

Engrenarium

Guia do Usuário



Artur Avelar

Versão 1.2.2 – 26/03/2026

Sumário

1. Apresentação	3
1.1. O que é o Engrenarium.....	3
1.2. Nomenclatura e conceitos básicos.....	4
1.3. Fluxo geral de trabalho no Engrenarium.....	4
2. Interface do Engrenarium.....	5
2.1. Visão geral da janela principal	5
2.2. Barra de menus.....	5
2.3. Painel de dados de entrada	10
2.4. Barra de ferramentas	17
2.5. Área de renderização	22
2.6. Painel de resultados	22
3. Exemplos de montagem de um sistema planetário	24
3.1. Planetária de um estágio com duas relações	24
3.2. Planetária de dois estágios.....	26
4. Recursos Free e Pro	28

1. Apresentação

1.1. O que é o Engrenarium

O Engrenarium é uma ferramenta interativa para modelagem, visualização e análise cinemática de sistemas de engrenagens planetárias. O programa permite construir conjuntos simples ou de múltiplos estágios, informar velocidades conhecidas, criar acoplamentos entre peças, calcular relações de velocidade e acompanhar o comportamento do sistema em uma visualização 3D.

Na prática, o software foi organizado para atender tanto ao uso didático quanto ao uso de exploração técnica. Isso significa que ele serve bem para demonstrações em sala de aula, estudo individual, comparação entre arranjos de transmissão e montagem de exemplos clássicos de conjuntos planetários.

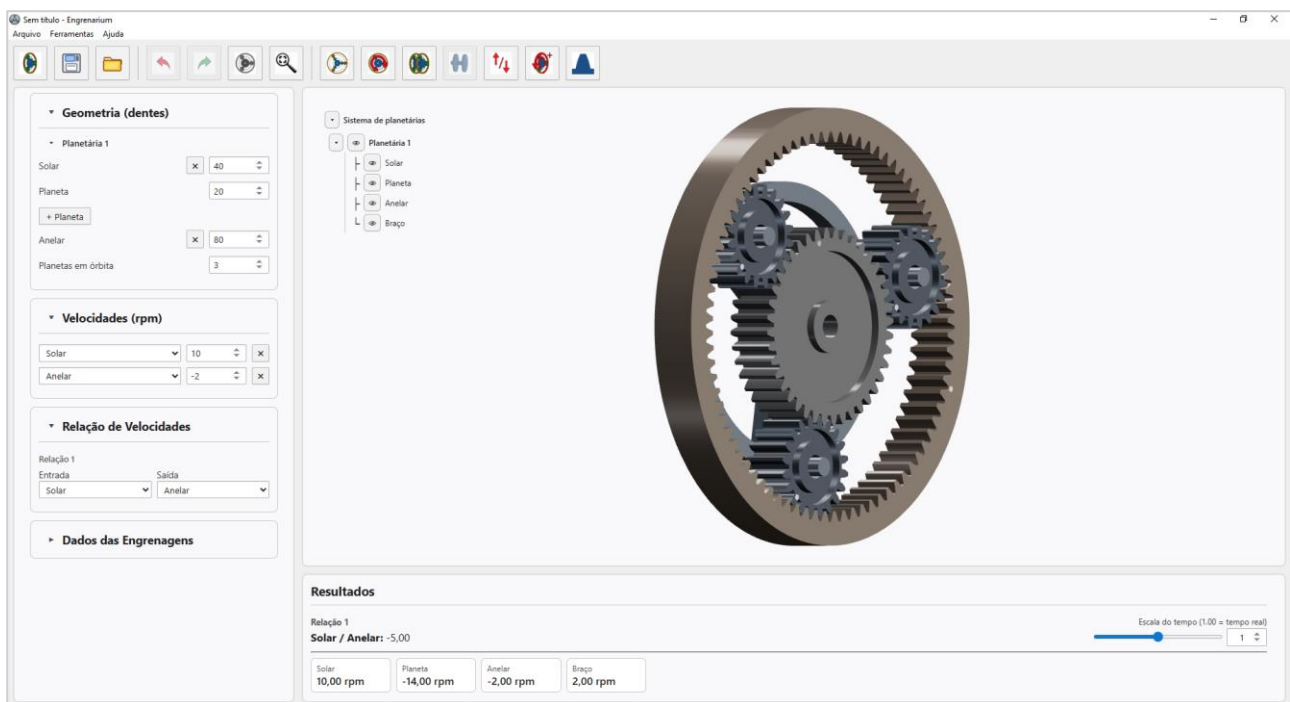


Figura 1 – Tela inicial do Engrenarium

O Engrenarium pode ser usado em diferentes contextos. Para estudantes, ele ajuda a relacionar a teoria de engrenagens planetárias com um modelo visual e manipulável. Para professores, ele funciona como apoio de aula, porque facilita a demonstração de entradas, saídas, travamentos e acoplamentos. Para usuários com foco mais técnico, ele também serve como ferramenta de verificação conceitual antes de detalhamentos mais avançados.

- Montar uma planetária simples para estudar relações básicas;
- Comparar diferentes combinações de entrada, saída e elemento travado;
- Montar sistemas com mais de um estágio;
- Testar acoplamentos entre componentes de estágios diferentes;
- Visualizar o conjunto em 3D e interpretar o resultado calculado.

1.2. Nomenclatura e conceitos básicos

Antes de começar a usar o programa, vale alinhar a nomenclatura dos principais componentes. O Engrenarium utiliza os nomes mais comuns na interface e organiza cada planetária a partir de quatro elementos principais.

- **Solar:** Engrenagem central do conjunto;
- **Planeta:** Engrenagem que gira em torno da solar e normalmente engrena com a anelar;
- **Anelar:** Engrenagem externa com dentes internos;
- **Braço:** Componente que carrega as planetas e define a rotação do conjunto .

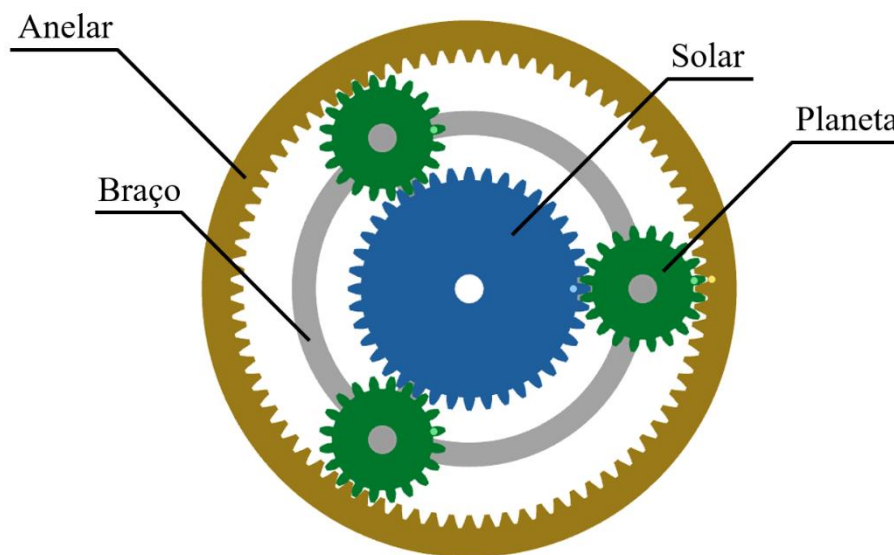


Figura 2 – Componentes de uma engrenagem planetária

Ao longo do programa, esses elementos aparecem associados a outros conceitos básicos, listados abaixo:

- **Velocidade angular:** velocidade que a engrenagem gira ao redor do próprio eixo;
- **Relação de velocidades:** Divisão entre velocidade de entrada (geralmente motor) e velocidade de saída de duas engrenagens;
- **Acoplamento:** Forma de interligar peças de diferentes planetárias, igualando sua velocidade angular.

1.3. Fluxo geral de trabalho no Engrenarium

O fluxo de uso do Engrenarium segue uma sequência lógica. Essa sequência é importante porque o programa separa claramente a definição geométrica da definição cinemática.

- I. Criar um projeto novo ou abrir um projeto existente;
- II. Definir os parâmetros básicos do estágio ou dos estágios planetários;
- III. Informar velocidades conhecidas e, quando necessário, adicionar acoplamentos;
- IV. Escolher a relação de velocidades que se deseja observar;
- V. Conferir a renderização 3D e interpretar os resultados calculados;
- VI. Salvar o projeto ou exportar o conjunto, conforme a necessidade.

Ao seguir essa ordem, o usuário reduz a chance de deixar o sistema subdeterminado, superdeterminado ou geometricamente inconsistente.

2. Interface do Engrenarium

2.1. Visão geral da janela principal

A janela principal do Engrenarium foi organizada para que os dados de entrada fiquem de um lado, a visualização do conjunto fique em destaque e os resultados calculados permaneçam acessíveis ao mesmo tempo. Em termos práticos, a interface é formada por uma área superior de comandos, um painel de dados, uma área de renderização e um painel de resultados.

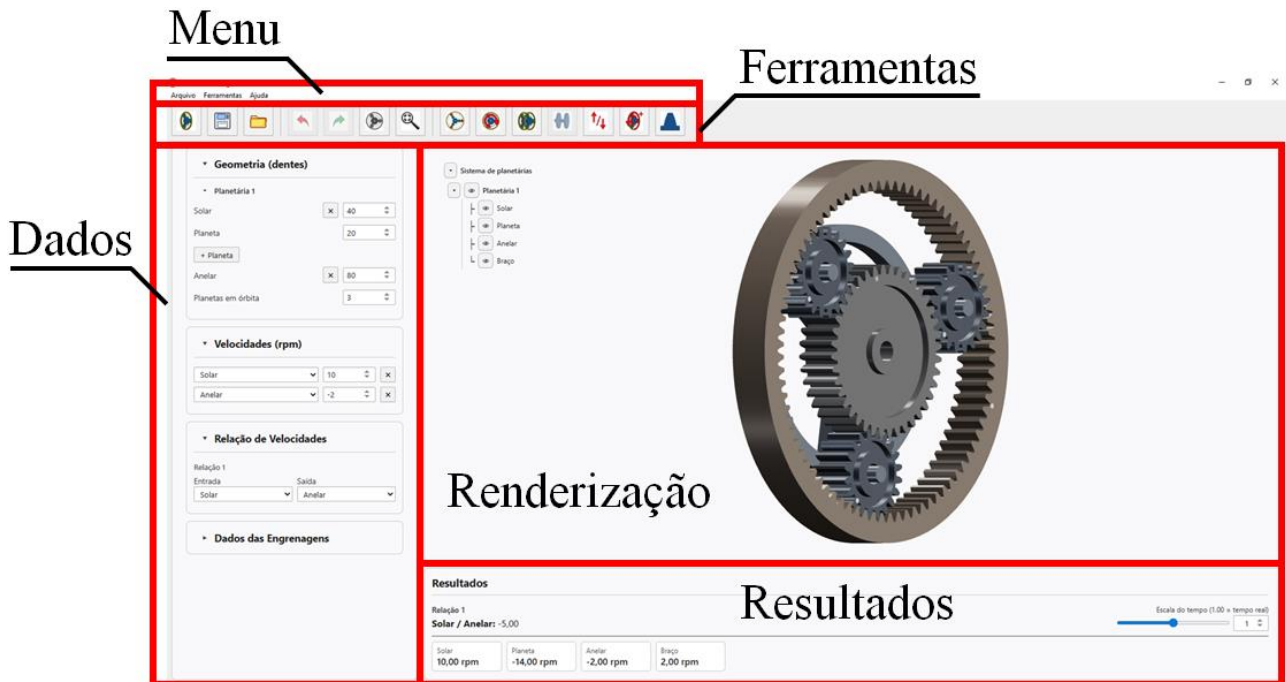


Figura 3 – Áreas do Engrenarium

- **Barra de menus:** Comandos gerais de arquivo, ferramentas e ajuda;
- **Painel de dados de entrada:** Reúne as seções de parâmetros básicos, velocidades, acoplamentos, relação e dados das engrenagens;
- **Barra de ferramentas:** Acesso rápido aos comandos mais usados;
- **Área de renderização:** Mostra o conjunto planetário em 3D em velocidade real;
- **Painel de resultados:** Exibe relações calculadas, velocidades angulares em rpm e mensagens de erro ou inconsistência.

2.2. Barra de menus

2.2.1. Arquivo:

Novo:

Cria um novo projeto.

Abrir:

Abre um projeto previamente salvo. O Engrenarium utiliza arquivos com extensão **.enrg**.

Salvar, Salvar Como:

Permite salvar o projeto criado. São salvos número de dentes, velocidades, acoplamentos, resultados, dados, etc.

Exportar:

Permite exportar o desenho para arquivos **STL** e **DXF 3D**.

A exportação gera arquivos compactados em ZIP a partir das malhas construídas pelo editor. Esse recurso é indicado para levar a geometria a outras ferramentas. Quando o objetivo final for manufatura, o ideal é tratar o modelo exportado como uma base de trabalho e não como arquivo final de produção.

O projeto é salvo em vários arquivos, com um arquivo separado para cada peça.

Salvar vídeo:

O Engrenarium permite salvar vídeos da janela de renderização com limite de tempo de 600 segundos. Durante a gravação, o editor mostra um indicador visual com o tempo decorrido e permite cancelamento.

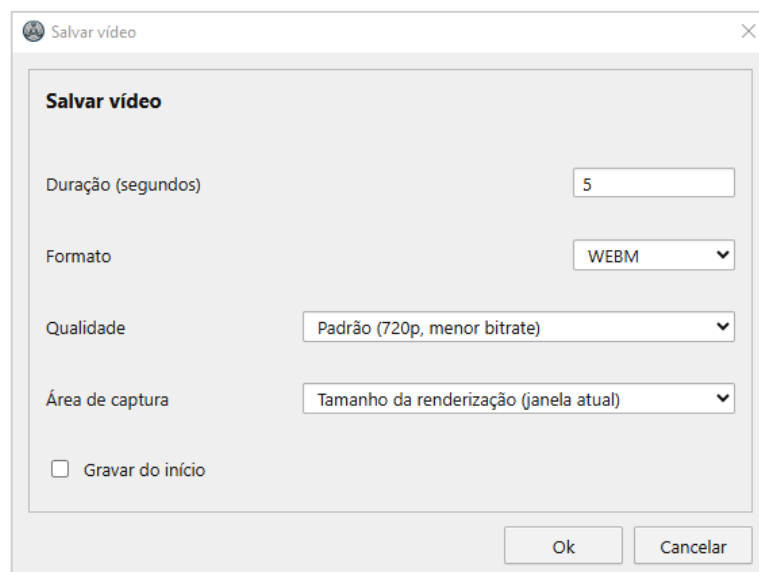


Figura 4 – Janela de salvar vídeo

Os formatos possíveis para os vídeos são **.webM** e **.avi**. Para cada um dos formatos, é possível escolher entre:

- Qualidade padrão (720p, baixo bitrate);
- Qualidade alta (1080p, alto bitrate).

Há duas opções para a área de captura do vídeo. A primeira é a **janela atual**, com o usuário podendo modificar o tamanho final manualmente. A segunda é uma **janela de proporção de 16:9**; o software cria o vídeo a partir de uma área central com a proporção mencionada.

Se a opção **Gravar do início** for selecionada, a simulação da engrenagem planetária reseta antes de iniciar o vídeo, caso contrário, o vídeo se inicia no momento atual.

O Engrenarium não possui um CODEC instalado nativamente. Para vídeos com formato **.webM**, não é necessário instalar nenhum CODEC, o vídeo será salvo com a qualidade selecionada.

Para vídeos em formato **.avi**, é necessário a instalação de um CODEC para arquivos de boa qualidade. O Windows possui um CODEC nativo de nome Microsoft Video 1 (MSVC) que salva vídeos em péssima qualidade. O CODEC **x264vfw** cria vídeos de ótima qualidade, é gratuito e pode ser instalado pelo link abaixo. Após a instalação, reinicie o Engrenarium para ele reconhecer o CODEC. As configurações padrões dele devem ser o suficiente para a criação de vídeos.

<https://sourceforge.net/projects/x264vfw/>

Exemplos:

O Engrenarium possui quatro exemplos para que o usuário possa explorar engrenagens planárias de diferentes complexidades e seus recursos.

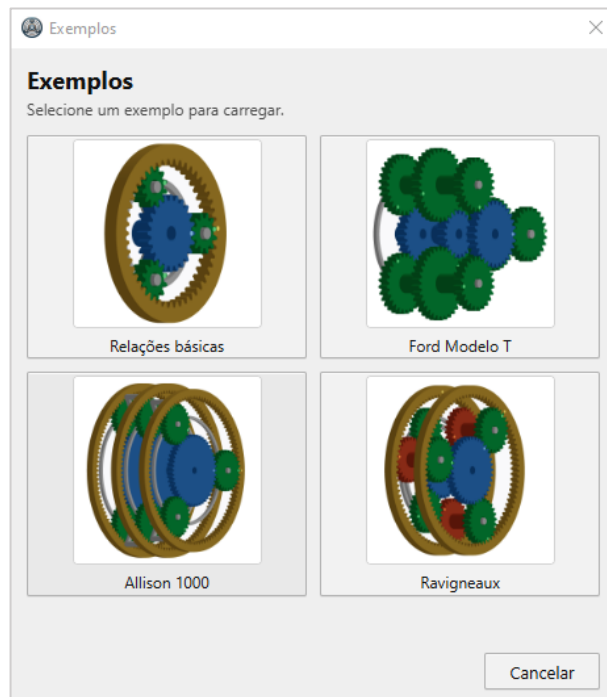


Figura 5 – Janela de exemplos

Preferências:

É possível modificar vários parâmetros relacionados a unidades, peças, janelas, idiomas e outros, de acordo com a necessidade e preferência do usuário.

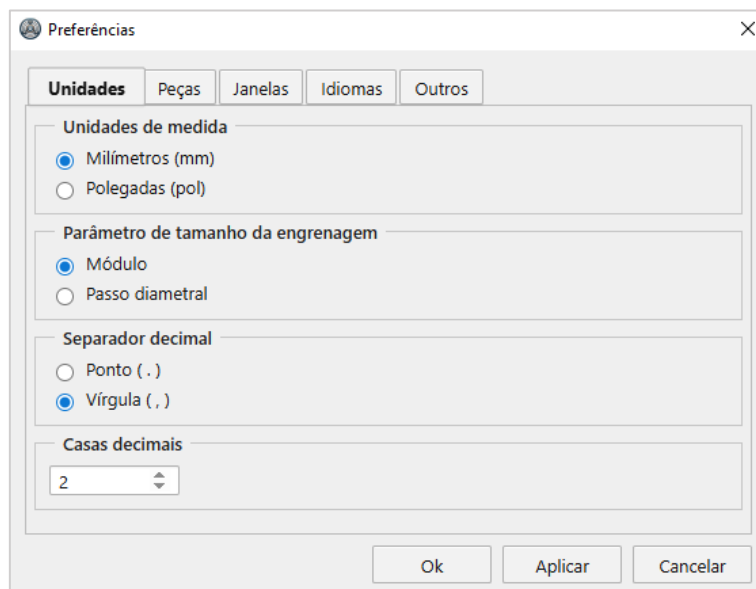


Figura 6 – Janela de preferências

Em **Unidades**, é possível selecionar **milímetros** ou **polegadas**, o parâmetro básico das engrenagens de **módulo** ou **passo diametral**, o separador decimal **ponto (.)** ou **vírgula (,)** e a quantidade de **casas decimais**.

Em **Peças**, há as opções de **cores metálicas** ou **cores sólidas** para a aparência das engrenagens.

Nessa aba, é também possível ativar ou desativar a **lista de peças** que aparece na janela de renderização.

A opção **Exportar somente as peças visíveis** permite que, ao esconder uma peça na lista de peças, ela não seja exportada para STL ou DXF 3D. Em planetárias com vários estágios, isso pode criar arquivos de tamanho significativamente menores.

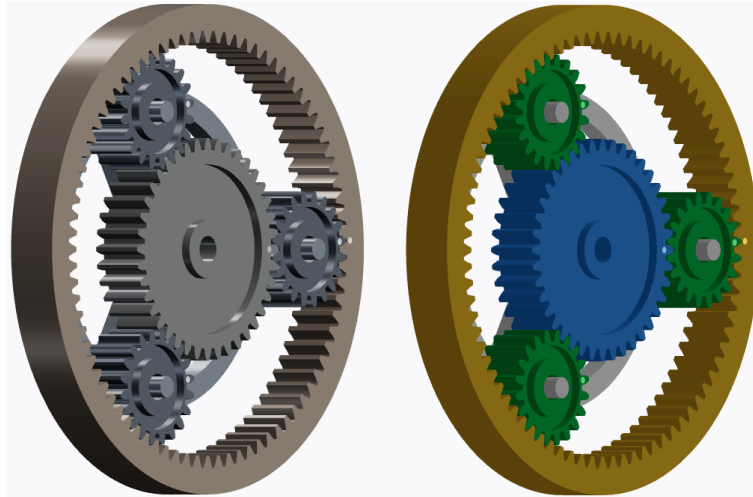


Figura 7 – Opções de aparência das engrenagens

Em **Janelas**, há a possibilidade de modificar o layout das janelas do Engrenarium, com as opções **Janelas fixas** e **Janelas flutuantes**.

Em janelas fixas, é possível modificar a altura e largura das janelas manualmente, mas elas permanecem fixas em seus lugares.

Em janelas flutuantes, é possível modificar o local das janelas ao arrastá-las, conforme preferência do usuário.

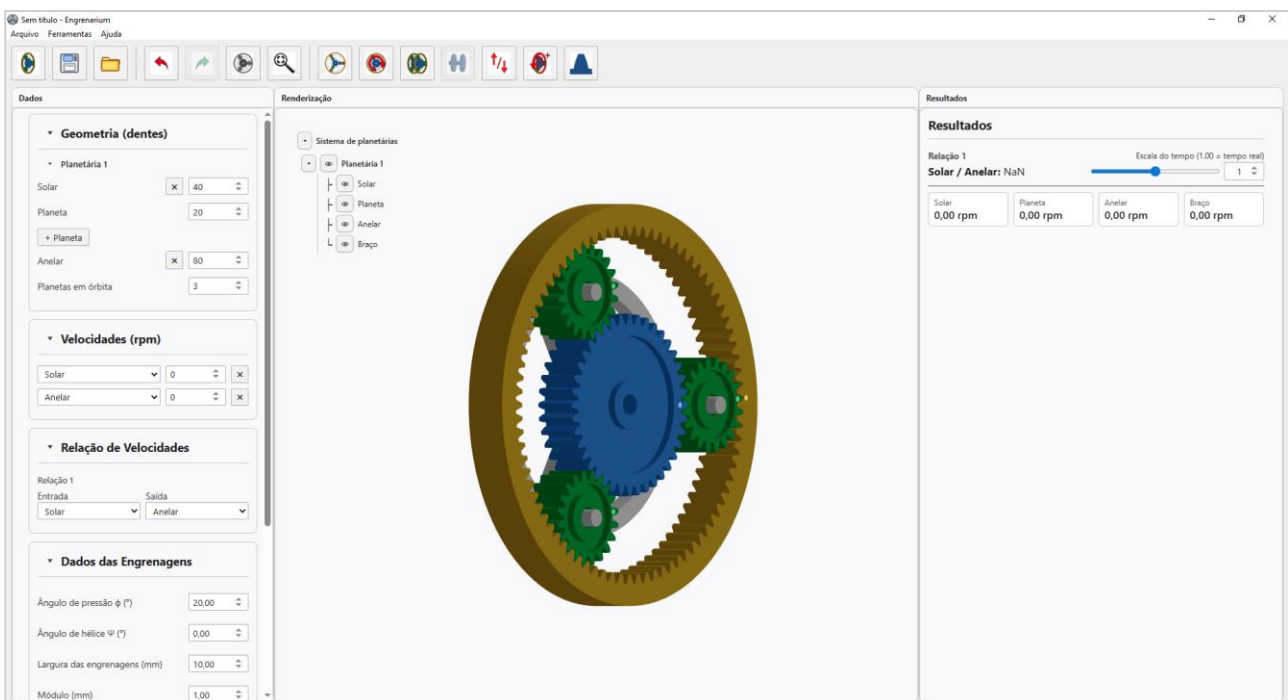


Figura 8 – Novo layout a partir da opção Janelas flutuantes

Em **Idiomas**, o usuário pode modificar a língua do software. Atualmente, o Engrenarium suporta o idioma inglês e português brasileiro.

Em **Outros**, há a opção entre tema **claro** e **escuro**.

É também possível selecionar a câmera de visualização, com as opções de **Projeção ortográfica** e **Projeção em perspectiva**. A projeção ortográfica é mais neutra para análise dimensional visual, enquanto a projeção em perspectiva tende a oferecer sensação espacial mais intuitiva.

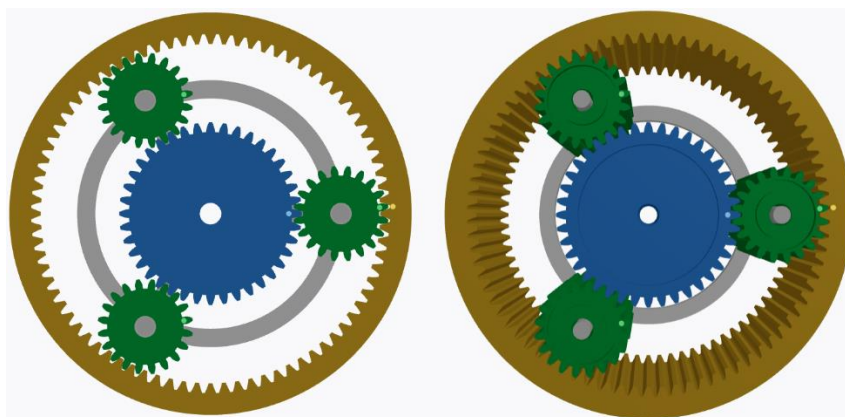


Figura 9 – Comparação entre projeção ortográfica (esquerda) e projeto em perspectiva (direita)

2.2.2. Ferramentas:

As opções do botão Ferramentas estão listadas abaixo:

- Adicionar planeta;
- Adicionar velocidade angular
- Adicionar planetária;
- Adicionar acoplamento;
- Adicionar relação de velocidades;
- Salvar dados;
- Dados das engrenagens.

Verifique a **seção 2.4. Barra de Ferramentas** para a descrição detalhada de cada uma delas.

2.2.3. Ajuda:

Guia do Usuário:

Abre-se um PDF com este guia.

Licença:

A janela de Licença mostra se a licença do usuário é **Free** ou **Pro**. Nela é possível comprar a licença Pro (o usuário é levado para um site externo para a compra) e validar a licença Pro com uma chave de licença que é recebida diretamente no e-mail.

A licença Pro possui **validade perpétua**, dando acesso a todas as atualizações futuras do Engrenarium.

Em caso de problemas com a licença, entre em contato para resoluções.

Sobre:

A janela mostra informações como a **versão** atual e **e-mail para contato**.

O botão **Verificar atualizações** dá ao usuário a possibilidade de verificar manualmente por atualizações do software.

2.3. Painel de dados de entrada

O painel de dados é a entrada de informações do Engrenarium. Ele é dividido em seções colapsáveis, cada uma com uma função específica.

The image shows a software interface for configuring gear parameters. It is divided into several sections:

- Geometria (dentes):** Contains two identical sub-sections for 'Planetária 1' and 'Planetária 2'. Each sub-section has a 'Remover' button and input fields for 'Solar' (40), 'Planeta' (20), 'Anelar' (80), and 'Planetas em órbita' (3). A '+ Planeta' button is also present.
- Relação de Velocidades:** Shows 'Relação 1' with 'Entrada' set to 'Planetária 1 • Solar' and 'Saída' set to 'Planetária 1 • Anelar'.
- Dados das Engrenagens:** Lists various gear parameters with input fields: 'Ângulo de pressão ϕ (°)' (20,00), 'Ângulo de hélice Ψ (°)' (0,00), 'Largura das engrenagens (mm)' (10,00), 'Módulo (mm)' (1,00), 'Espessura da anelar (mm)' (5,00), 'Distância entre planetárias (mm)' (20,00), 'Folga (mm)' (0,00) with a checkbox for 'só planetas', 'Profundidade dos dentes' (Padronizado), 'Adelgaçamento (interferência)' (Ativado), and 'Dados iguais para todas as planetárias' (Ativado). 'Aplicar' and 'Redefinir' buttons are at the bottom.
- Velocidades (rpm):** Shows two rows of velocity settings for 'Planetária 1 • Solar' (10) and 'Planetária 1 • Anelar' (-2), each with a multiplier 'x' button.
- Acoplamentos ($\omega A = \omega B$):** Shows two rows of coupling settings: 'Planetária 1 • Braço' and 'Planetária 2 • Braço', and '(selecionar A)' and '(selecionar B)', each with a multiplier 'x' button.

Figura 10 – Painel de dados de entrada

2.3.1. Parâmetros básicos:

Define o número de dentes das engrenagens solar, planetas e anelar, além do número de planetas em órbita.

O usuário pode criar conjuntos sem a engrenagem solar e/ou sem a engrenagem anelar.

O botão + **Planeta** permite adicionar mais engrenagens planetas em uma mesma planetária.

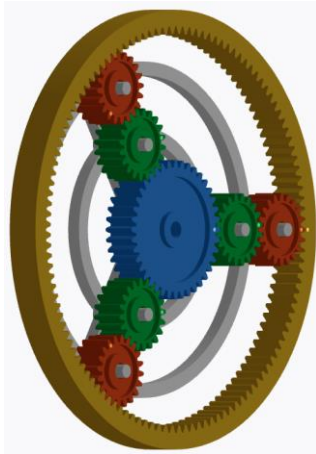


Figura 11 – Exemplo de planetária com duas planetas em série

O Engrenarium utiliza lógicas diferentes para permitir a simulação de engrenagens planetárias.

Para o caso em que há só um conjunto de planetas, o cálculo para permitir simulações é:

$$N_a = N_s + 2N_p \quad (1)$$

N_a – Número de dentes da engrenagem anelar;

N_s – Número de dentes da engrenagem solar;

N_p – Número de dentes da engrenagem planeta.

Caso a equação 1 não seja válida, a simulação para e mostra uma mensagem de erro com o valor de N_a requerido para a correção. Uma mudança de N_s ou N_p também é possível.

Geometria (dentes)

Planetária 1

Solar: 40

Planeta: 20

+ Planeta

Anelar: 100

Planetas em órbita: 3

Velocidades (rpm)

Solar: 10

Anelar: -2

Relação de Velocidades

Relação 1

Entrada: Solar

Saída: Anelar

Dados das Engrenagens

Sistema de planetárias

- Planetária 1
 - Solar
 - Planeta
 - Anelar
 - Braço

Resultados

Erro: Planetária 1: Montagem impossível: para 1 planeta, é obrigatório $N_a = N_s + 2 \times N_p = 80$.

Figura 12 – Exemplo de uma montagem impossível e a mensagem de erro

Para o caso em que há duas ou mais planetas em série, o cálculo muda para:

$$N_a \leq N_s + 2 \sum N_{p_i} \quad (2)$$

N_{p_i} – Número de dentes da engrenagem planeta i .

Note que a equação 2 utiliza o símbolo \leq . Isso ocorre porque o Engrenarium permite situações em que as engrenagens planetas não fiquem em uma linha reta, criando um braço torto.

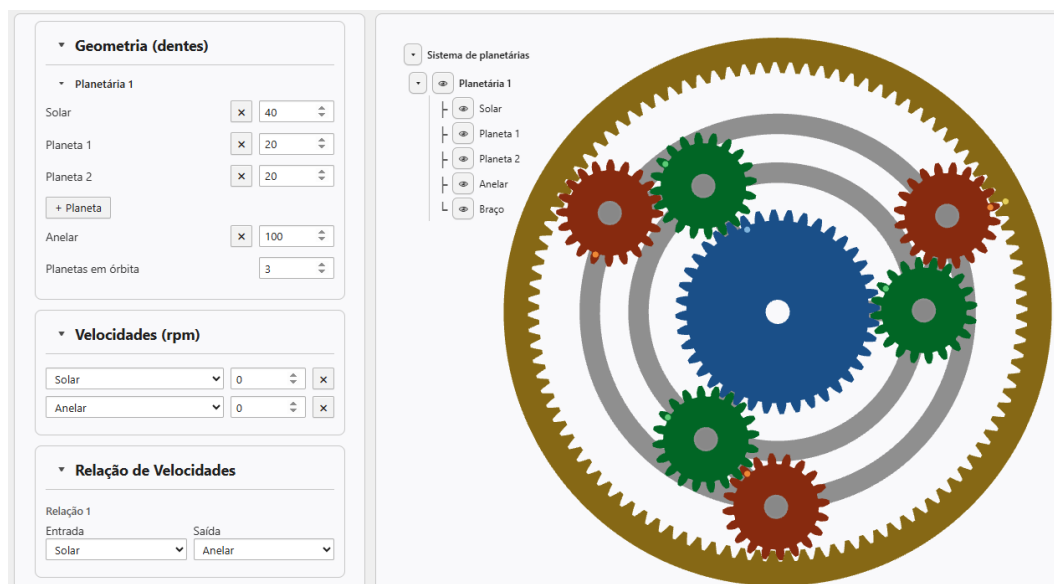


Figura 13 – Exemplo de planetas em série com braço torto

2.3.2. Velocidades angulares

O Engrenarium utiliza somente a unidade de velocidade angular **rotações por minuto (rpm)**, criando uma simulação em tempo real na janela de renderização. Entretanto, é possível modificar a escala de tempo da renderização do slider **Escala de tempo** no painel de **Resultados**.

O Engrenarium utiliza por padrão rotações no sentido anti-horário com valores positivos, e rotações no sentido horário com valores negativos.

2.3.3. Acoplamentos

O painel de acoplamentos aparece somente quando o sistema tiver dois ou mais estágios de planetárias. Nesse caso, é necessário pelo menos um acoplamento.

O acoplamento permite conectar dois sistemas de planetárias, fazendo com que as peças acopladas possuam velocidades angulares iguais.

Ao colocar uma nova planetária no sistema, aumenta-se o número de entradas necessárias, como velocidades e acoplamentos. O Engrenarium mostra quantas velocidades ou acoplamentos são necessários para que o sistema deixe de ser **subdeterminado** e a simulação possa ser criada.

Caso o usuário coloque velocidades e acoplamentos demais, o software mostra uma mensagem de que o sistema está **superdeterminado**, pedindo que sejam retiradas um certo número de condições de contorno.

Caso o usuário coloque condições contraditórias, o software mostra a mensagem de sistema superdeterminado, mas não fala qual a condição para o erro. Cabe ao usuário encontrar a contradição. (Um exemplo de contradição é um acoplamento que liga a **Planetária 1 – Solar** com **Planetária 2 - Solar** com o usuário colocando velocidade da **Solar 1 = 0** e velocidade da **Solar 2 = 10**)

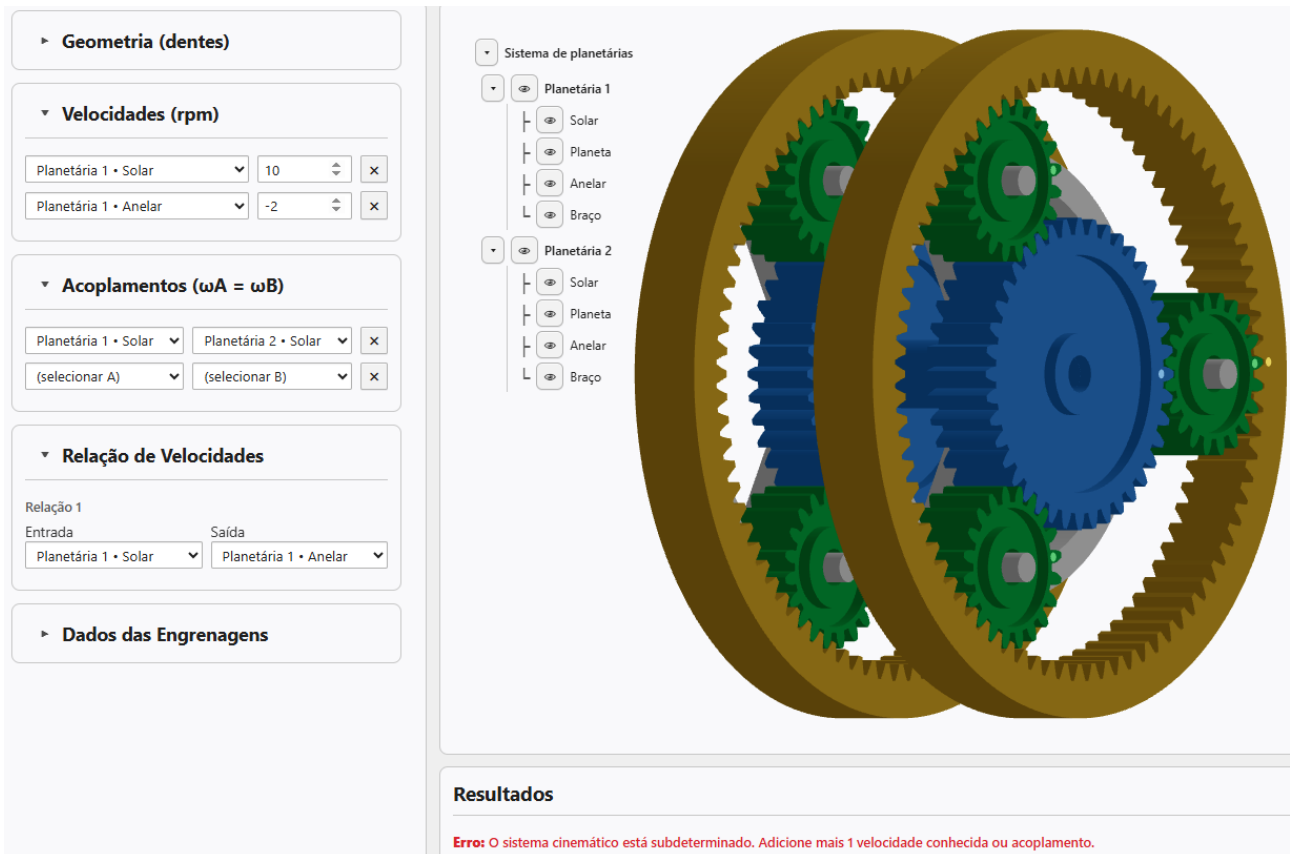


Figura 14 – Sistema com duas planetárias e a mensagem de erro de sistema subdeterminado

Ao se criar acoplamentos, a renderização do software cria um desenho conectando as duas peças acopladas. Ao se exportar o projeto, as peças acopladas são exportadas como uma única peça.

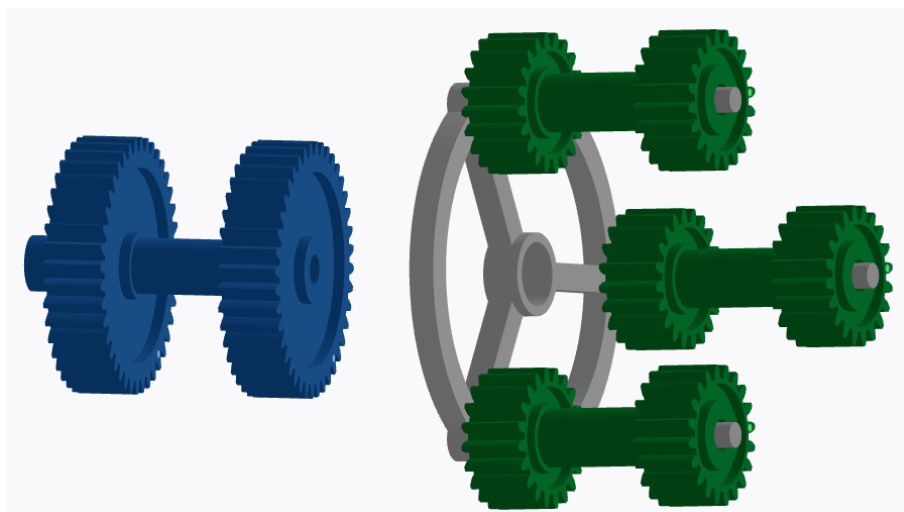


Figura 15 – Renderização de diferentes acoplamentos

2.3.4. Relação de velocidades

Como explicado na **seção 1.2**, a relação de velocidades é a divisão entre velocidade de entrada (geralmente motor) e velocidade de saída de duas engrenagens.

Ao escolher as engrenagens, o cálculo é mostrado no painel de **Resultados**. É possível selecionar diferentes relações e todas são mostradas no painel de **Resultados**.

2.3.5. Dados das engrenagens

O painel de dados das engrenagens permite modificar diferentes parâmetros das engrenagens com o objetivo de alterar o desenho final para uma eventual exportação. Os dados que podem ser modificados não alteram os resultados de velocidades e relação de velocidades.

▼ Dados das Engrenagens	
Ângulo de pressão ϕ (°)	20,00
Ângulo de hélice Ψ (°)	0,00
Largura das engrenagens (mm)	10,00
Módulo (mm)	1,00
Espessura da anelar (mm)	5,00
Distância entre planetárias (mm)	20,00
Folga (mm) <input type="checkbox"/> só planetas	0,00
Profundidade dos dentes	Padronizado
Adelgaçamento (interferência)	Ativado
Dados iguais para todas as planetárias	Ativado
Aplicar Redefinir	

Figura 16 – Painel de dados das engrenagens com valores padrão

A modificação do **ângulo de pressão** altera o perfil do dente das engrenagens; valores padrão são 14,5°, 20° e 25°. Valores de **ângulo de hélice** acima de zero transformam as engrenagens de dentes retos em engrenagens helicoidais.

O Engrenarium permite modificar as **larguras** de suas peças. Todas as engrenagens de uma planetária têm larguras iguais, então a alteração desse valor é válida para todas as peças.

A engrenagem anelar possui mais uma dimensão editável, sendo ela a **espessura da anelar**, podendo-se criar uma peça mais robusta e mais resistente.

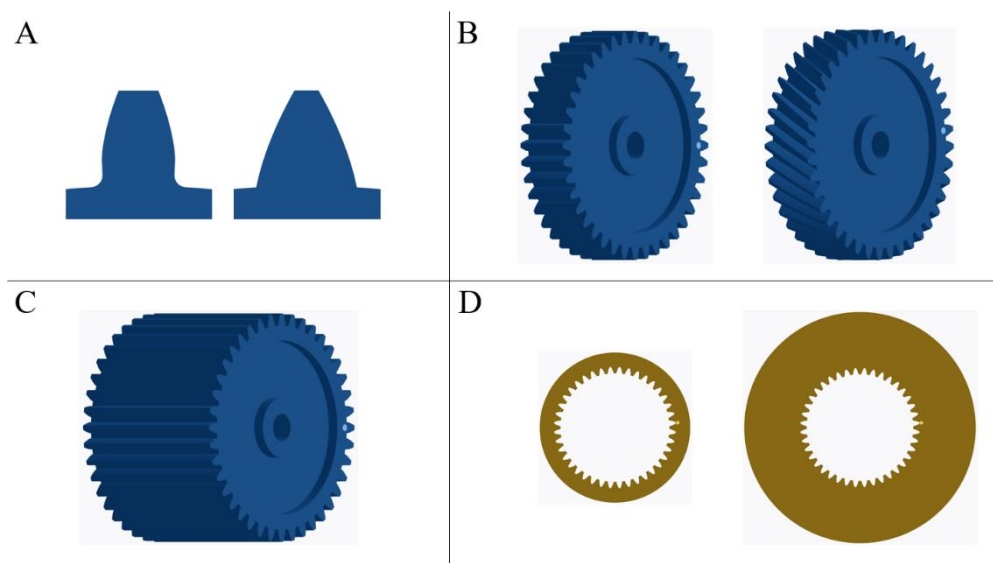


Figura 17 – A) Ângulos de pressão diferentes. B) Engrenagens com ângulo de hélice de 0° e 30°. C) Maior valor de largura de engrenagem. D) Diferentes valores de espessura da anelar.

O **módulo** (ou **passo diametral**) das engrenagens parece não modificar o desenho das planetárias à primeira vista. Mas estágios de planetárias com módulos diferentes criam engrenagens de tamanhos diferentes, mesmo com os mesmos números de dentes. Além disso, como o diâmetro primitivo da engrenagem segue as fórmulas abaixo, ao se exportar o projeto para STL ou DXF, o tamanho das engrenagens seguirá a mesma lógica.

$$D = mN \tag{3}$$

$$D = \frac{N}{P_d} \tag{4}$$

D – Diâmetro primitivo;
 m – Módulo;
 P_d – Passo diametral.

A **distância entre planetárias** fica desativada quando o projeto só tem uma planetária. Quando há mais de um estágio de planetárias, é possível modificar a distância entre eles ao alterar esse valor.

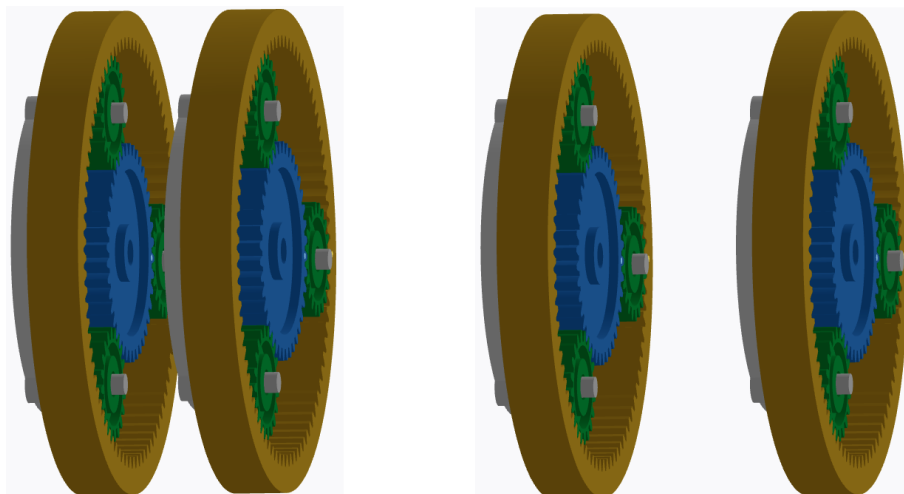


Figura 18 – Mesmo projeto com dois estágios com distância entre eles diferentes

A opção de **folga** reduz a espessura e altura dos dentes. O valor máximo de folga é igual ao valor do módulo das engrenagens. Há uma opção de aplicar a folga somente para as planetas.

Sugere-se aplicar um valor de folga diferentes de zero para aqueles que quiserem imprimir em 3D as engrenagens, para reduzir problemas de intolerâncias na impressão.

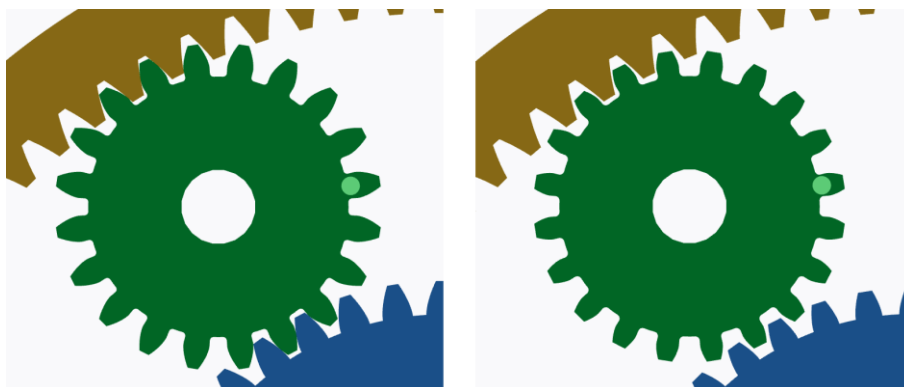


Figura 19 – Comparação entre engrenagens sem e com folga

O Engrenarium trabalha com os valores de adendo e dedendo padronizados, porém a opção **profundidade dos dentes** permite alterar o parâmetro para dentes rebaixados, em que os valores de adendo e dedendo são 20% menores.



Figura 20 – Profundidade de dentes padronizados e rebaixados

Por padrão, o Engrenarium possui ativa a opção de **adelgaçamento**, o que modifica o perfil do dente com uma curva trocoide para evitar interferências. Essa opção pode ser desativada se for do interesse do usuário.

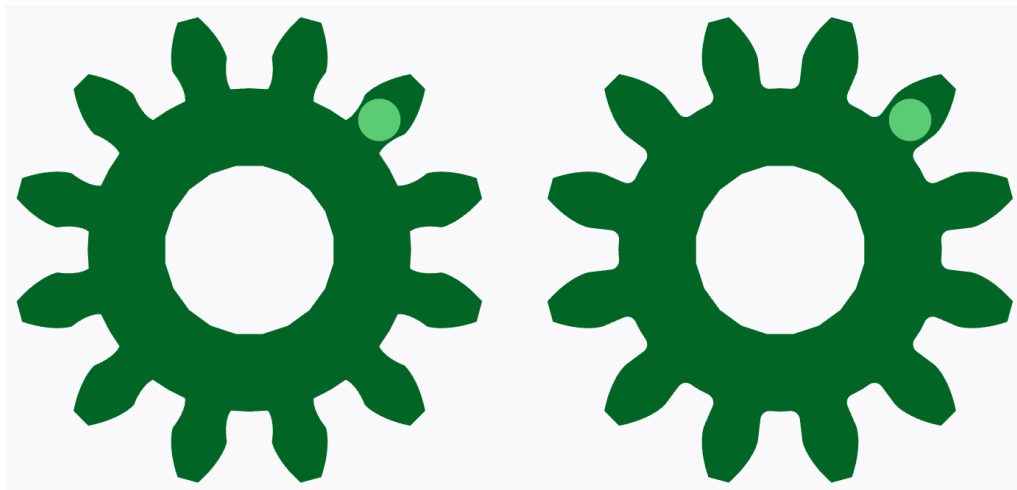


Figura 21 – Mesma engrenagem com a opção de adelgaçamento ativada e desativada

Quando o projeto possui vários estágios de planetárias, o usuário tem a possibilidade de criar planetárias com dados iguais ou dados diferentes. Quando a opção **Dados iguais para todas as planetárias** é desativada, o painel de Dados das engrenagens mostra mais colunas de parâmetros.

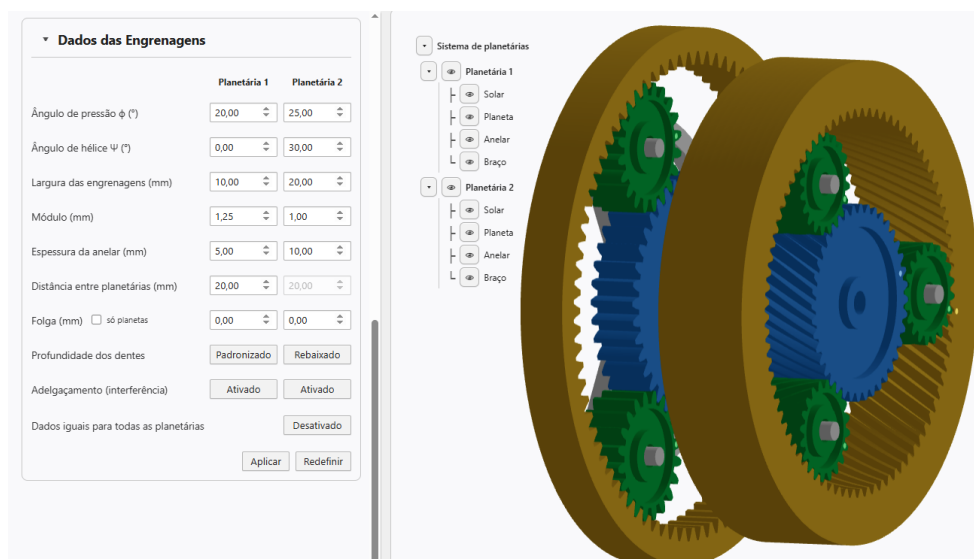


Figura 22 – Estágios de planetárias com dados das engrenagens diferentes

2.4. Barra de ferramentas

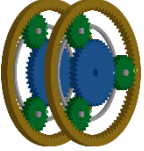

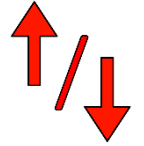
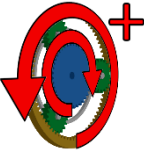

A barra de ferramentas foi criada para acelerar o trabalho do usuário. Em vez de procurar cada ação no menu, é possível acionar diretamente os principais comandos pelos ícones abaixo.



Figura 23 – Barra de ferramentas

Tabela 1 – Descrição dos ícones da barra de ferramentas

Ícone	Nome	Função
	Novo projeto	Cria um novo projeto;
	Salvar	Salva o projeto atual;
	Abrir	Abre um novo projeto;
	Desfazer	Desfaz a última ação;
	Refazer	Refaz a última ação desfeita;
	Vista frontal	Coloca a planetária em vista frontal;
	Ajustar à tela	Modifica o zoom para ajustar toda a planetária à tela de renderização;
	Adicionar planeta	Adiciona uma engrenagem planeta. Em caso de várias planetárias, abre uma lista para selecionar qual o estágio a se adicionar a planeta;
	Adicionar velocidade angular	Adiciona uma nova velocidade angular no painel de dados de entrada;

	Adicionar planetária	Adiciona um novo estágio de planetária para o projeto atual;
	Adicionar acoplamento	Adiciona um novo campo de acoplamento no painel de dados de entrada;
	Adicionar relação de velocidades	Adiciona um novo campo de relação de velocidades no painel de dados de entrada;
	Salvar dados	Salva os atuais dados de entrada em uma janela lateral na área de renderização;
	Dados das engrenagens	Abre uma janela com os dados das engrenagens.

Alguns dos comandos da Tabela 1 são autoexplicativos. Para aqueles que merecem uma explicação mais aprofundada, segue mais detalhes.

2.4.1. Adicionar planeta

A função de adicionar planeta sempre coloca uma engrenagem planeta após a última que já existe. Em caso de várias planetárias em um projeto, uma lista é apresentada para o usuário selecionar o estágio em que a engrenagem planeta deve ser adicionada.



Figura 24 – Lista de planetárias para adicionar uma engrenagem planeta

2.4.2. Adicionar velocidade angular

O Engrenarium tem como padrão dois campos de velocidades para serem preenchidos pelo usuário. O botão Adicionar velocidade cria um campo adicional no painel de dados de entrada.

Essa opção convém ser utilizada quando o usuário possui vários estágios de planetárias em um projeto, sendo necessário adicionar mais condições de contorno para uma correta simulação.

Figura 25 – Campo de velocidade adicional ao selecionar adicionar velocidade

2.4.3. Adicionar planetária

Ao se clicar em **adicionar planetária**, uma nova planetária, com os mesmos dados da última planetária é acrescentada ao projeto. O painel de dados mostra mais um campo na janela de Parâmetros básicos para que o usuário modifique o número de dentes conforme desejado.

Ao se adicionar uma nova planetária, o software passa a chamar cada estágio de Planetária 1, Planetária 2, etc, para se distinguir cada uma delas para selecionar velocidades, acoplamentos e outros.

Quando há dois ou mais estágios de planetárias, elas podem ser removidas pelo botão Remover ao lado do nome da planetária.

Figura 26 – Painel de parâmetros básicos com 2 planetárias e seus nomes

2.4.4. Adicionar acoplamento

O botão **adicionar acoplamento** aparece somente quando o sistema tiver dois ou mais estágios de planetárias. Nesse caso, é necessário pelo menos um acoplamento. O acoplamento permite conectar dois sistemas de planetárias, fazendo com que as peças acopladas possuam velocidades angulares iguais. Ao se criar acoplamentos, a renderização do software cria um desenho conectando as duas peças acopladas. Ao se exportar o projeto, as peças acopladas são exportadas como uma só peça.

Para aparecer o desenho ao se conectar duas planetas de estágios diferentes, é necessário que certas condições sejam cumpridas; são elas:

- Deve haver acoplamento entre os braços dos dois estágios de planetárias;
- As distâncias do centro da planetária até o centro da engrenagem planeta devem ser iguais nos dois estágios.

O Engrenarium verifica a distância em milímetros (ou polegadas), sendo que estágios de planetárias com módulo (ou passo diametral) diferentes podem ter as condições cumpridas para o acoplamento entre engrenagens planetas.

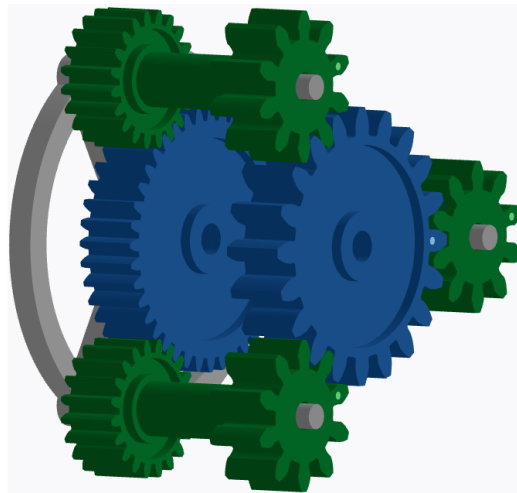


Figura 27 – Acoplamento entre planetárias com módulos diferentes

Quando há acoplamento entre planetas, o número de planetas em órbita permanece o mesmo em todos os estágios. Caso o usuário altere o número de planetas em órbita de uma planetária, isso é alterado automaticamente na outra planetária.

2.4.5. Adicionar relação de velocidades

O Engrenarium calcula por padrão uma relação de velocidades. Ao adicionar mais relações, um novo campo de entrada e saída aparece no painel de dados de entrada. O painel de resultados mostra todas as relações, obedecendo a simples fórmula:

$$\text{Relação de velocidades} = \frac{\omega_{\text{entrada}}}{\omega_{\text{saída}}} \quad (5)$$

ω_{entrada} – Velocidade angular da entrada;

$\omega_{\text{saída}}$ – Velocidade angular da saída.

Figura 28 – Vários campos de entrada e saída em relação de velocidades

2.4.6. Salvar dados

Para um mesmo sistema planetário, é possível modificar as velocidades, acoplamentos e relação de entrada e saída, dando resultados completamente diferentes. O Engrenarium dá a possibilidade de salvar esses diferentes cenários para que se possa alternar entre eles rapidamente.

Ao clicar em **Salvar dados**, um painel aparece na lateral da janela de renderização com os dados salvos. É possível editar o título do painel e o título de cada relação salva.

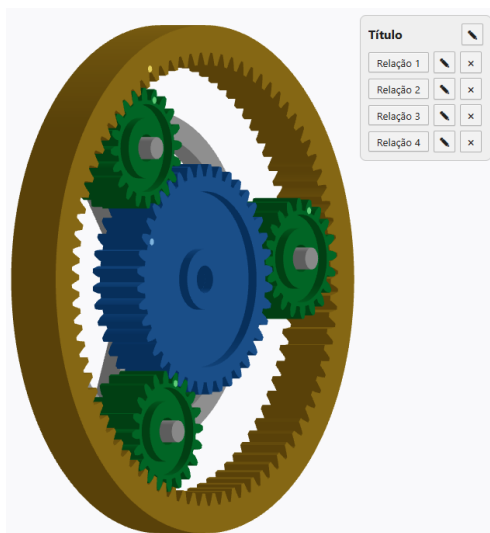


Figura 29 – Janela de renderização com painel criado por Salvar dados

O caso mais simples de entender a importância dessa opção é verificar os **Exemplos** salvos em **Arquivo** → **Exemplos**. O exemplo **Transmissão Automática Allison 1000** mostra uma transmissão automática utilizada em vários modelos de carros em que o painel de Salvar dados foi usado para mostrar as diferentes marchas, mostrando como as condições de contorno e relação de velocidades dão respostas diferentes para um equipamento real.

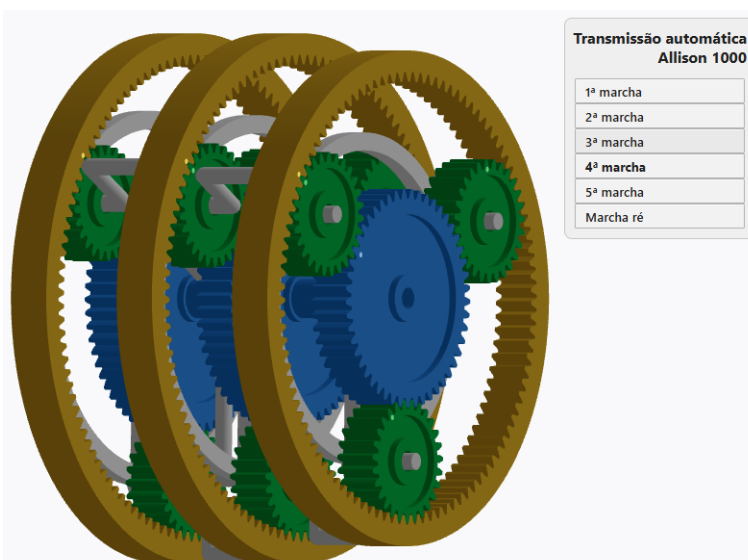


Figura 30 – Exemplo Transmissão Automática Allison 1000

2.4.7. Dados das engrenagens

O botão **Dados das engrenagens** abre uma janela que mostra as mesmas opções que o painel lateral esquerdo Dados das engrenagens do painel de dados de entrada.

Para detalhes dessa janela, verifique a seção **2.3.5. Dados das engrenagens**.

2.5. Área de renderização

A área de renderização mostra o conjunto construído em três dimensões. É nela que o usuário confere se a montagem corresponde ao que foi informado no painel de dados.

Os comandos do mouse para mover o modelo são:

- Botão esquerdo – Gira o sistema planetário;
- Rolagem – Aumenta ou reduz o zoom;
- Botão direito – Translada o sistema planetário.

Os comandos do teclado para mover o modelo são:

- Setas – Translada o sistema planetário;
- Ctrl + setas – Gira o sistema planetário.

Além do modelo principal, essa área pode exibir painéis auxiliares, como a lista de relações salvas explicadas na seção **2.4.6. Salvar dados**.

Quando a **lista de peças** está habilitada, a renderização também exibe um quadro lateral à esquerda com a lista dos componentes renderizados. A lista está separada por estágios de planetárias e em cada um dos estágios mostra cada peça com seus respectivos nomes.

Esse recurso de lista de peças possui ainda a opção de ocultar e mostrar as peças, podendo-se ocultar todo um sistema planetário de uma vez. Ocultar uma peça não influencia nos resultados.

Quando a opção **Exportar somente peças visíveis** estiver ativada (Arquivo → Preferências → Peças), as peças ocultas da lista de peças não são exportadas para STL ou DXF 3D.

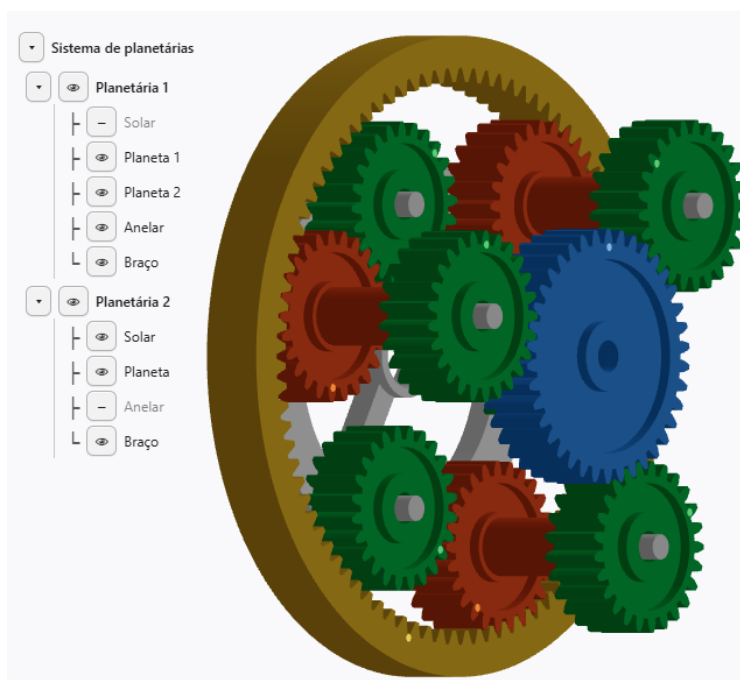


Figura 31 – Área de renderização com a lista de peças. Note que algumas peças estão ocultas

2.6. Painel de resultados

O painel de resultados exibe o retorno cinemático calculado pelo programa. Quando o sistema está bem definido, o usuário vê as relações de velocidade e as velocidades de cada elemento em rotações por minuto (rpm).

Em caso de vários estágios de planetárias e várias relações de velocidade, o painel separa as respostas na ordem criada pelo **Painel de dados de entrada**.



Figura 32 – Painel de resultados com duas planetárias e duas relações de velocidades

Nas situações em que uma planetária possui uma combinação de número de dentes impossível, o painel de resultados exibe uma mensagem com o valor do número de dentes da engrenagem anelar requerido para a correção (ver **Figura 12**). Uma mudança do número de dentes da engrenagem solar ou planeta também é possível para a correção e retirada da mensagem de erro.

Quando há um problema de definição de condições de contorno, o painel exibe mensagens explicando se faltam informações (**sistema subdeterminado**) ou se existem vínculos demais (**sistema superdeterminado**).

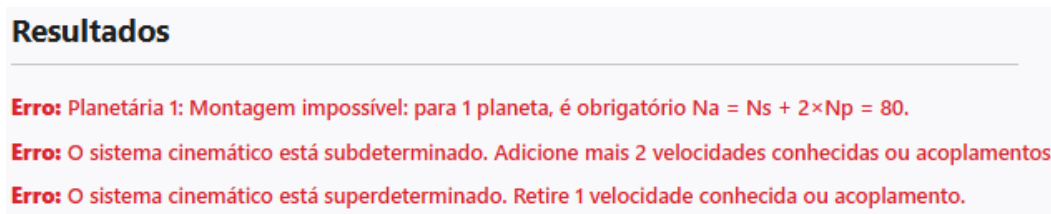


Figura 33 – Exemplos de mensagens de erros

O painel de resultados também contém um controle manual de **Escala de tempo**. Como o Engrenarium renderiza a simulação em velocidade real, é possível que em certas simulações as velocidades sejam altas ou baixas demais para uma visualização agradável para o usuário. Dessa forma, é possível modificar a escala de tempo sem modificar os resultados. A escala de tempo possui limites mínimos e máximos de 0,1 a 10.

3. Exemplos de montagem de um sistema planetário

3.1. Planetária de um estágio com duas relações

Abra um novo projeto. No painel de Parâmetros, clique no botão + **Planeta** para adicionar mais uma engrenagem planeta no sistema. Em seguida, coloque esses valores de números de dentes:

- Solar: 40;
- Planeta 1: 15;
- Planeta 2: 15;
- Anelar: 100.

Em velocidades angulares, coloque:

- Solar: 10,0 rpm;
- Anelar: 10,0 rpm.

Em relação de velocidades, coloque:

- Entrada: Solar;
- Saída: Braço.

O painel de resultados deve mostrar os seguintes valores:

Relação 1: Solar/Braço: 1,0.

Velocidades angulares:

- Solar: 10,0 rpm;
- Planeta 1: 10,0 rpm;
- Planeta 2: 10,0 rpm;
- Anelar: 10,0 rpm;
- Braço: 10,0 rpm.

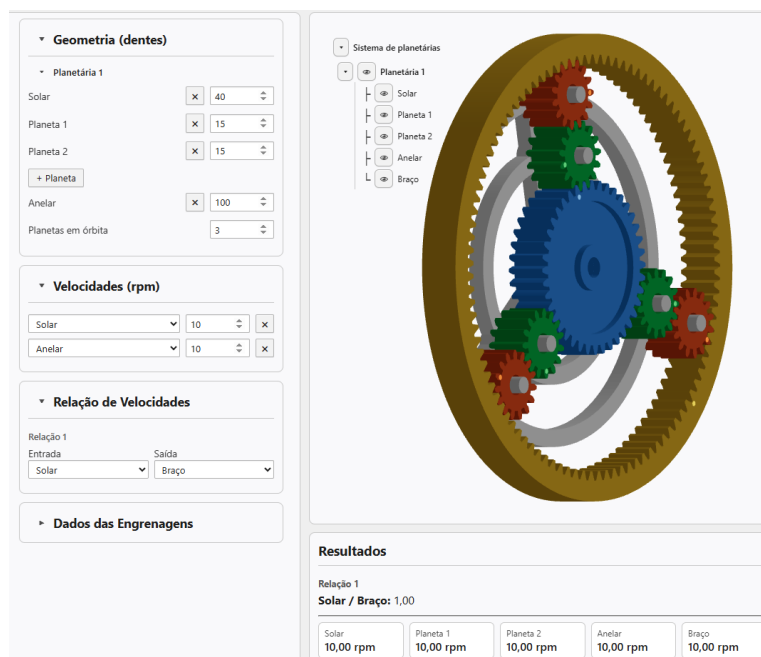


Figura 34 – Primeira relação do exemplo 3.1



Agora clique no botão Salvar dados. Isso salvará as velocidades para posterior retorno. No painel que apareceu na área de renderização no canto superior direito, clique no lápis ao lado de **Título** e digite **Câmbio CVT**, aperte Enter. Em seguida, clique no lápis ao lado de **Relação 1** e digite **Marcha para frente**, aperte Enter.

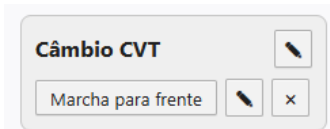


Figura 35 – Painel de dados salvos

Agora modifique a velocidade da anelar:

- Anelar: 0 rpm.

O painel de resultados deve mostrar os seguintes valores:

Relação 1: Solar/Braço: - 1,5.

Velocidades angulares:

- Solar: 10,0 rpm;
- Planeta 1: - 51,1 rpm;
- Planeta 2: 37,8 rpm;
- Anelar: 0,0 rpm.
- Braço: -6,7 rpm

Clique no botão Salvar dados, clique no lápis ao lado de **Relação 2** e digite **Marcha ré**. Ao clicar em Relação 1 e Relação 2, o sistema volta para as respectivas condições e contorno.

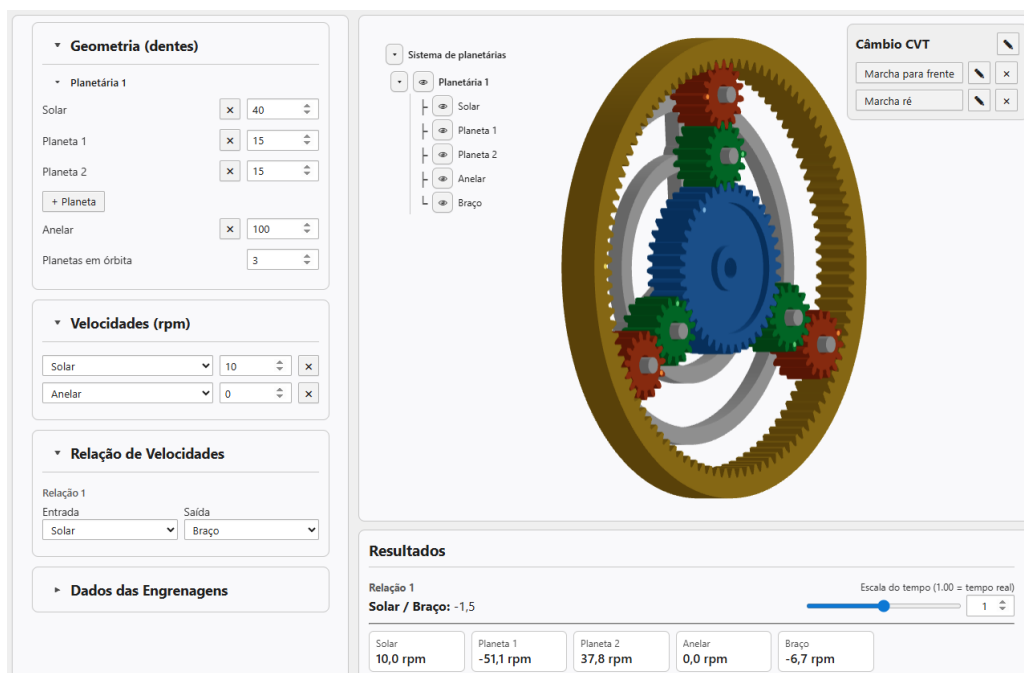


Figura 36 – Exemplo 3.1 com duas marchas

O atual exemplo demonstra como o câmbio CVT modifica suas condições de contorno para mover o carro para frente e para aplicar a marcha ré.

3.2. Planetária de dois estágios

Abra um novo projeto. No painel de Parâmetros básicos, coloque esses valores de números de dentes:

- Solar: 20;
- Planeta: 28;
- Anelar: 76.



Agora clique no botão Adicionar planetária. Veja que a simulação para e aparece a mensagem “Erro: O sistema cinemático está subdeterminado. Adicione mais 2 velocidades conhecidas ou acoplamentos.”

Na Planetária 2, clique no botão X ao lado de Solar para apagar a engrenagem solar. Coloque esses valores de números de dentes:

- Planeta: 30;
- Anelar: 78.

Em velocidades angulares, coloque:

- Planetária 1 - Solar: 10,0 rpm;
- Planetária 1 - Braço: 5,0 rpm.

Em Acoplamentos, coloque:

- Planetária 1 - Braço | Planetária 2 - Braço
- Planetária 1 - Planeta | Planetária 2 - Planeta

Em relação de velocidades, coloque:

- Entrada: Planetária 1 - Solar;
- Saída: Planetária 2 - Anelar.

O painel de resultados deve mostrar os seguintes valores:

Relação 1: Planetária 1 - Solar / Planetária 2 - Anelar: 2,8.

Velocidades angulares:

Planetária 1:

- Solar: 10,0 rpm;
- Planeta: 1,4 rpm;
- Anelar: 3,7 rpm.
- Braço: 5,0 rpm

Planetária 2:

- Planeta: 1,4 rpm;
- Anelar: 3,6 rpm.
- Braço: 5,0 rpm

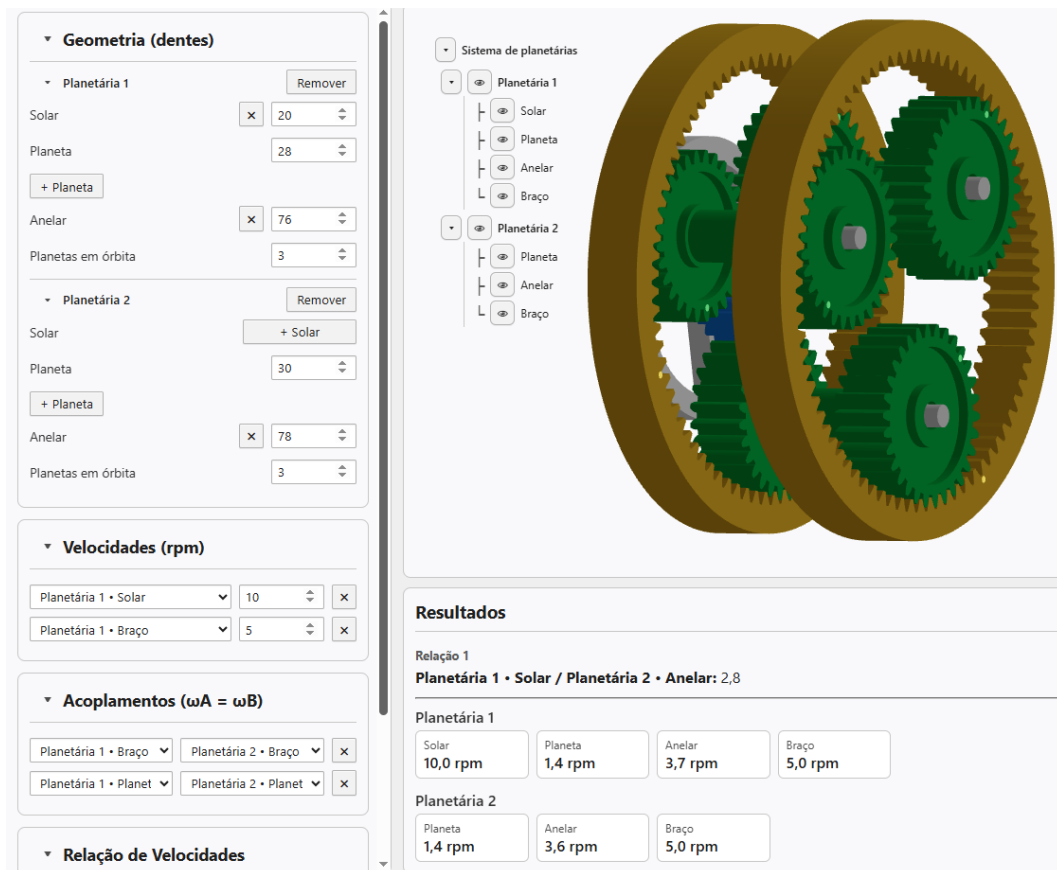


Figura 37 – Exemplo 3.2 com dois estágios de planetárias

Alguns pontos são interessantes de serem notados neste exemplo. Veja que o sistema planetário não precisa ter todas as peças para funcionar, como na Planetária 2 em que a engrenagem solar não existe.

Outro ponto importante são as condições para o acoplamento entre planetárias. Foram feitos dois acoplamentos, o que garante que braços e planetas dos dois estágios tenham velocidades angulares iguais. Somente o acoplamento entre braços deixa o sistema subdeterminado, pois é fisicamente possível que os braços tenham uma velocidade angular, mas que as planetas da Planetária 1 tenham velocidades diferentes das planetas da Planetária 2, por isso é essencial que o acoplamento entre planetas também seja realizado.

Note também como na renderização o braço da Planetária 2 sumiu. Devido ao acoplamento entre braços, a renderização é modificada para o correto ajuste entre estágios, com os eixos do braço da Planetária 1 se estendendo encaixar nas planetas dos dois estágios.

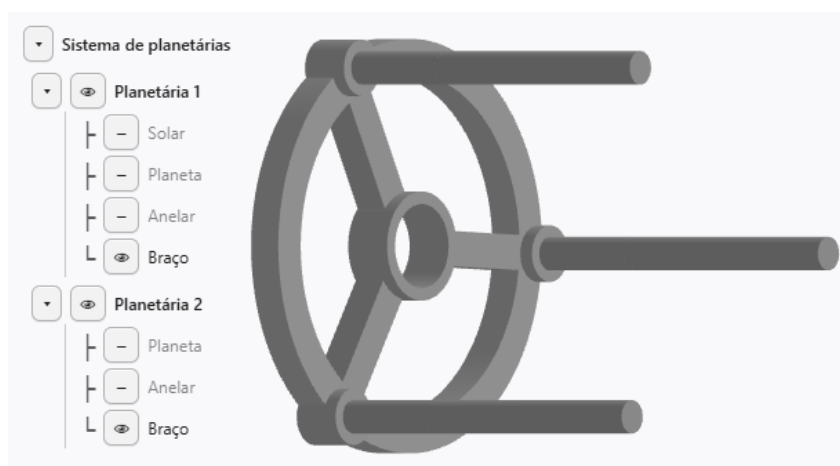


Figura 38 – Braço da Planetária 1 com eixos estendidos

4. Recursos Free e Pro

A versão Free cobre o uso essencial, enquanto a versão Pro adiciona recursos avançados, opções mais amplas de implantação e planos de licença para usuários individuais e instituições.

A versão Pro libera os seguintes recursos:

- Exportação de modelos 3D nos formatos STL e DXF;
- Exportação de vídeos de simulação nos formatos AVI e WebM;
- Capacidade de salvar projetos;
- Capacidade de armazenar múltiplas condições de operação dentro de um projeto, como diferentes estados de engrenagem ou diferentes relações de transmissão;
- Suporte a múltiplas relações de transmissão selecionáveis. A versão Free permite apenas uma;
- Suporte a um número ilimitado de estágios planetários em um modelo (Versão Free permite até dois);
- Suporte a um número ilimitado de engrenagens planetas por estágio planetário. (Versão Free permite até duas planetas por estágio);
- Capacidade de modificar parâmetros fundamentais da geometria das engrenagens, incluindo módulo, ângulo de pressão e ângulo de hélice;
- Capacidade de definir parâmetros independentes das engrenagens para cada estágio planetário.