# OTIMIZAÇÃO DA COORDENAÇÃO DE RELÉS DE SOBRECORRENTE COM O ALGORITMO DOS VAGA-LUMES

**Naiani Pessoa Machado** [1]

**Arian Fagundes** [2]

**Fernanda Cazabonet Ramos** [3]

**Bianca Belardony Gomes** [4]

**Bruna Alves Felipe** [5]

**Eduardo Machado Dos Santos** [6]

**Resumo:**

Relés de sobrecorrente podem ser utilizados nos esquemas de proteção do sistema de elétrico de potência desde a geração até a distribuição, mas também podem ser utilizados para a proteção de equipamentos. Estes dispositivos devem ser ajustados e coordenados com valores ótimos, de forma que atuem eliminando as faltas rapidamente, minimizando danos ao sistema, e dessa forma, garantindo a continuidade do serviço. Este trabalho explora a utilização do algoritmo dos vaga-lumes a ser aplicado para a otimização da coordenação de relés de sobrecorrente de tempo inverso. A heurística tem seu desempenho avaliado para diferentes Funções Objetivo, as quais dependem dos sistema a ser testado, em termos de critérios como convergência garantida para o ótimo em reduzidos tempos computacionais. Dessa forma, tendo em vista os resultados obtidos até então, pode-se concluir que o FA apresenta grande eficácia e robustez para a solução da coordenação de relés de sobrecorrente em problemas lineares por alcançar soluções de qualidade igual ou superior, em comparação aos estudos já realizados e disponíveis na literatura.

**Palavras-chave:** Relé sobrecorrente, otimização

**Modalidade de Participação:** Iniciação Científica

**OTIMIZAÇÃO DA COORDENAÇÃO DE RELÉS DE SOBRECORRENTE COM O ALGORITMO DOS VAGA-LUMES**

[1] Aluno de graduação. naianipessoa@gmail.com. Autor principal

[2] Aluno Pós-graduação. ariantricolorfagundes@gmail.com. Co-autor

[3] Aluno de graduação. fernanda.cazabonet@gmail.com. Co-autor

[4] Aluno de graduação. belardony7@gmail.com. Co-autor

[5] Aluno de graduação. bafelipe4@gmail.com. Co-autor

[6] Docente. eduardosantos@unipampa.edu.br. Orientador

# OTIMIZAÇÃO DA COORDENAÇÃO DE RELÉS DE SOBRECORRENTE COM O ALGORITMO DOS VAGA-LUMES

## 1 INTRODUÇÃO

Um Sistema de proteção deve ser projetado para reconhecer certas anomalias do sistema que, se não detectadas, poderão causar danos aos equipamentos, bem como ocasionar perdas nos serviços de transmissão de energia elétrica (ANDERSON, 1998).

Os relés são utilizados para proteger a operação do sistema, detectando a falta e enviando um sinal para o disjuntor, de modo a isolar o trecho com defeito. Cada relé do sistema é coordenado com o relé que protege o equipamento adjacente.

A coordenação dos relés se faz de modo que exista uma hierarquia de atuação em relação ao tempo e é feita considerando que o relé de proteção primária deve operar o mais rápido possível, assim eliminando a falta. Já o relé de proteção secundária, que é a proteção localizada na zona adjacente à zona primária, deve ser ajustada para operar em situações em que a proteção primária não atue.

Caso os relés não sejam bem coordenados, ocorrerá uma operação incorreta, ocasionando danos ao sistema elétrico de potência. A coordenação adequada dos relés pode ser obtidas usando técnicas de otimização. Nesse contexto, este trabalho apresenta a solução da coordenação de relés de sobrecorrente utilizando o algoritmo dos vaga-lumes, o qual é um método de otimização heurístico bio-inspirado. Os resultados obtidos mostram que tal técnica é eficaz para tal aplicação, visto a boa aproximação em relação aos resultados obtidos com o método Dual Simplex.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Otimização da Coordenação de Relés de Sobrecorrente de Tempo Inverso

Em geral, a coordenação do relé de sobrecorrente em sistemas de potência pode ser definida como um problema de otimização, onde deve ser minimizado o somatório dos tempos de operação dos relés (valor de z) que compreendem o sistema para determinada falta.

$$z = \sum_{p=1}^{m} W_p . t_{p,k} \qquad (1)$$

Em (1), $m$ é o número total de relés, sendo $t_{p,k}$ o tempo de operação do relé primário para falta na zona de proteção k e $W_p$, o peso atribuído ao tempo de operação do relé. Em sistemas de distribuição e linhas de transmissão não muito extensas, são atribuídos a todos os relés a mesma ponderação, considerando-se W=1 (ZEIENLDIN, 2005).

### 2.2 Restrição e Tempo de Coordenação

Os relés no sistema devem ser coordenados pelo critério exposto em (2).

$$T_{nk} - T_{ik} \geq \Delta T \quad (2)$$

Em (2), $T_{nk}$ é o tempo de operação do relé de retaguarda para o curto-circuito em k, $T_{ik}$ é o tempo de operação do relé principal para o curto-circuito em k e $\Delta T$ é o intervalo de coordenação do relé.

Ressalta-se que os relés levam um certo tempo mínimo para operar, não devendo este tempo ser demasiadamente longo, o que impõe a restrição descrita em (3)

$$t_{i,k}min \geq t_{i,k} \geq t_{i,k}max \quad (3)$$

Na Equação 3, $t_{i,k}min$ e $t_{i,k}max$ representam, respectivamente, os tempos mínimo e máximo de operação do relé 'k' para a respectiva falta (PURANI, 2016).

## 2.3 Características de operação do relé de sobrecorrente

A constate $a_p$ do relé, em função dos parâmetros da configuração de cada relé, pode ser obtida através de (4):

$$a_p = \left(\frac{0{,}14}{PSM^{0{,}02} - 1}\right) \quad (4)$$

Portanto, a função objetivo deste problema pode ser escrita de forma a minimizar a Equação (5):

$$z = \sum_{p=1}^{m} a_p \, . \, TMS_p \quad (5)$$

## 2.4 Algoritmo dos Vaga-lumes (Firefly Algorithm- FA)

O *Firefly Algorithm* é uma heurística que foi proposta por Xin-She Yang na Universidade de Cambridge em 2007 (YANG, 2010). Esse algoritmo é inspirado no comportamento dos vaga-lumes.

O algoritmo produz um enxame de vaga-lumes localizados aleatoriamente no espaço de pesquisa. Cada localização no espaço da pesquisa representa uma solução potencial da otimização do problema. O brilho de cada vaga-lume depende da posição do vaga-lume, sendo que cada vaga-lume é atraído pelo brilho de outro, movendo-se em direção do vagalume mais brilhante. A essa característica atribui-se o conceito de atratividade.

A atratividade é proporcional ao brilho, portanto, os vagalumes mais brilhantes irão atrair os de menor brilho. Tanto a atratividade quanto o brilho diminuem à medida que a distância aumenta. Se não houver um vaga-lume mais brilhante que o outro, estes irão se mover de forma aleatória. Além disso, cabe ressaltar que o brilho de um vagalume é afetado por sua aptidão (valor da função objetivo). A atratividade é dada pela Equação 6.

$$\beta(r) = \beta_0 \, e^{-\gamma r^2} \quad (6)$$

Em (6), $r$ é a distância entre os vagalumes, $\gamma$ é o coeficiente de absorção de luz pelo meio e $\beta_0$ é a atratividade em r = 0. Assim, a posição de um vagalume i atraído por outro vagalume j, no instante t+1, é dada conforme (7):

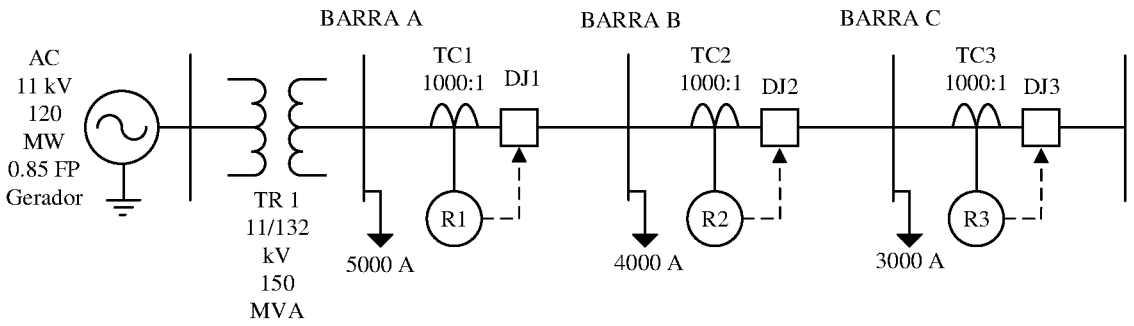
$$x_i(t+1) = x_i(t) + \beta_0 e^{\gamma r_{ij}^2}\left(x_j(t) - x_i(t)\right) + \alpha\left(rand - \frac{1}{2}\right) \quad (7)$$

Na Equação 7, $x_i(t)$ é a posição atual do vagalume i e $\alpha\left(rand - \frac{1}{2}\right)$ é a parcela aleatória do movimento, na qual $rand$ é um número aleatório entre 0 e 1 e $\alpha$ é o peso deste movimento. O parâmetro $\gamma$ é de extrema importância na determinação da velocidade de convergência do algoritmo. Ele deve ser determinado com base nas dimensões do problema a ser otimizado e, geralmente, varia entre 0,01 e 100 (YANG, 2010).

## 3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

O diagrama unifilar do Sistema Teste Radial simples é ilustrado na Figura 1 juntamente com os seus dados. Este sistema teste foi retirado de PURANI e GANDHI (2016), possuindo três relés de sobrecorrente instalados próximos aos barramentos.

Figura 1- Sistema Teste Radial




FONTE: Adaptado de PURANI e GANDHI (2016).

### 3.1 Função Objetivo

A Função objetivo do problema é definida pela Equação 8.

$$z = 4{,}279x1 + 4{,}979x2 + 6{,}3019x3 \quad (8)$$

O problema a ser resolvido é sujeito às restrições de coordenação expostas em (9) a (14).

$$6{,}3019x2 - 6{,}3029x3 \geq 0.3 \quad (9)$$

$$6{,}3019x1 - 6{,}3029x2 \geq 0{,}3 \quad (10)$$

$$4{,}9790x1 - 4{,}9790x2 \geq 0{,}3 \quad (11)$$

$$4{,}2790x1 \geq 0{,}2 \quad (12)$$

$$4{,}9790x2 \geq 0{,}2 \quad (13)$$

$$6{,}3019x3 \geq 0{,}2 \quad (14)$$

Para o Sistema radial da Figura 1, se houver uma falha após o barramento C, o relé R3 opera como proteção primária e o R2 serve como proteção de retaguarda após um certo tempo. O mesmo ocorre para uma falha após o barramento B, onde o relé R2 deverá atuar primeiro sendo o relé R1 proteção de retaguarda.

As correntes de falta, logo após os barramentos C, B e A são, respectivamente, de 3000 A, 4000 A e 5000 A, sendo as relações de transformação dos Transformadores de Corrente iguais a 1000:1 em todas as barras.

O PSM é calculado com base na máxima corrente de falta e o tempo mínimo de operação e, para ambos os relés, é ajustado em 0,2 s. Além disso, o valor do intervalo de tempo seletivo (STI) mínimo é 0,5 s.

O cálculo de $ap$ é feito usando a Equação 4 e os resultados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1- Cálculo da constante ap referente a cada relé.

| | Local da Falta | Relé RA | Relé RB | Relé RC |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Após a Barra A | 4,279 | * | * |
| 2 | Após a Barra B | 4,979 | 4,979 | * |
| 3 | Após a Barra C | 6,3019 | 6,3019 | 6,3019 |

* A falta não é detectada pelo relé nesta situação.

FONTE: Elaborado pelo autor.

Sendo x1, x2 e x3 os valores de TMS os quais se desejam encontrar para cada relé, as equações de otimização foram resolvidas usando os algoritmos FA e Dual Simplex (DS) utilizando a ferramenta MATLAB®.

Para o uso do Algoritmo dos vaga-lumes (FA), o tamanho da população foi fixado em 250 e o número máximo de iterações em 1500. Os valores das constantes α, β, e γ foram ajustados em 0,5, 0,2 e 0,1, respectivamente.

Ressalta-se que a função objetivo vista em (8) foi analisada pelo Dual Simplex para que haja uma comparação dos resultados, visto que esta se trata de um problema linear, podendo ser resolvida segundo o referido método, retornando o valor ótimo. Assim, os valores obtidos com o DS servem como referência para aqueles obtidos com o FA.

Os valores encontrados para o TMS dos relés, utilizando as duas metodologias, são exibidos na Tabela 2.

Tabela 2- Valores obtidos de TMS.

| Relé | TMS | FA | DS |
|---|---|---|---|
| RA | $x_1$ | 0,13959 | 0,13959 |
| RB | $x_2$ | 0,07934 | 0,07934 |
| RC | $x_3$ | 0,03173 | 0,03173 |

FONTE: Elaborado pelo autor.

O tempo ideal total de execução foi de 1,19236 s pelo FA e de 1,19235 s para o DS. Com base nesses resultados, pode-se afirmar que o algoritmo dos vaga-lumes (FA) alcança a solução ótima, dada pelo método dual simplex, com pequena diferença na duração do tempo de execução. Dessa forma, pode-se concluir que, para este sistema teste, o FA alcança a solução ótima para a coordenação de relés de sobrecorrente de tempo inverso, em problemas onde a otimização é tratada como um problema linear.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi abordada a utilização do algoritmo de vaga-lumes (FA) para resolução do problema de otimização do tempo de operação dos relés de sobrecorrente. Um caso foi solucionado a fim de avaliar o desempenho deste algoritmo, em comparação com a resposta obtida através do método Dual Simplex (DS), o qual gera uma solução ótima. Nesse contexto, o FA conseguiu soluções iguais ao método DS.

Dessa forma, tendo em vista os resultados obtidos até então, pode-se concluir que o FA apresenta grande eficácia e robustez para a solução da coordenação de relés de sobrecorrente em problemas lineares por alcançar soluções de qualidade igual ou superior, em comparação aos estudos já realizados e disponíveis na literatura.

## REFERÊNCIAS

ANDERSON, P. M. Power System Protection. Nova Iorque, EUA: IEEE Press, 1998.

PURANI, V. S, GANDHI, S.N. Optimal over current relay co-ordination using Firefly Algorithm in Electrial Network: A nature inspired approach. International Conference on. IEEE, 2016.

YANG, XIN-SHE. Nature-inspired metaheuristic algorithms. Luniver press, 2010.

ZEINELDIN, H. H.; EL-SAADANY, E. F.; SALAMA, M. M. A. Optimal coordination of overcurrent relays using a modified particle swarm optimization. Electric Power Systems Research. Vol. 76. 988-995, 2006.