

# Construção Civil: Conversão de Energia Elétrica em Mecânica

## *Construction: Converting Electric Power into Mechanics*

*Bruno Gomes da Silva<sup>1</sup>*

**Resumo.** Iremos verificar sobre a aplicação de uma válvula solenoide a partir de um circuito elétrico utilizado para converter energia elétrica em mecânica. Vamos analisar como as válvulas solenoides operam em um circuito elétrico e como a corrente elétrica interfere no seu funcionamento. Com a realização de cálculos solicitados para que a análise seja feita. O objetivo deste trabalho é conhecer o funcionamento de um solenoide, seus componentes e como os mesmos se relacionam para converter energia elétrica em energia mecânica. Projeto desenvolvido no curso de Engenharia Civil, 4 semestre, envolvendo as disciplinas de Calculo 3, Física 3, e Equações Diferenciais.

**Palavras Chaves:** Conversão de Energia, Solenoide, Campo Magnético.

**Abstract.** *We will check on the application of a solenoid valve from an electrical circuit used to convert electrical energy into mechanical. Let's look at how solenoid valves operate in an electrical circuit and how the electric current interferes with their operation. With the accomplishment of requested calculations so that the analysis is made. The objective of this work is to know the operation of a solenoid, its components and how they relate to convert electric energy to mechanical energy. Project developed in the Civil Engineering course, 4 semester, involving the disciplines of Calculus 3, Physics 3, and Differential Equations.*

**Keywords:** Energy Conversion, Solenoid, Magnetic Field.

---

<sup>1</sup> Licenciado em Física pelo IFSUL. Discente em Engenharia Civil pela Faculdade Anhanguera (9 Semestre). Especialista em Ciências e Tecnologias na Educação pelo IFSUL. Mestre no Ensino das Ciências pelo Instituto Politécnico de Bragança (IPB-Portugal ).  
**E-mail:** [Brunumartur@yahoo.com.br](mailto:Brumartur@yahoo.com.br)

## 1. INTRODUÇÃO

Halliday, Resnick, e Walker (2009), Solenoides são condutores e enrolados que formam tubos estruturados de espiras distribuídas uniformemente espaçadas, nas quais, quando aplicado uma corrente elétrica, nota-se a geração de um campo magnético, pois toda vez que ocorre uma variação na corrente elétrica, ocorre um surgimento de um campo magnético. Os Solenoides classificados como dispositivos eletromecânicos utilizados para obtenção de força mecânica a partir de energia elétrica. O sistema de funcionamento de um solenoide, cujas principais aplicações são para acionamento de interruptores, ignição de um automóvel, válvula no sistema de sprinklers, transistores, unidades de irrigação e martelos de ar.

Tipler & Mosca (2009), o solenoide muitas vezes denominado de uma bobina de fio em formato espiral em torno de um pistão, normalmente de ferro, logo um eletroímã. As linhas de campo de um eletroímã entram em uma extremidade e saem na outra, enquanto que no ímã, elas entram em um polo (polo sul) e saem no outro (polo norte). Por apresentar comportamento semelhante ao de um ímã, quando percorrido por uma corrente elétrica, que esse dispositivo ficou conhecido como eletroímã.

Halliday, Resnick, e Walker (2009), o no interior da bobina gera um campo magnético de intensidade elevada. A grande vantagem em relação aos ímãs é que podem ser ligados ou desligados com a aplicação de corrente elétrica, facilitando sua utilização em interruptores e válvulas, como sistemas totalmente automatizados. Os eletroímãs geralmente utilizados em grande escala no ramo da engenharia civil, através de válvulas solenoides. A válvula solenoide é um equipamento formado por duas partes principais: o corpo e a bobina, mais corriqueiramente utilizada para acionamento de fluidos, entre eles, a água, o ar, gases em geral, óleos, entre outros.

Tipler & Mosca (2009), a válvula solenoide possui uma bobina formada por um fio enrolado através de um cilindro. Quando a corrente elétrica passa por este fio, é gerada uma força no centro da bobina solenoide, fazendo com que o êmbolo da válvula seja acionado, criando assim o sistema de abertura e fechamento. O corpo possui um dispositivo que permite ou não a passagem de um fluido quando sua haste é acionada

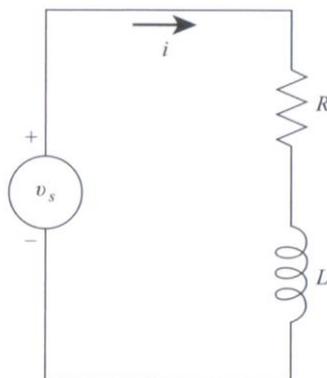
pela força da bobina. Esta força é que faz o pino ser puxado para o centro da bobina, permitindo a passagem do fluido. O processo de fechamento da válvula solenoide ocorre quando a bobina perde energia, onde o pino exerce uma força através de seu peso e da mola que tem instalado.

Halliday, Resnick, e Walker (2009), a corrente elétrica pode atuar diretamente ou indiretamente para a abertura do condutor, contudo, em ambos os casos, um fluxo de corrente elétrica constante é necessário, para que ao interromper a corrente, o campo eletromagnético se disperse e a válvula retorne à posição de fechamento original. As válvulas solenoides são utilizadas geralmente ao funcionamento da ignição de um automóvel. No sistema de ignição de um automóvel, recebe-se uma pequena corrente quando a ignição do carro é ativada (acionamento da chave do veículo) e, o solenoide de partida age como um relé, trazendo um contato metálico para fechar um circuito. O campo magnético gerado “puxa” os contatos, fechando o circuito entre a bateria do carro e o motor de arranque. Devido ao fato dos motores de automóveis serem “autoalimentados”, posteriormente à sua ativação, o solenoide torna-se inativo pela maior parte do tempo, mesmo que requeira fluxo contínuo de eletricidade para manter o circuito.

## **2. PROCESSO**

### **2.1. Circuito Elétrico**

Tipler & Mosca (2009), o circuito elétrico contém um força eletromotriz  $V_s$  que produz uma tensão elétrica e uma corrente elétrica em um instante  $t$ , geralmente representada por uma pilha ou gerador, um resistor  $r$ , um indutor, esse representando o solenoide, conforme a figura 1 a seguir.



**Figura 1** – circuito com um solenoide Tipler & Mosca (2009).

Halliday, Resnick, e Walker (2009), o circuito é apenas um modelo próximo de um solenoide, como o utilizado para encaixar a engrenagem do motor de partida do carro com o volante do motor, muito usado corriqueiramente. Esse solenoide é construído pelo enrolamento de um fio no ferro para construir um eletromagneto. A resistência  $R$  é dada pelo fio, e a indutância  $L$  é devida ao efeito eletromagnético. O chaveamento da tensão de entrada  $V_s$  ativa o eletromagneto, movendo a engrenagem de partida.

Caracterizando o circuito elétrico, é possível identificar seus componentes e as respectivas grandezas elétricas oriundas neste processo, decorridos e apresentados na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1** – Circuito Elétrico

| Componente         | Grandeza             | Símbolo | Unidade          |
|--------------------|----------------------|---------|------------------|
| Força eletromotriz | Tensão Elétrica      | $V_s$   | Volt (V)         |
| Corrente elétrica  | Corrente Elétrica    | $i$     | Ampere (A)       |
| Resistor           | Resistência Elétrica | $R$     | Ohm ( $\Omega$ ) |
| Indutor            | Indutância           | $L$     | Henry (H)        |

A Lei de Ohm ilustra quedas de tensão em um resistor e em um indutor, logo são representadas, respectivamente, pelas equações 1 e 2.

$$V_R = R \cdot I \quad (1)$$

$$V_L = L \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

A partir das leis de Kirchhoff, podemos afirmar que a soma das quedas de tensão em um circuito elétrico é igual à tensão elétrica (V), logo a equação 3.

$$L \frac{dI}{dt} + RI = V \quad (3)$$

Formando uma equação diferencial de primeira ordem, a partir da qual, modela-se a corrente elétrica I no instante t. Para facilitar o entendimento dimensionamos o circuito as seguintes proposições: resistência de  $24\Omega$ , indutância igual a 8H e, tensão constante de 120V.

Valores propostos, agora podemos então encontrar a Equação Diferencial Ordinária, correspondente (equação 4).

$$8 \frac{dI}{dt} + 24 \cdot I = 120 \quad (4)$$

Leithold (1994), Simplificando a equação 4, dividindo-a pelo fator 8, encontramos a equação 5, com a qual trabalharemos para encontrar a função representante do circuito proposto na figura 1.

$$\frac{dI}{dt} + 3 \cdot I = 15 \quad (5)$$

## 2.2. Cálculo da Equação Diferencial

Leithold (1994), para a resolução da Equação Diferencial Ordinária de primeira ordem apresentada pela equação 5, utilizou-se o Método das Equações Separáveis. A aplicação desse método consiste em separar as variáveis para posteriormente aplicar a diferenciação. As variáveis são tempo e corrente (t e I), separadas conforme a sequência apresentada nas equações de 6 a 10.

$$\frac{dI}{dt} = 15 - 3I \quad (6)$$

$$\frac{dI}{15 - 3I} = dt \quad (7)$$

$$\frac{dI}{15 - 3I} = dt \quad (8)$$

$$\frac{dI}{-3(-5 + I)} = dt \quad (9)$$

$$\frac{dI}{I - 5} = -3 dt \quad (10)$$

Aplicando-se a integração em ambos os lados da equação 10, temos que:

$$\int \frac{dI}{I - 5} = \int -3 dt \quad (11)$$

$$\ln (I - 5) = -3t + C \quad (12)$$

Para que se possa trabalhar com a corrente variando conforme diferentes instantes de tempo  $t$ , aplica-se a função inversa do logaritmo neperiano em ambos os lados da equação 12.

$$I - 5 = e^{-3t} \cdot e^C \quad (14)$$

$$e^{\ln(I-5)} = e^{-3t+C} \quad (13)$$

As equações 13 e 14 são simplificações da equação 12. Sabendo-se que  $e^C = A$ , então a solução geral da equação diferencial do exemplo, será escrita por:

$$I = 5 + Ae^{-3t} \quad (15)$$

Para a resolução do problema de valor inicial, afirmou-se que para  $t = 0s$ , temos que a corrente no solenoide é nula, ou seja,  $I(0) = 0$ . A equação 16 apresenta a resolução do PVI da EDO proposta.

$$0 = 5 + Ae^{-3(0)} = 5 + A(1) \therefore A = -5 \quad (16)$$

Logo, a solução geral para a equação diferencial “desenhada” pela problemática proposta será descrita pela equação 17, onde a corrente elétrica está em função de um intervalo  $t$ .

$$I = 5 - 5e^{-3t} \quad (17)$$

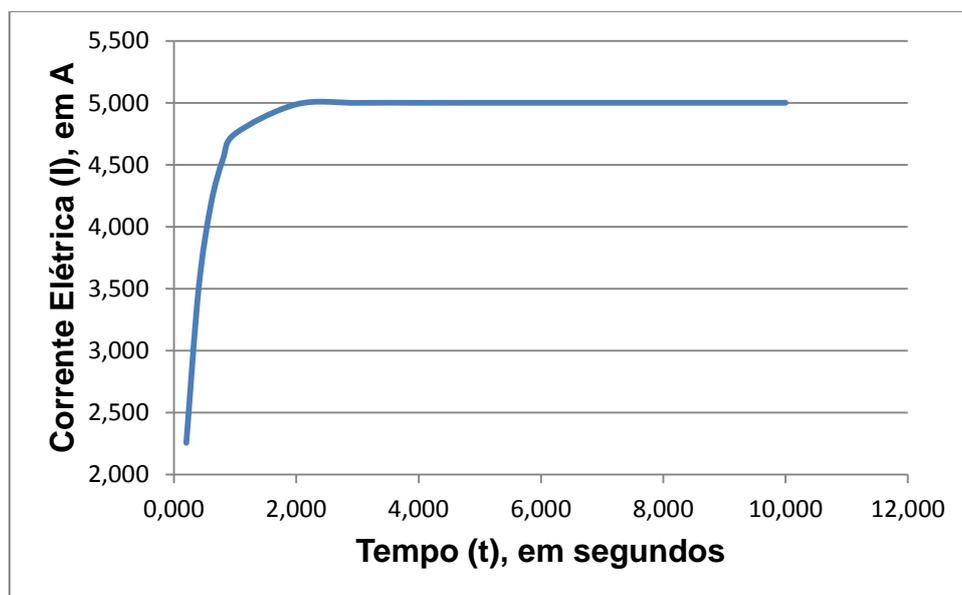
### 2.3. Corrente Elétrica e o Limite da Corrente Elétrica no Circuito

Leithold (1994), a corrente elétrica em uma válvula solenoide tende a aumentar com o passar do tempo, entretanto, apresenta um valor limite, ou seja, a partir de um dado tempo  $t$ , a corrente elétrica para de crescer e se torna constante.

Para melhor ilustrar, estudamos o comportamento da equação 17 ao longo do aumento do intervalo de tempo  $t$ , com este variando de 0,2 s a 10 s. A Tabela 2 apresenta os valores encontrados para a corrente elétrica  $i$ , a Figura 3, o comportamento da função obtida.

**Tabela 2** – Valores da corrente elétrica em função do tempo.

| $t$ (s) | $I_t$ (A) |
|---------|-----------|
| 0,200   | 2,2559    |
| 0,400   | 3,4940    |
| 0,600   | 4,1735    |
| 0,800   | 4,5464    |
| 1,000   | 4,7511    |
| 2,000   | 4,9876    |
| 3,000   | 4,9994    |
| 4,000   | 5,0000    |
| 5,000   | 5,0000    |
| 6,000   | 5,0000    |
| 8,000   | 5,0000    |



**Figura 2** – Gráfico da corrente elétrica em função do tempo.

O solenoide é ligado, a corrente aumenta lentamente até que ela alcance o valor constante nominal. As forças na armadura em solenoides de corrente contínua, são inferiores às do solenoide de corrente alternada com o mesmo tamanho da bobina, ou seja, eles operam com pressões do fluido menores do que os solenoides de corrente alternada de mesmo diâmetro nominal.

É possível observar, que nos primeiros quatro segundos de funcionamento, nossa válvula apresenta valor crescente de corrente elétrica, estabilizando em torno de 5A. Assim, poderíamos considerar que nossa válvula leva cerca de quatro segundos para atingir sua corrente elétrica de funcionamento, estabilizando ao longo de sua atividade.

Se calcularmos numericamente o valor limite da corrente elétrica, como apresentado pela equação 18, podemos observar que os valores corroboram com os valores obtidos graficamente, onde com o aumento do tempo, temos valores aproximando-se a 5A para a corrente elétrica.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} 5 - 5e^{-3t} = 5 - \frac{5}{e^{\infty}} = 5 - \frac{5}{\infty} = 5 \quad (18)$$

Mesmo não sendo tão utilizados como os solenoides de corrente alternada, os solenoides de corrente contínua desempenham excelente atuação como válvulas, uma vez que vários dispositivos de controle emitem sinais em corrente contínua que podem ser usados diretamente para controle.

Outra grande aplicação desse tipo específico de solenoide é a de válvula operada por bateria, que apresentam vantagens, pois podem ser utilizadas se não houver uma fonte externa de energia elétrica ou unidades especiais de fornecimento de energia ou se tal fornecimento de energia for muito complexo ou oneroso.

## 2.4. Resultados obtidos

Solenoides constituídos de mecanismos eletromecânicos baseados no deslocamento causado pela ação de um campo magnético gerado por uma bobina e são muito utilizados na construção de outros dispositivos, como é o caso das válvulas para controle de fluidos, popularmente conhecidas como válvulas solenoides, geralmente utilizadas para equipamentos com fluidos, ou na indústria automobilística.

Válvulas construídas de uma variedade de materiais, plásticos, metais, sendo que o aço inoxidável é o mais utilizado por suas qualidades sanitárias e sua resistência à corrosão, e seu custo/benefício. As válvulas solenoides são escolhidas em detrimento de outros modelos, como por exemplo as válvulas borboleta ou de esfera, porque oferecem a capacidade de estarem ativadas remotamente.

Solenoides para serem bem atribuídos, é preciso saber interpretar suas características. A tensão nominal é a tensão que deve ser aplicada à bobina para que ele produza a força esperada. Para os solenoides comuns, esta tensão tende a variar entre 1,5 V e 48 V (tipos DC) e 12 a 220 V (tipos AC).

A corrente nominal é a corrente que percorre a bobina do solenoide quando a tensão nominal ou tensão de funcionamento é aplicada e a resistência da bobina determina a intensidade da corrente que o aciona quando a tensão nominal é aplicada, segundo a Lei de Ohm.

Como já vimos anteriormente, a corrente num circuito produz um campo magnético. Logo, qualquer variação da corrente conduzirá a forças eletromotrizes induzidas no circuito.

Se, por exemplo, fecharmos um interruptor em nosso circuito, a corrente elétrica não aumenta instantaneamente desde zero até um valor final, e isso se deve à indutância do circuito. Como apresentamos através da figura 3, a corrente aumenta bruscamente (cerca de quatro segundos, em nosso caso).

A força produzida por um solenoide depende principalmente das características já estudadas (resistência, corrente e tensão) e, interfere diretamente no trabalho dos projetistas. Geralmente, a força é expressa em Newtons (N). Em alguns casos, onde a força não apresenta comportamento linear ao longo do percurso do núcleo, ela pode ser apresentada sob forma de um gráfico.

Como já mencionado anteriormente, os solenoides de corrente contínua operam com pressões do fluido menores do que os solenoides de corrente alternada de mesmo diâmetro nominal. Ressalta-se também que a potência máxima que o solenoide pode dissipar normalmente é especificada e pode vir a ser maior que a normalmente produzida na operação. Isso permite que em aplicações em que ele opere por curtos intervalos de tempo, uma tensão maior seja utilizada.

A criação de dispositivos elétricos para a automação da engenharia vem contribuindo com o aprimoramento das peças e produtos do mercado, facilitando procedimentos e possibilitando uma gama de estudos técnicos, geralmente, de menores custos.

As válvulas para baixas vazões e baixas pressões (geralmente de corrente contínua) vêm sendo amplamente aplicadas à equipamentos e montagens para uso em mecanismos de laboratórios, clínicos e químicos. As válvulas solenoides são de pequenas dimensões e requerem baixa tensão e corrente de acionamento. Logo, a principal vantagem no processo de automatizar um projeto de maneira bem simplificada se resume à emissão de sinais elétricos feitos pelo controlador central, os quais são recebidos por acessórios com a função de acionar um motor ou abrir e fechar válvulas.

Sistemas de irrigação agrícola, para dimensionar e viabilizar a automação de um sistema é necessário que seja realizado em todo o projeto a aferição e levantamento de dados hidráulicos e de equipamentos instalados, servindo como subsídio para a identificação, análise e determinação da melhor estratégia de controle e para a escolha dos recursos de hardware e/ou software necessários para a aplicação. Os principais fatores observados na escolha do nível tecnológico a ser oferecido são: custo/benefício, demanda do projeto de Irrigação e, cliente ou operador do sistema de automação. Dessa

forma, torna-se inviável o operador regular manualmente o injetor de fertilizantes, evidenciando a utilização das válvulas solenoides.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este foi um projeto que foi desenvolvido na disciplina de Desafio profissional, do quarto semestre do curso de Engenharia Civil, pela Faculdade Anhanguera de Pelotas. No qual tínhamos como objetivo explicar o processo de conversão de energia elétrica, para energia mecânica, usando os conceitos de solenoides, válvulas solenoides, como também o Desafio cobrava do aluno o entendimento de cálculos de Integração e Limites, e Equações Diferenciais. Com isso, este Desafio desenvolve o raciocínio lógico dos estudantes, pois são desafiados a resolver problemas que envolvem conhecimento de diversas disciplinas simultaneamente.

Foi-nos possível observar que os solenoides possuem infinitas aplicações práticas, como válvulas solenoides e válvulas operadas por bateria, podendo ser utilizadas se não houver uma fonte externa de energia elétrica, unidades especiais de fornecimento de energia, ou se tal fornecimento de energia for muito complexo ou oneroso.

Em nosso exemplo, estudamos o comportamento de um solenoide de corrente contínua, que se diferenciam dos de corrente alternada por consumirem menos energia na partida do que quando eles já estão atracados, considerando-se a distância máxima entre bobina e corpo. Por possuírem pequenas dimensões e requererem baixa tensão e corrente de acionamento, as válvulas solenoides vêm sendo amplamente utilizadas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J.. **Fundamentos da Física 3: eletromagnetismo**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2009.

LEITHOLD, L. **O calculo com geometria analítica**. Volume 1, Editora Habra, 3 edição. Campinas, 1994.

TIPLER & MOSCA. **Física para cientistas e engenheiros**. Volume 2, Editora LTC, 6 edição, 2009.