

BOSCH REXROTH LTDA

The Drive and Control Company

ANÁLISE DE ECONOMIA DE ENERGIA EM MÁQUINAS INJETORAS DE  
PLÁSTICO APLICANDO-SE SERVOACIONAMENTO E BOMBA  
HIDRÁULICA DE ENGRENAMENTO INTERNO

Autor

LEONARDO FALCÃO MACEDO LIMA

São Paulo

2013

**Abstract** – Demonstrate through the case study of a real application the possibility to increase the energy efficiency of a Plastic Injection Molding Machine using drives with variable speed pump. With the electronic control of the servo drive, the system will supply to the hydraulic system, only the power required/demanded at each step of the injection process. Thus, depending upon the machinery cycle, and especially the cooling time of the molded part, it is possible to obtain a reduction in power consumption of the hydraulic system up to 60%

**Keywords:** Servo drive, efficiency, cycle and controls.

**Resumo** – Demonstrar através do estudo de caso de uma aplicação real a possibilidade de ganho de eficiência energética em máquinas de injeção de plástico “Injetoras” aplicando-se um conjunto motriz composto de servoacionamento e bomba hidráulica de engrenamento interno. Através do controle eletrônico do servoacionamento, o sistema disponibilizará, ao sistema hidráulico, somente a energia necessária/demandada em cada fase do processo de injeção. Desta forma, dependendo do ciclo da máquina, principalmente do tempo de resfriamento da peça injetada, existe a possibilidade de redução no consumo de energia elétrica do sistema hidráulico da injetora da ordem de até 60%.

**Palavras chave:** Servoacionamento, eficiência, ciclo e controle.

## Sumário

1.	Introdução .....	1
2.	Objetivo.....	2
3.	Objeto de Análise .....	3
3.1	A Máquina Injetora e o Ciclo de Injeção.....	3
4.	Hipóteses para Redução do Consumo de Energia .....	7
4.1	Utilização de Elementos Eficientes.....	7
4.2	Fornecimento de energia sob demanda .....	8
5.	testes realizados .....	9
6.	Resultados Encontrados .....	10
7.	Conclusão.....	10
8.	Referências Bibliográficas .....	11

## 1. INTRODUÇÃO

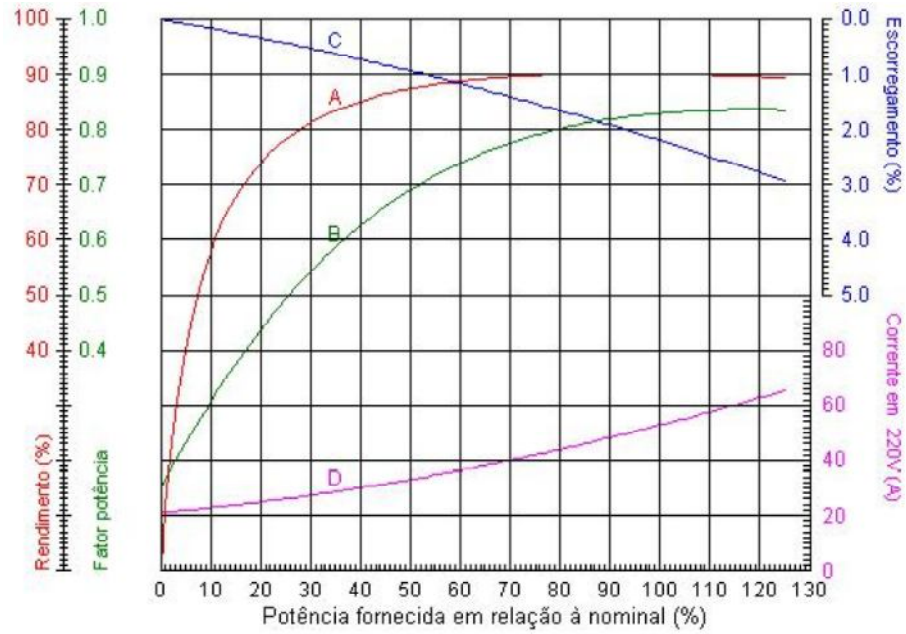
Um dos temas mais em voga atualmente, a melhoria da eficiência energética nos processos de produção é pautada no aumento constante do consumo contra a dificuldade na geração de energia para sustentá-lo. De acordo com Garcia (2003, p14) os “motores elétricos, que consomem um terço da eletricidade ofertada no Brasil, devem ser um foco importante neste esforço. Por isso, foram o primeiro alvo da Lei de Eficiência Energética.” Se restringirmos nossa análise ao setor Industrial, essa participação chega a 50%.

**Tabela 1 - Participação dos motores no consumo de eletricidade do Brasil**

<b>Energia consumida em 2001 [GWh]</b>	<b>Total</b>	<b>Participação dos motores</b>	
SETOR ENERGÉTICO	10.979	30%	3.294
RESIDENCIAL	73.770	40%	29.508
COMERCIAL	44.517	40%	17.807
PÚBLICO	28.452	40%	11.381
AGROPECUÁRIO	13.171	20%	2.634
TRANSPORTES	1.257	0%	-
INDUSTRIAL	137.774	50%	68.887
CONSUMO TOTAL	309.920		133.511
			43%

Fonte: GARCIA, A. G. P. – Impacto da Lei de Eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria – 2003, 139p. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) – UFRJ, Rio de Janeiro

O motor de indução, trifásico, rotor em gaiola de esquilo representa 75% dos motores existentes no Brasil (AMERICO, 2003). Uma das principais causas de baixa eficiência em aplicações deste tipo de acionamento é o sobredimensionamento. Ao analisar a Figura 1 – Curvas de desempenho de um motor elétrico, percebe-se que acima de 50% de sua carga nominal, os motores apresentam rendimentos entre 85% e 95%, porém abaixo de o mesmo se degenera rapidamente chegando a menos de 70% abaixo de 20% da carga nominal. Em aplicações em regime de carga variável isto pode resultar em uma perda na eficiência total.



**Figura 1 - Curvas de desempenho de um motor**

Fonte: Catálogo WEG. Disponível em [www.weg.net](http://www.weg.net). Acesso em Fevereiro 2013

## 2. OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo de analisar a redução do consumo de energia, e analisar o impacto da utilização de servomotores síncronos com variação de velocidade através de inversores de frequência vetorial em uma máquina injetora de plástico com força de fechamento de 70 toneladas.

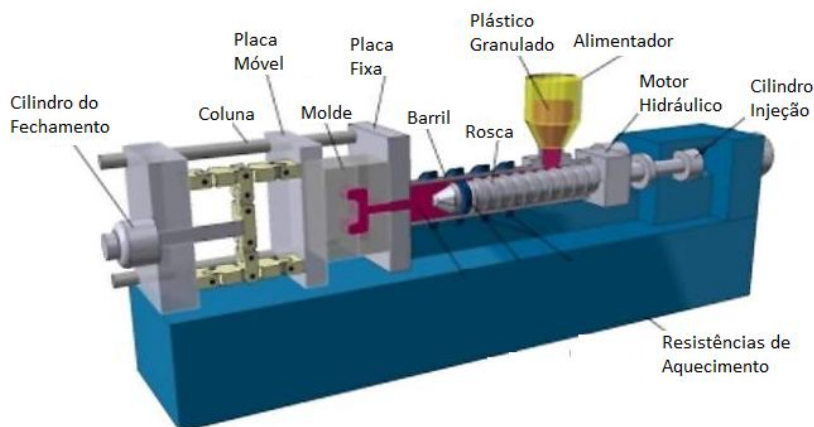
### 3. OBJETO DE ANÁLISE

#### 3.1 A Máquina Injetora e o Ciclo de Injeção

O objeto de estudo deste trabalho será a máquina injetora de plástico, e o primeiro passo é entender seu conceito, composição, distribuição do consumo de energia e o ciclo de operação. A partir daí é possível buscar pontos de melhoria de desempenho.

O processo de injeção consiste em derreter material termoplástico a fim de que ele seja moldado em formatos complexos e arbitrários (AMBS & FREKER). A maioria das injetoras utiliza sistemas hidráulicos sofisticados para realizar o trabalho. A vazão e pressão necessárias variam durante o ciclo e em muitos casos o excesso de fluido retorna ao reservatório, o que gera calor e demanda mais energia para o resfriamento.

##### 3.1.1 Composição



**Figura 2 - Representação Gráfica de uma Máquina Injetora**

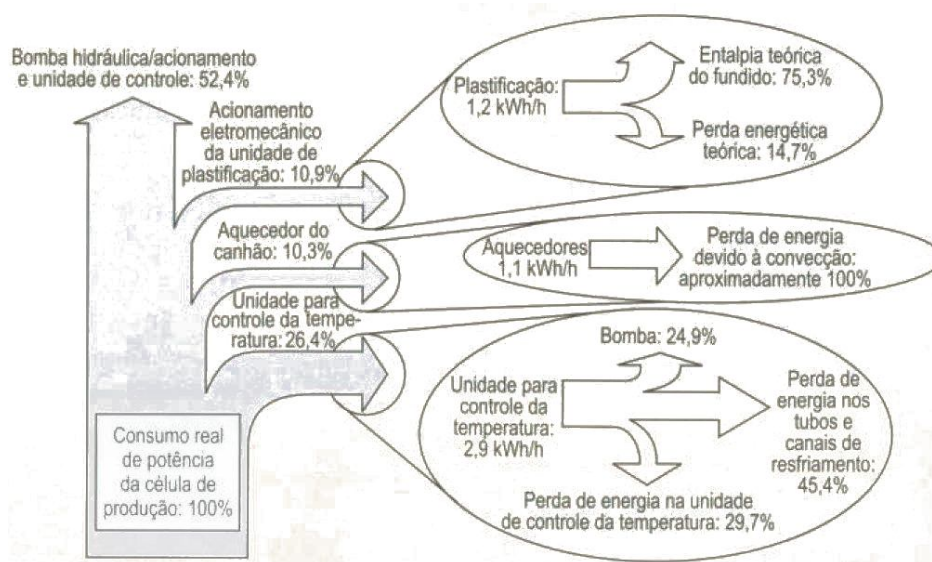
Fonte: Google Images, disponível em [www.google.com.br](http://www.google.com.br). Acesso em Fevereiro 2013

A injetora pode ser dividida em duas partes, à esquerda fica o Sistema do Fechamento, composto pelo cilindro de fechamento, que movimenta a placa móvel, normalmente orientada sobre as colunas, em direção à placa fixa. É neste lado que o molde é fixado e onde a peça estará disponível ao fim do ciclo. Normalmente, há ainda um cilindro extrator, para fazer a remoção do produto final. Algumas vezes, é possível encontrar cilindros auxiliares, utilizados para movimentação de partes do móvel, como na inserção de machos.

À direita, está situado o Sistema de Injeção, também conhecido como Unidade Injetora. Aqui está situado o alimentador, onde é depositado o material plástico granulado. Este material desce ao canhão graças à gravidade e ao movimento de giro da rosca, acionada por um motor hidráulico. Este depósito de material no canhão causa o recuo da rosca e consequentemente do cilindro de injeção. Ainda no canhão, o material é aquecido pelas resistências de aquecimento, podendo então ser transferido para o molde pelo avanço do cilindro de injeção.

### 3.1.2 Distribuição do consumo de energia

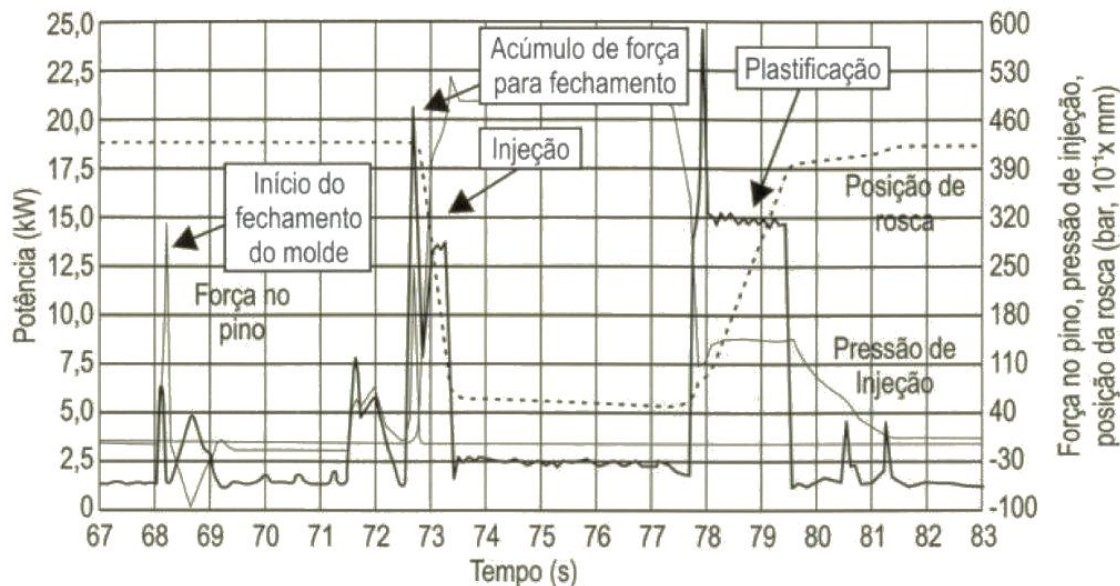
Nem toda a energia utilizada por uma injetora é para a realização de movimentos, ou seja, é consumida pela bomba hidráulica. Boa parte é dividida entre aquecimento do canhão e resfriamento da unidade, conforme pode ser verificado na Figura 4.



**Figura 3 - Consumo de energia/potência de uma célula de produção. Resina em processamento: PC/ABS, temperatura do molde - 75°C**

Fonte: Jarosch, Wortberg e Kamps (2005), "Elétrico ou hidráulico: vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de acionamento de injetoras". *Revista do Plástico*, Dezembro 2005

Ao analisarmos o consumo do motor elétrico da bomba, considerando um sistema de bomba com load-sensing, é comum nos depararmos com o seguinte gráfico:



**Figura 4 - Ciclo de Injeção**

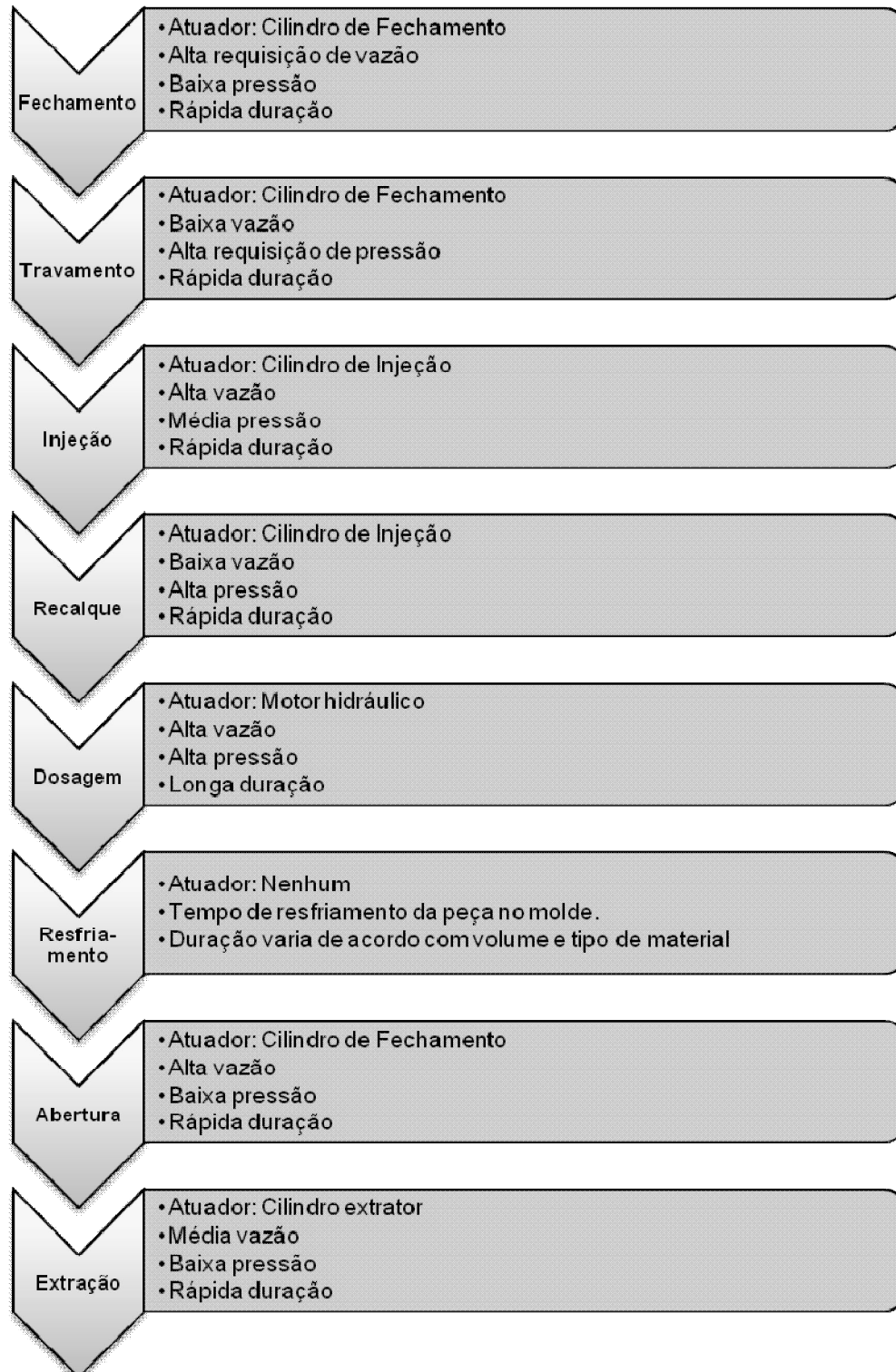
Fonte: Jarosch, Wortberg e Kamps (2005), “Elétrico ou hidráulico: vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de acionamento de injetoras”. *Revista do Plástico*, Dezembro 2005

Nota-se que o interesse por este tipo de máquina deve-se justamente ao fato de que na maior parte do tempo o motor está trabalhando com carga inferior a 50%, ou seja, na sua região de pior desempenho.

### 3.1.3 Ciclo de operação

O passo a passo do ciclo de operação de uma máquina injetora pode variar em função do número de auxiliares empregados, da existência ou não de movimentos simultâneos e do material utilizado. O ciclo utilizado neste estudo pode ser encontrado na Figura 5 – Ciclo de Operação.





**Figura 5 - Ciclo de operação de Máquina Injetora**

## 4. HIPÓTESES PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

A análise que será realizada baseia-se em 3 hipóteses que visam a redução do consumo de energia e serão apresentadas a seguir:

### 4.1 Utilização de Elementos Eficientes

Hipótese de comprovação mais intuitiva, pela qual que se forem utilizados elementos mais eficientes então o sistema final terá um grau maior de eficiência. De maneira geral, no caso dos motores elétricos, esse princípio recebeu status de lei com a instituição da Norma Brasileira Regulamentadora 17094-1, seguindo a tendência europeia da IEC 60034-30.

De acordo com a NBR 17094-1, desde dezembro de 2008 todos os motores devem seguir níveis mínimos de eficiência que variam conforme a potência nominal e quantidade de pólos em equivalência com a classe IE2 da IEC60034-30. Uma vantagem dos servomotores síncronos é já se situarem em nível maior que aquele proposto – em sua maioria os servoacionamentos já são classificados como IE3.

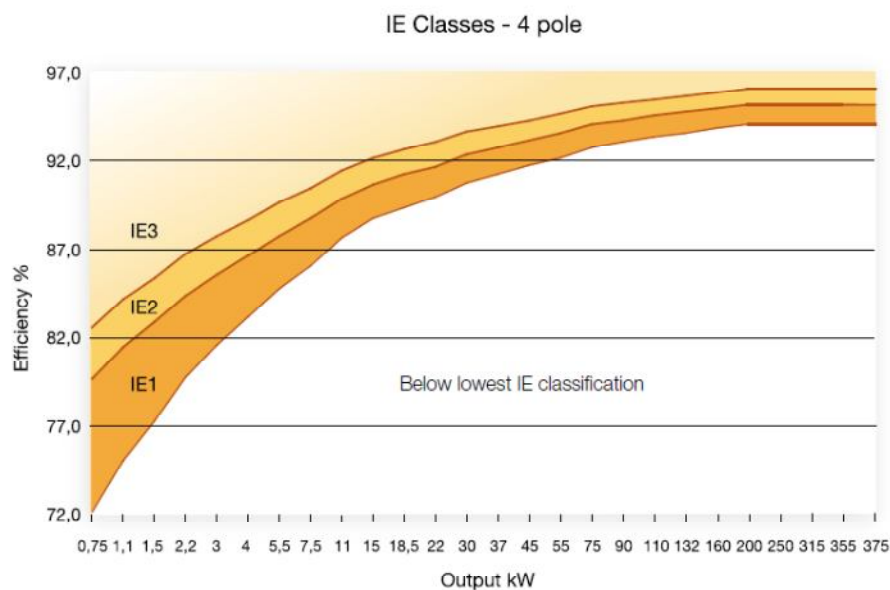


Figura 6 - Classes de eficiência de acordo com IEC 60034-30

## 4.2 Fornecimento de energia sob demanda

Os sistemas de fornecimento de energia, como os moto-bombas, por exemplo, são projetados de acordo com o ponto de operação de maior demanda. Em situações de carga parcial, o fornecimento deve ser restringido, de forma a fornecer apenas a quantidade realmente necessária.

Uma prática comum em sistemas hidráulicos é a “vantagem”, situação em que como não há movimento de atuadores, o volume de óleo deslocado pela bomba é retornado para o tanque. Embora a potência envolvida em um estágio como este do ciclo seja pequena, ela pode perdurar por grandes tempos, levando a um consumo considerável.

De acordo com hipótese de fornecimento de energia sob demanda, deveria ser possível reduzir a rotação do motor a um limite mínimo, até alcançar em um modo de “stand by” onde a potência consumida seria apenas aquela necessária para a lubrificação interna da bomba. Em sistemas onde não há variação da rotação do motor, é comum a aplicação de bombas com deslocamento variável, onde o volume nominal da bomba é reduzido, visando um menor deslocamento de óleo, porém a potência elétrica continua considerável, já que o motor se mantém em sua rotação nominal. Uma consequência indesejada deste comportamento é a queda do fator de potência.

## 5. TESTES REALIZADOS

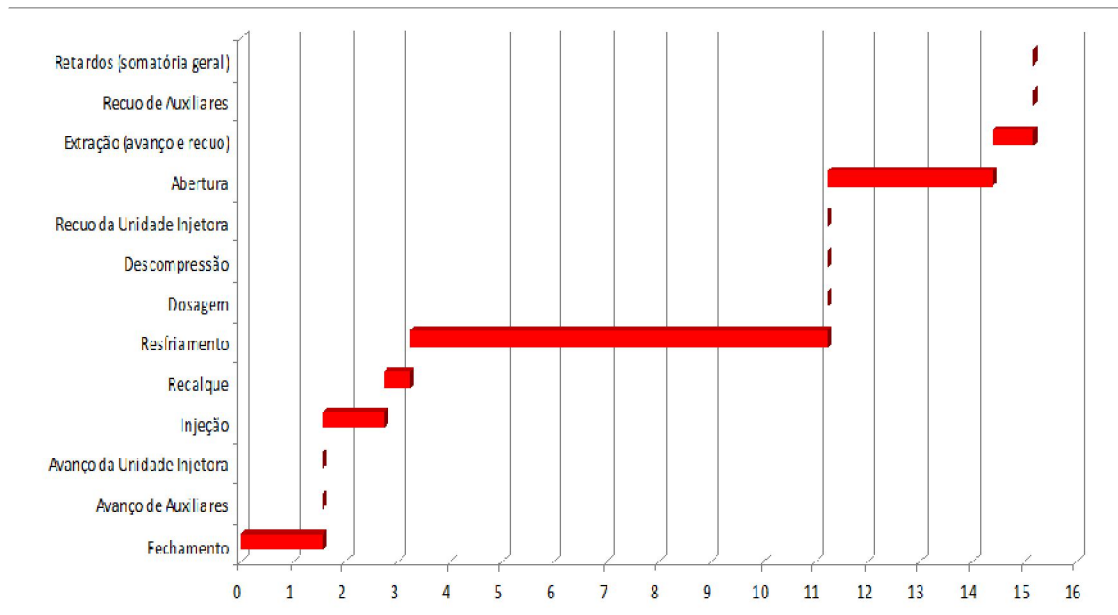
Para comprovação das hipóteses apresentadas foi realizado um estudo de caso real com a medição de consumo de energia do motor elétrico de duas máquinas injetoras de plástico de 70 toneladas, ambas trabalhando com o mesmo molde e mesmas condições operacionais. A cada ciclo foram produzidas 4 tampas de cosmético, de polipropileno com peso unitário de aproximadamente 11g.

A primeira máquina utilizou como tecnologia de acionamento um motor elétrico assíncrono, com partida estrela triângulo acionando uma bomba de pistões com deslocamento variável. A segunda, um servomotor síncrono acionando uma bomba de engrenamento externo de deslocamento fixo.

Em ambos os casos, foi realizada a leitura do consumo apenas do motor assíncrono ou do conversor, objetivo deste estudo. Desta forma, o consumo do sistema de aquecimento do canhão, trocador de calor da unidade hidráulica e sistemas de controle e instrumentação não foram considerados.

As medições foram realizadas com o uso do Analisador de Energia, modelo 434 série II, fabricante Fluke.

Na figura abaixo, está apresentada a distribuição no tempo dos passos do ciclo utilizado.



## 6. RESULTADOS ENCONTRADOS

	MOTOR ASSÍNCRONO	SERVOACIONAMENTO	COMPARATIVO
PESO CAVIDADE UNITARIO	11,5	11,2	<b>0,26 GRS</b>
TEMPO DE CICLO	14,6	15	<b>+0,36 SEG</b>
QT. CICLOS HORA	246,6	240,64	<b>-2,40%</b>
CONSUMO ENERGIA MEDIDO [kW]	14,27	5,34	<b>-62%</b>
CONSUMO MATERIAL PLASTICO [kg]	2,84	2,71	
CONSUMO REAL KW/KG	5	2	

**Tabela 2 - Comparativo de resultados - Motor assíncrono x Servoacionamento**

## 7. CONCLUSÃO

O resultado encontrado corrobora as hipóteses propostas, uma diminuição de consumo de 62% está de acordo com o observado em experimentos semelhantes.

Além disto, outros ganhos foram observados. Como o sistema com servoacionamento não realiza ventagem ou estrangulação do óleo que é devolvido ao tanque, percebeu-se que há uma redução do aquecimento do tanque. Após 55 minutos de teste a máquina com motor assíncrono teve que ter o teste interrompido ao atingir 52°C a fim de preservar as propriedades do óleo. A máquina com servoacionamento após 3 horas de trabalho ainda estava com 44°C e poderia continuar trabalhando. Em ambos os casos, o trocador de calor não foi acionado.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GARCIA, A. G. P. **Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria** – 2003, 139p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003

AMBS, L. e FRERKER, M. M. **The Use of Variable Speed Drives to Retrofit Hydraulic Injection Molding Machines** – 10p – University of Massachusetts at Amherst.

JAROSCH, P. e WORTBERG J. e KAMPS, T. Elétrico ou Hidráulico: vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de acionamento de injetoras. **Plástico Industrial**, São Paulo, p. 28-39, Dez 2005

WEG. **Catálogo de Motores Elétricos**. Jaraguá do Sul – SC: WEG, 2012. Disponível em [www.weg.net](http://www.weg.net) Acesso em Fevereiro 2013

REXROTH. **Rexroth IndraDyn S: MSK Synchronous Motors Special Product SVP**, Lohr am Main AG, REXROTH, 2009.