

# ESTUDO DA TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL CVT DE POLIAS EXPANSIVAS

**Fabício Fanton<sup>1</sup>, Danilo A. S. Lima<sup>2</sup>**

Universidade Esradual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Ilha Solteira Avenida Brasil,  
56 Centro 15385000 Ilha Solteira SP – <sup>1</sup>fabriciofanton@hotmail.com, <sup>2</sup>danilo\_sl@msn.com

**Resumo:** Este documento contém uma sucinta explicação teórica da transmissão CVT (Transmissão Continuamente Variável), dando ênfase em sua aplicação no ramo automobilístico e, mostrando alguns tipos de CVTs utilizados nos automóveis, como exemplo a transmissão toroidal e a por polias expansivas. A transmissão CVT toroidal consiste de rolos de tração que se movem para dentro ou para fora dos discos de entrada e saída permitindo desta maneira a variação de velocidade do veículo. O sistema por polias expansivas é composto por duas polias cônicas uma de frente para a outra e que são capazes de se aproximarem ou se afastarem entre si, uma das polias conhecida como polia condutora é ligada ao virabrequim do motor enquanto a outra, chamada de polia conduzida, é acionada pela condutora, este acionamento é feito por uma correia em V, sendo que a variação de abertura e fechamento das polias fazem variar a velocidade do veículo. As CVTs apresentam diversas vantagens que as fazem atraentes tanto a motoristas quanto ambientalistas. Diferente das caixas automáticas tradicionais, as do tipo continuamente variáveis não possuem um certo número de marchas, o que significa a ausência das rodas dentadas que se interligam dando a sensação de infinitas marchas. O trabalho está dividido em duas partes, o teórico, baseado nos dados de um veículo real, consiste no desenvolvimento uma transmissão CVT por polias expansivas onde foram utilizados cálculos computacionais, tendo como linguagem de programação o Python, e o prático, foi desenvolvido uma simulação do mecanismo no software CATIA V5 construindo assim um protótipo para estudo da CVT com acionamento mecânico e cujo objetivo é melhorá-lo para um sistema de acionamento eletrohidráulico.

**Palavras chave:** CVT, Transmissão, Cambio

## 1. INTRODUÇÃO

A caixa de transmissão, conhecidas também como caixas de câmbio ou de mudança de marcha, permite ao motor do veículo mover grandes cargas com um mínimo de esforço, além de aumentar a velocidade à medida que a inércia é vencida.

O câmbio usa uma escala de marchas, da mais baixa para a mais alta para ter um melhor aproveitamento do torque do motor, conforme as condições de utilização do veículo encontradas. A força e velocidade são inversamente proporcionais, assim, quanto maior a redução de marcha selecionada, maior será a força disponível para vencer os obstáculos, porém menor será a velocidade.

Como forma de diminuir o consumo de combustível dos motores desejava-se que estes operem na condição de máxima eficiência no torque máximo pelo maior tempo possível.

Considerando que todas as peças móveis do motor não sofrem alterações significativas de suas propriedades mecânicas durante a sua utilização, pode-se dizer que o ponto de máxima eficiência ocorre quando o torque desenvolvido é máximo.

Em alguns casos, estas condições de funcionamento podem não ser as ideais. Nessas situações o importante é a adaptação de torque, ou potência, às necessidades imediatas do veículo.

Esta adaptação não ocorre com precisão nas transmissões escalonadas encontradas nas caixas manuais e automáticas com engrenagens planetárias, devido ao escalonamento das marchas (degraus de uma marcha à outra), gerando situações desagradáveis como maior consumo de combustível, perda de eficiência entre outros.

Com o intuito de eliminar todas as inconveniências geradas pelos câmbios escalonados, o ideal seria que a transmissão fosse tão flexível nas suas relações que o motor pudesse rodar a um único valor de rpm de melhor desempenho. Essa é a função da transmissão continuamente variável (CVT). Imaginada por Leonardo da Vinci há mais de 500 anos, vem sendo usada em substituição às caixas automáticas de engrenagens planetárias, ou seja, as tradicionais, em alguns automóveis.

## 1.1 Princípio Básico

O tipo o mais comum de CVT é o tipo de fricção, em que dois corpos são trazidos no contato em pontos da distância variando de suas cunhas de rotação, e permitir que a fricção transfira o movimento de um corpo ao outro. Às vezes há um terceiro corpo intermediário, geralmente uma roda ou uma correia. A CVT mais simples parece ser o projeto “disco e roda” (Figura 1), em que uma roda se posiciona em cima da superfície de um disco girante; a roda pode ser deslizada no sentido radial do disco se aproximando ou afastando do seu centro. A relação da velocidade de tal projeto é simplesmente o raio da roda dividida pela distância do ponto de contato ao centro do disco.



Figura1 CVT “Disco Roda”

A física envolvida no funcionamento é bem simples, como velocidade angular ( $\omega$ ), que é a velocidade linear ( $v$ ) dividida pelo raio ( $r$ ), tem-se que uma aproximação da roda ao centro do disco leva a um aumento da velocidade angular do disco, aumentando a velocidade do veículo, porém diminuindo o seu torque. Caso a roda ultrapasse o centro do disco, ocorre a inversão no sentido de giro do disco (marcha ré).

A potência é perdida de duas maneiras: deformação dos componentes; e deslizamento diferencial. A deformação dos componentes é o maior fator dos dois, é causada por forças normais elevadas, e pode ser minimizada usando os materiais muito duros que não deformam muito, e os materiais com um coeficiente muito elevado da fricção. O deslizamento diferencial é causado por uma área de contato grande entre os componentes girantes.

Este princípio básico incentivou novos projetos de transmissão CVT, como por exemplo, a toroidal e a por polias expansivas, que serão discutidas mais adiante.

## 1.2 A transmissão CVT no automóvel

Diferente das caixas automáticas tradicionais, as do tipo continuamente variáveis não possuem um certo número de marchas, o que significa a ausência das rodas dentadas que se interligam. O tipo mais comum de CVT no automóvel funciona com um engenhoso sistema de polias, que permite uma infinita variabilidade entre a marcha mais alta e a mais baixa sem degraus, assim como o sistema toroidal patenteada em 1886.

As caixas continuamente variáveis estão ficando mais populares por uma boa razão. Elas apresentam diversas vantagens que as fazem atraentes tanto a motoristas quanto ambientalistas. A Tabela 1 descreve algumas das características e benefícios mais importantes das CVTs.

Tabela 1 – Vantagens das CVTs

Característica	Benefício
Aceleração constante, sem degraus, desde a imobilidade até a velocidade de cruzeiro.	Elimina o "choque da troca" deixa o rodar mais suave.
Funciona para manter o carro na sua melhor faixa de potência, independentemente da velocidade em que o carro está andando.	Menor consumo de combustível.
Melhor resposta a mudanças de condições, como acelerador e velocidade.	Elimina a caça de marchas conforme a velocidade diminui, desacelera especialmente subindo serras.
Menor perda de potência com uma CVT do que com uma caixa automática convencional.	Melhor aceleração.
Melhor controle da faixa de rotação num motor a gasolina.	Melhor controle de emissões.
Pode incorporar versões automatizadas de embreagens mecânicas.	Substitui ineficientes conversores de torque hidráulicos.

	Coefficiente f de resistência ao rolamento	
--	--	--

### História do CVT no automóvel

Para dar início a sua história no ramo automobilístico, temse uma pequena cronologia abaixo.

- 1490 Da Vinci faz um esboço de uma transmissão contínua variável sem degraus.
- 1886 registrada a primeira patente de CVT toroidal.
- 1935 Adiel Dodge recebe a patente da CVT toroidal.
- 1939 introduzido o sistema de caixa totalmente automática baseado em engrenagens planetárias.
- 1958 Daf (da Holanda) fabrica um carro com câmbio CVT.
- 1989 o Subaru Justy GL é o primeiro carro vendido nos EUA com câmbio CVT.
- 2002 o Saturn Vue com uma CVT estréia; é o primeiro Saturn que oferece tecnologia CVT.
- 2004 a Ford começa a oferecer uma CVT.

Pensando no mercado automobilístico e analisando a cronologia acima, verificase que o grande salto realmente foi em 1958, quando os irmãos holandeses Hubert e Vim Van Doorne puseram em produção no automóvel DAF, o sistema Variomatic de câmbio automático de variação contínua.

O motor de combustão interna gosta de funcionar em rotação constante. Isso porque as variações de vazão de ar, determinadas pelo abrefecha da borboleta de aceleração, não são

acompanhadas prontamente pelo combustível, embora o perverso efeito tenha sido contornado com êxito pelo gerenciamento eletrônico de injeção, incluindo-se aí o acelerador de comando elétrico. Mesmo assim, quanto mais constante for a rotação, melhor. É por isso que nas aplicações aeronáuticas, marítimas e estacionárias o motor de combustão interna está mais à vontade, funciona com mais eficiência e apresenta maior durabilidade. Foi pensando nessa questão que os irmãos holandeses Hubert e Wim Van Doorne puseram em produção em 1958, no automóvel DAF, o sistema Variomatic de câmbio automático de variação contínua (Figura 2).



Figura 2 O eixo traseiro do DAF 55 e seu câmbio de variação contínua, com uma correia por lado

Onde eles obtiveram a facilidade de dirigir ao dispensar a troca manual de marchas, já conhecida com as caixas com conjuntos de engrenagens epicicloidais e conversor de torque de muitos carros americanos e alguns europeus na época, o sistema de variação contínua permitia ao motor funcionar em rotação constante. O novo câmbio, chamado de CVT, trabalhava com infinitas relações de marcha dentro de uma ampla faixa, podendo selecionar a mais adequada a cada momento e variá-la de modo contínuo, sem os "degraus" habituais das caixas manuais e automáticas convencionais.

Embora seja uma velha idéia na Europa, pois depois do DAF vieram outros com câmbio desse tipo na década de 1980, o CVT só agora começa a chegar no Brasil, iniciando-se com o Honda Fit.

Apesar de ainda não mencionado, existe um outro marco importante ocorrido recentemente, onde a Nissan, juntamente com a fabricante de rolamentos NSK Ltda., lançou um carro que chamou a atenção dos maiores fabricantes de carros do mundo, o carro apresentava um moderno sistema de CVT toroidal, que superou os problemas do atrito através do poderoso óleo lubrificante DM2H desenvolvida por uma empresa petroquímica japonesa.

Como o ramo automobilístico tem o seu principal centro de pesquisa nas pistas de corrida, vale citar o CVT na Fórmula 1 implementada pela DAF.

### 1.3 Tipos de CVT utilizados nos automóveis

#### CVTs baseadas em polias expansivas

Atualmente este tipo de transmissão CVT é o mais simples empregado nos automóveis e tem somente três componentes básicos:

- uma correia de metal ou borracha para alta potência;
- uma polia de entrada "condutora" variável;
- uma polia de saída "conduzida" também variável.

As CVTs também possuem em vários microprocessadores, sensores e sistemas hidráulicos, mas os três componentes descritos acima são os elementos-chave que permitem que a tecnologia funcione.

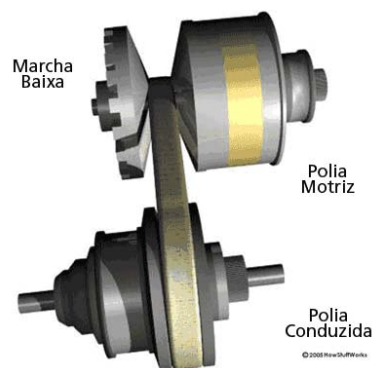


Figura 3 – CVT de polias expansivas

As polias com diâmetro variável são o coração da CVT. Cada polia é composta de dois cones um de frente para o outro e capazes de se aproximarem ou se afastarem entre si. Uma correia em V passa no canal e entre os dois cones. Elas têm esse nome pelo fato de terem uma seção transversal em forma de V, o que aumenta a aderência da correia devido ao atrito.

Quando os dois cones da polia estão afastados (diâmetro pequeno), a correia passa na parte do canal que ficou mais baixa, fazendo com que o raio da correia a em torno da polia diminua. Quando os cones estão juntos (diâmetro grande), a correia passa pela parte do canal que ficou mais alta e o raio fica maior. As CVTs podem usar pressão hidráulica, força centrífuga ou tensão por meio de molas para criar a força necessária para ajustar as metades das polias.

Polias de diâmetro variável devem vir sempre em pares. Uma das polias conhecida como polia condutora é ligada ao virabrequim do motor. A polia condutora também é chamada de polia de entrada, porque é por onde a força do motor entra no câmbio. A outra polia é chamada de polia conduzida, porque é acionada pela condutora. Como polia de saída, a polia conduzida transfere potência  $p$  para a árvore de transmissão (lembre-se que estamos falando de um carro de tração traseira).

Quando uma polia aumenta o seu raio, a outra o diminui para manter a correia tensionada. Quando as duas polias mudam seus raios entre elas, criam um número infinito de relações de marchas da mais baixa até a mais alta e qualquer uma entre elas. Por exemplo, quando o raio é menor na polia condutora e maior na polia conduzida, a rotação da polia conduzida diminui, tendo como resultado uma "marcha" mais baixa (curta). Quando o raio de distância é maior na polia condutora e menor na polia conduzida, a velocidade de rotação da polia conduzida aumenta, tendo como resultado uma "marcha" mais alta (longa). Assim dizendo, em teoria, uma CVT tem um número infinito de "marchas" que podem ser utilizadas a qualquer momento, em qualquer motor ou velocidade.

A simplicidade e a inexistência de degraus entre marchas das CVTs fazem delas o câmbio ideal para uma gama de máquinas e dispositivos, não apenas carros. As CVTs têm sido usadas há anos em máquinas-ferramenta e furadeiras de bancada. Também são utilizadas em diversos veículos, incluindo tratores, *snowmobiles* (veículos para neve com esteiras) e *scooters*. Em todos esses casos, as caixas têm contato com correias de borracha de alta densidade, as quais podem patinar e afrouxar, reduzindo assim sua eficiência.

A introdução de novos materiais faz com que as CVTs sejam ainda as mais confiáveis e eficientes. Um dos maiores avanços é a criação e desenvolvimento de correias metálicas

para unir as polias. Essas correias flexíveis são compostas de diversas (algo entre nove ou doze) bandas de aço, que mantêm juntas finas e resistentes peças de metal em forma de laço.



Figura 4 Arranjo da correia de metal

As correias de metal não patinam e são altamente duráveis, possibilitando às CVTs adequação a motores de mais torque. Elas também são mais silenciosas do que as CVTs de correias de borracha.

Uma outra solução para suprir as necessidades de grandes torques e potências foi a corrente no lugar da correia, como exemplo o CVT MULTITRONIC da Audi.

### CVT Toroidal

Outra versão da CVT é o sistema CVT toroidal que substitui as correias e polias com discos e roletes de potência.

Ainda que tal sistema pareça drasticamente diferente, todos os seus componentes são parecidos com o sistema de polia e correia e levam aos mesmos resultados uma caixa continuamente variável. É assim que funciona:

- um disco conecta-se ao motor. É equivalente à polia condutora; • outro disco conecta-se à árvore de transmissão. Este é equivalente à polia conduzida;
- roletes, ou rodas, localizados entre os discos agem como a correia, transmitindo energia de um disco para o outro.



Figura 5 Esquema da transmissão Toroidal

Essas rodas podem girar em dois eixos. Elas giram em torno do eixo horizontal e se inclinam para dentro ou para fora em torno do eixo vertical, permitindo que as rodas toquem os discos em áreas diferentes. Quando as rodas estão em contato com o disco condutor próximo ao centro, elas precisam entrar em contato com o disco conduzido perto da borda, resultando numa redução de rotação e um aumento do torque (ou seja, marcha baixa, curta). Quando as rodas encostam no disco condutor próximo à borda, elas precisam entrar em

contato com o disco conduzido próximo ao centro, resultando em um aumento de rotação e uma diminuição do torque (ou seja, sobremarcha, marcha bem longa). Uma simples inclinação das rodas muda de maneira incremental a relação de marcha, proporcionando mudanças praticamente instantâneas e suaves.

## 2. ESCOLHA DO ESTUDO DO CVT POR POLIAS EXPASIVAS

O principal motivo da escolha do estudo do CVT por polias expansivas é sua simplicidade em relação aos outros tipos de CVT já mencionados, um fator bastante importante na simplicidade deste sistema esta na lubrificação que tem papel básico de lubrificar algumas partes móveis de acionamento das polias. Ao contrário do sistema toroidal que exige uma lubrificação especial elastohidrodinâmica, muito cara e de difícil acesso comercial. Como nenhum dos óleos nacionais fornece o valor do seu respectivo coeficiente de tração, seria necessário uma bancada de testes de lubrificantes para a escolha do ideal. Um fator negativo no CVT por polias expansivas esta na sua correia, onde está a chave do projeto e os defeitos desta transmissão, como por exemplo, o ruído.

## 3. PROJETO TEÓRICO

O projeto teórico tem como base verificar a matematicamente e computacionalmente a melhoria que a transmissão CVT por polias expansivas trás em relação à transmissão manual convencional utilizada no Gol City 1.0 8V Total Flex, verificando melhoria na eficiência do motor, diminuição das emissões de gases poluentes e menor consumo de combustível.

Para isso a Volkswagen juntamente com a ajuda revista Mecânica Online forneceu a curva de torque e potencia do motor utilizado.

O veículo utilizado, foi escolhido devido a popularidade adquirida por ele, por sua modesta potência (típica de carros populares) e por ser considerado por revistas especializadas o carro com melhor escalonamento de marchas da categoria. Para efeito de estudo foi obtido o gráfico de rotação por velocidade para cada marcha através de cálculos relacionados com as características do veículo Gol City 1.0 8 V.

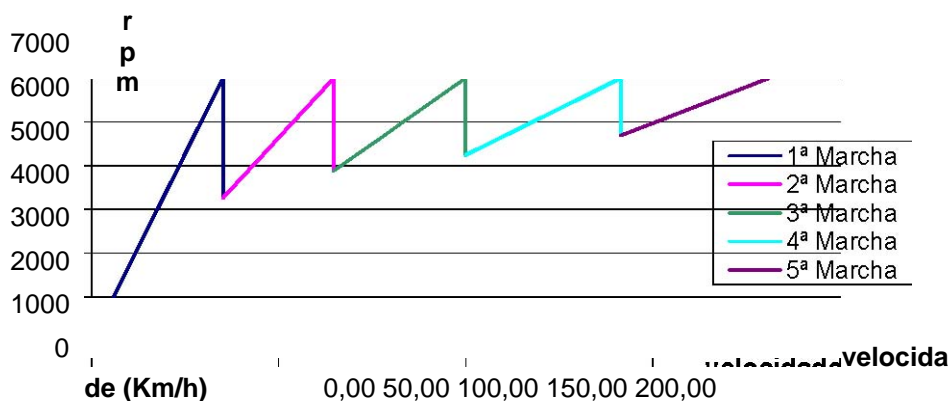


Gráfico 1 Relação de Marchas por velocidades Motor BMW

Partindo da curva de torque do motor e dos dados técnicos do veículo como, área frontal, raio da roda e altura do pneu e desconsiderando inicialmente que não há estiramento da correia, todos os eixos são supostos como: rígidos, redutor/planetário com relação fixa, não há deslizamento nem travamento nos pneus.

Partindo deste pressuposto, tem-se um esquema simplificado do foco destes cálculos:

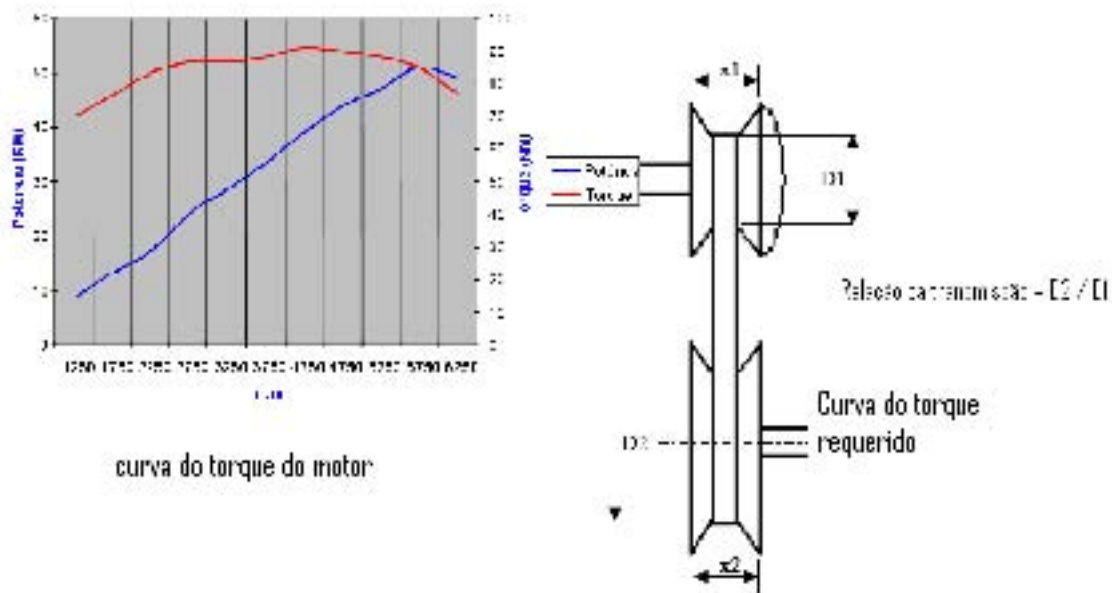


Figura 6 Esquema simplificado

Para se obter a curva do torque requerido e o funcionamento da CVT com suas relações de marchas devem-se verificar algumas forças resistivas ao movimento e a inclinação da pista. Estas forças são: Força de resistência ao rolamento, força de resistência aerodinâmica, força de resistência ao aclone.

A resistência total a rodam do veículo considerando que o mesmo encontra-se em movimento é dado pela soma das forças citadas acima, ou seja:

$$F_{rt} = F_{ro} + F_{ae} + F_{ac} \quad (1)$$

Sendo:

$F_{rt}$  = Força de resistência total (N)

$F_{ro}$  = Força de resistência ao rolamento (N)

$F_{ae}$  = Força de resistência aerodinâmica (N)

$F_{ac}$  = Força de resistência ao aclone =  $G \text{ sen} \alpha$  (N)

Força de resistência ao rolamento

$$F_{ro} = f \cdot G = fmg \quad (2)$$

Onde:

$F_{ro}$  = força de resistencia ao rolamento (N)

$f$  = coeficiente de resistência ao rolamento (adimensional)

$m$  = massa do veículo (Kg)

$g$  = aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$G$  = peso do veículo (N)

A resistência ao rolamento  $F_{ro}$  é o produto do processo de deformação que ocorre devido ao contato entre a superfície de contato do pneu com o solo.



Uma aproximação do cálculo pode ser efetuada usando o coeficiente f fornecido na tabela abaixo:

Tabela 2 – Tabela de coeficiente de resistência de rolamento

Característica	Benefício
Aceleração constante, sem degraus, desde a imobilidade até a velocidade de cruzeiro.	Elimina o "choque da troca" deixa o rodar mais suave.
Funciona para manter o carro na sua melhor faixa de potência, independentemente da velocidade em que o carro está andando	Menor consumo de combustível.

O aumento do coeficiente de resistência ao rolamento f é diretamente proporcional ao nível de deformação do pneu e inversamente proporcional ao raio do mesmo.

O coeficiente é função da carga imposta ao pneu, aumento da velocidade do veículo, tipo de pneu utilizado, resposta do veículo quando submetido a acelerações laterais e da pressão de trabalho do pneu.

A Força de resistência aerodinâmica pode ser calculada da seguinte maneira:

$$F_{ae} = 0,5 \cdot \rho \cdot cw \cdot Af \cdot (v + v_0)^2 \quad (3)$$

Onde:

$F_{ae}$  = Força de resistência aerodinâmica (N)

$\rho$  = densidade do ar (Kg/m<sup>3</sup>)

$A_f$  = área frontal do veículo (m<sup>2</sup>) => Em carros de passageiros uma aproximação pode ser feita efetuandose  $A_f = 0,9 \times \text{altura} \times \text{largura}$  do veiculo

$V$  = velocidade do veiculo (ms)

$V_0$  = velocidade do vento

### Força de resistência ao aclave

A resistência ao aclave corresponde a componente do peso do veiculo agindo em seu centro de gravidade com sentido contrário ao movimento.

A força de resistência ao aclave pode ser calculada como sendo:

$$F_{ac} = m \cdot g \cdot \text{sen}\alpha \quad (4)$$

Onde:

$F_{ac}$  = força de resistência ao aclave (N)

$m$  = massa do veículo (Kg)

$\alpha$  = ângulo formado entre a pista e a horizontal (graus)

$g$  = aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>)

No meio automobilístico é comum definir o aclave em percentual como sendo a razão entre a altura e a distância horizontal projetada sendo  $A_{clave} = (h/s) \times 100 = 100 \times \text{tg } \alpha$ , ou seja, quando o aclave é igual a 100 % teremos que  $\alpha = 45^\circ$ , pois  $100 \times \text{tg } 45^\circ = 100\%$ .

Métodos empíricos para determinação do coeficiente de resistência ao rolamento (f) e do coeficiente de resistência aerodinâmica (cw).

Deixando o veículo movimentarse em “ponto morto” em condições de ausência de vento em um pavimento liso, plano e homogêneo verificar o tempo necessário para que ocorra queda de velocidade em determinados pontos de referencia (alta velocidade e baixa velocidade) sendo obrigatoriamente tomados abaixo de 100 Km/h.

Com isto é possível obter-se a velocidade média ( $V_m$ ), desaceleração média ( $D_m$ ), o coeficiente de resistência ao rolamento ( $f$ ) e o coeficiente de resistência aerodinâmico ( $c_w$ ).

### **Rendimento da transmissão**

O torque fornecido pelo motor não é totalmente transmitido as rodas do veículo, devido as perdas mecânicas que ocorrem quando dos atritos nos mancais, rolamentos, buchas, deslizamento da correia etc.

Definise rendimento da transmissão como sendo:

$$\eta = \frac{\text{Torque obtido na roda (5)}}{\text{Torque no eixo do motor (torque efetivo)} \times \text{relação final da transmissão}}$$

### **Cálculo do Torque Resistivo**

A Equação da Resistência total a rotação ainda não permite a obtenção do gráfico do torque total resistivo, assim esta resistência de força total deve ser convertida em um torque aplicado no eixo de saída da roda do veículo. A equação do torque resistivo ao movimento do veículo fica:

$$T_{Rt} = F_{rt}(r + h) \quad (6)$$

Onde:

$T_{Rt}$  é o torque resistivo total

$F_{rt}$  é a força resistiva total

$r$  é o raio da roda

$h$  é a altura do pneu

### **Funcionamento básico do CVT por polias expansivas através dos torques envolvidos**

Tendose então o raio nominal da polia movida a cada instante, dando o posicionamento da correia, pelo deslocamento do disco móvel da polia movida e a força de compressão na correia pelo coeficiente de atrito (borrachametálico), podese obter uma força tangencial transmissível na correia proveniente do acionador e o torque transmissível na polia movida que é a capacidade que o conjunto acionador – polia movida tem de transmitir torque a cada instante e a cada circunstância.

Se o torque transmitido na polia motora multiplicado pela relação de transmissão da CVT for menor que o torque transmissível na polia movida ou menor que o torque resistivo que chega ao eixo de saída da CVT, a CVT funcionará como uma embreagem permitindo que a correia patine na polia motora e transmita apenas o torque transmissível na polia motora multiplicado pela relação de transmissão da CVT para o restante do sistema. Quando a correia patina, o torque perdido na polia motora acelera o motor aumentando sua rotação.

Se o torque transmitido na polia motora multiplicado pela relação de transmissão for maior que o torque resistivo, a CVT transmitirá o torque integral fornecido pelo motor ao restante do sistema e o veículo acelerará. Se o torque transmitido na polia motora multiplicado pela relação de transmissão for igual ao torque resistivo, o veículo terá aceleração zero e velocidade constante.

## **3. PROJETO PRÁTICO**

No projeto prático, optouse por um motor acionador elétrico trifásico de 1 CV de 1730 R.P.M e frequência 60 Hz, por uma CVT de polias expansiva com acionamento mecânico inercial e uma correia variadora de borracha nos padrões encontrados no mercado.

Este projeto tem como função um aprendizado prático para futuros projetos. Os mecanismos foram escolhidos pensando na praticidade de construção na oficina da UNESP e na facilidade de obtenção das partes no mercado.

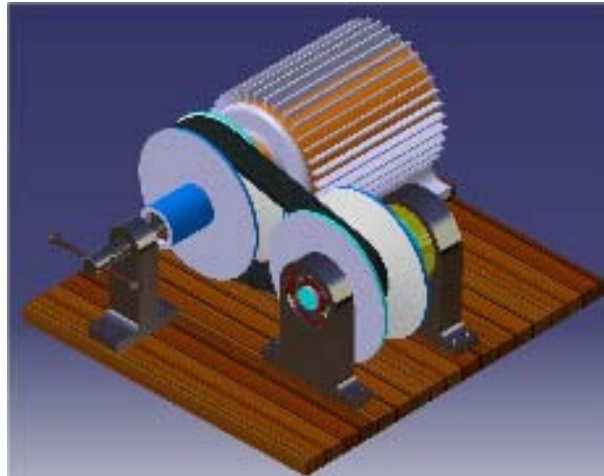


Figura 7 – Diagrama de corpo livre para cálculo da força ao acive

O Projeto prático, foi montado com êxito, na oficina da Unesp. Os materiais utilizados foram: Nylon 6.0 para as polias, 3 rolamentos da SKF, correia de borracha e poliuretano, anéis de travamento, mola de compressão, aço 1020 para os mancais, madeira para o suporte e parafuso fuso com manivela.

Este projeto prático tende a melhorar no seu sistema de acionamento, onde o objetivo é fazê-lo com acionamento eletrohidráulico.

Ainda está em estudo o desenvolvimento das polias com óleo de mamona.

Alguns cálculos importantes para o desenvolvimento deste projeto está descrito nas seções seguintes.

### 3.1 Cálculo de forças sobre as polias e correia

Além da força de atrito no sentido longitudinal devido ao abraçamento da correia sobre a polia, temse:

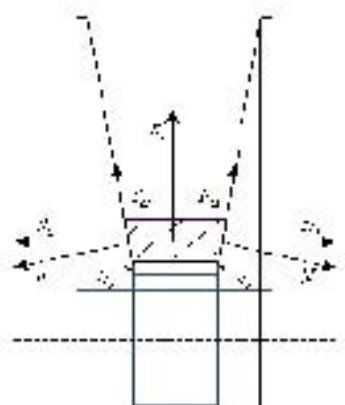


Figura 8 – Diagrama das forças sobre as polias e correias

◆ Força normal da força de acionamento.



### Cálculo da distância entre eixos

A distância em que os eixos geométricos de duas polias devem ser montados pode ser calculada por meio da Eq. 15, deduzida de 14:

$$L = b + \frac{\sqrt{b^2 - 32\Delta}}{16} \quad (15)$$

Onde:

$$b = 4C - 2\pi(D1 + D2) \quad (16)$$

$$\Delta = (D1 - D2)^2 \quad (17)$$

Nos casos em que a distância aproximada entre os eixos não for conhecida, pode-se arbitrar este valor como sendo:

$$D1 < L_0 < D1 + D2 \quad (18)$$

### Ângulo de abraçamento

Os ângulos de abraçamento da correia nas polias são os ângulos  $\beta_1$  e  $\beta_2$  onde a correia está efetivamente em contato com os discos das polias motora e movida respectivamente.

Equações para os ângulos de abraçamento:

$$\beta_1 = \pi - 2\alpha \quad (19)$$

$$\beta_2 = \pi + 2\alpha \quad (20)$$

## 3.3 Dimensionamento da CVT

### Correia

Primeiramente foi estipulado a uma variação de diâmetro de 98,356 mm para 184,712 mm.

Assim, podemos adotar

$$D1 = 184,712, D2 = 98,356$$

Como de início não era sabido a distancia entre eixos, adotamos uma distancia  $L_0=220$ mm que se mostra adequada pela equação 18

Estabelecidos os diâmetros da polias e a distância entre eixos podemos calcular o comprimento da correia pela “equação (14)”

Aplicando então a “equação (14)” foi encontrado um comprimento de correia  $C_0 = 885,619$  mm

Procuramos uma correia no mercado que mais se adaptasse ao projeto e foi encontrado correias variadoras de velocidades Dina com as seguintes características:

Comprimento: 890,00 mm

Largura superior: 38,00 mm

Espessura: 12,00 mm

Ângulo de abertura: 30°

Assim, foi recalculado a distância entre eixos usando a “equação (15)” tendo como parâmetros o comprimento da correia da Dina e os diâmetros preestabelecidos anteriormente.

Obtivemos  $L = 222,2395$  mm

### Análise do ângulo de abraçamento $\beta$

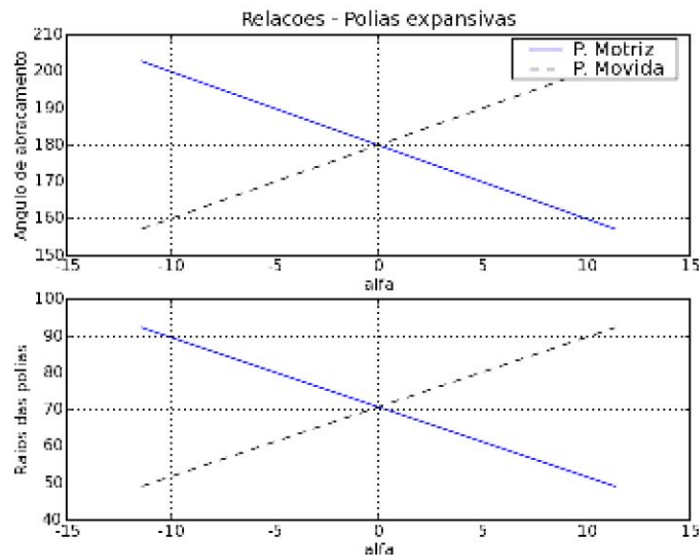


Gráfico 2 – Relações do ângulo de abraçamento e o ângulo de inclinação da correia

Analisando o Gráfico 2 primeiramente podemos notar que o ângulo  $\alpha$  de inclinação é menor do que  $15^\circ$ , o que torna a simplificação  $\sin \alpha = \alpha$  para obtermos a “equação (14)” sem erro apreciável.

Outra observação importante ante ao Gráfico 2 é de que quando o ângulo de inclinação (alfa) é zero os ângulos de abraçamento das polias são de  $180^\circ$ , o que significa que cada metade das polias está em contato com a correia, verificando assim uma relação de 1:1.

### 4. Considerações Finais

Atualmente, devido à crise ambiental causada pela poluição, inúmeras pesquisas estão sendo realizadas para diminuir as emissões de gases poluentes na atmosfera, como o automóvel é um dos principais causadores desta crise, engenheiros focaram suas pesquisas em diversos meios alternativos para amenizar esta contribuição dos veículos automotores na poluição ambiental. Uma boa maneira para contribuir com o meio ambiente é melhorando o sistema de transmissão dos veículos, onde um projeto bem elaborado consegue utilizar a máxima eficiência do motor diminuindo assim as emissões de gases poluentes.

Pensando nisso, o CVT vem sendo estudado e aprimorado, aparecendo com extrema sintonia com o mundo atual, onde se encontra a crise ambiental, a tendência do automóvel pela economia e o concorrido mercado automobilístico.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[2] BEST CARS WEB SITE. Os Precusores da CVT. Disponível em < <http://www2.uol.com.br/bestcars/ph/124b.htm> > Acesso em 08 Jan 2008.

[4] A NISSAN. Nissan Hypertronic CVTM6, uma inovação a nível mundial. Disponível em < <http://www.nissan.pt/anissan/tecnologia.asp?artigo=11> > Acesso em 08 Jan. 2008.

[5] RITZSITE. DAF CARS: THE 55 MODEL. Disponível em [http://www.ritzsite.demon.nl/DAF/DAF\\_cars\\_p17.htm](http://www.ritzsite.demon.nl/DAF/DAF_cars_p17.htm) > Acesso em 08 Jan. 2008.

[6] BEST CARS WEB SITE. Os Precusores da CVT. Disponível em <http://www2.uol.com.br/bestcars/colunas/estrada118.htm> > Acesso em 08 Jan. 2008.

[7] BEST CARS WEB SITE. Os Precusores da CVT. Disponível em <http://www2.uol.com.br/bestcars/tecprep/cvt3.htm> > Acesso em 08 Jan. 2008.

[10] HOWSTUFFWORKS.  
<http://carros.hsw.uol.com.br/cvt.htm/> Acesso em 10 Jan 2008.

PIRES E ALBUQUERQUE, O. A. L. **Elementos de Máquinas**. Editora Guanabara Dois S.A, 1980

ALVES DE ALBUQUERQUE, A. **Caracterização da Resposta Dinâmica de uma CVT por Polias Expansivas**. 2003. Dissertação de mestrado acadêmico Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

## **STUDY OF THE COTIUOUSLY VARIABLE TRASMISSIO, CVT PULLEYS EXPASIVE**

**Abstract:** This document contains a brief explanation of the theoretical transmission CVT (Continuously Variable Transmission), with emphasis on its application in the automobile industry, and showing some types of CVTs used in cars, as an example the toroidal transmission by expansive pulleys. The toroidal CVT transmission consists of rolls of traction that move into or out of disks of entry and exit thus allowing the change of speed of the vehicle. The system of pulleys expansive consists of two pulleys conical one facing the other and that are capable of approaching or are away from each other, one of the pulleys known as conductive pulley is connected to the crankshaft of the engine while the other, called the sheave conducted, is powered by the conductor, this drive is at a belt in V, and the variation of opening and closing of pulleys do vary the speed of the vehicle. The CVTs have several advantages that make them attractive to both drivers as environmentalists. Unlike the traditional Automatic transmission, the type of continuously variable do not have a number of marches, which means the absence of sprockets which connect giving the impression of endless marches. The work this in two parts, the theoretical, based on data from an actual vehicle, is to develop a CVT transmission by pulleys expansive where they were used computer calculations, taking as the Python programming language, and practical, was developed a simulation of mechanism in the software CATIA V5 thus building up a prototype to study the CVT drive with mechanical and whose goal is to improve it for a system of electrohydraulic drive.

**Keywords:** CVT, Transmission,exchange