

# ALGORITMO PARA CÁLCULO DO VOLUME DE CARGA E POTÊNCIA DE ENERGIA ELÉTRICA

Vanessa dos Anjos BORGES<sup>1</sup>  
Camila Pires Cremasco GABRIEL<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este trabalho tem por objetivo demonstrar o processo pelo qual foi elaborado um algoritmo computacional para calcular o volume de carga e potência que auxilia uma empresa avaliar se o consumo de energia elétrica é racional e eficiente.

**Palavras-chave:** Algoritmo; Lógica Fuzzy; Faturamento; Volume de Carga e Potência.

## 1 INTRODUÇÃO

Estima-se que o Brasil necessite investir no setor de transmissão de energia elétrica cerca de 25 bilhões de dólares, urgentemente. Este investimento deveria ter sido feito nos últimos 8 anos. O nosso objetivo com este trabalho é oferecer às empresas consumidoras de energia elétrica alternativas para um uso racional e eficiente de energia. Caso as empresas mantenham um consumo racional e eficiente de energia se ganharia um prazo de 10 anos, aproximadamente, para que fosse feito um investimento da ordem citada.

Um dos índices de avaliação de uso racional de energia elétrica pelo consumidor é o fator de carga (fc). Quanto maior o valor do fator de carga obtido, melhor terá sido a utilização das cargas elétricas ao longo do tempo. Por outro lado, um fator de carga baixo pode indicar que houve concentração de consumo de energia elétrica em um curto período de tempo, determinadas alterações na demanda.

---

<sup>1</sup> Discente do 4º termo do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas da Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente - FATEC. [vanessaborges123@gmail.com](mailto:vanessaborges123@gmail.com).

<sup>2</sup> Docente do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas da Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente - FATEC. Doutora Agronomia (Energia na Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. [camila@fatecpp.edu.br](mailto:camila@fatecpp.edu.br). Orientador do trabalho.

O fator de potência (fp) é um índice que mostra o quanto da energia elétrica está sendo transformada em outras formas de energia. Quando o fator de potência é baixo, podem surgir problemas na instalação elétrica do consumidor e na rede de distribuição da concessionária.

As empresas possuem em sua maioria, maquinários obsoletos, exigindo motores super dimensionados, trabalhando em vazio ou em horário de pico e, em algumas empresas, as operações são feitas com partidas simultâneas de motores elétricos que iniciam operação com carga.

Em 1974, professores da Universidade de Londres, após inúmeras tentativas frustradas em controlar uma máquina a vapor com tipos distintos de controladores, conseguiram fazê-lo através da aplicação da lógica fuzzy. Esse sucesso serviu de alavanca para muitas outras aplicações, como em 1980, na obtenção de um controlador fuzzy para operação de um forno. Vieram em seguida, várias outras aplicações, destacando-se os controladores fuzzy de plantas nucleares, refinarias, trocador de calor, máquina Diesel, tratamento de água, sistema de operação automática de trens, etc.

Os conjuntos fuzzy constituem uma “ponte” no caminho de aproximar o raciocínio humano ao da lógica executada pela máquina. Tradicionalmente, temos em um conjunto convencional limites bruscos, onde a transição dos membros para não-membros é abrupta e repentina. Em um conjunto fuzzy, diferentemente, as transições entre o membro e o não-membro estão numa faixa gradual.

Sabemos que há uma ligação entre a lógica clássica e a teoria dos conjuntos clássicos. Da mesma forma, há uma forte ligação entre a lógica fuzzy e a teoria dos conjuntos fuzzy. A teoria dos conjuntos fuzzy é uma generalização da teoria clássica. A extensão existente está na possibilidade de um determinado elemento pertencer a um conjunto com um valor chamado “grau de pertinência ou grau de aderência“. Assim um elemento não simplesmente pertence ou não pertence a um conjunto como na teoria clássica, mas poderá pertencer a um conjunto com grau de pertinência (aderência) que varia no intervalo  $[0,1]$ , onde o valor 0 indica uma completa exclusão, e o valor 1 representa completa pertinência e os valores deste intervalo representam graus intermediários de pertinência do objeto com relação ao conjunto.

A função que define os “graus de pertinência (aderência) dos elementos é chamada função de pertinência (aderência) e é uma generalização da função característica da teoria clássica uma vez que associa para todo elemento do universo de discurso um intervalo  $[0,1]$  ao invés do conjunto de apenas dois elementos  $\{0,1\}$ .

O objetivo deste trabalho é demonstrar o desenvolvimento do módulo inicial de um software que baseado em um controlador fuzzy existente calcula o Volume de Carga e Potência, fundamental para estabelecer formas de redução do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de potência ativa e reativa de qualquer empresa.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

A partir do controlador fuzzy desenvolvido (GABRIEL, 2008) para analisar o grau de eficiência do consumo de energia elétrica em uma empresa, foi concebida a idéia de desenvolver um software referente a ele, porque percebeu-se que há a necessidade de tornar mais acessível aos empresários o manuseio dos dados e dos cálculos para a avaliação do faturamento de energia sem a necessidade de um especialista.

O primeiro módulo desenvolvido do software efetua cálculos referentes ao volume de energia gastos baseando-se na modalidade tarifária adotada pela empresa e nos fatores de carga e potência.

A seguir, será demonstrado o desenvolvimento do módulo do sistema para avaliação do gasto de energia elétrica e seu valor.

### **2.1 MODALIDADES TARIFÁRIAS**

Até 1981, as tarifas de eletricidade tinham dois componentes básicos na definição de seu preço: a demanda de potência e o consumo de energia.

Neste sistema, o cliente não percebia os reflexos da “forma” de uso de eletricidade, já que não havia diferenciação de preços segundo os horários de utilização durante o dia e períodos do ano. Do ponto de vista tarifário era indiferente usar a energia durante a madrugada ou no final da tarde, assim como no mês de junho ou de dezembro.

Por conseqüência, o perfil da utilização da energia, ao longo destes períodos, refletia exclusivamente os hábitos de consumo e as características próprias de um mercado de uma dada região.

No horário compreendido entre 17 e 22 horas, ocorria uma intensificação do uso da eletricidade, resultado das influências individuais das várias classes de consumo que compõem o mercado, notadamente a industrial, a residencial e a iluminação pública.

Esse intervalo de tempo é denominado horário de ponta do sistema elétrico, por ser o período em que o sistema elétrico suporta o maior volume de carga, atingindo seu valor máximo aproximadamente às 19 horas, com pequena variação de região para região do país.

Devido ao maior carregamento do sistema elétrico nesse horário, é fácil observar que uma nova carga a ser atingida custará mais ao setor elétrico, que terá necessidade de investir em usinas e linhas de transmissão para atender a expansão da carga na ponta do sistema.

### **2.1.1 TARIFA CONVENCIONAL**

A modalidade tarifária convencional é estruturada por tarifas onde o consumo e/ou demanda de energia não depende de sua hora de utilização ou período do ano.

O faturamento de energia elétrica segundo a modalidade tarifária convencional é mostrado na figura 1:

$$F = \begin{cases} \frac{0,92}{fp} \left( TC + \frac{TD}{730.fc} \right) C, & \text{se } 0 < fp \leq 0,92 \\ \left( TC + \frac{TD}{730.fc} \right) C, & \text{se } 0,92 < fp \leq 1 \end{cases}$$

onde:

- $fp$  : fator de potência
- $fc$  : fator de carga
- $C$  : consumo ativo
- $TC$  : tarifa de consumo

Figura 1. Faturamento de energia elétrica segundo a modalidade tarifária convencional

### 2.1.2 TARIFA HORO-SAZINAL AZUL

A modalidade tarifária horo-sazonal azul é composta de tarifas diferenciadas constituídas de dois preços para o componente de demanda de acordo com os seguimentos horários de ponta e fora de ponta, e de quatro preços para a componente de consumo, variáveis em função dos seguimentos horários de ponta e fora de ponta e períodos seco e úmido.

O faturamento de energia elétrica segundo a modalidade tarifária horo-sazonal azul é mostrado na figura 2:

$$F_p = \begin{cases} \frac{0,92}{fp_p} \left( TC_p + \frac{TD_p}{66fc_p} \right) C_p, & \text{se } 0 < fp_p \leq 0,92 \\ \left( TC_p + \frac{TD_p}{66fc_p} \right) C_p, & \text{se } 0,92 < fp_p \leq 1 \end{cases}$$

e

$$F_{fdp} = \begin{cases} \frac{0,92}{fp_{fdp}} \left( TC_{fdp} + \frac{TD_{fdp}}{664fc_{fdp}} \right) C_{fdp}, & \text{se } 0 < fp_{fdp} \leq 0,92 \\ \left( TC_{fdp} + \frac{TD_{fdp}}{664fc_{fdp}} \right) C_{fdp}, & \text{se } 0,92 < fp_{fdp} \leq 1 \end{cases}$$

onde:

- $fp_p, fp_{fdp}$  : fator de potência de ponta e fora de ponta;
- $fc_p, fc_{fdp}$  : fator de carga de ponta e fora de ponta;
- $C_p, C_{fdp}$  : consumo ativo de ponta e fora de ponta;
- $TC_p, TC_{fdp}$  : tarifa de consumo de ponta e fora de ponta;
- $TD_p, TD_{fdp}$  : tarifa de demanda de ponta e fora de ponta.

Figura 2. Faturamento de energia elétrica segundo a modalidade tarifária horo-sazonal azul

### 2.1.3 TARIFA HORO-SAZONAL VERDE

A modalidade tarifária horo-sazonal verde é de tarifas diferenciadas, constituídas de um único preço para o componente de demanda independente do seguimento horário, e de quatro preços para a componente de consumo, variáveis em função dos seguimentos horários de ponta e fora de ponta e períodos seco e úmido.

O faturamento de energia elétrica segundo a modalidade tarifária horo-sazonal azul é mostrado na figura 3:

$$F = \begin{cases} \frac{0,92}{fp} \left( TC_p + \frac{TD}{730,fc} \right) C_p + \frac{0,92}{fp} \left( TC_{fdp} + \frac{TD}{730,fc} \right) C_{fdp}, & \text{se } 0 < fp \leq 0,92 \\ \left( TC_p + \frac{TD}{730,fc} \right) C_p + \left( TC_{fdp} + \frac{TD}{730,fc} \right) C_{fdp}, & \text{se } 0,92 < fp \leq 1 \end{cases}$$

onde:

- $fp$  : fator de potência;
- $fc$  : fator de carga;
- $C$  : consumo ativo;
- $C_p, C_{fdp}$  : consumo ativo de ponta e fora de ponta;
- $TC_p, TC_{fdp}$  : tarifa de consumo de ponta e fora de ponta;
- $TD$  : tarifa de demanda.

Figura 3. Faturamento de energia elétrica segundo a modalidade tarifária horo-sazonal verde

## 2.2 VOLUME DE CARGA E POTÊNCIA

De acordo com GABRIEL (1997), um Hiperbolóide de Carga e Potência consiste numa superfície cujas variáveis são os índices fator de carga e fator de potência encontrados nas contas mensais de energia elétrica, que determinam o faturamento do consumo e demanda de energia elétrica da empresa. A partir do Volume de carga e potência é possível gerar graficamente o faturamento de energia de uma empresa, analisando se o consumo de energia foi racional ou não.

A fórmula genérica para o cálculo do Volume de carga e potencia está representado na figura 4:

$$V = \int_{fp_{\min}}^{fp} \int_{fc_{\min}}^{fc} f(x, y) dydx$$

Figura 4. Fórmula Geral para cálculo do Volume de carga e potência

## 2.2 ALGORITMO PARA CÁLCULO DO VOLUME DE CARGA E POTÊNCIA

O algoritmo para cálculo do Volume de carga e potência foi desenvolvido em linguagem Java e compilado pelo NetBeans IDE 6.7 conforme a a figura 5 mostra:

```
if (fator == 1)
{
    volume = (float) (((0.92 * a * c) * yma) + (((0.92 * b * c) * (Math.log(yma))) / valor) - ((0.92 * a * c) * yme) + (((0.92 * b * c) * (Math.log(yme))) / valor));
    volume = (float) (volume * ((Math.log(xma)) - (Math.log(xme))));
}

else if (fator == 2)
{
    volume = (float) (((a * c) * yma) + (((b * c) * (Math.log(yma))) / valor) - ((a * c) * yme) + (((b * c) * (Math.log(yme))) / valor));
    volume = (float) (volume * (xma - xme));
}

else if (fator == 3) {
    volume = (float) (((((0.92 * a * c) * yma) + (((0.92 * b * c) * (Math.log(yma))) / valor)) + (((0.92 * a2 * c2) * yma) + (((0.92 * b * c2) * (Math.log(yma))) / valor))) - (((0.92 * a * c) * yme) + (((0.92 * b * c) * (Math.log(yme))) / valor)) + (((0.92 * a * c2) * yme) + (((0.92 * b * c2) * (Math.log(yme))) / valor)));
    volume = (float) (volume * ((Math.log(xma)) - (Math.log(xme))));
}

else if (fator == 4) {
    volume = (float) (((((a * c) * yma) + (((b * c) * (Math.log(yma))) / valor)) + (((a2 * c2) * yma) + (((b * c2) * (Math.log(yma))) / valor))) - (((a * c) * yme) + (((b * c) * (Math.log(yme))) / valor)) + (((a * c2) * yme) + (((b * c2) * (Math.log(yme))) / valor)));
    volume = (float) (volume * (xma - xme));
}
```

Figura 5. Trecho de algoritmo para o cálculo do Volume de Carga e Potencia

Esta classe é utilizada após o cadastro de dados referentes ao faturamento de energia. Nesse cadastro são informados os fatores de carga e potência e a modalidade tarifária correspondente. Após esse cadastro, o sistema efetua um levantamento de dados já cadastrados para recuperar o maior e o menor índice dos fatores de carga e potência existente entre os registros cadastrados que serão utilizados para calcular a integral dupla do faturamento, ou seja, para calcular o volume de carga e potência conforme visto na figura 4.

A classe Volume é dividida em quatro estruturas condicionais (IF... ELSE IF). Cada estrutura corresponde ao cálculo do volume de cada tipo de modalidade tarifária tal qual a empresa adota para o fornecimento de energia.

Na primeira estrutura de repetição, é calculado o volume referente as modalidades tarifárias convencional e horo-sazonal azul caso o fator de potência atual seja maior que zero e menor que 0,92.

Na segunda estrutura de repetição, é calculado o volume referente as modalidades tarifárias convencional e horo-sazonal azul caso o fator de potência atual seja maior que 0,92 e menor que 1.

A terceira e quarta estrutura de repetição calculam, respectivamente, o volume da modalidade tarifária horo-sazonal verde caso o fator de potência atual seja maior que zero e menor que 0,92 e o volume da modalidade tarifária horo-sazonal verde caso o fator de potência atual seja maior que 0,92 e menor que 1.

A variável fator identifica a quatro diferentes condições e efetua os cálculos. As variáveis float yma, yme, xma, xme correspondem, respectivamente, pelo fator de carga cadastrado no mês, menor fator de carga cadastrado no sistema, maior fator de potência cadastrado no mês e menor fator de potência cadastrado no sistema. As variáveis a, b e c se referem aos valores de cada uma das modalidades tarifárias.

A variável valor recebe o seu conteúdo conforme a modalidade tarifária. Essa variável recebe o valor 730 para as tarifas convencional e horo-sazonal verde e 66 para tarifa horo-sazonal azul. Esses valores podem ser observados nas figuras 1, 2 e 3.

O comando Math.log é uma biblioteca da linguagem Java que efetua ao logaritmo natural de um determinado valor.

### 3 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento desse algoritmo foi possível agilizar o processamento dos dados em relação ao faturamento e volume de energia elétrica. Ele possibilitará auxiliar o empresário a analisar se a empresa está dentro do ideal quanto à racionalidade e eficiência de energia elétrica sem a necessidade de ter um especialista para efetuar os cálculos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO. **Estrutura tarifária horo-sazonal.** São Paulo, 1990. 17 p.

GABRIEL, C. P. C. **Aplicação da lógica fuzzy para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil, 2008.

GABRIEL, L. R. A. **Análise do Faturamento do Consumo de Energia Elétrica e Demanda Através de Hiperbolóides de Carga e Potência em Operações de Refino de Óleo Vegetal.** Presidente Prudente, 1997. 312p. Tese (livre docência em Matemática). UNESP/FCT.