



## ESTABILIDADE E ROBUSTEZ EM REDES COMPLEXAS: ESTUDO DE FALHAS EM CASCATA NO GRAFO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DA ELETROSUL

Tomas Carlotto <sup>1</sup>

José Mario Vicensi Grzybowski <sup>2</sup>

Redes elétricas são sistemas complexos de larga escala, com comportamento não linear de dinâmica complexa e cuja topologia é constituída por nós (geradores, transformadores, subestações) e arestas (linhas de transmissão). Sob determinadas condições, instabilidades locais em tais redes podem se propagar, percorrendo diferentes caminhos e provocando falhas em cascata, conhecidas como blecautes. O objetivo deste trabalho é investigar as características topológicas da rede de transmissão de energia da Eletrosul, relacionando-as com seu comportamento dinâmico, robustez e estabilidade diante de falhas de um ou mais de seus nós. Para tal, utilizou-se um modelo de propagação de falhas baseado na redistribuição de cargas entre os nós que permanecem operacionais após uma falha aleatória ou ataque direcionado à rede original. O processo de redistribuição aumenta a carga dos nós adjacentes, eventualmente causando sobrecargas, induzindo falhas e aumentando o número de nós e arestas inoperantes. Para capturar o efeito da topologia da rede no processo de falhas em cascata, a carga em um nó é definida como o número total de caminhos mais eficientes que passam pelo nó como função do tempo, o que significa considerar que o fluxo de energia entre quaisquer dois nós na rede ocorre sempre pelo caminho mais eficiente a conectá-los. Para estudar a robustez da rede, associada à sua topologia, utilizou-se um coeficiente de tolerância a sobrecargas, que indica a capacidade de um nó lidar com situações de sobrecarga sem colapsar. Na prática, o coeficiente de tolerância está relacionado à proximidade do estado funcional normal da rede a dois pontos críticos: o primeiro, caracterizado pela proporção em que as linhas de transmissão estão operando próximas ao seu limite e o segundo caracterizado pela medida em que os picos de demanda estão próximos às margens de geração disponíveis. Considerando a rede de transmissão da Eletrosul, composta por 141 nós e 180 arestas e modelada como uma matriz de adjacências sem pesos, três cenários foram simulados: falha do nó de maior grau, falha do nó de maior carga e falha de um nó representativo da maior parte dos nós da rede, escolhido ao acaso e caracterizado por baixo grau centralidade. Nas simulações, considerou-se o coeficiente de tolerância correspondendo à operação

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental, bolsista de iniciação científica FAPERGS, edital N° 001/PROBIC/FAPERGS/UFFS - 2012/2013, *campus* Erechim/RS. thomas.carl@hotmail.com

<sup>2</sup> Professor Doutor, área de matemática, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Erechim/RS. zzmariovic@yahoo.com.br

do sistema a 2/3 de sua capacidade máxima. Os resultados revelaram as rotas percorridas pela cascata em cada caso, permitindo acesso às fragilidades da topologia da rede estudada. Adicionalmente, verificou-se que a exclusão do nó de maior carga causa maior degradação (38,33%) do que a do nó de maior grau (32,22%), sugerindo que a importância do nó, deve-se mais ao seu papel na topologia da rede do que ao número de conexões que possui. Ambas as simulações mostraram que a falha local percorre a rede e resulta em um efeito global. A falha do nó escolhido ao acaso revelou-se pouco danosa à estrutura da rede, resultando em percentual degradado de 1,11% e produzindo um efeito essencialmente local.

**Palavras-chave:** redes elétricas, topologia, falha em cascata, blecaute.