

# Avaliação da Confiabilidade de Sistemas de Distribuição Considerando Restrições de Transferência de Carga

A.M. Cassula<sup>1</sup>, A.M. Leite da Silva<sup>1</sup> e C.E. Sacramento<sup>2</sup>

## RESUMO

Este artigo apresenta uma nova metodologia para a avaliação preditiva da confiabilidade de sistemas de distribuição, considerando restrições de transferência de carga devido às limitações de capacidade dos equipamentos. O algoritmo desenvolvido baseia-se em técnicas de enumeração de estados com modelos Markovianos e na teoria dos conjuntos mínimos de corte. Durante a fase de implementação do algoritmo proposto em redes típicas de distribuição, deparou-se com algumas limitações devido principalmente à dimensionalidade dos sistemas reais. Para solucionar este problema e viabilizar a utilização do programa, foi desenvolvido um método que decompõe o sistema de distribuição original em subsistemas menores, onde as avaliações são realizadas, sem que ocorra prejuízo nos resultados finais em termos de precisão. Para a apresentação e descrição dos métodos propostos, foi utilizado o sistema teste IEEE-RBTS. Os resultados obtidos para um sistema de distribuição típico da CEMIG são apresentados e discutidos.

## PALAVRAS-CHAVE

Confiabilidade na Distribuição; Sistemas de Distribuição de grande porte; Restrição na transferência.

## I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de média tensão, ou seja, sistemas com tensão igual ou inferior a 34,5 kV, sempre receberam pouca atenção em relação às técnicas de avaliação da confiabilidade quando comparados aos sistemas de geração e transmissão. Este interesse se deve ao fato de que as falhas nos sistemas de geração e transmissão repercutem de forma muito mais abrangente se comparadas às falhas nos sistemas de média tensão, cujo impacto é local. Além disto, o custo unitário das obras nos sistemas de geração e transmissão é muito superior ao custo unitário das obras nos sistemas de média tensão.

Entretanto, os sistemas de média tensão representam o último elo de ligação com o consumidor e a grande maioria das falhas ocorre nestes sistemas, sendo diretamente

sentidas pelos consumidores. Embora o custo unitário das obras não seja elevado, o montante de recursos aplicados nestes sistemas anualmente pode superar o investido nos sistemas de geração e transmissão, por estar distribuído em toda a área de concessão da empresa.

A resolução ANEEL 024/2000 [1] e outras resoluções específicas para cada concessionária de energia elétrica estabelecem novos limites para os índices de continuidade coletivos: DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora e FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora; e cria indicadores individuais: DIC - Duração de Interrupção por Unidade Consumidora, FIC - Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora, e DMIC - Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora. Na mesma resolução, foram estipuladas as fórmulas para cálculo das penalidades. Esta sinalização econômica e a forte pressão por redução de custos têm despertado o interesse das empresas em avaliar a confiabilidade esperada de suas redes, bem como o impacto provocado por novas obras no sistema elétrico.

## II. TOPOLOGIA DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Os sistemas de distribuição podem apresentar três diferentes topologias: i) Radial; ii) Fechado em anel e iii) Radial com recurso ou mista, como mostra a Figura 1.

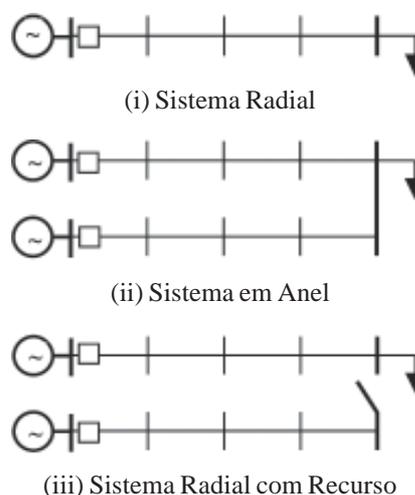


FIGURA 1 - Topologia dos Sistemas de Distribuição

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro do CNPq e da CEMIG a este projeto de pesquisa.

<sup>1</sup> Grupo de Engenharia de Sistemas - GESis, Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI, MG, Brasil

<sup>2</sup> Depto de Planejamento do Sistema Elétrico - CEMIG, Cia Energética de Minas Gerais, MG, Brasil

Os sistemas radiais possuem apenas um caminho entre a fonte de alimentação e os pontos de carga, e a falha de qualquer componente do sistema acarreta interrupção nos pontos de carga posteriores à proteção. Os sistemas em anel possuem mais de um caminho entre a fonte de alimentação e os pontos de carga, e a falha de um componente é automaticamente isolada pela proteção, não provocando interrupção nos pontos de carga. Os sistemas radiais com recurso representam uma situação intermediária entre as duas topologias anteriores. Apesar desta configuração possuir apenas um caminho entre a fonte de alimentação e os pontos de carga, é possível isolar o defeito de um componente e atender os pontos de carga remanescentes por um caminho alternativo, através do fechamento de chaves normalmente abertas (NA).

Devido a diversos aspectos, tais como: custo, segurança e complexidade do ajuste das proteções, a operação dos sistemas em anel somente é utilizada em áreas urbanas de grande concentração ou em casos especiais. As topologias radiais e radiais com recursos são as mais utilizadas no Brasil. Normalmente, o atendimento inicial a um determinado conjunto de cargas é feito por um circuito radial e, conforme o aumento da demanda e/ou o aumento dos requisitos de qualidade da carga, este sistema evolui para um radial com recurso. Pode-se dizer que, quanto maior a quantidade de pontos de interligação em um circuito alimentador (chaves NA's), melhores serão os índices de confiabilidade percebidos pelos pontos de carga i.e. consumidores.

### III. SISTEMAS DE GRANDE PORTE

Durante a fase de implementação de uma rede de distribuição típica no programa de confiabilidade desenvolvido [12], surgiram alguns obstáculos que impediam sua aplicação. Devido à dimensão da rede de distribuição dos sistemas avaliados, em muitos casos a capacidade de memória computacional era insuficiente e, em outros, o tempo de processamento muito elevado. Para solucionar este problema e viabilizar a utilização do programa de confiabilidade, foi desenvolvido um novo método que decompõe o sistema de distribuição em vários subsistemas menores, como será descrito a seguir.

Inicialmente, é necessário identificar os alimentadores principais do sistema. No caso do sistema teste utilizado para ilustrar, o IEEE-RBTS Barra 2 [5], mostrado na Figura 4, pode-se observar claramente os quatro alimentadores principais. Estes estão assinalados em tracejado e foram denominados de Ramais 1 a 4. Em sistemas complexos, esta identificação visual dos alimentadores pode não ser trivial. Um algoritmo capaz de determinar automaticamente os alimentadores principais do sistema foi desenvolvido. Este algoritmo consiste em verificar a conectividade entre os ramos e indicar os pontos de carga que utilizam o mesmo alimentador para receber energia da

fonte, sem que haja a necessidade do fechamento de componentes NA's.

O sistema utilizado possui uma topologia radial com recurso, pois se percebe a existência de um único caminho NF (Normalmente Fechado) que conduz energia elétrica da fonte para os pontos de carga. Entretanto, o sistema é capaz de oferecer caminhos alternativos para transmitir energia aos consumidores interrompidos devido à falha de algum componente. A percepção visual de todas as possibilidades de caminhos alternativos torna-se inviável em sistemas complexos.

Em condições normais de operação, os quatro alimentadores da Figura 4 trabalham de forma independente. Um alimentador somente sofrerá interferência de outro, no caso de existir uma contingência que seja necessário o fechamento de chaves NA's. Nesta situação, alguns consumidores de um ramal serão alimentados por um outro ramal. No caso do sistema da Figura 4, a falha na linha de distribuição situada no ramo 8, atuará o disjuntor na entrada do Ramal 1 (ramo 1), e depois serão abertas as seccionadoras dos ramos 7 e 13. Com isso, apenas os consumidores conectados aos pontos de carga LP-1 e LP-2, receberão energia do alimentador original (Ramal 1). Os consumidores dos pontos de carga LP-3 e LP-4 deverão esperar o reparo da linha de distribuição do ramo 8, e os demais consumidores (LP-5, LP-6 e LP-7) serão alimentados pelo Ramal 2, a partir do fechamento da chave NA que interliga os ramais 1 e 2 (ramo 500).

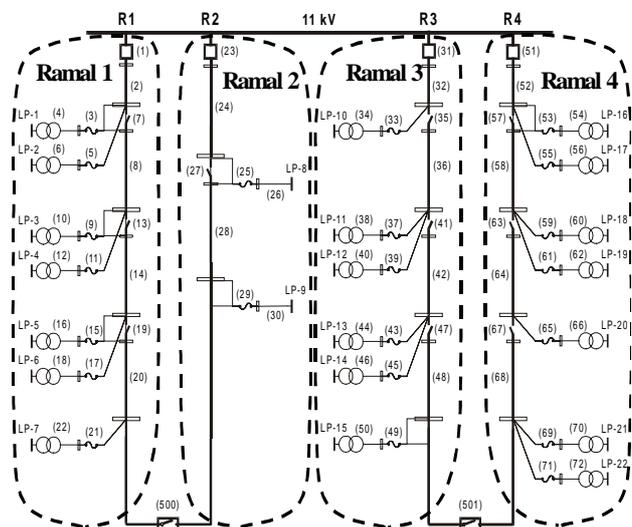


FIGURA 2 - Sistema de Distribuição IEEE-RBTS Barra2

A metodologia proposta consiste em separar completamente cada um dos alimentadores e, as chaves NA's que interligam os ramais serão substituídas por fontes alternativas conectadas através de componentes NA's. Esta nova configuração pode ser visualizada na Figura 5, que representa os ramais individualizados. No caso deste exemplo, existe apenas um caminho NA para suprir os pontos de carga, porém na prática existem inúmeras possibilidades, e a malha de conectividade se torna complexa.

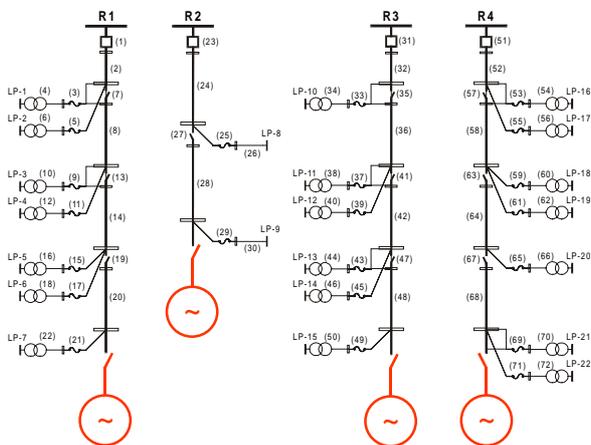


FIGURA 3 - Sistema Decomposto por Alimentador

Em termos de confiabilidade, a perda ao utilizar esta suposição restringe-se a desconsideração de alguns cortes de 2ª ordem [3,4] (superposição de falhas entre dois componentes); apenas aqueles que dependem de chaveamentos envolvendo chaves NA's. Por exemplo, já se demonstrou que ao falhar o ramo 8, os pontos de carga LP-5, LP-6 e LP-7 deverão ser alimentados pelo Ramal 2, através do fechamento da chave NA do ramo 500. Se durante a falha do ramo 8, ocorrer uma falha no ramo 28, estes pontos de carga não poderão ser atendidos pelo Ramal 2. Esta situação representa um corte de 2ª ordem que a metodologia que separa os alimentadores não considera.

A influência dos cortes de 2ª ordem no resultado final dos índices é mínima e, em muitos casos, pode ser desprezada [5,8,12]. Portanto, toda análise pode ser realizada considerando os alimentadores separadamente. Com a utilização desta metodologia, as limitações que impossibilitavam a aplicação do algoritmo em sistemas de grande porte foram superadas. Os resultados obtidos com esta metodologia serão apresentados e comparados com aqueles onde se considera o sistema completo.

#### IV. RESTRIÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

A falha de um componente do sistema elétrico provoca a abertura de um dispositivo de proteção, com o objetivo de restringir a abrangência e a gravidade do defeito sobre os demais componentes. A abertura do dispositivo de proteção em sistemas radiais e radiais com recurso provoca a interrupção no fornecimento de energia elétrica nos pontos de carga posteriores à proteção. Se existir pontos de interligação que possam alimentar parte das cargas interrompidas durante o tempo de reparo do componente defeituoso, este componente é isolado (o componente defeituoso fica entre pelo menos dois dispositivos abertos).

Através do fechamento de chaves NA's, transfere-se as cargas interrompidas que estão fora da área isolada, para um outro alimentador. A grande maioria dos programas computacionais que avaliam a confiabilidade de sistemas

de distribuição, utilizam o critério da continuidade como hipótese básica. Este critério baseia-se apenas na existência de caminhos que possibilitem atender um determinado ponto de carga, não considerando nenhuma restrição técnica, como carregamento e tensão. A desconsideração destes aspectos pode provocar problemas ainda maiores, tanto nas cargas que estão sendo transferidas, quanto nas cargas normalmente atendidas pelo circuito que está recebendo a transferência.

Dos aspectos técnicos a serem considerados, o que pode provocar os maiores e mais imediatos impactos é o limite de carregamento. A potência máxima que pode ser transferida para um alimentador é determinada levando-se em consideração a disponibilidade (capacidade menos carregamento em regime normal) de todos os ramos do ponto de interligação até a fonte, inclusive a transformação da subestação.

Para determinar a influência da restrição de transferência de carga na avaliação da confiabilidade, inicialmente o algoritmo desenvolvido identifica os pontos de carga que serão transferidos para um outro alimentador. Neste momento, é comparada a carga total a ser transferida com a capacidade máxima de transferência dos pontos de interligação (chaves NA's). Caso a carga total a ser transferida seja inferior a soma das capacidades dos pontos de interligação, toda esta carga poderá ser atendida pelos outros alimentadores. Nesta situação, será computado apenas o tempo de chaveamento para estes pontos de carga, no cálculo dos índices de confiabilidade.

Por outro lado, caso a capacidade total das chaves NA's não suporte toda transferência dos pontos de carga, é realizada uma busca para verificar a existência de seccionadoras que limitem a potência a ser transferida. Esta busca é realizada a partir do componente defeituoso no sentido do ponto de interligação. A seccionadora mais próxima do defeito é acionada, e determinam-se quais os pontos de carga permanecem fora da área isolada. Verifica-se novamente se a carga total dos pontos de carga remanescentes é inferior a capacidade máxima de transferência. Caso afirmativo, realiza-se a transferência e, para os pontos de carga que foram incluídos na área isolada, será computado nos índices de confiabilidade o *tempo de reparo*, para os que foram transferidos para outros alimentadores, será computado o *tempo de chaveamento*. Caso não seja possível realizar a transferência, deve-se seguir no sentido do ponto de interligação até encontrar uma outra seccionadora, e repetir o procedimento.

Para exemplificar, também será utilizado o sistema teste da Figura 4. Na análise anterior, observou-se que ao falhar a linha de distribuição situada no ramo 8, o disjuntor de entrada do Ramal 1 será atuado e as seccionadoras dos ramos 7 e 13 serão abertas. Com isso, os pontos de carga LP-5, LP-6 e LP-7 deverão ser alimentados pelo Ramal 2, através do fechamento da chave NA do ramo 500. A potência destes 3 pontos de carga são respectivamente 566

kW, 454 kW e 454 kW, resultando em um total de 1.474 kW. Ao adotar uma capacidade máxima de 1.200 kW para a chave NA do ramo 500, verifica-se que a transferência não pode ser efetuada. De acordo com o procedimento, a próxima seccionadora a ser acionada é a do ramo 19, o que acarreta a inclusão dos pontos de carga LP-5 e LP-6 na área isolada. A soma das potências dos pontos de carga remanescente, neste caso apenas o LP-7, é 454 kW, que é inferior a capacidade máxima do ponto de interligação e, portanto, a transferência pode ser realizada.

Neste exemplo, a duração da interrupção experimentada pelos pontos de carga LP-5 e LP-6, deixou de ser o tempo de chaveamento para ser o tempo de reparo do componente do ramo 8. Esta alteração irá refletir na avaliação dos índices de confiabilidade. A aplicação em um caso real, comparando os resultados ao se considerar a restrição de transferência de carga, será apresentada a seguir.

## V. APLICAÇÃO EM UM SISTEMA REAL

A simulação de um sistema real só foi possível com o desenvolvimento de programas computacionais que possibilitaram a utilização da base de dados existente na empresa e a aplicação automática da metodologia aqui proposta. O sistema escolhido foi o da cidade de Papagaios, que ocupa uma área de 556 km<sup>2</sup> e fica no Oeste de Minas Gerais. Este sistema é considerado de médio porte, pois possui 148 ramos e 61 pontos de carga, distribuídos em quatro alimentadores principais. A sua topologia pode ser visualizada através da Figura 6 [12].

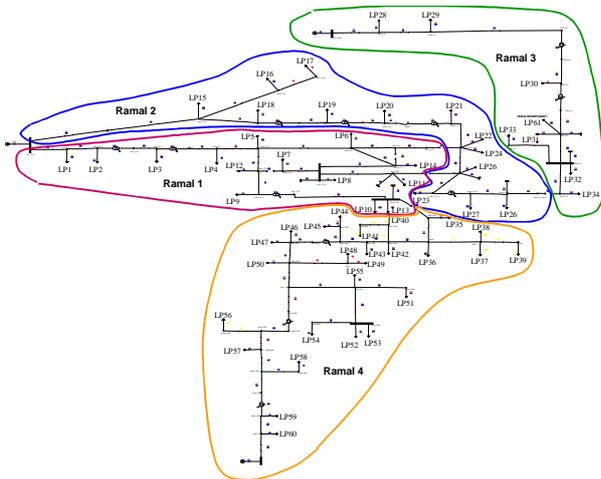


FIGURA 4 - Sistema Elétrico de Papagaios

A avaliação realizada utilizando o sistema completo demonstrou que sua malha de conectividade é bastante complexa. Verificou-se a presença de inúmeros caminhos alternativos (mais de trinta) para cada ponto de carga. Obviamente, seria praticamente impossível a identificação de todos estes caminhos NA's somente através de uma inspeção visual.

## A. Decomposição do Sistema por Alimentador

Utilizando a metodologia que separa o sistema total por alimentador, a configuração que representa o alimentador 1 (Ramal 1) do sistema de Papagaios está mostrada na Figura 7. Observa-se que existem três pontos de interligação, dois interligando com o Ramal 2 e um interligando com o Ramal 4. Sistemas similares foram criados para os outros três alimentadores.

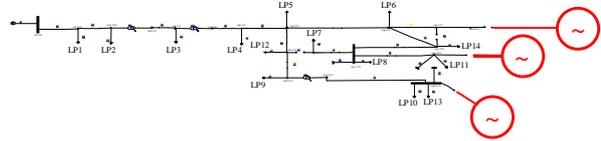


FIGURA 5 - Alimentador 1 do Sistema de Papagaios

A Tabela 1 apresenta os dados referentes aos índices para alguns pontos de carga: FIC e DIC [1]. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos para os índices de sistema: FEC e DEC [1]. Na coluna denominada *sistema original*, foram dispostos os resultados considerando o sistema completo. Os resultados obtidos com a nova metodologia que decompõe o sistema por alimentadores foram colocados na coluna *sistema decomposto*.

TABELA 1

### Comparação dos Índices de Ponto de Carga

Ponto de Carga		FIC		DIC	
		[Interrupções/ano]		[horas/ano]	
		Sistema Original	Sistema Decomposto	Sistema Original	Sistema Decomposto
Ramal 1	LP01	17,6072	17,6072	12,4302	12,4302
	LP02	17,6145	17,6145	12,4389	12,4389
	LP03	17,6186	17,6186	12,4439	12,4439
	LP04	17,6161	17,6161	12,4409	12,4409
Ramal 2	LP15	29,5717	29,5717	20,8849	20,8849
	LP16	29,5717	29,5717	26,5771	26,5771
	LP17	29,5717	29,5717	34,6072	34,6072
Ramal 3	LP18	29,5785	29,5785	20,8930	20,8930
	LP28	16,9511	16,9505	11,9657	11,9653
	LP29	16,9691	16,9592	11,9821	11,9757
	LP30	17,0624	16,9858	12,0571	12,0077
Ramal 4	LP31	17,0705	16,9847	12,0617	12,0063
	LP35	29,8207	29,7780	21,0692	21,0198
	LP36	29,8252	29,7848	21,0746	21,0279
	LP37	29,8252	29,7848	25,2421	25,1954
	LP38	29,8252	29,7848	25,2421	25,1954

TABELA 2

### Comparação para os Índices de Sistema

Sistema	FEC		DEC	
	[Interrupções/cons.ano]		[horas/cons.ano]	
Original	Sistema Decomposto	Sistema Original	Sistema Decomposto	
24,5474	23,9982	17,9390	17,5108	

Analisando os resultados, pode-se observar que o desempenho do método proposto é excelente. Existe somente uma pequena diferença nos valores cujos pontos de carga pertencem aos ramais 3 e 4. Este fato é devido a estes ramais possuírem apenas um ponto de interligação com os outros ramais, o que os tornam mais vulneráveis a falhas de 2ª ordem. Entretanto, verifica-se que os valores obtidos são totalmente compatíveis, onde a diferença percentual entre os métodos permaneceu inferior a 1%. Este desempenho foi também obtido para todas as redes de distribuição da CEMIG analisadas.

Para o sistema completo, o tempo total de simulação utilizando um processador de 750 MHz, ficou em torno de 15 minutos. Com o mesmo processador, o soma dos tempos para simular os 4 sistemas resultantes de cada um dos alimentadores, foi inferior a 2 minutos. Apesar do sistema de Papagaios ser de médio porte, pode-se observar o grande ganho computacional obtido ao se utilizar o método proposto. Em muitos casos reais, em virtude da dimensão dos sistemas, é impossível a análise considerando o sistema completo, devido às restrições dos computadores atuais.

### B. Influência da Restrição de Transferência de Carga

Com a modelagem proposta na Seção 4, a existência de um caminho alternativo (chave NA) não garante que os consumidores interrompidos serão transferidos, vai depender da capacidade disponível no(s) ponto(s) de interligação. Para avaliar os impactos nos resultados com a adoção da restrição de transferência de carga, também foi utilizado o sistema de Papagaios, mostrado na Figura 6. Os resultados foram gerados pelo algoritmo desenvolvido, que utiliza em seu processo interno o princípio da enumeração de estados (analítico) e a teoria dos conjuntos mínimos de corte [3,4]. Os valores obtidos para este sistema, considerando restrições nas transferências e sem considerar tais restrições, são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Como era de se esperar, a quantidade de interrupções não é alterada pela restrição na transferência de carga, pois a transferência somente irá interferir na duração da interrupção. Portanto, os índices FIC e FEC, apresentam os mesmos valores nas duas condições. Os índices DIC e DEC, que consideram a indisponibilidade média anual, são diretamente afetados pela restrição de transferência de carga e, em muitos casos, apresentam valores diferentes para as duas situações. Obviamente, a restrição de transferência de carga sempre aumenta os índices baseados na duração da interrupção. Por exemplo, o índice DEC aumentou de 17,5108 para 28,5628 horas/consumidor-ano, quando restrições de transferência de carga foram consideradas.

A diferença percentual média encontrada tomando como referência os valores sem restrição na transferência de carga foi de 57%. A maior diferença percentual ocorreu nos pontos de carga LP10 e LP13: DIC (sem restrição) = 12,42635 horas/ano e DIC (com restrição) = 38,09224 horas/ano, i.e. 206%. Portanto, houve uma diferença considerável, que justifica plenamente a utilização da metodologia.

TABELA 3

### Influência da Restrição de Transferência de Carga: Índices de Pontos de Carga

Ponto de Carga		FIC		DIC	
		[Interrupções/ano]		[horas/ano]	
		Sem Restrição	Com Restrição	Sem Restrição	Com Restrição
Ramal 1	LP01	17,6072	17,6072	12,4302	13,4428
	LP02	17,6145	17,6145	12,4389	16,4922
	LP03	17,6186	17,6186	12,4439	20,5581
	LP04	17,6161	17,6161	12,4409	24,8781
Ramal 2	LP15	29,5717	29,5717	20,8849	27,0593
	LP16	29,5717	29,5717	26,5771	32,7515
	LP17	29,5717	29,5717	34,6072	40,7817
	LP18	29,5785	29,5785	20,8930	31,8875
Ramal 3	LP28	16,9511	16,9511	11,9657	12,0664
	LP29	16,9691	16,9691	11,9821	13,8452
	LP30	17,0624	17,0624	12,0571	26,5257
	LP31	17,0705	17,0705	12,0617	28,2791
Ramal 4	LP35	29,8207	29,8207	21,0692	21,0692
	LP36	29,8252	29,8252	21,0746	21,0746
	LP37	29,8252	29,8252	25,2421	25,2421
	LP38	29,8252	29,8252	25,2421	25,2421

TABELA 4

### Influência da Restrição de Transferência de Carga: Índices de Sistema

Sem Restrição	FEC		DEC		
	[Interrupções/consumidor ano]		[horas/consumidor ano]		
	Sem Restrição	Com Restrição	Sem Restrição	Com Restrição	
23,9982		23,9982		17,5108	28,5628

A influência da restrição na transferência em um determinado ponto de carga depende: i) da topologia do sistema e do esquema de proteção; ii) de sua distância até o ponto de interligação e iii) da relação entre o montante de carga a ser transferido e a capacidade máxima das chaves NA's. Para exemplificar, os quatro pontos de carga do Ramal 4, apresentados na Tabela 3, totalizam 144 kVA e são os pontos mais próximos à única chave NA deste alimentador. Como a capacidade máxima desta chave é de 1.250 kVA, estes pontos de carga sempre serão incluídos em uma transferência e, portanto, não apresentam diferença para as duas condições. No sistema analisado, somente 31% do total de pontos de carga não apresentaram diferenças para as duas situações.

## VI. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de programas computacionais que simulam situações reais está se tornando indispensável no auxílio à operação e ao planejamento de sistemas elétricos. Estas ferramentas devem recriar as condições operativas experimentadas pelos sistemas de distribuição, para que análises preventivas possam ser realizadas a fim de evitar

acidentes e melhorar o desempenho dos sistemas a um custo aceitável. Uma característica muito comum encontrada na prática é a restrição de transferência de carga devido à capacidade limite dos equipamentos. Neste trabalho foi apresentado um novo método para avaliação preditiva da confiabilidade em sistemas de distribuição, onde se consideram as restrições de transferência de carga.

Durante a fase de implementação do algoritmo desenvolvido em uma rede de distribuição típica, surgiram alguns obstáculos que impediam sua aplicação. Devido à dimensão e a complexidade da malha de conectividade dos sistemas reais avaliados, em muitos casos a capacidade de memória dos computadores utilizados era insuficiente e, em outros, o tempo computacional era muito elevado. Para solucionar este problema e viabilizar a utilização do programa de confiabilidade, foi desenvolvida uma metodologia que decompõe o sistema de distribuição em vários subsistemas, baseada na identificação automática dos alimentadores principais. Com isso, a avaliação foi realizada de forma eficiente do ponto de vista computacional, sem comprometer a precisão dos resultados finais.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] Resolução 024 - ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, Diário Oficial da União, Janeiro/2000.
- [2] R. N. Allan, R. Billinton, A. M. Breipohl e C. H. Grigg, "Bibliography on the Application of Probability Methods in Power System Reliability Evaluation", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 14, no. 1, pp. 51-57, Feb. 1999.
- [3] R. Billinton and R.N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", 2<sup>nd</sup> Edition, Plenum Press, N.Y., 1994.
- [4] R. N. Allan, R. Billinton, M. F. de Oliveira, "An Efficient Algorithm for Deducing the Minimal Cuts and Reliability Indices of a General Network Configuration", IEEE Trans. Reliability, vol. R-25, no. 4, Out. 1976.
- [5] R.N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel, K.S. So, "A Reliability Test System for Educational Purposes - Basic Distribution System Data and Results", IEEE Trans. on Power System, Vol. 6. No. 2, pp. 813-820, May 1991.
- [6] R.N. Allan and M.G. da Silva, "Evaluation of Reliability Indices and Outage Costs in Distribution Systems", IEEE Trans. on PS, Vol. 10, No. 1, pp. 413-419, Feb. 1995.
- [7] A.A. Chowdhury and D.O. Koval, "Value-Based Distribution System Reliability Planning", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 34, No. 1, pp.23-29, Jan./Feb. 1998.
- [8] R. Billinton e P. Wang, "Distribution System Reliability Cost/Worth Analysis Using Analytical and Sequential Simulation Techniques", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13, no. 4, pp. 1245-1250, Nov. 1998.
- [9] A.M. Cassula, A.M. Leite da Silva, R. Billinton e L.A.F. Manso, "Avaliação da Confiabilidade em Sistemas de Distribuição Considerando Falhas de Geração e Transmissão". XIII CBA – Congresso Brasileiro de Automática, Florianópolis - Brasil, Setembro 2000.
- [10] A.M. Leite da Silva, A.M. Cassula, R. Billinton e L.A.F. Manso, "Optimum Load Shedding Strategies in Distribution Systems", IEEE Power Tech Conference, Porto, Portugal, August 29 - September 2, 2001.
- [11] A.M. Leite da Silva, A.M. Cassula, R. Billinton e L.A.F. Manso, "Integrated Reliability Evaluation of Generation, Transmission and Distribution Systems", IEE Proc. Pt. C, a ser publicado, 2002.
- [12] A.M. Leite da Silva, A.M. Cassula e C.E. Sacramento, "Avaliação da Confiabilidade dos Sistemas de Distribuições da CEMIG, Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, Relatórios 1, 2 e 3, Outubro/2001 - Março/2002.