

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALEX SANDER SEBAJE

RENEWABLE PATH SUPPORT

BLOCO INTERATIVO NA PROTEÇÃO DE SISTEMAS

CURITIBA

2019

ALEX SANDER SEBAJE

RENEWABLE PATH SUPPORT

BLOCO INTERATIVO NA PROTEÇÃO DE SISTEMAS

Projeto apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Christian Scapulatempo Strobel.

CURITIBA

2019

RESUMO

O estudo idealizado visa a mitigação e modelagem matemática com refinamento e detalhes técnicos atrelados a área de renováveis e sistemas de energia para consultorias específicas do ramo da engenharia. A possibilidade da interatividade com uso de bloco dinâmico com realimentação de estados e inserção de ganhos e erros propícios com o processo estudado ou submetido a análise. O estudo em blocos interativos expos um cenário de modificações realizadas na rede de distribuição, que podem ocasionar distúrbios em virtude da descontinuidade dos parâmetros que se estabelecem de forma anônima ao controle dos processos das concessionárias ou permissionárias e colocam em evidência problemas a continuidade dos serviços. Conclui-se que o sistema elucidado a proposta causa se mostrou suscetível a problemas que são muitas vezes não investigados e delegam a perturbações que poderiam ser minimizadas para ambas as partes. A procura pelas causas que comprovem o trabalho visou satisfazer as análises, mas acautelar-se durante o estudo, visto a pontos prematuros devido diante a falta de respostas de possíveis entornos técnicos e resolutivos que permitam fomentar alguma garantia de embasamento para a fase dos resultados. Foi evidenciado no decorrer da busca por informações, a constante resistência, bem como o resguardo quanto o efetivo retorno das informações solicitadas, ainda que superficiais ao estudo, por parte dos canais de comunicação das concessionárias e permissionárias; considerando-se esse fato como interferência de certa forma positiva no estudo no que tange o tema abordado.

Palavras-chave: Energia Solar. Proteção de sistemas. Energias Renováveis. Painéis fotovoltaicos. Blocos interativos.

ABSTRACT

The idealized study aims at the mitigation and mathematical modeling with refinement and technical details linked to the area of renewables and energy systems for specific consultancies in the field of engineering. The possibility of interactivity with the use of a dynamic block with state feedback and insertion of favorable gains and errors with the process studied or submitted to analysis. The study in interactive blocks exposes a scenario of changes made in the distribution network, which can cause disturbances due to the discontinuity of the parameters that are anonymously established to control the processes of the concessionaires or permissionaires and highlight problems in the continuity of services. It is concluded that the system elucidated the proposed cause proved to be susceptible to problems that are often not investigated and delegate to disturbances that could be minimized for both parties. The search for the causes that prove the work aimed to satisfy the analyzes, but to be careful during the study, given the premature points due to the lack of answers from possible technical and resolving environments that allow to foster some guarantee of foundation for the results phase. It was evident during the search for information, the constant resistance, as well as the protection regarding the effective return of the requested information, although superficial to the study, by the communication channels of the concessionaires and permissionaires; considering this fact as a positive interference in the study with regard to the topic addressed.

Keywords: Solar energy. Systems protection. Renewable energy. Photovoltaic panels. Interactive blocks.

Sumário

1. Introdução.....	2
2. Estado da arte	3
2. Materiais e métodos	7
4. Viabilidade do projeto	22
5. Conclusão.....	24
6. Referências bibliográficas	25
ANEXO 1 CANVAS DO PROJETO.....	1

1. Introdução

O estudo idealizado visa a mitigação e modelagem matemática com refinamento e detalhes técnicos atrelados a área de renováveis e sistemas de energia para consultorias específicas do ramo da engenharia. A possibilidade da interatividade com uso de bloco dinâmico com realimentação de estados e inserção de ganhos e erros propícios com o processo estudado ou submetido a análise.

A abordagem elucida condições envoltórias relacionadas à qualidade e continuidade das características elétricas e seus discretos aspectos a serem considerados aos estudos das proteções nos serviços de fornecimento de energia em média tensão dos clientes categorizados nos subgrupos exclusivos de atendimento tipo A4 e A3a (Tensão de fornecimento de 2,3kV a 25kV e 30kV a 44kV respectivamente). As características técnicas e construtivas existentes e em constante modificação junto aos sistemas elétricos de potência em operação, elevam a constante necessidade de propor estudos e práticas que se tornem relevantes no contexto de unir de forma adequada as melhores situações para a correta continuidade dos sistemas de proteção dos consumidores particulares atendidos em média tensão de forma harmoniosa aos critérios de coordenação e seletividade no contexto de proteção.

Direcionado as proteções secundárias e as relevâncias quanto ao atendimento normativo, examina-se as modificações das características elétricas do sistema, que expostos, visam guiar os caminhos de melhorias quanto o acompanhamento da efetividade das proteções correlacionados, bem como, o correto enlace para fins de atendimento as condições técnicas e normativas impostas no regulamento específico.

Muitos registros de perturbações existentes fomentam dados para um grande número de análises de casos de curto-circuito no sistema que colocam em prova a continuidade das proteções secundárias instaladas em unidades atendidas em média tensão, expondo a fragilidade quanto a sua coordenação e seletividade existentes frente às modificações que se entrelaçam em valores de impedâncias e ajustes, ocasionando o desaparecimento de algumas características estudadas em época distintas frente a motivos coercitivos atuais do sistema elétrico em constante modificação, no qual estas proteções fazem parte.

2. Estado da arte

As impedâncias, como um dos componentes elétricos característicos a serem avaliados e estudados, frente aos possíveis contornos coercitivos que delimitam o esperado resultado quanto aos estudos de proteção para fins de atendimento das coordenações e seletividades junto a componentes que estão inseridos ao sistema com a função determinada à proteção, bem como a conceituação e proximidade legal aos custos reais de um projeto junto a conjuntura ao ramo de energia.

Devido a necessidade de garantia da continuidade de suprimento ao mercado e Clareza para o cliente no step by step do processo; os sistemas elétricos operam interligados, formando redes complexas.

Deste modo, tanto sobre o ponto de vista da operação quanto do planejamento se curto, médio e longo prazo, o comportamento do sistema elétrico deve ser acompanhado sistematicamente. Assim, para manter um histórico permanentemente atualizado, analisar o comportamento frente a contingência e alterações, diagnosticar e prever efeitos de medidas a serem adotadas, planejar ampliações e alterações de configuração, o sistema elétrico deve ser criteriosamente, representado por meio de uma modelagem adequada ao tipo de estudo a ser realizado (KINDERMANN, 2010, p. 1).

As linhas de transmissão em alta tensão percorrem em sua maioria muitos quilômetros até chegarem às Estações Transformadoras de Distribuição (ETD), que rebaixam o valor de tensão para níveis capazes de serem distribuídos pelos postes existentes nas ruas. O valor em média tensão de saída da ETD é definido pela distribuidora de energia local, dependendo das características de seu sistema elétrico (Barros; Gedra, 2011).

A distribuição é a parte do sistema elétrico já dentro dos centros de utilização (cidades, bairros indústrias), no qual a tensão de linha após a subestação abaixadora fica em valores padronizados nas redes de distribuição primárias (13,8 kV e 34,5kV) de média tensão (CREDER, 2008).

Usualmente os componentes do sistema elétrico são tratados como valores percentuais e valores por unidade – também chamados de (pu) que correspondem a uma mudança de escala de grandezas principais em sistemas elétricos: tensão, corrente, potência e impedância (BARIONI, SCHMIDT, *et al.*, 1996).

Relacionado à impedância, “os condutores apresentam impedâncias de seqüências positiva, negativa e zero. A metodologia de cálculo é tomada com base na IEC 287”. (MAMEDE FILHO, 2013, p. 116).

Quando dos aspectos gerais de fornecimento deve-se considerar principalmente as impedâncias das barras fonte, transformadores e indutores, em linhas aéreas de distribuição ou cabos subterrâneos de comprimento relativamente considerável.

De fato, as reatâncias indutivas predominam acentuadamente, e o valor da impedância resultante da soma geométrica de R e X é apenas ligeiramente diferente do valor da reatância. Além disso, podem-se desprezar as resistências de cabos aéreo, cuja tensão de serviço seja maior que a tensão de serviço do ponto considerado da rede para a qual se quer determinar a corrente de curto-circuito. A influência destas resistências ôhmicas resulta mínima ao referi-las a tensão no local do curto-circuito (ROEPER, 1975, p. 73).

O consumidor de energia em média tensão é o protagonismo das ações ao iniciar o processo da solicitação de atendimento de energia junto à distribuidora, devendo primeiramente solicitar uma análise de viabilidade técnica, a fim de verificar se há possibilidade de rede elétrica pretendida ao atendimento suportar a carga solicitada. Posteriormente para a fase da elaboração de projeto elétrico deve contratar um profissional autorizado e habilitado que deve recolher uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) com intuito de deixar registrado no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) a sua responsabilidade pelo projeto (BARROS e GEDRA, 2011).

É muito comum no Brasil, a partir de demanda de 75kVA, ser exigida a instalação de subestação abaixadora, sendo a tensão de entrada mais usual de 13,8kV. Por se tratar de uma instalação em média tensão, deve ser tomada todas as exigências determinadas pelas normas brasileiras que regem o assunto (NBR14039/2005), bem como as prescrições da concessionária local (CREDER, 2008, p. 340).

Conforme informações contidas em resolução em artigo específico da ANEEL (2010, p. 20), “a Distribuidora deve adotar todas as providências com vistas a viabilizar o fornecimento, operar e manter o seu sistema elétrico até o ponto de entrega, caracterizado como limite de sua responsabilidade, observada as condições estabelecidas na legislação e regulamentos aplicáveis.”

O projeto de subestação particular de consumidor é um conjunto de condutores, aparelhos e equipamentos destinados a modificar as características da energia elétrica (tensão e corrente), permitindo a sua distribuição aos pontos de consumo interno em níveis adequados de utilização (MAMEDE FILHO, 2009).

Relacionado ao arranjo elétrico das subestações particulares de unidades consumidoras em média tensão e o Impacto das ações normativas, “precisa-se conhecer os padrões da concessionária local, as dimensões mínimas dos cubículos, dos transformadores e equipamentos e o diagrama unifilar em todos os detalhes das ligações entre equipamentos” (CREDER, 2008, p. 342).

Após aprovado o estudo de viabilidade de rede e tramites do projeto elétrico elaborado e estudo de proteção relacionado, para fins de atendimento em fornecimento em média tensão junto à rede da distribuidora de energia local, a unidade consumidora pode dar início a realização da construção da subestação e, posteriormente em momento adequado, o consumidor deve solicitar o pedido de vistoria e inspeção da construção da entrada de serviço e realização dos comissionamentos necessários, possibilitando a aprovação destes para posterior efetivação da ligação da energia na unidade (BARROS e GEDRA, 2011).

Relacionado à proteção, “é considerada proteção geral o dispositivo situado entre o ponto de entrega de energia e a origem da instalação em média tensão” (ABNT, 2003).

O sistema radial é o mais utilizado para o atendimento de unidades consumidoras em média tensão, devido seu baixo custo e simplicidade, porém é menos eficiente.

O sistema radial apresenta características específicas, sendo possível deduzir expressões próprias, válidas somente para este tipo de sistema. Neste caso o cálculo da corrente de curto-circuito é simples, bastante para tanto, obter o circuito equivalente de thévenin, com a impedância acumulada desde a geração até o ponto de defeito (KINDERMANN, 2010, p. 212).

Os defeitos mais importantes a eliminar em linhas de redes de distribuição de energia, são os curtos-circuitos entre fases e a terra.

O releamento de sobrecorrente é o mais simples e mais barato, porém, é mais difícil de aplicar e também aquele que mais rapidamente requer reajustes, ou mesmo substituição à medida que o sistema é modificado. É usado basicamente para proteção de falta fase e terra em circuitos de distribuição de concessionárias e sistemas industriais [...] (CAMINHA, 1983, p. 168).

O acompanhamento especializado visa constatar as diligências técnicas causadas por parte das concessionárias e permissionárias de energia aos sistemas de proteção secundária dos consumidores particulares com fornecimento de energia em média tensão, verificando os aspectos danosos às proteções secundárias particulares oriundas das solicitações corretivas junto aos sistemas de distribuição.

Elucidar as condições técnicas e normativas a que se propõe a resolução N° 414 da ANEEL ao atendimento de clientes com fornecimento de energia em média tensão.

2. Materiais e métodos

Foi explorada uma determinada categoria de problemas decorrentes de interesses que envolvem as situações da aplicabilidade no contexto dos estudos de proteção em determinadas zonas de atuação no entorno das redes de distribuição elétrica e unidades consumidores de média tensão, de forma a confrontar as ações adequadas perante os Procedimentos de Distribuição PRODIST e as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica da Resolução N°414 da ANEEL.

O conteúdo do bloco interativo no estudo levantado, restringiu-se a aprendizagem. O alvo do estudo visou o desaparecimento que afeta os sistemas de proteção secundário nas entradas de serviços de unidades consumidoras existentes como determinado grau de inserção de erros e ganhos no estudo da modelagem, junto aos sistemas de distribuição de energia em média tensão de 13,8 kV e 34,5kV respectivamente. No contexto técnico frente as alterações ocasionadas na rede e a potencial mudança significativa dos parâmetros elétricos (chamamos aqui de erros), tais como: - os valores dos níveis de Impedância e curto-circuito ora existentes nos respectivos pontos de entrega dos clientes dos subgrupos de atendimento do tipo A4 e A3a com níveis de Tensão de fornecimento de energia de 2,3kV a 25kV e 30kV a 44kV respectivamente.

Foi pesquisada uma base de informações externas, coletadas junto a empresas de áreas vinculadas no contexto da distribuição de energia, que ajudou a criar critérios para o assunto estudado com a utilização de modelagem computacional de análises de faltas com utilização de métodos matemáticos de validação com o Software Maple e posterior constatação da evolução dos níveis de curto e transitórios eletromagnéticos gerados com o uso do software ATPDRAW; correlacionados a valores estabelecidos junto ao contexto da proteção secundária das unidades consumidoras de média tensão existentes em um determinado conjunto elétrico. Concentrou-se a atenção a possíveis aspectos que quando ocorridos no sistema, mitigam uma parte velada as proteções do sistema, e que se bem norteadas as possíveis formas de tratamento (chamaremos de ganhos) perante as normativas em vigor tendem sanar eventuais perdas e propiciar eficiência ao cliente.

Com a base de dados formada, o assunto estudado tornou-se mais relevante, sendo este utilizado para o posterior cruzamento os blocos modelados do conjunto elétrico estabelecido na modelagem para possíveis conformidades quando da

obtenção de resultados que rezam o caráter punitivo (erros) por parte dos elementos transitivos que desenvolvem no sistema elétrico de distribuição, afetando equipamentos importantes à segurança e continuidade dos serviços junto as unidades consumidoras de média tensão.

As proteções secundárias em unidades consumidoras atendidas em média tensão possuem relevâncias a serem observadas quanto aos seus cuidados específicos, bem como ao amparo legal frente ao atendimento normativo em vigor, a fim de garantir a alta confiabilidade de operação e segurança frente aos possíveis problemas de caráter técnico causados pelas modificações das características elétricas no sistema de distribuição de energia (ganhos), que expostos, visam guiar os caminhos as melhorias quanto a efetividade das proteções, bem como, o correto enlace as condições normativas impostas.

Assim, gradativamente o estudo ficou forçado a abrir o contexto do problema em seu ponto mais vital, sendo nesta fase que os resultados se mostram mais concisos e com maior comprovação ao objetivo geral esperado.

Com a definição da área a ser observada no estudo houve a necessidade da realização de contatos mais efetivos junto as empresas que estão atualmente no cenário nacional agregadas ao mercado da distribuição de energia, sendo estas o percussor para a obtenção das informações que agreguem o respaldo a análise de caso. Os critérios para a abordagem do assunto junto a estas empresas foi simples, utilizando-se de forma coerente os canais de comunicação de espaço aberto que visam atender e responder manifestações, que são sugestões, elogios, solicitações, reclamações e denúncias sobre as políticas e os serviços públicos.

O tema elucidado foi cuidadosamente exposto, e visou obter respostas quanto as tratativas ou cuidados adotados pelas empresas distribuidoras de energia frente a um cenário já conhecido porem pouco explorado, quando o assunto caminha para um eixo mais propenso dado como nome a este trabalho como Renewable Path Support na área de proteção de sistemas.

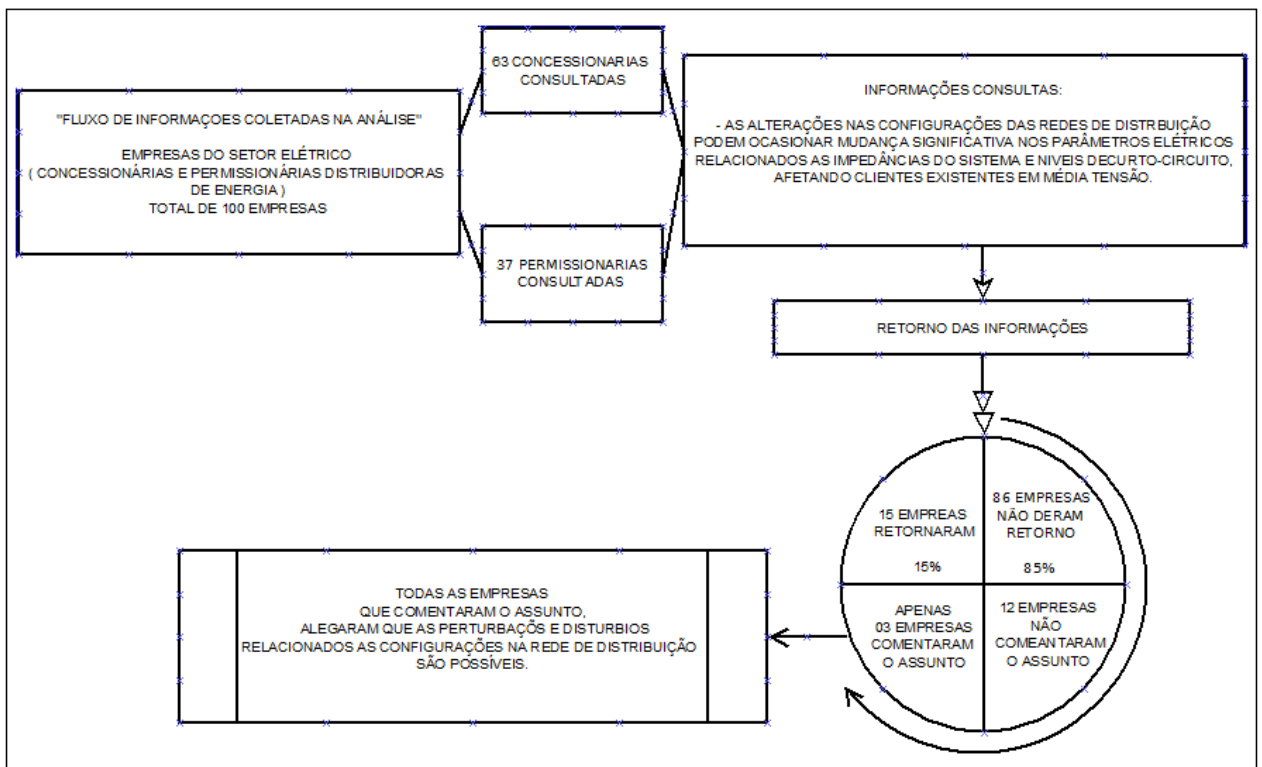
O assunto visa expor de forma elucidativa sem objetivo de apontar vínculo a uma determinada unidade consumidora ou cliente em potencial, mas sim, á um conjunto de unidades existentes com atendimento em média tensão do “grupo A” em níveis de tensão de 13,8kV e 34,5kV respectivamente, no conjunto elétrico de distribuição, que venham a serem afetados por uma alteração da configuração na rede de distribuição no qual são atendidos, seja por motivos de manobras emergenciais

ou programadas com intuito de expansão ou melhorias, alterações estas nas redes, que venham a provocar a mudança significativa dos parâmetros elétricos, tais como:

- Os valores dos níveis de Impedância e curto-circuito ora existentes nos respectivos pontos de entrega dos subgrupos de atendimento informados.

A forma da Coleta por informações que respaldam a pesquisa realizada quanto aos possíveis distúrbios e perturbações na rede de distribuição junto as empresas do setor, são mostradas a seguir.

Figura 1: Fluxo das informações coletadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a exposição das informações, um melhor direcionamento foi realizado na busca da comprovação e obtenção dos resultados desejados, através do gatilho referido as modificações ocasionadas nas redes que enlaçam as impedâncias equivalentes com sua soma geométrica de R e X , sendo este, o atrativo significativo que move estudo do desaparelhamento que ocorre nas proteções secundárias dos clientes atendidos em média tensão.

A necessidade da realização ou revisão dos estudos da proteção secundários em unidades consumidoras, dependem das impedâncias equivalentes para os respectivos cálculos, sendo estas solicitadas a distribuidora através do pedido formalizado do interessado, para tanto, se faz necessário identificar o seu respectivo ponto de entrega que também é conhecido como “ponto de acoplamento” do sistema elétrico da distribuidora com unidade consumidora situados no limite da via pública.

Deve-se ressaltar, que tais valores de impedâncias fornecidos, também costumam dependendo do caso, serem acompanhados pelos valores de tensão e potência base de base (Vb) e (Sb) respectivamente, bem como, os níveis de curto-circuito trifásicos, bifásicos, e monofásicos no ponto considerado para realização dos cálculos.

As informações abaixo, demonstram os valores das impedâncias e níveis de curto-circuito para uma mesma base de tensão e potência no sistema elétrico de distribuição, valendo ressaltar, que os valores informados diferem em relação a época para o mesmo ponto de entrega.

Quadro 1 - Impedâncias equivalentes no ponto de entrega, ano de 2006.

Potência Base	100MVA	Tensão Base	13,8kv
Ano 2006			
Impedâncias Sequência Positiva		Impedâncias Sequência Zero	
R1	0,34020	R0	0,62802
X1	0,62802	X0	6,42818
VALOR DA CORRENTE DE CURTO CIRCUITO EM AMPÈRES NO PONTO DE ENTREGA			
Trifásico	2930		
Fase-Fase	2538		
Fase-Terra Máx.	1350		

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 2 - Impedâncias equivalentes no ponto de entrega, ano de 2019.

Potência Base	100MVA	Tensão Base	13,8kV
Ano 2019			
Impedâncias Sequência Positiva		Impedâncias Sequência Zero	
R1	0,16553	R0	0,63737
X1	0,85099	X0	4,25915
VALOR DA CORRENTE DE CURTO CIRCUITO EM AMPÈRES NO PUNTO DE ENTREGA			
Trifásico	4826		
Fase-Fase	4179		
Fase-Terra Máx.	2078		

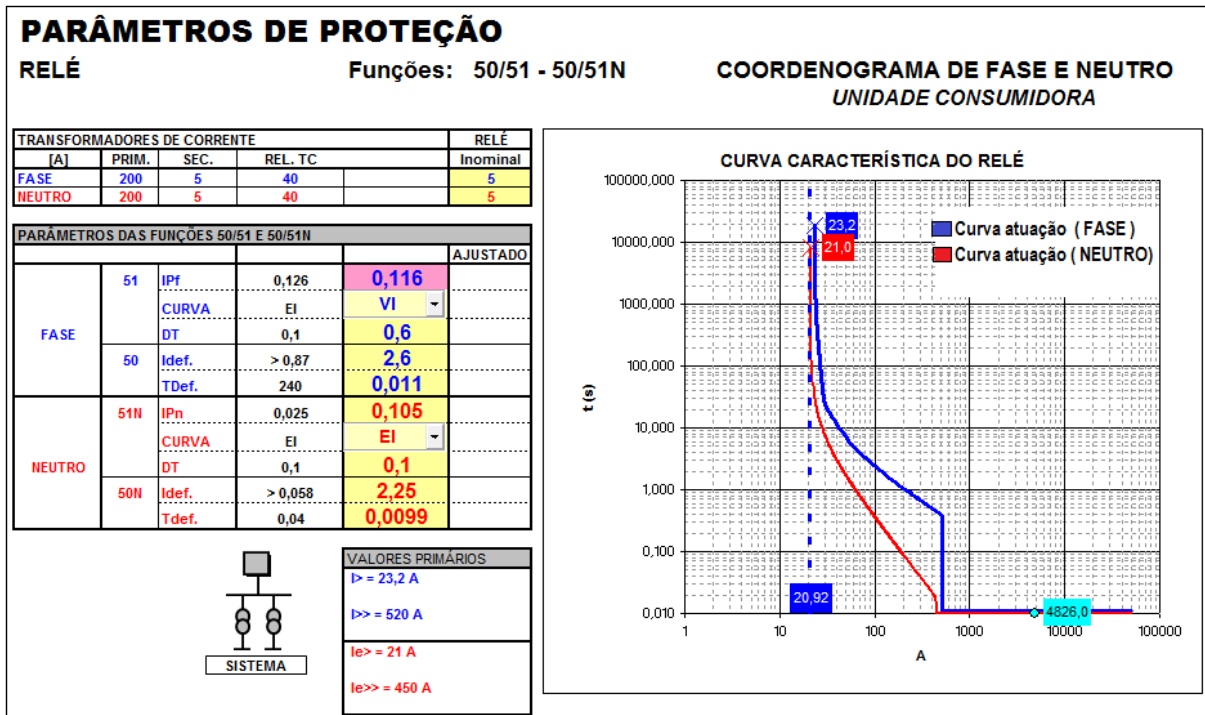
Fonte: Elaborado pelo autor

Toda vez que ocorre uma falta nas instalações internas do cliente, ou seja a expensas da concessionária e ou permissionária, níveis transitórios e permanentes de corrente e tensão são perceptíveis aos ajustes alocados nos sistemas de proteção dos clientes do Grupo A, e conseqüentemente devem provocar a atuação dos equipamentos, visto os ajustes implantados em sua época de estudo; visando assim a coordenação e seletividade com os demais equipamentos de proteção que estão em sua retaguarda, ou seja, as proteções da distribuidora local.

No presente estudo elucidado, considera-se que os ajustes e coordenogramas com as curvas de tempo *versus* corrente para fase e neutro, permanecem inalterados, ou seja, conforme estabelecidos em sua época de instalação (ano de 2006 suposto) junto ao sistema de proteção da unidade consumidora.

Abaixo é demonstrado as curvas tempo *versus* corrente com funções de sobre corrente tipo 50/51F de fase e 50/51N de Neutro conforme tabela ANSI (Instituto Nacional Americano de Padrões), mantendo-se os ajustes de época dos equipamentos com as funções de proteção na unidade consumidora.

Figura 2 – Coordenograma dos ajustes de Fase e Neutro – funções 50/51F e 50N/51N



Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto ao critério de manter inalterado os ajustes das proteções existentes na análise de caso, é em virtude da observância dos dados, visto que normalmente as modificações nas redes não tendem a ocasionar uma descoordenação e falta de seletividade de fase e neutro do consumidor em relação a concessionária ou permissionária, salvo casos mais severos que necessitam de outras verificações e tratamentos. Quando das modificações ocasionadas nas redes e possíveis alterações dos parâmetros relacionados as impedâncias e níveis de curto-circuito, há a tendência que os estudos de proteção realizados pelas áreas responsáveis junto as distribuidoras, modifiquem os seus ajustes de fase e neutro para níveis mais elevados (não é via de regra) junto as suas proteções. Ainda sob o aspecto das proteções das distribuidoras, também vale ressaltar que grande parte dos seus estudos vigentes atendem aos aumentos de carga rotineiros não havendo assim, necessidade de alterações frequentes nos ajustes dos Religadores automáticos.

De posse dos valores de impedâncias e níveis de curto-circuito no ponto de entrega informado nos quadros 1 e 2, bem como o critério adotado quanto a permanência dos ajustes da proteção na recorrente época de estudo; o método proposto a seguir permite uma avaliação coerente das condições de falta no sistema

e o posterior comportamento das proteções secundárias das unidades em média tensão frente a estes eventos.

Utilizou-se de métodos computacionais para simular comportamentos que envolvem elementos de proteção frente as evoluções dos níveis de corrente e tensão no sistema quando em condições anormais devido as manifestações oriundas de distúrbios acidentais.

Foi criado um cenário para a análise de caso que possui similar configuração em correlação as características elétricas das demais redes de distribuição, a figura abaixo demonstra a área em bloco proposto estudo.

Figura 3 – Rede de distribuição – Azul (traçado antigo) e Vermelho (traçado atual)



Fonte: Elaborado pelo autor

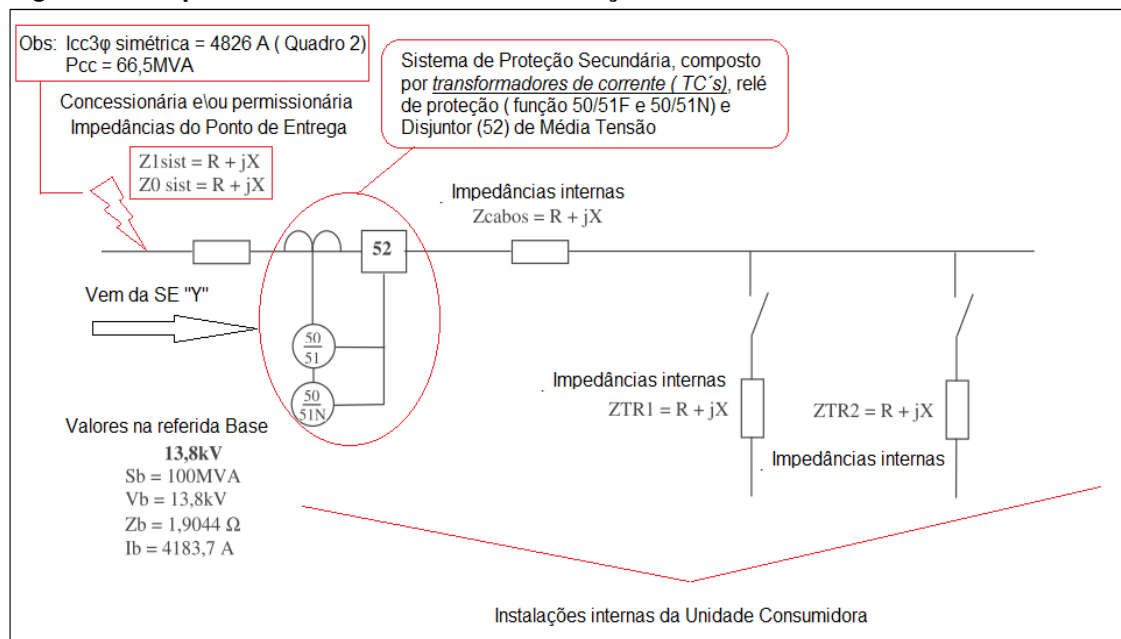
A alteração do traçado de rede que atende a suposta unidade do grupo A já existente é uma das situações relevantes no estudo para interação do suporte aos blocos, visto que, sua instalação permanece em seu estado de origem e de acordo com as normas e padrões vigentes a época da primeira ligação satisfazendo as

condições técnicas e de segurança, ou seja, quando atendida pelo alimentador azul cuja as impedâncias e níveis de curto-circuito foram explicitados no quadro 1, atendendo assim as diligências impostas além do ponto de entrega conforme informações do artigo 166 da Resolução 414/2010 da ANEEL.

É importante neste momento salientar que as modificações realizadas na rede de distribuição para a continuidade dos serviços, mesmo que por motivos de manobras emergenciais ou programadas com intuito de expansão ou melhorias, que é o caso do surgimento do novo alimentador vermelho, e isto, não exige a concessionária ou permissionária da observância dos princípios de isonomia quanto ao atendimento dos seus clientes localizados na sua área concedida ou permitida, conforme artigo 139 e 140 da Resolução 414/2010 da ANEEL.

Com o novo traçado de rede do alimentador vermelho, as mudanças significativas dos parâmetros elétricos relacionados aos valores dos níveis de Impedância e curto-circuito ora existentes no respectivo ponto de entrega da unidade em estudo, foi visível conforme informações do quadro 2, que mostra um acréscimo no nível de potência de curto-circuito de 40MVA para 66,5MVA, que vem a refletir na operação do sistema de proteção secundário da unidade.

Figura 4 – Esquema unifilar da entrada de serviço da Unidade consumidora.



Fonte: Elaborado pelo autor

Neste momento as atenções se destinam a um equipamento em específico do conjunto do sistema da proteção secundária, chamado transformador de corrente (TC) ou simplesmente, TC de Proteção.

Os transformadores de corrente destinados aos serviços de proteção são capazes de trabalhar com altíssimas correntes de sobrecarga ou curto-circuito, tais equipamentos são projetados para não saturar quando submetidos a elevados valores de corrente. Esta característica é importante pois o TC é responsável pelos sinais de corrente enviados ao relé de proteção. Os transformadores de corrente para serviços de proteção apresentam como importante característica elevado nível de saturação e baixo permeabilidade magnética no seu núcleo, tendo suas prescrições normalizadas com todos os detalhes na NBR 6856/1982.

Conforme verificado no quadro 2, os valores resultantes da modificação da rede trouxeram diferentes valores de impedâncias e níveis altos de corrente de curto-circuito junto ao ponto de entrega da unidade em estudo, sendo agora necessário verificar a integridade do TC de proteção existente no conjunto de proteção frente a estes novos valores.

Tabela1 – Especificação do TC de proteção - existente

TC 200/5 (Relação de transformação RTC = 40)				
Carga nominal a 60Hz - corrente secundária de 5A e fator de potência 0,9				
Designação	Resistência (Ω)	Indutância (mH)	Potência nominal (VA)	Impedância (Ω)
C12,5	0,45	0,580	12,5	0,5
Tensão secundária do TC				
Carga (VA)	Tensão secundária (V)		Classe	
C12,5	50		B50	

Fonte: Elaborado pelo autor

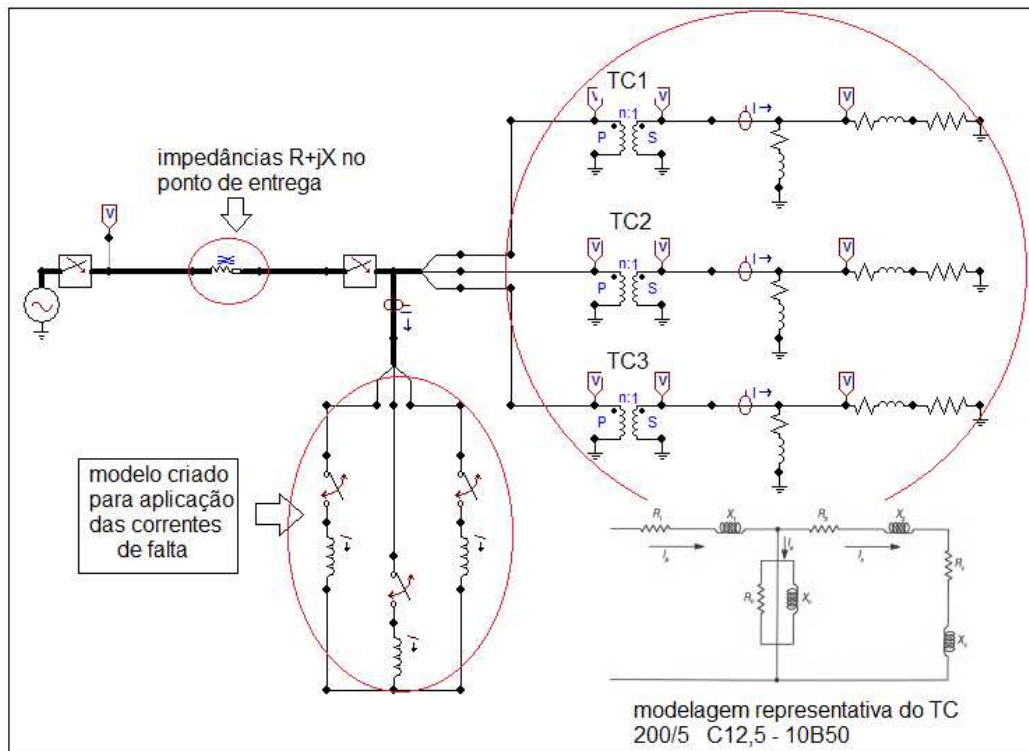
Acompanhado das especificações da tabela 1, o TC em questão também possui classe de exatidão de 10% que é um erro esperado, levando em consideração o erro da sua relação de transformação RTC que envolve defasamento entre o ângulo da corrente primária e secundária. Conforme a NBR 6856/1992 o erro da relação do TC deve ser limitado ao valor de corrente secundária que abrange de 1 a 20 a corrente nominal no primário do TC conhecido como fator de sobrecorrente ou fator de segurança $F_s=20$, bem como a qualquer carga igual ou inferior a nominal no seu secundário.

A tensão secundária nos terminais do TC proteção é outro indicativo importante a ser levado em consideração, visto que esta tensão está limitada pela saturação do núcleo. Quando na ocorrência de uma falta com elevado valor de corrente no primário do TC ocorre quedas de tensão no lado secundário que deve atender uma relação de satisfação técnica, que leva em consideração a relação entre a maior queda de tensão obtida no circuito secundário pela tensão secundária nominal.

Face as observâncias ao TC 200/5 com relação de transformação $RTC=40$ e classificação de precisão C12,5-10B50 (10% erro de precisão e 50V de tensão secundária), modelou-se um circuito com características aproximadas, a fim de, colocar em teste o comportamento deste equipamento frente aos novos níveis de curto-circuito e assim verificar sua eficácia ao atendimento dos parâmetros necessários para que a proteção secundária possa ser efetiva na necessidade da interrupção da falta e conseqüentemente a coordenação dos dispositivos que se correlacionam em suas respectivas zonas de atuação.

A simulação dos transitórios eletromagnéticos envolvidos foi realizado com a utilização do software de modelagem Alternative Transients Program (ATPDRAW).

Figura 5 – Modelagem do sistema no ATPDRAW



Fonte: Elaborado pelo autor

Os parâmetros relacionados as cargas consideradas ligadas no secundário do TC de proteção são informadas a seguir

Tabela 2 – Valores especificado para circuito secundário do TC

Valores considerados ligados ao circuito secundário do TC 200/5	
Resistência interna R_i	0,22 Ω
Resistência da fiação R_f	0,012 Ω
Resistência do relé de fase R_{RF}	0,08 Ω
Resistência do relé de neutro R_{RN}	0,1 Ω

Fonte: Elaborado pelo autor

Com o cenário do sistema elétrico de distribuição radial simples em estudo, a modelagem foi ensaiada. Inicialmente, obteve-se o comportamento normal quanto aos valores de tensão tanto do sistema trifásico no lado de média tensão, como dos valores de tensão no lado secundário do TC.

Figura 6 – Tensões primárias e secundárias no TC 200/5 - ATPDRAW



Fonte: Elaborado pelo autor

Com os níveis ajustados na modelagem, alguns critérios foram adotados para determinar a eficácia do TC 200/5 de proteção modelado.

O primeiro critério é verificar se o TC atende o maior nível de curto-circuito de corrente de fase no local da sua instalação.

$$\frac{I_{cc}}{I_p} \leq 20 \quad (1)$$

Logo: A maior corrente de curto-circuito de fase frente as modificações ocorridas no sistema foi 4826 A no ponto de entrega (ver quadro 2).

$$\frac{4829}{200} = 24,3 > 20$$

Foi verificado no cálculo que o TC para este critério não é adequado.

O segundo critério é relação entre a maior tensão desenvolvida no secundário no momento do maior nível de curto-circuito com a tensão secundária nominal, devendo satisfazer a relação abaixo.

$$\frac{V}{V_n} \leq 0,8 \quad (2)$$

Para o caso de TC's de baixa reatância a tensão secundária pode ser obtida da seguinte forma.

$$V_s = 3,5 \times Z_c \times \left(\frac{I_p}{RTC} \right)^{0,73} \quad (3)$$

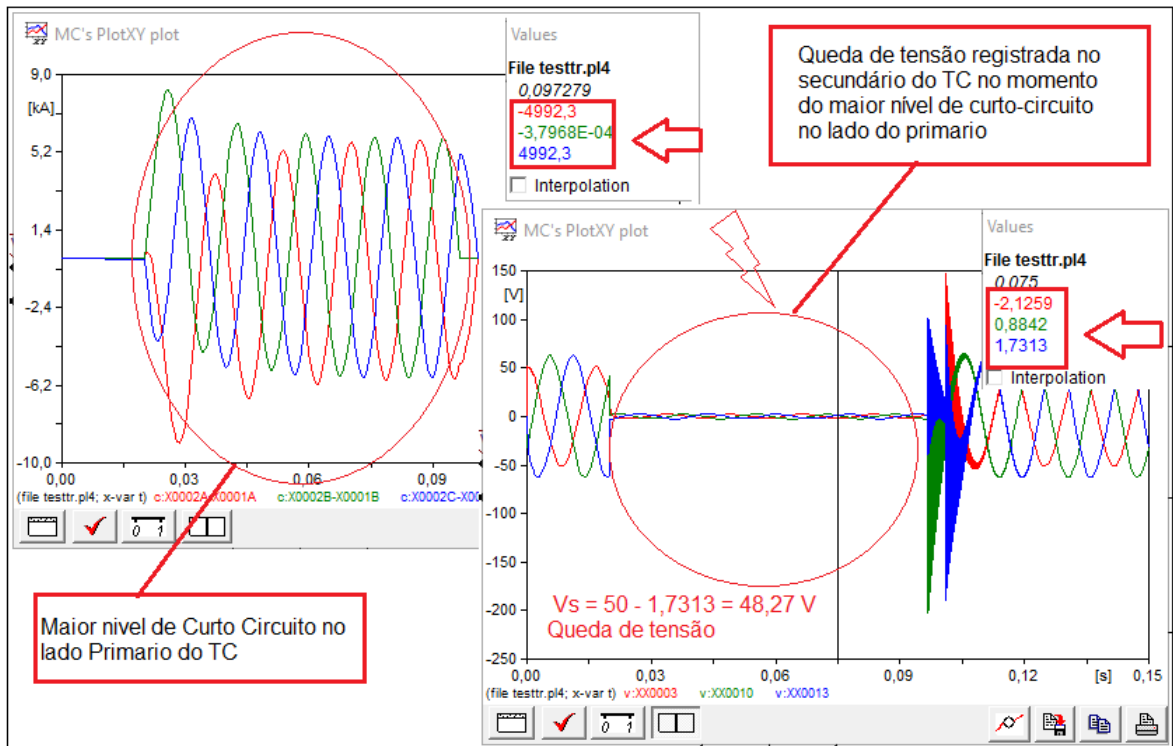
Z_c = Impedância da carga ligada ao secundário do TC em Ohms

RTC = relação de transformação de corrente nominal

I_p = corrente primária, em A, Valor eficaz.

Para a prova característica quanto a queda de tensão secundária que o TC é capaz de desenvolver sem saturar quando dos níveis elevado de corrente no seu primário é demonstrado no modelo implementado.

Figura 7– Comportamento no secundário do TC 200/5 no momento da falta - ATPDRAW



Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores obtidos na modelagem para uma curto-circuito trifásico no ponto de entrada da instalação obtiveram boa aproximação em relação aos fornecidos pela distribuidora. O valor do maior de corrente medido na simulação foi 4992,3A em seu regime permanente, sendo desconsiderado os valores de curto-circuito nos envoltórios transitórios no primeiro instante da falta.

Quanto a queda de tensão no secundário do TC no momento da falta o valor encontrado foi de 48,27V, substituindo os valores encontrados na equação (3) temos.

Onde a $Z_c = 0,422\Omega$.

$$V_s = 3,5 \times 0,422 \times \left(\frac{4992}{40} \right)^{0,73} = 50,074V$$

Logo, o valor de queda considerando o maior nível de corrente, que foi obtido na simulação foi de 50,07V, assim aplicamos o segundo critério (2).

Este cálculo esclarecerá de o TC de proteção está adequado com relação a tensão secundaria eu ele é capaz de desenvolver sem saturar.

$$\frac{V}{V_n} \leq 0,8 \quad \frac{50,07}{50} = 1,004 > 0,8$$

Aplicando o segundo critério podemos verificar que o TC não está adequado para os novos valores de curto circuito o qual o sistema de proteção secundário ficou exposto, logo é possível concluir na modelagem que o TC 200/5 com classe de exatidão 10B50 existente não atende as especificações exigidas no bloco de proteção.

Assim, fica exposto a possível fragilidade do sistema de proteção em virtude do arcabouço de situações que sistema elétrico de distribuição possa expor, vindo a penalizar as unidades atendidas que não possuem o controle ou informação a estas modificações.

3. Viabilidade do projeto

O estudo idealizado visa, mitigação e modelagem matemática com refinamento e detalhes técnicos atrelados a área de engenharia e sistemas de energia para consultorias específicas. A possibilidade da interatividade entre blocos com realimentação de estados e inserção de ganhos e erros propícios a cada tipo de serviço para contextos diversos que podem condizer com o processo estudado ou submetido a análise.

Figura 8 - Blocos interativos para gestão e consultoria



Fonte: Elaborado pelo autor

Acompanhamento efetivo do profissional especializado no Curso de Energias Renováveis e Eficiência Energética propicia custos lapidados com critérios durante todo o processo visando sempre a satisfação do cliente.

Figura 9 - Acompanhamento especializado



5. Conclusão

O estudo em blocos interativos expos um cenário de modificações realizadas na rede de distribuição, que podem ocasionar distúrbios em virtude da descontinuidade dos parâmetros que se estabelecem de forma anônima ao controle dos processos das concessionárias ou permissionárias e colocam em evidência problemas a continuidade dos serviços. Conclui-se que o sistema elucidado a proposta causa se mostrou suscetível a problemas que são muitas vezes não investigados e delegam a perturbações que poderiam ser minimizadas para ambas as partes. A procura pelas causas que comprovem o trabalho visou satisfazer as análises, mas acautelar-se durante o estudo, visto a pontos prematuros devido diante a falta de respostas de possíveis entornos técnicos e resolutivos que permitam fomentar alguma garantia de embasamento para a fase dos resultados.

Foi evidenciado no decorrer da busca por informações, a constante resistência, bem como o resguardo quanto o efetivo retorno das informações solicitadas, ainda que superficiais ao estudo, por parte dos canais de comunicação das concessionárias e permissionárias; considerando-se esse fato como interferência de certa forma positiva no estudo no que tange o tema abordado.

6. Referências bibliográficas

ABNT. **NBR 14039. Instalações Elétricas de Média Tensão.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2003. 21 p.

ANEEL. **Resolução Normativa N° 414 - Condições Gerais de Fornecimento de Energia.** [S.l.]: [s.n.], 2010.

BARIONI, C. C. et al. **Introdução a Sistemas Elétricos de Potência.** 2°. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA., 1996. 106 p.

BARROS, B.; GEDRA, R. **Cabine Primária.** São Paulo: Érica LTDA., 2011. 26-42 p.

CAMINHA, A. C. **Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos.** 1°. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA., 1983. 168 p.

CREDER, H. **Instalações Elétricas.** Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2008. 7-342 p.

GIL, C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4°. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2002. 25 p.

GIL, A. C. **Estudo de Caso.** 1°. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2009. 4 p.

KINDERMANN, G. **Curto-Circuito.** 5°. ed. Florianópolis: LabPlan, 2010. 1-212 p. Modificada e Ampliada.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais.** 7°. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, v. 3°, 2009. 5-577 p.


MAMEDE FILHO, J. **Manual de Equipamentos Elétricos.** 4°. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2013. 90-116 p.

NASCIMENTO, S.. **Introdução ao Cálculo de Curto-Circuito em Sistemas Elétricos Industriais.** 1°. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 9-48 p.


ROEPER,. **Correntes de Curto-Circuito em Redes Trifásicas.** SIEMENS. ed. São Paulo: Pedagógica e universitária Ltda. (E.P.U.), 1975. 73 p.

SARAIVA, D.. **Materiais Elétricos.** 1°. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S.A, 1983. 90 p.

ANEXO 1 CANVAS DO PROJETO



Renewable Path Support




Problema | Necessidade

- Conjuntura ao ramo de energia renovável.
- Incôgnita as aplicação tarifárias e faturamento;
- Conceituação e proximidade legal aos custos reais;
- Clareza para o cliente no step by step do processo;
- Impacto das ações Normativas;
- Protagonismo das ações ao cliente.

equipe


- Alex S. Sebaje

User Experience & Público Alvo
Blocos interativos para gestão e consultoria




Requisitos | Viabilidade

- Acompanhamento especializado;
- Resolução do setor e suas associações;
- PRODIST;
- Normas gerais do Setor elétrico;



ideia

Modalidade no ramo de consultoria e suporte à projetos e negócios, que visa estabelecer a defesa das premissas dos serviços junto ao mercado com compromisso selado junto a pequenas, Médias e Grandes empresas, que prospectam no ramo ou visam como alvo o consumo da energia elétrica renovável.



Monetização e/ou Investimento

O estudo idealizado visa, mitigação e modelagem matemática com refinamento e detalhes técnicos atrelados a área de engenharia e sistemas de energia para consultorias específicas.

A possibilidade da interatividade entre blocos com realimentação de estados e inserção de ganhos e erros propícios a cada tipo de serviço condiz com o processo estudado ou submetido a análise.

Acompanhamento efetivo do profissional especializado no Curso de Energias Renováveis e Eficiência Energética propicia custos lapidados com critérios durante todo o processo visando sempre a satisfação do cliente.

CANVAS ideiação

Pós UFPR: um futuro melhor para as crianças

CANVAS ideiação

4º PITCH DAY UFPR



CHEGOU O GRANDE DIA DE CONHECER IDEIAS E PROJETOS DOS ESTUDANTES DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO E PÓS UFPR

CURSOS DE ESPECIALIZAÇÃO

- ENGENHARIA INDUSTRIAL 4.0
- ENERGIAS RENOVÁVEIS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
- ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO
- MBA EM GESTÃO E ENGENHARIA
- EXPERIMENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL

SÁBADO 31/08 A PARTIR DAS 9H

BODEBROWN | RUA CARLOS DE LAET, 1015





