

Estudo de Proteção em Unidade Consumidora de Média Tensão com Geração Distribuída.

Lian Fidélis de Sousa Nogueira
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal do Semi-Árido
Mossoró, RN.
lianlion1998@hotmail.com

Ednardo Pereira da Rocha
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal do Semi-Árido.
Mossoró, RN.
ednardo.pereira@ufersa.edu.br

Adriano Aron Freitas de Moura
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal do Semi-Árido.
Mossoró, RN.
adrianoaron@ufersa.edu.br

Resumo – O conceito de Geração Distribuída (GD) é utilizado como referência à energia elétrica gerada no local de consumo ou próximo a ele. De modo geral, pode-se dizer que ela corresponde a um modelo de geração descentralizada, que emprega geradores de pequeno porte e se contrapõe à estratégia de geração centralizada. O presente trabalho tem como propósito realizar um estudo sobre sistemas de proteção para unidades consumidoras que se enquadram no grupo A e que possuam sistemas de geração distribuída instalados. O estudo de caso foi realizado por meio de uma análise em um dos sistemas de geração distribuída da Universidade Federal do Semi-Árido (UFERSA), campus Mossoró. Com o intuito de esclarecer cada componente envolvido no estudo, visando uma compreensão dos sistemas envolvidos, realizou-se uma revisão de literatura na qual conceitos e definições foram colocados para orientar a leitura do estudo realizado. Foram feitas parametrizações de dados e informações fornecidas pela Universidade e a companhia elétrica Cosern.

Palavras – chaves: geração distribuída, sistemas, proteção, consumidor.

I. INTRODUÇÃO.

Para que se tenha um suprimento seguro, confiável e econômico de energia elétrica, é necessário resguardar o sistema elétrico contra perturbações que venham causar possíveis alterações prejudiciais na sua correta operação. Desse modo, define-se como perturbação todo efeito elétrico pernicioso que possa comprometer a operação do sistema.

De acordo com [1], a área da engenharia elétrica responsável por resguardar o sistema elétrico é denominada Proteção de Sistemas Elétricos, cuja finalidade é garantir uma linha de defesa composta por dispositivos que operam de modo coordenado e seletivo, contra a propagação das perturbações por todo o sistema.

Essas perturbações no sistema são verificadas pelos sistemas de proteção em unidades responsáveis pela geração distribuída. Entende-se por Geração Distribuída a geração elétrica realizada junto ou próxima dos consumidores independente da potência, tecnologia e fonte de energia.

O objeto de estudo deste trabalho será o Campus Leste da UFERSA Mossoró, pois o mesmo se enquadra como uma unidade consumidora do Grupo A, por ser atendida em Média Tensão, além de ter também um sistema de minigeração distribuída, cuja fonte utilizada é a energia solar fotovoltaica, estando presente em várias usinas distribuídas por todo o campus, totalizando 973,69 kWp.

São entendidas como unidades consumidoras do grupo A, aquelas que são atendidas em Alta Tensão, Média Tensão ou por sistemas subterrâneos de distribuição em tensão secundária. As unidades consumidoras do Grupo A, são divididas em subgrupos: A1, A2, A3, A3a, A4 e AS.

II. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.

O crescente aumento nas tarifas de energia elétrica que são repassadas aos consumidores via concessionárias fez com que, a partir da popularização de fontes de energia elétricas alternativas, os consumidores finais buscassem por meio dessas fontes, implantando-as em suas unidades consumidoras, para assim ter uma compensação na relação custo-benefício.

Com a demanda e a implantação destes sistemas de geração distribuída nas unidades consumidoras do Grupo A, faz-se necessário atentar para as possíveis alterações prejudiciais que estes sistemas possam vir a ocasionar ao sistema elétrico de energia. Entre os problemas mais frequentes estão: alteração de tensão na rede, alteração de frequência da rede e o fluxo direcional de potência.

III. IMPORTÂNCIA DA ENERGIA SOLAR NO CONTEXTO ATUAL.

É de conhecimento geral e com base em dados que, a sociedade utiliza a energia elétrica de maneira intensiva, destacando-se em países mais desenvolvidos. O crescente consumo energético deve-se ao constante crescimento da população e da indústria, o avanço de tecnologias, bem como ao acesso da população em geral a essas novas tecnologias, alterando assim seus padrões de consumo de energia elétrica.

Por consequência do aumento do consumo de energia elétrica viu-se a necessidade de busca por fontes alternativas renováveis de energia, uma vez que as fontes convencionais acarretam a poluição do meio ambiente como também desmatamentos, inundação de áreas, poluição do ar, aquecimento global, efeito estufa sem esquecer o uso excessivo de recursos naturais não renováveis.

Aliado à busca do mundo em conciliar o desenvolvimento humano e a sustentabilidade do meio ambiente, surge o conceito de desenvolvimento sustentável, o que torna possível melhorar a qualidade de vida do ser humano e ao mesmo tempo respeitar a capacidade de manutenção e

produção dos ecossistemas. Associado a isso temos um esforço, que ainda poderia ser maior, por parte de países desenvolvidos em diminuir a produção de poluentes no meio ambiente.

Analisando todo o contexto de fatores que o uso indevido de recurso pode causar ao planeta, há uma crescente preocupação em diminuir a produção de poluentes, combater a escassez de recursos não renováveis, o efeito estufa e o fim do combustível fóssil, em específico o petróleo.

Por conta desse crescente desequilíbrio pelo uso excessivo de fontes energéticas surge a necessidade de se buscar alternativas limpas e de suprimento inesgotável. A partir desse ponto a energia fotovoltaica enquadra-se nesse tipo de fonte limpa e inesgotável a longo prazo.

Segundo [2],

“A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade e tem como base o efeito fotovoltaico, que é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semiconductor, produzida pela absorção da luz.”

As principais vantagens na utilização de energia solar, é verificado durante sua conversão em eletricidade, pois não há emissão de poluentes, como material particulado, NO_x , SO_2 , CO e, tampouco, gases de efeito estufa, efeitos danosos ao meio ambiente em escala local e global.

Um fator relevante da energia solar fotovoltaica, dá-se pela sua flexibilidade quanto ao local de instalação, verificado na geração distribuída. Outro ponto pode ser visto é quanto a agilidade e facilidade de execução de seus projetos, quando comparada às formas convencionais de geração de energia elétrica, como por exemplo as hidrelétricas.

Vale salientar que no primeiro leilão de energia nova em 2013, em que houve a primeira participação da fonte solar, o número de empreendimentos fotovoltaicos cadastrados para participação em leilões, verificou-se um crescimento significativo nesse setor.

No contexto atual, o Brasil é um país de grande potencialidade para a utilização desta fonte para geração de energia elétrica, em especial em larga escala. Isto se deve a uma série de características naturais favoráveis, uma delas são os altos níveis de insolação. Estes fatores potencializam a atração de investidores e o desenvolvimento da fonte, o que permite destacar a longo prazo um papel importante na matriz elétrica para esta fonte.

Como apresentado na Fig. 1, a energia solar fotovoltaica representa 2,5% da matriz elétrica do Brasil, aproximadamente 16,4 TWh, nesse contexto estão incluídas a Geração Centralizada e Geração Distribuída.

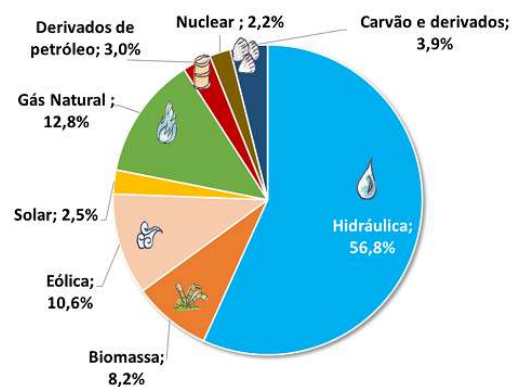


Fig. 1 – Matriz Elétrica Brasileira. (Fonte: [2])

IV. PROTEÇÃO EM UNIDADES CONSUMIDORAS DO GRUPO A.

Os consumidores do tipo A são atendidos diretamente pelas redes de distribuição primária ou média tensão. Estas têm origem nas subestações de distribuição que operam de forma radial, possibilitando a transferência de blocos de cargas, para cidades, subúrbios e regiões remotas. Elas atendem ainda os consumidores do tipo B através de transformadores de distribuição.

Por essas redes apresentarem uma grande extensão e atenderem muitos consumidores, seu sistema de proteção não é tão simples, já que este visa reduzir a duração, a frequência da falta e reduzir o número de afetados. Segundo [1], dentre os principais dispositivos empregados na elaboração de esquemas de proteção para essas redes, citam-se: elos fusíveis, religadores, seccionadores.

A. Elos fusíveis.

Elos fusíveis são dispositivos de proteção mais utilizados nas redes de distribuição primárias, estes interrompem a corrente elétrica em caso de sobrecorrente ou curto-circuito. Eles são formados por um condutor de seção reduzida (elo fusível) que se funde ao ser percorrido por um fluxo de corrente que excede um valor predeterminado. Além do elo fusível temos também a chave fusível (ou porta fusível) que serve como suporte para a conexão do elo fusível. Os elos fusíveis são utilizados também na proteção de transformadores.

Existem também as classificações dos elos fusíveis, que levam em consideração sua taxa de velocidade (SR – *speed ratio*), utilizando esse parâmetro são geralmente classificados como rápidos, lentos e muito lentos, representados pelas letras K, T e H.

B. Religadores.

Religadores são dispositivos de manobra e proteção que têm a função de interromper, após detectar curto-circuito ou sobrecorrente por um determinado período, e restabelecer a corrente elétrica, após verificações, em caso de defeitos passageiros nas redes de distribuição de energia. Nas redes de distribuição primárias, as faltas, em sua grande parte, são de natureza temporária e duram alguns ciclos ou segundos.

Esses defeitos podem ser causados por descargas atmosféricas, galhos de árvores, animais ou outros fatores que provocam sobrecorrente ou curto-circuito na rede. Os religadores são equipamentos que garantem a confiabilidade e a qualidade do sistema elétrico. Eles também contribuem para a redução das perdas técnicas e comerciais, pois permitem uma melhor segmentação da rede e um controle mais preciso das cargas.

C. Seccionadores.

Seccionadores são dispositivos destinados a realizar manobras de seccionamento e isolamento de um circuito elétrico. Estes por sua vez estão associados a disjuntores e religadores, pois não tem a função de interromper cargas ou abrir circuitos em carga, já que não possuem forma adequada de extinguir o arco elétrico formado entre os contatos. Sua função é conduzir a corrente nominal do circuito e suportar a corrente de curto-circuito até a abertura do disjuntor associado, sem causar sobreaquecimento ou danos aos seus contatos.

Os seccionadores são equipamentos de importantes para garantir a segurança e a flexibilidade das manobras nas instalações elétricas, porque permitem isolar partes do circuito para fins de manutenção ou emergência. Eles também contribuem para assegurar a confiabilidade e a qualidade do fornecimento de energia elétrica, pois permitem subdividir a rede e evitar propagação de falhas.

V. SUBESTAÇÕES.

Uma subestação é uma instalação elétrica que tem como finalidade principal transmitir e distribuir energia elétrica desde a fonte geradora (usina) até os consumidores finais (residências, indústrias, comércio). Segundo [3] a definição de subestação é, parte do sistema de potência que compreende os dispositivos de manobra, controle, proteção, transformação e demais equipamentos, condutores e acessórios, abrangendo as obras civis e estruturas de montagem.

Em escala menor temos as subestações de consumidores, que segundo [4] são subestações que são supridas pelos alimentadores de distribuição primários, estes por sua vez originam-se nas subestações de subtransmissão, que são construídas em propriedade particular com o objetivo de suprir os pontos finais de consumo.

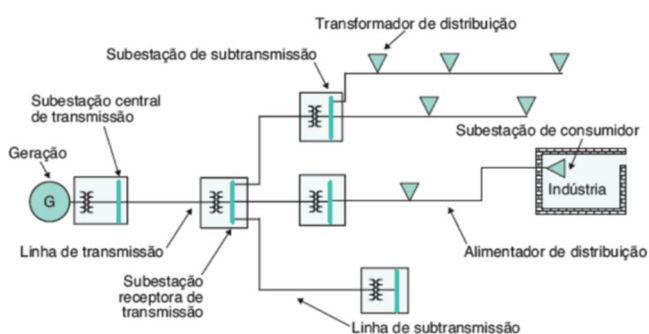


Fig. 2 – Sistema simplificado de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. (Fonte:[4])

Na Fig. 2 podemos observar de forma simplificada a organização do sistema de energia elétrica de geração, transmissão e distribuição, podemos ver também que as subestações de consumidores se encontram no final do sistema, já como falado anteriormente elas são destinadas a atender os consumidores finais.

A. Proteção de Subestações.

Segundo [4], considera-se proteção geral de uma instalação de média tensão os equipamentos entre o ponto de entrega da energia e a origem da instalação. Para um melhor entendimento destas proteções dividimos em dois casos, o primeiro quando a capacidade instalada é igual ou inferior a 300kVA e o segundo quando é superior a 300kVA.

No caso para as inferiores ou iguais a 300 kVA, para a proteção geral de média tensão deve ser empregado os seguintes dispositivos: Disjuntor acionado por relés secundários com unidades instantâneas e temporizadas de fase e neutro (funções da tabela ANSI 50, 51 50N e 51N), também podem ser utilizados chaves seccionadoras e elos fusíveis.

Para caso das superiores a 300 kVA a proteção geral de média tensão deve ser realizada somente por Disjuntor acionado por relés secundários com unidades instantâneas e temporizadas de fase e neutro (funções da tabela ANSI 50, 51; 50N e 51N), vale salientar também que a NBR 14039, veta utilização de relés de ação direta na proteção geral da subestação.

Em ambos os casos e para o correto funcionamento de seus dispositivos são necessários transformadores para instrumentos, sendo estes, transformadores de corrente (TC) e transformadores de potencial (TP).

B. Transformador de corrente (TC).

Os transformadores de corrente são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionar adequadamente sem que seja necessário possuírem correntes nominais de acordo com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados [5].

Esse tipo de transformador tem por função auxiliar os instrumentos de medição e proteção, para que possam funcionar de forma adequada e segura. Funcionando através do fenômeno de conversão eletromagnética, este reproduz, no seu circuito secundário, a corrente que circula em um enrolamento primário, com sua posição vetorial substancialmente mantida, em uma proporção definida, conhecida e adequada.

Existem diferentes tipos de projetos de transformadores de corrente, cada um com suas próprias vantagens. Os TC's mais utilizados são os de corrente nominal, onde seus enrolamentos primários possuem uma quantidade menor de espiras, já no secundário possuem uma quantidade maior de enrolamentos, porém com fios mais finos. Alguns exemplos de tipos de TC's incluem o TC tipo enrolado, o TC tipo janela e o TC tipo barra.

C. Transformador de Potencial (TP).

Os transformadores de potencial são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuir tensão de isolamento de acordo com a da rede à qual estão ligados [5].

Um transformador potencial é um tipo de transformador usado para reduzir altas tensões para fazer suas medidas. Eles são, frequentemente, usados em subestações elétricas para medir a tensão das linhas de energia.

No que diz respeito a um transformador potencial, o enrolamento primário tem mais espiras do que o enrolamento secundário, resultando em uma redução da tensão, permitindo que a tensão de alta tensão do circuito seja reduzida a níveis mais baixos para medição.

D. Relés.

Um relé de subestação é um aparelho com a função de proteger e controlar um circuito elétrico em uma subestação. Ele consegue perceber e elucidar problemas no sistema elétrico, problemas estes como correntes muito altas, curtos-circuitos, tensões muito altas, mandando abrir ou fechar os disjuntores que estão ligados a ele.

Há vários tipos de relés de subestação, como relés mecânicos, eletrônicos ou digitais, que mudam de acordo com a funcionalidade, a tecnologia que usam e o que se propõem a fazer. Os relés digitais, atualmente, são aparelhos com capacidade para fazer várias tarefas parecidas com um computador.

E. Disjuntor de Média Tensão.

Disjuntores são aparelhos com a funcionalidade de proteger os circuitos elétricos de possíveis danos, que podem ser causados por sobrecorrentes ou curtos-circuitos. Sua função é abrir ou fechar o circuito quando este recebe uma corrente maior do que a que o circuito protegido possa suportar.

Os disjuntores sempre devem ser instalados acompanhados da aplicação dos relés respectivos, que são os elementos responsáveis pela detecção das correntes, tensões, potência etc. do circuito que, após analisadas por sensores previamente ajustados, podem enviar ou não a ordem de comando para a sua abertura [5].

Quanto ao seu funcionamento dependerá das suas características construtivas, pois estas influenciam no seu princípio de extinção de arco, mas todos têm um mesmo princípio de funcionamento que é a separação de seus contatos energizados e extinção do arco elétrico que se forma após a separação dos contatos.

VI. PROTEÇÃO PARA SISTEMAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.

Considera-se geração distribuída toda produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela

proveniente de: hidrelétricas com capacidade instalada superior a 30 MW; termelétrico, inclusive cogeração, com eficiência energética inferior a 75% [6].

A geração distribuída é uma forma de produção de energia elétrica que ocorre no local de consumo ou próximo a ele. Permitindo, assim, que a energia gerada seja usada diretamente no local, sem a necessidade de transmissão por longas distâncias. A geração distribuída pode ser realizada com diversas fontes de energia renováveis, como a energia solar, eólica e hídrica.

Esse modelo de geração é uma estratégia de geração descentralizada, que emprega geradores de pequeno porte e se contrapõe ao modelo tradicional de geração centralizada. Isso traz diversas vantagens, como a redução das perdas na transmissão e distribuição de energia elétrica, a diminuição da dependência de grandes usinas geradoras e a possibilidade de aumentar a participação de fontes renováveis na matriz energética.

Enquadra-se como minigeração distribuída a central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras [7].

O Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) permite que o excedente de energia gerado por um sistema de minigeração distribuída seja injetado na rede e posteriormente compensado pelo consumo de energia verificado. Isso significa que a rede funciona como uma bateria, armazenando o excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora.

Com o aumento da adesão à geração distribuída fez-se necessário entender as proteções necessárias para a conexão deste sistema a rede de energia elétrica, a Fig. 3 evidencia as proteções que são recomendadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Elemento	Potência Instalada da Central Geradora		
	Menor ou igual a 75 kW	Maior que 75 kW e menor ou igual a 500 kW	Maior que 500 kW e menor ou igual a 5 MW
Elemento de acoplamento	Nenhum	Transformador de interface com isolamento galvânica ⁽¹⁾	Transformador de interface com isolamento galvânica ⁽¹⁾
Elemento de seccionamento	Disjuntor termomagnético junto à central geradora ⁽²⁾	Chave seccionadora acessível ⁽²⁾	Chave seccionadora acessível ⁽²⁾
Elemento de interrupção	Dispositivo de interrupção automática ⁽³⁾⁽⁴⁾	Dispositivo de interrupção automática ⁽³⁾⁽⁴⁾	Dispositivo de interrupção automática ⁽³⁾⁽⁴⁾
Elemento de proteção	Conjunto de funções de proteção que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção	Conjunto de funções de proteção que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção	Conjunto de funções de proteção que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção
Elemento de medição	Medidor de energia ativa bidirecional ⁽⁵⁾	Medidor de energia de 4 quadrantes ⁽⁵⁾	Medidor de energia de 4 quadrantes ⁽⁵⁾

Fig. 3 – Requisitos mínimos da interface com a rede em função da potência instalada para central geradora classificada como microgeração ou minigeração distribuída. (Fonte: Adaptado de [8])

Para um melhor entendimento a Fig. 4 apresenta estes requisitos mínimos em forma de funções de proteção, com seu equivalente código da tabela ANSI (*American National Standards Institute*).

Função de proteção	Código ANSI equivalente	Potência Instalada da Central Geradora		
		Menor ou igual a 75 kW	Maior que 75 kW e menor ou igual a 500 kW	Maior que 500 kW e menor ou igual a 5 MW
Função de proteção de subtensão	27	Sim	Sim	Sim
Função de proteção de sobretensão	59	Sim	Sim	Sim
Função de proteção de subfrequência	81U	Sim	Sim	Sim
Função de proteção de sobrefrequência	81º	Sim	Sim	Sim
Função de proteção contra desequilíbrio de corrente entre fases	46	Sim	Sim	Sim
Função de proteção contra reversão e desequilíbrio de tensão	47	Sim	Sim	Sim
Função de proteção contra curto-circuito	50 / 50N	Sim ⁽¹⁾	Sim	Sim
Função de proteção seletiva contra curto-circuito	51 / 51N	Sim ⁽¹⁾	Sim	Sim
Função de proteção contra perda de rede (proteção anti-ilhamento)	-	Relé de detecção de ilhamento ^{(2) (3)}	Relé de detecção de ilhamento ^{(2) (3)}	Relé de detecção de ilhamento ^{(2) (3)}
Função de verificação de sincronismo	25	Sim	Sim	Sim
Função de espera de tempo de reconexão	62	Sim ⁽⁴⁾	Sim ⁽⁴⁾	Sim ⁽⁴⁾

Fig. 4 – Funções de proteção junto à interface da central geradora classificada como microgeração ou minigeração distribuída (Fonte: Adaptado de [8])

Trazendo para o âmbito regional a concessionária local a Cosern apresenta na Tab. 1 os requisitos mínimos para a minigeração em função da potência instalada.

TABELA 1 - REQUISITOS MÍNIMOS EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA.

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA INSTALADA	
	MAIOR QUE 75 KW E MENOR OU IGUAL A 500 KW	MAIOR QUE 500 KW E MENOR OU IGUAL A 5 MW
Elemento de desconexão (1)	SIM	SIM
Elemento de interrupção (2)	SIM	SIM
Transformador de acoplagem (3)	SIM	SIM
Proteção de sub e sobretensão	SIM (4)	SIM
Proteção de sub e sobrefrequência	SIM (4)	SIM
Proteção contra desequilíbrio de corrente	NÃO	SIM
Proteção contra desbalanço de tensão	NÃO	SIM
Sobrecorrente direcional	SIM	SIM
Sobrecorrente com restrição de tensão	NÃO	SIM
Relé de sincronismo	SIM (5)	SIM (5)
Anti-ilhamento	SIM (6)	SIM (6)
Medição	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

(Fonte: [7])

Outra função utilizada nos sistemas de minigeração e que não é um requisito mínimo de proteção exigido é a Função de proteção 32 da tabela ANSI.

A função direcional de potência (32) é um tipo específico de relé que é utilizado para impor limite à injeção de potência em determinada direção. Essa proteção é, geralmente, vista em relés aplicados em instalações que tenham geração própria. Em uma linguagem simplificada o relé 32 pode ser usado para controlar a transferência de energia elétrica entre diferentes partes do sistema elétrico, garantindo que a energia seja transferida apenas na direção desejada.

VII. ESTUDO DE CASO.

A metodologia usada neste trabalho baseia-se em um estudo de caso a partir de uma análise dos dados dos equipamentos do Campus Leste UFERSA-Mossoró. A análise teve suporte no relatório feito pela mesma instituição em estudo. Tomando como base o objetivo desta pesquisa, o objeto de estudo foi o sistema de proteção elétrico da UFERSA, mais especificamente as funções do relé para o funcionamento de uma minigeração distribuída Grupo A. A Tab. 2 apresenta os dados do sistema da UFERSA para o Campus Leste.

TABELA 2 - DADOS DA UFERSA

Sistema da UFERSA – Campus Leste	
Tensão de linha na barra de média tensão	13,8 kV
Tensão de linha na barra de baixa tensão	380 V
Somatório das subestações	4315 kVA
Demanda contratada	1076 kVA
Potência da Geração Solar	973,69 kWp

(Fonte: Autoria própria, 2023)

O último levantamento de dados e equipamentos do sistema de minigeração distribuída desta instituição data do primeiro semestre de 2023. No relatório consta: dois TC's e dois TP's e medidor bidirecional para medição; o disjuntor utilizado é do tipo PVO, e provido de relé de ativação por sobrecorrente, sendo que este relé é ligado de forma primária, sem o uso de TC's.

Para dar continuidade ao estudo de caso fez-se necessário o conhecimento sobre os dados fornecidos pela concessionária, a Tab. 3 e Tab. 4 apresenta os dados fornecidos pela Cosern.

TABELA 3 – DADOS DE CURTO-CIRCUITO DA COSERN

Tipos de curtos	Corrente
Corrente de curto-circuito trifásica - $I_{cc3\phi}$	3316,01 A
Corrente de curto-circuito bifásica - $I_{cc2\phi}$	2871,75 A
Corrente de curto-circuito fase terra - $I_{cc\phi t}$	2403,36 A
Corrente de curto-circuito fase terra mínima - $I_{cc\phi t, min}$	195,16 A

(Fonte: Autoria própria, 2023)

TABELA 4 – AJUSTES DE RELÉ ASSOCIADO A PROTEÇÃO GERAL DO ALIMENTADOR MSU-21V3

Relé PL 300	Parâmetros	Ajuste	
		Fase	Neutro
TC 450/5	RTC	90	90
50	Tape	20 A	2 A
	Tempo definido	0,07	0,07
51	Tape	4,9	0,50 A
	Tipo de Curva	MI ANSI	MI ANSI
	DT	1,2	3,5

(Fonte: Autoria própria, 2023)

A. Estudo de coordenação da proteção da SE do consumidor com a proteção do alimentador da concessionária.

Nesta seção serão apresentados os cálculos e equações utilizados na parametrização das funções dos relés necessárias perante a norma para sistemas de minigeração. Será apresentado também a coordenação entre o relé da concessionária e o relé do cliente.

Para dar início precisa-se definir qual a relação do TC será utilizada, ela será definida com base nos seguintes cálculos.

$$I_{nt} = \frac{P_{trafos}}{\sqrt{3} \cdot V_L} = \frac{4315 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 13,8 \times 10^3} = 180,53 \text{ A} \quad (1)$$

Fator de crescimento (k) $k = 1,3$

$$I_{tc} \geq k \cdot I_{nt} \geq 1,3 \cdot 180,53 \geq 234,67 \text{ A} \quad (2)$$

$$I_{tc} \geq \frac{I_{CC,m\acute{a}x}}{FS} \geq \frac{3316,01}{20} \geq 165,80 \text{ A} \quad (3)$$

Escolhido um TC de 300/5, com RTC de 60, inicia-se os cálculos, com o intuito de parametrizar a função 51, sobrecorrente temporizada, do relé de proteção tanto para fase quanto para neutro.

Unidade 51 de fase:

Fator de Sobrecarga (130%) - $F_S = 1,3$

$$I_{TAPE,fase} \geq \frac{F_S \cdot I_{nt}}{RTC} \geq \frac{1,3 \cdot 180,53}{60} \geq 3,91 \text{ A} \quad (4)$$

$$I_{sobrecarga,fase} = F_S \cdot I_{nt} = 1,3 \cdot 180,53 = 234,67 \text{ A} \quad (5)$$

$$TAPE_{escolhido} = 4 \text{ A} \quad (6)$$

$$I_{pickup,fase} = TAPE \cdot RTC = 4 \cdot 60 = 240 \text{ A} \quad (7)$$

$$I_{pickup,fase} > I_{sobrecarga,fase} \quad (8)$$

$$I_{pickup,fase} < I_{partida,fase} \text{ COSERN} \quad (9)$$

Para a curva MI-IEC

$$M = \frac{I_{CC3\phi}}{I_{pickup,fase}} = \frac{3316,01}{240} = 13,82 \quad (10)$$

$$t = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^\alpha - 1} \cdot DT \quad (11)$$

$$DT = 0,1 \cdot \frac{(13,82)^1 - 1}{13,5} = 0,095 \quad (12)$$

$$DT_{escolhido} = 0,1 \quad (13)$$

Unidade 51 de neutro:

Fator de Desequilíbrio (10% a 30%) - $F_D = 0,1$

$$I_{TAPE,neutro} \geq \frac{F_D \cdot I_{nt}}{RTC} \geq \frac{0,1 \cdot 180,53}{60} \geq 0,3 \text{ A} \quad (14)$$

$$I_{sobrecarga,neutro} = F_D \cdot I_{nt} = 0,1 \cdot 180,53 = 18,05 \text{ A} \quad (15)$$

$$TAPE_{escolhido} = 0,5 \text{ A} \quad (16)$$

$$I_{pickup,neutro} = TAPE \cdot RTC = 0,5 \cdot 60 = 30 \text{ A} \quad (17)$$

$$I_{pickup,neutro} > I_{sobrecarga,neutro} \quad (18)$$

$$I_{pickup,neutro} < I_{partida,neutro} \text{ COSERN} \quad (19)$$

Para a curva MI-IEC

$$M = \frac{I_{CC\phi T,min}}{I_{pickup,neutro}} = \frac{195,16}{30} = 6,5 \quad (20)$$

$$t = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^\alpha - 1} \cdot DT \quad (21)$$

$$DT = 0,7 \cdot \frac{(6,5)^1 - 1}{13,5} = 0,29 \quad (22)$$

$$DT_{escolhido} = 0,3 \quad (23)$$

Após a função 51, será parametrizada a função 50, sobrecorrente instantânea, tanto para fase quanto para neutro, para isto utilizamos os seguintes cálculos.

Unidade 50 de fase:

$$I_{inst,fase} \geq \frac{(8 a 12) \cdot I_{nt}}{RTC} \geq \frac{8 \cdot 180,53}{60} \geq 24,07 \text{ A} \quad (24)$$

$$I_{inst,fase} \leq \frac{f_{ASSIM} \cdot I_{CC2\phi}}{RTC} \leq \frac{1,3 \cdot 2871,75}{60} \leq 62,22 \text{ A} \quad (25)$$

$$I_{TAPE,inst,fase} = 25 \text{ A} \quad (26)$$

Unidade 50 de neutro:

$$I_{inst,neutro} \geq \frac{0,1 \cdot 8 \cdot I_{nt}}{RTC} \geq \frac{0,1 \cdot 8 \cdot 180,53}{60} \geq 2,4 \text{ A} \quad (27)$$

$$I_{inst,neutro} \leq \frac{I_{CC\phi T}}{RTC} \leq \frac{2403,36}{60} \leq 40,06 \quad (28)$$

$$I_{TAPE,inst,neutro} = 2,5 \text{ A} \quad (29)$$

Com os cálculos das funções 50 e 51 realizados a Tab. 5, apresenta um resumo para as parametrizações destas funções.

TABELA 5 – AJUSTES DE RELÉ ASSOCIADO A PROTEÇÃO DO CLIENTE

Parâmetros	Ajuste		
	Fase	Neutro	
RTC	60	60	
50	Tape	25 A	2,5 A
	Tempo definido	0,05	0,05
51	Tape	4	0,5 A
	Tipo de Curva	MI IEC	MI IEC
	DT	0,1	0,3

(Fonte: Autoria própria, 2023)

Com os ajustes do relé do cliente e da concessionária podemos elaborar, com auxílio do *software* SUPERCOORD V2, o coordenograma dessas funções, visto na Fig. 5, a fim de atestar a coordenação entre as proteções do cliente e da concessionária.

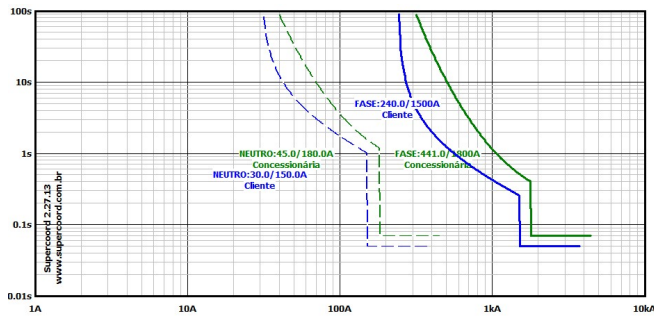


Fig. 5 – Coordenograma para as funções 50 e 51 dos relés do cliente e do alimentador da concessionária (Autoria própria, 2023).

Tem-se ainda sobrecorrente de neutro sensível, que está parametrizada da seguinte forma: corrente de atuação 8 A (primário) e tempo de atuação 1s.

B. Outras funções relacionadas à proteção da SE do consumidor

Neste tópico serão apresentados os cálculos a outras funções de proteção necessária para consumidores com geração distribuída.

A seguir são apresentados os cálculos das funções relacionadas a subtensão e sobretensão, para a parametrização do relé de proteção em relação ao nível de tensão. A função 27 tem por objetivo desconectar o barramento do cliente da rede da concessionária diante de alterações anormais provenientes da redução de tensão eficaz de fornecimento.

Subtensão 27

$$V_{27} = 80\% \cdot V_L = 80\% \cdot 13800 = 11040 \text{ V} \quad (30)$$

$$\text{Tempo: } 1s \quad (31)$$

Já a função 59 tem a função de desconectar o barramento do cliente da rede da concessionária diante de alterações anormais provenientes do aumento de tensão eficaz de fornecimento.

Sobretensão 59

$$V_{59} = 120\% \cdot V_L = 120\% \cdot 13800 = 16560 \text{ V} \quad (32)$$

Sobretensão 59N

$$V_{59N} = 85\% \cdot 3 \cdot \frac{13800}{\sqrt{3}} = 20317 \text{ V} \quad (33)$$

Em relação a faixa de frequência, tem-se a parametrização da função 81, que visa desconectar o sistema ao notar alterações fora da faixa de frequência determinada.

Subfrequência e Sobrefrequência 81U e 81O

$$f_{81U} = 59,5 \text{ Hz} \quad (34)$$

$$f_{81O} = 60,5 \text{ Hz} \quad (35)$$

Tempo de atuação

$$t_{81U} = 0,15 \text{ s} \quad (36)$$

$$t_{81O} = 0,15 \text{ s} \quad (37)$$

Uma das proteções que sofrem influência direta dos sistemas de geração é a função de proteção 32, a qual analisa o fluxo de potência na unidade limitando em um sentido predefinido, tanto o fluxo de potência ativo quanto o reativo. Para a unidade estudada têm-se as seguintes parametrizações.

Partida direcional de potência ativa 32P

$$P_{32P} = 105\% \times 973,69 \text{ kW} \quad (38)$$

$$P_{32P} = 1022,37 \text{ kW} \quad (39)$$

Tempo direcional de potência ativa 32P

$$t = 0,15 \text{ s} \quad (40)$$

Reversão do elemento direcional de potência 32P, este elemento da proteção estará desligado.

Partida direcional de potência ativa 32Q

$$FP = 0,92 \quad (41)$$

$$Q = 414,79 \text{ kVA}_r \quad (42)$$

$$P_{32Q} = 105\% \times 414,79 \text{ kW} \quad (43)$$

$$P_{32Q} = 435,53 \text{ kW} \quad (44)$$

Tempo direcional de potência ativa 32Q

$$t = 0,15 \text{ s} \quad (45)$$

Reversão do elemento direcional de potência 32Q, este elemento da proteção estará desligado.

VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

A leitura acerca da minigeração distribuída, as funções do relé, os dados fornecidos pelo Campus Leste, UFRSA-Mossoró, no relatório, e da concessionária Cosern foram de suma importância para observar dados na proposta do estudo de proteção.

As análises dos cálculos realizados e tabelas apresentadas, pôde-se observar que os equipamentos precisam ser atualizados para atender a geração distribuída pela instituição. Através do coordenograma pôde-se observar que os ajustes propostos são funcionais, a fim de exemplificar um equipamento que possa atender as funções de proteção necessárias, temos o relé da Pextron URPE 6000, quanto aos demais equipamentos basta que sigam os requisitos apresentados no estudo e as recomendações da concessionária.

O estudo proposto, conforme metodologia aplicada, apresenta como finalidade, encaminhar ações que no futuro possam e devam ser aprofundadas, solicitando intervenções, atualizações, otimizando e tornando mais eficaz o sistema de proteção desta instituição. Já que o principal objeto de estudo aqui proposto, enfatiza não só atualização do sistema em si, contudo a eficácia da geração distribuída.

REFERÊNCIAS.

- [1] R. J. A. Frazão, Proteção do Sistema Elétrico de Potência. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.
- [2] “Fontes”, Gov.br. [Online]. Disponível em: <https://www.epc.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>. [Acesso em: 07-maio-2023].
- [3] NEOENERGIA. DIS-NOR-036: Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão de Distribuição à Edificação Individual. Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em: <https://servicos.neoenergiasern.com.br/residencial-rural/Documents/normas-padrees/dis-nor-036-02-rev-02.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2023.
- [4] J. M. Filho, Instalações elétricas industriais: de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- [5] J. Mamede Filho e D. R. Mamede, Proteção de sistemas elétricos de potência. Rio de Janeiro: LTC, 2020.
- [6] A. C. M. de Oliveira, “Estudos de Proteção e Seletividade sob a perspectiva de Minigeração Fotovoltaica”, UFMG, 2019. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1596M.PDF>. Acesso em: 15 de abril de 2023.
- [7] NEOENERGIA. NOR.DISTRIBU-ENGE-0111: Conexão de Minigeradores ao Sistema de Distribuição. Rio Grande do Norte, 2016. Disponível em: <https://servicos.neoenergiasern.com.br/comercial-industrial/Pages/Informa%C3%A7%C3%B5es/normas-e-padrees.aspx>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2023.
- [8] BRASIL. ANEEL. **Anexo III da resolução normativa ANEEL nº 956, de 7 de dezembro de 2021 procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – Prodist. Módulo 3 - conexão ao sistema de distribuição de energia elétrica.** Disponível em: aren2021956_2_2.pdf (aneel.gov.br). Acesso em: 8 de abril de 2023.