



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

WILLIAN FERNANDO CAMARGO

**PROJETO DE MONITORAMENTO DETECTIVO DE UM
TRANSFORMADOR POTENCIAL CAPACITIVO**

ARAXÁ/MG

2016

WILLIAN FERNANDO CAMARGO

**PROJETO DE MONITORAMENTO DETECTIVO DE UM
TRANSFORMADOR POTENCIAL CAPACITIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Me. Herbert Radispiel Filho

ARAXÁ / MG



Serviço Público Federal
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL/ARAXÁ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC – ATA DE DEFESA

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL do aluno *William Fernando Camargo*

Às 15h do dia 05 de agosto de 2016, reuniu-se, no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG/ Unidade Araxá, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado **Projeto de Monitoramento de Transformador Capacitivo** como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Engenheiro de Automação Industrial. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Me. Herbert Radispial Filho, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final.

Após a reunião da Banca Avaliadora, o candidato foi considerado: Aprovado Com nota final de: 86,25 / 100.

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. O aluno abaixo-assinado declara que o trabalho ora identificado é da sua autoria material e intelectual, excetuando-se eventuais elementos, tais como passagens de texto, citações, figuras e datas, desde que as mesmas identifiquem claramente a fonte original, explicitando as autorizações obtidas dos respectivos autores, quando necessárias. Declara ainda, neste âmbito, não estar a violar direitos de terceiros.

William Fernando Camargo
Nome do aluno

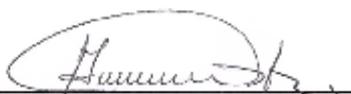

assinatura

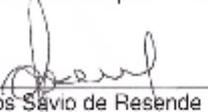
Araxá, 05 de agosto de 2016.
local e data

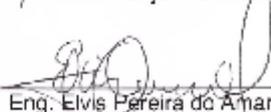
Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou os trabalhos e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Araxá, 05 de Agosto de 2016.


Prof. Me. Herbert Radispial Filho (Orientador)


Prof. Dr. Admarço Vieira da Costa


Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende


Eng. Elvis Pereira do Amaral (CEMIG)

DEDICO ESTE TRABALHO

*A meus pais,
que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e trabalharam muito para
que eu pudesse realizá-los.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meu pai, Wilson, e à minha mãe, Maria, e a meus irmãos Wellington, Leandro, Vera e Adriana, que sempre me apoiaram e deram-me forças para que eu persistisse nessa luta que é concluir um curso de engenharia. É graças a vocês que mais um aluno de escola pública irá concluir sua graduação, após ter passado por tantas dificuldades!

Um agradecimento especial para meu pai (“in memoriam”), que me acordou por várias manhãs com café pronto e apoio incondicional, vislumbrando que este dia chegaria . Saiba pai que esse dia chegou. Meu muito Obrigado.

Agradeço a minha mãe pelo amor e pela educação e por acreditar na realização de meu sonho. Obrigado por sempre ter me incluído em suas orações.

Aos meus irmãos que me incentivaram nessa caminhada, quando fui morar longe de minha família . Agradeço a minha namorada, Walkiria, por sempre estar a meu lado e ter me dado apoio irrestrito nessa reta final.

Ao professor Herbert, pela orientação, apoio e confiança . À professora Erica , pelo suporte no pouco tempo que a ela coube, pelas suas correções no início deste projeto. Ao professor e amigo Luis Paulo pelo apoio e incentivo para conclusão deste curso. Agradeço especialmente ao professor e amigo do pré-vestibular Jaques Braga, pela orientação e conquista de uma vaga na ensino superior .

Agradeço à Neide, à Iris, Helena e à Gleisa por me apoiarem na minha vida acadêmica, no CEFET e pessoal, na cidade de Araxá.

Ao CEFET-MG e seu corpo docente, sua direção e administração, que fizeram parte dessa conquista. Obrigado.

À CEMIG pela oportunidade de desenvolver este projeto.

Meus agradecimentos aos amigos de república, em especial Pedro e Thiago, que me deram apoio para encarar as viagens de Uberaba á Araxá. A meu companheiro de trabalho Luís Claudio por apoiar e incentivar o projeto de conclusão de curso.

Enfim, para não esquecer alguém, agradeço a todos, que passaram e se fizeram presentes na minha vida durante a graduação.

Agradeço a Deus por conceder-me saúde e força para conseguir essa vitória.

EPÍGRAFE

*"Escrever é estar no extremo
de si mesmo, e quem está
assim se exercendo nessa
nudez, a mais nua que há,
tem pudor de que outros vejam
o que deve haver de esgar,
de tiques, de gestos falhos,
de pouco espetacular
na torta visão de uma alma
no pleno estertor de criar."*

João Cabral de Melo Neto. (1975)

RESUMO

Com este projeto intenta-se criar um sistema de monitoramento detectivo de um Transformador Potencial Capacitivo (TPC) de forma a se obter valores de tensão em tempo real e utilizar essas medições para o controle e proteção das linhas de transmissão (LT's). Assim, tem-se por objetivo obter a disponibilidade dos dados de tensão para a operação da subestação (SE) de Volta Grande 345 KV via interface homem-máquina, possibilitando a avaliação do funcionamento do equipamento e, conseqüentemente, maior controle, predição de falhas e auxílio no planejamento de manutenções preventiva e corretiva do TPC, garantindo maior confiabilidade às linhas de transmissão e segurança às pessoas. A metodologia empregada no sistema de monitoramento aqui proposto pode ser dividida em duas partes: a) a primeira consiste na determinação de quais os equipamentos requeridos para coletar a tensão no TPC e disponibilizar no sistema supervisório existente na SE e b) a segunda compreende a integração desses dados no supervisório já existente, de tal modo a pesquisar qual seria o protocolo de comunicação adequado para se fazer a implantação. Posteriormente, com esta pesquisa, intenta-se comparar os valores de tensão das fases das LT's monitoradas e, em seguida, criar uma rotina de alarmes no sistema supervisório, auxiliando o operador na tomada de decisão. Com a execução deste projeto, obtém-se um estudo detalhado com a descrição, a técnica e a viabilidade econômica acerca da implantação do projeto. De posse desse estudo, é sugerido ao setor de engenharia da concessionária a implantação da melhoria, visto que os ganhos superam qualquer fator mensurável de ordem econômica e técnica.

Palavras-chave: Monitoramento. Supervisão. Controle.

ABSTRACT

With this project, we intend to create a monitoring system of a transformer Capacitive Potential (TPC) in order to obtain real-time voltage values and use these measurements for the control and protection of transmission lines (transmission lines). So, it has the objective to get the availability of voltage data for the operation of the substation (SE) of Volta Grande 345 KV via man-machine interface, enabling the assessment of the operation of the equipment and, consequently, greater control, failure prediction and aid in the planning of preventive and corrective maintenance of the TPC, ensuring greater reliability for transmission lines and security to people. The methodology used in the monitoring system proposed here can be divided into two parts: a) the first consists in determining which equipment required to collect the voltage at TPC and make it available in the existing supervisory system in the SE and b) the second comprises the integration of these data in the existing supervisor, so that the search would be a suitable communication protocol to make deployment. Subsequently, with this research, we attempt to compare the voltage values of the phases of LT's monitored and then create a routine alarms in the supervisory system, assisting the operator in decision making. With the execution of this project, is expected to have a detailed study with the description, the technical and economic feasibility on the project implementation. In possession of this study, the implementation of improvement will be suggested to the utility's engineering sector, as the gains outweigh any measurable factor of economic and technical.

Keywords: Monitoring. Supervision. Control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA BRASILEIRO EM 2015.....	20
FIGURA 2: TRANSFORMADOR DE POTENCIAL DO TIPO CAPACITIVO (TPC).....	32
FIGURA 3: ESQUEMA ELÉTRICO DE UM TRANSFORMADOR POTENCIAL CAPACITIVO (TPC). ..	34
FIGURA 4: ESQUEMÁTICO DO TPC	36
FIGURA 5: APARELHO DE AQUISIÇÃO DE DADOS LS 1800.	39
FIGURA 6 : TRANSDUTOR DE PRESSÃO	40
FIGURA 7: SUPERVISÓRIO DE UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO.....	41
FIGURA 8 : CIRCUITO ABAIXADOR DE TENSÃO E RETIFICADOR	43
FIGURA 9: ARDUÍNO NANO	44
FIGURA 10: CIRCUITO <i>SAMPLE E HOLD</i> SIMPLIFICADO.	47
FIGURA 11: SAÍDA DE UM CIRCUITO <i>SAMPLE & HOLD</i> QUANDO ESTIMULADA POR UM SINAL CONTÍNUO.	47
FIGURA 12: ESQUEMA DO CONVERSOR A/D DO MICROPROCESSADOR ATMEGA 328 DO ARDUINO NANO.	48
FIGURA 13: UART (UNIVERSAL ASYNCRONOUS RECEIVER TRANSMITTER).....	50
FIGURA 14: CONECTORES: DB 25 E DB9.	51
FIGURA 15: RS 232- CONECTOR DB9.....	51
FIGURA 16: COMUNICAÇÃO Rs- 232.....	52
FIGURA 17: CABO RS-485	54
FIGURA 18-VELOCIDADE DE COMUNICAÇÃO RS-485/ COMPRIMENTO DO CABO.....	54
FIGURA 19: ARQUITETURA DE REDE INDUSTRIAL ATUAL.	56
FIGURA 20 : CABO ETHERNET.....	57
FIGURA 21 : CONECTOR RJ PARA AMBIENTES INDUSTRIAIS.	57
FIGURA 22 : ESQUEMÁTICO DE COMUNICAÇÃO DO PROTOCOLO MODBUS.....	60
FIGURA 23 : ESQUEMÁTICO DE COMUNICAÇÃO DO PROTOCOLO MODBUS.....	61
FIGURA 24 : LT JAGUARA VOLTA GRANDE 345 KV.....	64
FIGURA 25 : CONEXÃO DO TPC A LT JAGUARA_ VOLTA GRANDE 345 KV.....	65
FIGURA 26: PLANILHA DE MONITORAMENTO DO TPC.	66
FIGURA 27: PROTÓTIPO DO PROJETO DE AUTOMAÇÃO DO TPC.....	69
FIGURA 28 : TRÊS FASES (A, B, C) FUNCIONANDO EM SITUAÇÃO NORMAL.....	71

FIGURA 29 : FASES (A, B , C)- FASE C COM DEFEITO.....	72
FIGURA 30 : TRÊS FASES (A, B, C), FASE A E B COM DEFEITO	73
FIGURA 31 : TRÊS FASES (A, B, C), FASE A E C COM DEFEITO	74
FIGURA 32 : TRÊS FASES COM DEFEITO GRAVE.	75
FIGURA 33 : O ESQUEMÁTICO DO DO PROJETO DE MONITORAMENTO DO TPC.....	76
FIGURA 34 : ESQUEMÁTICO DO MONITORAMENTO DO TPC- DETALHAMENTO DO MAC 6....	78

LISTA DE TABELAS E QUADROS

QUADRO 1: CARACTERÍSTICAS DO ARDUINO NANO.....	45
QUADRO 2: CIRCUITOS DE COMUNICAÇÃO RS 232.....	52
QUADRO 3- MATERIAIS E COMPONENTES PARA AUTOMAÇÃO DO TPC.....	79
QUADRO 4- CUSTOS DE DESLIGAMENTO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO (LT).....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	ANÁLOGICO DIGITAL
ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
ANEEL	AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
AT	LINHAS DE ALTA TENSÃO
CEMIG	COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS
EAT	LINHAS DE EXTRA ALTA TENSÃO
EIA	ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION
IHM	INTERFACE HOMEM MÁQUINA
KV	QUILO VOLT
LD	LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO
LT	LINHA DE TRANSMISSÃO
ONS	OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA
PLC	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMADO
PV	PARCELA VARIÁVEL
RAP	RECEITA ANUAL PERMITIDA
SE	SUBESTAÇÃO
SIN	SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL
SVG	SUBESTAÇÃO VOLTA GRANDE
TIA	TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION
TP	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
TPC	TRANSFORMADOR POTENCIAL CAPACITIVO
TPI	TRANSFORMADOR POTENCIAL INDUTIVO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO TEÓRICA	19
2.1	Sistema Interligado Nacional (SIN)	19
2.1.1	Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL	19
2.1.2	Disponibilidade	21
2.1.3	Confiabilidade	22
2.1.4	Manutenibilidade	22
2.1.5	Implicações financeiras sujeitas às concessionárias transmissoras de energia	23
2.2	Tipos de manutenções	25
2.2.1	Manutenção corretiva	25
2.2.2	Manutenção preditiva	27
2.2.3	Manutenção detectiva	28
2.3	Transformadores de Instrumentos	29
2.3.1	Transformadores de Corrente	30
2.3.2	Transformador de Potencial	30
2.3.3	Transformadores Ópticos	31
2.3.4	Transformador Potencial Capacitivo (TPC)	31
2.4	Proteção e controle do sistema elétrico de potência	37
2.5	Dispositivos e sistema para automação industrial	38
2.5.1	Conversor analógico digital	38
2.5.2	Transdutor	39
2.5.3	Sistema Supervisório	40
2.5.4	Varivolt	42
2.5.5	Transformador de potência abaixador de tensão (220-6-12 Volt)	42
2.5.6	Circuito retificador e abaixador de tensão para o nanochip arduino	43
2.5.7	<i>Arduino Nano</i>	43
2.6	Casa de controle da subestação	49
2.7	Protocolos de comunicação	49
2.7.1	Comunicação Serial	49

2.7.2	Interface Serial	50
2.7.3	Interface Paralela	50
2.7.4	Interface RS 232.....	50
2.7.5	Interface RS 485.....	53
2.7.6	Ethernet.....	55
2.7.7	A Norma IEC 61850	58
2.7.8	Modbus.....	59
2.7.9	OSI (<i>Open Systems Interconnection</i>).....	60
3	METODOLOGIA	63
3.1	Coleta manual de valores de tensão do TPC.....	64
3.2	Dispositivos utilizados para realizar o experimento	67
3.3	Montagem do protótipo	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	71
4.1	Esquemático de projeto para o monitoramento do Transformador potencial capacitivo.....	76
4.2	Esquemático de projeto para o monitoramento do Transformador potencial capacitivo - detalhamento da remota Campo.	78
4.3	Análise econômica e viabilidade do projeto	79
5	CONCLUSÕES.....	81
	REFERÊNCIAS.....	82
	REIS, M. D. Pinagem da RS232. 2013. Disponível < http://baudaeletronica.blogspot.com.br/2011/09/pinagem-da-rs232c.html > Acesso em: 08/07/2016 Hora :21:01.	85
	ANEXO a - Especificação dos componentes para automação do TPC	87
	ANEXO B- Dados do projeto.	89

1 INTRODUÇÃO

No Brasil contemporâneo, a crise energética, refletida no aumento das tarifas, agravou-se. As demandas de melhorias incluem, entre outras medidas, investir em novas matrizes energéticas, aperfeiçoar as redes de transmissão e de distribuição de energia elétrica nas matrizes em funcionamento. Os sistemas distribuem a energia elétrica por meio de vários equipamentos com grande eficácia. Este projeto, que constitui um estudo acerca do monitoramento da tensão do equipamento Transformador Potencial Capacitivo(TPC), tem por objetivo contribuir com melhorias nas redes de transmissão.

Do TPC de uma subestação, que compõe a rede básica do sistema interligado nacional, intenta-se sugerir melhorias na execução desse monitoramento da concessionária de energia responsável, o que pode aumentar a confiabilidade da instalação e contribuir para o aumento da confiabilidade sistêmica.

Esta pesquisa foi realizada na Subestação de Volta Grande(SVG), situada na divisa dos estados de Minas Gerais e São Paulo. O nível de tensão dessa subestação é de 345 KV. Ela recebe a tensão de quatro máquinas da usina e a distribui nas LT (linhas de transmissão): LT Jaguará-Volta Grande; LT Luiz Carlos Barreto-Volta Grande e LT Porto Colômbia-Volta Grande(CEMIG, 2014). A usina de Volta Grande está inserida no sistema interligado nacional e possui grande relevância por ser uma usina de auto restabelecimento. Em caso de blecaute, é uma das primeiras a serem acionadas no sistema para o restabelecimento de energia.

Os sistemas de automação garantem a confiabilidade de proteção dessas LT por meio de relés controladores e sistemas supervisores. Além disso essa subestação assume um papel importante de transmissão da energia, cuja qualidade e estabilidade são garantidas. Será feita a análise da tensão do TPC, equipamento que fornece uma mostra de tensão da LT no seu secundário, para medição, proteção e controle .

Posteriormente uma análise técnica e econômica da importância deste equipamento para a estação. Operar esse equipamento foi o que motivou-me a desenvolver esse projeto. A metodologia de medição empregada na SVG 345KV, foi avaliada com o propósito de fazer melhoria. O equipamento monitora os níveis de

tensão das linhas de transmissão convertidos e enviados para a sala de controle da subestação, o que ainda não é automático. A amostra de tensão disponibilizada é medida manualmente pelo operador por meio de um multímetro. Com valores das medições de tensão é preenchida uma planilha de Excel que foi programada para gerar avisos de forma a mudar as cores das células para alertar o operador acerca das medições. Esta pesquisa tenta desenvolver uma maneira mais segura e sofisticada de se fazer essas medições e disponibilizá-las em tempo real. Isso representará um ganho em qualidade, confiabilidade, tempo, e redução de custos. Essas medições via *Interface Homem-Máquina (IHM)* ajudam a programar uma rotina de alarmes, que antes era feita por meio de planilha demoradamente.

Foi feito um levantamento das tecnologias de informação (hardware, software), empregadas para aumentar a agilidade do monitoramento para levar tal projeto à cabo. Analisaremos a viabilidade econômica e técnica do projeto. A rapidez na aquisição desses dados pode acelerar a tomada de decisão quanto à intervenção de uma manutenção, seja ela preventiva, preditiva ou corretiva.

Todo projeto que visa contribuir com a melhoria da transmissão da energia elétrica é valioso para a concessionária de energia, que é remunerada pela agência nacional de energia elétrica (ANEEL), esta veria com bons olhos o perfeito funcionamento dos equipamentos e o aumento da disponibilidade do ativo (a linha de transmissão) para o sistema interligado nacional.

A implementação do projeto consistirá uma importante ferramenta de auxílio na programação das manutenções, do monitoramento de seu funcionamento, e a determinação da vida útil do equipamento. A concessionária obterá melhores resultados com a redução de custos relacionados á manutenção, pois poderá atuar, antes mesmo que a falha ocorra e torne-a onerosa ao caixa. Mesmo que malgrado, este projeto servirá como ponto de partida para estudos e contribuição para futuras pesquisas dentro dessa mesma tratativa.

- *É possível projetar um sistema de monitoramento detectivo do TPC de modo a obter uma amostra de tensão via interface homem-máquina?*

É a esta pergunta que esta pesquisa responde positivamente por meio de resultados.

O aumento da demanda energética e a crise pela qual o sistema elétrico brasileiro passa impulsionaram o aumento de investimentos governamentais no setor junto às concessionárias de energia e à iniciativa privada. Tudo isso para obter meios de melhorar as instalações de geração, transmissão e distribuição de energia. Esta pesquisa contribui para diminuir as deficiências no sistema de transmissão de energia, visto que o monitoramento em tempo real possibilitará a rápida detecção de eventuais defeitos e evitará as perdas econômicas inerentes caso o defeito evolua para uma falha, ou verificar rapidamente se os instrumentos de proteção e controle atuam de forma correta, de acordo com os valores padrões da tensão no momento da ocorrência. Isso ajuda a melhorar a análise de estado e diagnóstico por meio de manutenções programadas em tempo hábil, para prever e evitar uma futura falha. É também uma medida de segurança, uma vez que as medições manuais não serão mais necessárias após a automatização da coleta de valores de tensão. Este projeto de automação pode garantir maior confiabilidade às LT'S, visto que toda proteção e controle da mesma é alimentada pela amostra de tensão do TPC, possibilitando um maior apoio à operação da subestação na tomada de decisões, já que os dados estarão disponíveis na IHM de maneira instantânea. Assim, tem-se por objetivo obter a disponibilidade dos dados de tensão para a operação da subestação (SE) de Volta Grande 345 KV via interface homem-máquina, possibilitando a avaliação do funcionamento do equipamento e, conseqüentemente, maior controle, previsão de falhas e auxílio no planejamento de manutenções preventiva e corretiva do TPC, garantindo maior confiabilidade às linhas de transmissão e segurança às pessoas.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Sistema Interligado Nacional (SIN)

Por Sistema Interligado Nacional (SIN) compreende-se a forma encontrada de integração energética de várias regiões do país para democratizar o uso da energia, possibilitando desenvolver e levar energia elétrica para algumas localidades nas quais a produção é baixa ou inexistente. Em outros termos, conforme o Operador Nacional do Sistema(ONS), o Sistema Interligado Nacional é compreendido da seguinte forma:

Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. O Sistema Interligado Nacional é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica (ONS, 2015).

Em vista dessa definição, a figura 1 ilustra-se, o sistema de transmissão de energia atual e sua interligação das regiões, segundo a ONS.

2.1.1 Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL

É a agência reguladora de energia elétrica no país, vinculada ao Ministério das Minas e Energia, com sede e foro no Distrito Federal. Tem por finalidade regular e fiscalizar a produção, a transmissão e a comercialização da energia, em conformidade com as diretrizes do governo federal. Sua missão é proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade. Sua visão de futuro é ser reconhecida como instituição essencial para a satisfação da sociedade com o serviço de energia elétrica (ANEEL, 2015).

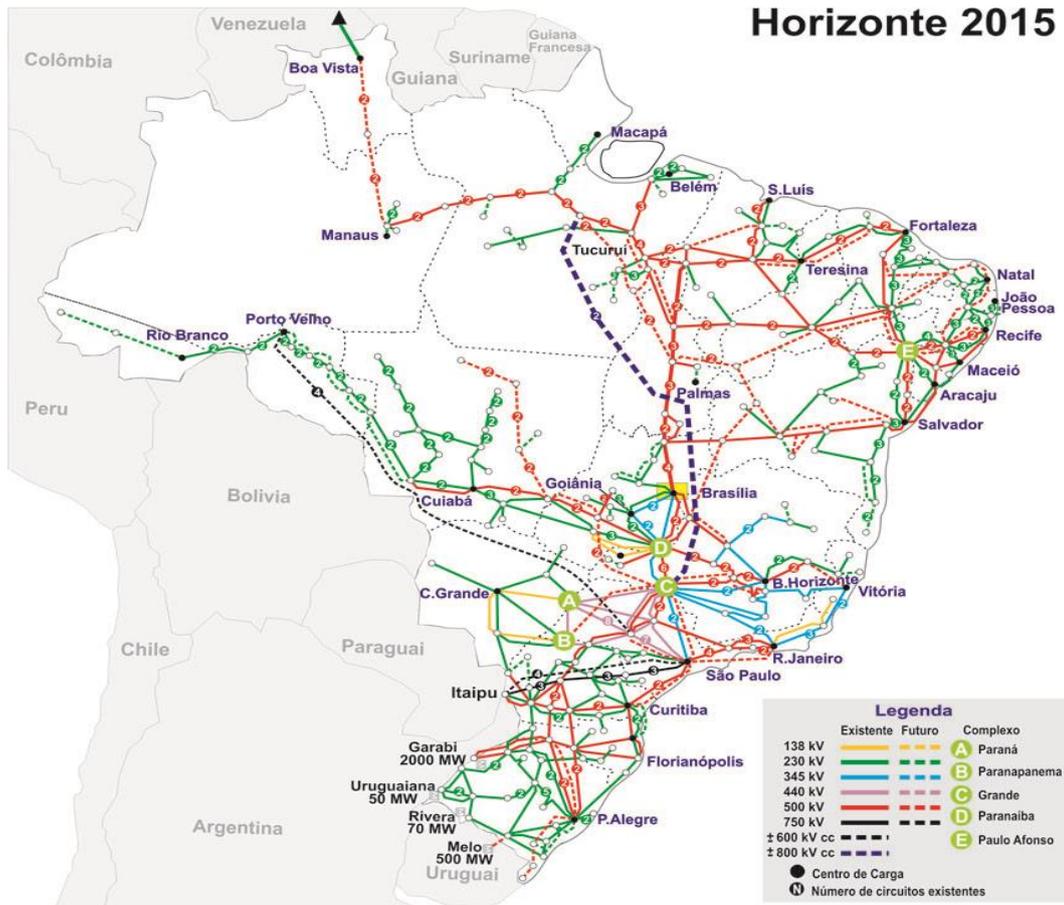


Figura 1: Sistema de transmissão de energia brasileiro em 2015

Fonte: ONS (2015).

As linhas de transmissão têm por finalidade o transporte de energia da usina hidrelétrica, ou mesmo outro tipo de matriz geradora (eólica, fotovoltaica etc.), até o ponto consumidor. Geralmente, essas linhas chegam nas subestações da cidade, que distribuem a energia, por meio das linhas de distribuição, com o nível de tensão adequado a consumidores e indústrias. A transmissão de energia predominante no Brasil é aérea, sendo composta basicamente por torres, isoladores e pórticos dentro das subestações. As torres têm como função principal erguer as linhas de transmissão a uma altura segura, principalmente para evitar qualquer tipo de contato com pessoas, animais e florestas. Essas torres são projetadas e calculadas para suportar ventos, abalos sísmicos e até terremotos. Os isoladores, por sua vez, evitam que a energia seja dissipada pelas estruturas, conseqüentemente, evita que os animais sejam eletrocutados, caso encostem na base da torre. Esses isoladores são feitos de

cerâmicas, polímeros e vidro. Por fim, nas subestações existem pórticos para sustentar os cabos das linhas de transmissão.

As linhas de transmissão são classificadas, conforme Bezerra (2010), quanto ao nível de tensão que foram projetadas da seguinte forma:

- **Linhas de distribuição (LD):** Tensão de 13,8KV e 34,5 KV.
- **Linhas de alta tensão (AT):** Tensão de 69 KV, 138 KV e 230 KV.
- **Linhas de Extra Alta tensão (EAT):** Tensão de 345 KV, 500 KV e 765 KV.

Ressalta-se, ainda, que existem linhas com tensão superior a 765 KV, essas são chamadas de **Linhas de Ultra Alta Tensão**, porém no Brasil não há nenhuma (BEZERRA, 2010).

Em vista dessa classificação, a subestação de Volta Grande, alvo deste trabalho, possui 03 linhas de Extra Alta Tensão (EAT) de 345 KV. São elas: LT Jaguará-Volta Grande; LT Luiz Carlos Barreto-Volta Grande e LT Porto Colômbia-Volta Grande (CEMIG, 2014).

2.1.2 Disponibilidade

"Disponibilidade" é um termo empregado principalmente na indústria, que significa ter as máquinas, os equipamentos e os sistemas realizando suas funções de maneira correta. Em outras palavras, significa ter o equipamento operando ou não, em um intervalo de tempo bem definido, conforme suas necessidades. De acordo com Cardec & Nascif (2009, p.112), disponibilidade é a " capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos de confiabilidade externos requeridos estejam assegurados."

No sistema elétrico de potência esse conceito é amplamente empregado uma vez que as concessionárias de energia são remuneradas de acordo com a disponibilidade de cada equipamento que compõem seus ativos. Neste contexto torna-se imprescindível as atividades de manutenção. O tópico sobre manutenção será abordado neste projeto.

2.1.3 Confiabilidade

É a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo. Cardec & Nascif (2009, p.112).

A confiabilidade de um equipamento, máquina ou sistema, pode ser mensurada de acordo com o histórico de manutenções, ou seja número de vezes de anormalidades, defeitos e falhas em um intervalo de tempo bem definido.

Neste texto a palavra "defeito" significa a perda parcial de alguma função do equipamentos, máquinas ou sistemas de realizar suas funções em um intervalo de tempo bem definido, ou seja, o equipamento pode estar funcionando mesmo com um defeito. Já a falha é a perda total da funcionalidade do equipamento, da máquina ou do sistema. Assim um equipamento, máquina ou sistema é confiável, se em intervalos de tempos bem definidos não apresentou defeitos ou falhas. Com este parâmetro de tempo e ocorrências pode-se mensurar o grau de confiabilidade.

Equipamentos do sistema elétrico de potência geralmente apresentam uma confiabilidade elevada devido a função que desempenham que é de transmissão de energia. Uma interrupção ou falha pode causar prejuízos incalculáveis para sociedade. Esta pesquisa contempla ainda o impacto social da energia para a sociedade bem como os desdobramentos da falta da mesma.

2.1.4 Manutenibilidade

É a característica de um equipamento, de uma máquina ou de um sistema permitir, em maior ou menor grau, realizar atividades de manutenção. Cardec & Nascif (2009, p.112). No sistema elétrico de potência existe equipamentos com diversos níveis de manutenibilidade. A manutenibilidade tem como preceito os seguintes conceitos : segurança, qualidade, tempo e custo.

Para o caso deste projeto, por se tratar de energia elétrica, a atenção da equipe de manutenção deve ser redobrada para evitar acidentes com pessoal próprio e também com terceiros. Há de se ressaltar que sistemas de distribuição e transmissão de energia passam pelo meio urbano e rural, logo a manutenção deve ser realizada com o máximo de segurança, preservando as pessoas, as vegetações, e os animais.

A qualidade se preocupa com o serviço a ser executado, conforme definido pela manutenção. Geralmente ela sofre influência da disponibilidade de peças adequadas para a substituição, peças que sejam padronizadas.

O tempo de manutenção é relevante para que a indisponibilidade do equipamento seja a menor possível. Assim a empresa, que neste caso, é a concessionária de energia não teria custos extraordinários que impactam na sua receita. O custo é o percentual gasto com atividade de manutenção, incluindo mão de obra, peças e a perda de produção quando fica indisponível o equipamento, máquina ou sistema. Para o sistema elétrico de potência o custo por perda de produção dentro da manutenibilidade, pode ser mensurado com a parada de geradores de usinas hidrelétricas e também indisponibilidade de equipamentos de subestações e linhas de transmissão (LT).

2.1.5 Implicações financeiras sujeitas às concessionárias transmissoras de energia

A remuneração das concessionárias de energia depende da disponibilidade do ativo para cumprir a função de transmissão. No caso deste trabalho, o ativo que será analisado são as linhas de transmissão, que impactam diretamente na receita anual permitida. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) define a regra de remuneração da concessionária da seguinte forma:

Parcela Variável – PV: é a parcela a ser deduzida da receita da transmissora em função da não prestação adequada do serviço público de transmissão;

Adicional à RAP (Receita anual permitida): é o valor a ser adicionado à receita anual da transmissora que apresenta desempenho excelente, com recursos provenientes exclusivamente da Parcela Variável, deduzida das transmissoras (ONS, 2015).

Diante desse cenário, as concessionárias devem programar suas manutenções preditivas e preventivas a fim de que sua receita não seja prejudicada, caso venha a ocorrer uma falha, e o ativo fique indisponível. Logo, é de responsabilidade da concessionária a manutenção da instalação de transmissão, de forma a oferecer para o Operador Nacional do Sistema(ONS) informações necessárias e definidas nos

procedimentos do operador, para possibilitar melhor controle, coordenação e operação do sistema elétrico.

A resolução da ANEEL nº 270 de 26 de junho de 2007 passou a efetuar a apuração dos desligamentos, bem como dos descontos referentes a parcela variável (PV) da RAP das empresas transmissoras, relativas às funções de transmissões que ficaram indisponíveis. As funções de transmissão são consideradas indisponíveis sempre que estiverem fora de operação, em virtude de desligamentos programados ou não programados. Dessa forma, o modelo proposto pela ANEEL para gerir o sistema elétrico tem por objetivo garantir a confiabilidade e a disponibilidade das funções de transmissão e, conseqüentemente, qualidade do produto final aos consumidores.

A resolução estabeleceu ainda um limite de tempo por ano para desligamentos e também uma franquia anual para ocorrência desse tipo. Assim, instalações da rede básica do sistema interligado nacional devem se adequar a essa realidade para cumprir seu programa de manutenção dentro dessas prerrogativas. Sendo assim, uma manutenção bem planejada, baseada em diagnósticos consistentes dos sistemas de monitoramento, pode reduzir os tempos de PV e os custos de manutenção e de operação desses equipamentos (FRONTIN, 2013).

Diante do apresentado, este estudo visa contribuir com a confiabilidade das linhas de transmissão da subestação de Volta Grande, visto que a tensão da linha de transmissão é monitorada pelo Transformador Potencial Capacitivo.

Ter os valores de tensão em tempo real auxilia na tomada de decisão e, possivelmente, no planejamento adequado de manutenção, antes mesmo que ocorra uma falha intempestiva e o problema se agrave, fazendo com que a linha fique indisponível, impactando na receita anual permitida da transmissora. Devido a esse fato, as concessionárias devem se adequar ainda às definições de manutenções apresentadas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), as quais são listadas brevemente a seguir:

Manutenção de Emergência- Serviço não programado, para a correção da falha, executado em equipamentos ou linhas de transmissão para restabelecer condições satisfatórias de operação. A manutenção de emergência é realizada quando houver necessidade de intervenção imediata, sem tempo hábil para comunicação com o centro de operação ONS com o qual o agente se relaciona.

Com a manutenção de emergência, evitam-se riscos para a integridade física de pessoas, para a instalação, para o SIN ou para o

meio ambiente, bem como danos em equipamentos ou linhas de transmissão.

Manutenção de Urgência- Serviço executado em equipamento ou linha de transmissão, para a correção de defeito, fora dos prazos estabelecidos para os desligamentos programados, mas no menor tempo possível em relação a próxima manutenção preventiva. A manutenção de urgência é realizada quando não há necessidade de manutenção imediata.

Com sua execução, previamente comunicada aos centros de operação do ONS, evitam-se riscos para a integridade física das pessoas, para a instalação, para o SIN ou para o meio ambiente, bem como danos em equipamentos ou linhas de transmissão.

Manutenção Forçada- Serviço decorrente de desligamento forçado, executado em equipamento ou linha de transmissão para restabelecer sua condição satisfatória de operação.

Manutenção Programada- Serviço executado em equipamento ou linha de transmissão para cumprir programa de manutenção preditiva, preventiva ou corretiva ou para atender a manutenção de urgência(ONS, 2015).

Logo, as concessionárias devem ter bem definidos os planos de manutenção, os quais devem contemplar o histórico dos equipamentos, das manutenções, das inspeções realizadas e da vida útil de cada equipamento, facilitando o planejamento das manutenções.

2.2 Tipos de manutenções

A seguir discute-se os tipos de manutenções amplamente utilizados nos mais diversos setores da sociedade. Estas técnicas tem por objetivo tornar a vida útil do ativo maior.

2.2.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva visa corrigir uma falha ou um problema, que diminui a capacidade normal de um equipamento ou de um sistema de desempenhar suas funções básicas.

A manutenção corretiva pode ser planejada e não planejada.

2.2.1.1 Manutenção corretiva planejada

Adota como premissa cuidar de equipamentos, processos e sistemas que apresentam desempenho abaixo do esperado, segundo as diretrizes técnicas e o histórico de funcionamento. Um gerenciamento desse tipo leva em consideração todos os desdobramentos de se manter uma programação para realização da manutenção em certos períodos pré-definidos. O gestor demanda, de acordo com as possibilidades financeiras, a reposição de peças, a mão de obra e a disponibilidade do equipamento ou do processo para empresa.

Conforme Cardec e Nascif (2009, p. 41), " Um trabalho planejado é sempre mais barato, mais rápido e mais seguro do que um trabalho não planejado. E sempre será de melhor qualidade" . Assim se pode inferir que um trabalho corretivo planejado será melhor quanto mais completa for a base de informações sobre equipamento ou sistema que se deseja corrigir.

2.2.1.2 Manutenção corretiva não planejada ou emergencial

É a manutenção que ocorre quando o equipamento falha . Como se trata de um evento inesperado para a manutenção seu custo é alto. Alguns fatores como o estoque, os equipamentos e as ferramentas adequadas á manutenção contribuem para onerar a correção. " Normalmente, a manutenção corretiva não planejada implica altos custos, pois uma avaria inesperada pode acarretar perdas na produção, perda da qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção" (CARDEC; NASCIF , 2009, p.41).

A indisponibilidade de mão de obra para o momento em que ocorre a falha é um outro fator que encarece esse tipo de correção, porque a empresa deverá realocar a mão de obra própria de uma frente de trabalho para outra ou mesmo, se não contar com esses profissionais, deverá contratar em curto intervalo de tempo um profissional especializado.

2.2.1.3 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é uma atividade planejada em intervalos de tempo bem definidos visando prevenir possíveis defeitos e falhas de equipamentos, máquinas, sistemas, células industriais, estruturas prediais e industriais. Essa manutenção é realizada de acordo com um planejamento prévio, tomando por base os dados do histórico do equipamento, tais como: número de vezes em que falhou, a localização do local do dano, quais foram as peças substituídas e quanto tempo foi gasto no reparo.

A atividade preventiva é valiosa para muitas empresas, sobretudo para aquelas que lidam com processos contínuos, automobilísticos, equipamentos de situação crítica na siderurgia, subestações de energia, metalurgia e química. O custo da manutenção preventiva geralmente é menor que o da manutenção corretiva, quando se refere à processos e equipamentos, estruturas prediais e industriais semelhantes.

De acordo com Cardec & Nascif (2009, p.43), "[...] na adoção de uma política de manutenção preventiva deve-se levar em conta, quando não é possível a manutenção preditiva e ainda alguns aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação que tornam mandatória, [...]."

Apesar dos benefícios citados anteriormente, este tipo de manutenção torna-se, às vezes, negativo, devido a falha humana, o que resulta na introdução de novas falhas.

2.2.2 Manutenção preditiva

É o tipo de manutenção que acompanha os equipamentos, processos, sistemas e instalações em pleno funcionamento. Ele adota a estratégia de monitoramento de seu ativo por meio de seu desempenho, predizendo, portanto, algum comportamento inesperado ou mesmo um defeito ou uma falha.

Para que a manutenção preditiva obtenha êxito onde for empregada, a empresa deverá estabelecer uma rotina de inspeções pré-definidas, podendo adotar prioridades de inspeção de acordo com a importância do equipamento e criticidade do processo. Nas inspeções, quando é verificada a queda de desempenho do equipamento, que

possa vir a ocorrer, são programadas manutenções corretivas. A manutenção preditiva aumenta a segurança da instalação e das pessoas envolvidas, conforme evidenciado por Cardec & Nascif (2009, p.46) : " A redução de acidentes por falhas catastróficas em equipamentos é significativa. Também a ocorrência de falhas não esperadas fica extremamente reduzida, o que proporciona, além do aumento de segurança pessoal e da instalação, a redução de paradas inesperadas da produção que, dependendo do tipo de planta, implicam consideráveis prejuízos." O investimento em qualificação e treinamento constante para empregados deverá ser adotado pelas empresas, garantindo assim alto desempenho nas análises preditivas. Assim, poderá programar atividades corretivas planejadas antecipando o risco de defeito ou falha do equipamento comprometendo o processo ou equipamento e lucros relacionados a produção.

2.2.3 Manutenção detectiva

É a forma de detecção de anormalidade, defeito ou falha via dispositivos e circuitos eletroeletrônicos. Geralmente essa detecção é empregada em sistemas automatizados, sistemas hidráulicos, pneumáticos, elétricos. Também é empregada em processos diversos industriais: químicos, físicos, biológicos em que há algum automatismo e necessite de circuito de supervisão para o mesmo. A manutenção detectiva é definida por Cardec & Nascif (2009, p.41) como " a atuação efetuada em sistemas de proteção, de comando e controle, de falhas ocultas ou imperceptíveis aos operadores." Este conceito de manutenção detectiva surgiu na década de 90, portanto é relativamente novo, apesar que desde de a década de 60, com a revolução na área da eletrônica e com o surgimento dos transistores, muitos circuitos supervisores eletroeletrônicos foram criados.

Atualmente os circuitos supervisores monitoram grandezas que são imperceptíveis ao homem. Quando é descoberto um defeito ou uma falha, o circuito informa a localização. Assim a manutenção poderá atuar de forma mais assertiva na correção. A manutenção a detectiva é muito utilizada em controle de sistemas de geração e transmissão de energia elétrica para monitoramento de vários circuitos. Ressalta-se sua importância neste projeto, que é o de supervisão da tensão do transformador potencial capacitivo.

Estas características dos tipos de manutenções abordadas neste projeto são amplamente empregadas em instalações de transmissão de energia no Brasil, destaca-se aí as subestações de energia onde a quantidade de equipamentos é considerável. A seguir, aborda-se alguns instrumentos de medição utilizados no sistema elétrico de potência.

2.3 Transformadores de Instrumentos

Os Transformadores de Instrumentos são equipamentos utilizados nos sistemas de transmissão de energia elétrica. Sua função é reduzir ou fazer uma amostragem fiel e semelhante dos valores de tensão e de corrente; essa amostragem alimenta os instrumentos que fazem o controle e a proteção do sistema. Com valores menores dessas grandezas, torna-se tecnicamente e economicamente mais viável a alimentação de relés, multimedidores e proteções diversas.

Os principais Transformadores de Instrumentos conhecidos e utilizados no sistema elétrico nacional são Transformadores de Potencial (TP's), Transformadores de Corrente (TC's) e Transformadores de Potencial Capacitivo (TPC's), todos eles empregados em larga escala.

Salienta-se que, de acordo com Clark (1983), os Transformadores de Instrumentos devem obedecer as seguintes premissas:

- Medição e faturamento da energia;
- Proteção e controle, uma vez que alimentam relés que monitoram e protegem o sistema de anormalidades, de acordo com suas funções e particularidades;
- Monitoramento e demanda de carga para controle do consumo das indústrias.

Ademais, todo o Transformador de Instrumento, para ter um desempenho satisfatório e uma vida útil conforme prevista pelo fabricante, deverá ser especificado de acordo com o valor da grandeza a ser medido e, ainda, as variações que ocorrem naquele ponto específico dentro de uma instalação. Um erro, no momento da especificação, poderá comprometer o desempenho do equipamento e a diminuição da confiabilidade das proteções e do controle do sistema.

2.3.1 Transformadores de Corrente

São projetados para fornecer uma amostra de corrente padronizada de acordo com sua corrente nominal. O circuito de um Transformador de Corrente (TC) tem a seguinte configuração: o enrolamento primário é ligado em série com o circuito de carga; e o secundário é destinado a alimentar as bobinas de corrente de instrumentos elétricos e de medição, controle e proteção.

Projetados e construídos para fornecerem uma corrente secundária de valor igual a 5A (ABNT), sempre que, no seu enrolamento primário, estiver circulando o valor de corrente nominal para o qual ele foi constituído. Assim, quando o primário é percorrido por uma corrente maior ou menor do que a nominal, no secundário tem-se também uma corrente proporcional maior ou menor do que 5 A (UNIVERCEMIG, 2007).

2.3.2 Transformador de Potencial

É um transformador para instrumentos que têm a seguinte configuração: o enrolamento primário é ligado em paralelo com o circuito de carga; e o secundário alimenta as bobinas de tensão dos instrumentos de medição de controle e proteção. Os Transformadores de Potencial (TP's) são utilizados para alimentar instrumentos elétricos que possuem bobinas de alta impedância. A corrente (I) do secundário é muito pequena, então, diz-se que são transformadores que funcionam a vazio. Ademais, é considerado um redutor de tensão porque normalmente a tensão no enrolamento primário é maior que no enrolamento secundário. Os TP's fornecem uma tensão secundária de valor padronizado de 115 V, de acordo com ABNT, quando, no enrolamento primário, estiver aplicada a tensão nominal. No entanto, quando se aplica uma tensão maior ou menor que a nominal, no enrolamento secundário, a tensão poderá ser maior ou menor que 115 V (UNIVERCEMIG, 2007).

2.3.3 Transformadores Ópticos

Apresentam uma certa vantagem em relação aos transformadores convencionais como: a ausência de óleo isolante, melhor precisão, eliminação da saturação e peso reduzido. Porém, apresentam certa dificuldade para integração com os instrumentos de medição, proteção e controle. Assim, esse transformador de instrumentos precisa de mais pesquisas para poder ser integrado ao sistema elétrico, para garantir confiabilidade quando for usado (FRONTIN, 2013).

Diante dessa descrição, salienta-se que, este estudo, limita-se ao TPC's, uma vez que esse será o equipamento utilizado no projeto de monitoramento em tempo real deste trabalho.

2.3.4 Transformador Potencial Capacitivo (TPC)

O Transformador Potencial Capacitivo (TPC) tem por função medir a tensão no terminal primário e disponibilizá-la, de maneira proporcional, no terminal secundário do equipamento. Na figura 2, ilustra-se, os componentes de um TPC e suas funções:

1- Manômetro de pressão do óleo (opcional) - Serve para monitorar a pressão de óleo do TPC, podendo coexistir uma válvula de sobrepressão ou alívio. Geralmente, nos TPC's mais antigos, tem-se a presença apenas da indicação de nível de óleo por meio de um visor.

2- Câmara de expansão - Tem a função de compensar a variação do volume de óleo conforme a variação de temperatura.

3- Unidades capacitivas - São utilizadas como divisores de tensão com a finalidade de reduzir os valores de tensão da linha de transmissão na qual o equipamento está instalado.

4- Óleo isolante - Tem a função de isolamento entre a coluna de capacitores, a porcelana e o trocador de calor. Pelo fato dos capacitores da coluna serem sensíveis, é utilizado o óleo isolante que é sintético. Geralmente na cuba é utilizado óleo mineral, tendo as mesmas funções isolantes, e trocador de calor.

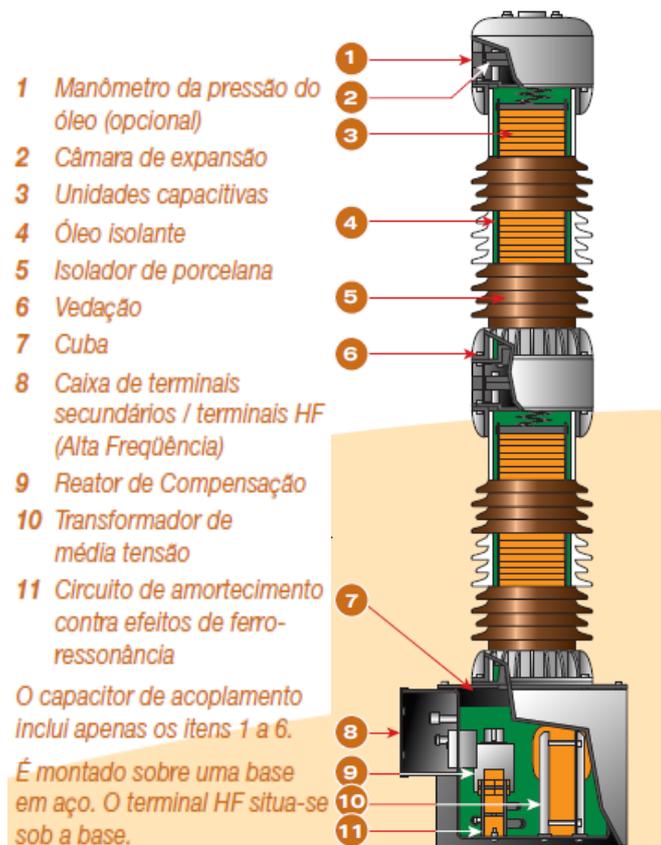


Figura 2: Transformador de Potencial do tipo Capacitivo (TPC)

Fonte: Areva (2007).

5-Isolador de Porcelana - Garante isolamento de partes energizadas do equipamento para a estrutura onde está localizado o TPC. Tem ainda a função de proteção do circuito interno do equipamento contra agentes físicos e químicos e intempéries.

6-Vedação - Proteção do circuito do TPC contra poeira e umidade. Auxilia no melhor ajuste de componentes e de suas partes na montagem.

7- Cuba - É o local onde estão localizados os circuitos do TPI, o reator de compensação e o circuito de amortecimento dos fenômenos de ferroressonância.

8- Caixas de terminais secundários / terminais HF alta frequência - A caixa de terminal do secundário é o local onde são coletados os valores de tensão para supervisão, controle e proteção das linhas de transmissão. Nessa caixa também há terminais de alta frequência com funções de comunicação e teleproteção. A comunicação é feita da seguinte forma, o divisor capacitivo dos TPC's é utilizado como capacitor de acoplamento, já que apresenta baixa impedância à frequência da onda portadora e bloqueia a corrente a frequência de 60 HZ, oferecendo a ela um caminho

de alta impedância. Esse aspecto construtivo faz parte do circuito de sintonia, estando ligado diretamente à linha de transmissão, evitando influências da frequência da rede de energia nos equipamentos de *carrier*. Essa tecnologia não é nova e permite transmitir dados e voz pelo condutor da linha de transmissão. Ademais, não necessita de grandes investimentos, uma vez que utiliza a infraestrutura existente na instalação (FRONTIN, 2013, p.811).

9- Reator de compensação- É projetado e construído pelo fabricante para controlar a defasagem no divisor capacitivo. O ângulo entre tensão deve ser ajustado para que valores corretos sejam refletidos no secundário, obtendo, assim, que os relés operem satisfatoriamente quando solicitados, além de proteções.

10- Transformador de média tensão - Após ocorrer o abaixamento da tensão pelos capacitores em série, essa é disponibilizada no terminal primário do Transformador Potencial Indutivo (TPI), que está localizado na parte inferior do equipamento. Por meio da relação de transformação dos seus enrolamentos, o TPI faz o abaixamento da tensão para seu secundário a valores que serão utilizados no controle e na proteção das linhas de transmissão.

11- Circuito de amortecimento contra efeitos de ferroressonância - Na ocorrência de uma falta intempestiva na linha de transmissão, ocorrerá o religamento automático. Caso esse não seja realizado satisfatoriamente ou após um curto circuito no secundário, poderão surgir sobretensões e oscilações de baixa frequência (Frequência Fundamental > Oscilações baixa frequência), ocasionando, portanto, o fenômeno da ferroressonância. Esse fenômeno pode ser caracterizado como a ressonância das capacitâncias do circuito, com valores de indutância não lineares, em elementos que contêm o núcleo ferromagnético (SILVA, 2010). Assim, é projetado um circuito que poderá ser composto de resistores, indutores e capacitores e que fica geralmente no enrolamento secundário do Transformador Potencial Indutivo(TPI), localizado na parte inferior do TPC.

Os valores de tensão que estão disponíveis no terminal secundário alimentam instrumentos com funções de proteção, medição e controle das linhas de transmissão. Geralmente, essa tensão proporcional do secundário é disponibilizada em algum circuito dentro da sala de controle da subestação. Nessa medida, os TPC's são usados em sistemas de potência, com bastante sucesso, como uma forma conveniente e

econômica de transformar tensões de transmissão em tensões suportáveis pelos instrumentos de medição e proteção (SILVA, 2010).

Cabe salientar que TPC's são construídos com a utilização de capacitores que dividem a tensão entre cada um deles na proporção inversa de suas capacitâncias, permitindo alimentar o enrolamento primário de um menor valor de tensão, compreendido entre 8% a 10% da tensão total da linha de transmissão (CEMIG, 2002). Posteriormente, essa tensão é rebaixada por meio da relação de transformação do transformador e disponibilizada no terminal secundário, estando pronta para alimentar circuitos de proteção e controle.

As falhas desse equipamento podem causar saídas de linhas de transmissão que resultam em severas multas impostas pela regulamentação do setor elétrico. Logo, faz-se necessária a agilidade das equipes de manutenção para recompor o sistema de transmissão no menor tempo possível, bem como motiva a elaboração de medidas preventivas no sentido de reduzir os desligamentos não programados (BAINY et al., 2015).

Por fim, salienta-se que os TPC's são ligados entre fase e terra, sendo projetados normalmente para tensões acima de 230 KV, pois apresentam vantagens em relação ao Transformador de Potencial (TP) para esses níveis de tensão, tais como: menor custo, robustez e peso. Ademais, são constituídos de um conjunto de capacitores de acoplamento (divisor capacitivo) ligados em série, e esse conjunto fica imerso em óleo no interior da porcelana

Na figura 3, apresenta-se um esquema elétrico, proposto por SILVA (2010), ilustrando o TPC a 60hz:

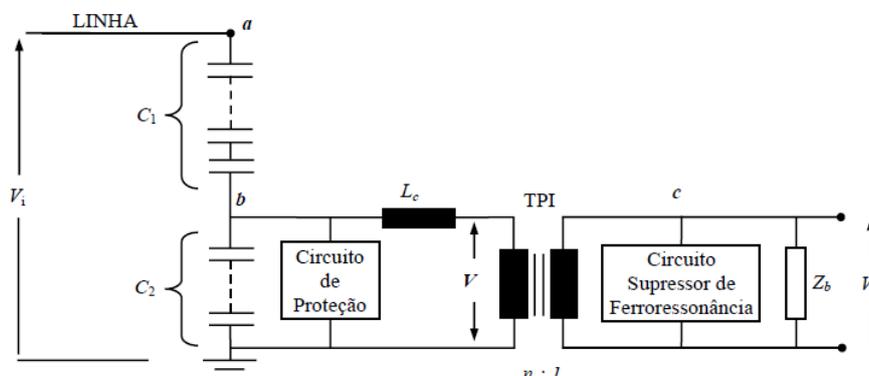


Figura 3: Esquema elétrico de um transformador potencial capacitivo (TPC).

Fonte: Silva (2010).

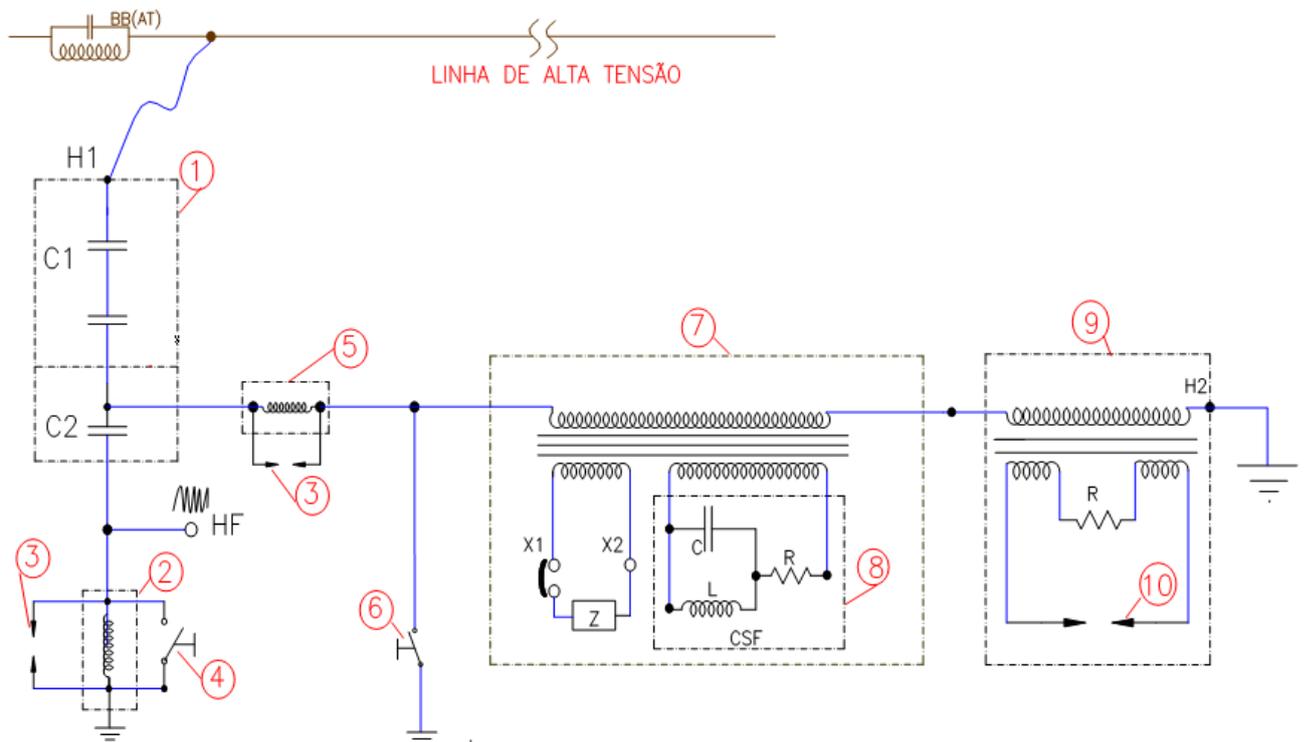
Os capacitores C1 e C2 ligados em série, com uma derivação b intermediária que alimenta o enrolamento primário do TPI, que fornecerá uma tensão V0 no terminal secundário, irão alimentar as proteções e o controle submetidos ao TPC. A defasagem que ocorre nos divisores capacitivos é compensada pelo reator L_C que, colocado em série com o primário do TPI, produz uma reatância ωL_C e a igualdade é satisfeita de acordo com a equação 1:

$$\omega L_c = \frac{1}{\omega(C1+C2)}$$

Equação nº 1 - para compensação da defasagem que ocorre nos divisores capacitivos a 60 Hz.

Os Transformadores de Potencial Capacitivo atualmente podem ser projetados de acordo com as necessidades demandadas de energia, porém os projetistas devem estar atentos não somente ao nível de tensão da instalação, mas principalmente o ponto de conexão desse, haja vista que pode haver pontos específicos em uma subestação em que a tensão seja um pouco maior. Portanto, a premissa fundamental do TPC é que a tensão do secundário deve ser uma amostra fiel da tensão coletada na linha ou barra, para uso apropriado na proteção e controle, garantindo, assim, confiabilidade e segurança.

2.3.4.1 Esquemático do circuito do TPC na linha de transmissão



**Figura 4: Esquemático do TPC .
AREVA, 2007.**

1 - Coluna Capacitiva

2 - Bobina de Drenagem

3 - Gap para proteção de bobina

4 - Chave de aterramento de Carrier

5 - Bobina de Bloqueio

6 - Chave de aterramento do circuito magnético

7 - Transformador de potencial Indutivo

8 - Circuito de Amortecimento

9 - Reator de Compensação

10 - Gap para atuação do enrolamento auxiliar

O esquemático da figura 4, é do transformador potencial capacitivo mostrado em detalhes, pode-se estudar este equipamento como sendo composto por quatro circuitos com funções específicas para formar o circuito principal. São eles o circuito formado pela coluna Capacitiva, o circuito da bobina carrier, o circuito do transformador indutivo, o circuito do reator de compensação.

O circuito formado pela coluna capacitiva pode ser visto em 1 da figura 4, é formado por capacitores em série que são responsáveis por abaixar a tensão da linha

de transmissão e disponibilizar no terminal primário do circuito do transformador potencial indutivo (TPI) do equipamento.

O circuito da bobina carrier é representado na figura 4 em 2, 3, 4 e 5. Tem por função comunicação, e teleproteção. A bobina carrier comumente chamada de bobina de bloqueio, é responsável por bloquear frequências abaixo de 60 hertz quando a onda portadora chega dentro da subestação, para não interferir na frequência dos equipamentos da subestação, deixando passar altas frequências que são utilizadas em equipamentos específicos de telecomunicações. Geralmente estes equipamentos utilizam estas ondas para tornar possível a comunicação de voz. Já a teleproteção é forma de inspecionar a linha de transmissão por meio da comunicação de relés por canais específicos, detectando defeitos ou falhas da mesma.

O circuito do transformador indutivo (TPI) visto na figura 4 e representado em 7, é responsável por abaixar novamente a tensão quando está chega em seus terminais primários, que por meio da relação de transformação diminui os valores de tensão no secundário do(TPI). Estes valores serão utilizados para controle e proteção das linhas de transmissão.

Já o circuito do reator de compensação da figura 4 é visto em 9 e é responsável por manter a tensão do secundário em fase com a do sistema, isso por meio do ajuste da reatância.

2.4 Proteção e controle do sistema elétrico de potência

O sistema elétrico de potência necessita de mecanismos que protejam os equipamentos da geração, transmissão e distribuição de energia e que garantam o bom funcionamento dele em situações normais e adversas. Assim, instrumentos de proteção e controle como relés, multimedidores e PLC's são de fundamental relevância para garantir a qualidade da energia. Esses instrumentos devem estar em constante monitoramento de suas grandezas físicas e, quando sofrem alguma variação, devem atuar conforme foram projetados, sinalizando com alarmes, desligando circuitos, enviando comando a outros equipamentos, isolando-os ou colocando em funcionamento outros, substituindo-os.

Alguns problemas recorrentes do sistema elétrico é a diminuição do isolamento, acarretando defeitos ou falhas que necessitam da atuação de proteção e de controle. Os sistemas de proteção e controle das linhas transmissão de energia elétrica são

dotados de uma infinidade de relés para tentar precaver uma possível falta no caso de uma ocorrência ou mesmo proteção dos equipamentos. Logo, tanto a proteção quanto o controle de linhas de transmissão devem obedecer alguns requisitos que são fundamentais para tornar a transmissão da energia confiável, são eles: seletividade, rapidez, sensibilidade, confiabilidade e economia (MASON, 1956).

- **seletividade:** é a capacidade da proteção de isolamento do defeito, mantendo outras partes do circuito em operação;
- **rapidez:** é o tempo que a proteção leva para localizar o defeito e isolá-lo, sem desligar outras partes que operam normalmente. Todo o projeto que requer uma proteção mais rápida deverá prever custos maiores para a mesma;
- **sensibilidade:** a proteção deverá ser capaz de distinguir uma condição normal de uma condição faltosa por menor que seja a perturbação. Deve, ainda, identificar e proteger todo o circuito a que foi projetada, por menor que seja o valor monitorado;
- **confiabilidade:** uma proteção que se apresente confiável não poderá operar erroneamente e, quando for solicitada no momento de uma ocorrência, deverá operar protegendo o circuito;
- **economia:** na concepção de um determinado projeto, deverá ser mensurado o valor a ser aplicado na proteção, tendo em vista o equipamento que irá proteger, o seu valor e sua importância no circuito.

2.5 Dispositivos e sistema para automação industrial

São dispositivos amplamente utilizados para implementar e automatizar processos industriais. Esta pesquisa aborda alguns dos dispositivos que podem ser utilizados para o projeto de automação em questão.

2.5.1 Conversor analógico digital

O Conversor Analógico Digital, com abreviação A/D, é um dispositivo eletrônico responsável por converter grandezas físicas no estado analógico - como temperatura,

corrente e tensão - para representação digital. A representação digital é a linguagem que máquinas e computadores utilizam para leitura e controle desses dados.

Os Conversores Analógicos Digitais (A/D) são amplamente utilizados na indústria em processos químicos, físicos e biológicos. Além disso, fazem parte do cotidiano das pessoas, mesmo que essas não percebam, um exemplo é quando se utiliza o telefone: a voz é captada pelo aparelho e, em seguida, é enviada para uma central na qual existe um conversor A/D que converte o sinal, posteriormente, enviando-o; na outra extremidade existe um outro conversor que converte novamente o sinal digital para analógico que, em seguida, chega ao destinatário a voz. Os conversores A/D são a base dos processos que são automatizados. A figura 4, ilustra o aparelho de aquisição de dados com entradas analógicas universais, que são convertidas em saídas digitais, por isso, podem ser empregados em diversos processos.



Figura 5: Aparelho de aquisição de dados LS 1800.

Fonte: LYNX (2015).

A figura 5, ilustra as entradas analógicas no aparelho LS 1800 da LYNX podem ser configuradas para diversos tipos de sensores como: termopares, PT 100 ou acelerômetros. Esse aparelho pode ser empregado em várias aplicações de projetos que se deseja a conversão de grandezas analógica em digitais.

2.5.2 Transdutor

Transforma um tipo de energia em outro por meio de um elemento sensor. O elemento sensor pode transformar sinais de natureza não elétrica como posição, temperatura, velocidade e pressão para grandezas de natureza elétrica como tensão, corrente e resistência. Na visão de Filho (2002), a evolução de sistemas de controle, os

transdutores convertem as grandezas físicas em sinais elétricos, os quais são conectados com as entradas dos controladores. Transdutores digitais medem variáveis com estados distintos, tais como ligado/desligado ou alto/baixo, enquanto os transdutores analógicos medem variáveis com uma faixa contínua, tais como pressão, temperatura, vazão ou nível. Com base nos estados das suas entradas, o controlador utiliza um algoritmo de controle embutido para calcular os estados das suas saídas (FILHO, 2002).

Portanto, deve-se escolher o transdutor adequado para processos a serem automatizados e processos que requerem alguma melhoria que inclua a troca do transdutor. A figura 6 ilustra um transdutor de pressão utilizado em processos industriais, que dispõe de saídas amplificadas, quer em corrente (4-20 mA), quer em tensão (0-10 V).



Figura 6 : Transdutor de pressão

Fonte: Gefran (2011) .

O transdutor possui campos de medição, de 0...1 bar até 0...1000 bar, com precisão <0,5% do fator de serviço (GEFRAN, 2011). De acordo com as considerações de Filho (2002, p. 1), este transdutor é considerado analógico, pois converte o sinal de pressão em corrente ou tensão dependendo da aplicação que se deseja.

2.5.3 Sistema Supervisório

Os Sistemas Supervisórios permitem que informações sobre um determinado processo sejam monitoradas pelo usuário do sistema. Essa plataforma é chamada Interface Homem-Máquina (IHM), pois pode-se ter a aquisição de várias informações simultaneamente por meio de sensores que, inseridos num circuito junto com outros

instrumentos, como transdutores, transmissores e PLC's, disponibilizam dados para a plataforma supervisora no computador ou dispositivo apropriado de monitoramento.

Os Sistemas Supervisórios começaram a ser utilizados em larga escala nas décadas de 70 e 80, dado o avanço da eletrônica e o surgimento dos microprocessadores. Na atualidade, os Sistemas Supervisórios são utilizados também em outros setores, como no comércio, exemplo disso é sua utilização em monitoramento de ar condicionado de Shopping Center. Nessa medida, os Sistemas Supervisórios são importantes para a indústria porque propiciam que o controle de seu processo industrial seja acompanhado em tempo real, garantindo que seu produto final tenha qualidade e atenda aos requisitos de produção e tempo desejados.

Exemplifica-se, por meio da figura 7, um Sistema Supervisorio que controla a pressão de ar nos quatro tanques e a entrada de suprimento de ar para os tanques por cada um dos três compressores. Com esse sistema, há um monitoramento contínuo, para caso haja alguma anormalidade, o sistema gere alarmes para que o operador verifique e tome as providências cabíveis.

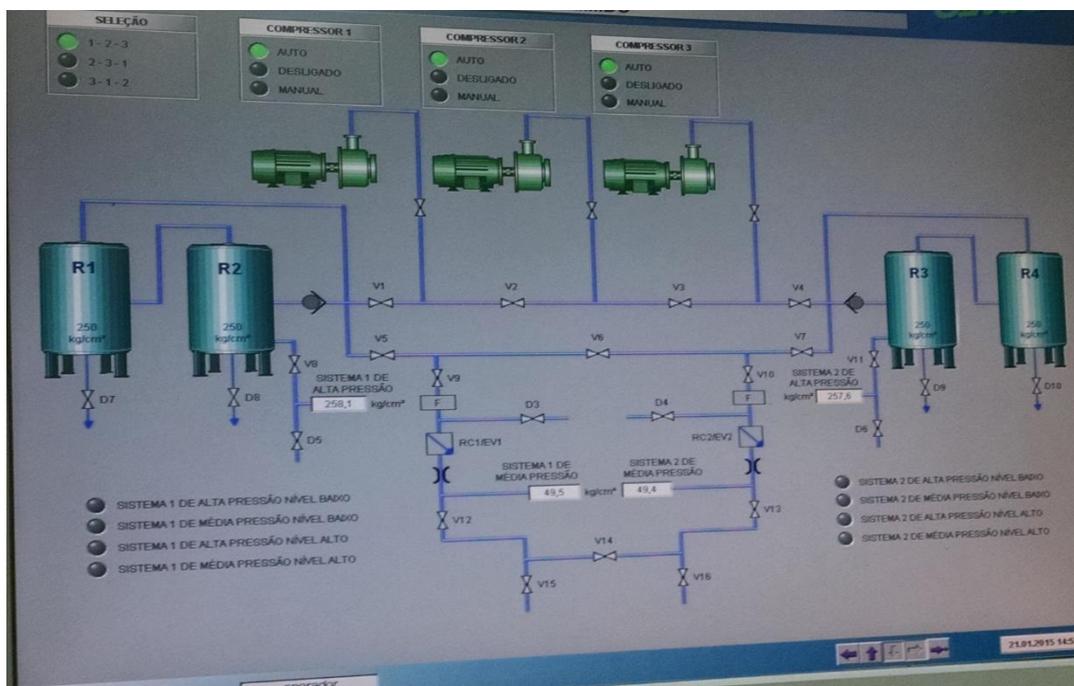


Figura 7: Supervisorio de um sistema de ar comprimido

Fonte: SE Volta Grande (2015).

As principais vantagens da utilização dos sistemas supervisórios para controle de processos são:

- **Análise de tendências:** é baseada no histórico do banco de dados, podendo prever algum problema;
- **Alarmes:** é o registro, em tempo real, de falhas, podendo ficar armazenado para consultas e estudos futuros do processo;
- **Operação remota no processo:** operação no processo a partir da sala de controle ou ainda de centros distantes do local do processo;
- **Geração de relatórios e gráficos:** é possível gerar gráficos e relatórios sobre alarmes e sobre o processo operando normalmente;
- **Aumento da disponibilidade da planta:** o monitoramento contínuo permite que o processo possa estar disponível por maior tempo possível, uma vez que o sistema auxilia na identificação do erro. Logo, a manutenção será realizada no menor tempo possível.

2.5.4 Varivolt

Equipamento utilizado para variar a tensão. Sua utilização neste projeto, foi para poder simular a variação de tensão do equipamento TPC. Alimentou -se o varivolt com tensão da rede por meio da bancada de 220VAC do laboratório de eletrônica, quando a montagem do projeto de automação estava feita, realizou-se os testes variando a tensão do varivolt simulando as possíveis variações de tensão do TPC.

2.5.5 Transformador de potência abaixador de tensão (220-6-12 Volt)

É o equipamento que pode abaixar os níveis de tensão do circuito por meio da relação de transformação das bobinas de cobre em seu interior, ou seja uma variação do fluxo magnético nas espiras na bobina, tudo ocorre por meio da variação do número de espiras. Neste caso, temos um abaixador de tensão ou seja o fluxo magnético no secundário é menor que no primário, conseqüentemente teremos uma tensão menor. A tensão utilizada foi de 6 V no secundário por questão de conveniência, uma vez que precisava-se abaixar a tensão ainda mais(0-5 VOLT) para a utilização no arduino.

2.5.6 Circuito retificador e abaixador de tensão para o nanochip arduino

Este circuito da figura 8, foi desenvolvido para poder retificar o sinal alternado para contínuo e também para abaixar os níveis de tensão, já que o microchip arduino necessita ler valores de zero á cinco volts (0-5 Volt).

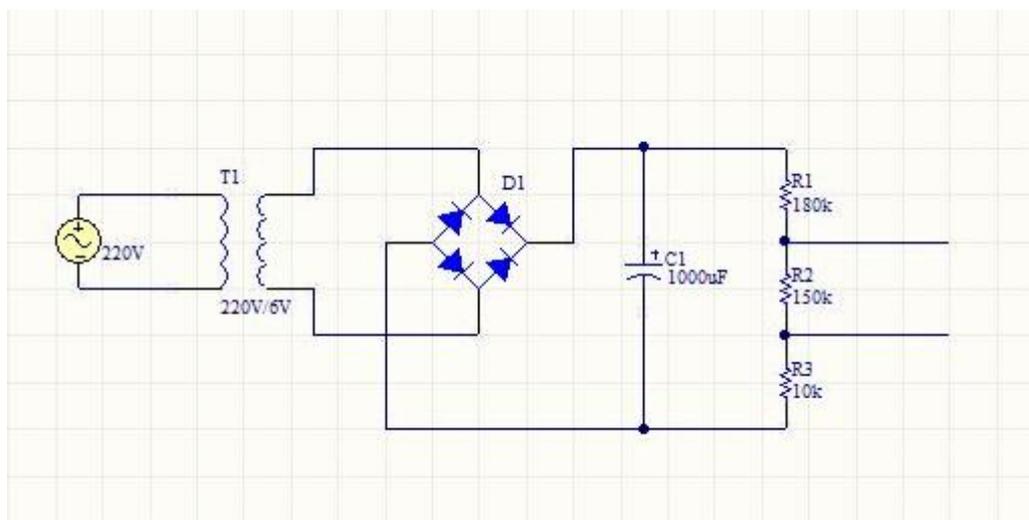


Figura 8 : Circuito abaixador de tensão e retificador

O circuito em questão abaixa os valores de tensão de 220 VAC para 6 VAC, em seguida passa por uma ponte retificadora para converter a tensão alternada em contínua, em seguida há um filtro desse sinal (capacitor) e são usados resistores em série para garantir a queda de tensão para valores convenientes de leitura, e na saída seja menor ou igual á 5 volts, que é a entrada do arduino.

2.5.7 Arduino Nano

È uma placa eletrônica de prototipagem para utilização em experimentos, muito utilizada no meio acadêmico, onde teve origem. Segundo (Evans. M, Noble. J & Hochenbaum. J. p.25) , " O arduino teve seu início no *Interaction Design Institute* na cidade de IVREA, na Itália, em 2005. O professor Massimo Banzi procurava um meio barato de tornar mais fácil para os estudantes de design trabalhar com tecnologia. Ele discutiu seu problema com David Cuartielles, um pesquisador visitante da Universidade de Malmö, na Suécia, que estava procurando uma solução semelhante."

Surge assim o arduino, com característica de baixo custo, e com o intuito de ensinar programação e eletrônica no meio acadêmico. Essa invenção recebeu menção honrosa na categoria comunidades digitais no ano de 2006. Desde de então, o arduino se popularizou no meio acadêmico e hoje é amplamente utilizado no Brasil em cursos técnicos e engenharias ligadas as áreas de elétrica e eletrônica. O projeto original do arduino foi melhorado e varias versões da placa foram criadas. A figura 9, mostra um esquemático da placa do arduino nano, uma versão de placa menor e mais completa do arduino, que será utilizada para realizar o experimento desse projeto.

2.5.7.1 Alimentação da placa

A placa do arduino nano pode ser alimentado por uma conexão mini-B USB, por uma fonte externa não regulada de 6 a 20 volts (pino 30), ou por uma fonte externa regulada de 5V (pino 27). A fonte de alimentação selecionada automaticamente é a de maior voltagem. O *chip* FT232RL somente é energizado se e placa for alimentada através da porta USB. Desse modo quando a placa está funcionando com alimentação externa (não USB) a saída de 3,3V (que é fornecida pelo chip FTDI) não está disponível e os LEDs RX e TX vão acender se os pinos 0 e 1, respectivamente, estiverem em *HIGH*.

2.5.7.2 Memória

O microcontrolador ATmega328 no Nano tem 16KB de memória *flash* para armazenamento de código, dos quais 2KB são usados pelo bootloader. Ele possui ainda 2KB de SRAM e 1KB de EEPROM que podem ser lidos ou escritos.

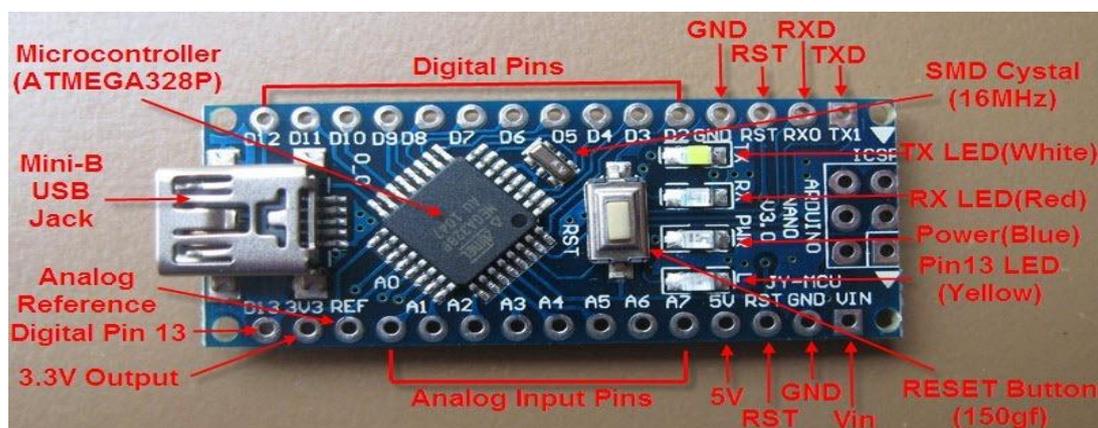


Figura 9: Arduíno Nano

2.5.7.3 Características:

- ✓ Reset automático durante o *download* de programas
- ✓ LED azul de alimentação na parte de baixo
- ✓ Verde (TX), vermelho (RX) e laranja (L) LEDs
- ✓ jumper +5V para AREF
- ✓ Detecção automática da fonte de alimentação
- ✓ conector mini-B USB para programação e comunicação serial
- ✓ cabeçalho ICSP para download direto de programas
- ✓ Disposição padrão dos pinos que pode ser montado em *protoboard*
- ✓ Botão manual de *switch* .

O quadro 2, mostra características do arduino nano.

Microcontrolador	Atmel ATmega328
Voltagem de operação (nível lógico)	5 V
Voltagem de entrada (recomendada)	7-12 V
Voltagem de entrada (limites)	6-20 V
Pinos digitais I/O	14 (dos quais 6 podem ser saídas PWM)
Pinos de entrada analógica	8
Corrente contínua por pino I/O	40 mA
Memória Flash	16 KB (dos quais 2KB são utilizados pelo bootloader)
SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes
Velocidade de Clock	16 MHz
Dimensões	0.73" x 1.70"

Quadro 1: Características do arduino nano

No projeto de monitoramento do transformador potencial capacitivo(TPC), utilizou-se o arduino nano para simular em laboratório o monitoramento de tensão das fases A, B, C. Foi usado da placa os pinos 0, 1 e 2 de entradas analógicas (coleta de tensão da rede) . A alimentação da placa do arduino foi via cabo USB do computador. Abordaremos a seguir o conversor analógico digital (A/D) do arduino para compreender como ocorre a conversão de valores físicos ou analógicos valores digitais mostrados por computador.

2.5.7.4 Conversor analógico- digital do arduino

Na atualidade por vezes necessitamos realizar algumas medidas de grandezas físicas e obter essas grandezas na forma digital, que é a forma que o computador consegue ler e mostrar em seus dispositivos de saída para o usuário . Conforme Idoeta e Capuano (1998), a conversão analógico-digital consiste, basicamente na entrada de informações na forma analógica e recolher na saída a mesma informação na forma digital. As grandezas físicas estão no estado analógico e necessitamos converter as mesmas para a forma digital.

Assim, a eletrônica desenvolveu os conversores analógicos digitais, dispositivos responsáveis por transformar um sinal analógico (grandezas físicas) em um sinal elétrico no nível de tensão ou corrente apropriado que possa ser lido por um circuito que converta a informação em grandezas digitais, para o uso em aplicações diversas. Para Braga (2014), os microcontroladores, controles industriais, computadores e muitos circuitos que processam dados obtidos de sensores operam exclusivamente com sinais digitais. Logo, se na saída de um sensor tivermos um sinal analógico e precisarmos transferir este sinal para um circuito digital que faça a conversão.

Neste contexto, para este projeto foi preciso dispor de tal conversão para monitorar os níveis de tensão via computador. O conversor (A/D) utilizado, está embutido na placa do arduino uno. Estes conversores são amplamente utilizados na área industrial onde variáveis como pressão, temperatura, tensão, corrente, umidade são monitoradas para controle do processos industriais. A conversão do sinal A/D de acordo com Puhlmann.H (2015), transforma um sinal analógico, contínuo no tempo, num sinal amostrado, discreto no tempo, quantizado dentro de um número finito de valores inteiros, determinado pela resolução característica do conversor em bits (8, 10,

12, 16 etc). Por exemplo, num conversor de 10 bits, o sinal de entrada é transformado em amostras com os valores entre 0 e 1023.

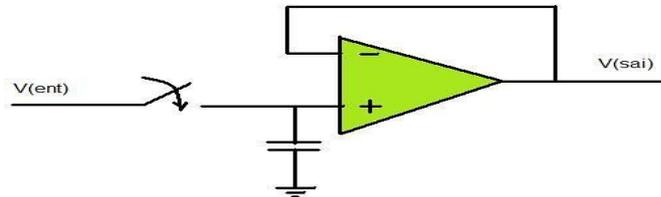


Figura 10: Circuito *Sample e Hold* simplificado.
(Puhlmann.H, 2015)

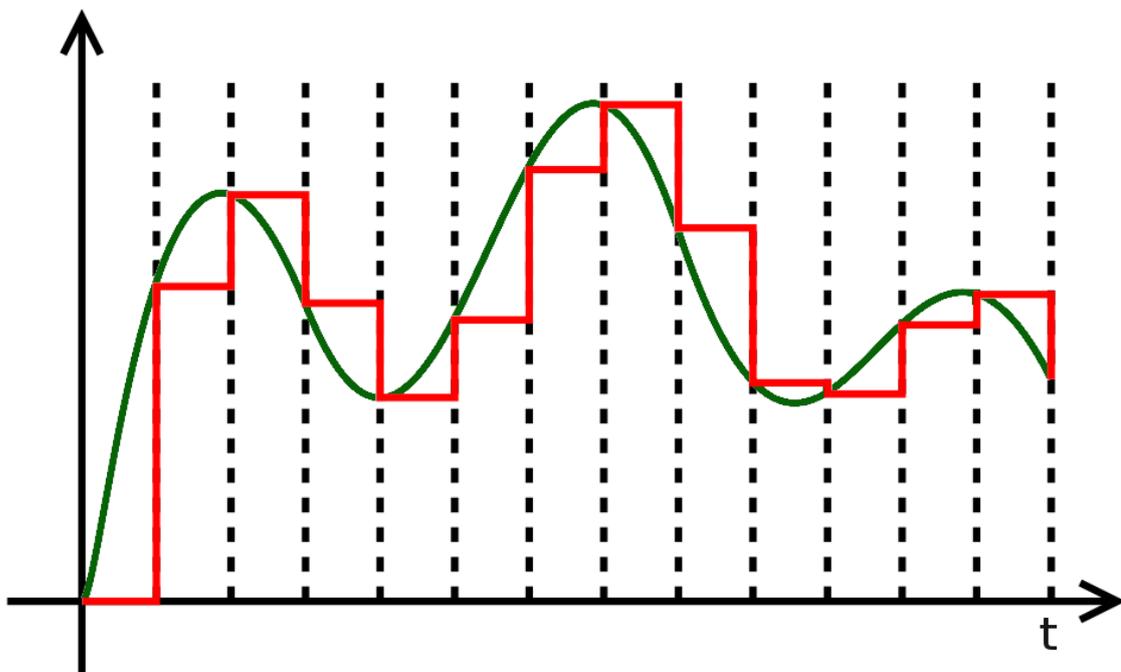


Figura 11: Saída de um circuito *Sample & Hold* quando estimulada por um sinal contínuo.
(PUHLMANN. H, 2015) .

Geralmente os níveis de tensão de entrada nos conversores A/D não são adequados. A tensão de entrada é a de alimentação dos conversores (+5 ou 3.3 V) assim, faz-se necessário a acomodação desses sinais de entrada. Existe um circuito analógico formado por elementos passivos e ativos na placa que faz tal acomodação.

Após está acomodação desse sinal, existe um elemento que faz amostragem periódica do sinal e garante estabilidade do mesmo, na entrada do conversor . Este elemento é o circuito Sample Hold, mostrado na figura 10. Na figura 11, é plotado o gráfico de amostragem do sinal discreto, evidenciando que, o sinal está apropriado para que se inicie a conversão A/D. Existem diversas técnicas de conversão analógico-digitais, as conhecidas e utilizadas são conversão: por contagem, paralela, de rampa simples de rampa dupla, sigma-delta. Para o escopo deste trabalho limitaremos a explicação da conversão feita pelo processador aTmega328 do arduino nano. Segundo Souza (2014), o microprocessador aTmega328, possui um conversor A/D de aproximações sucessivas de 10 bits e possui seis canais, sendo selecionado por vez por registradores internos, já que o arduino nano possui apenas um conversor A/D.

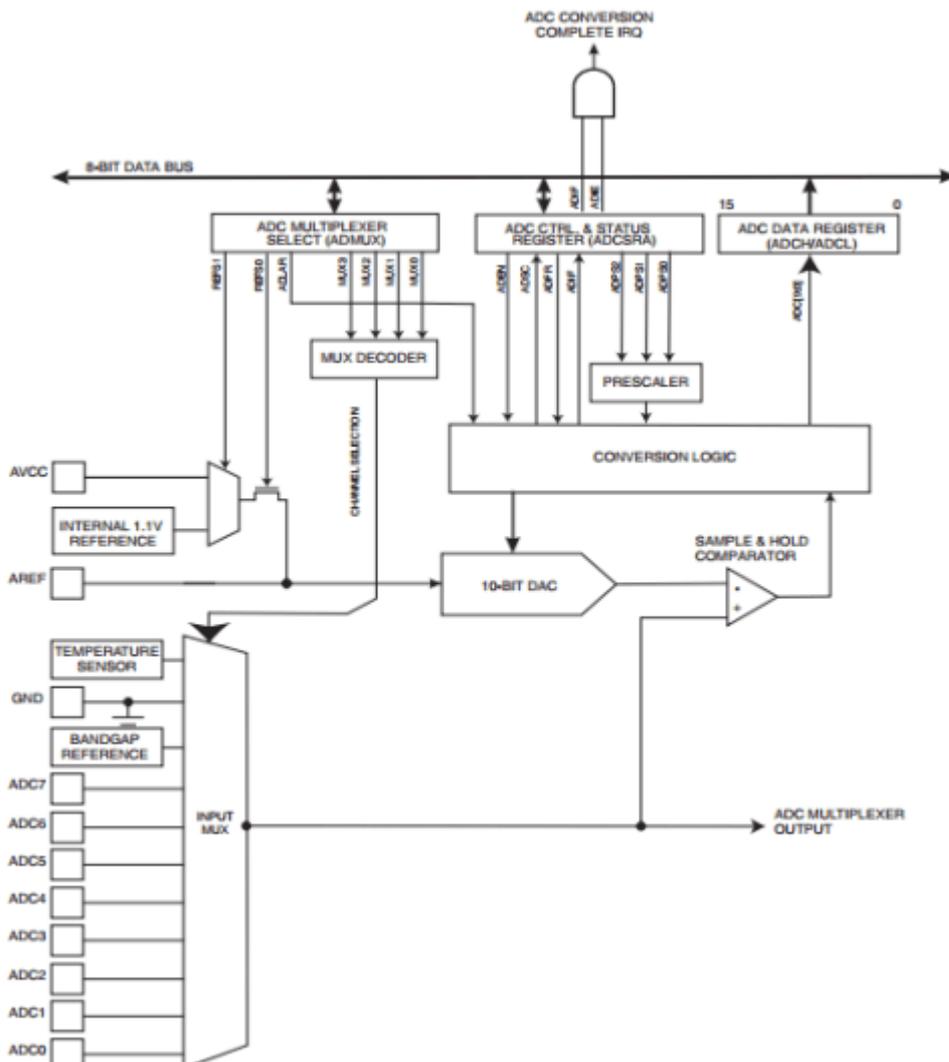


Figura 12: Esquema do conversor A/D do microprocessador aTmega 328 do arduino nano.

A figura 12, é ilustrado o esquema do conversor A/D do arduino ATmega, onde os dados a serem convertidos são admitidos no multiplexador (ADC0 á ADC7) , posteriormente são preparados pelo circuito Sample e Hold comparador para que se inicie a conversão A/D.

2.6 Casa de controle da subestação

A Casa de Controle pode ser considerada o 'cérebro' da subestação. Nesse local está localizada uma série de relés, PLC's, barramentos, circuitos de comando e força, circuitos digitais, Sistema Supervisório, multimedidores analógicos e digitais, circuitos de telecomunicações e telecontrole. Com o avanço de tecnologias digitais e de telecomunicação, grande parte das subestações podem ser operadas por telecontrole, isso significa que determinado equipamento pode receber um determinado comando a longa distância, sem a presença de um operador para fazê-lo. Isso permite um amplo controle do processo produtivo de transmissão de energia e, conseqüentemente, melhor foco e aproveitamento da mão de obra, deslocando-a para instalações que requerem maior grau de atenção.

2.7 Protocolos de comunicação

Para melhorar o entendimento, do escopo da parte de comunicação deste projeto, o texto se limitara a fazer uma abordagem dos principais protocolos de comunicação e interfaces a serem utilizados para monitoramento do transformador potencial capacitivo (TPC).

2.7.1 Comunicação Serial

É a forma de comunicação em que um bit é enviado por vez (comunicação bit á bit). Para (Cugnasca e Hirakawa, 2006), os bits de uma palavra são transmitidos sequencialmente no tempo, em um único meio físico. A comunicação serial é amplamente utilizada no por computadores, conseqüentemente amplamente utilizada

no ambiente industrial. A seguir alguns padrões definidos de interfaces de comunicação serial.

2.7.2 Interface Serial

Os bits da informação ou palavra são transmitidos um por vez e sequencialmente, em meio físico adequado de comunicação.

2.7.3 Interface Paralela

Todos os bits de uma palavra ou informação são transmitidos simultaneamente por diversos fios de comunicação, surge ai o nome de transmissão paralela ou interface paralela.

A figura 13 ilustra o dispositivo UART empregado para conversão serial e também paralela, ressalta-se ainda a importância dessas interfaces no ambiente industrial.

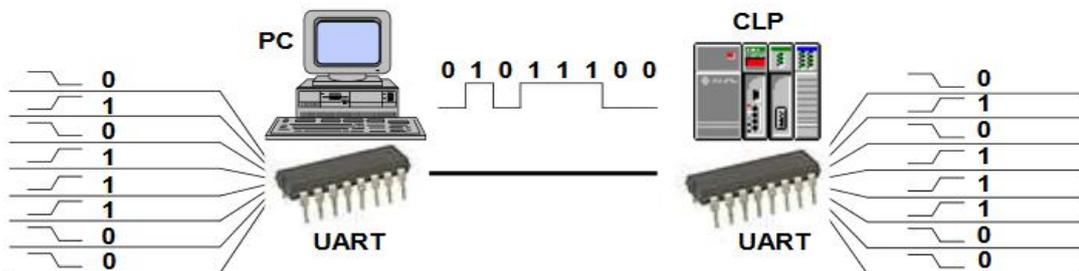


Figura 13: UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)

Fonte: Departamento de eletrônica e telecomunicações -UERJ (2011).

2.7.4 Interface RS 232

É um conjunto de normas que definem ponto a ponto a comunicação serial entre dois dispositivos. As letra iniciais da interface RS, é uma abreviação de “*Recommended Standard*” ou seja uma forma de padronização de comunicação dispositivos. Souza (2012), relata que foi uma padronização de uma interface comum para comunicação de dados entre equipamentos, criada no início dos anos 60, por um comitê conhecido atualmente como “*Electronic Industries Association*” (EIA). São especificados níveis

tensões, temporizações e funções dos sinais. Há ainda um protocolo para troca de informações, e as conexões mecânicas a serem utilizadas. A norma define como padrão mecânico um conector de 25 pinos, porém não define o tipo de conector. São amplamente os conectores DB9 e DB25 por padrão.

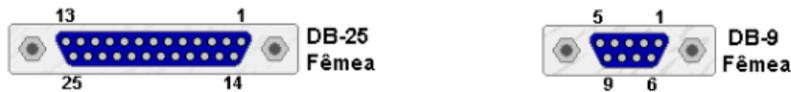


Figura 14: Conectores: DB 25 e DB9.

Fonte: Departamento de eletrônica e telecomunicações -UERJ (2011).

A figura 14, ilustra o padrão adotado para comunicação RS 232, que utiliza conectores do tipo DB-25 e DB-9. Atualmente o conector DB-9, é o mais utilizado por atender requisitos mínimos para a transmissão de dados e por ter vantagem mecânica (ergonômica) por ter uma quantidade de pinos menor. Para, Pinheiro (2011), o conector DB-9 é amplamente utilizado porque na maioria das aplicações, quase todos os 25 pinos são desnecessários, referindo -se ao conector DB-25. A comunicação Rs-232, admite o cabo de até 15 metros, seja ele tipo DB-9 ou mesmo o DB-25, sem perda de qualidade da transmissão de dados, a figura 10 ilustra o conector do tipo DB-9.

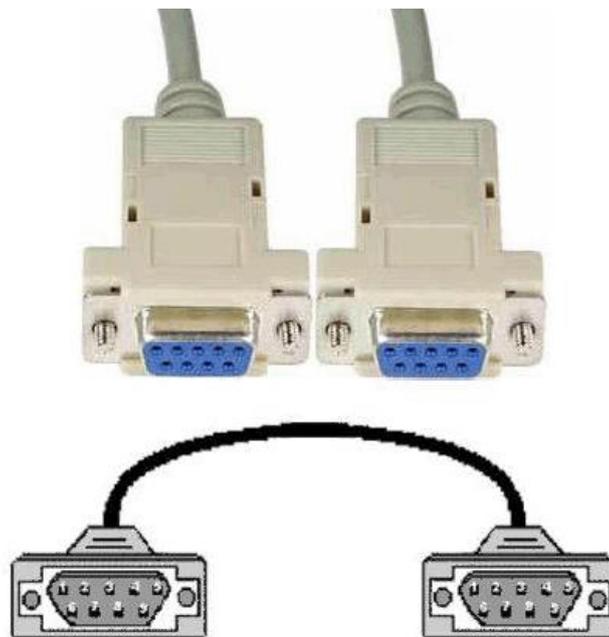


Figura 15: RS 232- Conector DB9

Fonte: Baú da Eletrônica.

O padrão RS-232 é amplamente utilizado em aplicações industriais, principalmente em processos automatizados e que demandam informações em tempo real, figura 15, ilustra a comunicação e forma de transmissão de dados da interface. Para que a transmissão de dados se inicie precisamos do dispositivo gerador de dados **DTE** (*Data Terminal Equipment*) ou Equipamento de Terminação de Dados que podem ser computadores, servidores e terminais.

No outro terminal, teremos receptor **DCE** (*Data Communication Equipment*) – que pode ser quaisquer equipamentos de Comunicação de Dados, dispositivos componentes de uma rede, *modem*, repetidor, *switch*.

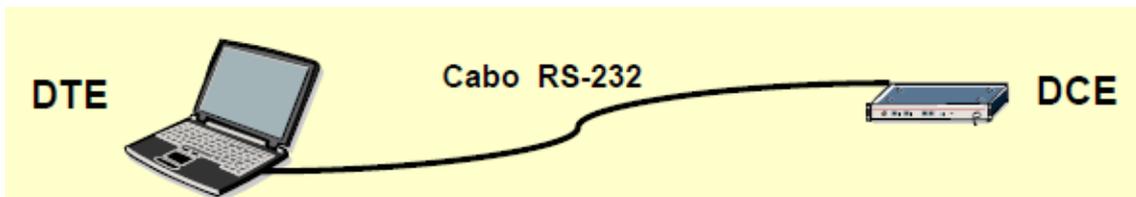


Figura 16: Comunicação Rs- 232.

Fonte: Departamento de eletrônica e telecomunicações -UERJ (2011).

A interface de comunicação RS-232 contempla várias funções e circuitos, para que, seja efetiva a transmissão de dados, segundo Pinheiro (2011), pode-se dividir em quatro grandes categorias de circuitos conforme a norma. O Quadro 1, ilustra esta divisão.

Circuitos de Aterramento	Circuitos de Controle
1 - Protective Ground	4 - Request to Send
7 - Signal Ground	5 - Clear to Send
	6 - Data Set Ready
Circuitos de Dados	20 - Data Terminal Ready
2 - Transmitted Data	22 - Ring Indicator
3 - Received Data	8 - Received Line Signal Detector
14 - Secondary Transmitted Data	21 - Signal Quality Detector
16 - Secondary Received Data	23 - Data Signal Rate Selector
Circuitos de Temporização	19 - Secondary Request to Send
15 - Rx. Signal Elem. Timing (DTE)	13 - Secondary Clear to Send
17 - Tx. Signal Elem. Timing (DCE)	12 - Sec. Tx. Sig. Rcvd Line Detector
24 - Tx. Signal Elem. Timing (DTE)	

Quadro 2: Circuitos de comunicação RS 232.

Fonte: Departamento de eletrônica e telecomunicações -UERJ (2011).

No quadro 1, conforme sugerido por Pinheiro (2011), para que a comunicação ocorra e transmissão de dados seja eficiente temos circuitos de aterramento, Dados , temporização e circuitos de controle. Podemos fazer as seguintes considerações:

- O circuito de aterramento é para proteção da interface, garantindo que todo o processo de transmissão de dados se realize, caso ocorra uma ' fuga' á terra o cabo estará devidamente aterrado.
- O circuito de dados é responsável por enviar e receber informações.
- O circuito de temporização conta o tempo necessário para receber ou enviar bit á bit.
- O circuito de controle que controla os outros três circuitos para que a transmissão dos dados ocorra sem falhas.

2.7.5 Interface RS 485

A Interface serial TIA/EIA-485 ou popularmente conhecida como RS-485 descreve a uma interface de comunicação por meio de linhas diferenciais capaz de comunicar com até 32 dispositivos diferentes. A TIA/EIA-485 especifica que um dispositivo de carga é considerado transmissor e receptor (*Texas Instruments*, 2002). O meio físico mais utilizado é o par trançado, por meio deste, cada dispositivo recebe e envia dados. Quando um dispositivo vai transmitir um dado ele aciona seu transmissor, ao término da transmissão do dado o transmissor é desligado, possibilitando que outros dispositivos conectados transmitam seus dados. Um dispositivo por vez realiza a transmissão de determinado dado.

O mecanismo de funcionamento desta interface é que, quando se quer transmite um dado, tem-se circuitos transmissores e receptores que utilizam-se da diferença entre os níveis de tensão em cada condutor do par trançado. Os códigos binários são identificados pela polaridade negativa (-) ou positivo (+), da diferença de tensão entre os condutores do par. Quando a tensão no condutor positivo (+) for maior que no condutor negativo, é caracterizado um nível lógico "1"; e quando, a tensão no condutor negativo for maior que no condutor positivo, é caracterizado um nível lógico zero (0).



Figura 17: Cabo RS-485

Fonte: Coleparmer

A figura 17 ilustra o cabo RS 485 e conector DB9, utilizado em processos de automação industrial.

O protocolo RS-485 especifica que o cabo utilizado para a comunicação pode ter comprimento máximo de 1200 metros, o que favorece amplamente aplicações em ambientes industriais.

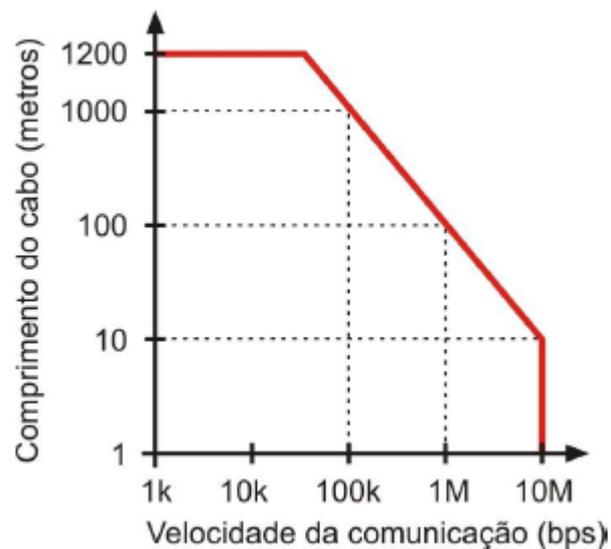


Figura 18-Velocidade de comunicação RS-485/ Comprimento do cabo.

Fonte: Novus.

De acordo com gráfico 18, que ilustra a perda de velocidade de transmissão de dados de acordo com o comprimento do cabo, evidenciado que a velocidade de comunicação diminui a medida que o comprimento do cabo aumenta.

2.7.6 Ethernet

O protocolo *Ethernet* foi criado em 1973, em um projeto que se desenvolveu na empresa xerox ao analisarem o potencial dessa tecnologia em redes locais. A Ethernet contempla um padrão de camada física e outra de enlace, opera à 10 Mbps, com quadros que possuem tamanho entre 64 e 1518 bytes. O endereçamento é feito através de uma numeração que é única para cada host com 6 bytes sendo os primeiros 3 bytes para a identificação do fabricante e os 3 bytes seguintes para o número sequencial da placa. Este numeração é conhecida como endereço *MAC – Media Access Control* (Dias, 2002). Segundo (Lugli. et.al), a grande utilidade de seu uso se deve ao fato de poder interligar todos os níveis da cadeia de suprimentos em um único e exclusivo padrão de rede, o TCP/IP. Onde o nível de gerência pode ter acesso ao nível operacional via rede, este tipo de informação não era disponível anteriormente com outros protocolos de comunicação.

A regra de controle de acesso ao meio deste protocolo é que as informações são por uma estação por vez, enquanto as outras aguardam, está é uma característica básica do meio físico compartilhado. O controle desse fluxo fica por conta do método de acesso CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection*), qualquer dispositivo conectado a rede poderá transmitir, sempre que a rede estiver disponível. Fica a cargo do método de acesso CSMA/CD gerenciar o controle de acesso para quando dois ou mais dispositivos querem transmitir informações ao mesmo tempo, geralmente ele faz de maneira aleatória, tentando evitar que colisão.

Quando ocorre a colisão, o CSMA/CD tenta novamente retransmitir a informação. Cada estação de trabalho é identificada por meio do endereçamento MAC, que é único para cada equipamento ou dispositivo conectado a rede *Ethernet*. O padrão *Ethernet* é utilizado em larga escala nas redes industriais, conforme ilustrado na figura 19.

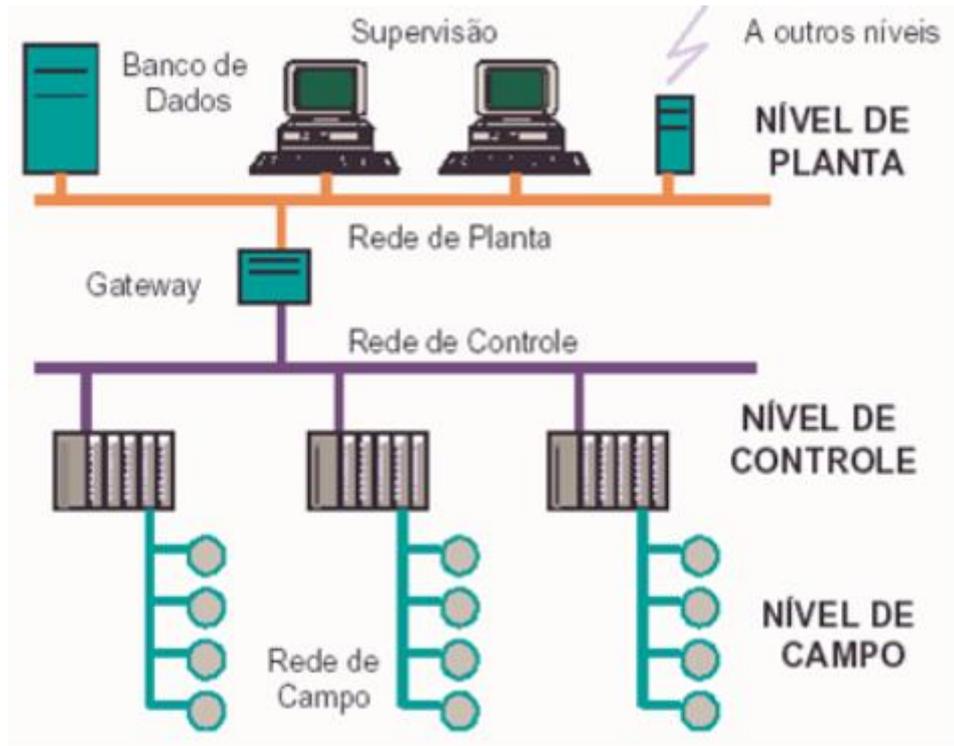


Figura 19: Arquitetura de rede industrial atual.

Fonte: Pantoja Engineering & Consultant .

Conforme a figura 19 o padrão *Ethernet* é utilizado para automação industrial nos três níveis do processo: Nível de planta, controle e campo. É notório ressaltar que o padrão TCP/IP do protocolo *Ethernet* apresenta maior facilidade de instalação e apresenta custos menores para aplicações diversas. A forma de transmissão dos dados é via cabo. Os primeiros cabos eram cabos metálicos grossos, posteriormente surgiram os cabos coaxiais e em seguida os pares trançados (HELD, 2000). A evolução desses cabos foi no sentido de que dever-se-ia obter menor atenuação de velocidade de transferência e aumento da capacidade .



Figura 20 : Cabo Ethernet.

A figura 20, ilustra um cabo utilizado para o padrão ethernet, com conectores em ambas extremidades a interface física RJ 45 (*Registered Jack*). Atualmente o protocolo ethernet pode utilizar de cabo de fibra óptica e também comunicação sem fio (*wireless*). O TCP/IP no ambiente industrial necessita de alguns requisitos para comunicar com outros equipamentos, no entanto nem sempre a condição é satisfeita, a interoperabilidade entre equipamentos é um dos requisitos imprescindíveis, uma vez que existe muitos fabricantes no mercado. Outro requisito fundamental é grau de proteção física para utilização deste padrão TCP/IP de comunicação. A figura 21 ilustra um conector RJ 45 utilizado para aplicação industrial.



Figura 21 : Conector RJ para ambientes Industriais.

Fonte: Siemon.

O conector visto na figura 21 é a evolução para o padrão industrial, onde se tem ambientes agressivos, com líquidos inflamáveis, ácidos, poeira, ruído, instalações de Energia de alta potência, subestações, usinas. Assim, as possibilidades que o padrão

ethernet oferece para automação industrial são diversas uma vez que popularizou-se seu uso, fabricantes de equipamentos estão incorporando o padrão de comunicação ethernet para garantir suas vendas e interoperabilidade industrial de comunicação.

2.7.7 A Norma IEC 61850

As subestações de energia foram projetadas para poderem fazer o tratamento a adequado da energia que chega ao consumidor seja ele residencial ou industrial. Nas subestações existe vários equipamentos responsáveis para realizar tal função. A automação das subestações, neste contexto se tornou necessário para controle de grandezas como corrente, tensão, tempo de atuação dos equipamentos nos processos de transmissão e distribuição de energia. Teve-se a necessidade a partir daí, que os equipamentos comunicassem entre si e com o sistema supervisor da subestação.

Porém as empresas e concessionárias de energia se depararam com a dificuldade de comunicação entre equipamentos por serem de fabricantes diferentes. Criou-se varias 'ilhas', dentro destas instalações, onde cada equipamento desempenhava apenas sua função. Para se ter controle e fazer automação da subestação este problema era imperativo e necessitava de resolução. Neste contexto, surge a norma IEC 61850 para resolver problemas de comunicação entre equipamentos.

A interoperabilidade dos equipamentos de fabricantes diferentes não poderia mais ser entrave para controle da subestação. A primeira ação proposta pela norma IEC 61850, foi adotar o protocolo *EHERNET* com padrão TCP/IP para equipamentos. O padrão TCP/IP de comunicação já havia sido testado por mais de 25 anos. No entanto, a norma não se limitou apenas isso ela estabeleceu padrões, segundo Almeida (2011), a norma é um manual de montagem e instalação de todos os padrões e protocolos necessários para o seu correto funcionamento. Estabelecendo requisitos gerais, de comunicação, linguagem de configuração, modelo de comunicação . Outro ponto de grande relevância dessa norma de acordo com a revista Setor Elétrico (2010), foi a modelagem dos dispositivos de automação da subestação que, foi executada com a tecnologia de orientação a objetos da engenharia de software e se desenvolve na camada de aplicação do modelo OSI (*Open Systems Interconnection*).

Assim cada equipamento de uma subestação pode ser modelado e suas funções atribuídas, simulando o equipamento real em campo. Alguns conceitos que está norma define e que são de importantes para automação da subestação são os de dispositivos lógicos, nó lógico e objetos de dados.

Os dispositivos de dados são informações que se deseja como corrente, tensão, potencia ativa, reativa, aparente, posição aberta ou fechada de disjuntores, chaves seccionadoras, equipamentos bloqueados ou em funcionamento. Nó lógico identifica o equipamento e função ou seja se é um equipamento de controle, chaveamento, proteção, transformador potencia ou de instrumentos.

A norma descreve a nomenclatura para cada equipamento. Por fim objeto de dados que é a descrição ampla da informação ou seja nome da subestação, o nível de tensão, o *bay* do equipamento. Assim, a norma 61850, tornou-se desafio para empresas e concessionárias de energia, visto que , deve-se alterar toda a filosofia e cultura de controle de equipamentos.

2.7.8 Modbus

O protocolo *Modbus* foi desenvolvido em 1979 pela Modicon hoje *Schneider electric*, para estabelecer comunicação entre mestre e escravo. O protocolo *modbus* é muito utilizado em ambientes industriais para automação e controle de equipamentos. De acordo com (Souza, 2000), protocolo modbus é de fato um padrão, muitos protocolos de rede industriais utilizam este protocolo em seu ambiente.

A topologia de comunicação mestre/escravo do *modbus* obedece uma hierarquia onde o mestre solicita e o dispositivo ou equipamento escravo responde, tudo ocorre baseado em um modelo de comunicação onde um único dispositivo, o mestre, pode iniciar solicitações ao escravo denominadas *queries*.

Para Seixas (2000), geralmente o mestre é um sistema supervisor e os escravos são controladores lógico programáveis. Os papéis de mestre e escravo são fixos, quando se utiliza comunicação serial, mas em outros tipos de rede, um dispositivo pode assumir ambos os papéis, embora não simultaneamente. O protocolo *Modbus* é utilizado sobre Rs-232, Rs-485 e *Ethernet*, nesta última é utilizado como camada de aplicação de redes industriais. A figura 22 ilustra o ciclo de pergunta-resposta realizado no protocolo Modbus do mestre para o escravo.

O ciclo pergunta-resposta:

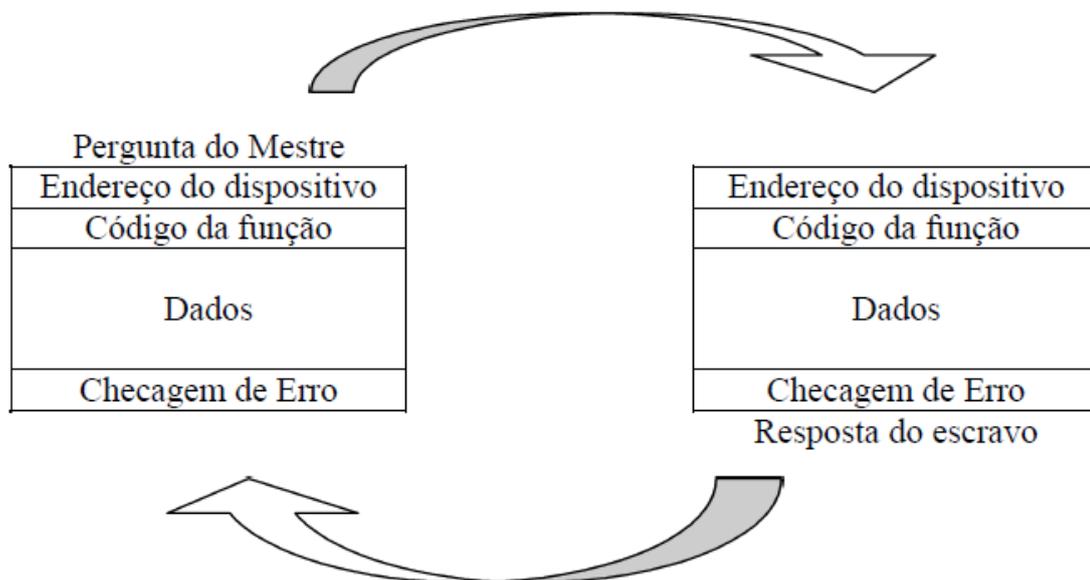


Figura 22 : Esquemático de comunicação do protocolo Modbus.

Fonte : UFMG- Departamento de Engenharia Eletrônica.

Existem dois padrões para o modbus o RTU (*Remote Terminal Unit*) e o ASCII (*American Code for Informastion Interchange*). O modbus RTU é o mais utilizado na indústria e com melhor desempenho (BORGES, 2007), sendo codificados para transmissão 8 bits acrescidos de um bit de paridade. Já o *modbus* ASCII os caracteres são codificados em 7 bits acrescidos de um bit de paridade. O padrão *Modbus* aproxima-se do modelo OSI ao nível das camadas 1, 2 e 7 que são respectivamente nível Físico, ligação de dados e aplicação. O nível físico é de conexões dos dispositivos tipo rs-232 e rs-485. Já o nível de ligação é a relação do mestre com o escravo e suas solicitações. No nível de aplicação temos a leitura e escrita de variáveis, bits, entrada e saídas. A automação via *modbus* é utilizada em indústrias de processos, empresas de energia elétrica, petrolíferas, alimentar , automobilística, enfim em vários nichos industriais.

2.7.9 OSI (*Open Systems Interconnection*)

A necessidade de padronização para obter interconectividade entre equipamentos de diferentes fabricantes fez com que, a Organização Internacional de Normatização (ISO -*International Standards Organization*) criasse o modelo

denominado OSI (*Open Systems Interconnection*). O modelo OSI foi criado no início dos anos 80, para que nenhum dos fabricantes levassem vantagem, esses padrões deveriam ser abertos, ou seja, independentes de fabricante (Senger, 2005).

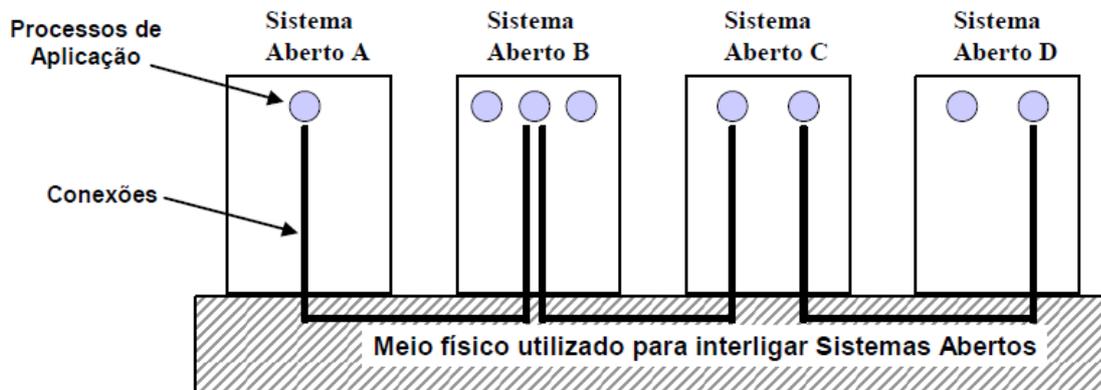


Figura 23 : Esquemático de comunicação do protocolo Modbus.

Fonte : UFMG- Departamento de Engenharia Eletrônica.

A figura 23 ilustra a possibilidade de integração de sistemas diferentes, uma vez que, o padrão é aberto. A figura evidencia também a troca de informações de processos de aplicação dos vários sistemas mostrados. As camadas definidas pela padronização OSI são: 1- Física, 2- Enlace, 3- Rede, 4- Transporte, 5-Seção, 6- Aplicação .

1- Camada física

função especializada, de transferências de arquivos, e-mail e terminal virtual.

2- Camada de Enlace

Utiliza a camada física para transmissão de quadro de dados (*frames*).

3- Camada de Rede

Roteamento de pacotes de informações da rede de origem á rede de destino do pacote.

4- Camada de transporte

Recebe dados da camada de seção e particiona esses dados, em unidades menores, garantindo que essas unidades cheguem ao seu destino sem serem corrompidos ou duplicados.

5- Camada de seção

Estabelece sessões entre si, de maneira a organizar e sincronizar a troca de informações.

6- Camada de apresentação

Camada de formatação de dados, compressão de dados e criptografia.

7- Camada de aplicação

Esta camada dispõe de informações comumente utilizadas por usuários de rede. (Cardozo e Magalhães, 2002).

Assim todos os fabricantes de equipamentos de rede devem se adequar ao modelo de protocolo aberto, para projetar máquinas e equipamentos obedecendo o padrão OSI, conseqüentemente terá chance de conseguir novos clientes e mercados uma vez que seus equipamentos tem interoperabilidade com outros equipamentos de diferentes fabricantes.

3 METODOLOGIA

Será feita a análise do contexto em que esta pesquisa está situada, seja ele social, econômico, político ou o do sistema elétrico brasileiro. Far-se-á um estudo teórico dos seguintes temas: os sistemas de monitoramento em tempo real, o controle e automação em tempo real, os sistemas supervisórios, a aquisição de dados, os instrumentos de medição, os transdutores e os conversores A/D e PLC's. A pesquisa supracitada e o conhecimento de campo dos equipamentos de potência contribuirão para melhor execução do projeto. Na subestação Volta Grande haverá diariamente o monitoramento o TPC. Serão de grande importância a consulta das obras acerca do tema, os conhecimentos práticos dos autores , dos especialistas e dos orientadores deste projeto, somadas ao conhecimento teórico e experimental adquirido na graduação em Engenharia de Automação Industrial, uma vez que darão o suporte necessário para a elaboração deste trabalho.

A descrição do monitoramento do TPC e as melhorias a serem implementadas no supervisório da subestação de Volta Grande serão realizadas de modo a fornecer a sinalização (os alarmes) instantaneamente, servirá para uma possível implementação por parte da concessionária. Porém antes dessa etapa, será feito um protótipo descrevendo todos os componentes utilizados, bem como funcionamento de cada um dentro do circuito, evidenciando que tal automação é perfeitamente aplicada a prática. A pesquisa será desenvolvida coletando valores de tensão por meio de um multimedidor, que poderia ser instalado nos terminais do secundário do TPC, disponível na sala de controle da subestação. Para disponibilizar as medições em tempo real no sistema supervisorio existente na SE Volta Grande, será necessário especificar o multimedidor, conversores, cabeamentos, pontos de acessos da remota e protocolos de comunicação adequados para tal automação.

Por causa do histórico de problemas no equipamento, definir-se-á alarmes para o operador dentro do sistema supervisório, caso apareça um valor de tensão incomum em relação aos valores considerados normais. Assim será possível antecipar uma falha, através da avaliação comparada entre o valor coletado e o valor de referência.

3.1 Coleta manual de valores de tensão do TPC

O histórico de defeitos e falhas do TPC, fez com que a concessionária de energia adotasse o sistema de monitoramento de periodicamente. O método consiste em medir mensalmente os valores de tensão do secundário do TPC, que está conectado á linha de transmissão (LT).



**Figura 24 : LT Jaguará Volta Grande 345 KV.
Subestação Volta Grande 345 KV.**

A estratégia de se prever um defeito ou falha do TPC por meio do monitoramento é um bom parâmetro, porque para variações consideráveis de tensão é sinalizado um alarme na planilha desenvolvida no excel. Porém, este método pode ser melhorado, uma vez que, ocorre mensalmente. Na ocorrência de alguma sinalização de alarme esse período é reduzido conforme grau de anormalidade. A sugestão proposta neste trabalho é que, se automatize o monitoramento e crie uma rotina de alarmes de forma a ocorrer o automonitoramento do equipamento. Os ganhos com o automonitoramento, pode antecipar algum problema que possa vir a ocorrer no TPC. A equipe de manutenção, poderá programar suas atividades de maneira precoce antes

mesmo ocorra um defeito ou falha do equipamento. O automonitoramento sugerido neste projeto é em tempo real e contínuo, tornando o processo mais preciso e mais seguro e de fácil detecção da anormalidade.



Figura 25 : Conexão do TPC a LT Jaguara_ Volta Grande 345 KV.

A figura 25, ilustra a conexão do Transformador potencial capacitivo (TPC) conectado, na saída da LT Jaguara-Volta Grande, o nível de tensão dessa linha é 345 KV.

Na base do TPC existe uma caixa, de onde sai a fiação do secundário do mesmo, até a casa de controle da SE, local onde é feita a medição dos valores de tensão pelo operador.

MEDIÇÃO DA TENSÃO SECUNDÁRIA DE TRANSFORMADOR DE POTENCIAL CAPACITIVO (TPC)									
		   		V.5-1-2011					
Denominação/Local/Instalação		Relação de Tensões		<input type="text"/> <input type="text"/>					
		<div style="background-color: red; color: white; text-align: center; padding: 5px;"> Medições devem ser medidas nos secundários de medição na derivação de 115 V </div>		Dia da Medição	Horário da Medição (hh:mm)	Valor Medido (V)	Varição (%)		
Volta Grande-TPOC-L-Jaguara-P-VM				199.185,8-115/66,4 V		22	13:10	68	-0,51
Volta Grande-TPOC-L-Jaguara-P-AZ				199.185,8-115/66,4 V		22	13:10	68,3	0,15
Volta Grande-TPOC-L-Jaguara-P-BR				199.185,8-115/66,4 V		22	13:10	68,4	0,37

**Figura 21: Planilha de monitoramento do TPC.
SE Volta Grande 345 KV.**

Após a coleta de valores pelo operador da SE, os mesmos são transcritos para a planilha de cálculo de acordo com a figura 21, que de acordo com a variação, acima ou abaixo do valor estabelecido para o equipamento, poderá sinalizar alarme e seja tomada as providências necessárias, junto aos setores de engenharia e manutenção. A seguir será explicada a montagem do protótipo, bem como os componentes utilizados, para que se possa fazer a arquitetura real do projeto de automação do TPC da subestação.

3.2 Dispositivos utilizados para realizar o experimento

Para fazer o projeto de automação Industrial do TPC, precisava-se saber, quais equipamentos seriam necessários no campo para tal automação, as possíveis limitações do projeto, quanto a disponibilidade para uso do equipamento para testes, e a limitação econômica para compra de equipamentos de campo. Surgiu então, a necessidade de montagem de um protótipo. Esse por sua vez, foi montado com os recursos disponíveis do laboratório do CEFET_MG campus Araxá e outros com recursos do autor deste projeto. A seguir uma breve descrição dos componentes e elementos utilizados para poder simular o projeto de monitoramento detectivo de um transformador potencial capacitivo (TPC), de uma subestação de extra alta tensão (345 KV) :

- a) Varivolt (0-130 V)
- b) Transformador de potência abaixador de tensão (220/ 6-12 Volt)
- c) Circuito retificador e abaixador de tensão para o nanochip arduino.
- d) Um arduino Nano
- f) Bancada do laboratório de eletrônica (220 VAC)
- e) Computador

3.3 Montagem do protótipo

O circuito da figura 27, foi desenvolvido para realizar testes e coletar resultados para demonstrar a validade e viabilidade do projeto de monitoramento do transformador de potencial capacitivo (TPC) de uma subestação de extra alta tensão.

A montagem do protótipo é a forma empírica para avaliação das grandezas envolvidas , obtendo medições e fazendo análises das mesmas. Assim é possível fazer de forma exitosa a automação do TPC, uma vez, o experimento foi uma reprodução fiel do projeto de automação a ser implementado no equipamento, dentro das devidas proporções e restrições de custos envolvidos para tal finalidade.

O experimento da figura 27, é a tentativa de monitorar o nível de tensão da rede, simulando dessa forma o monitoramento da linha de transmissão (LT) pelo transformador de potencial capacitivo (TPC). O protótipo é composto por 03 circuitos

iguais para medir fases A, B, C, da rede no laboratório, simulando assim o monitoramento real do equipamento em campo.

A montagem vista na figura 27, consiste em um varivolt alimentado pela rede (127 VCA). Este por sua vez, alimenta o circuito da figura 8.

O circuito da figura 8, foi projetado para diminuir o nível de tensão usado no experimento, para facilitar os testes e garantir a segurança. Para coletar valores analógicos de tensão, foi utilizado o conversor analógico-Digital(A/D) do nanochip arduino, que é descrito com detalhes neste trabalho. A entrada analógica do arduino faz leitura na somente na faixa de 0 á 5 volts. Este tópico será abordado no subtítulo arduino nano deste projeto. Além do varivolt, o protótipo da figura 27 é composto por 01 transformador de potência abaixador de tensão (220-12 volts) , um capacitor, uma ponte retificadora, três resistores.

O transformador foi utilizado como abaixador do nível de tensão 220-12VAC, tendo por opção para seu secundário 0-6 VAC ou 0 á 12 VAC. Por interesse escolheu-se 0-6 VAC devido ao limite imposto pelo conversor A/D que é de 0-5 VAC, ficando a cargo do circuito a redução restante do nível de tensão para este conversor.

A ponte retificadora foi utilizada para retificar a tensão alternada AC para contínua DC, assim o circuito do protótipo estará alimentado com tensão contínua DC, cumprindo a "exigência" do conversor do nano chip arduino que é a leitura de grandezas contínuas.



Figura 26: Protótipo do projeto de automação do TPC.

Parametrização e aferição do circuito antes que se inicia-se as medições, no arduino nano.

```
// _____ void loop() {
// read the value from the sensor:
faseA = analogRead(sensorPinA)*(123.05/610);
faseB = analogRead(sensorPinB)*(122.93/610);
faseC = analogRead(sensorPinC)*(123.57/610); _____//
```

Antes de realizar os testes o circuito foi aferido, para que não tivéssemos distorção nas medidas das fases A, B e C, quando fossemos variar os valores. Percebe-se no trecho do programa acima a divisão por 610, que é o valor que valor lido pelo arduino e multiplicado pela tensão medida na bancada da escola do laboratório de eletrônica do Cefet-MG. O procedimento de aferição foi feito para fases A, B e C. A

rotina de alarmes para simulação, seguiu os critérios adotados atualmente na medição na medição:

Alarme 1: Quando valor da tensão (V) medida na rede , ultrapassar 5% do valor padrão, ocorre a sinalização : cor Amarela.

Valor adotado como Padrão: 115 V

Ex1) $115 * 0,95 \leq \text{Valor medido da Rede} \leq 115 * 1,05$ **A fase xx opera sem Problemas.**

Nesta situação onde a fase xx, opera dentro da faixa de até 5% do valor padrão (115 V), conforme Ex1, não ocorre alarme, a fase opera normalmente sem problemas.

Alarme 1: Quando valor da tensão (V) medida na rede , ultrapassar 5% do valor padrão, ocorre a sinalização : cor Amarela.

Valor adotado como Padrão: 115 V

Ex2)

Valor medido da Rede $> 115 * 1,05$ **A fase xx opera com Problemas.**

Valor medido da Rede $< 115 * 0,95$ **A Fase xx opera com Problemas**

Percebe-se que tanto para variações acima 5% ou abaixo 5% do valor padrão (115 V) ocorre a sinalização de alarmes. Conforme o Ex2, basta que o valor medido da rede varie 5% do valor padrão.

Alarme 2: Quando valor da tensão (V) medida na rede, ultrapassar o valor 10% do valor padrão, ocorre a sinalização : cor Vermelha.

Ex3)

Valor medido da Rede $> 115 * 1,1$ **A fase xx opera com Problema Grave.**

Valor medido da Rede $< 115 * 0,90$ **A Fase xx opera com Problema Grave**

O alarme de falha Grave ocorre para variações , acima de 10% ou abaixo 10% do valor padrão (115 V) . Conforme, ilustrado no Ex 3. Terminado a parametrização do protótipo, o experimento-se encontrava pronto para iniciar os testes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o que se deseja avaliar para uma possível implementação do projeto de automação do Transformador Potencial Capacitivo, discutir-se-á os resultados coletados por meio do experimento realizado. Todos os testes foram feitos com base na medição manual que ocorre mensalmente na subestação de Volta Grande 345 kV. De acordo com os alarmes padronizados na planilha do excel, quando se tem, uma variação de tensão por fase maior que 5% e 10% no TPC, que monitora a linha de transmissão, é gerado uma sinalização na planilha com a mudança de cor da célula. Para variação maior que 5% do valor de tensão monitorada no secundário a célula fica amarela, evidenciando atenção. Já para valores maiores que 10% a célula fica na cor vermelha evidenciando estado de alerta.

Padronizou-se para referência no experimento em laboratório o valor de 115 volt de tensão para a rede. Simulando dessa forma a tensão do TPC na linha de transmissão. A variação de tensão no experimento, foi realizada por meio de 03 varivolt, simulando a situação real, conforme descrito na seção anterior. Assim, foi medida a tensão por fase e a variação em porcentagem (%) da mesma em relação a padronização. A seguir discutiremos os resultados para vários testes realizados.

Teste nº 1: 03 fases (A, B, C) em situação normal.



Figura 27 : Três fases (A, B, C) funcionando em situação normal.

No teste 1, representado na figura 28, não houve variação de tensão por meio do varivolt, é o estado normal do sistema.

Teste nº 2: Fase C, com valor alterado em 9% , em relação ao valor padrão.



Figura 28 : Fases (A, B , C)- Fase C com defeito.

Na figura 29, a tensão da fase B variou de 3%, logo de acordo com o padrão estabelecido não ocorre alarme. Já a fase C variou em 9% gerando alarme.

Teste nº 3: Fase A e B, com valores alterados em 6% e 14% , em relação ao valor padrão.

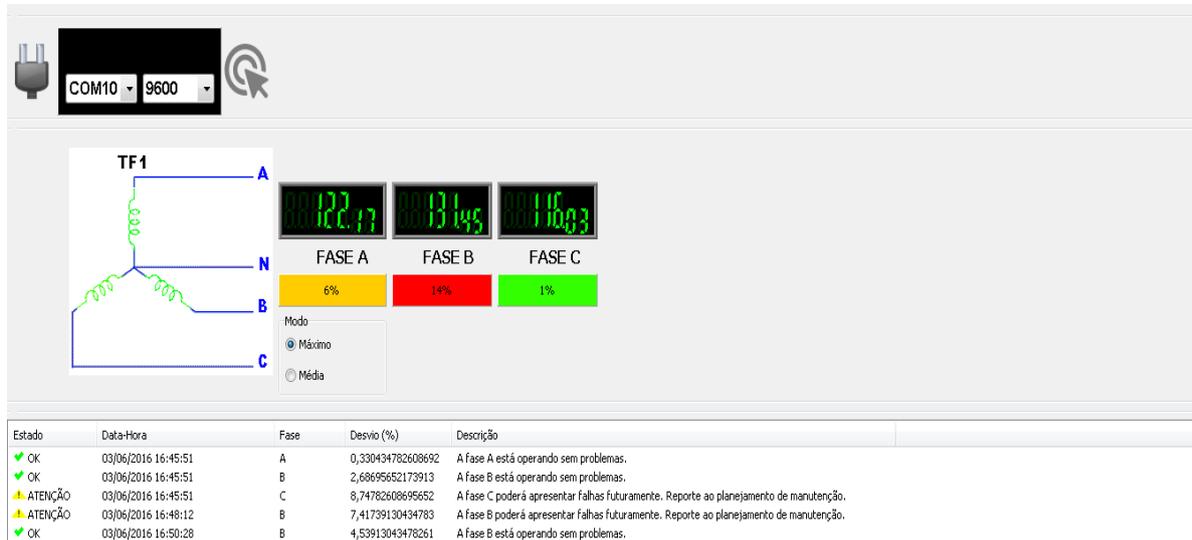


Figura 29 : Três fases (A, B, C), Fase A e B com defeito .

Na figura 30, variou -se a tensão na fase A de 6% e B de 14%, acima do valor padrão (115V).

Teste nº 4: Fase A e C, com valores alterados, em 6% e 16% respectivamente em relação ao valor padrão.

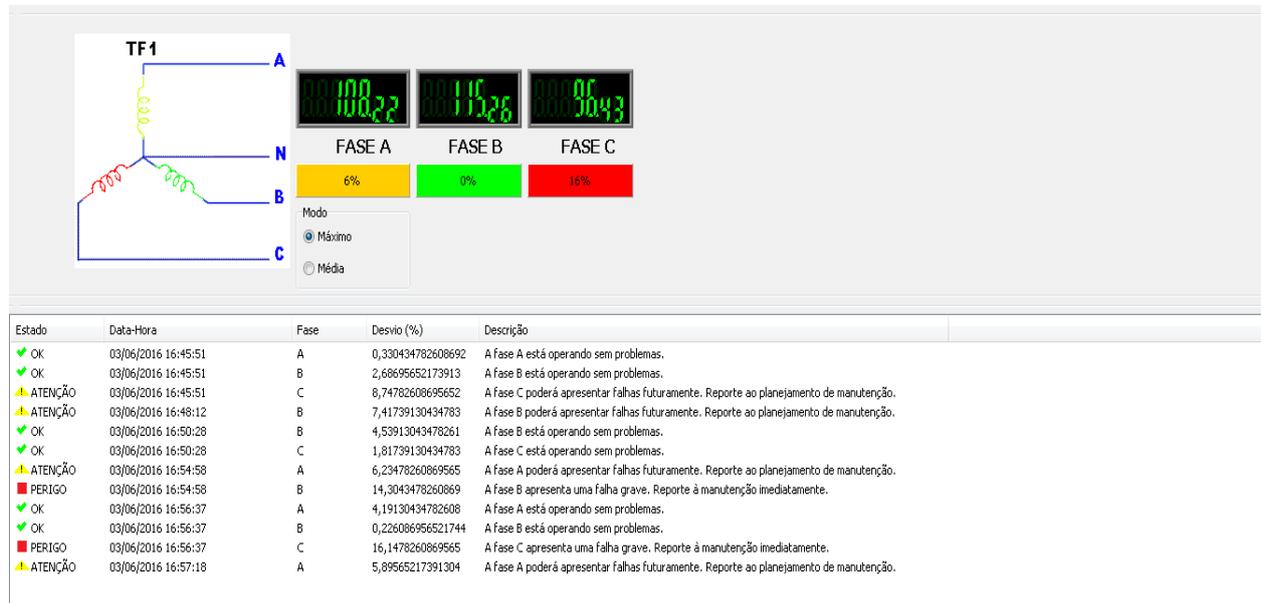


Figura 30 : Três fases (A, B, C), Fase A e C com defeito .

Na figura 31 é simulado valores de tensão abaixo de 115 V. A fase A com tensão de 108.22 V 6% abaixo do valor padrão. Já a fase C apresenta 96,43 V, representando 16% abaixo da padrão.

Teste nº 5: Fase A, B e C, com valores alterados .

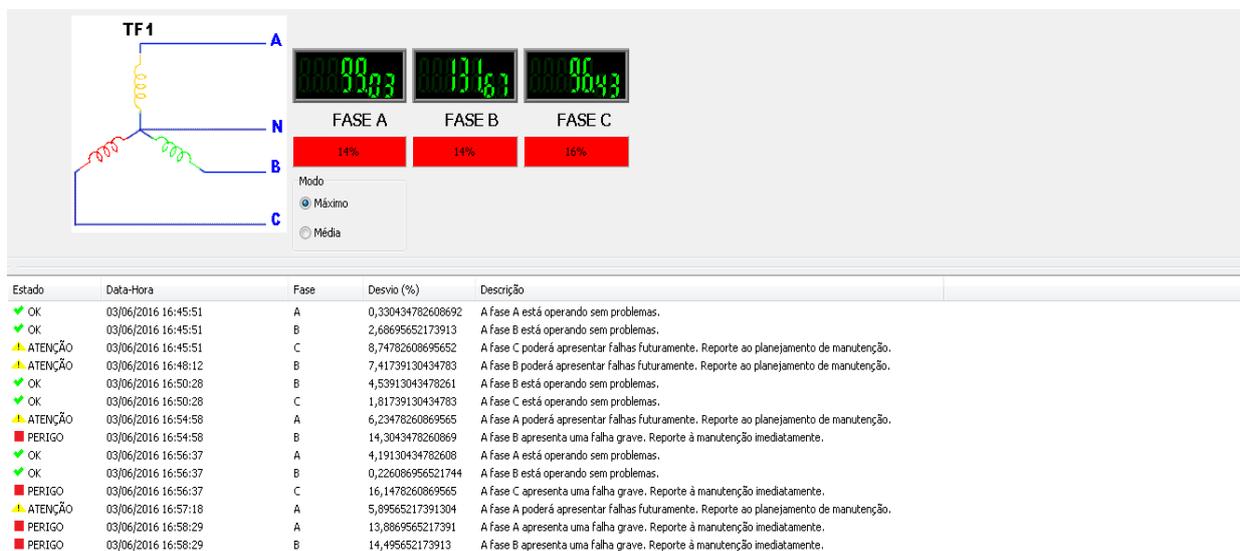


Figura 31 : Três fases com defeito Grave.

Na figura 32, está representada a situação em que as três fases apresentam problemas graves. A fase A com valor de 99.03 V representa uma subtensão de 14% do valor padrão. A fase B com valor de 131,67 V, sobretensão de 14% do valor padrão. A fase C com valor de 96,43 V, representa 16% de subtensão em relação ao valor padrão.

Diante dos resultados obtidos experimentalmente e em escala laboratorial, percebemos que é perfeitamente possível elaborar o projeto de monitoramento para o transformador potencial capacitivo (TPC), da Subestação de Volta Grande (345 KV). Assim, será possível antecipar possíveis defeitos ou falhas que possam vir a ocorrer uma vez que, o monitoramento será contínuo e em tempo real. Na figura 8, temos o esquemático desenvolvido para o projeto de automação do TPC .

4.1 Esquemático de projeto para o monitoramento do Transformador potencial capacitivo

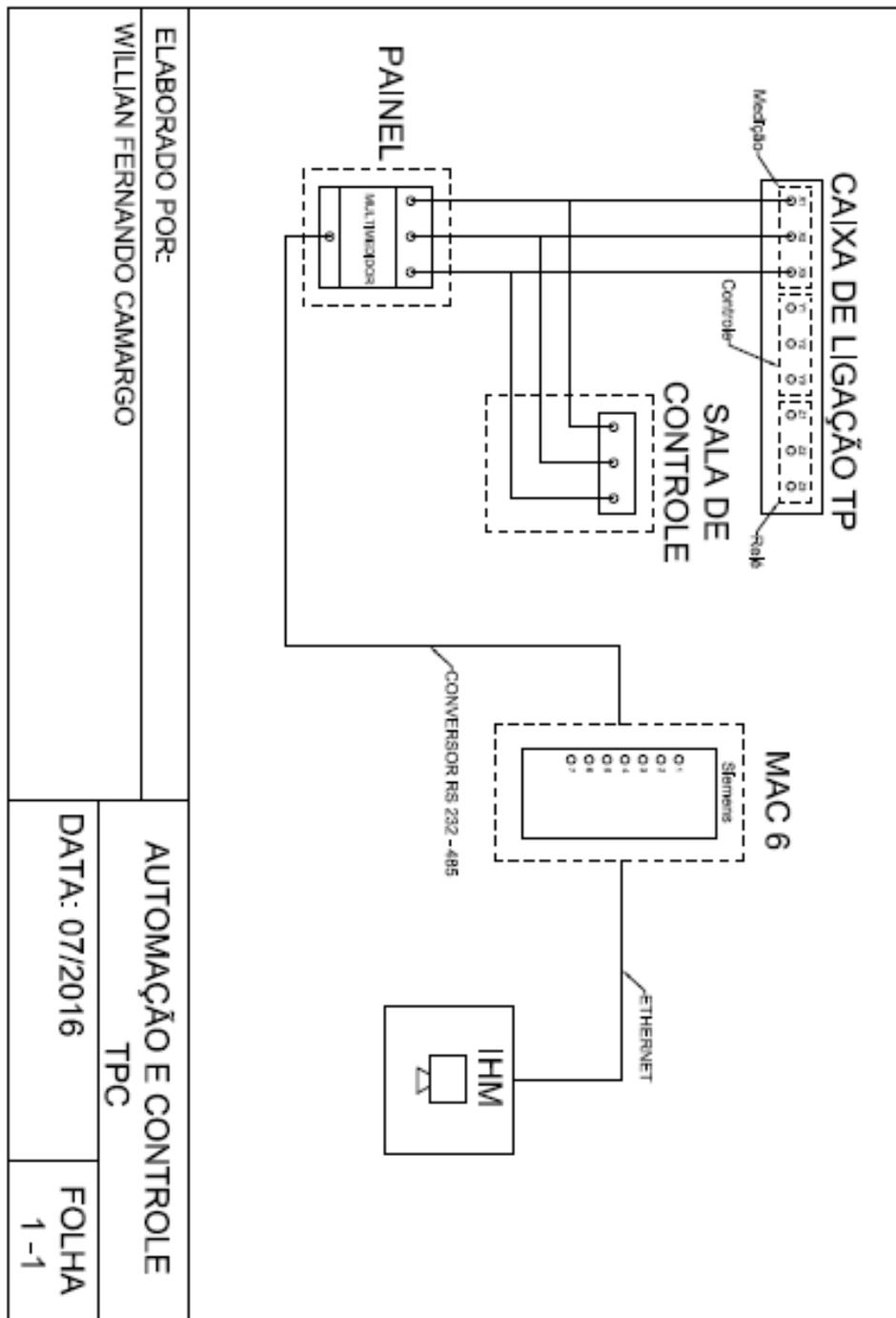


Figura 32 : O esquemático do do projeto de monitoramento do TPC.

Na figura 33, ilustra o esquemático de projeto proposto para automação do transformador potencial capacitivo da subestação de Volta Grande 345 KV. O esquemático de monitoramento foi representado apenas para uma fase da linha de transmissão (LT), vale ressaltar que temos um TPC por fase na LT que é trifásica. O

mesmo ilustra o esquema de ligação do pátio da subestação onde está o TPC, até a sala de controle, local em que é sugerido a instalação do multimedidor e comunicação dele com a estação remota- modulo de aquisição de dados (*MAC 6*), para posteriormente integrar esses dados ao sistema digital e realizar a rotina de monitoramento do equipamento. Para o esquemático da figura 8, é necessário especificar os componentes a serem utilizados bem como a sua função:

O multimedidor para esta função deverá atender os requisitos do ambiente onde será instalado, verificar-se-á o grau de proteção, por se tratar de uma subestação. O mesmo deverá ser trifásico, reduzindo custo, e ao invés de se instalar um medidor por fase. Deve-se analisar a precisão do multimedidor e range do que o mesmo 'trabalha'. Analisar a forma de comunicação do multimedidor ou seja as saídas e entradas. Ao fazer tal análise da escolha do multimedidor deve-se levar em conta qual o tipo de comunicação estabelecida entre ele e a estação remota (*MAC 6*), conforme esquemático de projeto da figura 28. Analisar se será necessário algum conversor, isso aumenta o custo do projeto. A estação remota da subestação (*MAC 6*) é do modelo *Simatic S7-400* da *Siemens*, é utilizada em grandes indústrias e empresas de energia com disponibilidade de entrada de vários cartões para aplicações futuras.

Os outros módulos de aquisição de dados (*MAC 1, 2, 3, 4, 5, 6*) é da usina de Volta Grande. A conexão do multimedidor ao módulo de aquisição (*MAC 6*) de dados será via comunicação serial RS-485, logo torna-se necessário um multimedidor que atenda tais requisitos. Estes dados são tratados na remota via - módulo Modbus e enviados via cabo Ethernet para o sistema supervisorio. Para não comprometer o desenvolvimento da discussão e resultados, os protocolos de comunicação foram discutidos anteriormente na seção de comunicação. O esquemático nº 2, mostra detalhadamente os módulos que são utilizados dentro da remota antes que o dado seja enviado para o sistema supervisorio *WINCC* da *SIMENS*.

4.2 Esquemático de projeto para o monitoramento do Transformador potencial capacitivo - detalhamento da remota Campo.

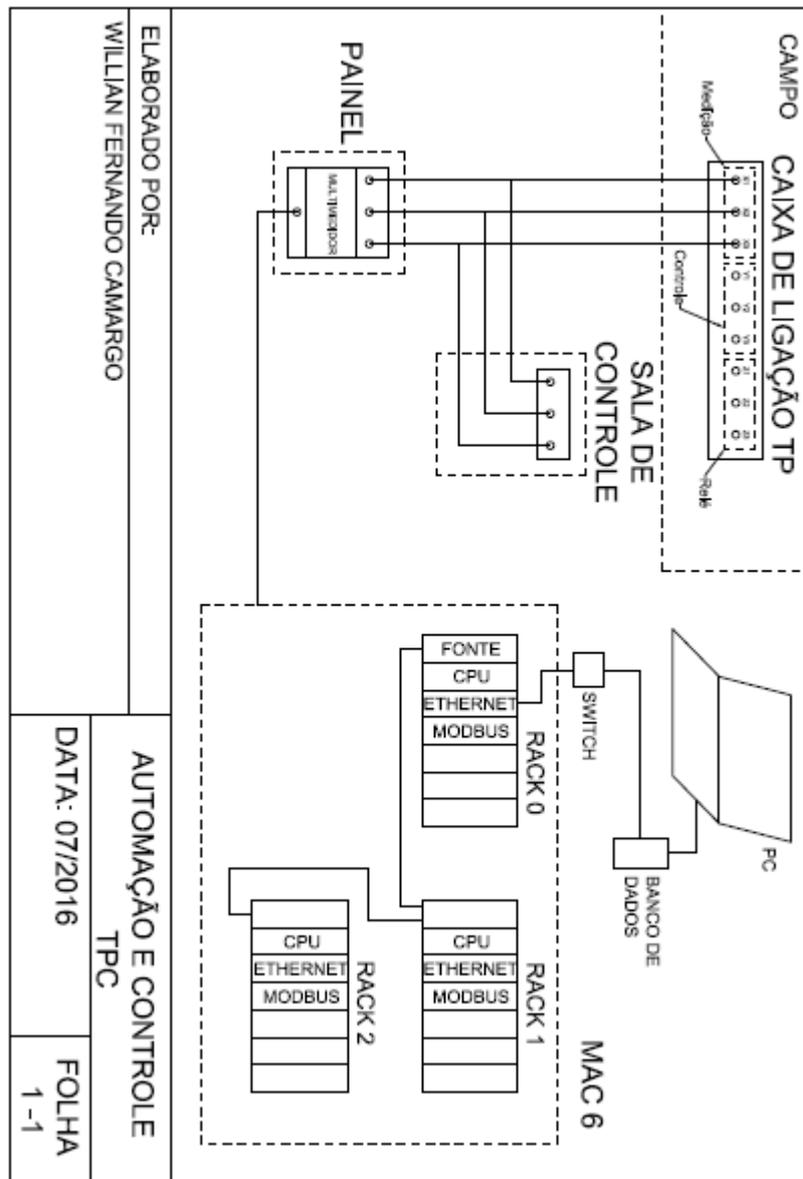


Figura 33 : Esquemático do monitoramento do TPC- Detalhamento do MAC 6.

Na figura 34, referente ao esquemático de monitoramento do TPC, é mostrado o detalhamento dentro do MAC 6, o processo que ocorre para o envio do dado dentro da estação remota. Inicialmente este dado (tensão) é coletado na linha de transmissão por meio do TPC, que em seguida essa tensão é abaixada pela coluna capacitiva do equipamento que funciona como divisor capacitivo, posteriormente essa tensão sofre uma redução por meio de enrolamentos do TPI que existe dentro do TPC, e é disponibilizada na caixa de ligação (medição) ilustrada no esquemático da figura 9. Essa medição é disponibilizada na casa de controle onde é feita medidas manual pelo

operador. A introdução do multimedidor nesse circuito conforme esquemático 9, poderá disponibilizada também em seu visor e no sistema supervisorio para automonitoramento. O esquemático 34, detalha os módulos envolvidos no tratamento da informação, antes que a mesma seja enviada para o sistema supervisorio. Quando a informação chega via cabo RS-485, a mesma entra no modulo Modbus da MAC6, que envia para CPU, onde são filtrados numa área especifica de memória modbus, em seguida são transferidos os dados desejados para área de memoria de comunicação Etherrnet que enviara via cabo para o sistema supervisorio, onde deverá ser implementada a rotina de alarmes para o TPC.

4.3 Análise econômica e viabilidade do projeto

De acordo com o estudo para o projeto de automação do TPC , pode-se mensurar por meio do quadro nº 3, o custo já que, sabemos quais os dispositivos necessários para tal aplicação:

Dispositivos para o Projeto	Custo	
Multimedidor para Subestações	R\$	1.500,00
Cabo tipo Manga Blindado 4 vias (100m)	R\$	200,00
02 Conectores DB9 /DB25	R\$	20,00
Homem Hora mão de Obra	R\$	1.500,00
		TOTAL
		Custo Estimado R\$ 3.220,00

Quadro 3- Materiais e componentes para Automação do TPC.

Conforme pesquisas realizadas juntamente com o setor de planejamento da CEMIG e tendo como base no plano de contingência da transmissão para os ativos do triângulo. Analisou-se 03 situações para LT Jaguará- São Simão, caso ocorra um defeito ou falha no transformador potencial capacitivo (TPC), conforme o quadro nº 4.

Custos Envolvidos com o desligamento de uma Linha de Transmissão (LT)	
Situação 1- Surge um defeito e a manutenção será programada por 8 horas, quanto custa esse desligamento?	R\$78.182,31 (parcela Variável) + custo homem hora (manutenção).
Situação 2- E para um desligamento, no caso de uma ocorrência e o TPC venha a falhar, para o mesmo período (8 horas) ?	R\$762.277,51 + custo homem hora + (manutenção).
Situação 3 - E levando-se em conta a substituição do equipamento, que poderá demorar mais tempo (48 horas)?	R\$1.153.189,06 + custo homem hora (manutenção).

Quadro 4- Custos de desligamento de uma linha de transmissão (LT).

Neste caso a diferença para o desligamento de 8 horas acima, em termos proporcionais, é menor pois em outros desligamentos (não programado) o que excede 8 horas entra como programado.

Diante dos valores apresentados para do projeto de automação do TPC ilustrado no quadro 3 e tendo em vista, os custos envolvidos com o desligamento no quadro nº 4 para a manutenção caso ocorra um defeito ou falha, percebe a viabilidade do automonitoramento do equipamento.

De acordo com o setor de engenharia da empresa, atualmente cerca de 50 subestações realizam o monitoramento manual. Dada a relevância para o sistema interligado nacional dessas estações, o projeto poderá contribuir de forma a garantir maior confiabilidade, disponibilidade e segurança .

5 CONCLUSÕES

O projeto de automação do transformador potencial capacitivo (TPC), de uma subestação de extra alta tensão 345 KV, possui viabilidade favorável, tanto no âmbito técnico quanto no econômico. A pesquisa técnica por meio da realização de testes em laboratório, guardadas as devidas proporções do equipamento em campo, confirmou que o automonitoramento do TPC é possível. O custo para implementação do projeto, se comparado à receita de uma linha de transmissão (LT) de 345 KV, é baixíssimo. Serão tomadas precauções para segurança das pessoas, uma vez que o equipamento monitora a LT que passa no meio urbano e rural.

No âmbito social, a falta de energia relacionada falha desse equipamento, poderá deixar cidades inteiras no escuro, fábricas paradas e hospitais sem condições de atendimento. Já no contexto da subestação, quando ocorrer uma anormalidade, poder-se-á identificar de maneira precoce a mesma, antes que o problema venha a causar a falha do equipamento. Assim, o custo de manutenção poderá ser reduzido uma vez que está se aplicando técnica de manutenção detectiva. Este projeto está inserido em possíveis melhorias da rede de transmissão de energia do sistema interligado nacional e sua validade pode ser reforçada pelo momento em que vive o país se tratando de questões energéticas.

A conjuntura atual do país, para o setor elétrico, é um pouco delicada e demanda investimentos em distribuição, geração e transmissão de energia. Assim, novas tecnologias de controle e automação são desenvolvidas, e conseqüentemente a qualidade e aproveitamento da energia tende a melhorar. A experiência adquirida nos últimos 12 meses desse projeto na SE Volta Grande 345KV e laboratório do Cefet-MG, foi gratificante, uma vez que pude aprimorar, aprender e dividir conhecimentos adquiridos no meio acadêmico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. M.. " **NORMA IEC 61850** – Novo padrão em automação de subestações", Universidade Federal do Ceará – UFC, 2011, 58p.

ANELL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 03 nov. 2015.

AREVA. **Catálogo de instrumentos e transformadores, 2007.**

BAINY, R. G.; CARDOSO, L. F.; SILVA, C. A.; LOPES, F. V. **Influência de modelos de Transformadores de Potencial Capacitivos sobre a estimação de fasores de Tensão.** Disponível <<http://www.swge.inf.br/anais/sbse2012/PDFS/ARTIGOS/96722.PDF>>. Acesso em: 03 nov. 2015.

BEZERRA, F. V. C. **Projeto eletromecânico de linhas aéreas de transmissão de extra alta tensão.** 2010. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Grau de Engenheiro Eletricista) – Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

BORGES, F. **Redes de Comunicação Industrial** .Centro de Formação da Schneider Electric Portugal. Setembro, 2007. fátima.borges@pt.schneiderelectric.com. Documento técnico nº 2 Ed. 2007.

BRAGA, N. C. **Como funcionam os conversores analógicos digitais. 2014.** Disponível ><http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/1508-conversores-ad> > Acesso em: 07/06/2016 horário:15:38.

CARDOZO, E. M. F. **Rede de Computadore: Modelo OSI**, 2002. Departamento de Engenharia de computação e automação Industrial. UNICAMP. 116.p

CEMIG. **Apostila do curso de Tecnologia de equipamentos e materiais.** Belo Horizonte: Cemig dezembro 2002.

CEMIG-2014. **Unidade de Treinamento SE Volta Grande 345KV**. Disponível em:<[http:// www.cemig.com.br](http://www.cemig.com.br)>. Acesso em: 10 set. 2015.

CLARK, H. K. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. Santa Maria: Edições UFSM, 1983.

COUTINHO, L. **Transformador Potencial Capacitivo**. Agosto . 2007. Disponível <<http://www.aveva-td.com>>

CUGNASCA, C. E. ; HIRAKAWA, A. R. **Comunicação Serial**. 2006. Disponível >
<http://www.pcs.usp.br/~pcs2497/aula%20serial.pdf> . Acesso: 07/07/2016 21:58.

Dallas/Maxim Semiconductor. **Guidelines for Proper Wiring of an RS-485 (TIA/EIA-485-A) Network**. Application Note 763, Jul. 2001.

DIAS, B. Z.; ALVES , N. **Evolução do Padrão Ethernet. 2002. Disponível** <<http://www.mesonpi.cat.cbpf.br/naj>> Disponível em : < <http://www.aveva.com/>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

EPROLABS. **Arduino Nano. 2016.** Disponível em :
https://wiki.eprolabs.com/index.php?title=Arduino_Nano *Arduino Nano* May 2016, at
Acesso: 14/07/2016. Hora : 23:53.

EVANS, M. ; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em ação**. Novatec Editora Ltda. 2013.

FILHO, C. S. **Apostila Evolução dos Sistemas de Controle**. Disponível em:
<<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/Paginall/Download/DownloadFiles/HistoriaControladores>>. Acesso em: 13 ago. 2015.

FRONTIN, S.(Org.). **Equipamentos de alta tensão-prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas**. Brasília: Editora Goya, 2013.

GEFRAN. **Catálogo 2011**. Disponível em: <<http://www.gefran.com/pt/br/news/107-fiavel-robusto-e-simples-da-gefran-o-transdutor-de-pessao-compacto>>. Acesso em: 03 nov. 2015.

GINGERICH, K. **The RS-485 unit load and maximum number of bus connections**. Texas Instruments, 2004.

HELD, G. **Ethernet networks**, London, Wiley Editor. 2º ed. 2000. 458.p

IDOETA, I. V.; CAPUANO, F. G. **Elementos da Eletrônica Digital** . 37º Ed.. editora Érica. 1998.

KARDEC, A. ; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009. 384p.

KREUTZ, F.C. Monografia: Automação segundo norma IEC 61850. UFRS- Porto Alegre, 2014.

LUGLI, A. B. S.; DIAS, M. M. F.; RODRIGUES L. R. R. Artigo: **Uma visão de protocolos de redes Ethernet e industriais e suas aplicações, 2007**.Disponível em: <http://www.pantojaindustrial.com/index.php> Acesso : 12/07/2016.21:42 .

LYNX tecnologia eletrônica Ltda. **Catálogo 2015**. Disponível em: <<http://www.lynxtec.com.br/>>. Acesso em: 03 nov. 2015.

MASON, C. R. The **Art And Science of protective Relaying**. [S.I.]: John Wiley and Sons Ltd, 1956.

MULTILOGICA. **Arduino Nano** Disponível > <https://multilogica-shop.com/arduino-nano> >Acesso em: 06 Junho. 2016. hora: 15:46

NETO, J. C. D. M. Livro: **Museu de tudo**. 339.p Rio de Janeiro: Editora José Olympio, 1975.

NOVUS. **Conceitos Básicos de RS485 e RS422.** 2000. Disponível <<http://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/conceitos>> Acesso: 11/07/2016 Hora: 21:21.

ONS - Operador Nacional do Sistema. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 03 nov. 2015.

PERRIN, B. **The Art and Science of RS-485.** Circuit Cellar Magazine, Jul. 1999.

PINHEIRO, G. **A interface serial e o padrão rs-232.** disponível <<http://www.lee.eng.uerj.br/~gil/filas/Padrao%20RS-232.pdf>> Acesso: 07/07/2016. hora : 22:47.

PUHLMANN, H. **Trazendo o mundo real para dentro do processador- Conversor A/D. 2015.** Disponível > <http://www.embarcados.com.br/conversor-a-d/>> acesso: 07/06/2016 horário: 16:49.

REIS, M. D. **Pinagem da RS232.** 2013. Disponível <<http://baudaeletronica.blogspot.com.br/2011/09/pinagem-da-rs232c.html>> Acesso em: 08/07/2016 Hora : 21:01.

RENOVOLTECH. Disponível em : <http://www.renovoltech.com.br/pluscon/02.php> 22:42 12/07/2016.

SEIXAS, C. **Protocolos Orientados a Caracter.** 24.p. UFMG Departamento de Engenharia Eletrônica, Minas Gerais, 2000.

SENGER, H. **Modelo de Referência OSI. 2005.** UFSCar Pós-Graduação "Lato Sensu" em Redes de Computadores - DC - UFSCar disponível em : < www-usr.inf.ufsm.br/~candia/aulas/espec/Aula_3_Modelo_OSI.pdf >

SETOR ELETRICO. **Redes de comunicação em subestações de energia elétrica norma IEC 61850**. Revista O Setor Elétrico / Julho de 2010 Disponível em: <<http://www.osetoelettrico.com.br/web/a-empresa/426-capitulo-vii-redes-de-comunicacao-em-subestacoes-de-energia-eletrica-norma-iec-61850.html>>acesso :13/07/2016. hora :20:17

SIEMON. <https://www.siemon.com/br/whitepapers/ethernet-ip.asp> 23:02 12/07/2016.

SILVA, A. C. **Correção da Tensão Secundária de Transformadores de Potencial Capacitivo em Tempo Real**. 2010. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2010.

SOLTERO, M.; ZHANG, J.; COCKRILL, C. **422 and 485 Standards Overview and System Configurations**. Application Report SLLA070C, Texas Instruments, Jun. 2002

SOUZA, F. **Arduino**. 2014. Disponível > <http://www.embarcados.com.br/arduino-taxa-de-amostragem-conversor-ad/>> acesso:08/06/2016 horário: 18:05.

SOUZA, V. A. Disponível em > www.cerne-tec.com.br < artigo: **O Protocolo Modbus** 4.p 2000.

SOUZA, V. A.; **Comunicação RS232 e RS485** .Maio. 2012 Disponível < www.cerne-tec.com.br > Acesso: 07/07/2016. hora: 22:34

STANEK, J. **Introduction to RS 422 & RS 485**. HW Server, Czech Republic, 1998.

TEXAS INSTRUMENTS. **Interface Circuits for TIA/EIA-485 (RS-485)** – Design Notes. Jun. 2002.

UNIVERCEMIG. **Apostila de Tecnologia de Equipamentos**. Belo horizonte: Edições UNIVERCEMIG, 2007.

ANEXO A - ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES PARA AUTOMAÇÃO DO TPC

➤ 01 Multimedidor - Especifico para aplicações Industriais -Subestações.

	<h2>Multimedidor Mult-K</h2>	Ficha técnica – K0001
		Revisão 8.5 –23/09/15

[1] Introdução

O Multimedidor **Mult-K** é um instrumento digital micro processado, para instalação em porta de painel, que permite a medição de até 44 parâmetros elétricos em sistema de corrente alternada (CA).

As leituras dos parâmetros podem ser feitas localmente (através do conjunto de displays de 7 segmentos) ou remotamente (utilizando a interface serial RS-485 ou saída de pulsos).

Opcionalmente, o **Mult-K** pode ser fornecido com transformadores de corrente externos especiais (split core).

[2] Princípio de funcionamento

Por meio dos sinais de tensão e corrente do sistema a ser medido (monofásico, bifásico ou trifásico), o Multimedidor **Mult-K** calcula os parâmetros elétricos, utilizando um conversor A/D interno de alta resolução e com 64 amostras por ciclo.

Pode ser aplicado tanto em sistemas de baixa quanto de média ou alta tensão, uma vez que é possível programar a relação do TP (transformador de potencial) ou TC (transformador de corrente) envolvidos na medição.

[3] Aplicações

- Automação de subestações;
- Automação industrial e predial;
- Análise de circuitos e equipamentos elétricos;
- Rateio de custos;
- Substituição de instrumentos analógicos;
- Qualquer aplicação envolvendo medição de parâmetros elétricos.

[4] Grandezas medidas

Medição de até 44 parâmetros elétricos, sendo:

- Tensão (fase-fase, fase-neutro e trifásica)
- Frequência
- Corrente (por fase e trifásica)
- Potência ativa (por fase e trifásica)
- Potência reativa (por fase e trifásica)
- Potência aparente (por fase e trifásica)
- Fator de Potência (por fase e trifásico)
- THD (por fase de tensão e corrente, até a 31ª ordem)
- Demanda ativa (média e máxima)
- Demanda aparente (média e máxima)
- Energia ativa (positiva e negativa)
- Energia reativa (positiva e negativa)
- Máximos (Tensão e Corrente)



Foto ilustrativa

[5] Precisão

- Tensão, corrente, potências: 0,2%*
- Frequência: 0,1Hz
- Fator de potência: 0,5%*
- Energia: 0,5%
- THD: <3%

(a 25° C, respeitadas as faixas recomendadas para tensão e corrente)

* A precisão se refere ao fundo de escala

[6] Características Elétricas

ALIMENTAÇÃO AUXILIAR

Disponibilidade	Tipo de Fonte	Faixa de Operação
Padrão	Nominal: 120-220 Vc.a.	80 a 120% do valor nominal
Opcional	Nominal: 12 Vc.c.	90 a 120% do valor nominal
Opcional	Nominal: 24 Vc.c.	80 a 120 % do valor nominal
Opcional	Nominal: 48 Vc.c.	80 a 120% do valor nominal
Opcional	Fonte Universal	86-265 Vc.a. 100 – 375 Vc.c.

- Consumo interno: <10 VA

ENTRADA DE TENSÃO (MEDIÇÃO)

- Faixa de trabalho: 20 a 500Vc.a. (F-F)
- Sobrecarga: 1,5 x Vmáx (1s)
- Frequência de operação: 44 a 72Hz
- Consumo interno: < 0,5 VA

ENTRADA DE CORRENTE (MEDIÇÃO)

- Nominal (In): 1Ac.a. ou 5Ac.a.
- Indicação mínima: 20mA
- Fundo de Escala:

Padrão: 1,5 x In Opcional: 2 x In *

- Sobrecarga de curta duração:
20 x In durante 1 segundo
- Consumo interno: < 0,5 VA

*Somente para corrente nominal de 5Ac.a., fundo de escala de 10Ac.a.

- **10 metros de fio 2,5 mm**
- **10 metros de cabo tipo 'Manga', 4 vias - Conexão RS485**
- **Conectores RS-485.**
- **01 Cartão de entrada da MAC 6, Simatic S7 400 da Simens.**

ANEXO B- DADOS DO PROJETO.**Dados da Empresa:**

CEMIG Geração e Transmissão.

Av. Barbacena, 1200

Belo Horizonte/MG

CEP 30.190.131

CNPJ:06981176000158

IE:06323221310098

Fone:(031) 2104-1516

Localização da Usina Hidrelétrica:

Subestação Volta Grande

Nível de tensão: 345 KV

Endereço:Rod. SP-413 km 26 Norival P.de Matos

Cep:14.530.000

Miguelópolis/SP

Fone:(34) 3313-4311

Dados do Empregado:

Willian Fernando Camargo

Endereço: Rua Santo Antonio,288

Centro/Uberaba

CEP 38.010.160

Função:Técnico Industrial

Loça de Trabalho: Subestação CEMIG Volta Grande 345KV

Cidade:Miguelópolis /SP

Engenheiro da Subestação CEMIG

Walter Guimarães Marques

Função:Engenheiro do Sistema Elétrico /Coordenador da SE Volta Grande

Av .Olimpio Jacinto silva ,1016

Uberaba-MG Fone:(34) 99287544

Orientador

Prof. Me. Herbert Radispiel Filho / CEFET-MG

Titulação:Engenheiro Eletricista. Mestrado