

# Estudo do Sistema IMA da Honda

Gil Resende                      Rui Silva

Departamento de Engenharia Electrotécnica (DEE)

Instituto Superior de Engenharia do Porto

{1030329, 1030381}@isep.ipp.pt

## Abstracto

Neste documento é descrito o sistema IMA (Integrated Motor Assist) produzido pela HONDA. Este sistema foi criado com o intuito de controlar as duas formas de energia existentes nos veículos Híbridos da HONDA, gasolina e energia eléctrica. O IMA melhora a performance a todos os níveis. Junta ainda um consumo baixo de combustível, melhores condições de condução e conforto.

## 1. Introdução

Os veículos híbridos juntam as vantagens dos veículos com motor de combustão interna e os veículos com motor eléctrico. Estes veículos estão associados a uma grande eficiência e à possibilidade de emissão zero na cidade. O sistema IMA (Integrated Motor Assist) permite uma travagem regenerativa, a conjugação das duas formas de energia existentes (motor a gasolina e motor eléctrico) e ainda a deslocação em regime citadino apenas com o motor eléctrico. Este trabalho recaiu sobretudo em cima da versão Civic Hybrid 2006 tendo contudo informações mais gerais dos sistemas mencionados.

## 2. Sistemas constituintes do IMA

O sistema IMA criado pela HONDA é constituído por:

- Motor a gasolina 3 Stage i-VTEC
- Motor Eléctrico
- IPU (Unidade Inteligente)
- CVT (Continuous Variable Transmission)
- Sistema de Travagem Regenerativa

O sistema IMA do Honda Civic Hybrid 2006, é baseado no sistema usado no Civic Hybrid de 2003, tendo sido apenas introduzidas outras tecnologias de ponta.

Na parte da frente de um sistema IMA, está o *powertrain*, enquanto que na parte detrás do veículo, estão a IPU (Intelligent Power Unit), a unidade de controlo de potência, e o sistema de refrigeração. Para ligar a parte da frente com a detrás, está um cabo de potência em alumínio.

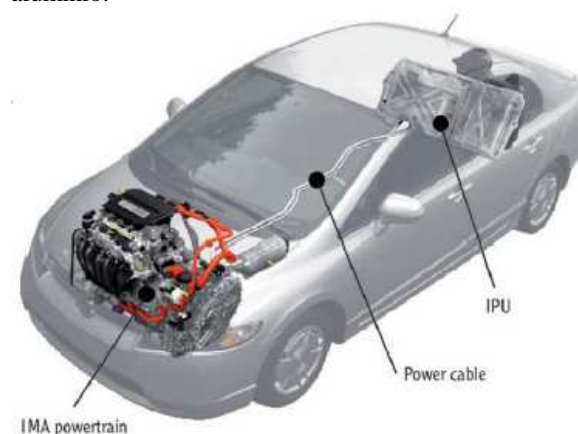


Figura 1: Configuração do sistema IMA

Este sistema usa o motor eléctrico montado entre o motor e o CVT (Continuously Variable Transmission), para este actuar como motor de arranque, como motor assistente de tração e como equilibrador do motor [1].



Figura 2: Powertrain do sistema IMA

O motor 3-Stage i-VTEC, foi desenvolvido com o objectivo de obter uma diminuição no uso dos combustíveis, e um aumento de potência na aceleração do motor.

Para reduzir o consumo de combustível, foi diminuída a fricção no motor com o intuito de aproveitar melhor a energia da desaceleração. Assim, mediante certas condições, o veículo pode ser alimentado apenas pelo motor eléctrico.

O motor no qual este novo motor foi baseado, o 1.3l SOHC i-DSI, tem um sistema de VCM ( *Variable Cylinder Management* ) que é capaz de desactivar as válvulas num cilindro. No VTEC, é usado um mecanismo de desactivação de válvulas, que em vez de usar 3 cilindros, usa 4. Esta mudança, resulta numa diminuição da bombagem, reduzindo-se assim a fricção no motor.

O mecanismo que deu origem ao nome VTEC, para além do mecanismo de desactivação de cilindros, é capaz de mudar os perfis da came (*cam*) quer a velocidades baixas quer a velocidades altas. Entre as altas e as baixas velocidades do motor, este mecanismo, muda o ângulo de operação do eixo de cames e a posição de elevação da válvula. Assim, consegue-se aumentar a potência na saída a uma alta velocidade, através de um grande ângulo de operação e de uma grande admissão na válvula. Para mudar entre os 3 modos de operação das válvulas (altas velocidades, baixas velocidades, desactivação de válvulas), são usadas três passagens de óleo. Como resultado disso, teve de ser introduzida uma válvula carretel ( *Spool valve* ) no sistema.

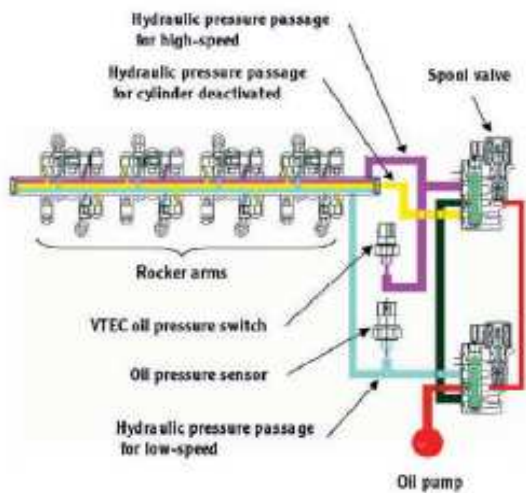


Figura 3: O sistema 3-stage i-VTEC

## 2.1 Motor Assist System

O controlo do IMA é baseado numa estratégia de controlo e gestão do binário, que foi desenvolvida para o Honda

Accord Hybrid 2005. Agora, o controlo do IMA, inclui novos modos de condução que usam o modo de operação das válvulas do motor 3-stage i-VTEC. A figura seguinte mostra os 8 modos de operação do veículo, dos quais 3 são novos (modos 4, 6 e 8).

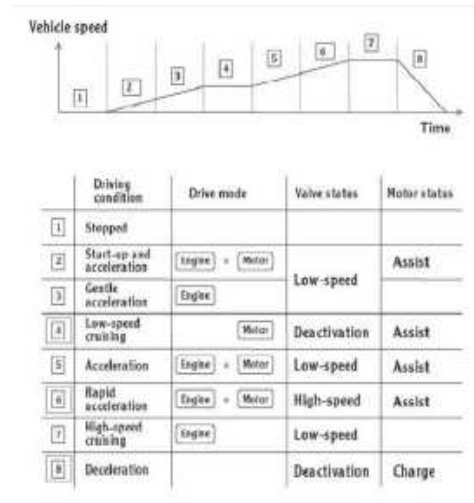


Figura 4: Transições de modo de condução

Quando a condução é feita a uma velocidade constante e baixa (modo 4), o veículo é alimentado apenas pelo motor eléctrico. Assim, neste modo de operação, os quatro cilindros são desactivados para reduzir a fricção no motor, e é cortado o abastecimento de combustível aos cilindros. Com estas medidas, é conseguida uma redução efectiva do consumo de combustível. No entanto, vários parâmetros são usados para se poder dar a mudança para este modo. A pressão hidráulica e a velocidade do motor são usadas para confirmar a existência de uma pressão hidráulica suficiente para controlar/regular as operações nas válvulas. A temperatura no refrigerador, é usada para estimar a fricção no motor, de maneira a se poder minimizar as flutuações no binário durante a troca de modo de operação. Também antes da mudança para o modo de exclusividade de operação do motor eléctrico, é feita uma avaliação do nível da bateria, e da velocidade do motor (saber se este vai a uma velocidade baixa com aceleração constante).

A alta velocidades, quando a velocidade do motor ultrapassa as 4600 rpm (modo 6), o motor muda para um modo de operação das válvulas específico para altas velocidades, onde gera altos níveis de potência. Esta potência, ajudada pelo motor eléctrico, permite a obtenção de uma aceleração poderosa.

Durante a desaceleração (modo 8), é, mais uma vez, usada a desactivação dos 4 cilindros. Esta desactivação, permite que a energia da pequena fricção do motor seja capturada, como energia regenerada adicional [2].

## 2.2 Controlo do sistema cooperante de travagem regenerativa

Para aumentar a quantidade de energia regenerada, foi criado um novo sistema de travagem. A energia de desaceleração, é agora gerada de acordo com a pressão exercida no pedal do travão (antigamente o valor regenerado era fixo). O Honda Accord Hybrid de 2005, inclui um sensor hidráulico de pressão que torna possível o uso de toda a pressão exercida no travão pelo condutor, permitindo assim um aumento no binário regenerado.

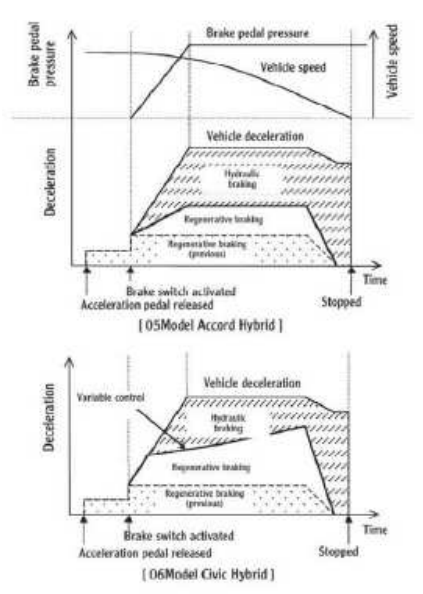


Figura 5: Controlo variável do sistema de travagem

Assim sendo, para aumentar a regeneração de energia em relação ao Honda Accord Hybrid de 2005, continua a ser usado o sistema hidráulico de pressão durante a desaceleração, mas o valor do binário regenerado, varia consoante o valor da velocidade e da condição da bateria (*variable control system*).

## 2.3 CVT

O CVT expande a escala de ralação (*ratio range*) e aumenta a relação na engrenagem final (*gear ratio*) para aumentar a poupança de combustível. Para lidar com um elevado binário e aumentar a escala de relação (*ratio range*), foi aumentado o diâmetro da polia e a distância entre os eixos da polia também foi aumentada de 143 mm para 156 mm. Com a redução da pressão hidráulica na braçadeira da polia, foi conseguido um aumento na eficiência na transmissão.

Para aumentar o binário transmitido, foi acrescentado um disco de embraiagem, passando assim dos convencionais quatro discos, para cinco.

## 2.4 Motor Eléctrico

A potência deste motor eléctrico foi aumentada para melhorar o modo de condução no qual apenas este motor trabalha. Por isso, passou a ser usado um rotor de ímã permanente interior (*IPM-type*), com ímanes com densidade de fluxo elevada. Já o estator, apresenta uma estrutura bobinada com fio liso (*flat wire*) e com um factor de espaço elevado.

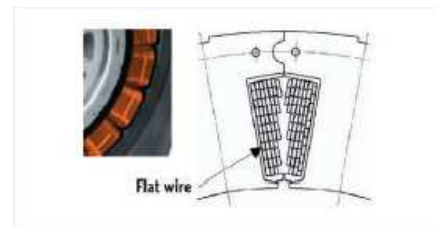


Figura 6: Estrutura da bobina flat wire

Com estas mudanças, o binário máximo regenerado aumentou 14%, e a potência de saída 50%.

		Previous	New
Assist	Max. power (kW)	10	15
	Max. torque (Nm)	49	103
Regeneration	Max. power (kW)	12.6	15.5
	Max. torque (Nm)	108	123

Figura 7: Comparação das especificações do motor eléctrico

## 2.5 Bateria

A potência da bateria foi aumentada para se poder ter um melhoramento na performance do motor. No entanto, para aumentar a potência de regeneração e de assistência, a estrutura colectora foi modificada e teve que haver um aumento de tensão. Para tal, o número de células de bateria foi aumentado e houve uma redução da resistência em cada célula. O bloco de bateria, armazena a electricidade num banco de pilhas *Nickel Metal-Hydride*, que é o mesmo usado no modelo anterior.

Os eléctrodos foram alongados e o electrólito foi modificado, reduzindo assim a resistência interna em cerca de 36% e aumentando a densidade de potência em cerca de 25% (este aumento não inclui o aumento do número de células de bateria).

Com um aumento de 120 células de 1.2-Volt para 132, há uma passagem de 144Volts para 155Volts de energia eléctrica armazenada. Assim, a potência de saída é aumentada em 40%.

	Previous	New
Capacity (Ah)	6.0	5.5
Cell voltage (V)	1.2	1.2
Cell internal resistance (m <sup>2</sup> )	3.27	2.1
Cell weight (kg)	0.164	0.166
Number of cells	120	132
Battery pack voltage (V)	144	158.4
Assist power (kW)	11.5	16.1
Regeneration power (kW)	10.6	13.3

Figura 8: Comparação das especificações da bateria

O uso de uma nova embalagem da Panasonic com módulo duplo, reduz o peso relativamente à bateria anterior, e também permite um aumento da eficiência do fluxo eléctrico.

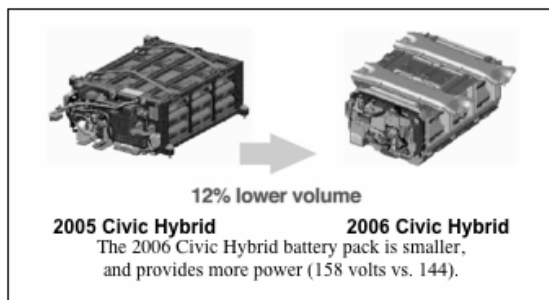


Figura 9: Comparação da estrutura das baterias

A unidade refrigeradora integrada (*Integrated Cooling Unit*) desloca o calor gerado pelo fluxo constante de electricidade, de e para o bloco de bateria, através de um sistema refrigerador integrado, montado directamente na caixa exterior do bloco de bateria. O ar da cabine interior, flui continuamente sobre o bloco de bateria e é recirculado através de um pequeno respiradouro colocado junto ao assento traseiro [4].

## 2.6 Poupança de combustível e performance de condução

Para provar os melhoramentos referentes as estes dois campos importantes, consultemos as seguintes figuras.

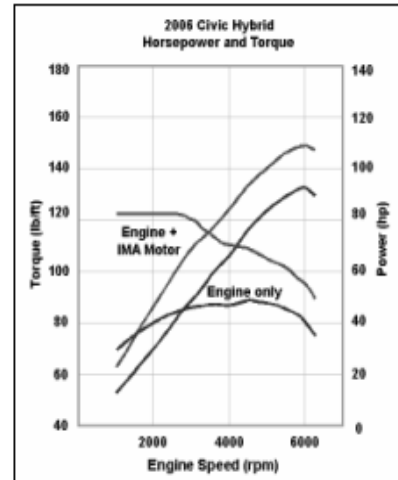


Figura 10: Comparação da performance dos motores

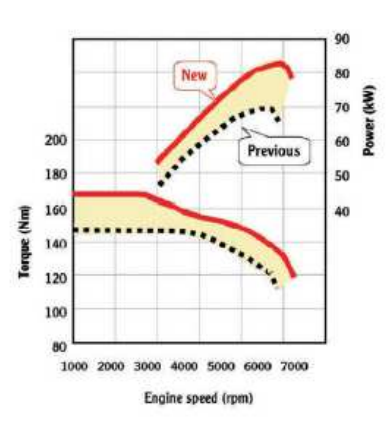


Figura 11: Comparação da performance de saída

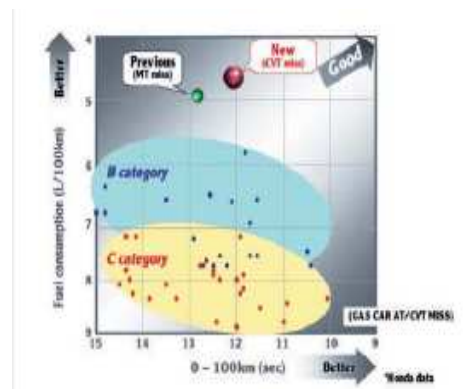


Figura 12: Tempo de aceleração dos 0-100km/h vs economia de combustível

### 3 Motor a Gasolina 3 Stage i-VTEC

#### 3 – Stage i – VTEC Engine Technology

Como meio de obter mais potência, foi criado o motor 1.3 litros 3 Stage i-VTEC<sup>1</sup> VCM, em que uma das preocupações foi obter uma fricção reduzida e uma eficiência melhorada, conseguir obter baixas emissões e baixos consumos de combustível. Este motor foi criado tendo em vista o Civic Hybrid 2006.



Figura 13: Motor 3 Stage i-VTEC

A tecnologia V-TEC é um sistema electrónico de controlo dos tempos das válvulas para motores de combustão interna a 4 tempos desenvolvido pela Honda. Este sistema é uma forma de tentar aproveitar a alta performance das altas rotações e a estabilidade das baixas rotações. Isto é feito usando dois lóbulos de came para cada válvula: um é utilizado para RPM baixas com alta estabilidade e economia de combustível, o outro é usado para altas rotações para aumentar o desempenho do motor. Esta troca de estado é feita e controlada pela Unidade Inteligente que tem em conta a pressão do óleo, temperatura do motor, etc.

A tecnologia VTEC evoluiu de forma a permitir 3 estágios de funcionamento com variação dos *timings* das válvulas a baixas e altas velocidades e ainda permite desligar os 4 cilindros.

Com o aumento de potência do motor e uma eficiente CVT (*Continuous Variable Transmission*) permite obter uma performance melhor com um consumo de 31 km por cada litro.

Com o desenvolvimento do novo sistema IMA, foram colocados como principais objectivos:

1. Economia de Combustível
2. Aceleração dos 0 - 100 km/h em 12 segundos
3. Obter uma emissão de gases de 75 % dos *standards* de emissão
4. Resposta mais rápida e equivalente aos veículos movidos a Gasolina

No novo motor, o diâmetro da Admissão e das válvulas de escape aumentou, e a forma da admissão e do escape foram optimizados. Além disto, usou-se um colecter de admissão com grande diâmetro. Estas alterações resultaram num aumento de performance de 11% na potência desenvolvida. De forma a reduzir a fricção, foram tomadas algumas acções, tais como:

- 4.1. Integração do colecter de escape
- 4.2. Integração da cabeça do cilindro

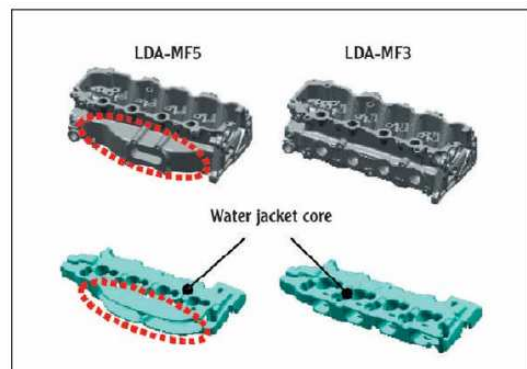


Figura 14: Cabeça do Motor e Colector

O motor V-TEC VCM permite ainda permutar entre altas e baixas rotações e ainda desactivar válvulas, de forma a balançar entre 2 estados: potência e economia. O modo de actuação das válvulas é feito através da pressão do óleo.

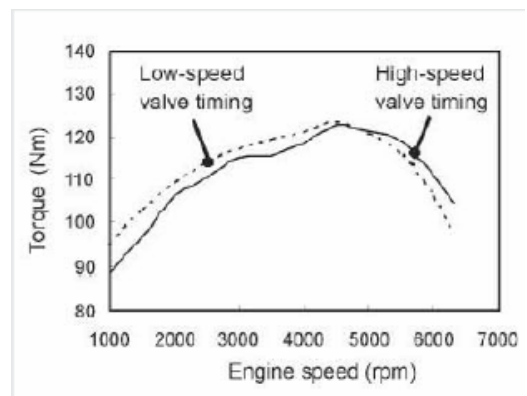


Figura 15: Efeito do uso de tempos variáveis nas válvulas

As integrações referidas acima, permitem que o novo motor desenvolva mais potência. Através do gráfico apresentado a seguir, podemos observar que conseguimos obter um incremento muito significativo até às 3000 rpm.

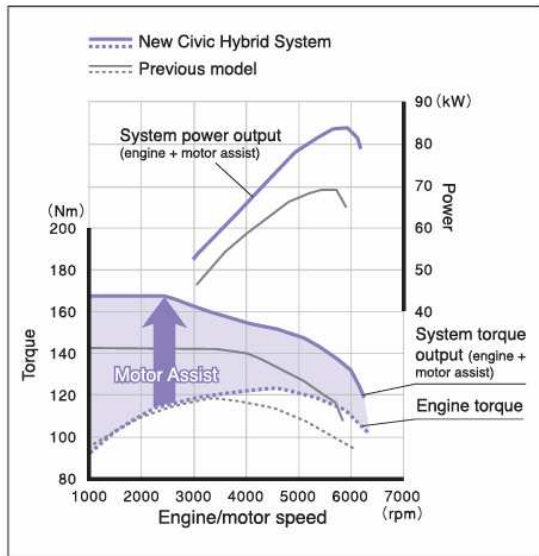


Figura 16: Output Performance do sistema IMA

Para cada cilindro temos 5 *rocker arms* (3 no lado da admissão e 2 no lado de escape, como é observável na figura abaixo). Da mesma forma que a pressão do óleo é usada para controlar a desactivação dos cilindros, também é usada para controlar a troca entre o estado de baixas rotações e altas rotações.

Na figura abaixo, na alínea a) podemos observar o estado dos *rocker arms* a baixas rotações. Na alínea b) podemos observar o estado a altas rotações. Na alínea c) podemos observar o seu comportamento quando desactivámos um cilindro.

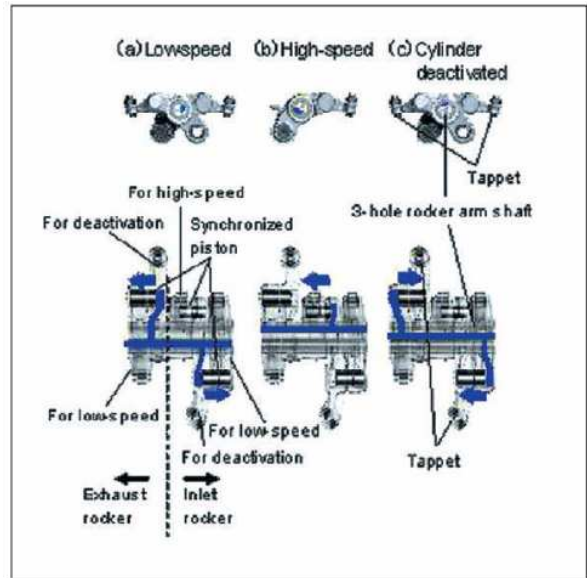


Figura 18: 3 Stage i-Vtec Rocker Arm

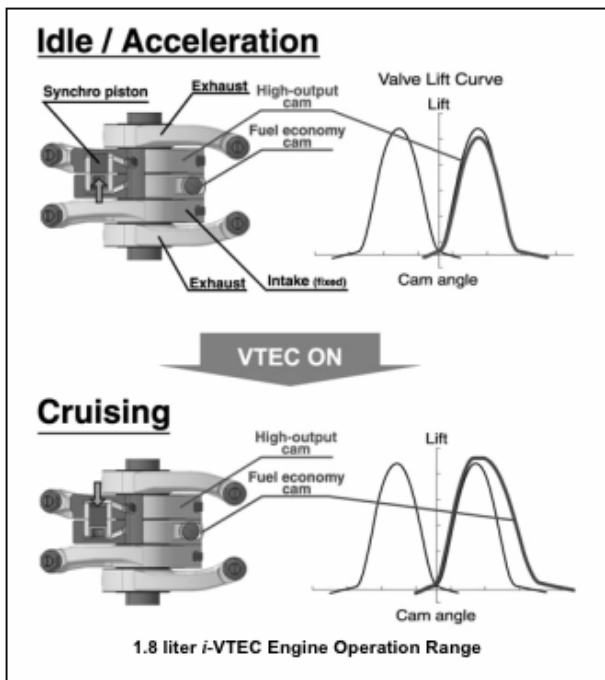


Figura 17: Disposição dos Rocker Arms no VTEC

Na figura seguinte podemos observar como o óleo controla a mudança de estados.

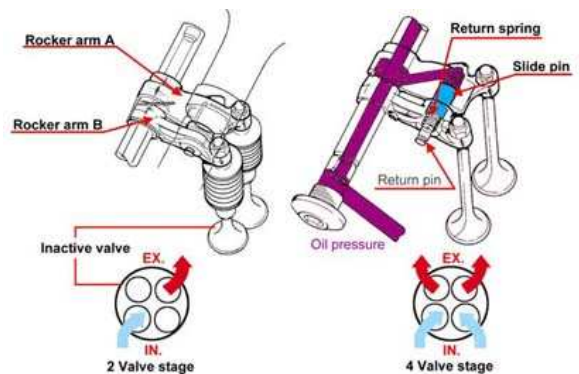


Figura 19: Actuação por pressão de óleo

## Estados de Funcionamento

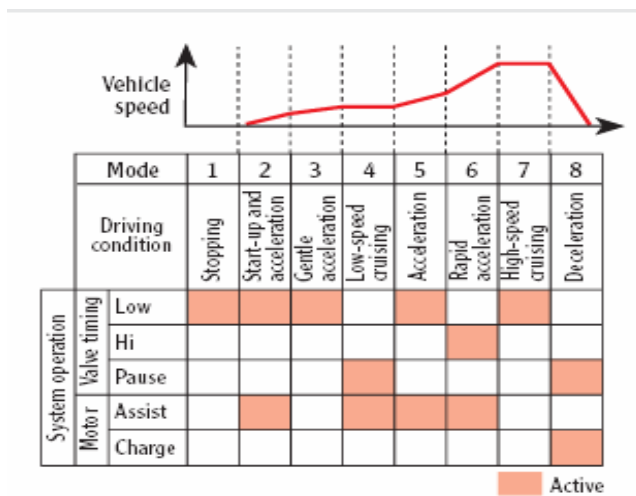


Figura 20: Estados de Funcionamento

## 4 Motor Eléctrico

Como era importante que o tamanho e o peso do motor não fossem aumentados, e que por outro lado o seu binário e eficiência crescessem, a constante do binário do motor foi aumentada (mas o valor máximo de binário não). Além disso, mudando a estrutura do rotor, da tradicional *Surface Permanent Magnet* (SPM) para uma IPM ( íman permanente), a indutância do circuito magnético foi aumentada. Desse modo, o aumento da corrente de enfraquecimento do fluxo quando o motor está a altas velocidades e acompanhado por um aumento constante de binário foi minimizado.

Para aumentar a constante de binário, foi usado um íman raro, de alta performance e com grande densidade de fluxo residual. No estator, para aumentar a constante de binário e para reduzir as perdas, foi introduzida uma bobina de fio liso (*flat wire coil*). Assim, e com um aumento do factor de espaço (space factor), o número de voltas é aumentado e a resistência reduzida.

Para melhorar a eficiência deste motor a baixas velocidades, o sensor de rotação foi alterado para um que é capaz de aplicar controlo vector (o sensor usado é um resolver ). Com a introdução deste *resolver*, também se conseguiu uma redução no peso do motor eléctrico (resolver é mais leve que o sensor anterior). A introdução de uma nova forma para o motor (*yoke shape*), permitiu que a força de sustentação do íman seja mantida e aumentar a constante de binário em aproximadamente 10% [3].

Aim	Increased power		Smaller, lighter
	Higher torque Higher torque constant	Efficiency increase Loss reduction	
Element			
Rotor	IPM rotor structure *2 Higher performance magnet	Flux weakening Current reduction	
Stator	Flat wire coil structure *1 Increased number of turns Increased space factor		
Other	Resolver sensor *3 Appropriate current wave form		Diameter Bus ring *2 Integrated connector *3

\*1: Technology newly developed  
\*2: Technology applied to Accord and further improved  
\*3: Technology applied to Accord motor

Figura 21: Sumário dos componentes tecnológicos

### 4.1 Estrutura IPM

Como já foi dito anteriormente, foi usado um rotor IPM (íman interior permanente), com o objectivo de aumentar a indutância do circuito magnético. Em comparação com o motor do Accord, este motor tem uma velocidade máxima que é 8% menor a 500rpm, um raio de rotação do íman que é 29% menor e, um peso do íman por pólo e por unidade de comprimento de eixo 31% maior. A estrutura IPM não tem ímanes separados para cada pólo, porque assim a força centrífuga no íman é 20% menor.

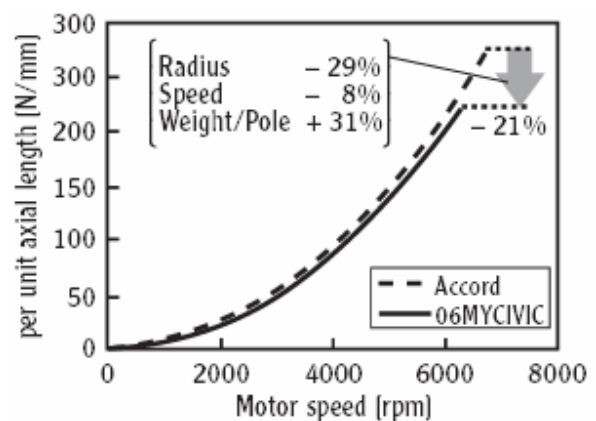


Figura 22: Força centrífuga no íman

Esta estrutura é também usada para evitar curto circuitar o fluxo magnético resultante das *reinforcement ribs* (ver imagem 24) e para reduzir o número de partes constituintes deste motor.

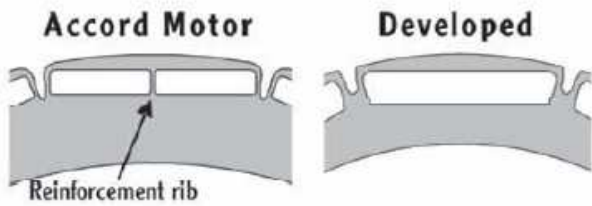


Figura 23: Rotor

Mais do que apontar para o aumento do binário relutante e para um aumento da eficiência a altas velocidades, o desenvolvimento deste motor, focou-se no aumento da constante de binário através do fluxo magnético gerado pelo íman, e assim aumentar a eficiência a baixas velocidades.

#### 4.2 Imán de Alta Performance

A forma do íman é agora paralelipipédica e não semi-cilíndrica. Para conseguir uma constante de binário maior, sem mexer no comprimento, largura e grossura do íman, teve de ser usado um íman de alta performance. É usado um íman Nd-Fe-B, que é raro, e que tem uma densidade de fluxo residual 9% superior ao íman anteriormente usado.

#### 4.3 Redução da corrente de Enfraquecimento do Fluxo

A constante de binário é aumentada 14%, mas a constante da tensão induzida é praticamente a mesma que no motor anterior da Honda. Contudo, duplicando o valor da indutância, é possível diminuir a corrente de enfraquecimento do fluxo necessária a altas velocidades. Assim, a 6000 rpm há uma redução de 170 W de perdas no cobre.

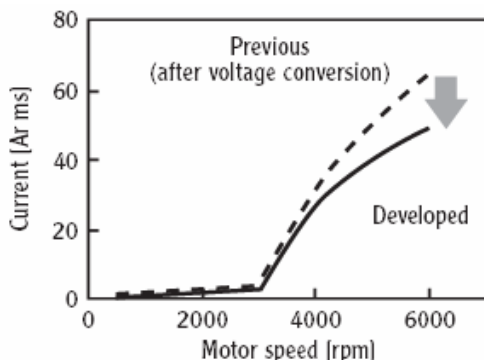


Figura 24: Corrente de enfraquecimento do fluxo

De salientar que, para a maioria dos motores, quando a constante de binário é aumentada, normalmente, o binário

e a eficiência são melhoradas a baixas velocidades, mas, pioradas a altas velocidades. Com este motor, ambas performances são melhoradas.

#### O resultado das modificações

Mesmo com as mudanças anteriormente descritas, o motor eléctrico continua com o mesmo peso e o mesmo tamanho. Também o valor máximo de corrente na fase é o mesmo, sendo agora possível gerar 123 Nm de binário (ver figura 26). Além disso, no modo assistido, usando o binário máximo aí possível (103 Nm), há uma redução de 15% de corrente na fase, o que permite uma redução de 30% nas perdas no cobre.

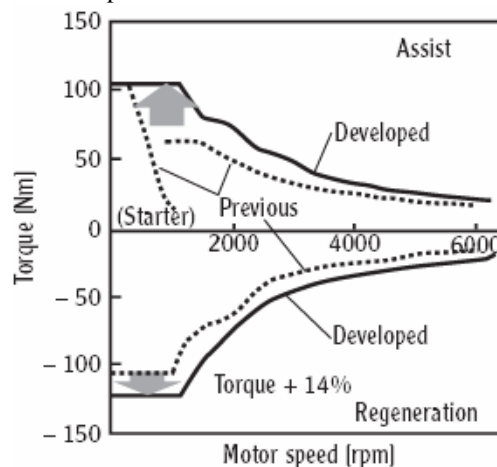


Figura 25: Performance do motor

Como se pode ver, foi conseguido um aumento do valor do binário máximo, para o modo assistido e para o modo de regeneração, quer para altas quer para baixas velocidades (nota: no modo assistido e a baixas velocidades, o valor não é de facto aumentado, é igualado). Combinando este motor eléctrico com a nova *power source unit* e com um aumento da tensão devido ao uso de mais módulos de bateria (já anteriormente referido), são produzidos 15kW as 2000 rpm no modo assistido, e 15.5kW entre as 1500 e as 2000 rpm no modo regenerativo (mostra que foi realmente conseguido um aumento no valor máximo potência). Também a eficiência foi melhorada como se pode ver na imagem 29. Nesta imagem, pode-se ver que a área correspondente a uma eficiência igual ou melhor que 93% é maior.



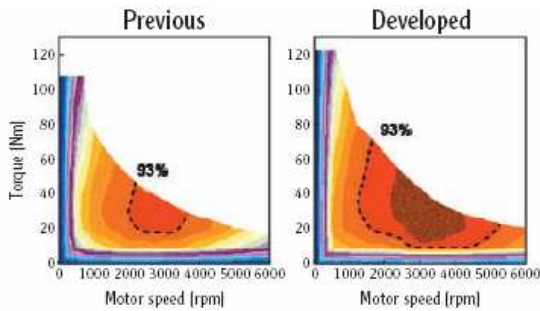


Figura 26: Comparação da eficiência do motor

Por fim, refira-se também que, com estas mudanças, é conseguido uma poupança de combustível.

## 5 IPU (Unidade Inteligente)

Os novos desenvolvimentos referentes ao menor consumo e recuperação de energia obrigaram a aumentar o output da IPU e a adicionar novos componentes. Ao mesmo tempo, o tamanho da IPU teve que ser compactado de forma a não afectar o volume do interior. Os objectivos do desenvolvimento foram:

- 1) Aumento do *output* Máximo em 17%
- 2) Volume foi reduzido em 13%

### 5.1 Power Control Unit

O PCU consiste num IMA inversor (inversor do sistema do ar condicionado), num Conversor DC-DC 12V e numa ECU (Electronic Control Unit).

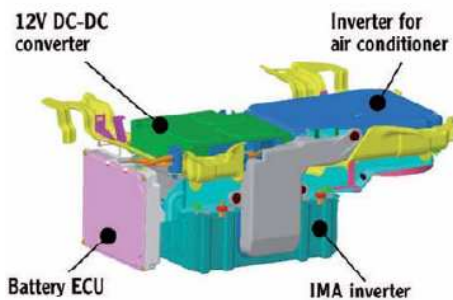


Figura 27: PCU

Com o aumento do *output* da IPU, a corrente do inversor IMA foi incrementada em 6%. Conseguiu-se diminuir o inversor IMA em 47% enquanto que se adicionou sensores de corrente.

Também se conseguiu diminuir o tamanho conversor DC-DC e simultaneamente aumentar o seu *output* em 20%.

## 5.2 IMA Inverter

No novo inversor IMA, a resistência térmica dos módulos de potência foram reduzidos, o condensador foi reduzido e integrou-se os sensores de corrente.

## 5.3 DC-DC Converter

No novo conversor DC-DC são usadas 2 altas-frequências. Ao usar maiores frequências conseguiu-se diminuir o tamanho de indutores. Antes era usada uma frequência de 70 kHz. Agora temos a possibilidade de usar 90 kHz e 115 kHz

Os circuitos analógicos foram convertidos em circuitos integrados controlados por sinais digitais permitindo a diminuição do volume.

## 6 CVT (Continuous Variable Transmission)

O CVT consiste em ter uma transmissão automática que consegue obter infinitas possibilidades de desmultiplicação entre um valor máximo e um mínimo. Este tipo de transmissão permite obter melhores consumos de combustível pois permite ao motor funcionar em rotações mais adequadas para a gama de velocidade. Deixámos então de ter relações pré-definidas de desmultiplicação e passamos a ter um controlo mais rigoroso das condições permitindo uma capacidade de aceleração com eficiência e baixo consumo.

O controlador da CVT permite obter uma performance na condução devido à escolha da razão de desmultiplicação em função das condições da estrada (Por exemplo: gelo) e tendo em consideração a aceleração, velocidade, Força G, etc. Isto permite curvar com mais segurança impedindo a mudança da razão quando obtém forças G laterais elevadas.

### 6.1 Funcionamento da CVT

A Honda criou a *Multimatic* que consiste num sistema controlado fisicamente pela pressão do óleo em que liga 2 polias a partir duma cinta de metal. As larguras das 2 polias são ajustadas em função da pressão do óleo. No caso de desaceleração, a largura da polia do lado do motor aumenta e simultaneamente, a largura da polia diminui. Desta forma obtemos um efeito de mudança mais baixa.

O facto da cinta de metal ser bastante flexível facilita a variação de larguras das polias sem haver derrapagem, o que provocaria uma falha na transmissão de potência.

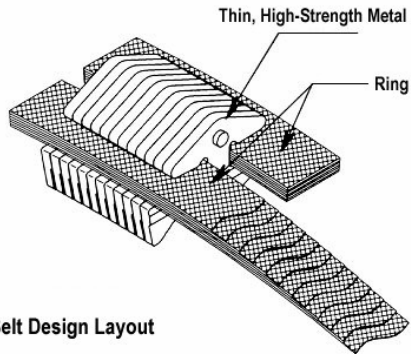


Figura 28: Cinta de Metal

O controlo da pressão do óleo é efectuada completamente pela unidade inteligente que permite ajustar em virtude das condições de condução em que se encontra.

Requer uma bomba de alta pressão de óleo, a fim de explorar as polias em ajustes óptimos. Portanto, uma bomba de óleo altamente eficiente de baixo atrito foi instalada como uma unidade separada. Isso não só aumenta a fiabilidade da transmissão, mas reduz muito as perdas e aumenta tanto a performance de condução e a economia de combustível.

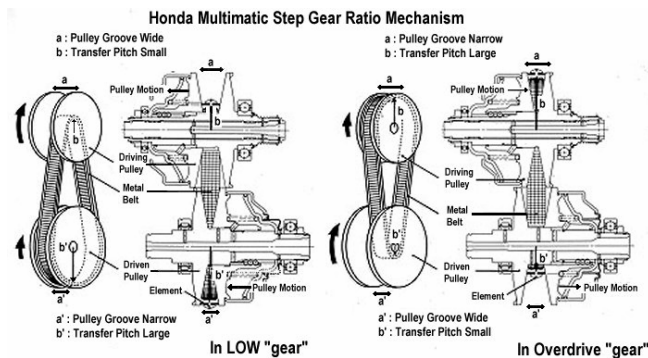


Figura 29: Configurações da Multimatic

### 6.2 Mecanismo da CVT

Esta transmissão criada pela Honda não usa um conversor de binário.

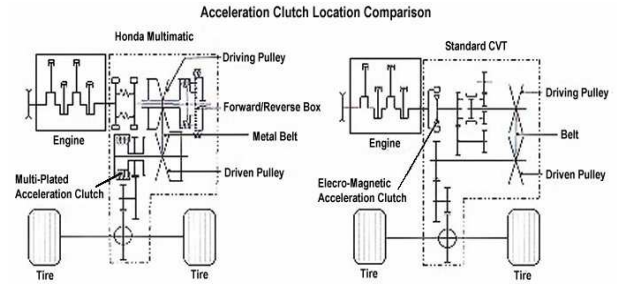


Figura 30: Alterações do CVT normal para o Multimatic

A diferença principal consiste na posição da embraiagem que está colocada do lado do veio secundário (transmite potência para as rodas). Esta mudança, é justificada pela necessidade de controlar o binário o mais perto possível do eixo, de forma a permitir uma aceleração mais suave. Isto, permite ainda controlar a velocidade em todas as condições, pois para controlar a velocidade temos que ter a polia sempre a rodar. Isto é conseguido colocando uma embraiagem na polia do veio secundário e assim a polia continua a rodar mesmo quando o carro está parado. Desta forma podemos, em caso de necessidade, obter rapidamente o efeito de mudança baixa.

O sistema de mudança de direcção (Marcha atrás) foi colocado no veio secundário tornando a transmissão compacta. Além disso, o veio de “input” é inserido no veio primário, o que permite que o número de rolamentos diminua, obtendo-se assim uma fricção reduzida.

### 6.3 Controlo da CVT

A transmissão é totalmente controlada electronicamente de forma a ter um desempenho suave e económico de combustível. Este controlo é constituído em 3 partes: Controlo da Razão de Desmultiplicação, Controlo de Aceleração e *side pressure control*.

#### 6.3.1 Controlo da Razão de Desmultiplicação

O controlo da razão de desmultiplicação é feito através dum mapa 3-D previamente construído, em que depois se mede a velocidade do carro, aceleração e as rotações do motor nos eixos. A diferença entre as rotações ideais do motor e as actuais é enviada para a unidade inteligente do veículo. São usados solenóides com característica linear para activar as válvulas que controlam a largura da polia. Existem 3 tipos de mapas 3-D que podemos escolher, modo de economia, modo normal e modo desportivo.

### 6.3.2 Controlo da Aceleração

A potência transmitida é controlada pela pressão do óleo.

### 6.3.3 Side Pressure Control

Tendo em conta os efeitos do binário nas polias e na cinta, decidiu-se aplicar uma pressão linear de forma diminuir a fricção não forçando a bomba de óleo. Esta medida permite aumentar a durabilidade da transmissão e também a eficiência.

## 7 Sistema de Travagem Regenerativa

Os veículos híbridos recapturam a energia cinética através da travagem regenerativa e armazenam esta energia como electricidade nos blocos de bateria. Assim, o motor eléctrico IMA, também age como um gerador que pode recarregar o seu bloco da bateria durante alguns modos de condução.

É necessário usar um controlo cooperativo dos travões hidráulicos e regenerativos de maneira a garantir que a força total de travagem corresponde à força de travagem solicitada/aplicada pelo condutor.

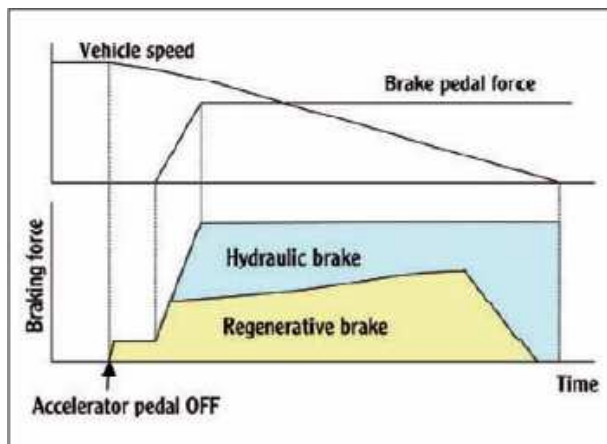


Figura 31: Controlo cooperativo dos travões hidráulicos e mecânicos

Há duas questões envolvidas com a implementação deste tipo de controlo cooperativo dos travões hidráulicos e regenerativos e que foram resolvidas com o novo sistema de travagem da Honda. A primeira questão tem a ver com um controlo muito preciso da pressão de travagem, a segunda, com a implementação de um pedal sensível ao ponto de não remover a influência no controlo da pressão da linha de travagem (*brake line pressure*).

## 7.1 Configuração do Sistema

O conceito básico do novo sistema é assegurar fiabilidade através do uso de controlo mecânico dos travões de serviço. Para tal, é usado para operar esses travões, um servo mecânico-hidráulico. O sistema tem 2 unidades, a unidade de potência e a unidade servo.

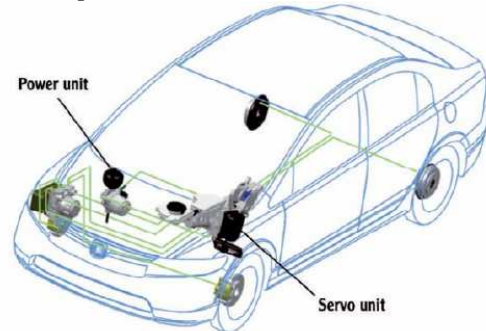


Figura 32: Configuração do sistema

A unidade servo, gera uma *brake line pressure* em resposta à operação do pedal de travagem e vai controlando a *brake line pressure* consoante o requisitado. A unidade de potência, funciona como fonte de potência da unidade servo

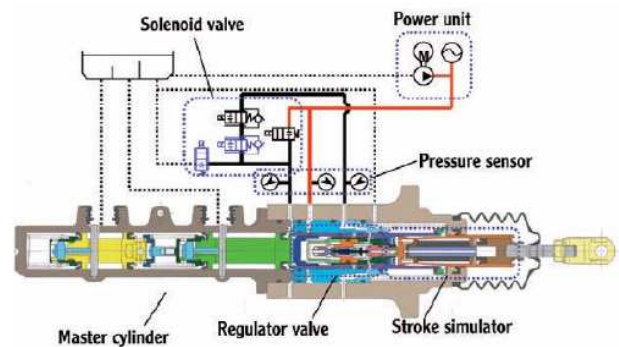


Figura 33: Estrutura da unidade servo

Na imagem acima, é possível verificar que o controlo mecânico dos travões de serviço, é feito através de três unidades: *Stroke Simulator*, válvula reguladora (*Regulator valve*) e o cilindro mestre (*Master cylinder*).

Já na figura 35, podemos ver que a unidade de potência contém uma bomba hidráulica com um pistão radial de 3 cilindros e que é conduzida por um motor eléctrico.

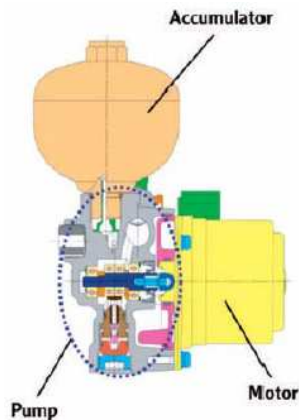


Figura 34: Estrutura da unidade de potência

A pressão gerada pela bomba hidráulica é armazenada no acumulador.

Este novo sistema regenerativo de travagem, tem a capacidade de inteligentemente proporcionar “potência” de travagem entre os travões hidráulicos e o motor eléctrico, para extrair ainda mais energia eléctrica da energia cinética do veículo.

Ao travar, um sensor do pedal de travagem emite um sinal ao computador do veículo (IPU). O computador activa a unidade servo no cilindro mestre do sistema de travagem, que proporciona poder de travagem entre os travões hidráulicos tradicionais e o motor eléctrico para maximizar a regeneração [4].

## 7.2 Controlo Cooperativo

A distribuição da força de travagem entre a travagem regenerativa e a hidráulica é definida de modo a permitir que as travagens regenerativas sejam usadas o mais possível, ou seja, até se atingir o limite da capacidade de gerar binário do motor híbrido para certas condições de condução. O alvo de controlo para a *brake line pressure* é determinado através da subtracção da pressão correspondente ao binário regenerado, à pressão no regulador. A pressão no regulador corresponde à força de travagem “requisitada” pelo condutor. O controlo feedback da pressão da válvula solenoide, é implementado de forma que a pressão na câmara de potência possa seguir esta potência alvo. O controlo da *brake line pressure*, isola a saída do regulador através da válvula solenoide normalmente aberta, e baixa a pressão na câmara de potência através da válvula solenoide normalmente fechada. Se este controlo da câmara de potência não consegue atingir a pressão alvo, a força de travagem “requisitada” pelo condutor não é produzida.

Um ajuste fino dos parâmetros de controlo de cada válvula solenoide, resultou num controlo da pressão altamente estável, e com óptima resposta.

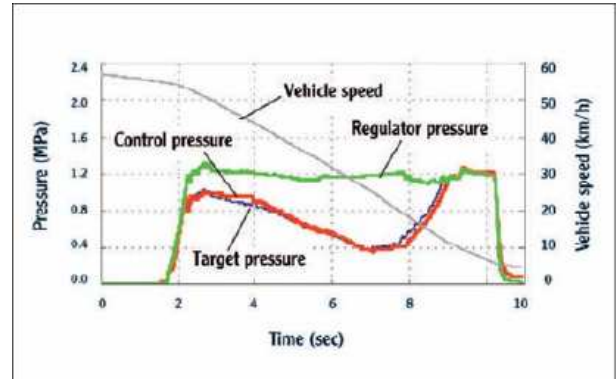


Figura 35: Pressão de travagem durante o controlo cooperativo

Na figura anterior podemos ver a pressão da travagem durante o controlo cooperativo dos travões regenerativos e hidráulicos. Como se pode ver, a pressão de controlo alvo aumenta e diminui, consoante as mudanças no binário que pode ser regenerado. Nesta figura também é visível, que a pressão na câmara de potência (que é a pressão de controlo), é capaz de seguir com precisão a pressão alvo.

## 8 References

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated\\_Motor\\_Assist](http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_Motor_Assist)
- [2] [http://www.treehugger.com/files/2005/07/information\\_abo.php](http://www.treehugger.com/files/2005/07/information_abo.php)
- [3] <http://corporate.honda.com/press/article.aspx?id=2005083041801>
- [4] <http://www.hondanews.com/categories/957/releases/2781>
- [5] <http://asia.vtec.net/article/mmt/>
- [6] <http://corporate.honda.com/press/article.aspx?id=2005083043340>
- [7] <http://www.insightcentral.net/encyclopedia/enima/components.html>
- [8] [www.auto-technology.com](http://www.auto-technology.com)
- [9] <http://www.fisita.com/publications/autotechnology/special/honda>
- [10] <http://auto.howstuffworks.com/cvt2.htm>
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/VTEC>
- [12] [http://en.wikipedia.org/wiki/Manifold\\_\(automotive\\_engineering\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Manifold_(automotive_engineering))