

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO
INDUSTRIAL**

RICARDO PARAPINSKI

**APLICAÇÃO DE TRANSMISSÃO CVT PARA SISTEMAS DE
MOBILIDADE ELÉTRICA**

**Ponta Grossa, PR
2019**

RICARDO PARAPINSKI

**APLICAÇÃO DE TRANSMISSÃO CVT PARA SISTEMAS DE
MOBILIDADE ELÉTRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná no *câmpus* Ponta Grossa como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnólogo em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr Felipe Mezzadri.

**Ponta Grossa, PR
2019**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Tecnologia em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DE TRANSMISSÃO CVT PARA SISTEMAS DE MOBILIDADE ELÉTRICA

por
RICARDO PARAPINSKI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 16 de julho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Tecnologia em Automação Industrial. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr. Felipe Mezzadri
Orientador(a)

Prof(a). Dr. Frederic Conrad Jansen
Membro Titular

Prof(a). Dr. Josmar Ivanqui
Membro Titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Felipe Mezzadri
Coordenador do Curso

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

Dedico este trabalho a minha família que tanto me apoiou nestes anos de ensino superior e aos professores que guiaram meus passos e foram referência nos momentos de dúvida.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr Felipe Mezzadri pelo apoio, incentivo, confiança e paciência ao me guiar na elaboração do meu trabalho de conclusão de curso.

Gostaria de deixar registrado que sem a dedicação de meu orientador a conclusão do meu curso seria muito difícil, uma pessoa de muita competência que ao longo do curso se mostrou um grande amigo que carregarei por toda minha vida.

RESUMO

PARAPINSKI, Ricardo. **APLICAÇÃO DE TRANSMISSÃO CVT PARA SISTEMAS DE MOBILIDADE ELÉTRICA**. 23 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2019.

Este trabalho demonstra de maneira prática e sucinta o uso do câmbio CVT agregado ao sistema de tração elétrica veicular. Foi dimensionado e construído um câmbio para um carro de competição batizado de Force1 do projeto de extensão UTForce na Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa, com o objetivo de aumentar a performance nas competições da SAE. Simulações justificaram o projeto do câmbio que foi fabricado e testado de forma efetiva para comprovação de sua eficiência. Através dos testes realizados *in loco*, o sistema mostrou-se eficiente no que tange sua funcionalidade básica proposta, podendo futuramente admitir melhorias específicas.

Palavras-chave: câmbio CVT.

ABSTRACT

PARAPINSKI, Ricardo. **CVT TRANSMISSION APPLICATION FOR ELECTRICAL MOBILITY SYSTEMS**. 23 p. Graduation Course Work (Technology in Industrial Automation). Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa. 2019.

This work demonstrates in a practical and succinct way the use of the CVT exchange added to the vehicular electric traction system. An exchange was designed and built for a competition car named Force1 of the UTForce extension project at the Universidade Tecnológica Federal do Paraná Ponta Grossa campus, with the objective of increasing performance in SAE competitions. Simulations justified the project of the change that was manufactured and tested in an effective way to prove its efficiency. Through the tests carried out in loco, the system proved to be efficient with respect to its basic functionality, and may in the future admit specific improvements.

Keywords: CVT exchange rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: CVT de polias variadoras	12
Figura 2: Primeiro esboço do CVT.	14
Figura 3: Projeto finalizado do CVT.....	14
Figura 4: Diagrama de bloco transmissão fixa.	14
Figura 5: Diagrama de bloco transmissão CVT.....	15
Figura 6:Variação do CVT e perfis de velocidade.	15
Figura 7: Curvas de aceleração CVT e transmissão fixa.	16
Figura 8: Polia do atuador e “sino”	17
Figura 9: (a) Eixo deslizante e; (b) fuso do atuador.....	17
Figura 10: Castanha do fuso	17
Figura 11: Ajuste parafuso do motor do atuador.	18
Figura 12: conjunto CVT montado em bancada.....	18
Figura 13: Conjunto de tração montado ao carro Force1.....	19

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. TEMA DO PROJETO	9
1.1.1. Delimitação do Tema	9
1.2. PROBLEMA	9
1.3. HIPÓTESE / PREMISSA.....	10
1.4. OBJETIVOS	10
1.4.1. Objetivo Geral	10
1.4.2. Objetivos Específicos.....	10
1.5. JUSTIFICATIVA	11
1.6. MÉTODO DE EXECUÇÃO	11
2. DESENVOLVIMENTO	12
2.1. DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES	13
2.2. ELABORAÇÃO DO PROJETO EM SOLIDWORKS™	13
2.3. MODELAGEM DO SISTEMA NO SOFTWARE SIMULINK™	14
2.4. FABRICAÇÃO DAS PEÇAS	16
2.5. CUSTOS FINAIS DO PROJETO.....	20
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
REFERÊNCIAS.....	22

1. INTRODUÇÃO

Após a crise do petróleo na década de 60, a mobilidade elétrica vem ganhando forças, e com esse crescimento surge a necessidade de melhorar a eficiência de todo sistema a fim de aumentar a autonomia ou a performance dos veículos elétricos. Um elemento deste sistema que pode ser melhorado significativamente é o *powertrain* (sistema de tração) que normalmente funciona com uma transmissão simples, ou seja apenas uma relação de transmissão pois os motores elétricos de tração veicular fornecem torque constante do início de sua partida até a rotação nominal, com o uso de um CVT (*continuous variable transmission*) montado ao *powertrain*, podemos variar em diversas relações de transmissão garantindo uma menor corrente de dreno das baterias em pequenas rotações ou uma maior aceleração quando necessário.

A proposta deste trabalho é projetar e construir uma transmissão CVT para um carro elétrico de competição, carro este que está sendo projetado e construído pela equipe UTForce para participar da fórmula SAE, que é uma competição estudantil organizada pela *Society of Automotive Engineers* (também conhecida como SAE International), que organiza competições deste tipo desde 1978.

1.1. TEMA DO PROJETO

Aplicação prática de uma transmissão CVT para um veículo elétrico de competição buscando aumento de torque e conseqüentemente maior eficiência energética.

1.1.1. Delimitação do Tema

Aplicação de transmissão CVT em motores de tração para mobilidade elétrica.

1.2. PROBLEMA

Um gargalo para os sistemas de tração para mobilidade elétrica ainda são as baterias, que agregam um grande peso e alto custo a qualquer projeto. Os motores elétricos possuem um torque constante mesmo em baixas rotações, mas para manter este torque os motores drenam uma alta corrente elétrica das baterias.

Com uma transmissão CVT, os motores para mobilidade elétrica exigem menos corrente para entregar o mesmo torque aos componentes de tração, aumentando assim a autonomia dos veículos.

Outra questão consiste no dimensionamento dos componentes do CVT, como polias e correia para transmissão e o custo dos materiais para fabricação dos componentes.

1.3. HIPÓTESE

Será desenvolvido um sistema de transmissão que permita otimizar a transferência de torque do motor de indução para as rodas melhorando sua eficiência por meio de polias variadoras e uma correia de borracha com baixo coeficiente de escorregamento controladas por um pequeno motor de corrente contínua.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo Geral

Aumentar a eficiência dos sistemas de tração para mobilidade elétrica através de uma transmissão CVT controlada por um pequeno atuador de corrente contínua.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Dimensionar a transmissão;
- Projetar os componentes;
- Fazer simulações em *softwares*;
- Comprar os materiais necessários;
- Usinar as peças;
- Pré-montagem dos componentes;
- Testes mecânicos em bancada;
- Agregar o sistema de tração ao veículo Force1;
- Testes finais para conclusão.

1.5. JUSTIFICATIVA

Eficiência, os sistemas de transmissão por CVT já são utilizados por diversos veículos movidos com motores a combustão, visando maior conforto e economia a seus condutores, o mesmo benefício é esperado para os motores elétricos, com uma otimização do sistema de tração é possível um aumento significativo na autonomia e vida útil das baterias e demais componentes visto que por teoria uma menor corrente estaria fluindo em todo sistema.

1.6. MÉTODO DE EXECUÇÃO

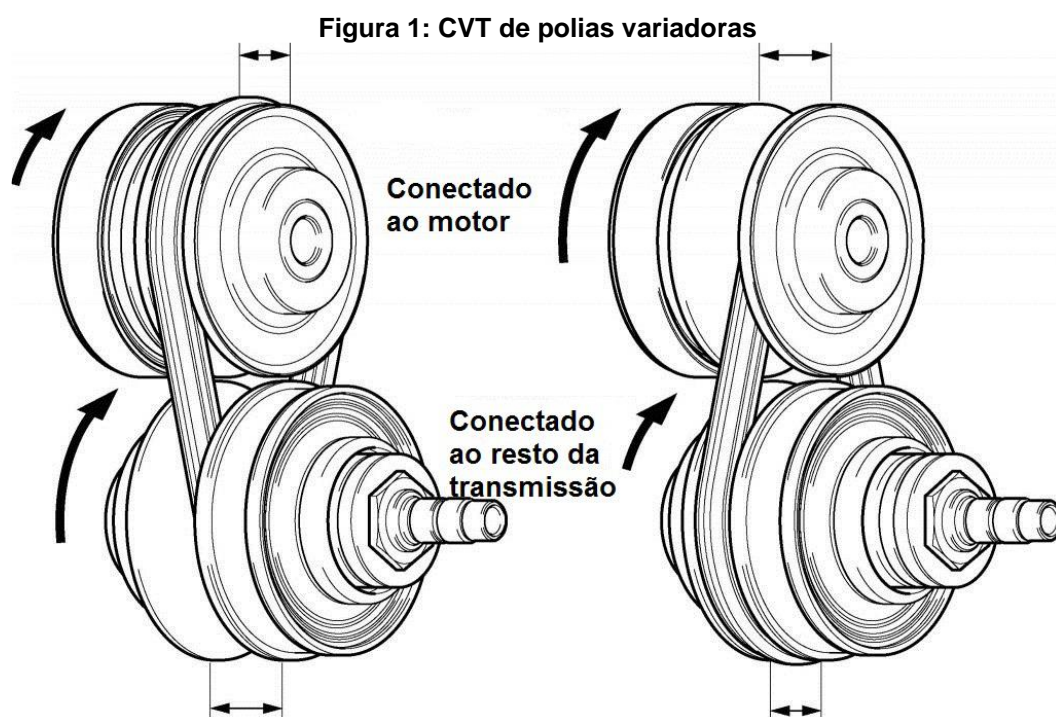
Para o dimensionamento dos componentes foi utilizado os recursos da biblioteca do campus Ponta Grossa, o *software* Solidworks™ foi utilizado para projetar os componentes que foram usinados no laboratório de usinagem da UTFPR. Os demais procedimentos como testes de bancada e montagem dos componentes foram realizados no laboratório da UTForce com o auxílio dos demais integrantes da equipe.

2. DESENVOLVIMENTO

Inicialmente o câmbio CVT foi criado para variar a rotação de equipamentos onde as rotações dos acionamentos eram fixas e precisavam ser ajustadas para cada aplicação. Em veículos os primeiros testes são datados do início do século XX, a tecnologia do CVT proporciona uma variação da relação de transmissão GR (*Gear Ratio*) de forma suave e confortável para o condutor, permitindo partir com uma relação de transmissão maior e diminuir de forma gradual com o aumento da velocidade.

Existem diversos tipos de CVT como os de cones deslizantes e os de polias variadoras com correias de borracha ou metálicas, o modelo que utilizamos neste projeto foi um CVT de polias variadoras de alumínio e correia de borracha trapezoidal de 22°, como mostrado na Figura 1.

O funcionamento do câmbio CVT é bastante simples: consiste em duas polias com parede de contato deslizante sobre o eixo onde são montadas e conectadas através da correia trapezoidal, a medida em que a rotação no eixo motriz aumenta a força centrífuga faz com que as laterais das polias se movimentem variando os diâmetros do ponto de contato da correia com a polia mudando assim a relação de transmissão do eixo motriz com o eixo movido.



2.1. DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

Após a escolha do tipo de CVT a ser usado no projeto, iniciou-se o dimensionamento dos componentes, para isso foram necessárias algumas informações como o tipo de correia e a potência do motor. O carro Force1 usa um motor de indução da WEG específico para tração veicular de 6KW de potência que pode chegar a uma rotação de 4400 RPM, e a correia escolhida foi uma Goodyear 842/30/22°, a escolha da correia partiu do curso total disponível no eixo do motor WEG e do espaço máximo entre eixos permitido no chassi do Force1.

A primeira etapa foi criar uma relação fixa com o máximo de velocidade pretendida com o Force1, que é 75km/h multiplicada pela constante de 16.6, foi obtido 1245 metros/min, se dividir este valor pelo perímetro dos pneus de tração que é de 1,57 metros a rotação obtida é de aproximadamente 793 rpm. Agora dividindo a rotação nominal do motor WEG que é 4400 rpm pela rotação desejada no eixo de tração, foi possível obter $4400 / 793 = 5,5$ GR que é a relação de redução mínima para atingir a velocidade desejada de 75km/h.

Esta relação de redução de 5,5 GR é fixa e ficará montada logo após o câmbio CVT, como as relações de transmissão em sequência se multiplicam, o CVT ficará encarregado de multiplicar esta relação de transmissão em 2.5 vezes, resultando em uma relação de transmissão de 13,75 GR no início da aceleração e chegando a uma relação de 5,0 GR ao final da rotação do motor de tração.

2.2. ELABORAÇÃO DO PROJETO EM SOLIDWORKS™

Com auxílio do Solidworks™ foi possível obter os diâmetros das polias do CVT e o curso aplicado ao atuador de controle da abertura e fechamento das polias, que ficaram com 165 mm de diâmetro e 40 mm de curso de atuação. O primeiro esboço é mostrado na Figura 2 e o desenho final é mostrado na Figura 3.

Figura 2: Primeiro esboço do CVT.

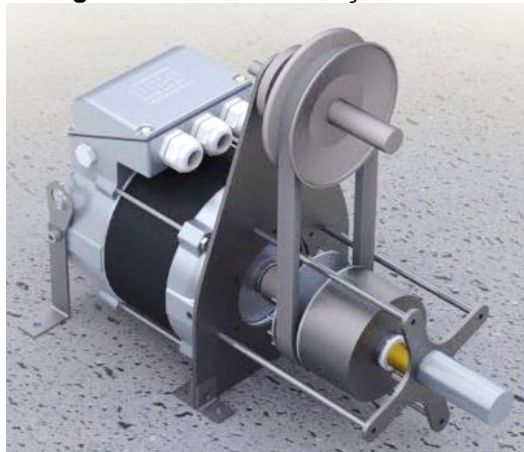
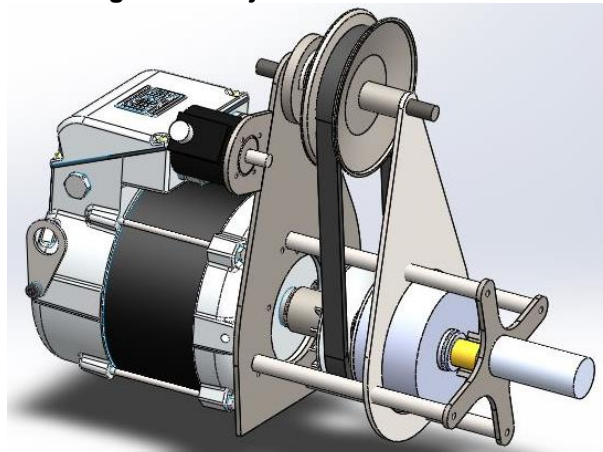


Figura 3: Projeto finalizado do CVT.



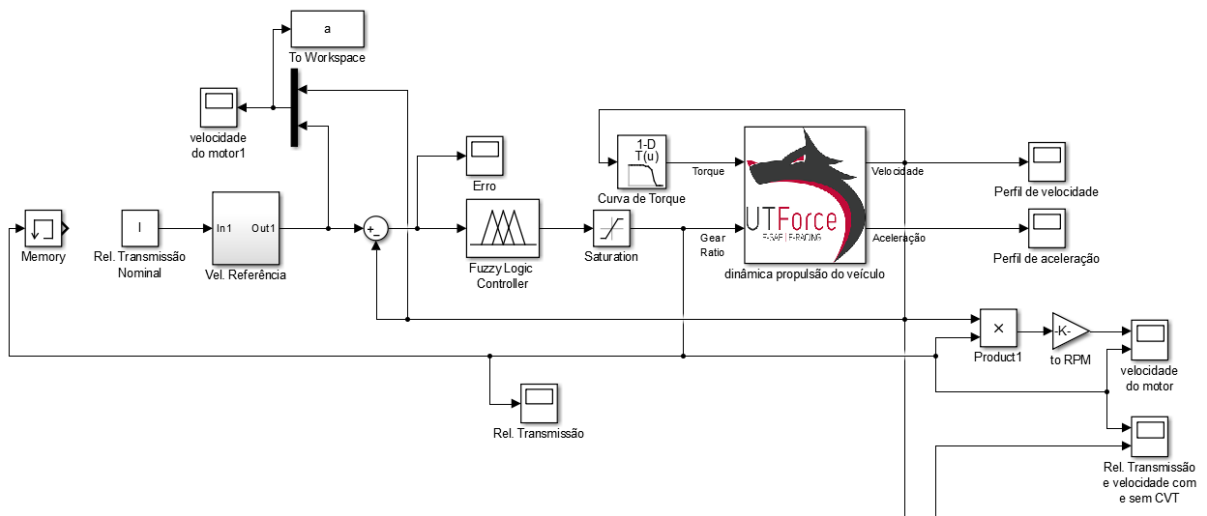
2.3. MODELAGEM DO SISTEMA NO SOFTWARE SIMULINK™

Com a ajuda dos demais integrantes da equipe foram analisadas as informações do motor fornecidas pela WEG em comparação com as relações já listadas. Dessa forma foi possível modelar dois sistemas de transmissão, um com redução fixa e outro usando variação de redução nos padrões do câmbio CVT, esses modelos foram implementados no *software* Simulink™ em forma de diagrama de blocos tanto para transmissão fixa como para o CVT para que pudesse ser feita uma comparação entre os dois sistemas de tração. Na Figura 4 e figura 5, pode-se observar os diagramas de blocos utilizados nas simulações.

Figura 4: Diagrama de bloco transmissão fixa.



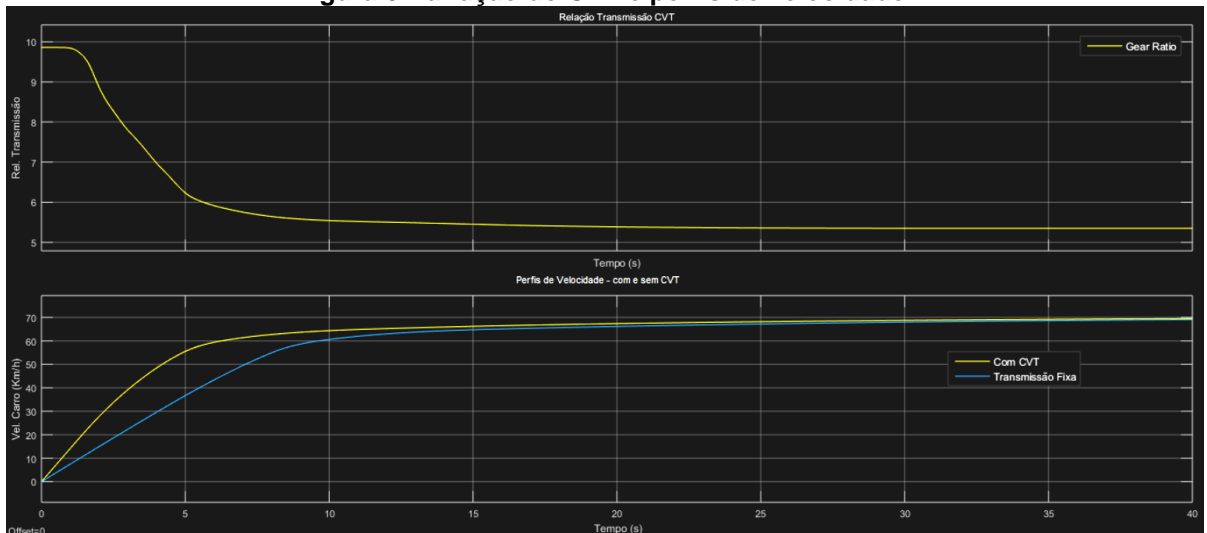
Figura 5: Diagrama de bloco transmissão CVT.



Usando os dois diagramas no Simulink, foi possível rodar uma simulação de 40 segundos e comparar os dois sistemas de transmissão. A Figura 6 mostra no primeiro quadro a variação das polias do câmbio CVT ao longo do tempo e o segundo quadro mostra a velocidade do carro nos dois tipos de transmissão, amarelo CVT e azul tração fixa.

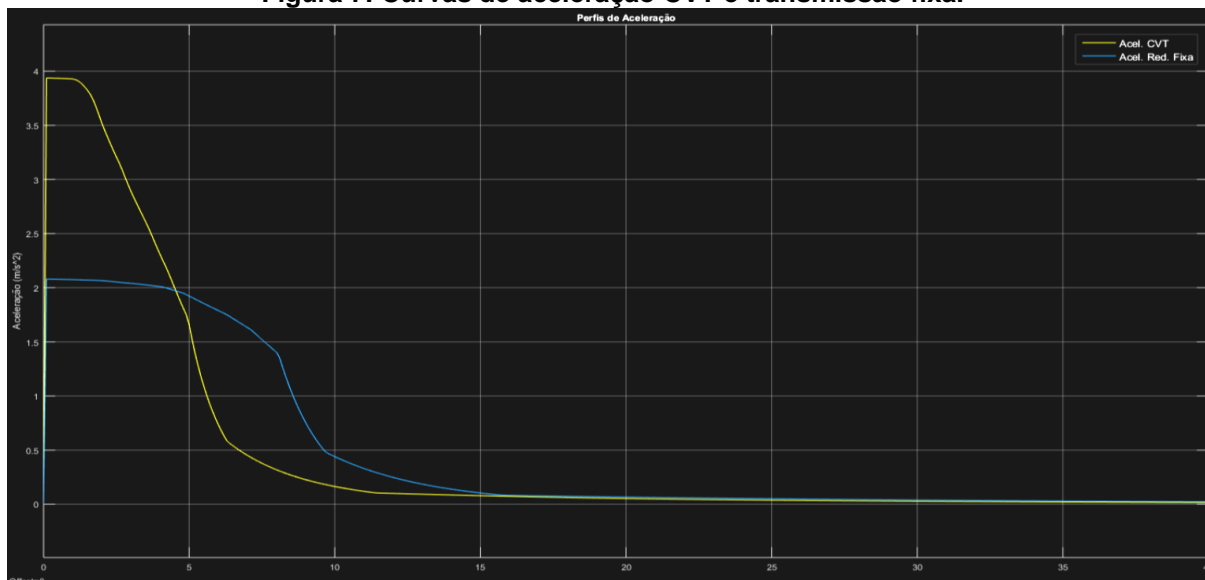
Pode-se observar que, para se atingir uma velocidade de 60 Km/h a simulação com transmissão CVT levou 6 segundos, já a simulação do sistema fixo levou 10 segundos, após esta velocidade a aceleração dos dois sistemas ficam muito parecidas pois as relações aplicadas se tornam muito próximas.

Figura 6: Variação do CVT e perfis de velocidade.



A Figura 7, apresenta os perfis de aceleração dos dois sistemas, o CVT em amarelo e a redução fixa em azul. Como podemos observar a transmissão que utiliza o CVT apresenta praticamente o dobro de aceleração em relação ao sistema de relação fixa justificando assim sua fabricação.

Figura 7: Curvas de aceleração CVT e transmissão fixa.



2.4. FABRICAÇÃO DAS PEÇAS

Com os desenhos detalhados e os resultados das simulações em mãos foi iniciada a fabricação das peças do conjunto de tração CVT, todos os materiais foram escolhidos para que pudessem ser adquiridos no comércio local, evitando maiores custos com transporte.

A usinagem começou com a polia principal, onde o atuador exercerá os movimentos de abertura e fechamento das laterais das polias, essas foram fabricadas em alumínio 6310 com "sino" em aço carbono 1045, como mostrado na Figura 8, o eixo deslizante e o fuso do atuador foram fabricados em aço 4140 e a castanha do fuso em bronze tm23, como mostrado nas Figuras 9 e Figura 10 respectivamente.

Figura 8: Polia do atuador e “sino”



Figura 9: (a) Eixo deslizante e; (b) fuso do atuador.

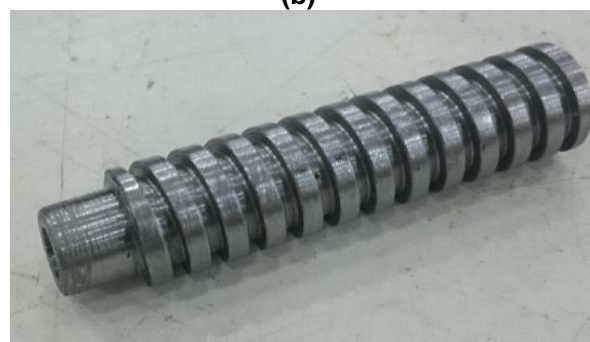


Figura 10: Castanha do fuso



As demais partes do projeto como chapas e parafusos de fixação foram cortados e adquiridos de terceiros, com todas as peças fabricadas fizemos uma pré montagem em bancada para os primeiros testes e eventuais ajustes. Apenas um pequeno ajuste na cabeça dos parafusos do motor do atuador foi necessário, como pode-se ver na Figura 11, o problema foi resolvido com um pequeno escareamento na chapa base e a substituição por parafusos com cabeça cônica. A montagem final é possível ser vista na Figura 12.

Figura 11: Ajuste parafuso do motor do atuador.



Figura 12: conjunto CVT montado em bancada.



Na Figura 13 pode-se visualizar o conjunto de tração CVT e redução fixa montada ao chassi do Force1, o conjunto funcionou bem e pudemos observar o ganho de torque no início da aceleração chegando rapidamente a velocidade final plenjada.

Figura 13: Conjunto de tração montado ao carro Force1.



2.5. CUSTOS FINAIS DO PROJETO

Os investimentos para o desenvolvimento do CVT e para a instalação no carro force1 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Custos dos materiais aplicados no projeto do CVT.

Item	Descrição	Unid	Qtde	Preço uni.	Total
01	Tarugo de alumínio 180mm	Kg	07	R\$ 29,00	R\$ 203,00
02	Trefilado redondo 38mm	Kg	03	R\$ 9,00	R\$ 27,00
03	Correia borracha 22°	PC	01	R\$ 90,00	R\$ 90,00
04	Rolamentos axiais	PC	02	R\$ 12,65	R\$ 25,30
05	Bucha de bronze	Kg	0,3	R\$ 36,00	R\$ 10,80
06	Chapas de fixação	PC	02	R\$ 8,90	R\$ 17,80
07	Motor DC com redução 15Kgf/cm	PC	01	R\$ 58,00	R\$ 58,00
				Total	R\$ 431,90

Os custos mencionados são referentes somente aos materiais necessários para usinagem sem incluir ferramentas motrizes. Todo recurso para compra dos materiais utilizados na usinagem foi de custeio próprio.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

O controle aplicado tanto nas simulações quanto ao câmbio físico visavam aumentar a aceleração do veículo Force1, mantendo a corrente do motor em máximo permitido pelas baterias e controlador de potência, variando a relação de transmissão do *power train* para ganhar o máximo de torque em baixas rotações, o que foi observado graficamente e posteriormente validado com o sistema funcionando de forma efetiva, comprovando que o câmbio CVT tem sim a capacidade de aumentar significativamente a performance do veículo.

Para estudos futuros, pode-se desenvolver um controlador para o atuador trabalhar de forma a ajustar o torque de saída visando uma melhor eficiência energética garantindo uma corrente menor sendo drenada do sistema de potência, o que aumentaria tanto a vida útil das baterias quanto a autonomia dos veículos com sistema de tração elétrica auxiliado por um câmbio CVT.

REFERÊNCIAS

MELCONIAN, Sarkis. **ELEMENTOS DE MÁQUINAS** Érica; Edição: 10ª (23 de março de 2000).

MIQUÉIAS, Thales S. **CONTROLE FUZZY PARA UMA TRANSMISSÃO VARIÁVEL APLICADA EM VEÍCULOS ELÉTRICOS** (09 de dezembro de 2016).

FANTON, Fabricio. **ESTUDO DA TRANSMISSÃO CONTÍNUA VARIÁVEL CVT DE POLIAS EXPANSIVAS** Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Ilha Solteira.

MANAVELLA, Humberto J. **ELETRÔNICA EMBARCADA VEICULAR** Transmissão automática-CVT HM Autotrônica (2006)