

Avaliação da Estabilidade de Tensão Via ACO

M. F. Leite, B. A. Souza, D.F.G Filho
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande, Brasil
mfleite@gmail.com, benemar@ieee.org,
daltonfranca@gmail.com

N. R. Ferreira
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal da Bahia
Salvador, Brasil
niraldo@ufba.br

Resumo— Este trabalho apresenta uma técnica de otimização para avaliação de um Sistema Elétrico de Potência (SEP) utilizando conjuntamente um índice de estabilidade de tensão denominado *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) e a metaheurística de otimização por colônia de formigas (ACO). A metaheurística colônia de formigas é empregada com a finalidade de obter as barras críticas de um SEP, reduzindo chamadas de cálculo do fluxo de carga. O ACO toma decisões de como classificar as barras através da variação do índice FVSI das linhas do sistema. É proposta a construção de uma alternativa rápida e eficaz para avaliação da estabilidade de tensão, onde operadores dos SEPs poderão utilizar a ferramenta de forma *on-line*.

Palavras-chave— estabilidade de tensão; FVSI; ACO.

I. INTRODUÇÃO

A estabilidade de tensão está intimamente ligada à capacidade que um sistema de potência possui em manter um perfil de tensão adequado, seja em condições normais de operação ou em casos de perturbações [1]. Não sendo satisfeita esta condição, ocorrerá a instabilidade de tensão, caracterizada por uma queda (ou aumento) progressiva e irreversível na tensão de uma ou mais barras de um SEP.

Técnicas tradicionais para avaliação da problemática são mundialmente utilizadas, como: curvas PV e QV, índice L_{mn} e *Fast Voltage Stability Index* (FVSI). Na tentativa de desenvolver métodos rápidos e eficazes para avaliação da estabilidade de tensão, várias outras técnicas são propostas na literatura, a exemplo do emprego de métodos tradicionais com técnicas de Inteligência Artificial (IA) [2], assim como com algoritmos bio-inspirados (ACO) [3].

O algoritmo de formigas ou ACO (do inglês *Ant Colony Optimization*) foi concebido inicialmente para resolver problemas de otimização combinatória [4]. Em trabalhos posteriores, o método foi proposto para resolver o problema da estabilidade de tensão [3].

Neste artigo é proposta uma técnica para avaliação da estabilidade de tensão em que é empregado conjuntamente o índice de linha FVSI e o ACO, de forma que as peculiaridades do problema da estabilidade de tensão sejam consideradas para que o sistema testado opere de forma estável, sem riscos de ocorrência da instabilidade. A escolha da utilização do ACO nesta pesquisa tem o objetivo de verificar se esse algoritmo é

capaz de proporcionar soluções satisfatórias para o problema da estabilidade sem, a princípio, ter a intenção de compará-lo com outras técnicas. O ACO proposto visa obter um conjunto de barras críticas de um SEP utilizando o FVSI como função.

II. ÍNDICE FVSI

O *Fast Voltage Stability Index* – FVSI é um índice de linha e foi formulado, inicialmente, derivando a equação quadrática de tensão para um sistema de duas barras, na extremidade da recepção, como é apresentado na Fig. 1.

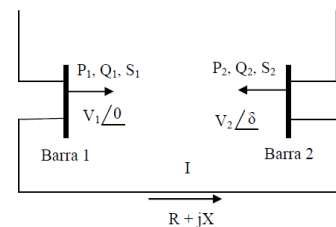


Fig. 1. Modelo de sistema de potência com duas barras.

Sendo: V as tensões; P , Q e S os fluxos de potência ativa, reativa e a potência aparente, respectivamente; I a corrente da barra 1 para a barra 2; R e X a resistência e reatância, respectivamente, da linha que liga a barra 1 à barra 2.

A equação (1) é a formulação do índice de estabilidade FVSI:

$$FVSI_{12} = \frac{4(X^2 + R^2)Q_2}{XV_1^2} \quad (1)$$

Para que a condição de estabilidade de tensão de um SEP seja satisfeita, é necessário que o índice FVSI de cada linha do sistema tenha valor abaixo da unidade: $FVSI < 1$.

III. ACO APLICADO AO PROBLEMA DA ESTABILIDADE DE TENSÃO

O ACO é uma heurística inspirada nas formigas, que conseguem descobrir os menores caminhos entre o formigueiro e uma fonte de alimento através da cooperação e de um mecanismo de comunicação indireta [4]. Quando uma formiga se movimenta sobre o meio e descobre uma fonte de alimento, ela deposita uma substância química no solo, denominada feromônio, no seu trajeto de volta ao formigueiro. Esta

substância atrai outras formigas para a coleta do alimento encontrado. Se existirem várias trilhas de feromônio conduzindo a uma dada fonte, as formigas selecionam a trilha a ser percorrida de forma probabilística, baseadas na concentração de feromônio sobre os caminhos existentes.

As formigas que percorrem a trilha menor até a fonte de alimento retornam ao formigueiro antes daquelas que escolhem trilhas maiores. Então, com o passar do tempo, a trilha menor possuirá uma maior concentração de feromônio que as demais, atraindo um número maior de formigas. Deste modo, a colônia é capaz de selecionar o menor caminho para uma determinada fonte de alimento de forma cooperativa. Tal processo é exemplificado na Fig. 2.

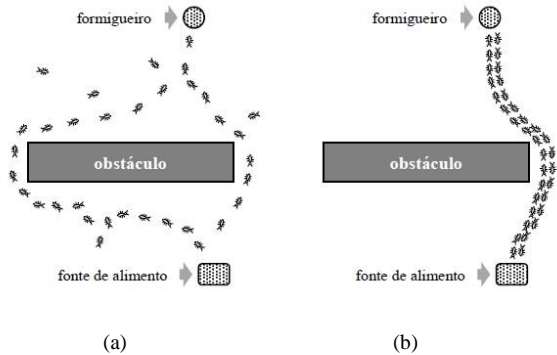


Fig. 2. (a) Escolha aleatória do caminho e (b) Escolha do menor caminho.

A. Formulação do Problema da Estabilidade de Tensão para Solução Via ACO

O problema foi estabelecido de modo que as formigas obtivessem um conjunto de barras do sistema classificadas como críticas quanto à capacidade de incremento de potência reativa, ou seja: quanto maior a capacidade de reativos de uma barra, mais forte essa barra era considerada, e vice-versa. A função objetivo do problema foi definida de modo a englobar tais características, sendo formulada em (2):

$$FO = \Delta f_{ij} \quad (2)$$

Onde Δf_{ij} é a variação do índice FVSI de uma linha ij após o incremento de reativos. O cálculo da variação do índice FVSI de uma linha entre os incrementos de potência reativa em uma barra tem a finalidade de sinalizar as maiores variações de tensão proporcionalmente ao incremento de reativos nas barras e, dessa forma, identificar rapidamente quais as barras críticas do SEP, que estará operando de forma estável se todas as suas linhas tiverem valores FVSI < 1 .

B. Escolha Pseudo-Aleatória do Caminho e Distribuição de Feromônio

A probabilidade de uma formiga K que se encontra em um local i visitar um outro local j é dada pela equação (3):

$$P_{ij} = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{u \in \Psi} \tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}, & \text{se } j \in \Psi \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

Sendo: P_{ij} a probabilidade uma formiga ir de um local i para um local j ; τ_{ij} a quantidade de feromônio sobre o caminho ij ; η_{ij} o conhecimento individual de cada formiga sobre o caminho; α e β os pesos que ponderarão a concentração de feromônio e a informação heurística; Ψ o conjunto dos caminhos que podem ser escolhidos pelas formigas; $\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \rho\Delta f_{ij}$ a atualização de feromônio, onde ρ é o coeficiente definido heurísticamente para evaporação de feromônio ($0 < \rho < 1$).

C. ACO Proposto

O algoritmo proposto é apresentado na Fig. 3.

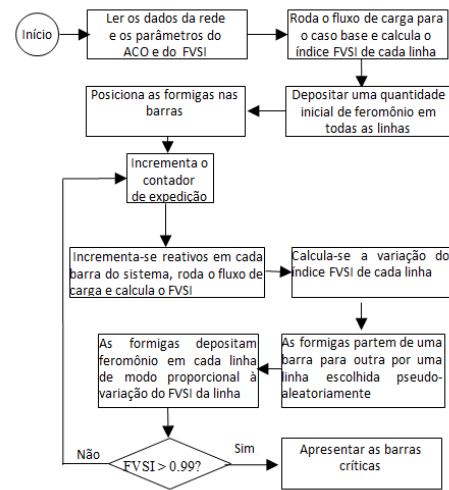


Fig. 3. Fluxograma ACO para obtenção de barras críticas.

D. Resultados Preliminares

O sistema teste escolhido inicialmente foi o IEEE 14 barras. Um grupo formado por 20 formigas partiram das barras do sistema e percorreram todas as suas linhas, depositando ou evaporando feromônio proporcionalmente à variação do índice FVSI da linha após incremento de reativos nas barras de carga. Com o passar das expedições, elas tenderam a um movimento repetitivo nas linhas com mais feromônio, encontrando mais rapidamente as barras críticas do sistema. O conjunto com as barras mais críticas do sistema IEEE 14 barras foi composto pelas barras 10, 11, 12 e 14.

REFERENCES

- [1] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc, 1992.
- [2] F. F. Machado, M. F. Leite, W. S. Mota, B. A. Souza and E. A. Sodré, "Avalia o de Estabilidade de Tensão Via Técnicas de Inteligência artificial", VIII Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia el trica – CBQEE, Blumenau – SC, 2009.
- [3] M. R. Kalil, I. Musirin and M. M. Othman, "Ant Colony Optimization for Maximum Loadability Search in Voltage Control Study," First International Power and Energy Conference – PECon, Putrajaya – Malaysia.
- [4] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 1, n. 1, pp. 53-66, 1997.