

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

Curso de Especialização em Sistemas de Energia Elétrica - Ênfase em
Qualidade da Energia Elétrica

VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA PARA A UTILIZAÇÃO
DE CONDUTOR NEUTRO EM REDES ELÉTRICAS DE
DISTRIBUIÇÃO RURAL

Douglas Estevam da Costa

José Osvaldo Saldanha Paulino

Orientador

Belo Horizonte

2012

DOUGLAS ESTEVAM DA COSTA

VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA PARA A UTILIZAÇÃO
DE CONDUTOR NEUTRO EM REDES ELÉTRICAS DE
DISTRIBUIÇÃO RURAL

Monografia apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Minas Gerais,
como requisito para obtenção do título de
especialista em sistemas de energia elétrica

Área de concentração: Universidade Federal
de Minas Gerais

Orientador: José Osvaldo Saldanha Paulino

Belo Horizonte

2012

DOUGLAS ESTEVAM DA COSTA

VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA PARA A UTILIZAÇÃO DE
CONDUTOR NEUTRO EM REDES ELÉTRICAS DE DISTRIBUIÇÃO
RURAIS

Monografia apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Minas Gerais,
como requisito para obtenção do título de
especialista em sistemas de energia elétrica

Área de concentração: Universidade Federal
de Minas Gerais

José Osvaldo Saldanha Paulino

José Osvaldo Saldanha Paulino (Orientador) UFMG

Belo Horizonte, Março de 2012

Dedico este trabalho a minha esposa Adriana, a meus filhos Bernardo e Eduardo, a meus pais Geraldo e Leth e a meu irmão Leonardo por acreditarem em mim.

Em primeiro lugar agradeço a Deus que me deu força e vontade para superar os obstáculos deste trabalho, ao professor José Osvaldo Saldanha Paulino pela orientação e a meu amigo Luiz Alberto pelos conhecimentos passados ao longo de nossa amizade.

RESUMO

As concessionárias de energia elétrica do Brasil optam por dois sistemas para as redes de distribuição. O primeiro é o sistema multiterrado. Neste há um condutor neutro contínuo ao longo da rede, sendo interligado ao aterramento da subestação. Este condutor é interligado também a todos os aterramentos instalados ao longo da rede, sendo comum ao primário e ao secundário. O segundo sistema não utiliza este condutor neutro ao longo da rede, deste modo, o neutro surge apenas nos transformadores delta estrela a fim de atender os consumidores monofásicos em baixa tensão.

Os aterramentos elétricos desempenham importância fundamental nos sistemas de distribuição: protegem os usuários de equipamentos das descargas atmosféricas, promovem melhorias no desempenho dos dispositivos de proteção e transferem as cargas estáticas acumuladas em máquinas e equipamentos para a terra.

Neste trabalho será analisado o custo de montagem de 1Km de rede de distribuição rural para o sistema com neutro multiterrado da CEMIG e o sistema sem neutro da CELPA, analisando a viabilidade técnica econômica para a instalação desses condutores.

Palavras chave: Concessionárias de energia elétrica. Sistema multiterrado. Transformadores delta estrela

ABSTRACT

The electric energy utilities in Brazil choose two systems to distribute networks. The first is the system multilanded. In this system, there is a continuous neutral conductor across the network, being interconnected to the embankment of the substation. This conductor is also connected to all grounds installed over the network, most commonly both primary and secondary. The second system does not use this neutral conductor along network, thus it is maintained only in the neutral transformer delta star to attend single-phases consumers working with low voltage.

The electrical embankments play a fundamental importance in distribution systems: they protect the users of the equipment from lightning, they give improvements in the performance of protective devices and they also transfer static charges accumulated in machines and equipment to the land.

In this work, it will be analyzed the assembly cost of 1 km of rural distribution network to CEMIG's neutral system multilanded and CELPA's non-neutral system, analyzing the technical and economical viability for installing these conductors.

Keywords: Electric energy utilities. System multilanded. Transformer delta-star

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema trifásico a quatro fios com neutro multiterrado (PIZZALI, 2003).....	14
Figura 2 - Concessionárias do país (ANEEL)	20
Figura 3 - Rede de distribuição com neutro	22
Figura 4 - Rede de distribuição sem neutro.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Custo dos materiais utilizados em rede de distribuição com neutro.....	22
Tabela 2- Custo dos materiais utilizados em rede de distribuição sem neutro.....	23
Tabela 3- Concessionárias que não utilizam o neutro multiaterrado	25
Tabela 4- Concessionárias que utilizam o neutro multiaterrado	25

LISTA DE NORMAS UTILIZADAS

CEMIG

- ND 2.2 - Instalações Básicas de Redes de Distribuição Aéreas Rurais
- ND 3.2 - Projetos de Redes de Distribuição Rurais
- ND 6.1 - Tabelas Práticas

BANDEIRANTE

- PND – 2.06 - Projeto de Redes de Distribuição Rural

CELG

- NTD 005 –Fornecimento de Energia em Tensão Primária

CELPE

- VR01.03-00.012 - Projeto de Rede de Distribuição Aérea Rural - 15Kv

CEMAR

- NT.GEMS.006 - PADRÃO DE ESTRUTURAS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
- NT - 05.002.00 - FORNECIMENTO DE E. E. EM MÉDIA TENSÃO 15 KV

CEPEL

- RELATÓRIO TÉCNICO DPP/PER no 1259/2001

COELBA

- VR01.02-01.015 - Compartilhamento de Postes da Rede de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. Tipos de aterramento	12
2.1.1. Sistema Não Aterrado ou Com Neutro Isolado.....	12
2.1.2. Aterramento Sólido ou Efetivo.....	12
2.1.3. Aterramento Através de Baixa Impedância.....	13
2.1.4. Aterramento Através de Alta Impedância.....	13
2.1.5. Aterramento Ressonante.....	13
2.2. O sistema de distribuição com neutro multiterrado	14
2.2.1. Aterramento simples com uma haste.....	14
2.2.2. Aterramento com três hastes em linha.....	15
2.2.3. Aterramento com sete hastes.....	15
2.2.4. Aterramento com duas malhas de cinco hastes	15
2.2.5. Aterramento com três malhas de cinco hastes	15
2.2.6. Aterramento com três malhas de sete hastes	16
2.3. O sistema de distribuição sem neutro	16
2.3.1. Aterramento com seis hastes em linha.....	16
2.4. Aterramentos aplicando bentonita	17
2.5. Bobina de Petersen	17
3. CONCESSIONÁRIAS DO PAÍS	19
4. ESTUDO DE CASO	21
4.1. Rede com neutro.....	21
4.2. Rede sem neutro.....	22
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
6. REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição é responsável por interligar os sistemas de grande porte, formados pela geração e transmissão, com os consumidores finais. Falhas na geração e transmissão acarretam no desligamento de grande quantidade de consumidores (GUIMARÃES, 2006).

O aterramento do neutro da rede rural destina-se a proteção de pessoas, de animais e do próprio equipamento elétrico contra descargas atmosféricas e vazamentos de corrente conduzindo a terra as correntes e assegurando o bom funcionamento dos equipamentos de proteção do sistema elétrico (RONCOLATO, 2010).

Sabe-se que 80% das faltas a terra em linhas aéreas são temporárias, mas provocam a abertura dos disjuntores e interrupção do fornecimento de energia elétrica. A forma de aterramento do neutro dos transformadores torna-se uma ferramenta importante tanto para a melhoria da qualidade de energia fornecida quanto para aliviar as malhas de terra das novas instalações e daquelas já existentes (MORAES, 2009).

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os principais objetivos do aterramento do sistema são: minimizar o stress térmico e de tensão nos equipamentos elétricos, proporcionar segurança para as equipes de trabalho, reduzir as interferências nos sistemas de comunicação e contribuir para a detecção e eliminação rápidas de faltas à terra (ROBERTS, ALTUVE e HOU, 2001)

2.1. TIPOS DE ATERRAMENTO

O aterramento elétrico desempenha uma função essencial em um sistema de distribuição de energia elétrica, devendo atender, dentre vários requisitos, aqueles estabelecidos quanto aos valores de tensão de passo e de toque (BEZERRA, 2011).

O aterramento elétrico tem três funções principais:

- Proteger o usuário do equipamento das descargas atmosféricas, através da viabilização de um caminho alternativo para a terra, de descargas atmosféricas.
- “Descarregar” cargas estáticas acumuladas nas carcaças das máquinas ou equipamentos para a terra.
- Melhorar o desempenho dos dispositivos de proteção (fusíveis, disjuntores, etc.), através da corrente desviada para a terra.

2.1.1. Sistema Não Aterrado ou Com Neutro Isolado

Este sistema não possui conexão intencional com a terra, seu único contato com a terra ocorre por meio da capacitância do condutor. Para esse sistema, a resistência de falta e a capacitância do condutor em relação à terra são os dois fatores que limitam a corrente de falta à terra (MORAES, 2009)

2.1.2. Aterramento Sólido ou Efetivo

Este sistema apresenta todos os neutros do sistema de potência conectados a terra, sem qualquer impedância intencional entre o neutro e a terra. É capaz de reduzir o risco de sobretensões durante faltas à terra. Esse tipo de sistema apresenta a

relação $\frac{X_0}{X_1} \leq 3$ e $\frac{R_0}{X_1} \leq 1$, onde X_0 e R_0 são a reatância e a resistência de sequência zero e X_1 é a reatância de sequência positiva do sistema de potência (MORAES, 2009 e ROBERTS, ALTUVE e HOU, 2001).

2.1.3. Aterramento Através de Baixa Impedância

O sistema de aterramento é realizado através de um reator ou resistor de baixa impedância com a finalidade de limitar a corrente de falta à terra a dezenas ou centenas de amperes, reduzindo assim o stress térmico dos equipamentos (MORAES, 2009).

2.1.4. Aterramento Através de Alta Impedância

O método do aterramento através de alta impedância limita a corrente de falta à terra em 25 A ou menos, limitando as sobretensões transitórias em valores seguros durante faltas à terra

O sistema é aterrado através de um reator ou resistor de alta impedância, cujo valor é igual ou ligeiramente menor do que o da reatância para terra capacitiva total do sistema (ROBERTS, ALTUVE e HOU, 2001).

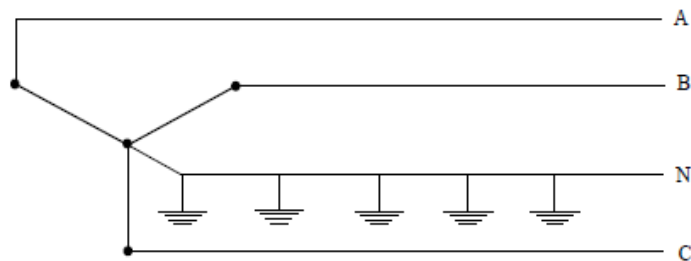
2.1.5. Aterramento Ressonante

Utiliza o aterramento através de um reator de alta impedância (bobina de Petersen) sintonizado com a capacitância fase terra total do sistema. Através desse tipo de aterramento é possível se ter a auto extinção do arco, ocorrendo a continuidade de suprimento de energia, a segurança humana, a redução de danos, de interferências e de aterramento nas subestações (MORAES, 2009). Este aterramento será tratado com maior ênfase posteriormente.

2.2. O SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO COM NEUTRO MULTIATERRADO

O Sistema com Neutro Multiaterrado é um sistema de distribuição, onde os neutros dos transformadores são aterrados em numerosos pontos ao longo do circuito. As concessionárias de energia CEMIG, CELG, BANDEIRANTE, COPERALIANÇA, COSERN, CPFL e GRUPO ENERGISA optam por este sistema.

Os sistemas de distribuição primários modernos são usualmente trifásicos a quatro fios multiaterrados, ou seja, sistema estrela. Esse tipo de sistema possui aterramento na subestação e um quarto cabo, o cabo neutro, é levado junto aos cabos das fases e aterrado periodicamente. Algumas empresas de distribuição fazem o aterramento só quatro vezes por milha enquanto outras fazem o aterramento em cada nó. Às vezes o transformador da subestação é aterrado através de uma impedância (aproximadamente 1Ω) num esforço de diminuir os níveis das correntes de curto circuito (PIZZALI, 2003)



Sistema trifásico a quatro fios com neutro multi-aterrado.

Figura 1 – Sistema trifásico

(PIZZALI, 2003)

As malhas de aterramento utilizadas pela concessionária de energia que optam pelo sistema multiaterrado apresentam várias configurações para as quantidades hastes utilizadas bem como os materiais empregados. Os itens a seguir exibem as malhas adotadas pela CEMIG em suas redes de distribuição.

2.2.1. Aterramento simples com uma haste

Constitui-se de uma descida em poste com uma cordoalha de aço de 6,4mm de diâmetro conectado a uma haste de cantoneira perfilada de aço zincado de 2,40m

de comprimento. É aplicada somente a conexão do neutro contínuo em distâncias inferiores a 200 metros.

2.2.2. Aterramento com três hastes em linha

Constitui-se de uma descida em poste com uma cordoalha de aço de 6,4mm de diâmetro conectado a três hastes de cantoneira perfilada de aço zincado de 2,40m de comprimento em linha. É aplicado para aterramento de equipamentos como para-raios e transformadores desde que a resistência de aterramento seja inferior a 80Ω .

2.2.3. Aterramento com sete hastes

Constitui-se de uma descida em poste com uma cordoalha de aço de 6,4mm de diâmetro conectado a três hastes de cantoneira perfilada de aço zincado de 2,40m de comprimento em linha e a mais quatro hastes em X. É aplicado para aterramento de equipamentos como para-raios e transformadores desde que a resistência de aterramento seja superior a 80Ω e inferior a 140Ω .

2.2.4. Aterramento com duas malhas de cinco hastes

Constitui-se de uma descida em poste com uma cordoalha de aço de 6,4mm de diâmetro conectado a três hastes de cantoneira perfilada de aço zincado de 2,40m de comprimento em linha e a mais duas hastes em perpendicular. Esta malha e conectada a mais uma malha idêntica com uma distância mínima de 25m não superior a 100m. É aplicado para aterramento de equipamentos como para-raios e transformadores desde que a resistência de aterramento seja superior a 141Ω e inferior a 240Ω .

2.2.5. Aterramento com três malhas de cinco hastes

Constitui-se de uma descida em poste com uma cordoalha de aço de 6,4mm de diâmetro conectado a três hastes de cantoneira perfilada de aço zincado de 2,40m de comprimento em linha e a mais duas hastes em perpendicular. Esta malha e

conectada a mais duas malhas idênticas com uma distância mínima de 25m não superior a 100m de cada lado da malha de descida. É aplicado para aterramento de equipamentos como para-raios e transformadores desde que a resistência de aterramento seja superior a 241Ω e inferior a 350Ω

2.2.6. Aterramento com três malhas de sete hastes

Constitui-se de uma descida em poste com uma cordoalha de aço de 6,4mm de diâmetro conectado a três hastes de cantoneira perfilada de aço zincado de 2,40m de comprimento em linha e a mais quatro hastes em X. Esta malha e conectada a mais duas malhas idênticas com uma distância mínima de 25m não superior a 100m de cada lado da malha de descida. É aplicado para aterramento de equipamentos como para-raios e transformadores desde que a resistência de aterramento seja superior a 351Ω e inferior a 431Ω .

2.3. O SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO SEM NEUTRO

O Sistema sem Neutro é um sistema de distribuição a três fios, ou seja, sistema delta. Neste tipo de rede, não há o condutor neutro ao longo da rede. Para os consumidores em baixa tensão monofásicos, utilizam-se transformadores delta estrela com neutro. Nesta configuração o neutro do transformador em conectado a malha de aterramento somente neste ponto. As concessionárias de energia CELPA, CEMAT, CELTINS, CELPE, CEMAR (quando rural) e ENERSUL, optam por este sistema.

As malhas de aterramento utilizadas pela concessionária de energia que optam pelo sistema sem neutro apresentam várias configurações para as quantidades hastes utilizadas bem como os materiais empregados. O item a seguir exhibe a malha adotada pela CELPA em suas redes de distribuição.

2.3.1. Aterramento com seis hastes em linha

Constitui-se de uma descida em poste com uma cordoalha de aço de 6,4mm de diâmetro conectado a seis hastes. Estas são de aço acobreado de $\varnothing 5/8$ pol por

2,40m de comprimento em linha sendo que três hastes ficam para cada lado da descida espaçadas de no mínimo 2,4m. É aplicado para aterramento de equipamentos como para-raios e transformadores desde que a resistência de aterramento seja inferior a variação de 10 a 20Ω dependendo da concessionária.

2.4. ATERRAMENTOS APLICANDO BENTONITA

Em solos com alta resistividade, utiliza-se a bentonita. A Bentonita ou bentonite é a designação dada uma mistura de argilas geralmente impura, de grãos muito finos. O tamanho das partículas é seguramente inferior a 0,03% do grão médio da caolinita. (WIKIPÉDIA, 2012).

O princípio de funcionamento consiste, essencialmente, na redução da resistividade do solo ao redor do eletrodo de terra, através da adição de um material adequado, e, como a resistividade do solo original é melhorada, o resultado final corresponde a um aumento virtual do diâmetro do eletrodo original, reduzindo-se consequentemente o valor da resistência de aterramento. Nas redes de distribuição de energia elétrica com a utilização da Bentonita obtemos uma melhora nos aterramentos elétricos. Sua composição tem alta performance para dispersão de descargas elétricas nos aterramentos de para-raios (RONCOLATTO, 2010).

Nas malhas de aterramento apresentadas, quando a resistência de aterramento apresenta valores superiores aos normalizados pelas concessionárias, aplica-se a bentonita como forma de melhora a resistência final do mesmo.

2.5. BOBINA DE PETERSEN

As normas brasileiras e internacionais classificam os sistemas elétricos de uma forma geral em dois tipos: neutro isolado (IT), quando possui uma impedância intencionalmente instalada, ou quando não se realiza conexão entre ele e a terra, ao se isolar o neutro, obtêm-se baixas correntes de curto fase terra e elevadas sobretensões; e neutro solidamente aterrado (TT), quando isso ocorre, controla-se de certa forma as sobretensões, mas são produzidas correntes elevadas que podem

provocar o desligamento do sistema. Muitos projetistas introduzem resistores ou reatores no neutro, com a finalidade de conseguir as características desejadas para se aterrar o neutro. (COSTA e PAULINO, 2007).

A prática usual estabeleceu nos sistemas de distribuição, cinco formas usuais que são: Neutro não aterrado, neutro aterrado por resistência, neutro aterrado por reatância, neutro aterrado por bobina de Petersen e neutro solidamente aterrado.

A aplicação da bobina de Petersen, que levou o nome do seu criador Waldemar Petersen em 1917, ao neutro dos transformadores dos sistemas de distribuição de energia elétrica tem sido uma técnica adotada por várias concessionárias, em diferentes países, com o objetivo de reduzir as correntes de falta à terra, possibilitando uma diminuição de desligamentos devidos a faltas intermitentes e assim melhorar os índices de qualidade de energia elétrica.

A finalidade da utilização desta bobina é limitar a intensidade da corrente de falta fase-terra no alimentador servido pelo transformador. A bobina é ajustada de tal forma que o ponto de ressonância entre a indutância da bobina e as capacitâncias fase-terra do sistema é alcançado à frequência industrial. Ao atingir a ressonância, tem-se a redução da corrente de falta à terra e a auto extinção do arco (MORAES, 2009)

Na ocorrência de faltas à terra, as consequências para o sistema elétrico dependem principalmente da forma escolhida para se aterrar o neutro, afetando assim duas das características fundamentais da operação do sistema elétrico: a severidade das sobretenções, estas afetam a vida da isolação, uma vez que quanto mais sobretenções produzidas, maior o número de falhas e desligamentos; e das correntes que circulam em caso de falta à terra (COSTA e PAULINO, 2007)

As magnitudes das correntes de faltas à terra dependem do método de aterramento do sistema. Sistemas solidamente aterrados e aterrados através de baixa impedância podem ter níveis elevados de correntes de faltas à terra. Esses níveis elevados normalmente requerem a abertura da linha para remover a falta do sistema. Os relés de sobrecorrente de terra e de sobrecorrente direcional de terra são as soluções típicas de proteção contra faltas à terra nesses sistemas.

Entretanto, a detecção de faltas à terra de alta impedância é difícil nos sistemas a quatro fios, multiterrados, nos quais o relé mede a corrente de falta à terra combinada com a corrente de desbalanço gerada pela configuração e faseamento da linha e pelo desbalanço de carga. Os sistemas não aterrados não possuem terra intencional. Para uma falta fase-terra nesses sistemas, o único caminho para circulação da corrente de terra é através da capacitância fase-terra distribuída do sistema adjacente e das duas fases boas remanescentes do circuito sob defeito.

Nas redes de distribuição compensadas ou com aterramento ressonante, o sistema é aterrado através de um reator de impedância variável conectado ao neutro do secundário do transformador de potência ou ao neutro de um banco de aterramento. Esse reator compensa a capacitância fase-terra do sistema de forma que o diagrama de sequência zero se torna um caminho com impedâncias muito elevadas. O reator, conhecido como bobina de Petersen, permite o ajuste do valor da indutância para preservar a condição de sintonia do sistema para diferentes topologias da rede (ROBERTS, ALTUVE e HOU, 2001)

Aterrando-se o neutro com a bobina de Peterson é possível a redução das paralisações dos sistemas aéreos de distribuição brasileiros (COSTA e PAULINO, 2007)

3. CONCESSIONÁRIAS DO PAÍS

As concessionárias operantes no sistema têm como finalidade o fornecimento de energia elétrica com qualidade aos centros consumidores. O padrão de serviço das concessionárias, em termos de disponibilidade de energia aos consumidores, é avaliado pelos órgãos reguladores do sistema por meio de índices de desempenho. Estes são comparados com as metas de continuidade regulamentadas, desta forma, penalidades são impostas às concessionárias que ultrapassarem o padrão de continuidade estabelecido para cada um dos índices (GUIMARÃES, 2006).

O mercado de distribuição de energia elétrica é atendido por 64 concessionárias, estatais ou privadas, de serviços públicos que abrangem todo o País. As

concessionárias estatais estão sob controle dos governos federal, estaduais e municipais. Em várias concessionárias privadas verifica-se a presença, em seus grupos de controle, de diversas empresas nacionais, norte-americanas, espanholas e portuguesas. São atendidos cerca de 47 milhões de unidades consumidoras, das quais 85% são consumidores residenciais, em mais de 99% dos municípios brasileiros. (<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=48&idPerfil=2>)

Concessionárias do País



Figura 2 – Concessionárias
fonte: Aneel

Fonte: Aneel

Os sistemas elétricos de distribuição operam hoje em cenários reestruturados, assim, as concessionárias se veem obrigadas a adotar medidas para reduzir seus custos, o que pode implicar na deterioração da confiabilidade das redes (GUIMARÃES, 2006).

Neste contexto, as concessionárias estão buscando aprimorar a capacidade de supervisão e controle de seus sistemas de distribuição através da automação da

distribuição e sistemas SCADA – e a proteção para a distribuição não ficou para trás. Novos relés de distribuição micro processados melhoram significativamente a proteção da distribuição e reduzem os custos de capital, operacionais e de manutenção das concessionárias. Grande parte da informação disponível e da flexibilidade operacional desses relés é acessível através de comunicações remotas.

A maioria dos relés digitais de distribuição proporciona a proteção tradicional para sobrecorrente de fase e terra, funções de religamento e informação limitada sobre medição e eventos (SCHWEITZER, SCHEER E FELTIS).

4. ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso deste artigo, será analisado o custo de montagem de 1Km de rede de distribuição rural para o sistema com neutro multiaterrado da CEMIG e o sistema sem neutro da CELPA considerando as premissas abaixo:

- Serão considerados apenas os materiais para o condutor neutro e para o aterramento
- Não será levado em consideração os postes, cruzetas, ferragens e isoladores das estruturas de média tensão da rede rural uma vez que os materiais podem ser os mesmos para as duas redes.
- Será instalado um conjunto de para-raios de média tensão no início da rede, no meio e no fim.

4.1. Rede com neutro

A figura 3 exibe uma rede rural com neutro e a tabela 1 exibe os materiais utilizados no 1km de rede analisado.



Figura 3 – Rede de distribuição com neutro

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.	UND.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
1	CB AÇO MR 6.4mm DE DIÂMETRO 7FIOS	21,5	KG	R\$ 11,90	R\$ 255,85
2	PARAFUSO AÇO M16X250mm	10	PC	R\$ 4,05	R\$ 40,50
3	ARRUELA QUADRADA 38X18X3mm	10	PC	R\$ 0,41	R\$ 4,10
4	ISOLADOR ROLDANA 0,6/1KV	10	PC	R\$ 2,67	R\$ 26,70
5	CB ALUMÍNIO CAA 53mm ² (1/0AWG)	216	KG	R\$ 14,50	R\$ 3.132,00
6	HASTE ATERRAMENTO CANTONEIRA 2,40m	13	PC	R\$ 25,68	R\$ 333,79
7	CONECTOR TERMINAL AÇO 6,4/21mm	13	PC	R\$ 0,90	R\$ 11,70
8	CONECTOR COMPRESSÃO FORMATO H	3	PC	R\$ 1,28	R\$ 3,84
9	LAÇO PREFORMADO ROLDANA 54mm ²	10	PC	R\$ 1,39	R\$ 13,90
10	ARMAÇÃO SECUNDÁRIA 1 ESTRIBO	10	PC	R\$ 5,67	R\$ 56,70
TOTAL					R\$ 3.879,08

Tabela 1 – Custo da rede de distribuição com neutro

4.2. Rede sem neutro

A figura 4 exibe uma rede rural com neutro e a tabela 2 exibe os materiais utilizados no 1km de rede analisado.



Figura 4 – Rede de distribuição sem neutro

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.	UND.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
1	CB AÇO MR 6.4mm DE DIÂMETRO 7FIOS	45	KG	R\$ 11,90	R\$ 535,50
2	CONNECTOR TIPO CUNHA CABO/HASTE P/ ATERRAMENTO	24	PC	R\$ 33,64	R\$ 807,36
3	HASTE DE AÇO COBREADO DE Ø 5/8POL POR 2,40m DE COMPRIMENTO	18	PÇ	R\$ 56,69	R\$ 1.020,42
TOTAL					R\$ 2.363,28

Tabela 2 – Custo da rede de distribuição sem neutro

Considerando os valores apresentados temos:

- Quilômetro de rede sem neutro: **R\$ 2.363,28**
- Quilômetro de rede com neutro: **R\$ 3.879,08**

Tendo como base o quilômetro de rede com neutro (sistema multiterrado), o outro sistema apresenta uma redução percentual de 39% de investimento, ou seja, o custo de implantação para 1km de rede sem neutro representa 61% do custo de implantação de 1km da rede com neutro desprezando os postes, cruzetas, ferragens e isoladores das estruturas de média tensão uma vez que os mesmos podem ser os utilizados para ambas as redes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A malha do sistema de distribuição Brasil é composta por 64 concessionárias de energia das quais algumas optam pelo sistema multiaterrado e outras não. Ambos os sistemas são eficazes uma vez que os dois estão em operação no país atendendo mais 47 milhões de unidades consumidoras.

Conforme a Resolução da Presidência do IBGE de nº 5 (R.PR-5/02) a área territorial do Brasil possui 8.514.876,599km². De posse deste valor, a tabela 3 exibe um comparativo de algumas concessionárias que não utilizam o neutro com as unidades da federação em que atua e sua respectiva área territorial. A tabela 4 exibe este mesmo comparativo para as concessionárias que utilizam o neutro multiaterrado.

ITEM	CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA	UNIDADE DA FEDERAÇÃO	ÁREA (Km ²)	PERCENTUAL DA ÁREA
1	CELPA	PARÁ	1.247.689,52	14,65%
2	CEMAT	MATO GROSSO	903.357,91	10,61%
3	CELPE	PERNANBUCO	98.311,62	1,15%
4	CEMAR	MARANKÃO	331.983,29	3,90%
5	ENERSUL	MATO GROSSO DO SUL	357.124,96	4,19%
6	CELTINS	TOCANTINS	277.620,91	3,26%
TOTAL DO PERCENTUAL DA ÁREA TERRITORIAL				37,77%

Tabela 3 – Concessionárias que não utilizam o neutro multiaterrado

ITEM	CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA	UNIDADE DA FEDERAÇÃO	ÁREA (Km ²)	PERCENTUAL DA ÁREA
1	CEMIG/ENERGISA	MINAS GERAIS	586.528,29	6,89%
2	GELG	GOIÁS	340.086,70	3,99%
3	COSERN	RIO GRANDE DO NORTE	52.796,79	0,62%
TOTAL DO PERCENTUAL DA ÁREA TERRITORIAL				11,50%

Tabela 4 – Concessionárias que utilizam neutro multiaterrado.

Com base nos dados das tabelas 3 e 4, uma justificativa para a não utilização do neutro multiterrado por algumas concessionárias de energia é a extensão territorial em que atuam. Deste modo, quanto maior for a área de atuação maior será o comprimento linear da rede para o atendimento dos consumidores, uma vez que as concessionárias tem obrigação legal e contratual de atender a integralidade do mercado de sua área de concessão conforme as metas de universalização estabelecidas pela ANEEL.

Por outro lado, apesar do sistema com neutro multiterrado apresentar uma possibilidade de continuidade de serviço durante a primeira falta à terra, eliminar a possibilidade de sobretensões transitórias e ser menos susceptível às descargas atmosféricas (quando aliado a elevação do nível base de isolamento de rede) , seu custo de implantação é 39% maior que o sistema sem neutro. Sendo este fator, uma possível inviabilidade de ampliação do sistema.

Diante dos fatos apresentados neste artigo, antes de determinar se o tipo de sistema de rede de distribuição utilizado será com neutro multiterrado ou não, cabe uma avaliação se a disponibilidade de investimento em bens de capital está adequada à extensão total da rede a ser implantada considerando os materiais utilizados, índices de descargas atmosféricas da região, nível base de isolamento adotado e confiabilidade do sistema.

6. REFERÊNCIAS

COSTA, Paulo Fernandes e PAULINO, José Oswaldo Saldanha - **Utilização da bobina de Petersen nos sistemas aéreos de distribuição** – CEFET-MG e UFMG - Minas Gerais, 2007.

GUIMARÃES, Ana Carolina Rennó- **Confiabilidade de sistemas de distribuição: Calibração de dados e mecanismos para avaliação de desempenho** - Itajubá, 2006.

MORAES, José Carlos – **Limitações da corrente de falta fase terra por meio de ajuste da bobina de Petersen em neutro de transformadores de potência** – Universidade de Brasília – Brasília, 2009.

PIZZALI, Luis Fernando Ochoa - **Cálculo de fluxo de potência em redes de distribuição com modelagem a quatro fios**. Universidade Estadual Paulista - Ilha Solteira – São Paulo: Maio de 2003.

ROBERTS, Jeff; ALTUVE, Dr. Hector J. e HOU, Dr. Daqing - **Análise dos métodos de proteção contra faltas à terra nos sistemas da distribuição aterrados, não aterrados e compensados** - Schweitzer Engineering Laboratories, comercial LTDA. - Pullman, WA USA, 2001.

SCHWEITZEN III, Edmund O; SCHEER, Gary W.; FELTIS, Mark W. - **Uma nova abordagem da proteção da distribuição**. Schweitzer Engineering Laboratories. Apresentado perante o Segundo Simpósio Internacional sobre Automação da Distribuição e Gerenciamento do Lado da Demanda.

Critérios básicos para projetos de redes aéreas de distribuição rural – RDR NTD-05. Disponível em: <www.redenergia.com/media/209098/ntd-05.pdf>. Acesso em: 16 Mar. 2012.

Critérios para projetos e procedimentos para execução de aterramentos de redes aéreas e subestações de distribuição – NTC-60. Disponível em: <<http://celqd.celq.com.br/arquivos/dadosTecnicos/normasTecnicas/NTC60.pdf>>. Acesso em: 14 Mar.2012

Ferragens para redes aéreas de distribuição de energia elétrica – Especificação e padronização – NTC – 02 . Disponível em: <http://celqd.celq.com.br/arquivos/dadosTecnicos/normasTecnicas/NTC_02.pdf>. Acesso em: 13 Mar. 2012

Instalações elétricas de baixa tensão – NBR 5410. Disponível em:
<<http://www.dee.ufc.br/~tomaz/material/NBR%205410%20-%20Instala%E7%F5es%20El%E9tricas%20em%20BT.pdf>>. Acesso em: 16 Mar.2012

Mercado de Distribuição. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=48&idPerfil=2>>. Acesso em: 11/03/2012

Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas – NBR 5419. Disponível em:<
<http://www.crea-mt.org.br/normas/NBR%205419.pdf>>. Acesso em: 14 Mar.2012

Setor Elétrico no Brasil. Disponível em:
<<http://energiasdobrasil.infoinvest.com.br/static/ptb/setor-eletrico-brasil.asp>>. Acesso em:16 Mar. 2012.