1.7 Fator dinâmico

Devido a aceleração e vibrações a que a carga está sujeita ao longo da descida, não podemos a princípio realizar o cálculo de forma estática, entretanto, segundo Hibbeler (1999, pg537) [7], “As cargas dinâmicas sobre um corpo podem ser tratadas como uma carga aplicada estaticamente, multiplicando-se a carga estática por um fator de impacto”.

O que Hibbeler chama de fator de impacto, neste trabalho foi nomeado fator dinâmico, considerando que as cargas neste caso são aplicadas dinamicamente com afastamento 0 (zero) do cabo de aço, ficou parametrizado como *default* do fator dinâmico o valor 2, ou seja, a carga aplicada dinamicamente possui duas vezes o valor da carga aplicada estaticamente, todavia nada impede que o usuário modifique esse fator para a realização dos cálculos.

## 2.1.8 Microsoft Excel

O Microsoft Excel é um editor de planilhas produzido pela Microsoft para computadores que utilizam o sistema operacional Microsoft Windows. Seus recursos incluem uma interface intuitiva e ferramentas de cálculo e de construção de gráficos capacitadas que, tornaram o Excel um dos mais populares softwares de computador deste segmento, esse foi um dos fatores determinantes para a escolha do software para desenvolvimento deste trabalho.

## 2.1.9 Solver

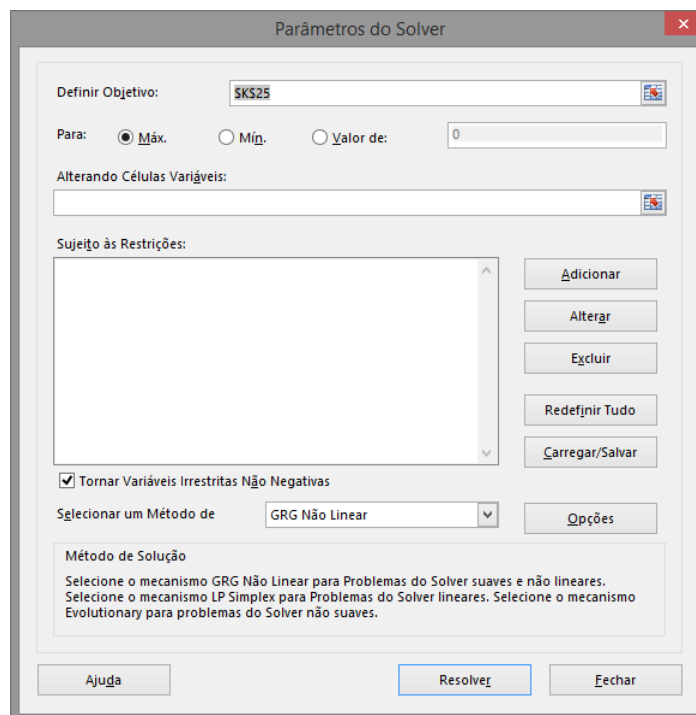


Figura 12 - Parâmetros do Solver

O Solver faz parte de um conjunto de comandos do Excel também conhecidos como ferramentas de teste de hipóteses. Com o Solver é possível localizar um resultado ideal máximo, mínimo ou fixado para uma fórmula em uma célula específica, sujeitando a restrições ou limites as células relacionadas.

Em resumo o Solver ajusta os valores nas células ditas como variáveis, sempre satisfazendo os limites das células de restrição, produzindo o resultado desejado para a célula do objetivo, a Figura 12 apresenta a tela principal do Solver.

Com a equação da catenária escrita como função em uma célula da planilha, tensão e flecha no cabo definidas como variáveis declaradas, o Solver foi utilizado para que através da variação do valor da tensão, seja encontrado um valor que satisfaça todas as restrições impostas, até que ocorra a convergência da célula para o valor do desnível definido. Dessa forma pode-se encontrar facilmente o valor da tensão para cada tipo diferente de cabo.

O método de cálculo do Solver é completamente iterativo e a convergência ou não dos resultados depende diretamente do valor inicial utilizado.

## 2.1.10 VBA

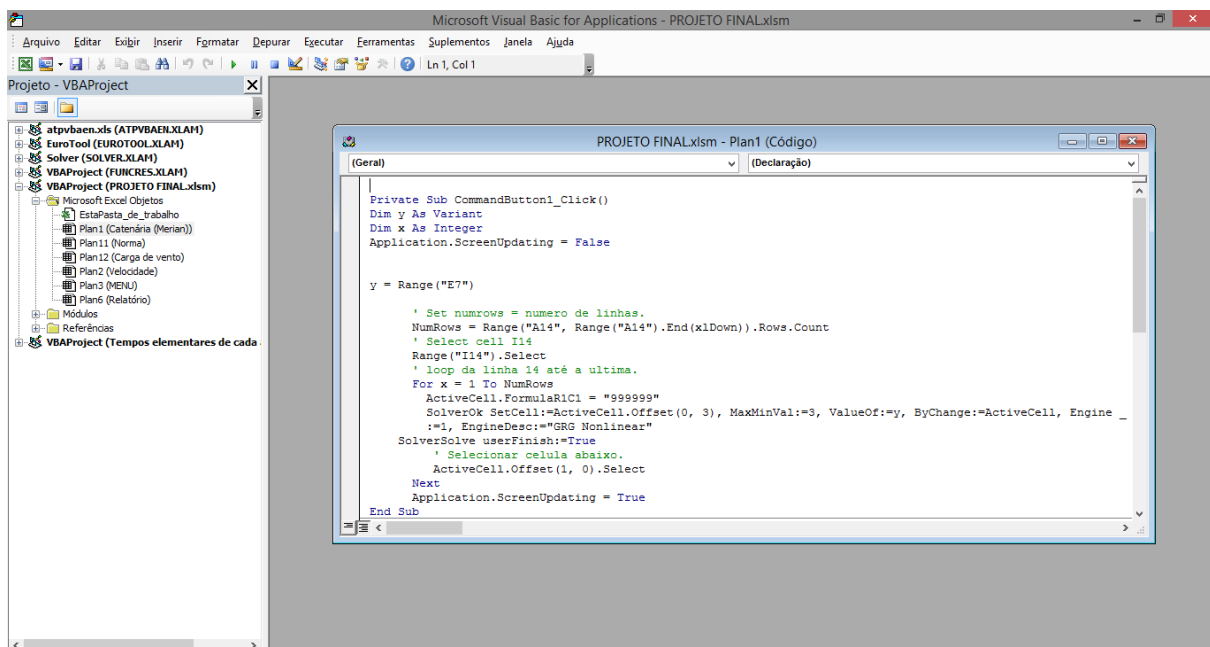


Figura 13 - Tela do Visual Basic

O *Visual Basic for Applications* (VBA) é uma implementação do *Visual Basic* da Microsoft e está presente em todos os programas do pacote Office, bem como em outras aplicações da Microsoft. Ele substitui e estende as capacidades anteriormente existentes das linguagens de programação de códigos específicos.

A utilização do VBA foi fundamental para o desenvolvimento da planilha, tanto no que diz respeito aos cálculos propriamente ditos, como no que diz respeito à criação de uma interface amigável aos usuários, possibilitando a colocação de botões para realização das diferentes funções e exibição de mensagens com informações aos usuários.



## Capítulo 3

### 3. Desenvolvimento da ferramenta

Inicialmente, a entrada de dados foi parametrizada para input diretamente nas planilhas presentes em diferentes abas do Excel. Com o desenvolvimento da ferramenta, a entrada de dados evoluiu para lançamento em *userforms*<sup>5</sup> com a utilização de botões para comandar as rotinas do programa, o que torna a interface mais agradável, permitindo maior segurança no lançamento dos dados, e evitando o contato do usuário com as folhas de cálculo da planilha, de forma a prevenir que, de maneira acidental, alguma fórmula possa ser alterada ou até mesmo deletada.

Neste capítulo serão apresentadas, em ordem de exibição, as telas do programa e os e métodos de cálculo utilizados.

#### 3.1 Tela de abertura



Figura 14 - Tela de abertura. Fonte da foto: Junior Sampaio

<sup>5</sup> Formulário personalizável do Microsoft Excel que permite a interação com as folhas de cálculo, são popularmente conhecidos como janelas.



A abertura do arquivo dispara uma rotina, conforme mostrado na Figura 15, que oculta o MSEXcel e abre a tela demonstrada na Figura 14.

```
Private Sub Workbook_Open()
    'Código roda automaticamente ao abrir o arquivo

    'Ocultar MSEXcel e abrir Tela de abertura
    Application.Visible = False
    ABERTURA.Show

End Sub
```

Figura 15 - Código de abertura do arquivo

Os códigos da tela de abertura, assim como todos os outros, podem ser encontrados no apêndice.

### 3.2 Tela de restrição de utilização

A segunda tela, conforme mostrado na Figura 16, contém os créditos da ferramenta e uma mensagem onde fica claro a proibição da utilização desta como memória de cálculo de projetos de qualquer natureza, pois se entende tratar de projeto acadêmico, não tendo sido testado a ponto de ser utilizado para tal finalidade.

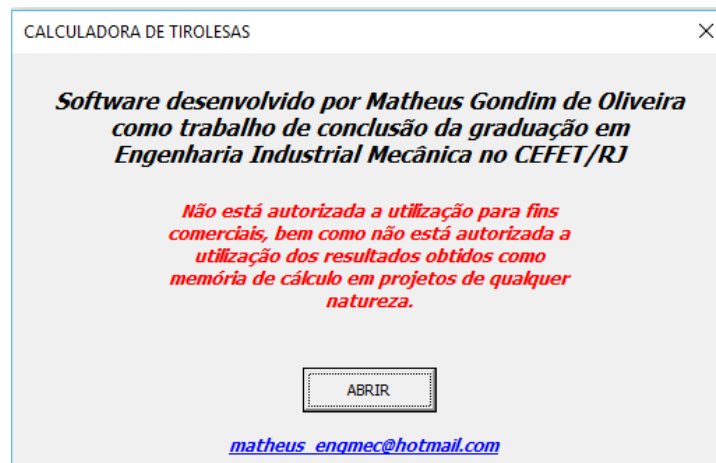


Figura 16 - Mensagem com restrição de utilização

### 3.3 Tela principal

Figura 17 - Tela Principal

Na tela principal, o usuário tem a opção de criar uma nova tirolesa, podendo inserir as dimensões por dados colhidos no local ou através das coordenadas geográficas. O número da tirolesa é gerado automaticamente e existem diversas verificações a fim de impedir entrada de dados que possam causar erros no sistema. Ao atribuir o valor 10 ao campo “Flecha desejada”, por exemplo, o programa exibe uma mensagem informativa, conforme demonstrado na Figura 18, e muda o valor do campo para -10, impedindo a ocorrência de erros, visto que não é possível uma flecha positiva para o referencial adotado.

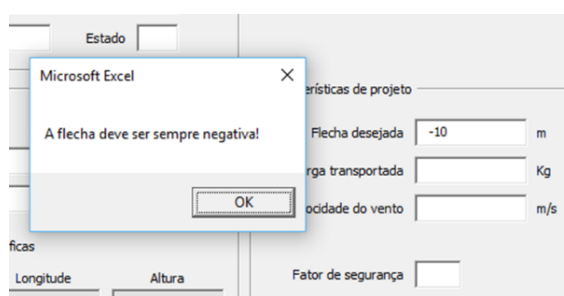


Figura 18 - Mensagem informativa do sinal da flecha

O botão MSEXCEL exibe o Excel, possibilitando edições do código ou até mesmo das formulas e demais dados, e os botões “Salvar e sair” e “Sair sem salvar” são autoexplicativos. Ao clicar em “Calcular” será exibida uma tela de confirmação dos dados. O botão “Calcular existente” abre uma tela com todas as tirolesas calculadas anteriormente.

### 3.4 Tela de confirmação dos dados

**CALCULADORA DE TIROLESAS** [X]

Dados de projeto

nº 18

Distância	350	m
Desnível	50	m
Flecha desejada	0	m
Carga transportada	50	Kg
Velocidade do vento	30	m/s
Fator de segurança	5	
Fator dinâmico	2	
Aceleração da gravidade	9,81	m/s <sup>2</sup>
Massa específica do ar	1,226	Kg/m <sup>3</sup>

Velocidade máxima teórica

Realizando o balanço de energia desprezando o atrito dos roletes com o cabo e o arrasto aerodinâmico, obtemos a velocidade máxima teórica de:

**31,32 m/s**  
ou  
**112,76 Km/h**

[ Voltar ] [ Confirmar ]

Figura 19 - Tela de confirmação dos dados

A tela de confirmação dos dados demonstra todos os dados inseridos na tela anterior para conferência antes do início dos cálculos. Na parte inferior da tela é demonstrada a velocidade máxima teórica, cujo valor é obtido utilizando-se da lei da conservação da energia, uma vez que a energia potencial inicial somada à energia cinética inicial deve ser igual ao somatório da energia potencial final com a energia cinética final, desprezando-se a força de atrito no cabo e o arrasto aerodinâmico do cesto de transporte.

Ao clicar “Confirmar” será exibida uma tela com uma barra de progresso dos cálculos realizados, conforme Figura 20. Após o final dos cálculos será exibida uma tela com os resultados.

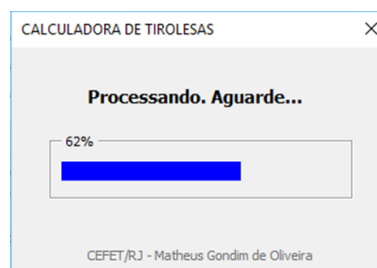


Figura 20 - Tela com barra de progresso do cálculo

### 3.5 Cálculo das forças no cabo em catenária

As fórmulas para o cálculo das forças estão na aba “CATENÁRIA” e o cálculo é realizado iterativamente através do Solver, linha por linha, para todos os cabos cadastrados. A tabela de cabos e suas características foram retiradas do catálogo do fabricante (Cablemax), e pode ser atualizada desde que respeitadas as unidades e mantidas as posições e quantidades de colunas da tabela original. Podem ser inseridas na tabela quantas linhas forem necessárias, permitindo analisar simultaneamente mais de um fabricante e atualizar a lista de cabos disponíveis sempre que for preciso.

Fabricante	RS/m	β Pol.	β mm	Tipo	Construção	Kg/m	IPS EIP	Ruptura (Kg)	Ruptura(N)	Resultado da pressão do vento (N/m)	Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)	Ruptura(N)/FS	F horizontal(N)	h(m)	Xu(m)	Força(N)	Status	Cabo(m)	Força Total(N)	Status Final	Força catenária (N)	Força final(N)	Convergiu?
Cablemax	1/16"	1.59	AF/AFA	6x7	0,012	IPS	151	1481,31	1.53912	1.54361536	296,262	1850,025188	91,00	0	1990,49514	-	475,82	15484,922	-	-	-	SIM	
Cablemax	5/64"	1.99	AF/AFA	6x7	0,014	IPS	236	2315,16	1.92632	1.93120973	463,032	2314,558841	91,00	0	2490,298869	-	475,82	15984,726	-	-	-	SIM	
Cablemax	3/32"	2.38	AF/AFA	6x7	0,019	IPS	340	3335,4	2.30384	2.31136756	667,08	2770,17878	91,00	0	2980,513159	-	475,82	16474,94	-	-	-	SIM	
Cablemax	1/8"	3.18	AF/AFA	6x7	0,034	IPS	604	5925,24	3.07824	3.09625749	1185,048	3710,870981	91,00	0	3992,63032	-	475,82	17487,058	-	-	-	SIM	
Cablemax	5/32"	3.97	AF/AFA	6x7	0,054	IPS	944	9260,64	3.84296	3.87929968	1852,128	4649,348666	91,00	0	5002,364822	-	475,82	18496,792	-	-	-	SIM	
Cablemax	3/16"	4.76	AF/AFA	6x7	0,078	IPS	1359	13331,79	4.60768	4.67073137	2666,358	5597,941256	91,00	0	6021,984386	-	475,82	19517,412	-	-	-	SIM	
Cablemax	1/4"	6.35	AF/AFA	6x7	0,14	IPS	2416	23700,96	6.1468	6.2983631	4740,192	7548,601163	91,00	0	8121,752019	-	475,82	21616,178	-	-	-	SIM	
Cablemax	5/16"	7.94	AF/AFA	6x7	0,221	IPS	3778	37062,18	7.68592	7.98583957	7412,436	9571,045182	91,00	0	10297,75635	-	475,82	23792,184	-	-	-	SIM	
Cablemax	3/8"	9.53	AF/AFA	6x7	0,31	IPS	5442	53386,02	9.22504	9.71337491	10677,204	11641,49985	91,00	0	12525,41668	-	475,82	26019,844	-	-	-	SIM	

Figura 21 - Tabela da aba "CATENÁRIA"

- A resultante da pressão do vento (Pa) é calculada, conforme Equação 9, através da fórmula “= $FF5 * ([@/Ømm]/1000)$ ”

em que:

$FF5$  é a pressão do vento em  $N/m^2$ ;

$[@/Ømm]$  é o diâmetro do cabo em milímetros.

- O peso aparente devido à pressão do vento (N/m) é calculado conforme Equação 10 através da fórmula “= $RAIZ(([@/Kg/m] * FF7)^2 + ([@/Resultante da pressão do vento (Pa)])^2)$ ”

em que:

$[@/Kg/m]$  é o peso do cabo por metro linear;

$FF7$  é a aceleração da gravidade em  $m/s^2$ ;

$[@/Resultante da pressão do vento (Pa)]$  é a resultante da pressão do vento (Pa)

- A força de ruptura (N) /FS é a força de ruptura em Newton fornecida pelo fabricante aplicando-se o fator de segurança definido pelo usuário. Dessa maneira, as forças não sofrem alteração devido ao fator de segurança, facilitando a leitura das mesmas nos suportes do cabo, e possibilitando fácil aplicação do fator de segurança desejado para o restante dos cálculos.
- Força horizontal (N) é o valor que será testado pelo Solver até que ocorra a convergência do valor do desnível àquele determinado pelo usuário. Para isso, é utilizada, como valor inicial, a força horizontal na curva parabólica correspondente. Para replicar essa operação para todos os cabos disponíveis foi criado um código em linguagem VBA que realiza um loop e calcula a tração máxima para todas as linhas da tabela, o código pode ser visto na Figura 22. A força horizontal na curva parabólica será aproximada o suficiente da força horizontal na curva catenária, resultando uma maior rapidez nos cálculos iterativos e garantindo a convergência dos resultados. A força pode ser calculada através da Equação 12[6].

$$H_0 = - \frac{pl^2}{2f \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{h}{f} \right)^2} \right)} \quad (12)$$

```

'contador
Dim Percentual As Single 'variável que armazena resultado de divisão
Dim contador As Integer 'conta atual quantidade de laços feitos
Dim limite As Integer 'apresentando uma variável para armazenar o valor máximo

Dim y As Variant
Dim x As Integer

Application.ScreenUpdating = False

h = Range("F4")

'NumRows = numero de linhas
NumRows = Range("C17", Range("C17").End(xlDown)).Rows.Count

'Limitante do contador de progresso 100%
limite = NumRows

'seleciona a celula da força horizontal na primeira linha
Range("N17").Select
'loop da linha 17 até a ultima
For x = 1 To NumRows

ActiveCell.FormulaR1C1 = ActiveCell.Offset(0, -2) * Range("Q6") 'chute inicial pela força na parabola

SolverOk SetCell:=ActiveCell.Offset(0, 1), MaxMinVal:=3, ValueOf:=h, ByChange:=ActiveCell, Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
SolverSolve userFinish:=True

'selecionar celula da linha de baixo
ActiveCell.Offset(1, 0).Select

contador = contador + 1 'conta a quantidade já realizada de ações
Percentual = contador / limite 'encontra o % realizado
AtualizaBarra Percentual ' Chama atualização de barra

Next

frmProcesso.Hide 'fecha a janela (formulário) após concluir

Call Calcular_Lamy
End Sub

```

Figura 22 - Código em loop para cálculo da força horizontal

- O desnível,  $h(m)$  é calculado conforme Equação 5, através da fórmula “=SEERRO((([@[F horizontal(N)]]/[@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]]\*(COSH((([@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]]\*F\$6)/[@[F horizontal(N)]])-(ACOSH(1-(([@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]]\*F\$8)/[@[F horizontal(N)]])))))-([@[F horizontal(N)]]/[@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]]+F\$8);””

em que:

F\$6 é a distância definida pelo usuário entre os pontos, em metros;

F\$8 é a flecha definida pelo usuário, em metros.

- A coordenada em x do ponto mais baixo do cabo, ou seja, a posição da flecha máxima, é obtida conforme Equação 2 e através da seguinte fórmula “=SEERRO([@[F horizontal(N)]]/[@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]]\*ACOSH(1-([@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]]\*F\$8)/[@[F horizontal(N)]]);””

em que:

F\$8 é a flecha definida pelo usuário, em metros.

- A força de tração no cabo devido à curva catenária é dada pela Equação 7 e calculada através da seguinte fórmula “=SEERRO([@[F horizontal(N)]]\*(COSH((([@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]]\*F\$6)/[@[F horizontal(N)]])-(ACOSH(1-(([@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]]\*F\$8)/[@[F horizontal(N)]])))));””

em que:

F\$6 é a distância definida pelo usuário entre os pontos, em metros;

F\$8 é a flecha definida pelo usuário, em metros.

- O Status de cada um dos cabos em relação à força de tração na catenária é obtido através da seguinte condição “=SE([@[Força de Tração(N)]]<=[@[Ruptura(N)/FS]];"OK";"-")”. Portanto, caso a força de tração em Newton seja menor ou igual à força de ruptura dividida pelo fator de segurança, o cabo receberá a classificação “OK”, e caso contrário receberá a classificação “-“.

- O comprimento do cabo em metros é calculado conforme Equação 6, através da formula “=SEERRO(([@[F horizontal(N)]]/[@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)])\*(SENH(((@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]\*\$F\$6)/@[F horizontal(N)])-(ACOSH(1-((@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]\*\$F\$8)/@[F horizontal(N)])))))+SENH(ACOSH(1-((@[Peso aparente devido a pressão de vento (N/m)]\*\$F\$8)/@[F horizontal(N)])))));””

em que:

$F$6$  é a distância definida pelo usuário entre os pontos, em metros;

$F$8$  é a flecha definida pelo usuário, em metros.

- A força de tração total e o status final serão demonstrados no próximo item - Cálculo das forças pelo Teorema de Lamy, e a análise da convergência é realizada verificando se o modulo da diferença entre o desnível obtido e o definido pelo usuário é menor do que o parâmetro de convergência por ele determinado, através da formula “=SEERRO(SE(ABS(\$F\$4-[@[h(m)]])<\$Q\$3;"SIM";"NÃO");””

em que:

$F$4$  é o desnível entre os pontos;

$Q$3$  é o parâmetro de convergência definido pelo usuário.

### 3.6 Cálculo das forças pelo Teorema de Lamy

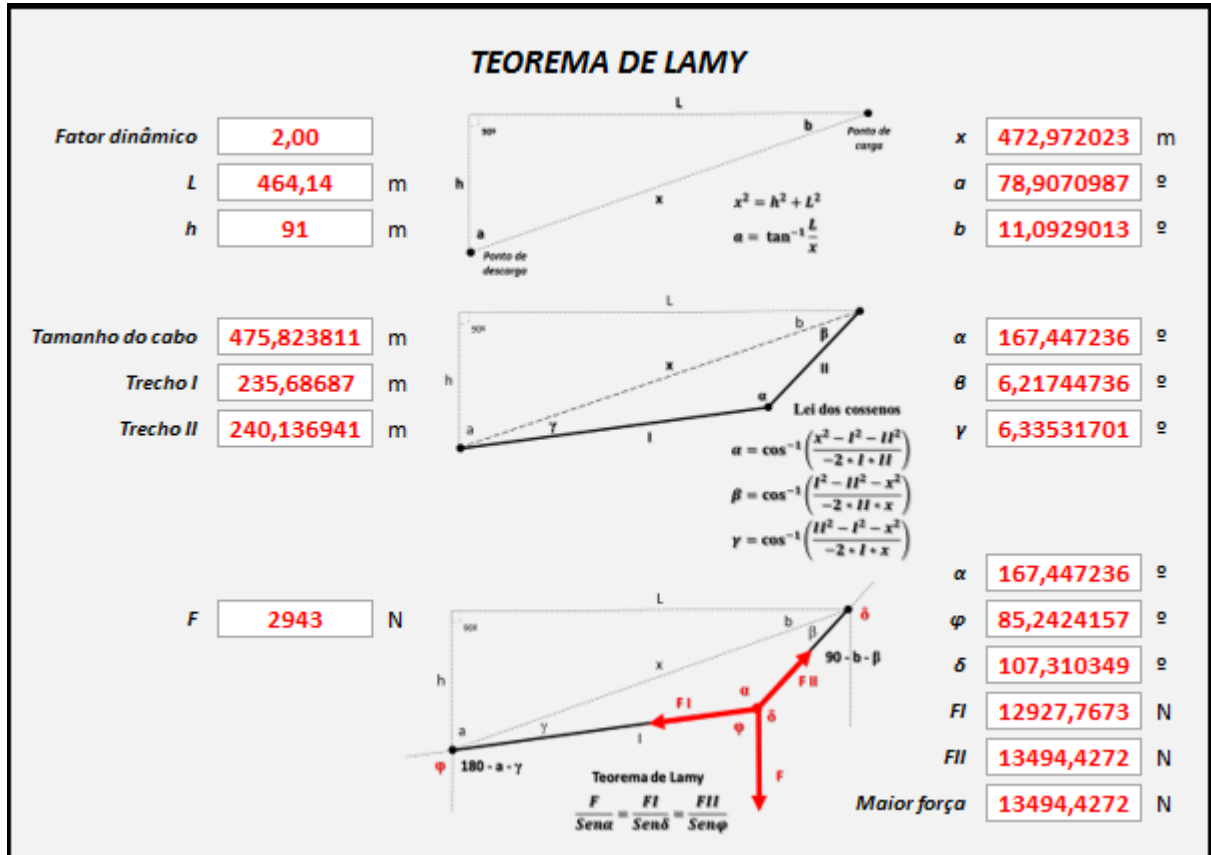


Figura 23 - Tabela de cálculo da aba "Lamy"

Conforme pode ser visto na Figura 23, faz-se necessário uma grande quantidade de cálculos para chegar até o instante em que a força no cabo será máxima. Na parte superior da tela pode-se ver que o início dos cálculos se dá através do Teorema de Pitágoras, onde é obtida a distância  $x$  que liga o ponto de carga ao ponto de descarga. Por conseguinte, são obtidos os ângulos chamados de “ $a$ ” e “ $b$ ”. Note que, até este momento, apenas foram utilizados distância e desnível entre os pontos de carga e descarga.

Na segunda etapa do cálculo destacam-se as células à esquerda, onde consta o tamanho do cabo, obtido através do cálculo da catenária; o comprimento do Trecho I do cabo, a ser modificado pelo Solver para obter a força máxima no cabo; e o Trecho II do cabo, calculado pela diferença entre o comprimento total do cabo e o comprimento do Trecho I. Ainda na segunda etapa do cálculo, agora à esquerda das imagens, são calculados em graus, através da lei dos cossenos, os ângulos chamados de “ $\alpha$ ”, “ $\beta$ ” e “ $\gamma$ ”. Nota-se que o ângulo  $\alpha$  é



um dos três ângulos necessários para calcular as forças em cada perna do cabo pelo Teorema de Lamy, os dois outros serão obtidos na próxima etapa do cálculo.

Na terceira etapa do cálculo, após simples análise geométrica, são obtidos os ângulos “ $\varphi$ ” e “ $\delta$ ”, e será possível aplicar o Teorema de Lamy, obtendo-se finalmente os valores de FI e FII. Observa-se que existe um campo “Maior força”. Esse campo é preenchido automaticamente com a maior força entre FI e FII, e será observado pelo Solver enquanto o mesmo varia o valor do Trecho I de 0 até o comprimento do cabo, objetivando encontrar o ponto em que ocorrerá a força máxima.

- A força de tração total é o somatório da força de tração obtida pelo cálculo da catenária e da força máxima obtida pelo Teorema de Lamy, através da fórmula “=SEERRO([@[Força de Tração(N)]]+\$F\$14;””)”

em que:

$F_{14}$  é a tração em Newton obtida pelo Teorema de Lamy

- O Status de cada um dos cabos em relação à força de tração total é obtido através da seguinte condição “=SE([@[Força de tração total(N)]]<=[@[Ruptura(N)/FS]];”OK”;”-”)”, ou seja, caso a força de tração em Newton seja menor ou igual à força de ruptura dividida pelo fator de segurança o cabo receberá a classificação “OK” e caso contrário receberá a classificação “-”.
- Os campos “Força na catenária em Newton” e “Força final em Newton” retornam apenas os valores das forças para os cabos aprovados em cada uma das situações. Esse registro serve única e exclusivamente para facilitar a visualização do cabo que proporcionará a força mínima e a visualização do cabo que irá resultar em uma força máxima, tanto para o cenário considerando apenas os esforços devidos à curva catenária, como para o que considera a carga transportada.

Conforme se pode facilmente perceber, todos os cálculos foram formulados de maneira a possibilitar a entrada de quaisquer valores. Todas as fórmulas para os cálculos pelo Teorema de Lamy estão parametrizadas em função de:

- l – Distância entre os pontos;
- h – Desnível entre os pontos;

Comprimento do cabo;  
 Comprimento do trecho I do cabo;  
 Carga transportada;  
 Fator dinâmico.

### 3.7 Tela Calcular Existente

Dados cadastrados

Tirolesa **Tirolesa para caqui e banana**  
 Cliente **Associação Agroprata**  
 Local **Campo Grande - RJ**

Distância  m      Velocidade do vento  m/s  
 Desnível  m      Fator de segurança   
 Flecha desejada  m      Fator dinâmico   
 Carga transportada  Kg      Aceleração da gravidade  m/s²  
    Massa específica do ar  Kg/m³

#	Tirolesa	Cliente	Município	Estado
1	Tirolesa para caqui e banana	Associação Agroprata	Campo Grande	RJ

Calcular

Figura 24 - Tela calcular tirolesa existente

A tela de seleção de tirolesa existente é bastante intuitiva. Portanto, ao clicar sobre uma das tirolesas da lista os seus dados são exibidos nos campos da parte superior da tela, e após selecionada a tirolesa que o usuário deseja, basta clicar “Calcular”.

### 3.8 Tela de resultados globais

**CALCULADORA DE TIROLESAS** ✕

Quantidade de cabos testados **124**

Parâmetro de convergência utilizado **0,001 m**  
*alterar*

Ocorreu a convergência em **100,00 % dos cabos**  
*Utilizando como valor inicial, Força horizontal considerando a curva parabólica*

Fator de segurança utilizado **5**

Fator Dinâmico utilizado **2**

Comprimento do cabo calculado **475,82 m**

Desconsiderando a carga transportada

Tração mínima obtida **15.055,63 N**

Tração máxima obtida **91.876,23 N**

Quantidade de cabos aprovados **70 (56%)**

Considerando uma carga de 150 Kg

Força máx. pelo método de Lamy **13.494,43 N**

Força máx. ocorre **x = 234,87 m**  
*\*Ponto (0,0) localizado na fixação do cabo no ponto de descarga*

Tração mínima obtida **42.366,16 N**

Tração máxima obtida **105.370,65 N**

Quantidade de cabos aprovados **39 (31%)**

Analisar resultados

Figura 25 - Tela dos resultados

Após o cálculo de uma tirolesa existente ou após o cálculo de uma nova tirolesa, será exibida a tela com os resultados, conforme mostrado na Figura 25, onde o usuário poderá verificar:

- Quantidade de cabos testados;
- Parâmetro de convergência utilizado. Clicando em alterar é possível modificar, através da tela demonstrada na Figura 26, o parâmetro de convergência, para verificar a precisão dos cálculos realizados;

✕

Novo parâmetro de convergência

m OK

Figura 26 - Tela de troca do parâmetro de convergência

- Percentual de convergência;
- Fator de segurança utilizado;
- Fator dinâmico utilizado;
- Comprimento do cabo calculado devido às características da curva catenária definida para atender as condições de projeto;
- Tração mínima obtida, considerando 0 (zero) a carga transportada, utilizada para iniciar o dimensionamento da torre de carga e descarga, que deverão suportar ao menos essa força mínima, devendo ser aplicado um fator de segurança desejado.
- Tração máxima obtida desconsiderando a carga transportada;
- Quantidade de cabos aprovados, desconsiderando a carga transportada;
- Força máxima pelo teorema de Lamy;
- O local onde a força máxima ocorre. Posição no eixo x, em que a força máxima ocorre, de acordo com o Teorema de Lamy;
- Tração mínima obtida, considerando a carga transportada;
- Tração máxima obtida, considerando a carga transportada;
- Quantidade de cabos aprovados, considerando a carga transportada.

Nesse caso específico a torre de sustentação do cabo de aço deve suportar no mínimo 42,37 KN x Fator de segurança, para atender ao transporte de uma carga de 150 Kg.

### **3.9 Tela de análise dos resultados**

A tela de análise dos resultados, mostrada na Figura 27, é onde o usuário irá escolher qual cabo será utilizado para dar seguimento aos cálculos, são dados a serem verificados pelo usuário:

- Fabricante;
- Diâmetro do cabo;
- Construção do cabo;

- Peso por metro linear;
- Força de ruptura;
- Força de tração total.

CALCULADORA DE TIROLESAS

Nos botões abaixo da tabela, filtre os cabos aprovados e em seguida selecione um deles para gerar o gráfico e o relatório

Fabricante	ØPol.	Tipo	Con...	Kg/m	IP...	Ruptura(N)	Peso ...	Ruptura(N)/FS	F horizontal(N)	h(m)	Xv(m)	Força ...	Status	Cabo(m)	Força de tr...	Sta...
Cablemax	1/16"	AF/AFA	6x7	0,012	IPS	1481,31	1,563...	296,262	1874,34799...	90,99...	0	2016,...	-	475,8...	15511,090...	-
Cablemax	5/64"	AF/AFA	6x7	0,014	IPS	2315,16	1,956...	463,032	2345,01079...	90,99...	0	2523,...	-	475,8...	16017,490...	-
Cablemax	3/32"	AF/AFA	6x7	0,019	IPS	3335,4	2,341...	667,08	2806,57258...	90,99...	0	3019,...	-	475,8...	16514,097...	-
Cablemax	1/8"	AF/AFA	6x7	0,034	IPS	5925,24	3,136...	1185,048	3759,37460...	90,99...	0	4044,...	-	475,8...	17539,243...	-
Cablemax	5/32"	AF/AFA	6x7	0,054	IPS	9260,64	3,929...	1852,128	4709,68857...	90,99...	0	5067,...	-	475,8...	18561,713...	-
Cablemax	3/16"	AF/AFA	6x7	0,078	IPS	13331,79	4,730...	2666,358	5669,99166...	90,99...	0	6100,...	-	475,8...	19594,930...	-
Cablemax	1/4"	AF/AFA	6x7	0,14	IPS	23700,96	6,377...	4740,192	7643,70076...	90,99...	0	8224,...	-	475,8...	21718,499...	-
Cablemax	5/16"	AF/AFA	6x7	0,221	IPS	37062,18	8,083...	7412,436	9688,33317...	90,99...	0	10423,...	-	475,8...	23918,377...	-
Cablemax	3/8"	AF/AFA	6x7	0,31	IPS	53386,02	9,829...	10677,204	11780,4368...	90,99...	0	12674,...	-	475,8...	26169,330...	-
Cablemax	7/16"	AF/AFA	6x7	0,43	IPS	72427,23	11,67...	14485,446	13993,1575...	90,99...	0	15055,...	-	475,8...	28550,058...	-
Cablemax	1/2"	AF/AFA	6x7	0,57	IPS	94813,65	13,65...	18962,73	16363,9659...	90,99...	0	17606,...	OK	475,8...	31100,877...	-
Cablemax	9/16"	AF/AFA	6x7	0,71	IPS	120211,74	15,65...	24042,348	18768,1590...	90,99...	0	20193,...	OK	475,8...	33687,616...	-
Cablemax	5/8"	AF/AFA	6x7	0,88	IPS	148611,69	17,82...	29272,338	21362,9597...	90,99...	0	22985,...	OK	475,8...	36479,435...	-
Cablemax	3/4"	AF/AFA	6x7	1,25	IPS	214446,6	22,38...	42889,32	26834,2627...	90,99...	0	28871,...	OK	475,8...	42366,164...	OK
Cablemax	7/8"	AF/AFA	6x7	1,71	IPS	289708,92	27,48...	57941,784	32942,4725...	90,99...	0	35443,...	OK	475,8...	48938,158...	OK
Cablemax	1"	AF/AFA	6x7	2,23	IPS	379254,6	33,15...	75850,92	39735,2904...	90,99...	0	42752,...	OK	475,8...	56246,742...	OK
Cablemax	1/16"	AA/AACI	6x7	0,013	IPS	1599,03	1,564...	319,806	1875,26964...	90,99...	0	2017,...	-	475,8...	15512,082...	-
Cablemax	5/64"	AA/AACI	6x7	0,015	IPS	2501,55	1,957...	500,31	2345,86538...	90,99...	0	2523,...	-	475,8...	16018,409...	-
Cablemax	3/32"	AA/AACI	6x7	0,021	IPS	3600,27	2,343...	720,054	2808,54204...	90,99...	0	3021,...	-	475,8...	16516,216...	-
Cablemax	1/8"	AA/AACI	6x7	0,037	IPS	6405,93	3,139...	1281,186	3763,28862...	90,99...	0	4049,...	-	475,8...	17543,455...	-
Cablemax	5/32"	AA/AACI	6x7	0,061	IPS	10016,01	3,939...	2003,202	4721,48758...	90,99...	0	5079,...	-	475,8...	18574,408...	-
Cablemax	3/16"	AA/AACI	6x7	0,086	IPS	14410,89	4,744...	2782,178	5685,96243...	90,99...	0	6117,...	-	475,8...	19612,113...	-
Cablemax	1/4"	AA/AACI	6x7	0,154	IPS	25633,53	6,408...	5126,706	7680,82895...	90,99...	0	8264,...	-	475,8...	21758,446...	-
Cablemax	5/16"	AA/AACI	6x7	0,244	IPS	40073,85	8,147...	8014,77	9764,33380...	90,99...	0	10505,...	-	475,8...	24000,148...	-
Cablemax	3/8"	AA/AACI	6x7	0,341	IPS	57731,85	9,927...	11546,37	11898,2518...	90,99...	0	12801,...	-	475,8...	26296,090...	-

Filtrar apenas aprovados   Selecionar

Figura 27 - Tela de análise dos resultados

CALCULADORA DE TIROLESAS

Nos botões abaixo da tabela, filtre os cabos aprovados e em seguida selecione um deles para gerar o gráfico e o relatório

Fabricante	ØPol.	Tipo	Con...	Kg/m	IP...	Ruptura(N)	Peso ...	Ruptura(N)/FS	F horizontal(N)	h(m)	Xv(m)	Força ...	Status	Cabo(m)	Força de tr...	Sta...
Cablemax	3/4"	AF/AFA	6x7	1,25	IPS	214446,6	22,38...	42889,32	26834,2627...	90,99...	0	28871,...	OK	475,8...	42366,164...	OK
Cablemax	7/8"	AF/AFA	6x7	1,71	IPS	289708,92	27,48...	57941,784	32942,4725...	90,99...	0	35443,...	OK	475,8...	48938,158...	OK
Cablemax	1"	AF/AFA	6x7	2,23	IPS	379254,6	33,15...	75850,92	39735,2904...	90,99...	0	42752,...	OK	475,8...	56246,742...	OK
Cablemax	3/4"	AA/AACI	6x7	1,38	IPS	231888,78	23,11...	46377,756	27700,9013...	90,99...	0	29804,...	OK	475,8...	43298,605...	OK
Cablemax	7/8"	AA/AACI	6x7	1,88	IPS	313272,54	28,53...	62654,508	34198,9890...	90,99...	0	36795,...	OK	475,8...	50290,080...	OK
Cablemax	1"	AA/AACI	6x7	2,45	IPS	410097,24	34,61...	82019,448	41487,5797...	90,99...	0	44637,...	OK	475,8...	58132,079...	OK
Cablemax	7/8"	AF/AFA	6x1...	1,92	IPS	287962,74	28,78...	57592,548	34504,8177...	90,99...	0	37124,...	OK	475,8...	50619,129...	OK
Cablemax	1"	AF/AFA	6x1...	2,5	IPS	376968,87	34,95...	75393,774	41897,8787...	90,99...	0	45079,...	OK	475,8...	58573,531...	OK
Cablemax	1.1...	AF/AFA	6x1...	3,17	IPS	477933,39	41,87...	95586,678	50193,0433...	90,99...	0	54004,...	OK	475,8...	67498,532...	OK
Cablemax	1.1...	AF/AFA	6x1...	3,91	IPS	590866,11	49,43...	118173,222	59250,7260...	90,99...	0	63749,...	OK	475,8...	77243,947...	OK
Cablemax	1.3...	AF/AFA	6x1...	4,73	IPS	711686,07	57,66...	142337,214	69106,5898...	90,99...	0	74353,...	OK	475,8...	87848,148...	OK
Cablemax	1.1...	AF/AFA	6x1...	5,63	IPS	843728,67	66,62...	168745,734	79855,3995...	90,99...	0	85918,...	OK	475,8...	99413,094...	OK
Cablemax	3/4"	AA/AACI	6x1...	1,55	IPS	229956,21	24,12...	45991,242	28917,0262...	90,99...	0	31112,...	OK	475,8...	44607,067...	OK
Cablemax	7/8"	AA/AACI	6x1...	2,11	IPS	310653,27	30,04...	62130,654	36005,9494...	90,99...	0	38739,...	OK	475,8...	52234,239...	OK
Cablemax	1"	AA/AACI	6x1...	2,75	IPS	406663,74	36,72...	81332,748	44009,8246...	90,99...	0	47351,...	OK	475,8...	60845,833...	OK
Cablemax	1.1...	AA/AACI	6x1...	3,48	IPS	515584,17	44,18...	103116,834	52955,7499...	90,99...	0	56976,...	OK	475,8...	70471,006...	OK
Cablemax	1.1...	AA/AACI	6x1...	4,3	IPS	637424,37	52,46...	127484,874	62874,9608...	90,99...	0	67648,...	OK	475,8...	81143,363...	OK
Cablemax	1.1...	AA/AACI	6x1...	5,21	IPS	767750,22	61,51...	153550,044	73724,2422...	90,99...	0	79321,...	OK	475,8...	92816,410...	OK
Cablemax	1.1...	AA/AACI	6x1...	6,19	IPS	910201,23	71,24...	182040,246	85392,5338...	90,99...	0	91876,...	OK	475,8...	105370,65...	OK
Cablemax	3/4"	AF/AFA	6x7	1,25	EIPS	237470,67	22,38...	47494,134	26834,2627...	90,99...	0	28871,...	OK	475,8...	42366,164...	OK
Cablemax	7/8"	AF/AFA	6x7	1,71	EIPS	320806,62	27,48...	64161,324	32942,4725...	90,99...	0	35443,...	OK	475,8...	48938,158...	OK
Cablemax	1"	AF/AFA	6x7	2,23	EIPS	419966,1	33,15...	83993,22	39735,2904...	90,99...	0	42752,...	OK	475,8...	56246,742...	OK
Cablemax	3/4"	AA/AACI	6x7	1,38	EIPS	256786,56	23,11...	51357,312	27700,9013...	90,99...	0	29804,...	OK	475,8...	43298,605...	OK
Cablemax	7/8"	AA/AACI	6x7	1,88	EIPS	346901,22	28,53...	69380,244	34198,9890...	90,99...	0	36795,...	OK	475,8...	50290,080...	OK
Cablemax	1"	AA/AACI	6x7	2,45	EIPS	454114,71	34,61...	90822,942	41487,5797...	90,99...	0	44637,...	OK	475,8...	58132,079...	OK

Filtrar apenas aprovados   Selecionar

Figura 28 - Tela de Análise dos resultados filtrada

Após filtrados os cabos aprovados, Figura 28, o usuário pode escolher um dos cabos e clicar em "Selecionar" para continuar a análise.

### 3.10 Tela de dados do cabo selecionado

Na tela de resultados do cabo selecionado, demonstrada na Figura 29, além de verificar os dados e os resultados obtidos para o cabo escolhido, o usuário poderá gerar o gráfico da condição do cabo. Nesta etapa, se a carga transportada for igual a zero, será gerado apenas o gráfico da catenária, e quando a carga for positiva, serão gerados o gráfico da catenária e o gráfico com a posição da carretilha a cada instante.

The screenshot shows a software window titled "CALCULADORA DE TIROLESAS" with a close button (X) in the top right corner. The interface is divided into three main sections:

- Dados do fabricante:** A table of input and output data for the cable manufacturer.
 

Fabricante	Cablemax	Construção	6x19/6x25;6x36
R\$/m		Kg/m	3,17
Diam. Pol.	1.1/8"	IPS / EIPS	IPS
Diam. mm.	28,6	Força de ruptura (Kgf)	48719
Tipo	AF/AFA	Força de ruptura (N)	477933,39
- Resultados referentes a catenária:** A table of results for the catenary.
 

Resultante da pressão do vento (N/m)	27,6848	Desnível (m)	90,99997041437
Peso aparente devido a pressão do vento (N/m)	41,63550283508	Xv (m)	0
Carga de ruptura com fator de segurança (N)	95586,678	Força no cabo (N)	53689,06549103
Força horizontal (N)	49900,23596485	STATUS	OK
- Resultados:** A table of final results.
 

Comprimento do cabo (m)	475,8238106987
Força total no cabo (N)	67183,49273549
STATUS	OK

At the bottom right of the window, there are two buttons: "Gráfico" (highlighted with a dashed border) and "Relatório".

Figura 29 - Tela de dados do cabo selecionado

Ao clicar em "Gráfico", caso o valor da carga transportada seja diferente de zero, abrirá uma tela para que seja determinado o incremento dado ao comprimento do trecho I do cabo para gerar o gráfico, como pode ser visto na Figura 30.

The screenshot shows a small dialog box titled "CALCULADORA DE TIROLESAS" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains the following text:

Determine qual será o incremento (em metros) dado ao comprimento do trecho I do cabo para gerar o gráfico

Below the text is a text input field containing the number "1". At the bottom of the dialog is an "OK" button.

Figura 30 - Tela de determinação do incremento

Quanto menor for o incremento, maior será a quantidade de pontos plotados no gráfico da trajetória da carretilha. Consequentemente, será necessário mais tempo para a realização do cálculo.

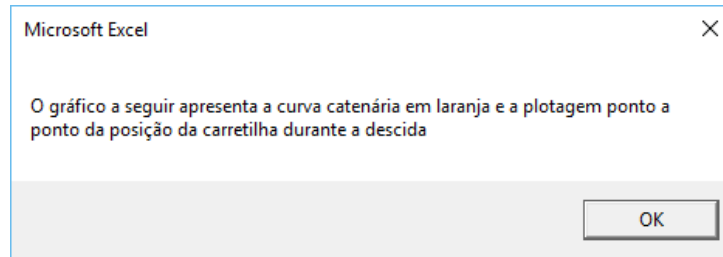


Figura 31 - Mensagem de introdução ao gráfico

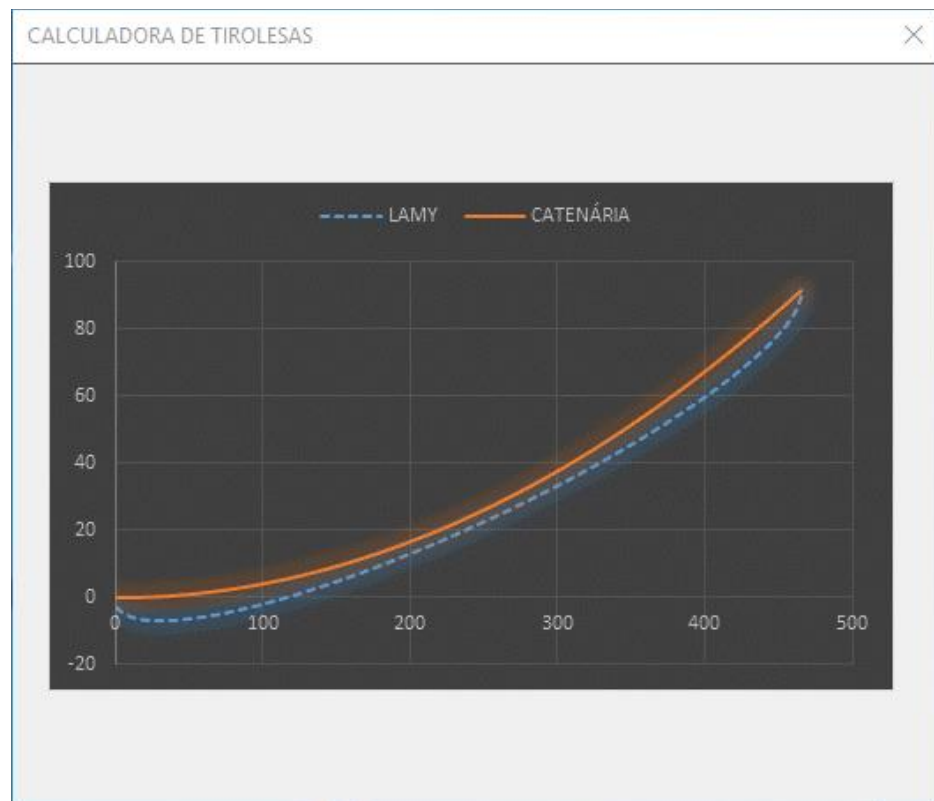


Figura 32 - Gráfico da catenária e sequência de pontos por Lamy

## Capítulo 4

### 4. Tirolesa para Associação AGROPRATA

A Associação AGROPRATA, localizada em Campo Grande no Rio de Janeiro, mais especificamente no Parque Estadual da Pedra Branca, realiza de forma primitiva o transporte dos frutos colhidos nos sítios para a estufa da associação. Os agricultores utilizam burros de carga para transporte dos frutos. Devido às dificuldades inerentes a esse tipo de transporte e também à incapacidade de colher todos os frutos antes do amadurecimento, ocorre um enorme desperdício da colheita, seja pelo percurso acidentado percorrido pelos burros ou pelos frutos que apodrecem no pé.

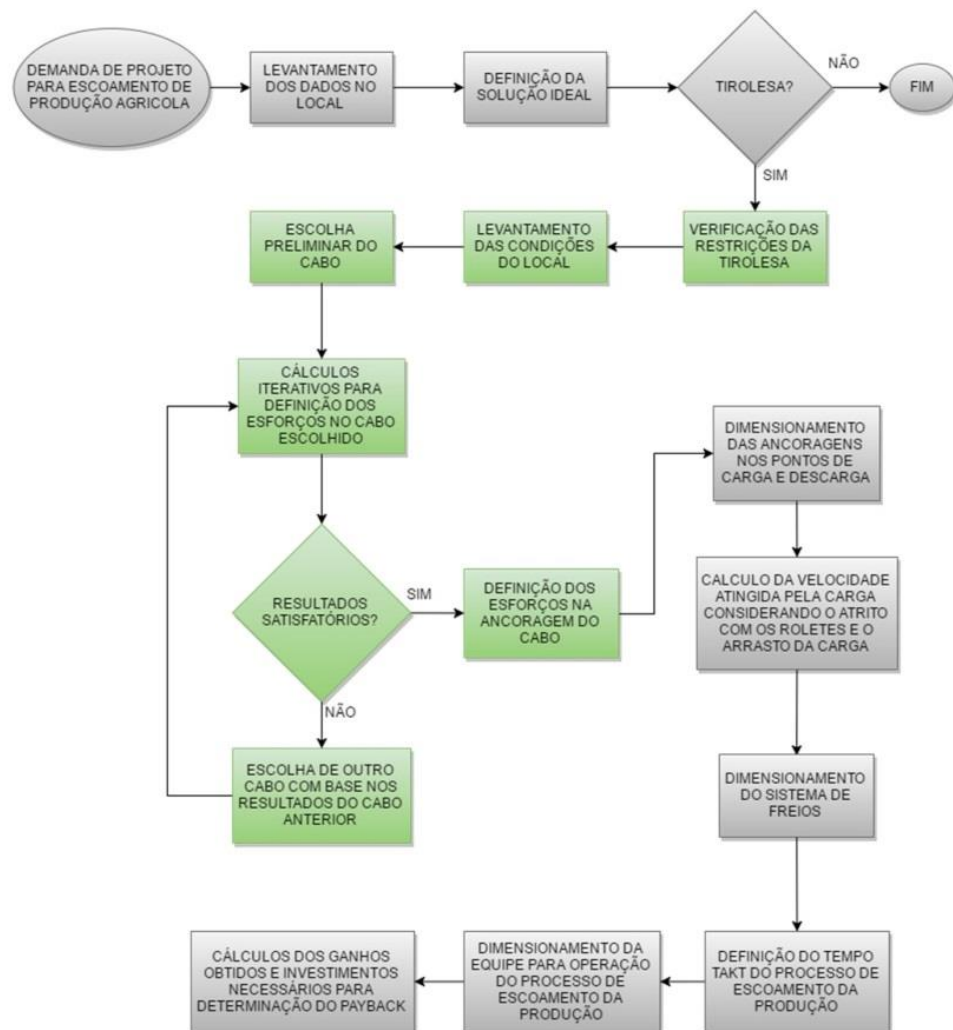


Figura 33 - Fluxograma de projeto da tirolesa



O estudo realizado pela ENACTUS, empresa júnior do CEFET/RJ, apontou a necessidade da construção de uma tirolesa para escoar os frutos colhidos, aumentando a eficiência de todo o circuito, possibilitando a redução do desperdício no transporte e aumentando a capacidade de colheita, bem como a redução do trabalho animal e dos impactos ambientais.

O fluxograma do projeto de uma tirolesa, conforme pode ser visto na Figura 33, tem início com a demanda de um projeto de engenharia para otimização do escoamento de produção agrícola em determinada região. O software desenvolvido, Calculadora de tirolesas, atuará nas etapas de projeto sinalizadas com a cor verde.

As primeiras etapas de cálculos, quando realizadas sem o auxílio da calculadora desenvolvida, ocorreriam da seguinte forma:

- I. Na etapa de verificação das restrições da tirolesa, o engenheiro deve restringir a curva formada pelo cabo de acordo com as restrições encontradas. A flecha, por exemplo, será limitada caso exista alguma interferência na região que possa se chocar com a carga transportada.
- II. Na etapa de levantamento das condições do local, deve ser considerada a velocidade do vento, para que a carga consequente da ação do mesmo seja considerada nos cálculos da tração no cabo, principalmente se a carga transportada for consideravelmente leve. Em caso de locais onde ocorra a formação de gelo sobre o cabo, a massa do mesmo deve ser somada a massa do cabo.
- III. A etapa que antecede o início dos cálculos é a seleção preliminar do cabo. Como os cálculos são realizados de maneira iterativa o engenheiro deverá optar por um cabo de acordo com as grandezas envolvidas e então realizar os cálculos para saber quais serão os esforços no mesmo. Basicamente devem ser calculadas a tração no cabo devido à configuração de curva catenária e a tração no cabo considerando-se a massa da carga a ser transportada.
- IV. Após obter os resultados dos cálculos para o cabo escolhido, devem-se analisar os mesmos, e, caso não sejam satisfatórios, deverá ser escolhido um novo cabo. Tal procedimento deverá ser feito sucessivamente até que seja encontrado um resultado satisfatório. Faz-se mister ressaltar que caso umas das variáveis de projeto mude, por exemplo a massa a ser transportada pelo sistema, todos os

cálculos deverão ser realizados novamente, pois o cabo ideal para o projeto em questão pode ter sido alterado.

- V. Com a determinação do cabo a ser utilizado e sabendo-se a tração atuante no mesmo poderão ser calculados os esforços na ancoragem do mesmo no ponto de carga e de descarga da tirolesa, e as demais etapas conforme demonstrado na Figura 33.

Com a utilização da ferramenta criada o engenheiro teria cadastrado todos os cabos de aço que desejasse. O programa forneceria para cada um deles os esforços desejados, sendo necessário apenas escolher um dos cabos para prosseguir com o projeto. Dessa forma, seria possível analisar todas as variações desejadas, alterando a carga transportada, a flecha, o cabo, o vento, o fator de segurança, obtendo assim, de forma simplificada e rápida, o cabo ideal para cada projeto, como demonstrado a seguir.

Através das coordenadas geográficas levantadas pela ENACTUS para os pontos de carga e descarga da tirolesa, foi desenvolvido um estudo preliminar de viabilidade da implantação do equipamento no local. Parte deste estudo foi realizado através da Calculadora de Tirolesas, e na Figura 34 podem ser verificados os inputs utilizados para o cálculo.

A Figura 35, demonstra a tela onde o programa fornece ao usuário a velocidade máxima teórica que a carga atingirá ao final da descida e o usuário deve confirmar os dados inseridos. Veja na Figura 36, os resultados globais que serão fornecidos ao usuário.

Figura 34 - Inputs tirolesa AGROPRATA

CALCULADORA DE TIROLESAS

Dados de projeto

nº 3

Distância  m

Desnível  m

Flecha desejada  m

Carga transportada  Kg

Velocidade do vento  m/s

Fator de segurança

Fator dinâmico

Aceleração da gravidade  m/s<sup>2</sup>

Massa específica do ar  Kg/m<sup>3</sup>

Velocidade máxima teórica

Realizando o balanço de energia desprezando o atrito dos roletes com o cabo e o arrasto aerodinâmico, obtemos a velocidade máxima teórica de:

**42,25 m/s**  
ou  
**152,12 Km/h**

Figura 35 - Dados e velocidade máx. teórica tirolesa AGROPRATA

CALCULADORA DE TIROLESAS

Quantidade de cabos testados **125**

Parâmetro de convergência utilizado **0,001 m**  
alterar

Ocorreu a convergência em **100,00 % dos cabos**  
Utilizando como valor inicial, Força horizontal considerando a curva parabólica

Fator de segurança utilizado **5**

Fator Dinâmico utilizado **2**

Comprimento do cabo calculado **475,82 m**

Desconsiderando a carga transportada

Tração mínima obtida **15.055,63 N**

Tração máxima obtida **91.876,23 N**

Quantidade de cabos aprovados **70 (56%)**

Considerando uma carga de 150 Kg

Força máx. pelo método de Lamy **13.494,43 N**

Força máx. ocorre **x = 234,87 m**  
\*Ponto (0,0) localizado na fixação do cabo no ponto de descarga

Tração mínima obtida **42.366,16 N**

Tração máxima obtida **105.370,65 N**

Quantidade de cabos aprovados **39 (31%)**

Figura 36 - Resultados globais para tirolesa AGROPRATA

CALCULADORA DE TIROLESAS

Nos botões abaixo da tabela, filtre os cabos aprovados e em seguida selecione um deles para gerar o gráfico e o relatório

Fabricante	ØPol.	Tipo	Con...	Kg/m	IP...	Ruptura(N)	Peso ...	Ruptura(N)/FS	F horizontal(N)	h(m)	Xv(m)	Força...	Status	Cabo(m)	Força de tr...	Sta...
Cablemax	3/4"	AF/AFA	6x7	1,25	IPS	214446,6	22,38...	42889,32	26834,26	91,00	0	2887...	OK	475,82	42366,16	OK
Cablemax	7/8"	AF/AFA	6x7	1,71	IPS	289708,9	27,48...	57941,78	32942,47	91,00	0	3544...	OK	475,82	48938,16	OK
Cablemax	1"	AF/AFA	6x7	2,23	IPS	379254,6	33,15...	75850,92	39735,29	91,00	0	4275...	OK	475,82	56246,74	OK
Cablemax	3/4"	AA/AACI	6x7	1,38	IPS	231888,8	23,11...	46377,76	27700,9	91,00	0	2980...	OK	475,82	43298,61	OK
Cablemax	7/8"	AA/AACI	6x7	1,88	IPS	313272,5	28,53...	62654,51	34198,99	91,00	0	3679...	OK	475,82	50290,08	OK
Cablemax	1"	AA/AACI	6x7	2,45	IPS	410097,2	34,61...	82019,45	41487,58	91,00	0	4463...	OK	475,82	58132,08	OK
Cablemax	7/8"	AF/AFA	6x1...	1,92	IPS	287962,7	28,78...	57592,55	34504,82	91,00	0	37124,7	OK	475,82	50619,13	OK
Cablemax	1"	AF/AFA	6x1...	2,5	IPS	376968,9	34,95...	75393,77	41897,88	91,00	0	45079,1	OK	475,82	58573,53	OK
Cablemax	1.1...	AF/AFA	6x1...	3,17	IPS	477933,4	41,87...	95586,68	50193,04	91,00	0	5400...	OK	475,82	67498,53	OK
Cablemax	1.1...	AF/AFA	6x1...	3,91	IPS	590866,1	49,43...	118173,2	59250,73	91,00	0	6374...	OK	475,82	77243,95	OK
Cablemax	1.3...	AF/AFA	6x1...	4,73	IPS	711686,1	57,6608	142337,2	69106,59	91,00	0	7435...	OK	475,82	87848,15	OK
Cablemax	1.1...	AF/AFA	6x1...	5,63	IPS	843728,7	66,62...	168745,7	79855,4	91,00	0	8591...	OK	475,82	99413,09	OK
Cablemax	3/4"	AA/AACI	6x1...	1,55	IPS	229956,2	24,12...	45991,24	28917,03	91,00	0	3111...	OK	475,82	44607,07	OK
Cablemax	7/8"	AA/AACI	6x1...	2,11	IPS	310653,3	30,04...	62130,65	36005,95	91,00	0	3873...	OK	475,82	52324,24	OK
Cablemax	1"	AA/AACI	6x1...	2,75	IPS	406663,7	36,72...	81332,75	44009,82	91,00	0	4735...	OK	475,82	60845,83	OK
Cablemax	1.1...	AA/AACI	6x1...	3,48	IPS	515584,2	44,18...	103116,8	52955,75	91,00	0	5697...	OK	475,82	70471,01	OK
Cablemax	1.1...	AA/AACI	6x1...	4,3	IPS	637424,4	52,46...	127484,9	62874,96	91,00	0	6764...	OK	475,82	81143,36	OK
Cablemax	1.3...	AA/AACI	6x1...	5,21	IPS	767750,2	61,51...	153550	73724,24	91,00	0	7932...	OK	475,82	92816,41	OK
Cablemax	1.1...	AA/AACI	6x1...	6,19	IPS	910201,2	71,24...	182040,2	85392,53	91,00	0	9187...	OK	475,82	105370,7	OK
Cablemax	3/4"	AF/AFA	6x7	1,25	EIPS	237470,7	22,38...	47494,13	26834,26	91,00	0	2887...	OK	475,82	42366,16	OK
Cablemax	7/8"	AF/AFA	6x7	1,71	EIPS	320806,6	27,48...	64161,32	32942,47	91,00	0	3544...	OK	475,82	48938,16	OK
Cablemax	1"	AF/AFA	6x7	2,23	EIPS	419966,1	33,15...	83993,22	39735,29	91,00	0	4275...	OK	475,82	56246,74	OK
Cablemax	3/4"	AA/AACI	6x7	1,38	EIPS	256786,6	23,11...	51357,31	27700,9	91,00	0	2980...	OK	475,82	43298,61	OK
Cablemax	7/8"	AA/AACI	6x7	1,88	EIPS	346901,2	28,53...	69380,24	34198,99	91,00	0	3679...	OK	475,82	50290,08	OK
Cablemax	1"	AA/AACI	6x7	2,45	EIPS	454114,7	34,61...	90822,94	41487,58	91,00	0	4463...	OK	475,82	58132,08	OK

Filtrar apenas aprovados    Selecionar

Figura 37 - Cabos aprovados Tirolesa AGROPRATA

Conforme demonstrado na Figura 37, os resultados obtidos para todos os cabos cadastrados são fornecidos ao usuário, após filtrados apenas os cabos aprovados, o usuário poderá selecionar um cabo para prosseguir e gerar os gráficos.

CALCULADORA DE TIROLESAS

Dados do fabricante

Fabricante	Cablemax	Construção	6x7
R\$/m		Kg/m	1,25
Diam. Pol.	3/4"	IPS / EIPS	IPS
Diam. mm.	19,1	Força de ruptura (Kgf)	21860
Tipo	AF/AFA	Força de ruptura (N)	214446,6

Resultados referentes a catenária

Resultante da pressão do vento (N/m)	18,73328	Desnível (m)	91,00
Peso aparente devido a pressão do vento (N/m)	22,38983	Xv (m)	0
Carga de ruptura com fator de segurança (N)	42889,32	Força no cabo (N)	28871,74
Força horizontal (N)	26834,26	STATUS	OK

Resultados

Comprimento do cabo (m)	475,82	Gráfico
Força total no cabo (N)	42366,16	
STATUS	OK	

Relatório

Figura 38 - Cabo Selecionado para Tirolesa AGROPRATA

Na tela demonstrada na Figura 39 o usuário define qual será o incremento em metros, dado ao comprimento do Trecho I cabo para gerar cada um dos pontos plotados no gráfico. Quanto menor for o incremento desejado, maior será a quantidade de pontos plotados, e conseqüentemente o software precisará de mais tempo para processar as informações. Para a tirolesa em questão optou-se por gerar um ponto a cada 1 metro de cabo.

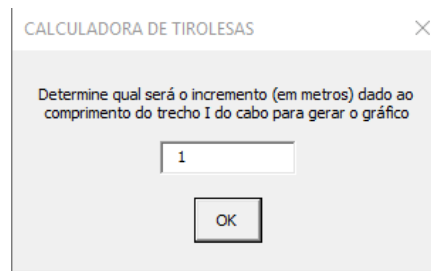


Figura 39 - Incremento utilizado para plotar gráficos AGROPRATA



Figura 40- Gráficos tirolesa AGROPRATA

No gráfico demonstrado na Figura 40, podemos ver em laranja a curva catenária formada pelo cabo enquanto não está sendo utilizado, e em azul a plotagem a cada instante da posição da carretilha com a carga transportada. Nesse último caso, o cabo estaria esticado dos dois lados, formando um triângulo entre o ponto de localização da carretilha e os pontos de carga e descarga.

## 4.1 Análise

Utilizando-se a calculadora de tirolesas desenvolvida, foram realizados os cálculos considerando os seguintes valores:

- Distância de 464,14 m;
- Desnível de 91 m;
- Flecha de 0 m;
- Fator de segurança de 5;
- Fator dinâmico 2;
- Velocidade de vento de 40 m/s.

Os cálculos foram realizados para todos os cabos no banco de dados e, para o fator de convergência utilizado (0,001m), 100% dos cabos apresentaram convergência. Dos 125 cabos, 70 (56%) foram classificados como aprovados quando considerados apenas os esforços devido à curva catenária e à carga de vento. As trações mínima e máxima para esse cenário foram respectivamente 15055,63N e 91876,23N, o que significa que os pontos de fixação deverão suportar no mínimo 15055,63N (devendo ser aplicado o fator de segurança desejado) para poder suportar o cabo sem a realização do transporte da carga. O elevado valor encontrado devesse principalmente à elevada velocidade de vento considerada, e uma possibilidade seria limitar a operação da tirolesa apenas quando verificadas condições de vento normais.

É importante ressaltar que, caso o usuário deseje realizar novos cálculos com uma velocidade de vento reduzida, utilizando o software, os resultados serão obtidos rapidamente, enquanto que manualmente estes cálculos demandariam bastante tempo, mais uma vez justificando a necessidade da utilização do software.

Considerando que será transportada por vez uma carga de 150Kg, percebe-se que, dos 125 cabos testados, apenas 39 (56%) foram classificados como aprovados e as trações mínimas e máximas foram respectivamente 42366,16N e 105370,65N. A carga mínima para este cenário é aproximadamente 3x maior do que a carga mínima quando o equipamento não está sendo utilizado, suportando apenas o peso próprio do cabo e as cargas de vento. A força máxima no cabo ocorrerá quando a carga transportada estiver a 234,87 metros de distância do ponto de descarga e não seria aconselhável iniciar o processo de frenagem próximo deste ponto.

Em análise preliminar, desconsiderando o valor dos cabos e utilizando como critério o cabo que gera a menor tração, foi escolhido o cabo Cablemax, com  $\frac{3}{4}$  de polegada de diâmetro, construção 6x7, tipo AF/AFA, que ao ser utilizado para o transporte da carga definida apresentara uma tração de 42366,16N e uma força horizontal de 26834,26N.

O cabo deverá ter um comprimento de 475,82 metros apenas para ligar os pontos de carga e descarga, devendo ser acrescentado ao mesmo um, comprimento suficiente para realização da ancoragem nos pontos de carga e descarga da tirolesa e a sua instalação.

Os valores encontrados são suficientes para prosseguimento do projeto, entretanto, poderia ter sido inserido nas rotinas do programa o cálculo do arrasto da carga após estabelecida a sua geometria, bem como o atrito dos roletes com o cabo, o que possibilitaria o cálculo da velocidade máxima atingida. Saber a velocidade máxima atingida possibilitaria facilmente a realização do dimensionamento dos cabos elásticos para a frenagem da carga.

## Capítulo 5

### 5. Validação dos resultados

#### 5.1 Cabo suspenso sujeito ao peso próprio

O cabo suspenso mostrado na Figura 41, submetido ao seu peso próprio,  $p = 5 \times 10^{-5}$  kN/cm, é apresentado em Hibbeler[1999] [7] e analisado pelo programa Cabos-NLFG [6] em trabalho desenvolvido por Joaquim Pereira Junior, utilizando o Método de Elementos Finitos<sup>6</sup>. O objetivo neste capítulo é comparar os dados obtidos com a calculadora desenvolvida neste trabalho, com resultados conhecidos, procurando avaliar a precisão e a eficiência da formulação desenvolvida.

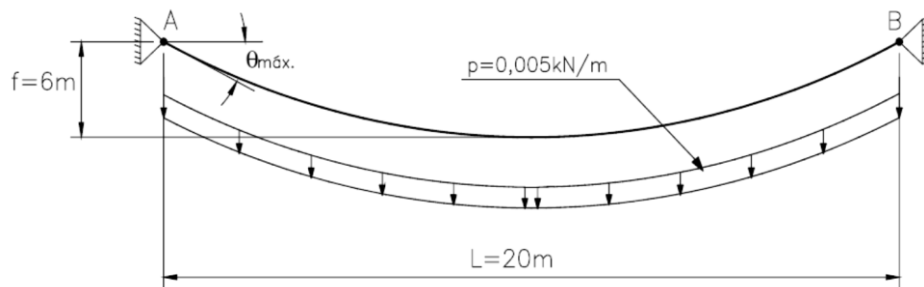


Figura 41 - Cabo suspenso sujeito ao peso próprio [7]

A configuração inicial de equilíbrio do cabo é obtida da equação da catenária, considerando-se a flecha  $f = 6$ m, a área da seção transversal do cabo,  $A = 0,5$ cm<sup>2</sup> e o módulo de elasticidade  $E = 16500$ kN/cm<sup>2</sup>, a Tabela 1 compara os resultados conhecidos.

Tabela 1 - Resultados teóricos x Cabos NLFG [6]

Variáveis	Resultado Hibbeler[1999]	Resultados do Programa Cabos-NLFG					
		10 elem.	20 elem.	50 elem.	100 elem.	500 elem.	1000 elem.
Comprimento do cabo ( $S_0$ )-cm	2420.00	2415.47	2417.99	2418.69	2418.79	2418.82	2418.82
Flecha ( $f$ ) -cm	600.00	599.97	599.99	600.00	600.00	600.00	600.00
Tração máxima ( $T$ ) - N	75.90	70.05	72.87	74.66	75.29	75.81	75.88
Força horizontal ( $H_0$ )-N	45.90	46.05	45.97	45.95	45.95	45.94	45.94
Ângulo máximo ( $\theta_{máx}$ ) - Graus	52.80	48.89	50.86	52.01	52.39	52.70	52.74
Número de iterações		2	1	1	1	1	1

<sup>6</sup> É uma forma de resolução numérica de um sistema de equações diferenciais parciais.



Conforme pode ser visto na Figura 42, os inputs para realizar o cálculo na calculadora desenvolvida neste trabalho, foram os seguintes:

- Distância = 20m;
- Desnível = 0m;
- Flecha = - 6 m;
- Carga transportada = 0 Kg;
- Velocidade do vento = 0 m/s;
- Fator de segurança = 1.
- Aceleração da gravidade = 10 m/s<sup>2</sup>;
- Peso do cabo = 0,5 Kg/m, equivalente a 0,005 KN/m quando aceleração da gravidade igual a 10m/s<sup>2</sup>
- Diâmetro do cabo = 7,98 mm, equivalente a uma seção transversal de 0,5 cm<sup>2</sup>;

The screenshot shows the 'CALCULADORA DE TIROLESAS' software interface. At the top, there are buttons for 'Criar nova', 'Calcular existente', 'Cancelar', 'Calcular', 'Salvar e sair', 'Sair sem salvar', and 'MSEXCELL'. Below these are three main sections:

- Cadastro:** Includes fields for 'Nº 2', 'Tirolesa' (COMPARATIVO), 'Cliente' (N/A), 'Município' (N/A), and 'Estado' (N/A).
- Dimensões:** Has a radio button for 'Inserir valores manualmente' (selected) and another for 'Calcular através das coordenadas geográficas'. Under the first, there are input fields for 'Desnível' (0 m) and 'Distância' (20 m). Under the second, there are input fields for 'Latitude', 'Longitude', and 'Altura' for both 'Ponto de carga' and 'Ponto de descarga'. A 'CALCULAR' button is at the bottom right of this section.
- Características de projeto:** Contains input fields for 'Flecha desejada' (-6 m), 'Carga transportada' (0 Kg), 'Velocidade do vento' (0 m/s, with a note '= 0 Km/h'), 'Fator de segurança' (1), 'Fator dinâmico' (1), 'Aceleração da gravidade' (10 m/s<sup>2</sup>), and 'Massa específica do ar' (1,226 Kg/m<sup>3</sup>).

Figura 42 - Inputs para comparativo

Para a realização da comparação utilizando a calculadora desenvolvida foi necessário cadastrar um cabo com as mesmas características do utilizado no exemplo do Hibbeler. Dessa forma, arbitrou-se uma força de ruptura de 4486 Kgf, apenas para evitar erros na execução das rotinas do programa.

**CALCULADORA DE TIROLESAS** [X]

Dados do fabricante

Fabricante	Hibbeler	Construção	N/A
R\$/m		Kg/m	0,5
Diam. Pol.	5/16"	IPS / EIPS	N/A
Diam. mm.	7,98	Força de ruptura (Kgf)	4486
Tipo	N/A	Força de ruptura (N)	44860

Resultados referentes a catenária

Resultante da pressão do vento (N/m)	0	Desnível (m)	0,00
Peso aparente devido a pressão do vento (N/m)	5	Xv (m)	10
Carga de ruptura com fator de segurança (N)	44860	Força no cabo (N)	75,94471
Força horizontal (N)	45,94471	STATUS	OK

Resultados

Comprimento do cabo (m)	24,19
Força total no cabo (N)	75,94471
STATUS	OK

[Gráfico] [Relatório]

Figura 43 - Resultado para o cabo definido em Hibbeler

Comparando os resultados demonstrados, conforme Tabela 2, podemos observar as semelhanças quando comparados com os resultados do software criado por Joaquim Pereira Junior, utilizando-se 1000 elementos, validando os resultados do software criado.

Tabela 2 - Calculadora de Tirolesas x Cabos-NLFG

	Calculadora de Tirolesas	Cabos-NLFG 1000 elem.	Diferença
<b>Comprimento do cabo (m)</b>	24,19	24,1882	0,007%
<b>Tração máxima (N)</b>	75,94471	75,88	0,085%
<b>Força horizontal (N)</b>	45,94471	45,94	0,010%

## Capítulo 6

### 6. Conclusões

O Software Calculadora de Tirolesas, desenvolvido neste trabalho, mostrou-se bastante eficiente, confirmando a expectativa de grande potencialidade da formulação adotada. Os cálculos podem ser alcançados modificando as variáveis em sua totalidade, o que demandaria muito tempo para realizar de maneira convencional, tendo em vista a necessidade de cálculos iterativos para a solução das equações. A utilização do Solver se mostrou bastante eficiente quando utilizados os valores iniciais corretos, e verificou-se a convergência dos resultados em todos os cenários testados.

A linguagem *Visual Basic Application* mostrou-se de fácil utilização e muito intuitiva para usuários iniciantes, embora apresente muitas vulnerabilidades. Uma sugestão de desenvolvimento em trabalhos futuros seria a programação do código em linguagem Java<sup>7</sup>, possibilitando a utilização do Software independentemente do MS Excel.

Conforme concluído no capítulo 4, embora possa ser calculado facilmente, fica como sugestão de desenvolvimento em trabalhos futuros a inserção nas rotinas do programa, o cálculo do arrasto da carga transportada, estabelecendo previamente a sua geometria, bem como o atrito dos roletes com o cabo, o que possibilitaria o cálculo da velocidade máxima atingida. Obtida a velocidade máxima atingida pela carga, poderia facilmente ser realizado o dimensionamento dos cabos elásticos para a frenagem da carga.

A utilização de versão 2016 do MS Excel não mostrou ter sido a melhor opção, visto que muitas das suas funcionalidades não estão presentes nas versões anteriores, ocasionando algumas falhas, quando o software é utilizado nessas versões.

---

<sup>7</sup> É uma linguagem de programação interpretada orientada a objetos desenvolvida na década de 90 por uma equipe de programadores chefiada por James Gosling, na empresa Sun Microsystems.

## BIBLIOGRAFIA

- ACROcabos, “Cabos de aço,” ACRO, S/Data. [Online]. Available:  
 1] <http://www.acrocabo.com.br/cabo-aco-cabos-aco.php>. [Acesso em 13 12 2015].
- H. Carvalho, *METODOLOGIAS PARA ANÁLISE ESTÁTICA DO EFEITO DO VENTO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO*, Belo Horizonte, 2010.  
 2]
- Power Line Systems Inc., Madison, 2008.  
 3]
- P. R. Labegalini [et all], “Projetos Mecânicos das linhas aéreas de transmissão,”  
 4] Edgard Blucher, 1992.
- USCLIMB - Heigth Safety Equipment, “US CLIMB,” USCLIMB - Heigth Safety  
 5] Equipment, [Online]. Available: <http://www.usclimb.com/>. [Acesso em 10 04 2016].
- Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, “Embrapa,” [Online].  
 6] Available: <https://www.embrapa.br/web/mobile/noticias/-/noticia/10847708/pesquisa-desenvolve-embalagens-anatomicas-para-frutas>. [Acesso em 15 05 2016].
- R. Hibbeler, *Engenharia Mecânica-Estática*, Rio de Janeiro: LTC, 1999.  
 7]
- E. J. P. Júnior, Tese: “Uma Formulação Consistente para Análise Não-Linear de  
 8] estruturas de cabos suspensos,” Belo Horizonte, 2002.
- J. L. Merian e L. G. Kraige, *ENGINEERING MECHANICS volume 1*  
 9] *STATICS*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2008.
- CIMAF CABOS S.A., *Manual Técnico de Cabos*, São Paulo, 2009.  
 10]
- R. Barbato, “Análise de Sistemas Estruturais de Cabos de Aço Mediante o  
 11] Emprego de Computador,” XV CILAMCE, 1994.
- F. e. J. R. J. Beer, *Mecânica Vetorial para Engenheiros - Estática*, MAKRON

12] Books, 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 5422: Projeto de Linhas  
13] Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica,” Rio de Janeiro, 1985.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 6123: Forças devidas ao Vento  
14] em Edificações,” Rio de Janeiro, 1988.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 14724: Informação e  
15] documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação,” Rio de Janeiro, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 6327: Cabos de aço para uso  
16] geral - Requisitos mínimos,” Rio de Janeiro, 2006.

Centro de desenvolvimento Agroflorestal Felipe Moreira, São Paulo, 2014.  
17]

## APÊNDICE A: Códigos VBA comentados

- **Raiz da pasta de trabalho**

```
Private Sub Workbook_Open()
'Código roda automaticamente ao abrir o arquivo

'Ocultar MSExcel e abrir Tela de abertura
Application.Visible = False
ABERTURA.Show

End Sub
```

- **Abertura**

```
Private Sub ABERTURA_Click()
'Ao clicar em qualquer lugar da janela

'Fecha a tela
Unload Me

End Sub
```

```
Private Sub Label1_Click()
'Ao clicar no texto de instruções

'Fecha a tela
Unload Me

End Sub
```

```
Private Sub UserForm_Terminate()
'Ao fechar a tela

'Abre a Tela de início
TELA_INICIO.Show

End Sub
```

- **Tela\_Início**

```
Private Sub CommandButton1_Click()
'Ao clicar no botão abrir

'Fechar janela
Unload Me

End Sub

Private Sub UserForm_QueryClose(Cancel As Integer, CloseMode As Integer)
'Bloqueio do botão fechar da janela
If CloseMode = vbFormControlMenu Then
MsgBox "Utilize apenas os botões disponíveis", vbCritical, "AVISO"
Cancel = True
End If
End Sub
```

```
Private Sub UserForm_Terminate()
'Ao fechar janela

'Abrir Tela de dados
TELA_DADOS.Show

End Sub
```

- **Tela\_Dados**

```
Private Sub CommandButton1_Click()
'Quando clicar no botão calcular

'Verificar se todos os campos estão preenchidos com apenas números
If Not IsNumeric(TextBox11.Text) Then TextBox11.Text = Empty
If Not IsNumeric(TextBox12.Text) Then TextBox12.Text = Empty
If Not IsNumeric(TextBox13.Text) Then TextBox13.Text = Empty
If Not IsNumeric(TextBox14.Text) Then TextBox14.Text = Empty
If Not IsNumeric(TextBox16.Text) Then TextBox16.Text = Empty
If Not IsNumeric(TextBox17.Text) Then TextBox17.Text = Empty
If Not IsNumeric(TextBox18.Text) Then TextBox18.Text = Empty
If Not IsNumeric(TextBox19.Text) Then TextBox19.Text = Empty

'Verificar se faltou algum campo essencial
If TextBox3.Value = "" Then
MsgBox "Preencha o nome da tirolesa"
Exit Sub
ElseIf TextBox11.Value = "" Or TextBox12.Value = "" Then
MsgBox "As dimensões devem ser preenchidas corretamente"
Exit Sub
ElseIf TextBox15.Value = "" Or TextBox15.Value = "Nº negativo" Then
MsgBox "A flecha deve ser preenchida corretamente"
Exit Sub
ElseIf TextBox16.Value = "" Then
MsgBox "A carga deve ser preenchida corretamente"
ExitSub
ElseIf TextBox13.Value = "" Then
MsgBox "A velocidade do vento deve ser preenchida corretamente"
Exit Sub
ElseIf TextBox14.Value = "" Then
MsgBox "O fator de segurança deve ser preenchido corretamente"
Exit Sub
ElseIf TextBox17.Value = "" Then
MsgBox "O fator dinâmico deve ser preenchido corretamente"
Exit Sub
ElseIf TextBox18.Value = "" Then
MsgBox "A aceleração da gravidade deve ser preenchida corretamente"
Exit Sub
ElseIf TextBox19.Value = "" Then
MsgBox "A massa específica do ar deve ser preenchida corretamente"
Exit Sub
End If

'Verificar os campos que devem conter apenas números

'Trocar virgulas por pontos
TextBox11.Text = Replace(TextBox11.Text, ",", ".")
TextBox12.Text = Replace(TextBox12.Text, ",", ".")
TextBox13.Text = Replace(TextBox13.Text, ",", ".")
TextBox14.Text = Replace(TextBox14.Text, ",", ".")
TextBox15.Text = Replace(TextBox15.Text, ",", ".")
TextBox16.Text = Replace(TextBox16.Text, ",", ".")
TextBox17.Text = Replace(TextBox17.Text, ",", ".")
TextBox18.Text = Replace(TextBox18.Text, ",", ".")
TextBox19.Text = Replace(TextBox19.Text, ",", ".")
```

```

'inserir linha e numerar a primeira coluna
Sheets("DADOS").Select
Range("dados['#']").Select
Selection.ListObject.ListRows.Add AlwaysInsert:=True
Range("dados[ [#Headers],['#']]").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.End(xlDown).Select
Selection.End(xlDown).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C+1"

'Verifica qual foi a opção escolhida, automática ou manual
If OptionButton1.Value = TrueThen opc = "manual" Else opc = "automático"
'opc=1 para manual e dois para automático
'Armazena as coordenadas em variáveis
latc = TextBox5.Text
lonc = TextBox6.Text
altc = TextBox7.Text
latd = TextBox8.Text
lond = TextBox9.Text
altd = TextBox10.Text
'armazena o desnível e a distância
ActiveCell.Offset(0, 12) = TextBox11.Value
ActiveCell.Offset(0, 13) = TextBox12.Value
'armazena os valores digitados na planilha dados
ActiveCell.Offset(0, 1) = TextBox3.Value
ActiveCell.Offset(0, 2) = TextBox2.Value
ActiveCell.Offset(0, 3) = TextBox4.Value
ActiveCell.Offset(0, 4) = TextBox1.Value
ActiveCell.Offset(0, 5) = opc
ActiveCell.Offset(0, 6) = latc
ActiveCell.Offset(0, 7) = lonc
ActiveCell.Offset(0, 8) = altc
ActiveCell.Offset(0, 9) = latd
ActiveCell.Offset(0, 10) = lond
ActiveCell.Offset(0, 11) = altd
ActiveCell.Offset(0, 14) = TextBox15.Value
ActiveCell.Offset(0, 15) = TextBox16.Value
ActiveCell.Offset(0, 16) = TextBox13.Value
ActiveCell.Offset(0, 17) = TextBox14.Value
ActiveCell.Offset(0, 18) = TextBox17.Value
ActiveCell.Offset(0, 19) = TextBox18.Value
ActiveCell.Offset(0, 20) = TextBox19.Value
'Armazena na célula D1 o número da última tirolesa calculada
Range("D1").Value = Label26.Caption

Label26.Caption = "#"
Label27.Caption = ""

CommandButton1.Enabled = False'botão calcular
CommandButton2.Enabled = False'botão calcular pelas coordenadas
CommandButton3.Enabled = True'botão Nova Tirolesa
CommandButton4.Enabled = True'botão Calcular existente
CommandButton5.Enabled = False'botão cancelar
OptionButton1.Enabled = False'opção calcular manualmente
OptionButton2.Enabled = False'opção calcular pelas coordenadas

TextBox15 = "N° negativo" 'valor da flecha
TextBox17 = 2 'Valor default do fator dinâmico
TextBox18 = "9,81" 'valor da aceleração da gravidade m/s²
TextBox19 = "1,226" 'valor da massa específica do ar Kg/m³

'Todos os textbox zerados
TextBox1.Value = Empty
TextBox2.Value = Empty
TextBox3.Value = Empty
TextBox4.Value = Empty
TextBox5.Value = Empty

```



```

TextBox6.Value = Empty
TextBox7.Value = Empty
TextBox8.Value = Empty
TextBox9.Value = Empty
TextBox10.Value = Empty
TextBox11.Value = Empty
TextBox12.Value = Empty
TextBox13.Value = Empty
TextBox14.Value = Empty
TextBox15.Value = Empty
TextBox16.Value = Empty

'todos os TextBox inativos ao abrir
TextBox1.Enabled = False
TextBox2.Enabled = False
TextBox3.Enabled = False
TextBox4.Enabled = False
TextBox5.Enabled = False
TextBox6.Enabled = False
TextBox7.Enabled = False
TextBox8.Enabled = False
TextBox9.Enabled = False
TextBox10.Enabled = False
TextBox11.Enabled = False
TextBox12.Enabled = False
TextBox13.Enabled = False
TextBox14.Enabled = False
TextBox15.Enabled = False
TextBox16.Enabled = False
TextBox17.Enabled = False
TextBox18.Enabled = False
TextBox19.Enabled = False

'todos os TextBox com fundo cinza ao abrir
TextBox1.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox2.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox3.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox4.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox5.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox6.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox7.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox8.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox9.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox10.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox11.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox12.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox13.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox14.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox15.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox16.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox17.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox18.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox19.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight

TELA_CONFIRMAR_DADOS.Show
EndSub

PrivateSub CommandButton2_Click()
'botão de calcular o desnível e a distância pelas coordenadas

'verificar se todas os campos estão preenchidos e com apenas números
IfNot IsNumeric(TextBox5.Text) Then TextBox5.Text = Empty
IfNot IsNumeric(TextBox6.Text) Then TextBox6.Text = Empty
IfNot IsNumeric(TextBox7.Text) Then TextBox7.Text = Empty
IfNot IsNumeric(TextBox8.Text) Then TextBox8.Text = Empty
IfNot IsNumeric(TextBox9.Text) Then TextBox9.Text = Empty
IfNot IsNumeric(TextBox10.Text) Then TextBox10.Text = Empty
'verificar se todos os campos estão preenchidos

```

```

x = 0 'contador de campos vazios
If TextBox5.Text = "" Then x = x + 1
If TextBox6.Text = "" Then x = x + 1
If TextBox7.Text = "" Then x = x + 1
If TextBox8.Text = "" Then x = x + 1
If TextBox9.Text = "" Then x = x + 1
If TextBox10.Text = "" Then x = x + 1
If x <> 0 Then
MsgBox "Todos os campos devem ser preenchidos! Utilize apenas caracteres
numéricos!"
ExitSub
EndIf

'trocar virgulas por pontos
TextBox5.Text = Replace(TextBox5.Text, ",", ".")
TextBox6.Text = Replace(TextBox6.Text, ",", ".")
TextBox7.Text = Replace(TextBox7.Text, ",", ".")
TextBox8.Text = Replace(TextBox8.Text, ",", ".")
TextBox9.Text = Replace(TextBox9.Text, ",", ".")
TextBox10.Text = Replace(TextBox10.Text, ",", ".")

'Copiar os valores do formulário para a planilha para realizar o calculo
Sheets("DADOS").Select
Range("D3") = TextBox5.Value
Range("E3") = TextBox6.Value
Range("F3") = TextBox7.Value
Range("D4") = TextBox8.Value
Range("E4") = TextBox9.Value
Range("F4") = TextBox10.Value

'Verificar se a distância é positiva e diferente de zero
If Range("D7") <= 0 Then
MsgBox "Verifique as coordenadas e digite novamente!"
TextBox5.Text = Empty
TextBox6.Text = Empty
TextBox7.Text = Empty
TextBox8.Text = Empty
TextBox9.Text = Empty
TextBox10.Text = Empty
Exit Sub
End If

'Verificar se o desnível é positivo
If Range("D7") <= 0 Then
MsgBox "O desnível deve ser positivo, digite as coordenadas novamente."
TextBox5.Text = Empty
TextBox6.Text = Empty
TextBox7.Text = Empty
TextBox8.Text = Empty
TextBox9.Text = Empty
TextBox10.Text = Empty
Exit Sub
End If

'Armazenar os resultados
TextBox11.Value = Range("D6") 'desnível
TextBox12.Value = Range("D7") 'distância

CommandButton2.Enabled = False
End Sub

Private Sub CommandButton3_Click()
'Botão criar nova tirolesa

'Verificar qual o n° da última tirolesa criada
Sheets("DADOS").Select
Range("dados[ [#Headers], [#]]").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select

```

```

Selection.End(xlDown).Select
n = ActiveCell.Value 'numero de tirolesas anteriores

Label26.Caption = n + 1 'número da tirolesa que está sendo criada

CommandButton4.Enabled = False'Botão abrir existente
CommandButton5.Enabled = True'botão cancelar
CommandButton3.Enabled = False'Botão criar nova
CommandButton1.Enabled = True' Botão calcular
OptionButton1.Value = True'opção calcular manualmente
OptionButton1.Enabled = True'opção calcular manualmente
OptionButton2.Enabled = True'opção calcular pelas coordenadas

TextBox1.Enabled = True
TextBox2.Enabled = True
TextBox3.Enabled = True
TextBox4.Enabled = True
TextBox11.Enabled = True
TextBox12.Enabled = True
TextBox13.Enabled = True
TextBox14.Enabled = True
TextBox15.Enabled = True
TextBox16.Enabled = True
TextBox17.Enabled = True
TextBox18.Enabled = True
TextBox19.Enabled = True

TextBox1.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox2.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox3.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox4.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox11.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox12.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox13.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox14.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox15.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox16.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox17.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox18.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
TextBox19.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground
End Sub

Private Sub CommandButton4_Click()
'Botão calcular existente

TELA_CALCULAR_EXISTENTE.Show
End Sub

Private Sub CommandButton5_Click()
'Botão cancelar

'Limpar todos os textbox e marcar opção calculo manual
TextBox1.Value = Empty
TextBox2.Value = Empty
TextBox3.Value = Empty
TextBox4.Value = Empty
TextBox5.Value = Empty
TextBox6.Value = Empty
TextBox7.Value = Empty
TextBox8.Value = Empty
TextBox9.Value = Empty
TextBox10.Value = Empty
TextBox11.Value = Empty
TextBox12.Value = Empty
TextBox13.Value = Empty
TextBox14.Value = Empty
TextBox15.Value = Empty
TextBox16.Value = Empty

```

```

TextBox17.Value = Empty
TextBox18.Value = Empty
TextBox19.Value = Empty

TELA_DADOS.Hide
TELA_DADOS.Show
End Sub

Private Sub CommandButton6_Click()
'Botão MSExcel

'Reexibir MSExcel
Application.Visible = True
Unload Me
EndSub

Private Sub CommandButton7_Click()
'Botão salvar e sair

Application.ScreenUpdating = False
Application.DisplayAlerts = False
Sheets("CATENÁRIA").Activate
ActiveWorkbook.Save
Application.Quit
End Sub

Private Sub CommandButton8_Click()
'Botão Sair sem salvar

Application.ScreenUpdating = False
Application.DisplayAlerts = False
Sheets("CATENÁRIA").Activate
Application.Quit
End Sub

Private Sub OptionButton1_Click()
'Opção inserir valores manualmente

TextBox11.Enabled = True'Desnível
TextBox12.Enabled = True'Distância

TextBox11.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground 'Desnível
TextBox12.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground 'Distância

TextBox5.Value = Empty'informações das coordenadas zeradas
TextBox6.Value = Empty'informações das coordenadas zeradas
TextBox7.Value = Empty'informações das coordenadas zeradas
TextBox8.Value = Empty'informações das coordenadas zeradas
TextBox9.Value = Empty'informações das coordenadas zeradas
TextBox10.Value = Empty'informações das coordenadas zeradas

TextBox5.Enabled = False'informações das coordenadas desabilitada
TextBox6.Enabled = False'informações das coordenadas desabilitada
TextBox7.Enabled = False'informações das coordenadas desabilitada
TextBox8.Enabled = False'informações das coordenadas desabilitada
TextBox9.Enabled = False'informações das coordenadas desabilitada
TextBox10.Enabled = False'informações das coordenadas desabilitada

    TextBox5.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight 'informações das
coordenadas fundo cinza
    TextBox6.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight 'informações das
coordenadas fundo cinza
    TextBox7.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight 'informações das
coordenadas fundo cinza
    TextBox8.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight 'informações das
coordenadas fundo cinza
    TextBox9.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight 'informações das
coordenadas fundo cinza

```

```

        TextBox10.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight 'informações das
coordenadas fundo cinza
    End Sub

Private Sub OptionButton2_Click()
'Opção calcular através de coordenadas geográficas

CommandButton2.Enabled = True

TextBox11.Value = Empty'Desnível
TextBox12.Value = Empty'Distância
TextBox11.Enabled = False'Desnível
TextBox12.Enabled = False'Distância

TextBox11.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight 'Desnível fundo cinza
TextBox12.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight 'Distância fundo cinza

TextBox5.Enabled = True'informações das coordenadas habilitadas
TextBox6.Enabled = True'informações das coordenadas habilitadas
TextBox7.Enabled = True'informações das coordenadas habilitadas
TextBox8.Enabled = True'informações das coordenadas habilitadas
TextBox9.Enabled = True'informações das coordenadas habilitadas
TextBox10.Enabled = True'informações das coordenadas habilitadas

    TextBox5.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground 'informações das
coordenadas fundo branco
    TextBox6.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground 'informações das
coordenadas fundo branco
    TextBox7.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground 'informações das
coordenadas fundo branco
    TextBox8.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground 'informações das
coordenadas fundo branco
    TextBox9.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground 'informações das
coordenadas fundo branco
    TextBox10.BackColor = SystemColorConstants.vbWindowBackground 'informações
das coordenadas fundo branco
    End Sub

Private Sub TextBox13_Exit(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean)
'Ao sair do campo velocidade do vento
If TextBox13.Value <> "" Then Label27.Caption = "=" & TextBox13.Value * 3.6
& " Km/h" 'Exibe velocidade do vento em Km/h
EndSub

Private Sub TextBox15_Enter()
'Ao entrar no campo Flecha desejada
TextBox15 = "" 'Zerar valor da flecha ao clicar no campo
End Sub

Private Sub TextBox15_Exit(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean)
'Ao sair do campo Flecha desejada

'verificar se foi digitado um numero
If Not IsNumeric(TextBox15.Text) Then TextBox15.Text = Empty

'Verificar se o valor da flecha é negativo
K = TextBox15.Value 'Armazenar valor da flecha
If K <> "" Then'Verificar se a célula continua vazia
If K > 0 Then'Verificar se o valor é positivo e substituir por negativo
    TextBox15 = K * (-1)
    MsgBox "A flecha deve ser sempre negativa!"
Else
    TextBox15.Value = K
EndIf
Else
TextBox15 = "Nº negativo"
End If
End Sub

```

```

Private Sub TextBox11_Exit(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean)
'Verificar se desnível é positivo
If TextBox11 < 0 Then'Verificar se o valor é positivo ou zero
MsgBox "O desnível não pode ser negativo!"
TextBox11 = ""
End If
End Sub

Private Sub TextBox12_Exit(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean)
'Verificar se distância é positiva
If TextBox12 <= 0 Then'Verificar se o valor é positivo e diferente de zero
MsgBox "A distância não pode ser negativa!"
TextBox12 = ""
End If
End Sub

Private Sub TextBox16_Change()
'Verificar se a carga é zero ou positiva
If TextBox16 < 0 Then'Verificar se o valor é positivo e diferente de zero
MsgBox "A deve ser zero ou positiva!"
TextBox12 = ""
End If
End Sub

Private Sub TextBox17_Enter()
'Aviso de fator dinâmico default = 2
MsgBox "O default para o fator dinâmico = 2"
End Sub

Private Sub TextBox18_Enter()
'Aviso de Gravidade default = 9,81
MsgBox "O default para a aceleração da gravidade = 9,81 m/s²"
End Sub

Private Sub TextBox19_Enter()
'Aviso de massa específica do ar = 1,226
MsgBox "O default para a massa específica do ar = 1,226 Kg/m³"
End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
'Ao abrir a janela

Label26.Caption = "#"
Label27.Caption = ""

CommandButton1.Enabled = False'botão calcular
CommandButton2.Enabled = False'botão calcular pelas coordenadas
CommandButton3.Enabled = True'botão Nova Tirolesa
CommandButton4.Enabled = True'botão Calcular existente
CommandButton5.Enabled = False'botão cancelar
OptionButton1.Enabled = False'opção calcular manualmente
OptionButton2.Enabled = False'opção calcular pelas coordenadas

TextBox15 = "Nº negativo" 'valor da flecha
TextBox17 = 2 'Valor default do fator dinâmico
TextBox18 = "9,81" 'valor da aceleração da gravidade m/s²
TextBox19 = "1,226" 'valor da massa específica do ar Kg/m³

'Todos os TextBox inativos ao abrir
TextBox1.Enabled = False
TextBox2.Enabled = False
TextBox3.Enabled = False
TextBox4.Enabled = False
TextBox5.Enabled = False
TextBox6.Enabled = False
TextBox7.Enabled = False
TextBox8.Enabled = False
TextBox9.Enabled = False

```

```

TextBox10.Enabled = False
TextBox11.Enabled = False
TextBox12.Enabled = False
TextBox13.Enabled = False
TextBox14.Enabled = False
TextBox15.Enabled = False
TextBox16.Enabled = False
TextBox17.Enabled = False
TextBox18.Enabled = False
TextBox19.Enabled = False

'Todos os TextBox com fundo cinza ao abrir
TextBox1.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox2.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox3.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox4.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox5.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox6.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox7.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox8.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox9.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox10.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox11.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox12.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox13.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox14.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox15.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox16.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox17.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox18.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
TextBox19.BackColor = SystemColorConstants.vb3DLight
End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()
'Realizar rotina Userform_activate ao iniciar
Call UserForm_Activate
End Sub

Private Sub UserForm_QueryClose(Cancel As Integer, CloseMode As Integer)
'Bloquear botão fechar da janela
If CloseMode = vbFormControlMenu Then
    MsgBox "Utilize apenas os botões disponíveis", vbCritical, "AVISO"
Cancel = True
End If
End Sub

```

- **Tela\_Calculador\_Existente**

```

Private Sub CommandButton1_Click()
' Botão Calcular da TELA_CÁLCULAR_EXISTENTES

'troca virgula por ponto
TextBox4.Text = Replace(TextBox4.Text, ",", ".")
TextBox5.Text = Replace(TextBox5.Text, ",", ".")
TextBox6.Text = Replace(TextBox6.Text, ",", ".")
TextBox7.Text = Replace(TextBox7.Text, ",", ".")
TextBox8.Text = Replace(TextBox8.Text, ",", ".")
TextBox9.Text = Replace(TextBox9.Text, ",", ".")
TextBox10.Text = Replace(TextBox10.Text, ",", ".")
TextBox11.Text = Replace(TextBox11.Text, ",", ".")
TextBox12.Text = Replace(TextBox12.Text, ",", ".")

'Abrir aba Catenária e transportar os dados
Sheets("CATENÁRIA").Select
Range("F3") = TextBox8.Value 'Velocidade do vento em m/s

```

```

Range("F4") = TextBox5.Value 'Desnível entre os pontos em m
Range("F6") = TextBox4.Text 'Distância entre os pontos em m
Range("F7") = TextBox11.Value 'Aceleração da gravidade em m/s²

If TextBox6.Value = 0 Then'essa condição daria uma divisão por 0
Range("F8") = -1E-50
Else
Range("F8") = TextBox6.Value
End If

Range("F9") = TextBox12.Value 'Massa específica do ar em Kg/m³
Range("F10") = TextBox7.Value 'carga em Kg
Range("F12") = TextBox9.Value 'Fator de segurança
Range("F13") = TextBox10.Value 'Fator dinâmico

'executar a macro
Call Executar

Unload Me
TELA_RESULTADO.Show

End Sub

Private Sub UserForm_Activate()

ListView1.ListItems.Clear

'Ajustes de algumas propriedades importantes do ListView
With Me.ListView1
.Gridlines = True'linhas de grade visíveis (true)
.HideColumnHeaders = False'False para cabeçalho visível e True para invisível
.View = lvwReport 'Ajustar visualização do listview
End With

Call PopularListView

Me.ListView1.ColumnHeaders(1).Width = 20
Me.ListView1.ColumnHeaders(2).Width = 155
Me.ListView1.ColumnHeaders(3).Width = 120
Me.ListView1.ColumnHeaders(4).Width = 70
Me.ListView1.ColumnHeaders(5).Width = 35

'Occultar colunas
For x = 6 To 21
Me.ListView1.ColumnHeaders(x).Width = 0
Next

End Sub

Private Sub PopularListView()

'Declaração de variáveis
Dim wksOrigem As Worksheet
Dim rData As Range
Dim rCell As Range
Dim lstItem As ListItem
Dim linCont As Long
Dim colCont As Long
Dim i As Long
Dim j As Long

'Definição da planilha de origem
Set wksOrigem = Worksheets("DADOS")

'Definição do range de origem
Set rData = wksOrigem.Range("A9").CurrentRegion

'Adicionar cabeçalho no listview com laço de repetição 'For'

```



```

For Each rCell In rData.Rows(1).Cells
Me.ListView1.ColumnHeaders.Add Text:=rCell.Value, Width:=90
Next rCell

'Alimentar variável linCont com número de linhas do intervalo fonte
linCont = rData.Rows.Count

'Alimentar variável colCont com número de linhas do intervalo fonte
colCont = rData.Columns.Count

'Popular o ListView
For i = 2 To linCont
Set LstItem = Me.ListView1.ListItems.Add(Text:=rData(i, 1).Value)
For j = 2 To colCont
LstItem.ListSubItems.Add Text:=rData(i, j).Value
Next j
Next i

End Sub

Private Sub ListView1_ItemClick(ByVal Item As MSComctlLib.ListItem)

Label26.Caption = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(1)
Label27.Caption = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(2)
Label28.Caption = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(3) & " - " & _
ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(4)
TextBox4.Value = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(13)
TextBox5.Value = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(12)
TextBox6.Value = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(14)
TextBox7.Value = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(15)
TextBox8.Value = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(16)
TextBox9.Value = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(17)
TextBox10.Value = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(18)
TextBox11.Value = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(19)
TextBox12.Value = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(20)

End Sub

```

### • Tela\_Confirmar\_Dados

```

Private Sub CommandButton1_Click()
'Botão Calcular da TELA_CONFIRMAR_DADOS

TextBox8.Text = Replace(TextBox8.Text, ",", ".")
TextBox5.Text = Replace(TextBox5.Text, ",", ".")
TextBox4.Text = Replace(TextBox4.Text, ",", ".")
TextBox11.Text = Replace(TextBox11.Text, ",", ".")
TextBox6.Text = Replace(TextBox6.Text, ",", ".")
TextBox12.Text = Replace(TextBox12.Text, ",", ".")
TextBox7.Text = Replace(TextBox7.Text, ",", ".")
TextBox9.Text = Replace(TextBox9.Text, ",", ".")
TextBox10.Text = Replace(TextBox10.Text, ",", ".")

'Abrir aba Catenária
Worksheets("CATENÁRIA").Select
Range("F3") = TextBox8.Value
Range("F4") = TextBox5.Value
Range("F6") = TextBox4.Value
Range("F7") = TextBox11.Value

If TextBox6.Value = 0 Then'essa condição daria uma divisão por 0
Range("F8") = -1E-50
Else
Range("F8") = TextBox6.Value
End If

```

```

Range("F9") = TextBox12.Value
Range("F10") = TextBox7.Value
Range("F12") = TextBox9.Value
Range("F13") = TextBox10.Value

Call Executar

Me.Hide
TELA_RESULTADO.Show
End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
'Botão voltar

Sheets("DADOS").Select
Range("dados[[#Headers],[#]]").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Row = Selection.End(xlDown).Row
Sheets("DADOS").Rows(Row).Delete

Unload Me
End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
'Ao ativar tela de confirmação dos dados

Sheets("DADOS").Select
'NumRows = numero de linhas
NumRows = Range("A10", Range("A10").End(xlDown)).Rows.Count

Range("A9").Select

For x = 1 To NumRows

If ActiveCell.Offset(x, 0) = Range("D1") Then
dist = ActiveCell.Offset(x, 13).Value

TextBox4.Value = dist
Label25.Caption = "n° " & Range("D1")
TextBox5.Value = ActiveCell.Offset(x, 12).Value
TextBox6.Value = ActiveCell.Offset(x, 14).Value
TextBox7.Value = ActiveCell.Offset(x, 15).Value
TextBox8.Value = ActiveCell.Offset(x, 16).Value
TextBox9.Value = ActiveCell.Offset(x, 17).Value
TextBox10.Value = ActiveCell.Offset(x, 18).Value
TextBox11.Value = ActiveCell.Offset(x, 19).Value
TextBox12.Value = ActiveCell.Offset(x, 20).Value
End If
Next

vms = Sqr(2 * TextBox11.Value * TextBox5.Value)
kmh = vms * 3.6
vms = Format(vms, "#,##0.00")
kmh = Format(kmh, "#,##0.00")

Label22.Caption = vms & " m/s"
Label24.Caption = kmh & " Km/h"
End Sub

Private Sub UserForm_QueryClose(Cancel As Integer, CloseMode As Integer)
'Bloqueio do botão fechar da janela
If CloseMode = vbFormControlMenu Then
MsgBox "Utilize apenas os botões disponíveis", vbCritical, "AVISO"
Cancel = True
End If
End Sub

```

- **FrmProcesso**

```
Private Sub UserForm_Activate()
'Configura a largura do lblProcesso (verde) para 0
frmProcesso.lblProcesso.Width = 0

'Chama a sub principal que é o código das ações
Call Calcular_Catenária

End Sub

Private Sub UserForm_Terminate()
TELA_RESULTADO.Show
End Sub
```

- **Tela\_Resultado**

```
Private Sub CommandButton1_Click()
'Botão analisar resultados

Unload Me
TELA_ANALISE.Show

End Sub

Private Sub Label34_Click()
'texto alterar

TELA_RESULTADO.Hide
TELA_PARAMETRO.Show

End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
'Ao abrir a janela

Sheets("CATENÁRIA").Select

kg = Range("F10").Value 'carga em Kg
test = Range("Q7").Value 'Quantidade de cabos testados
parc = Range("Q3").Value 'Parâmetro de convergência
qtco = Range("Q4").Value 'quantidade de convergências

perc = (qtco / test) * 100 'percentual de convergência
perc = Format(perc, "#,##0.00")

fats = Range("F12").Value 'Fator de segurança
fatd = Range("F13").Value 'Fator dinâmico
comp = Range("Q10").Value 'comprimento do cabo
comp = Format(comp, "#,##0.00")
tmic = Range("Q11").Value 'força min devido a catenária
tmic = Format(tmic, "#,##0.00")
tmac = Range("Q12").Value 'força máx. devido a catenária
tmac = Format(tmac, "#,##0.00")
cokc = Range("Q8").Value 'Cabos ok considerando apenas a catenária
okcp = (cokc / test) * 100 'percentual cabos ok devido a catenária
okcp = Format(okcp, "#0")
tlam = Range("F14").Value 'força máx. pelo método de Lamy
tlam = Format(tlam, "#,##0.00")
tmit = Range("Q13").Value 'força min considerando a carga transportada
tmit = Format(tmit, "#,##0.00")
tmat = Range("Q14").Value 'força máx. considerando a carga transportada
tmat = Format(tmat, "#,##0.00")
```

```

cokt = Range("Q9").Value 'Cabos OK considerando a carga transportada
oklp = (cokt / test) * 100 'percentual cabos ok devido a catenária
oklp = Format(oklp, "#0")

Sheets("LAMY").Select
mlam = Range("I35").Value 'local onde ocorre a força máx. por Lamy
mlam = Format(mlam, "#,##0.00")

Frame2.Caption = "Considerando uma carga de " & kg & " Kg"
Label19.Caption = test 'Quantidade de cabos testados
Label20.Caption = parc & " m" 'Parâmetro de convergência
Label21.Caption = perc & " % dos cabos" 'ocorreu a convergência em (%)
Label22.Caption = fats 'Fator de segurança
Label23.Caption = fatd 'Fator dinâmico
Label24.Caption = comp & " m" 'comprimento do cabo
Label25.Caption = tmic & " N" 'força min devido a catenária
Label26.Caption = tmac & " N" 'força máx. devido a catenária
Label27.Caption = cokc & " (" & okcp & "%)" 'Cabos ok considerando apenas a
catenária"
Label28.Caption = tlam & " N" 'força máx. pelo método de Lamy
Label29.Caption = "x = " & mlam & " m" 'local onde ocorre a força máx. por
Lamy
Label30.Caption = tmit & " N" 'força min considerando a carga transportada
Label31.Caption = tmat & " N" 'força máx. considerando a carga transportada
Label32.Caption = cokt & " (" & oklp & "%)" 'Cabos OK considerando a carga
transportada

End Sub

Private Sub UserForm_QueryClose(Cancel As Integer, CloseMode As Integer)
'Bloquear botão fechar da janela
If CloseMode = vbFormControlMenu Then
    MsgBox "Prossiga com o cálculo", vbCritical, "AVISO"
Cancel = True
End If
End Sub

```

### • Tela\_Parâmetro

```

Private Sub CommandButton1_Click()
'Botão OK

TextBox1.SetFocus

Sheets("CATENÁRIA").Select
TextBox1.Text = Replace(TextBox1.Text, ",", ".")
Range("Q3").Value = TextBox1.Value

Unload Me
End Sub

Private Sub UserForm_QueryClose(Cancel As Integer, CloseMode As Integer)
'Ao fechar pelo botão do formulário
TELA_RESULTADO.Show

End Sub

Private Sub UserForm_Terminate()
'Ao fechar o formulário

TELA_RESULTADO.Show

End Sub

```

- **Tela\_Análise**

```

Private Sub CommandButton1_Click()
'Botão filtrar apenas aprovados

CommandButton1.Enabled = False

Call filtrar_ok

ListView1.ListItems.Clear

'Ajustes de algumas propriedades importantes do ListView
With Me.ListView1
.Gridlines = True'linhas de grade visíveis (true)
.HideColumnHeaders = False'False para cabeçalho visível e True para invisível
.View = lvwReport 'Ajustar visualização do listview
End With

Call PopularListView_filtrada

Call Dimensionar_colunas

End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
'Botão selecionar

Worksheets("GRÁFICOS").Select
Range("B2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(11)
Range("C2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(13)

Worksheets("RELATÓRIO").Select
Range("A2") = ListView1.SelectedItem 'Fabricante
Range("B2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(1)
Range("C2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(2)
Range("D2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(3)
Range("E2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(4)
Range("F2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(5)
Range("G2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(6)
Range("H2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(7)
Range("I2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(8)
Range("J2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(9)
Range("K2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(10)
Range("L2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(11)
Range("M2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(12)
Range("N2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(13)
Range("O2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(14)
Range("P2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(15)
Range("Q2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(16)
Range("R2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(17)
Range("S2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(18)
Range("T2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(19)
Range("U2") = ListView1.SelectedItem.ListSubItems.Item(20)

TELA_CABO_ESCOLHIDO.Show

End Sub

Private Sub ListView1_Click()
'Ao clicar em uma linha da lista

If CommandButton1.Enabled = FalseThen CommandButton2.Enabled = True

End Sub

Private Sub UserForm_Activate()

```

```

'Ao abrir a janela

Application.Visible = False

CommandButton1.Enabled = True
CommandButton2.Enabled = False

ListView1.ListItems.Clear

'Ajustes de algumas propriedades importantes do ListView
With Me.ListView1
.Gridlines = True'linhas de grade visíveis (true)
.HideColumnHeaders = False'False para cabeçalho visível e True para invisível
.View = lvwReport 'Ajustar visualização do listview
End With

Call PopularListView2

Call Dimensionar_colunas

End Sub

Private Sub Dimensionar_colunas()
'Rotina para dimensionar as colunas da lista

Me.ListView1.ColumnHeaders(1).Width = 47 'Fabricante
Me.ListView1.ColumnHeaders(2).Width = 0 'R$/m
Me.ListView1.ColumnHeaders(3).Width = 30 'Diâmetro em pol
Me.ListView1.ColumnHeaders(4).Width = 0 'Diâmetro em mm (para mostrar colocar
30) Me.ListView1.ColumnHeaders(5).Width = 41 'Tipo
Me.ListView1.ColumnHeaders(6).Width = 35 'Construção
Me.ListView1.ColumnHeaders(7).Width = 30 'Kg/m
Me.ListView1.ColumnHeaders(8).Width = 26 'IPS/EIPS
Me.ListView1.ColumnHeaders(9).Width = 0 'Ruptura Kgf
Me.ListView1.ColumnHeaders(10).Width = 52 'Ruptura N
Me.ListView1.ColumnHeaders(11).Width = 0 'Resultante da pressão do vento
(para mostrar colocar 40)
Me.ListView1.ColumnHeaders(12).Width = 40 'Peso aparente devido a pressão de
vento
Me.ListView1.ColumnHeaders(13).Width = 62 'ruptura(N)/Fator de segurança
Me.ListView1.ColumnHeaders(14).Width = 65 'F Horizontal (N)
Me.ListView1.ColumnHeaders(15).Width = 40 'h
Me.ListView1.ColumnHeaders(16).Width = 40 'xm
Me.ListView1.ColumnHeaders(17).Width = 41 'Força(N)
Me.ListView1.ColumnHeaders(18).Width = 32 'STATUS
Me.ListView1.ColumnHeaders(19).Width = 40 'Cabo m
Me.ListView1.ColumnHeaders(20).Width = 61 'Força total
Me.ListView1.ColumnHeaders(21).Width = 32 'Stauts Final
Me.ListView1.ColumnHeaders(22).Width = 0 'Forçacatenária
Me.ListView1.ColumnHeaders(23).Width = 0 'Força Total
Me.ListView1.ColumnHeaders(24).Width = 0 'Convergiu?

End Sub

Private Sub PopularListView2()
'Rotina para carregar dados na lista

'Declaração de variáveis
Dim wksOrigem As Worksheet
Dim rData As Range
Dim rCell As Range
Dim lstItem As ListItem
Dim linCont As Long
Dim colCont As Long
Dim i As Long
Dim j As Long

```

```

'Definição da planilha de origem
Set wksOrigem = Worksheets("CATENÁRIA")

'Definição do range de origem
Set rData = wksOrigem.Range("A16").CurrentRegion

'Adicionar cabeçalho no listview com laço de repetição 'For'
ForEach rCell In rData.Rows(1).Cells
Me.ListView1.ColumnHeaders.Add Text:=rCell.Value, Width:=100
Next rCell

'Alimentar variável linCont com número de linhas do intervalo fonte
linCont = rData.Rows.Count

'Alimentar variável colCont com número de linhas do intervalo fonte
colCont = rData.Columns.Count

'Popular o ListView
For i = 2 To linCont
For j = 2 To colCont
Set LstItem = Me.ListView1.ListItems.Add(Text:=rData(i, 1).Text)
LstItem.ListSubItems.Add Text:=rData(i, j).Text
Next j
Next i

End Sub

Private Sub PopularListView_filtrada()
'Rotina para carregar dados filtrados na lista

'Declaração de variáveis
Dim wksOrigem As Worksheet
Dim rData As Range
Dim rCell As Range
Dim LstItem As ListItem
Dim linCont As Long
Dim colCont As Long
Dim i As Long
Dim j As Long

'Definição da planilha de origem
Set wksOrigem = Worksheets("TABELA_FILTRADA")

'Definição do range de origem
Set rData = wksOrigem.Range("A1").CurrentRegion

'Adicionar cabeçalho no listview com laço de repetição 'For'
ForEach rCell In rData.Rows(1).Cells
Me.ListView1.ColumnHeaders.Add Text:=rCell.Value, Width:=0
Next rCell

'Alimentar variável linCont com número de linhas do intervalo fonte
linCont = rData.Rows.Count

'Alimentar variável colCont com número de linhas do intervalo fonte
colCont = rData.Columns.Count

'Popular o ListView
For i = 2 To linCont
For j = 2 To colCont
Set LstItem = Me.ListView1.ListItems.Add(Text:=rData(i, 1).Text)
LstItem.ListSubItems.Add Text:=rData(i, j).Text
Next j
Next i

Me.ListView1.ColumnHeaders(1).Width = 47 'Fabricante
Me.ListView1.ColumnHeaders(2).Width = 0 'R$/m
Me.ListView1.ColumnHeaders(3).Width = 30 'Diâmetro em pol

```

```

Me.ListView1.ColumnHeaders(4).Width = 0 'Diâmetro em mm (para mostrar colocar
30)
Me.ListView1.ColumnHeaders(5).Width = 41 'Tipo
Me.ListView1.ColumnHeaders(6).Width = 35 'Construção
Me.ListView1.ColumnHeaders(7).Width = 30 'Kg/m
Me.ListView1.ColumnHeaders(8).Width = 26 'IPS/EIPS
Me.ListView1.ColumnHeaders(9).Width = 0 'Ruptura Kgf
Me.ListView1.ColumnHeaders(10).Width = 52 'Ruptura N
Me.ListView1.ColumnHeaders(11).Width = 0 'Resultante da pressão do vento
(para mostrar colocar 40)
Me.ListView1.ColumnHeaders(12).Width = 40 'Peso aparente devido a pressão de
vento
Me.ListView1.ColumnHeaders(13).Width = 62 'ruptura(N)/Fator de segurança
Me.ListView1.ColumnHeaders(14).Width = 65 'F Horizontal (N)
Me.ListView1.ColumnHeaders(15).Width = 40 'h
Me.ListView1.ColumnHeaders(16).Width = 40 'xm
Me.ListView1.ColumnHeaders(17).Width = 41 'Força(N)
Me.ListView1.ColumnHeaders(18).Width = 32 'STATUS
Me.ListView1.ColumnHeaders(19).Width = 40 'Cabo m
Me.ListView1.ColumnHeaders(20).Width = 61 'Força total
Me.ListView1.ColumnHeaders(21).Width = 32 'Stauts Final
Me.ListView1.ColumnHeaders(22).Width = 0 'Forçacatenária
Me.ListView1.ColumnHeaders(23).Width = 0 'Força Total
Me.ListView1.ColumnHeaders(24).Width = 0 'Convergiu?

End Sub

```

### • Tela\_Cabo\_Escolhido

```

Private Sub CommandButton1_Click()
'Botão Gráfico

CommandButton1.Enabled = True
CommandButton2.Enabled = True

incremento.Show

End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
'Ao ativar o formulário

CommandButton1.Enabled = True
CommandButton2.Enabled = False

Label1.Caption = "Fabricante"
Label2.Caption = "R$/m"
Label3.Caption = "Diam. Pol."
Label4.Caption = "Diam. mm."
Label5.Caption = "Tipo"
Label6.Caption = "Construção"
Label7.Caption = "Kg/m"
Label8.Caption = "IPS / EIPS"
Label9.Caption = "Força de ruptura (Kgf)"
Label10.Caption = "Força de ruptura (N)"
Label11.Caption = "Resultante da pressão do vento (N/m)"
Label12.Caption = "Peso aparente devido a pressão do vento (N/m)"
Label13.Caption = "Carga de ruptura com fator de segurança (N)"
Label14.Caption = "Força horizontal (N)"
Label15.Caption = "Desnível (m)"
Label16.Caption = "Xv (m)"
Label17.Caption = "Força no cabo (N)"

```



```

Label18.Caption = "STATUS"
Label19.Caption = "Comprimento do cabo (m)"
Label20.Caption = "Força total no cabo (N)"
Label21.Caption = "STATUS"

```

```

Worksheets("RELATÓRIO").Select
TextBox1.Value = Range("A2")
TextBox2.Value = Range("B2")
TextBox3.Value = Range("C2")
TextBox4.Value = Range("D2")
TextBox5.Value = Range("E2")
TextBox6.Value = Range("F2")
TextBox7.Value = Range("G2")
TextBox8.Value = Range("H2")
TextBox9.Value = Range("I2")
TextBox10.Value = Range("J2")
TextBox11.Value = Range("K2")
TextBox12.Value = Range("L2")
TextBox13.Value = Range("M2")
TextBox14.Value = Range("N2")
TextBox15.Value = Range("O2")
TextBox16.Value = Range("P2")
TextBox17.Value = Range("Q2")
TextBox18.Value = Range("R2")
TextBox19.Value = Range("S2")
TextBox20.Value = Range("T2")
TextBox21.Value = Range("U2")

```

```
End Sub
```

- **Incremento**

```

Private Sub CommandButton1_Click()
'Botão OK

If Not IsNumeric(TextBox1.Text) Then
TextBox1.Text = Empty
Exit Sub
End If
TextBox1.Text = Replace(TextBox1.Text, ",", ".")
Sheets("LAMY").Select
Range("E34") = TextBox1.Value

frmgrafico.Show
Unload Me

End Sub

```

- **frmGráfico**

```

Private Sub UserForm_Activate()
'Ao abrir o formulário
'Configura a largura do lblProcesso (verde) para 0
frmgrafico.lblProcesso.Width = 0

Sheets("CATENÁRIA").Select
cont = Range("F14").Value
If cont <= 0 Then
Call graficar

```

```

Else
Call graficar_lamy
    MsgBox "O gráfico a seguir apresenta a curva catenária em laranja e a
plotagem ponto a ponto da posição da carretilha durante a descida"
EndIf
TELA_GRÁFICO.Show

End Sub

```

- **Gráfico**

```

Private Sub UserForm_Activate()
'Ao abrir a tela

Set currentchart = Sheets("GRÁFICOS").ChartObjects(1).Chart

'converter objeto do gráfico em imagem gif
nome = ThisWorkbook.Path & Application.PathSeparator & "templ.gif"
currentchart.Export Filename:=nome, filtername:="GIF"

'mostrar gráfico como imagem no userform
Imagem1.Picture = LoadPicture(nome)
Imagem1.PictureSizeMode = fmPictureSizeModeClip
Imagem1.PictureAlignment = fmPictureAlignmentCenter

'Limpar para novo gráfico
Sheets("GRÁFICOS").Select
ActiveChart.Parent.Delete
Range("A7:C7").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents

End Sub

```

- **Módulo 1**

```

Sub Executar()
'Abre formulário de processo para calcular

frmProcesso.Show
End Sub

Sub Calcular_Catenária()
'Macro que roda as iterações para calcular as curvas catenárias

'contador
Dim Percentual As Single'variável que armazena resultado de divisão
Dim contador As Integer'conta atual quantidade de laços feitos
Dim limite As Integer'apresentando uma variável para armazenar o valor máximo

Dim y As Variant
Dim x As Integer

Application.ScreenUpdating = False

h = Range("F4")

'NumRows = número de linhas
NumRows = Range("C17", Range("C17").End(xlDown)).Rows.Count

'Limitante do contador de progresso 100%
limite = NumRows

```

```

'seleciona a célula da força horizontal na primeira linha
Range("N17").Select
'loop da linha 17 até a ultima
For x = 1 To NumRows

    ActiveCell.FormulaR1C1 = ActiveCell.Offset(0, -2) * Range("Q6") 'chute
    inicial pela força na parábola

    SolverOk SetCell:=ActiveCell.Offset(0, 1), MaxMinVal:=3, ValueOf:=h,
    ByChange:=ActiveCell, Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
    SolverSolve userFinish:=True

'selecionar celula da linha de baixo
ActiveCell.Offset(1, 0).Select

contador = contador + 1 'conta a quantidade já realizada de ações
Percentual = contador / limite 'encontra o % realizado
AtualizaBarra Percentual ' Chama atualização de barra

Next

frmProcesso.Hide 'fecha a janela (formulário) após concluir

Call Calcular_Lamy
End Sub

Sub AtualizaBarra(Percentual As Single) 'variável reservada para ser %
'Rotina para barra de progresso

With frmProcesso
    ' Atualiza o Título do Quadro que comporta a barra para %
    .FrameProcesso.Caption = Format(Percentual, "0%")
    ' Atualiza o tamanho da Barra (label)
    .lblProcesso.Width = Percentual * _
        (.FrameProcesso.Width - 10)
End With

'Habilita o userform para ser atualizado
DoEvents
End Sub

Sub AtualizaBarragrafico(Percentual As Single) 'variável reservada para ser %
'Rotina para barra de progresso do gráfico

With frmgrafico
    ' Atualiza o Título do Quadro que comporta a barra para %
    .FrameProcesso.Caption = Format(Percentual, "0%")
    ' Atualiza o tamanho da Barra (label)
    .lblProcesso.Width = Percentual * _
        (.FrameProcesso.Width - 10)
End With

'Habilita o userform para ser atualizado
DoEvents
End Sub

Sub Calcular_Lamy()
'Macro calcula iterativamente qual tamanho do trecho I para a maiortensão no
cabo

Sheets("LAMY").Select
Range("E15") = Range("E13") / 2
    SolverOk SetCell:="$L$31", MaxMinVal:=1, ValueOf:=200, ByChange:="$E$15",
-
    Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
    SolverSolve userFinish:=True
Sheets("CATENÁRIA").Select

```

```

Application.ScreenUpdating = True
End Sub

Sub Imagem8_Clique()
'Imagem_calculadora

Call Executar
End Sub

Sub Imagem9_Clique()
'Imagem_lixeira

Application.ScreenUpdating = False

Range("N17").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
Range("N17").Select

Application.ScreenUpdating = True
End Sub

Sub filtrar_ok()
'Rotina para filtrar cabos com classificação "OK"

Sheets("TABELA_FILTRADA").Select
Columns("A:AP").Select
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Range("A1").Select
Sheets("CATENÁRIA").Select
ActiveSheet.ListObjects("Tabela1").Range.AutoFilter           Field:=21,
Criteria1:="OK"
Range("Tabela1[[#Headers],[Fabricante]]").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Selection.Copy
Sheets("TABELA_FILTRADA").Select
Range("A1").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteAllUsingSourceTheme, Operation:=xlNone _
, SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("A1").Select
Sheets("CATENÁRIA").Select
ActiveSheet.ListObjects("Tabela1").Range.AutoFilter Field:=21
Range("A1").Select
End Sub

Sub graficar_lamy()
'Rotina para gerar tabela com as coordenadas (x,y) da carretilha

'contador
Dim Percentual As Single'variável que armazena resultado de divisão
Dim contador As Integer'conta atual quantidade de laços feitos
Dim limite As Integer'apresentando uma variável para armazenar o valor máximo

Dim mem As Variant'memória do valor original da célula
Dim comp As Variant'Comprimento do cabo
Dim K As Variant'incremento de x
Dim x As Variant'valores de x
Dim lin As Variant'variável de linha

Sheets("LAMY").Select

comp = Range("E13").Value 'intervalo entre os incrementos
K = Range("E34").Value 'intervalo entre os incrementos
mem = Range("E15").Value 'valor guardado

```

```

x = 0 'primeiro pontodo gráfico
lin = 39 'primeira linha da tabela X x Y
p = 0 'parada da macro

'Limitante do contador de progresso 100%
limite = comp / K

Do While x <= comp
    Range("E15") = x
    b = 0
Do While IsError(Range("i35")) = True
    b = b + 1
    x = x + K
    Range("E15") = x
If b = 20 Then Exit Do
    Loop
If b = 20 Then Exit Do
    Range("I35:J35").Select
    Selection.Copy
    Range("I" & lin).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    x = x + K
    lin = lin + 1

    contador = contador + 1 'conta a quantidade já realizada de ações
    Percentual = contador / limite 'encontra o % realizado
    AtualizaBarragrafico Percentual ' Chama atualização de barra
Loop

'Copiar tabela para a aba Gráficos
Range("I39").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.Copy
Sheets("GRÁFICOS").Select
Range("A6").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
Range("A1").Select

NumRows = Range("B6", Range("B6").End(xlDown)).Rows.Count + 5
Range("C6:C" & NumRows).Select
Selection.FillDown

'Remover tabela da aba Lamy
Sheets("LAMY").Select
Range("I39").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents

'Voltar para E15 o valor da memória
Range("E15").Value = mem

'Criar gráfico
Sheets("GRÁFICOS").Select
Range("A5").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatterSmoothNoMarkers).Select
ActiveChart.SetSourceData Source:=Range("GRÁFICOS!$A$5:$C$478")
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleNone)
ActiveChart.ClearToMatchStyle
ActiveChart.ChartStyle = 245
ActiveChart.ClearToMatchStyle

```

```

ActiveChart.ChartStyle = 245
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Select
With Selection.Format.Line
    .Visible = msoTrue
    .DashStyle = msoLineSysDash
End With

frmgrafico.Hide 'fecha a janela (formulário) após concluir
End Sub

Sub graficar()
'Rotina para gerar gráficos

'contador
Dim Percentual As Single'variável que armazena resultado de divisão
Dim contador As Integer'conta atual quantidade de laços feitos
Dim limite As Integer'apresentando uma variável para armazenar o valor máximo

Dim mem As Variant'memória do valor original da célula
Dim comp As Variant'Comprimento do cabo
Dim K As Variant'incremento de x
Dim x As Variant'valores de x
Dim lin As Variant'variável de linha

Sheets("LAMY").Select

comp = Range("E13").Value 'Comprimento do cabo
K = Range("E34").Value 'incremento x a ser soma no valor do trecho I
mem = Range("E15").Value 'valor guardado

x = 0 'primeiro ponto do gráfico
Sheets("GRÁFICOS").Select 'local onde será gravada a tabela
lin = 6 'primeira linha da tabela X x Y
p = 0 'parada da macro

'Limitante do contador de progresso 100%
limite = comp / K

Do While x <= comp
    Range("A" & lin).Value = x
    x = x + K
    lin = lin + 1

    contador = contador + 1 'conta a quantidade já realizada de ações
    Percentual = contador / limite 'encontra o % realizado
    AtualizaBarragrafico Percentual ' Chama atualização de barra
Loop
NumRows = Range("A6", Range("A6").End(xlDown)).Rows.Count + 5
Range("C6:C" & NumRows).Select
Selection.FillDown

'Criar gráfico
Range("A5").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatterSmoothNoMarkers).Select
ActiveChart.SetSourceData Source:=Range("GRÁFICOS!$A$5:$C$98")
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).IsFiltered = True
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleNone)
ActiveChart.SetElement (msoElementLegendTop)
ActiveChart.ClearToMatchStyle
ActiveChart.ChartStyle = 245
ActiveChart.ClearToMatchStyle
ActiveChart.ChartStyle = 245

frmgrafico.Hide 'fecha a janela (formulário) após concluir
End Sub

```