

ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA	i
DECLARAÇÃO DO SUPERVISOR	ii
FOLHA DE APROVAÇÃO	iii
DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTO	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS E ESQUEMAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SIGLAS	x
CAPITULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1. Introdução	1
1.2. Tema	2
1.2.1. Delimitação do tema	2
1.2.2. Problematização do Tema	2
1.3. Justificativa do Problema	3
1.4. Hipóteses do Problema	4
1.5. Objectivos	4
1.5.1. Objectivo geral	4
1.5.2. Objectivos específicos	4
1.6. Motivação do Tema	5
1.7. Estrutura do trabalho	5
CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1. Máquinas eléctricas	6

2.1.1.Princípio de funcionamento de máquinas eléctricas.....	6
2.1.2. Características mecânicas de uma máquina eléctricas.....	7
2.1.3. Classificação das máquinas quanto ao tipo de alimentação.....	9
2.2. Locomotiva.....	20
2.2.1. Princípio de funcionamento de uma Locomotiva.....	20
2.2.2. Classificação das Locomotivas	25
CAPITULO III – METODOLOGIA APLICADA.....	31
3.1. Métodos de pesquisa.....	31
3.1.1. Tipo de pesquisa	31
3.1.2.Instrumento de colecta de dados	32
CAPITULO IV: ANÁLISE E DISCUSSÃO DE DADOS	34
4.1. Módulos.....	34
4.2.Elementos de produção e transporte da energia produzida pela Locomotiva.	37
4.3. Controlo da locomotiva.....	43
4.4. Transferência eléctrica	44
4.5. Sistemas de transmissão eléctrica	45
4.5. Análise do circuito de excitação no regime normal (Problematização).....	47
4.6. Análise do circuito de excitação se for isolada um motor de tracção	49
4.7. Procedimento para realização da modificação de redução de potência	51
CAPITULO V. CONCLUSÃO E SUGESTÕES.....	53
5.1.Conclusão	53
5.2. Sugestões	53
Referencias bibliografias	54
Fontes Oraís.....	54
Anexos.....	i
Anexo 1: Interior do AR10	ii

Anexo2: Console de Maquinista	iii
Anexo 3: Sistema de transmissão eléctrica.....	iii
Anexo 4: Locomotiva diesel – eléctrica (localização de componentes)	iv

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Valdimiro de Castro Alexandre, declaro que esta monografia sob tema Sistema de Controle de Excitação para a Redução de Potência das Locomotivas GT26CU-2 é resultado do meu próprio trabalho, realizado entre os meses de Novembro 2018 a Novembro de 2019, supervisionado pelo Eng.º Selimane Amadee está sendo submetida para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia eléctrica na Escola Superior de Estudos Universitários – ESEUNA. Ela não foi submetida antes para obtenção de nenhum grau ou para avaliação em nenhuma outra Universidade, constando no texto e na bibliografia as fontes utilizadas.

Valdimiro de Castro Alexandre

Nampula, 2019

DECLARAÇÃO DO SUPERVISOR

Eu, Selimane Amade, na qualidade de supervisor, declaro por minha honra ter orientado de forma coesa e sabia o estudante cujo nome: Valdimiro de Castro Alexandre, e que todos os procedimentos de um trabalho científico foram devidamente seguidos e os manuais de pesquisa e bibliografias usadas, estão devidamente mencionados no trabalho, cujo tema denomina-se: **SISTEMAS DE CONTROLE DE EXCITAÇÃO PARA A REDUÇÃO DE POTÊNCIA DAS LOCOMOTIVAS GT26CU-2.**

Selimane Amade

Nampula, 2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à minha família, em especial à minha amada esposa Eunice Amisse, que torceu por mim em todos os momentos da minha vida, e dedicou-se com muito esforço para a realização dos meus estudos. E dedico a minha filha Dayane da Yuan Valdimiro.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela oportunidade de vir ao mundo, e puder ter a experiência da vida e usufruir das maravilhas que ela contém, por nunca me abandonar mesmo nos momentos de desespero e por me dar forças para correr atrás dos meus sonhos.

Aos meus pais, Alexandre J. Jaime e Paula C. Cristóvão, por me terem trazido ao mundo e me terem enchido de muito amor e carinho, pelos momentos em que estiveram presentes, independentemente da situação, pelas lições de vida e educação, por terem acreditado nos meus sonhos e nunca desistir de mim.

A minha amada esposa Eunice Martinho Amisse, pela força, carinho, amor e paciência durante essa longa caminhada;

A minha filha Dayane da Y. Valdimiro que tem sido meu alicerce.

Aos meus irmãos Joaquim Alexandre e Belson Alexandre, por serem a motivação da minha vida.

O meu especial agradecimento vai para o meu orientador, o Eng^o. Selimane Amade que muito admiro e que de forma efectiva se disponibilizou para ajudar na elaboração e na troca de ideias durante o período desta pesquisa e ao meu colega de trabalho. Francisco Júnior que foi um braço direito na elaboração deste.

A todos os docentes, em destaque os docentes Alfredo Manuel Siaca, Elias Guentes, Enoque Andela, e a Vossa excelência Directora e Professora Ana Guina pelo conhecimento partilhado e pelo suporte dado durante o curso.

RESUMO

Com a crescente demanda de carga no mundo ferroviário, torna-se cada vez mais importante a disponibilidade e confiabilidade do material rodante, composto por Locomotivas e Vagões. Para atender a esta demanda é preciso que as empresas do ramo ferroviário estejam preparadas em relação à forma na qual gerenciam seus activos. E a qualidade da manutenção está directamente ligada ao resultado desse gerenciamento, onde as metas de confiabilidade e disponibilidade são orientações para o processo decisório. Neste trabalho trata-se de Locomotivas diesel - eléctrica (GT26CU-2) de 2700HP. Uma locomotiva pode ser caracterizada como sendo: **Componente eléctrico que transporta a sua própria usina geradora de energia eléctrica** pelo facto dela produzir e transportar sua própria energia. A finalidade dessa energia produzida é de alimentar 6 motores de tracção localizados na parte inferior da locomotiva para fins de tracção, e a substituição desses motores por avaria tem aumentado frequentemente nessas Locomotivas, e o custo da quebra de um motor pode até custar uma média de 3,250,000.00 Meticais por cada motor de tracção. Razão pela qual há necessidade de se fazer um estudo para evitar que haja quebra de motores de tracção por sobrecarga.

Palavras-chave: Locomotiva, Redução, Potência, Excitação, Controle.

ABSTRACT

With the increasing demand for cargo in the rail world, the availability and reliability of undercarriage, locomotives and wagons is becoming increasingly important. Meeting this demand requires railway companies to be prepared about how they manage their assets. And the quality of maintenance is directly linked to the outcome of this management, where the goals of reliability and availability are guidelines for decision making. This work is about 2700HP Diesel - Electric Locomotives (GT26CU-2). A locomotive can be characterized as: Electric component that transports its own power plant because it produces and transports its own energy. The purpose of this energy produced is to power 6 traction motors located at the bottom of the locomotive for traction purposes, and the replacement of these motors by failure has often increased at these locomotives, and the cost of breaking an engine can even cost an average of 3,250,000.00 metical for each traction engine. This is why a study needs to be done to avoid overloading motors.

Keywords: Locomotive, Reduction, Power, Excitation, Control.

LISTA DE FIGURAS E ESQUEMAS

FIGURA1: CORTE LONGITUDINAL DE UMA MÁQUINA ELÉCTRICA	7
FIGURA2: VISTA DO ESTATOR E ROTOR.....	7
FIGURA 3: ROTOR DA MÁQUINA DC COM COLECTOR, ENROLAMENTOS DO INDUZIDO E NÚCLEO DO INDUZIDO.....	8
FIGURA4: INTERNO DE UMA MÁQUINA ELÉCTRICA ROTATIVA	10
FIGURA 5: COLECTOR	12
FIGURA6: PORTA-ESCOVA	13
FIGURA 7: EXCITAÇÃO INDEPENDENTE OU SEPARADA	14
FIGURA 8: EXCITAÇÃO EM PARALELO (OU SHUNT)	14
FIGURA 9: EXCITAÇÃO EM SÉRIE EXCITAÇÃO EM SÉRIE	15
FIGURA10: EXCITAÇÃO COMPOSTA (OU COMPOUND)	17
FIGURA 11: LOCOMOTIVAS A VAPOR.....	25
FIGURA 12: LOCOMOTIVA DIESEL-ELÉCTRICA	27
FIGURA13: LOCOMOTIVA ELÉCTRICA.....	30
FIGURA 14: MÓDULO FP18.....	34
FIGURA15: BATERIAS.....	37
FIGURA16: MOTORES DE PARTIDA	38
FIGURA17: MOTOR DIESEL	38
FIGURA18: GERADOR AUXILIAR	39
FIGURA19: AR10 E D14	41
FIGURA20: MOTOR DE TRACÇÃO	42
FIGURA21: RODADO	42
FIGURA 22: PINHÃO E ENGRENAGENS	43
FIGURA 23: SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA ELÉCTRICA.....	46
FIGURA 24: LIGAÇÃO DOS MT. DOS TRACÇÃO (COM 5 MOTORES)	50
FIGURA 25: INTERIOR DO AR10.....	II
FIGURA 26: CONSOLE DE MAQUINISTA	III
FIGURA 27: SISTEMA DE TRANSMISSÃO ELÉCTRICA.....	III
FIGURA 28: LOCOMOTIVA DIESEL – ELÉCTRICA (LOCALIZAÇÃO DE COMPONENTES)	IV
ESQUEMA 1: QUADRO COMPARATIVO DE MOTORES DE CC.....	19
ESQUEMA 2: CIRCUITO DE ENTRADA E SAÍDA DO MÓDULO TH ANTÉS DA RECTIFICAÇÃO	47
ESQUEMA 3: CIRCUITO DE ENTRADA E SAÍDA DO MÓDULO TH APÓS A RECTIFICAÇÃO.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro comparativo de motores de CC.....	18
Tabela 2: Valores de referência em funcionamento normal	Erro! Marcador não definido.
Tabela 3: Valores de referência em funcionamento anormal	52

LISTA DE SIGLAS

AR10 – Alternador retificado, 10 pólos.	EFL - Relê da luz do filtro do motor.
Ah – Ampere hora	GFR - Relê de campo do gerador.
AV, B V, CV, DV -Solenóides de regulagem da rotação do governador.	GFS - Chave de campo do gerador.
AMM- BC – Amperímetro de carga da bateria.	GP – Gerador principal
AMM-TM – Amperímetro de carga dos motores de tracção.	EFS - Relê da luz do filtro do motor.
ALT-D14 – Alternador D14	ELD - Chave do filtro do motor.
B – Em baixo (TB).	EL - Relê de retardamento do limite de excitação.
BK-BL - Soprador do freio dinâmico.	ER - Relê do motor em funcionamento.
BPD - Relê de retardamento de potência do freio.	ESEUNA - Escola Superior de Estudos Universitários de Nampula
BT – Bateria.	ETS - Chave de alta temperatura do motor.
BR - Relê do freio.	F - Frequência
BTR - Relê de transição inversa.	FCT - Transdutor da corrente de campo.
BWA - Relê auxiliar de alarme do freio.	FPC - Contactador da bomba de combustível.
BWR - Relê de alarme do freio.	FP/ES - Escorva do combustível/chave de partida do motor.
B - Chave de transferência do freio.	FOR -Relê - "para a frente".
CA - Capacitor.	FP - Bomba de combustível.
CB – Disjuntor.	FPCR - Bomba de combustível.
CCS - Chave de controle do compressor.	FSRA - Relê auxiliar de derivação do campo.
CDR – Relê de retardamento dos contactores.	FSR - Relê de derivação do campo.
COR - Relê de desligamento do motor.	FS -Contactador de derivação do campo.
CR - Rectificador.	FTR - Relê de transição - "para a frente".
CR-BC - Rectificador de carga da bateria.	FTRA - Relê auxiliar de transição "para a frente".
CR-GR - Rectificador do relê de terra.	GA – Gerador auxiliar.
DBR - Regulador do freio dinâmico.	
DGX – Relê de controlo de excitação do	

GF -Contactor de campo do gerador.

GFD -Contactor de redução do campo do Gerador.

GR - Relê de terra.

GS -Contactor de partida do motor.

GSA - Contactor auxiliar de partida do motor. -

GP – Gerador Principal.

GPT – Transferidor de potência.

GV - Módulo de voltagem do gerador.

GX - Módulo de excitação do gerador.

HAR - Relê de altitude elevada.

HP – HorsePower

IS - Chave de isolação.

ISA - Relê auxiliar da chave de isolação.

L -Relê de nível.

L - Lado esquerdo.

Loco. – Locomotiva.

LOS - Chave de baixa pressão de óleo (governador).

RC - Regulador de carga.

LTS - Lâmpadas.

LWS - Chave de baixo nível de água.

M – Motores

MD – Motor Diesel.

M_{em} – Binário electromagnético

MFP -Relê de protecção do campo do motor.

M - Chave de potência do motor.

MT – Motor de Tracção.

MV-CC - Válvula magnética de controlo do compressor

MV-SH -Válvula magnética de controle do desligamento.

MVI-SF - Válvula magnética do areeiro "para

MV2-SR -Válvula magnética do areeiro "para trás".

NCR - Relê de Ausência de carga da bateria.

n– Velocidade de sincronismo

NVR - Relê de ausência de voltagem CA.

ORS - Solenóide de sobreposição (Governador regulador de carga).

OSR - Relê de excesso de velocidade.

OVR - Relê de excesso de voltagem do gerador principal.

PCR - Relê de controlo pneumático.

PCS - Chave do controle pneumático.

P - Contactor de potência.

PF - Módulo de controlo de desempenho.

R - Lado direito (na TB)

R, RA - Relês de velocidade.

RCP - Painel de controlo de velocidade.

RE – Resistor.

RE-BC - Resistor de carga da bateria.

RE-DB - Resistor de controlo do freio Dinâmico.

RE-GRID - Resistor de carga do freio dinâmico.

RHS - Chaves da alavanca reversora.

RH – Reóstato.

RVRA -Relê auxiliar de reversão.

RV - Chave de reversão.

RE-FS - Resistor de derivação do campo do motor.

RER - Relê de reversão.

RFFSA - Sociedade Anónima Rede Ferroviária Federal.

SBP - Painel de comparação do sensor.
SCR - Rectificador controlado de silício.
SEQ – Sequência.
SHS - Chave da alavanca selectora.
SP -Contactor de potência em série paralelo.
ST - Motor de partida.
SWO - Relê de excesso de velocidade simultânea das rodas.
T - Em cima. (na TB)
T - Chave de teste/relê.
TA, TB - Chaves de temperatura do Controle do ventilador.
TB - Painel de terminais.
TDB - Relê temporizado do freio.

TDS - Relê temporizado do areeiro.
THS - Chaves da alavanca do acelerador.
TLP - Bomba de lubrificação do turbo.
TLPC -Contactor da bomba de lubrificação do turbo.
TLTD - Relê temporizado de lubrificação do turbo
TRP - Painel de resposta do acelerador.
TRP-A, G, C, D - Relês de resposta do acelerador.
TST - Chave teste.
T – Transformador.
U - Relê de calibragem.
VR - Regulador de voltagem do gerador auxiliar.

CAPITULO I – INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

Segundo Adilson A. Andrade (2015, p. 8) “*Uma locomotiva é um veículo ferroviário que fornece a energia necessária para a colocação de um comboio ou trem em movimento*”. No caso das locomotivas diesel-eléctrica, que vamos abordar neste trabalho é composto por um sistema eléctrico formado pelo gerador de tracção que fornece energia eléctrica aos motores de tracção, recebendo em função disso, a denominação de **sistema de transmissão eléctrica**.

Adilson A. Andrade (2015, p. 10) diz que “*A locomotiva diesel- eléctrica difere de uma locomotiva eléctrica pelo fato de ter um sistema de produção e geração de energia eléctrica, completo e isolado, isto é, carrega sua própria estação geradora de energia, em vez de ser conectada a uma estação geradora de energia remota através de cabos aéreos ou de um terceiro trilho*”. Este tipo de equipamento foi o responsável pela extinção das locomotivas a vapor, devido a ecónomia que proporcionam ao transporte. A partir da sua introdução, por volta de 1930 se tornaram as mais utilizadas até a atualidade. O sistema de produção e geração de energia eléctrica da locomotiva diesel-eléctrica tem o motor diesel como fonte primária de energia, que é diretamente acoplado a um gerador de energia eléctrica que produz a eletricidade necessária para alimentar os motores eléctricos de tracção que acionam os rodéis da locomotiva.

O tanque de combustível é também essencial, uma vez que o motor diesel transforma a energia química contida no óleo diesel em energia mecânica para acionar o gerador de energia eléctrica. Por sua vez, os motores eléctricos de tracção podem ser em corrente contínua ou em corrente alternada, também nessas locomotivas diesel-eléctrica existem vários modelos, que depende do tipo de sistema de controle de excitação, posição do bugie, número de rodados, etc. No caso concreto trata-se de locomotiva GT26CU-2 composta por 6 motores de tracção de corrente contínua, excitação série, ligado em paralelo entre si e a fonte de alimentação que é alternador rectificadado (AR10). Motor de tracção é uma máquina eléctrica que converte a energia eléctrica em energia mecânica para tracção (puxar ou movimentar) por meio de acoplamento por engrenagens entre o pinhão do motor e a engrenagem do rodado.

Portanto pretende-se com este trabalho, contribuir para fornecer informações sobre os principais componentes de excitação desta locomotiva e como fazer a redução de potência do

alternador AR10 para não sobrecarregar os motores quando se isola um dos motores, visto que esta locomotiva é composta por 6 motores ligados em paralelo em relação a fonte, na ausência de um acaba sobrecarregando os demais.

1.2. Tema

1.2.1. Delimitação do tema

Segundo MARCONI E LAKATOS (2003: 218) “*o tema é o assunto que se deseja provar ou desenvolver, pode surgir de uma dificuldade prática enfrentada pelo coordenador da curiosidade científica, de desafios encontrados na leitura de outros ou da própria teoria*”.

Para a presente pesquisa foi definido o seguinte tema:

- **Limitação temática** - A aplicação e utilização deste sistema de redução de potência é somente para locomotivas GT26CU-2 e quando um motor de tracção estiver isolado;
- **Limitação espacial** – Este trabalho foi possível realiza-lo através de um trabalho feito em campo, concretamente na empresa ferroviária CDN nos dia 03 de Novembro de 2018 a 08 Novembro 2019.

1.2.2. Problematização do Tema

MARCONI e LAKATOS (2003: 220) afirmam que “*O problema é uma dificuldade teórica ou prática, no conhecimento de alguma coisa de real importância, para qual se deve encontrar uma solução*”

Segundo aos dados históricos colhidos, relativos a quebra de motores de tracção nas Locomotivas GT26CU-2 por sobrecarga, isto que de um lado está associado a falta de um sistema de redução de excitação do AR10, para que seja aplicado no momento de ser isolado um motor tracção.

O alternador AR10 é uma máquina eléctrica trifásica de corrente alternada, cuja esta corrente é convertida em corrente contínua por meio de um conjunto rectificador para alimentar 6 motores de tracção que ficam na parte inferior da locomotiva, a alimentação é feita por cabos de alta tensão e contactores de força. O Alternador Principal é uma máquina de excitação independente, pós recebi a excitação de um outro alternador, designado D14, esta excitação é feita através de módulos. O AR10 produz cerca de 2700HP e para fornece por igual a 6 (seis)

motores de tracção para proporcionar atracção da locomotiva, isto é, 450HP para cada motor, pós os mesmos motores estão ligados em paralelo com o alternador. No entanto, se por algum motivo um desses motores for isolado, isto é, ser retirado do circuito, fazendo com que a locomotiva fique funcionando somente com 5 (cinco) motores de tracção, o que é possível, mas baixa a capacidade de tracção e se a potência do AR10 não for regulada fará com que os 2700HP produzido pelo AR10 devida por 5 (cinco) motores, o que significa que acabará sobrecarregando-os, de 450HP para 550HP. Visto que a potência máxima para funcionamento normal destes é de 450HP, se exceder esta potência o motor irá danificar-se. Portanto há necessidade de fazer um estudo de controle de redução da excitação do AR10 como sabemos que uma máquina eléctrica rotativa de excitação independente, ela precisa de uma fonte de excitação externa CC e rotação do seu eixo para que ela possa produzir, portanto se nos variarmos a excitação, estaremos também variando a potência da máquina.

É com base nessas constatações, que se coloca a seguinte questão:

Quais são as possíveis alternativas a estudar para se fazer a redução de potência das Locomotivas?

1.3. Justificativa do Problema

Conforme Roesch (1999: 99), “*Justificar é apresentar razões para a própria existência do projecto*” e “*em termos gerais, é possível justificar um projecto através de sua importância, oportunidade e viabilidade*”.

- A quebra deste tipo de componente acarreta altos custos de manutenção;
- A avaria de motores de tracção tem sido um dos grandes problemas no mundo ferroviário;
- A locomotiva em causa, traccionando com 5 motores de tracção, ela reduz a sua capacidade tractor de +/- 17% da capacidade da Locomotiva;
- Com este sistema, reduz o índice de acidentes, por electrocussão ou mesmo explosão, porém com a implementação deste sistema, os motores de tracção não estarão sobrecarregados e não correm o risco de queimar ou pegar fogo.

1.4. Hipóteses do Problema

Para MARCONI e LAKATOS (1990: 30) *“Hipótese é uma suposição que antecede a constatação dos factos e tem como características numa formulação provisória que deve ser testada para determinar a sua validade e sempre conduz a verificação empírica”*.

1ª Hipótese: A redução da rotação do motor diesel pode também reduzir a potencial da do alternador AR10, visto que é o MD que acciona o movimento do rotor do AR10;

2ª Hipótese: A aplicação de um resistor no circuito de excitação do gerador principal poderá reduzir a potência da Locomotiva.

1.5. Objectivos

Para MARKONI e LAKATOS (2003, p. 209) *“Objectivo geral está ligado a uma visão global e abrangente do tema, relacionam-se com o conteúdo intrínseco, quer dos fenómenos e eventos, quer das ideias estudadas, vincula-se directamente à própria significação da tese proposta pelo projecto”*.

1.5.1. Objectivo geral

“Os objectivos gerais são tratados em seu sentido mais amplo e constituem a acção que conduzira ao tratamento da questão abordada no problema de pesquisa”, palavras de GIL (2006, p. 264).

- Implementar um sistema de redução de potência do gerador principal quando é isolado um motor para baixar a potência produzida pelo Alternador Rectificador AR10.

1.5.2. Objectivos específicos

Segundo MARCONI E LAKATOS (2003:119) *“Objectivos específicos apresentam um carácter mais concreto, têm função intermédia e instrumental, permitindo de um lado atingir o objectivo geral e, de outro modo, aplicá-lo a situações particulares”*.

Para a concretização do objectivo geral torna-se necessário a definição dos objectivos específicos, estes que serão pilares desta pesquisa. Assim sendo temos os seguintes objectivos específicos pelos quais são os caminhos para o alcance do objectivo:

- Verificar o sistema de excitação no regime normal;
- Fazer análise de dados do sistema de controlo;
- Analisar o sistema de excitação operando com 5 motores de tracção sem a aplicação do sistema de redução de potência e analisar após a aplicação do sistema de redução de Potencia do alternador AR10.

1.6. Motivação do Tema

Segundo MARCONI E LAKATOS (2002:139) “ *motivação e a condição do organismo que influencia a direcção do comportamento, e o impulso interno que leva a acção* ”.

- A quebra de um motor de tracção causa baixa produtividade nas empresas ferroviárias pelo facto do custo de manutenção ser alta;
- Expandir o conhecimento além fronteira acerca de locomotivas, pós tem sido um ramo de negócio e oportunidades de emprego muito grande a nível nacional e internacional.

1.7. Estrutura do trabalho

O trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos obedecendo a seguinte ordem:

- Primeiro capítulo é o presente, que serve de introdução ao tema, apresentando o problema e a sua delimitação, a justificativa da necessidade de desenvolver tal pesquisa, os objectivos a alcançar com a pesquisa;
- Segundo capítulo é referente a revisão bibliográfica, que engloba diversos temas envolvidos aos fundamentos teóricos sobre máquinas eléctricas, concretamente em máquinas de corrente contínua e noções básicas de locomotivas;
- Terceiro capítulo é referente a tipos de Metodologias;
- Quarto capítulo é referente a análise e discussão de dados.
- Quinto capítulo é referentes as conclusões e observações.

CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Máquinas eléctricas

Segundo Stephen D. Umans, (2014, p. 7) afirma que *“máquinas eléctricas são dispositivos que transformam a energia proveniente de uma fonte primária em energia eléctrica ou eléctrica em outro tipo de energia”*. Fonte: [http://: pt.m.wikipedia.org](http://pt.m.wikipedia.org).

2.1.1.Princípio de funcionamento de máquinas eléctricas

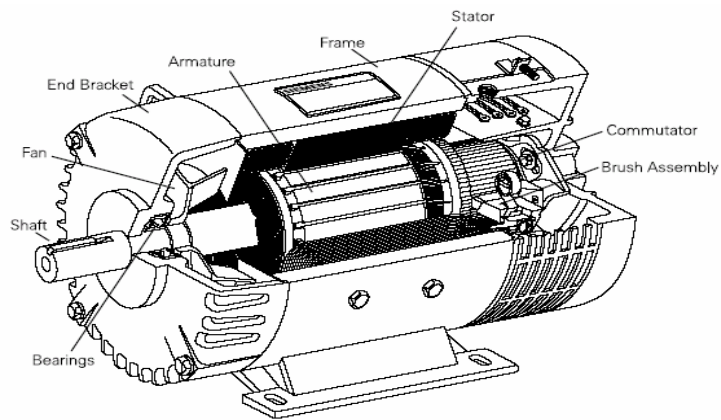
O estudo académico das máquinas eléctricas envolve estudos dos geradores eléctricos quanto dos motores eléctricos, e o termo maquinas eléctricas é o sinonimo de ambos equipamentos, os geradores eléctricos convertem a energia eléctrica em mecânica e os motores eléctricos são o contrario. Os transformadores por não terem o seu funcionamento caracterizado pela ocorrência de movimento, também são considerados máquinas eléctricas por usarem o fenómeno da indução electromagnética. Fonte: <http://: pt.m.wikipedia.org>.

Michael Faraday *“Indução magnífica é o fenómeno que origina a produção de uma força electromotriz, num meio ou corpo exposto a um campo magnético variável, ou bem num meio móvel exposto a um campo estático. E assim que, quando o dito corpo é um condutor, produz uma corrente induzida”*.Fonte: <http://: pt.m.wikipedia.org>.

Observação: Como o problema acima referenciado trata de uma máquina de corrente contínua (motor de tracção) excitação serie, todavia o trabalho estará mais inclinado neste tipo de máquina.

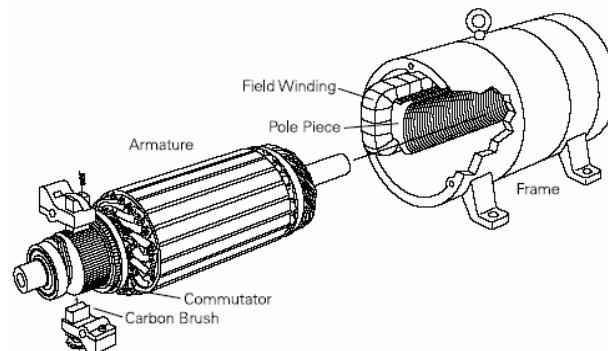
2.1.2. Características mecânicas de uma máquina eléctrica

Figura1:Corte longitudinal de uma máquina eléctrica



Fonte: Manual de máquinas eléctricas - Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.(2019)

Figura2:Vista do estator e rotor



Fonte: Manual de máquinas eléctricas - Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.(2019)

1. São peças constituintes do estator:

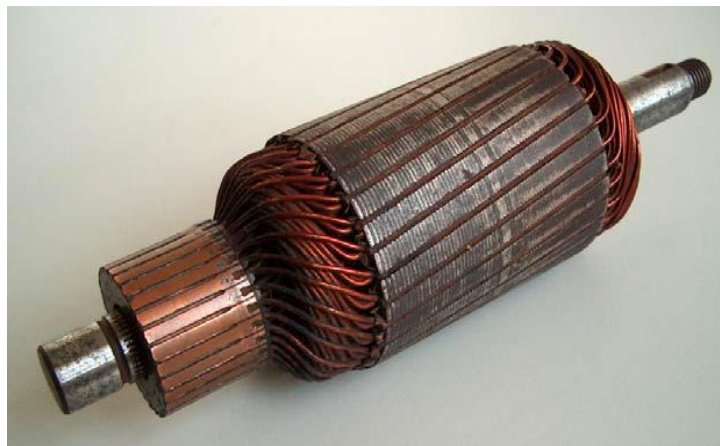
- A carcaça que suporta a máquina e que também serve para a circulação do fluxo indutor;
- Os pólos indutores ou pólos principais - que juntamente com os enrolamentos de excitação criam o fluxo magnético indutor principal (o seu número é designado por $2p$);
- Os pólos auxiliares ou de comutação;

- Os enrolamentos de comutação;
- Os enrolamentos de compensação - destinados a reduzir o fluxo magnético provocado pelos enrolamentos do rotor.

2. São peças constitutivas do rotor:

- O núcleo do rotor - tem a forma cilíndrica e é ranhurado no sentido do eixo;
- Os enrolamentos do induzido. São colocados nas ranhuras do núcleo do rotor;
- O colectador. É constituído por lâminas de cobre isoladas umas das outras e colocadas na direcção do veio;
- São ainda partes constitutivas, os rolamentos, as escovas e porta-escovas, os ventiladores etc.

Figura 3: Rotor da máquina DC com colectador, enrolamentos do induzido e núcleo do induzido.



Fonte: <https://cdn.hackday.io>.(2019)

2.1.3. Classificação das máquinas quanto ao tipo de alimentação

2.1.3.1. Máquina de Corrente Continua

Segundo Charles Kingsley, Jr.(2012, p. 89) Afirma que “*máquina de corrente continua é toda máquina capaz de convertera energia mecânica em energia eléctrica (geradores) ou energia eléctrica em energia mecânica (Motor)* ”. Fonte: [http://: pt.m.wikipedia.org](http://pt.m.wikipedia.org).

2.1.3.1.1.Principais partes constitutivas de uma máquina CC

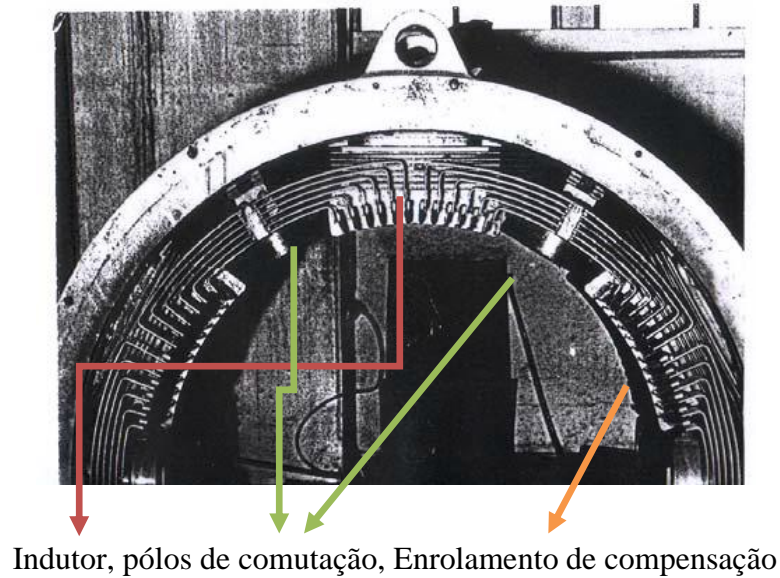
- **Carcaça**

A carcaça é a parte que sustenta os pólos da máquina e pela qual se faz a fixação. Dado que o fluxo magnético é constante, não é necessário que esta peça seja feita para evitar as perdas por correntes de Foucault. Neste sentido, esta peça pode ser fabricada em ferro fundido ou em aço. Fonte: Manual de máquinas eléctricas - Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.

- **Pólos indutores**

Os pólos indutores têm o aspecto que se pode ver na figura abaixo. A parte mais próxima do rotor designa-se por expansão polar. Dado que estes pólos estão sujeitos acampo de indução magnética variável, são construídos em chapa magnética empilhada para se reduzirem as correntes de Foucault. Os enrolamentos do circuito indutor são enrolamentos do tipo concentrado. Fonte: Manual de máquinas eléctricas - Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.

Figura4: Interno de uma máquina eléctrica rotativa



Indutor, pólos de comutação, Enrolamento de compensação

Fonte:Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.(2019)

- **Pólos auxiliares ou de comutação**

Os pólos auxiliares são colocados entre os pólos principais. São constituídos por um núcleo em chapa magnética e por um enrolamento que se liga em série com o enrolamento do induzido. Fonte: Manual de máquinas eléctricas - Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.

- **Enrolamentos de compensação**

Colocados em cavas nos pólos principais estes enrolamentos só existem nas máquinas de potência elevada (> 150 kW) pois encarecem a máquina de forma considerável. A sua acção será vista mais à frente. Fonte: Manual de máquinas eléctricas - Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.

- **Núcleo do induzido**

Podem ser de dois tipos: em anel e em tambor. Os induzidos em anel já não são utilizados, mas aparecem frequentemente descritos em livros de máquinas eléctricas devido à sua maior facilidade de compreensão. Actualmente utilizam-se apenas induzidos em tambor feitos de chapa de aço magnético ranhurado. Note-se que, visto do rotor, o campo de indução magnética tem uma frequência que poderá ser elevada. Esta frequência é proporcional à

velocidade da máquina. Junto do induzido são colocados os dispositivos de refrigeração.

Fonte: Manual de máquinas eléctricas - Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.

- **Enrolamentos do induzido**

Os enrolamentos do induzido são constituídos por secções feitas em moldes e colocadas nas ranhuras do rotor. Estas secções são ligadas umas às outras e ao colector. Os enrolamentos em anel de Granem foram os primeiros a ser inventados e hoje têm apenas interesse histórico ou pedagógico. Os enrolamentos em tambor ou Siemens substituíram os enrolamentos em anel devido ao facto de serem mais económicos. Pode demonstrar-se que um determinado enrolamento em tambor tem sempre um enrolamento em anel que lhe é equivalente. Assim, uma vez que é mais fácil de compreender, o enrolamento em anel será utilizado em algumas explicações que se seguirão mais à frente. O enrolamento em anel executa-se sobre um anel de ferro colocando sobre ele um determinado número de espiras que se iniciam e terminam em lâminas adjacentes de forma que o enrolamento apresenta a forma de um circuito fechado. Fonte: Manual de máquinas eléctricas - Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.

- **Colector**

A figura abaixo mostra um corte de um colector. Geralmente o colector é realizado com lâminas de cobre isoladas. É torneado de modo a tomar uma forma rigorosamente cilíndrica permitindo que as escovas assentem perfeitamente. A ligação aos condutores do enrolamento do induzido pode ser feita por soldadura ou por meio de ligadores apropriados. O colector é realizado de forma diferente, consoante a potência e a velocidade máxima admissível da máquina, e constitui a peça mais delicada e mais cara de toda a máquina. Fonte: Manual de máquinas eléctricas - Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.

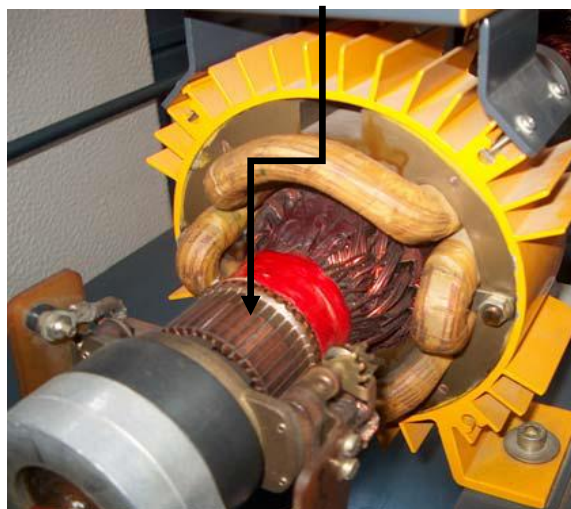
Figura 5:Colector



Fonte: <https://pt.m.wikipedia.org> (2019)

A figura abaixo mostra uma estrutura típica das escovas e seu conjunto de suporte. As escovas podem ser de diversos materiais (Carvão, Metal, etc.) e diversos tipos (macias, duras, etc.). Actualmente empregam-se quase exclusivamente escovas gravíticas ou de carvão e metal. A escova coloca-se na porta-escova, e é comprimida por meio de uma mola contra o colector. Esta compressão não deverá ser excessiva para evitar o seu rápido desgaste bem como um aumento das perdas mecânicas da máquina.

Figura6: Porta-Escova



Fonte: <https://pt.m.wikipedia.org> (2019)

Normalmente os porta-escova podem rodar em torno do colectora de modo a permitir o ajuste da posição das escovas. Todas as escovas de igual polaridade são ligadas entre si por barras condutoras. Estas barras encontram-se ligadas aos terminais da máquina ou vão directamente ligar-se aos enrolamentos dos pólos auxiliares ou aos pólos de compensação que são ligados em série com o induzido. Fonte: Manual de máquinas eléctricas - Mc Graw- Hill do Brazil. Ltda.

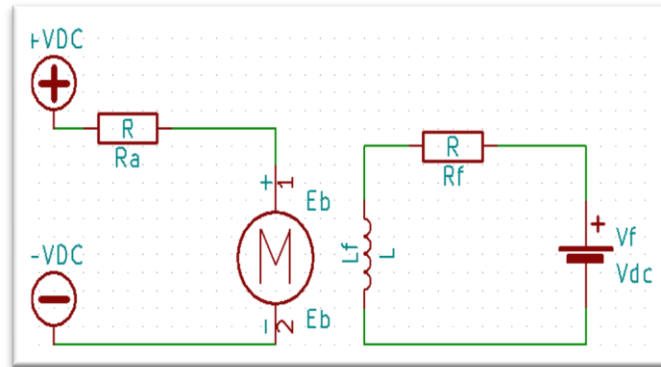
2.1.3.1.2. Classificação de máquinas de corrente contínua

Consoante o modo de alimentação do enrolamento indutor, as máquinas de corrente contínua são classificadas em:

- **Máquinas de excitação independente ou separada**

Nesta configuração o circuito de excitação da máquina é alimentado por uma fonte adicional independente ou separada da fonte de corrente contínua que alimenta a armadura. Em geral o enrolamento de campo que produz a excitação é constituído de condutores que não suportam grandes correntes, pois a excitação em geral utiliza correntes baixas para produzir o campo magnético em comparação com as correntes que circulam no enrolamento de armadura. Fonte: <http://pt.m.wikipedia.org>.

Figura 7: Excitação independente ou separada

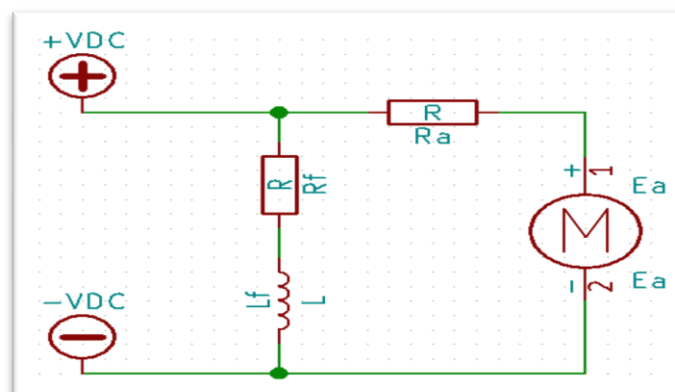


Fonte: [http:// pt.m.wikipedia.org](http://pt.m.wikipedia.org). (2019)

- **Maquina de excitação em Paralelo (ou shunt)**

O circuito do enrolamento de campo que produz a excitação está em paralelo ou em derivação com o circuito de armadura. Nesta configuração, é necessário apenas uma fonte de corrente contínua para alimentar o circuito de armadura e de campo, pois ambos os circuitos estão em paralelo. Como o enrolamento de campo está em paralelo ou em derivação com o circuito de armadura, é possível utilizar o mesmo tipo de condutor do caso de excitação independente. Fonte: [http:// pt.m.wikipedia.org](http://pt.m.wikipedia.org).

FIGURA 8: Excitação em paralelo (ou Shunt)

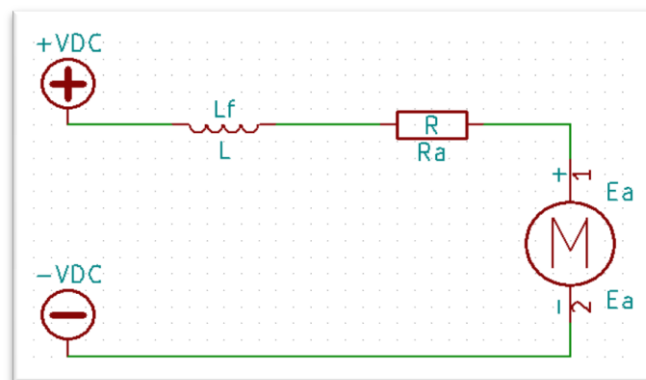


Fonte: [http:// pt.m.wikipedia.org](http://pt.m.wikipedia.org). (2019)

- **Maquina de excitação em série**

O circuito do enrolamento de campo que produz a excitação está em série com o circuito de armadura, sendo assim necessário apenas uma fonte para alimentar o circuito de campo e da armadura. Como neste caso a corrente que circula no enrolamento de campo que produz a excitação é a mesma corrente que circula no enrolamento da armadura, é necessário um enrolamento próprio para o circuito de excitação, capaz de suportar correntes relativamente altas da armadura. Fonte: [http://: pt.m.wikipedia.org](http://pt.m.wikipedia.org)

Figura 9: Excitação em série excitação em série



Fonte: [http://: pt.m.wikipedia.org](http://pt.m.wikipedia.org). (2019)

Nas máquinas de excitação em série colocam-se os enrolamentos do indutor e do induzido em série. Assim, ambos os enrolamentos são percorridos pela mesma corrente.

$$I_a = I_f = I_e U = U_f + U_a$$

Em regime permanente a equação do equilíbrio das tensões escreve-se:

$$U = E + (r_a + r_f) \cdot I_a \dots \dots \dots (1.31)$$

O binário electromagnético é proporcional à corrente que passa no induzido $I_a = I_e$ ao fluxo indutor (ϕ). Como o fluxo ϕ é proporcional à corrente ($I_f = I$), deduz-se facilmente que (desprezando a saturação) se tem:

$$M_{em} = K_1 \cdot I^2$$

$$M_a = k\phi I_a$$

A característica de binário $M_{em} = f \cdot I$.

A característica de velocidade $N = f(I)$ pode obter-se da equação.

$$N = \frac{U - (r_a + r_f)I}{K_2 I}$$

Quando o binário de carga diminuir, a velocidade torna-se muito elevada e o motor corre o risco de quebrar. O emprego de um motor série é desaconselhado em casos onde a carga se possa anular. É utilizado tradicionalmente em situações de tracção eléctrica, devido ao seu binário de arranque e devido ao facto de ser um motor "auto-regulador em potência". Isto significa que, na vizinhança do funcionamento nominal, o binário varia em função da velocidade N , de tal modo que a potência fornecida é aproximadamente constante.

Como o binário é proporcional ao quadrado da corrente, tem-se:

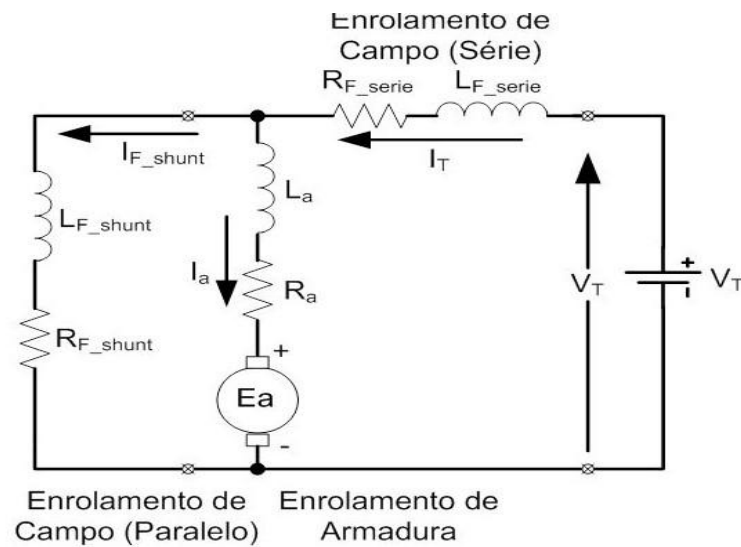
$$M_2 = M_1 \times \left(\frac{I_2}{I_1} \times \frac{E_2}{E_1}\right)^2$$

Nota: Como a corrente passou para metade e se manteve a tensão de alimentação constante, então a potência pedida à fonte de energia passou para metade. Por outro lado, como a velocidade passou para o dobro e o binário foi reduzido para um quarto do valor inicial, a potência mecânica fornecida ($P_m = M_{em} \omega_m$) passou também para metade.

- **Máquina de excitação composta (ou compound)**

Com dois enrolamentos de excitação, um em série e outro em derivação, podendo existir o esquema de ligação longo ou curto e composto aditivo ou substractivo. Neste esquema de ligação utiliza-se uma combinação da excitação série e shunt, de forma a aproveitar os benefícios de ambas as ligações. Fonte: [http://: pt.m.wikipedia.org](http://pt.m.wikipedia.org)

Figura10: Excitação composta (ou Compound)



Fonte: <https://pt.m.wikipedia.org>.(2019)

O motor shunt é adequado para máquinas-ferramentas por ter velocidade relativamente estável com carga (não sendo no entanto o melhor para este efeito, o motor série não é adequado para esta aplicação, mas é adequado para tracção eléctrica, pós tem um bom binário de arranque. Em geral, os motores compound tem algumas características de alguns outros, mas melhoram certas características destes, sendo no entanto mais caros. Uma característica própria de motores de corrente contínua é a facilidade de controle da sua velocidade, o que não acontece nos de corrente alternada.

A máquina corrente contínua é constituída por dois enrolamentos essenciais: O enrolamento de excitação “ f ” que se destina a criar um campo de indução magnética intenso, e o enrolamento do induzido “ a ” onde a energia eléctrica é convertida em energia mecânica e vice-versa. Na realidade, a máquina de corrente contínua é uma máquina de corrente alternada dotada de um conversor de "corrente contínua - corrente alternada" ou vice-versa. Na sua realização tradicional este conversor é realizado por um sistema mecânico designado por colectores ou comutador sob o qual assentam escovas. O coletor e escovas fazem parte do circuito induzido e normalmente este conjunto é representado por dois pequenos rectângulos sobre uma circunferência.

Os dois enrolamentos de excitação podem ser ligados de modo a que se somem as respectivas f.e.m. (excitação composta adicional) ou se subtraem (excitação composta diferencial). A

máquina de excitação composta pode ser constituída com várias relações de enrolamentos derivação e série.

Tabela 1: Quadro comparativo de motores de CC

Tipo	Binário de arranque	Velocidade	Utilização
Excitação separada	Fraco	Constante	Rodar
Serie	Elevado	Variável	Aparelho elevatório Tracção mecânica
Shunt	Fraco	Constante	Maquinas Ferramentas
Compound adicional	Elevado	E Variável	Aparelho elevatório
Compound diferencial	Fraco	Constante	Maquinas Ferramentas

Fonte: <https://pt.m.wikipedia.org>. (2019)

2.1.2.2. Máquinas de Corrente Alternada

2.1.2.2.1. Alternador

Segundo Charles Kingsley, Jr. (2012, p. 109) “*Alternador é uma máquina que transforma energia mecânica em energia eléctrica*”.

Os alternadores tem inúmeras aplicações, pois eles que produzem a maior parte de energia que se consome no mundo. São eles que produzem energias nas maiorias das centrais eléctricas dos mais variados tipo (com excepção das foto voltaicas), inclusive nas centrais nucleares, em potências menores usam-se por exemplo, em estaleiros de obras em que não exista rede pública disponível. Fonte:[http://: pt.m.wikipedia.org](http://pt.m.wikipedia.org)

2.1.2.2.2. Motores de CA

Segundo Charles Kingsley, Jr.(2012, p. 112) “*Motor eléctrico de corrente alternada é um equipamento rotativo que funciona a partir de energia eléctrica, diferente de outros motores eléctricos, o motor CA não precisa, necessariamente, de qualquer entreposto dele à alimentação e serve, basicamente, para "girar" um segundo acoplado, ou movido o eléctrico esta sempre activo*”.

- Assíncronos (muito usado em variadíssimas aplicações, por serem robustos e baratos);
- Síncronos (matem a velocidade constante, e quando roda a velocidade de sincronismo.

Fonte:<http://: pt.m.wikipedia.org>

2.2. Locomotiva

Segundo Adilson A. Andrade (2015, p. 8) “*Uma locomotiva é um veículo ferroviário que fornece a energia necessária para a colocação de um comboio ou trem em movimento*”, as locomotivas não têm a capacidade de transporte própria, quer de passageiros, quer de carga, no entanto, alguns comboios, possuem unidades (carruagens) mistas auto-alimentadas que também servem principalmente, para o transporte de pessoas; a esses veículos, não se dá normalmente o nome de locomotiva, mas trem unidade. Fonte: Estrada de Ferro Parana oeste S.A. (25/11/2015)

2.2.1. Princípio de funcionamento de uma Locomotiva

Em uma locomotiva diesel-eléctrica, o motor primário (motor diesel) acciona um gerador eléctrico que irá transmitir a potência para os motores de tracção. Não existe conexão mecânica entre o motor primário e as rodas de tracção. Algumas vezes, este tipo de locomotiva é classificado como um veículo híbrido do tipo série. Classificá-la como híbrida é um erro, pois, o gerador/alternador e o motores eléctricos de tracção compõem o sistema transmissão de potência, não fonte de potência, sendo este, apenas o motor diesel.

Importantes componentes da tracção eléctrica são o motor primário (motor diesel), gerador principal (ou gerador de tracção, que actualmente é um alternador), motores de tracção e o sistema de controle que consiste no governador do motor diesel, regulador de carga e o chaveamento (disjuntor) dos motores de tracção. Em princípio, a electricidade de saída do gerador é directamente enviada do disjuntor para os motores de tracção, que são mecanicamente acoplados às rodas via engrenagens de redução.

Originalmente os motores de tracção e o gerador principal são máquinas CC (corrente contínua). Seguindo o desenvolvimento de rectificadores de alta capacidade nos anos 60, o gerador CC foi substituído por um alternador usando ponte de diodo para rectificar a saída para CC. Isto aumentou a confiabilidade das locomotivas e minimizou os custos de manutenção pela eliminação do comutador e escovas. A eliminação das escovas e comutador, por sua vez, resolveu um tipo de evento particularmente destrutivo relacionado a faiscamento, que comumente causa falha imediata do gerador e, em alguns casos, início de incêndio na casa de máquinas.

2.2.1.1. Controle diesel - eléctrico

O maquinista controla a locomotiva diesel-eléctrica por meio de alavancas. A alavanca próxima do centro é o acelerador (pontos) e a alavanca à esquerda é o controlo da válvula de freio.

Em termos mecânicos, uma locomotiva diesel é uma máquina de "potência constante". Em outras palavras, uma locomotiva diesel-eléctrica tem a mesma potência em qualquer condição de aceleração (em teoria) sem levar em consideração a velocidade, contanto que a unidade esteja realmente em movimento. Portanto, a capacidade da locomotiva de desenvolver esforço de tracção tende a variar inversamente com a velocidade. Quanto maior a velocidade, menor a força sem que haja alteração na potência. Em contraste, uma locomotiva a vapor é uma máquina de "força constante", em que teoricamente o máximo esforço de tracção será relativamente independente da velocidade da locomotiva, mas a potência de saída tende a aumentar com a velocidade, limitada pela capacidade da caldeira de produzir vapor.

2.2.1.2. Operação do acelerador

A potência de saída do motor primário é primeiramente determinada pela sua velocidade de rotação (rpm) e seu consumo de combustível, que são reguladas por um governador ou mecanismo similar. O governador é projectado para reagir ao regulador de aceleração (pontos), que é determinado pelo maquinista e a velocidade a qual o motor primário está girando.

A potência de tracção da locomotiva, assim como sua velocidade é controlada pelo maquinista usando uma chave de pontos que produz sinais eléctricos correspondente à posição do acelerador. As locomotivas norte-americanas, tais como as fabricadas pela EMD e General Electric, possuem 9 posições de ponto, 1 neutra e 8 de potência (assim como em uma emergência, o neutro interrompe a potência). Muitas locomotivas britânicas possuem 10 posições de ponto. As posições são referidas frequentemente por grupos como "run 3" ou "notch 7" por exemplo.

Quando o acelerador (ponto) está em posição neutra, o motor primário irá receber um mínimo de combustível, fazendo com que rode em marcha lenta. Também, os motores de tracção não estarão conectados ao gerador principal e os enrolamentos de campo do gerador não estão excitados (energizados) - o gerador não irá produzir electricidade se não estiver excitado.

Consequentemente a locomotiva estará parada. Conceitualmente, equivale a um automóvel com a transmissão em neutro e o motor em funcionamento.

Para colocar a locomotiva em funcionamento, primeiramente a alavanca reversora é colocada manualmente na posição desejada (para frente ou para trás). Os freios então são liberados e o acelerador é movido para a posição 1 (ponto 1). Isto causará a conexão dos motores de tracção ao gerador principal no mesmo momento que as bobinas de campo do gerador serão excitadas. Entretanto, isto não aumentará o rpm do motor primário. Com excitação aplicada, o gerador principal irá enviar electricidade para os motores de tracção. Se a locomotiva estiver sem carga (sem vagões acoplados) e não estiver em uma subida ela irá acelerar facilmente. Por outro lado, se ela estiver começando a puxar um longo trem, a locomotiva tende a logo parar (conforme a rotação dos motores de tracção aumenta, sua força diminui proporcionalmente), pois o arrasto imposto pelo trem excede a força de tracção desenvolvida. O maquinista então irá avançar o acelerador (pontos) a fim de manter o ritmo da aceleração.

Como o acelerador está sendo movido para pontos de maior potência de tracção, o consumo de combustível do motor primário irá aumentar resultando no correspondente aumento de rpm e potência de saída. Ao mesmo tempo, a excitação de campo do gerador principal será proporcionalmente aumentada para absorver o aumento da potência do motor primário. Isto traduzirá no aumento da saída eléctrica para os motores de tracção, com o correspondente aumento da força de tracção. Eventualmente, dependendo das exigências do trem, o maquinista deverá mover a posição do acelerador para a potência máxima de tracção e manter lá até que o trem atinja a velocidade desejada.

A transmissão eléctrica de uma locomotiva é projectada a fim de produzir força máxima na partida. Isso explica como modernas unidades são capazes de partir com trens pesando acima das 15.000 toneladas, às vezes em subidas. Actualmente, modernas unidades podem desenvolver força de tracção igual a 30% do seu peso. Consiste que se tais unidades produzirem mais força de tracção do que o suficiente poderia danificar ou descarrilar os vagões (se em curva) ou quebrar os engates.

2.2.1.3. Operação do sistema de operação

Como explicado previamente, o sistema de controlo de uma locomotiva é projectado de modo que a saída do gerador principal em qualquer velocidade em que gire seja constante e combinado com a potência máxima produzida pelo motor primário nesse rpm. Devido a características inatas aos motores de tracção, assim como a maneira em que estes estão

conectados ao gerador principal, o gerador irá produzir alta corrente e baixa tensão quando a locomotiva estiver em baixa velocidade e gradualmente mudando para baixa corrente e alta tensão para quando a locomotiva estiver em velocidades mais elevadas. Conseqüentemente, a potência líquida produzida pela locomotiva permanecerá constante independentemente da posição do acelerador.

O governador do motor primário e um dispositivo chamado regulador de carga (LR) têm um papel fundamental no sistema de controlo. O governador possui 2 entradas externas: o verificador da velocidade do motor diesel, determinado pela aceleração do maquinista e a velocidade real do motor. O governador possui ainda 2 saídas externas: o ajuste do injector de combustível, o qual determina o consumo de combustível e o posicionamento do regulador de carga (LR), o qual influi na excitação do gerador principal. O governador também incorpora um mecanismo de protecção de sobre-velocidade, o qual irá cortar imediatamente o combustível para os injectores no evento de o motor primário exceder um limite definido de rpm.

O LR é essencialmente um grande potenciómetro que controla a potência de saída do gerador principal pela variação da excitação do campo e o grau de carga aplicado ao motor primário. O trabalho do LR é relativamente complexo devido ao fato de a potência do motor primário ser proporcional a sua rpm e a saída do gerador principal não ser.

Como a carga do motor primário muda, também a velocidade de rotação tende a mudar. Isso é detectado pelo governador via uma mudança na velocidade do sinal (feedback). Tendo como efeito o ajuste no consumo de combustível e o reposicionamento do LR. Conseqüentemente, o rpm e o torque do motor primário irão permanecer relativamente constante, não obstante a velocidade real do trem.

A performance dos motores de tracção é controlada variando a tensão de saída CC do gerador principal para os motores CC. Os motores de tracção CC são conectados através do gerador principal na configuração série, isto é, as bobinas de campo do motor são ligadas em série com as bobinas da armadura, geralmente 2 motores em série um com o outro. Deste modo, a potência de saída do gerador principal é inicialmente baixa tensão/alta corrente, frequentemente excedem 1000 amperes por motor quando em plena potência. Quando a locomotiva está parada ou está próxima da paralisação o fluxo da corrente será limitado apenas pela resistência eléctrica do bobina e a interconexão dos circuitos, assim como a capacidade do próprio gerador. O torque do motor CC série é aproximadamente

proporcional ao quadrado da corrente. Então os motores de tracção irão produzir altíssimo torque de partida, permitindo à locomotiva superar a inércia do trem.

Tal como a locomotiva acelera, a rotação da armadura do motor irá começar a gerar uma EMF (força electromotriz de retorno, em que o motor começa a actuar como gerador), o qual irá se opor a saída do gerador e causar redução na corrente dos motores. A tensão do gerador principal irá aumentar correspondentemente em uma tentativa de manter a potência dos motores de tracção, mas irá eventualmente alcançar um nível plano. A partir desse ponto, a locomotiva irá cessar a aceleração, iniciando uma perda no esforço de tracção. Como forma de se evitar isso, deve-se mudar algumas características da tracção para continuar o processo de aceleração. Esta mudança é chamada de "transição". Um processo análogo à mudar as marchas em um automóvel.

2.2.1.4. Frenagem Dinâmica

Um recurso comum nas locomotivas diesel-elétricas é a frenagem dinâmica.

A frenagem dinâmica aproveita-se do fato que a armadura dos motores de tracção, sempre que a locomotiva estiver em movimento, eles também está, independentemente de estar em aceleração plena ou em uma severa frenagem. Na frenagem dinâmica, o motor de tracção actua como um gerador pela excitação separada da bobina de campo. Quando isso acontece, os circuitos de controle de tracção são configurados desse modo:

- A bobina de campo de cada motor de tracção é conectada ao gerador principal;
- A armadura de cada motor de tracção é conectada em uma grade de resistência resfriada a ar (grade do freio dinâmico);
- A velocidade rotacional do motor primário aumentará e o campo do gerador principal será excitado, causando correspondente excitação do campo dos motores de tracção.

Isto fará com que cada motor de tracção gere energia eléctrica que será dissipada através de calor na grade do freio dinâmico por um ventilador. Este accionado por um motor que é directamente conectado à saída dos motores de tracção. Consequentemente, quanto mais energia é aplicada à grade, mais rápido o ventilador irá girar.

Como os motores estarão fornecendo energia, produzirão uma força contrária ao fluxo da corrente (Lei de Lenz) que irá impor arrasto e consequentemente frear a locomotiva. A

frenagem dinâmica é particularmente benéfica quando opera em regiões montanhosas, onde há sempre o perigo de super aquecimento dos freios a ar durante a descida. Em vários casos a frenagem dinâmica é aplicada em conjunto com os freios a ar, referida como frenagem mista.

2.2.2. Classificação das Locomotivas

É comum classificarem-se as locomotivas conforme os seus meios de propulsão; os mais comuns incluem:

1. Locomotivas a vapor

As primeiras locomotivas apareceram no século XIX, eram propulsionadas por motores a vapor e foram, sem dúvida, o mais popular até o final da Segunda Guerra Mundial. No Brasil eram chamadas popularmente como "**Maria-Fumaça**", em virtude da densa nuvem de vapor e fumaça produzidas quando em movimento. A primeira locomotiva a vapor foi construído por **Richard Trevithick** e fez o seu primeiro percurso em 21 de Fevereiro de 1804, no entanto, muitos anos passaram até que se tornassem num meio de transporte prático e economicamente viável. O recorde absoluto de velocidade de uma locomotiva a vapor foi obtido na Inglaterra, quando a velocidade de 203 km/hora num percurso ligeiramente inclinado. Velocidades semelhantes foram também atingidas na Alemanha e nos Estados Unidos. Fonte: estrada de Ferro Parana oeste S.A. (25/11/2015)

Figura 11: Locomotivas A vapor



Fonte: Estrada de Ferro Parana Oeste S.A. (25/11/2015)

2. Locomotiva Diesel-Mecânica

As locomotivas a diesel diferem na forma como a energia é transmitida do motor às rodas. A forma mais simples é a transmissão por caixa de velocidades, como a usada nos automóveis. Locomotivas que usam este sistema chamam-se **diesel-mecânicas**.

Locomotivas diesel-mecânicas estão entre as mais antigas tentativas de utilização do motor a combustão interna no transporte ferroviário. Muitos velhos fabricantes de máquinas a vapor arriscaram-se, quase sempre sem êxito nesta modalidade de tracção. Diesel-mecânicas apresentam problemas na transmissão no momento da troca da relação de velocidades (marcha) da caixa, que não suporta o elevadíssimo atrito entre os dentes das engrenagens e se partem ou, na melhor, desgastam-se muito rapidamente, além de desintegração das cintas de bloqueio que efectuam as trocas, vários fabricantes de diversas partes trabalharam tipos diferentes de transmissão visando anular ou pelo menos minimizar os problemas de desgaste e quebras, quase sempre em vão. Fonte: estrada de Ferro Parana oeste S.A. (25/11/2015)

3. Locomotiva Diesel-eléctrica

Em uma locomotiva **diesel-eléctrica** o motor primário diesel acciona um gerador eléctrico que irá transmitir a potência para os motores de tracção. Não existe conexão mecânica entre o motor primário e as rodas de tracção. Conceitualmente, este tipo de locomotiva é um veículo híbrido, que incorpora sua própria estação geradora, feita para operar em áreas em que a estrada de ferro não é electrificada.

Importantes componentes da tracção eléctrica são o **motor primário** (motor diesel), **gerador principal** (ou gerador de tracção, que actualmente é um alternador), **motores de tracção** e o sistema de controlo que consiste no governador do motor diesel, regulador de carga e o chaveamento (disjuntor) dos motores de tracção. Em princípio, a electricidade de saída do gerador é directamente enviada do disjuntor para os motores de tracção, que são mecanicamente acoplados às rodas via engrenagens de redução.

Originalmente os motores de tracção e o gerador principal são máquinas CC. Seguindo o desenvolvimento de rectificadores de alta capacidade nos anos 60, o gerador CC foi substituído por um alternador usando ponte de diodo para rectificar a saída para CC. Isto

aumentou a confiabilidade das locomotivas e minimizou os custos de manutenção pela eliminação do comutador e escovas. A eliminação das escovas e comutador, por sua vez, resolveu um tipo de evento particularmente destrutivo relacionado a faiscamento, que constantemente causa falha imediata do gerador e, em alguns casos, início de incêndio na casa de máquinas. Fonte: Estrada de Ferro Parana Oeste S.A. (25/11/2015)

Figura 12: Locomotiva Diesel-eléctrica



Fonte: Estrada de Ferro Parana Oeste S.A. (25/11/2015)

4. Locomotiva Diesel-hidráulica

Uma locomotiva diesel-hidráulica utiliza uma transmissão hidráulica para enviar a potência do motor diesel para as rodas. Neste tipo de locomotiva, é utilizado um dispositivo chamado "conversor de torque". Um conversor de torque consiste, de modo geral, de 3 partes, sendo 2 rotativas e 1 fixa. Todas essas 3 partes são seladas em uma carcaça cheia de um fluido (óleo).

Uma das partes rotativas se chama "bomba centrífuga" (ou impulsor), e a outra parte é chamada de "turbina" (ou roda accionada). Entre essas 2 partes encontra-se a parte fixa, o "estator" (ou roda fixa guia). Todas as 3 partes possuem lâminas para direccionar o fluxo do óleo.

A bomba centrífuga é directamente ligada ao motor diesel e a turbina é ligada a um eixo que através dele irá accionar as rodas. Como a rotação do motor diesel faz girar a bomba centrífuga, o óleo é forçado através das lâminas do estator e então através das lâminas da turbina, o qual causará rotação que irá accionar as rodas. O óleo é bombeado através do circuito repetidamente.

A disposição das aletas guia permite que o conversor actue como uma caixa de velocidade continuamente variável. Se a carga no eixo de saída for grande, a velocidade de rotação cai, e

o torque aplicado ao eixo aumenta proporcionalmente mas a potência aplicada pelo conversor permanece mais ou menos constante.

Entretanto, a escala de variação do conversor não é suficiente para que a velocidade de rotação do motor leve a locomotiva a velocidades mais altas. Assim sendo, alguns métodos adicionais são requeridos para dar escala suficiente. Um método é o conversor de torque ser acompanhado de uma caixa de velocidades que irá trocar a escala automaticamente, similar à transmissão automática em um carro. Outro método é fornecer vários conversores de torque, cada um com uma escala de variação, cobrindo o total exigido; todos os conversores estão mecanicamente conectados o tempo todo, e no momento apropriado para cada variação de velocidade exigida, um é seleccionado por enchimento de óleo enquanto os outros são drenados. O processo de enchimento e drenagem é realizado com a transmissão sob carga, o que resulta em mudanças de escala muito "lisas", sem interrupção na transmissão de potência.

Fonte: Estrada de Ferro Parana Oeste S.A. (25/11/2015)

5. Locomotiva Diesel-hidrostática

Outra forma de transmissão empregada em locomotivas providas de motor diesel é o sistema hidrostático. Locomotiva diesel-hidrostática é também um tipo de locomotiva hidráulica. Locomotivas diesel-hidráulica convencionais, munidas de conversor de torque, por sua vez são máquinas com transmissão hidrodinâmica. Em uma locomotiva diesel-hidrostática, o motor diesel accionadirectamente uma bomba hidráulica, tal como o motor de uma locomotiva diesel-eléctrica acciona um gerador eléctrico.

Este tipo de locomotiva não foi tão comum devido principalmente a baixa capacidade de potência da transmissão e problemas de super aquecimento do fluido quando sob grande solicitação. Entretanto, foi muito empregada em linhas industriais como opção às máquinas diesel-mecânicas e, principalmente em minas subterrâneas, pois podem ser construídas muito menores que outras máquinas equivalentes. Entre sua principais vantagens estão o seu baixo custo, baixo peso, ausência caixa de velocidades e praticamente isenta de manutenção.

O sistema hidrostático é muito comum no nosso quotidiano. Está presente, por exemplo, na direcção hidráulica de automóveis, em que o motor do próprio carro gira uma pequena bomba que pressiona o fluido para o pequeno motor hidráulico instalado na cremalheira da barra de direcção. Por este motivo, quando o motor está desligado, a direcção fica "dura". Fonte: Estrada de Ferro Parana Oeste S.A. (25/11/2015)

6. Locomotiva Gás turbina-eléctrica

Uma locomotiva gás turbina-eléctrica, ou GTEL (Gás Turbine-Electric Locomotive), utiliza uma turbina de combustão interna tipo turboshaft para accionar através de engrenagens de redução um gerador eléctrico ou alternador. A corrente eléctrica produzida é utilizada para alimentar seus motores eléctricos de tracção que irão movimentar a locomotiva, exactamente como em uma diesel-eléctrica. Este tipo de locomotiva foi primeiramente experimentado nos anos de 1920, alcançando seu pico de desenvolvimento entre 1950 e 1960.

Uma turbina apresenta algumas vantagens sobre um motor a pistão. O número de partes móveis é muito menor, consequentemente é mais leve e menor para a mesma potência de saída, fazendo com que a relação peso/potência seja muito favorável. Entretanto, sua potência de saída e eficiência cai drasticamente em baixas velocidades de funcionamento, diferentemente de um motor a pistão, que possui uma curva de potência compativelmente mais plana. Turbinas são muito ruidosas e também consomem muito combustível, principalmente quando estão em baixas velocidades. Fonte: Estrada de Ferro Parana Oeste S.A. (25/11/2015).

7. Locomotiva Eléctrica

Figura13: Locomotiva Eléctrica



Fonte: Estrada de Ferro Parana Oeste S.A. (25/11/2015)

Locomotiva eléctrica Wintenthur-Brown Boveri fornecida em 1929 a Companhia Paulista, com rodagem 1-D-1 e potência 2520 (HP) - nº 320.

As locomotivas eléctricas são alimentadas externamente, seja por meio de catenárias ou por um terceiro carril. Embora o custo de electrificação de uma linha seja muito dispendioso, a operação dos comboios eléctricos é significativamente mais barata do que os movidos a diesel, isto para além de terem uma capacidade superior de aceleração e de travagem, o que os torna ideais para o transporte de passageiros em zonas populacionais densas. Fonte: Estrada de Ferro Parana oeste S.A. (25/11/2015)

CAPITULO III – METODOLOGIA APLICADA

3.1. Métodos de pesquisa

- A realização da pesquisa foi feita através de um **estudo de caso**.

O estudo de caso é a “*pesquisa que se encontra no estudo de um caso particular, considerado representativo de um conjunto de casos analógicos, por ele significativamente representativo*”. SEVERINO (2007)

- Para atingir os objectivos propostos no presente estudo, a autor serviu-se do **método indutivo**.

“*Indução consiste num processo mental pelo qual, partindo de dados particulares, suficientemente constatados, infere – se uma verdade geral ou universal, não contida nas partes examinadas. Portanto, o objectivo dos argumentos indutivos é levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que nas premissas nas quais se baseiam*”. MARCONI e LAKATOS (2005).

3.1.1. Tipo de pesquisa

- A pesquisa apresentou uma abordagem **qualitativa**,

Na pesquisa qualitativa “*há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objectivo e subjectividade do sujeito, que não pode ser traduzido em números*”. GIL (2002).

- Quanto a colheita de dados a pesquisa usada foi **Pesquisa de campo**, pós o autor foi pessoalmente a realidade, estudar e colectou directamente os dados.

A pesquisa de campo “*consiste na observação de factos e fenómenos tal como ocorrem espontaneamente, na colecta de dados a eles referentes e no registo de variáveis que se presume relevantes, para analisa-los*” (MARCONI; LAKATOS, 2011, p.69)

- Quanto aos objectivos gerais a pesquisa é do tipo **pesquisa exploratória**,

As pesquisas exploratórias “*têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vista a torna-lo mais explícito ou a construir hipóteses*”. GIL (2010)

Quanto aos métodos aplicados:

3.1.1.2. Pesquisas Bibliográficas

A pesquisa bibliográfica “*é aquela que é elaborada com base em material já publicado*”. GIL (2010).

3.1.1.2.1. Pesquisas documentais

A pesquisa documental é “*muito semelhante a pesquisa bibliográfica mais que a sua principal diferença está na natureza das fontes, que a pesquisa bibliográfica é elaborada por autores com o propósito de ser lido por públicos específicos enquanto a pesquisa documental é todo tipo de documento, elaborados com finalidades diversas e quer estes tenham tratamento científico ou não*”. GIL (2010)

3.1.1.2.2. Observação

“*A observação é uma técnica de recolha de dados para conseguir informações e utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Não consiste em ver e ouvir, mas também em examinar factos ou fenómenos que se chega a estudar*”. MARCONI e LAKATOS (2001).

A escolha desta técnica deve-se, por um lado, ao facto de este adequar-se ao tipo de pesquisa realizada e, por outro, permite a colecta de dados em qualquer situação como por exemplos em realização de um estágio profissional na empresa Corredor de Desenvolvimento do Norte, no Departamento de Manutenção de Locomotivas, com uma duração de 3 meses.

Para a persecução deste trabalho, foram realizadas algumas consultas de literaturas, entrevistas aos vários profissionais (Engenheiros, técnicos e operários especializados) que têm tido um contacto directo e frequente com os equipamentos.

3.1.2. Instrumento de colecta de dados

O levantamento de dados realizou-se através de documentos.

“*É toda forma de registo e sistematização de dados, informações colocando-os em condições de análises por parte do pesquisador*” Severino (2007). Os documentos analisados serão: O uso de alguns manuais, livros, mímicos (diagramas que ilustram a sequência de

funcionamento de sistemas da central e barragem) e esquemas eléctricos da Locomotiva, que descrevem com detalhes os serviços auxiliares.

A participação em algumas actividades de manutenção dos equipamentos, foi também uma ferramenta importantíssima para elaboração do relatório.

3.2.3.1. Entrevista

De acordo com Gil (1999C, p. 116), *“a entrevista é uma das técnicas de colecta de dados mais utilizadas no âmbito das ciências sociais, psicólogos, sociólogos pedagogos assistentes sociais e praticamente todos outros profissionais que tratam de problemas humanos valem-se dessas técnica não apenas para colecta de dados, mas também com objectivos voltados para diagnóstico e orientação”*.

3.2.3.2. Observação

“A observação é uma técnica de recolha de dados para conseguir informações e utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Não consiste em ver e ouvir, mas também em examinar factos ou fenómenos que se chega a estudar”. MARCONI e LAKATOS (2001).

Esta técnica foi uma das principais para a colheita de dados para esta pesquisa, porque ela nos permitiu ir ate ao local (na Empresa CDN) da ocorrência dos factos que nos motivou a fazer este trabalho, bem como de vivenciarmos os fenómenos dia após dia.

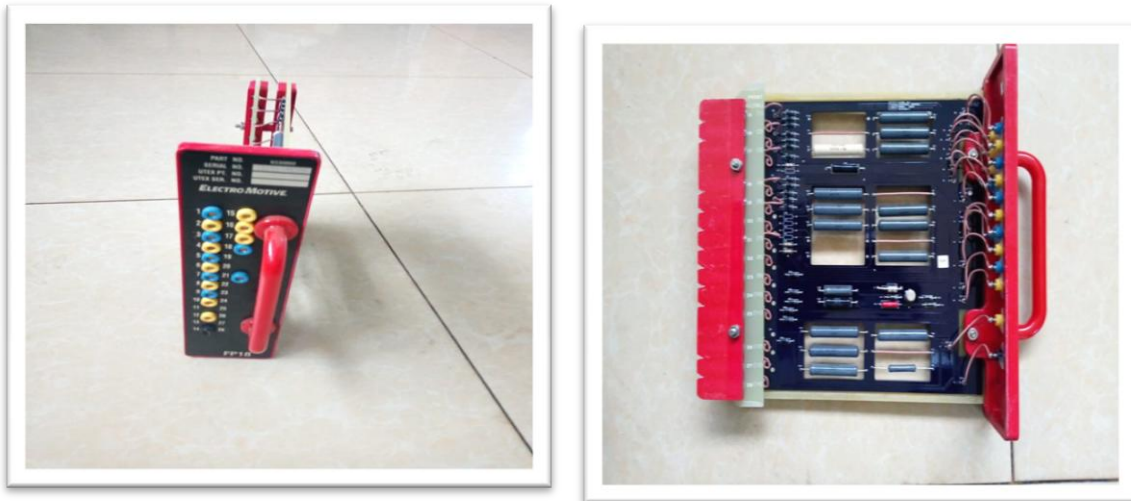
A escolha desta técnica deve-se, por um lado, ao facto de este adequar-se ao tipo de pesquisa realizada e, por outro, permite a colecta de dados em qualquer situação como por exemplos em realização de um estágio profissional na empresa Corredor de Desenvolvimento do Norte, no Departamento Manutenção de Locomotivas, com uma duração de 3 meses.

CAPITULO IV: ANÁLISE E DISCUSSÃO DE DADOS

4.1. Módulos

O sistema de controlo desta locomotiva é feita por meio de módulos como já foi dito anteriormente, módulos são placas electrónicas cujo cada um deles tem sua função.

Figura 14: módulo Fp18



Fonte: Autor (CDN-2019)

- **Módulo AN**

É o módulo anunciador, recebe sinais de vários equipamentos de deteção de falhas. Quando um sinal de falha é recebido, a lâmpada correspondente à falha acende e permanece acesa mesmo motores, abrindo o circuito de campo ou o circuito de controle defeituoso.

- **Módulo DR**

Limita a corrente dos resistores pela redução da saída do módulo RC, quando o sinal dos resistores indica corrente máxima permissível nestes.

- **Módulo DG**

Protege contra falhas no soprador das resistências do freio dinâmico.

- **Módulo DP**

Primeira função - protege contra falhas do módulo DR ou do circuito de controle;

Segunda função – protege contra aquecimento do campo.

- **Módulo EL**

Limita a corrente do campo do gerador, interrompendo a alimentação do EQP.

- **Módulo FP18**

A função principal do módulo de controlo de desempenho FP18 é proporcionar sinais de realimentação. Estes sinais de realimentação são indicativos da voltagem e corrente de saída do gerador principal. Eles são utilizados pelo circuito de controlo de excitação do campo do gerador principal para aumentar ou diminuir a corrente de campo, conforme necessário.

- **Módulo GV**

Limita a voltagem máxima de saída do gerador principal a 1200 volts. Esta regulagem é providenciada pela modulação do sinal de controlo pelo SENSOR, no caso da voltagem de saída do gerador principal elevar-se acima de 1200 volts. A diminuição do sinal de controlo para o SENSOR resulta numa diminuição da excitação ao campo do gerador principal e uma diminuição correspondente na voltagem de saída do gerador principal.

- **Módulo GX**

O sistema de regulagem de excitação do gerador consiste através do módulo GX de regulagem de excitação e um transdutor de corrente de campo FCT1 e FCT2 que proporciona um sinal de entrada ao módulo GX. Este sinal é proporcional à corrente de campo do gerador principal e a corrente de campo é relacionada com a corrente de saída.

- **Módulo RC**

Fornece uma tensão de referência ao regulador de carga com um aumento controlado.

- **Módulo SE**

Emitte pulsos de tensão para disparar o SCR em intervalos determinados pela corrente de bobina de controlo.

- **Módulo TH**

Fornecer uma tensão rigorosamente regular (68Vcc) ao terminal 10 para ser usado como referência

- **Módulo VR**

Regula a tensão do gerador auxiliar em (74Vcc), controlando corrente de campo do gerador auxiliar.

- **Módulo WS**

Corrigir a tensão de referência, actua areeiros e também a lâmpada de deslizamento de rodas e o Solenóide ORS.

4.2.Elementos de produção e transporte da energia produzida pela Locomotiva.

- **Baterias**

Esta Locomotiva é composta por 8 baterias, cujo cada tem 8V e 380Ah, ligadas em série, elas são responsáveis por alimentarem os motores de arranque.

Figura15: Baterias



Fonte: Autor (CDN-2019)

- **Motores de arranque**

O sistema consiste de dois motores de partida com sistema de embriagem para serviços pesados, com controlo e fiação eléctrica associados. Os dois motores de partida estão montados um sobre o outro e aparafusados a um conjunto suporte, o qual, por sua vez, está fixo à chapa da extremidade traseira do motor. O ponteiro indicador do volante está aparafusado à face deste conjunto suporte.

Figura16: Motores de partida



Fonte: Autor (CDN-2019)

- **Motor Diesel**

É uma máquina mecânica de 2 tempos, com 16 cilindros e tem uma rotação máxima de 900 rpm e mínima de 315 rpm., esta máquina é responsável pelo accionamento dos grupos geradores (Gerador Auxiliar, Alternador D14, Alternador AR10, etc.) por meio de engrenagens.

Figura17: Motor Diesel



Fonte: Autor(CDN-2019)

- **Gerador auxiliar**

Toda a electricidade de corrente contínua de baixa voltagem necessária durante a operação da locomotiva é proveniente do gerador auxiliar, esta corrente é usada para a excitação do alternador D14, bem como para energizar os circuitos de controlo e accionamento do quadro de comando eléctrico. O gerador auxiliar é uma máquina auto-excitada que usa um magnetismo residual para a excitação inicial.

Figura18: Gerador Auxiliar



Fonte: AUTOR (CDN-2019)

- **Alternador Companheiro**

O alternador D14 é fisicamente ligado, porém electricamente independente ao alternador ARIO. O rotor (campo) do D14 é excitado pela corrente de baixa voltagem que recebe do gerador auxiliar de corrente contínua, através de um par de anéis deslizantes, adjacentes aos anéis deslizantes do ARIO. Com excepção de um fusível de protecção, não existem controlos no circuito de excitação do D14; assim, o alternador será excitado e desenvolverá energia sempre que o motor diesel estiver funcionando. A voltagem de saída irá variar com a rotação, temperatura do alternador e carga. Nominalmente, sua saída é de 215 volts com o motor funcionando com rotação máxima de 900 rpm.

- **Alternadores trifásicos (GP)**

É um gerador de corrente alternada trifásica, com frequência e tensão variável e composto fundamentalmente por dois circuitos:

a) Circuito de campo - Rotor - Parte rotativa

O circuito de campo consiste de um conjunto de bobinas, denominadas de bobinas de campo, previamente enroladas em pólos salientes de ferro silício laminado, fixados sobre estrutura do rotor. Por esse motivo a parte rotativa é chamada de rotor de pólos salientes. As bobinas de campo são ligadas em série de modo que os pólos salientes sejam polarizados magneticamente de forma alternada (pólo norte – pólo sul).

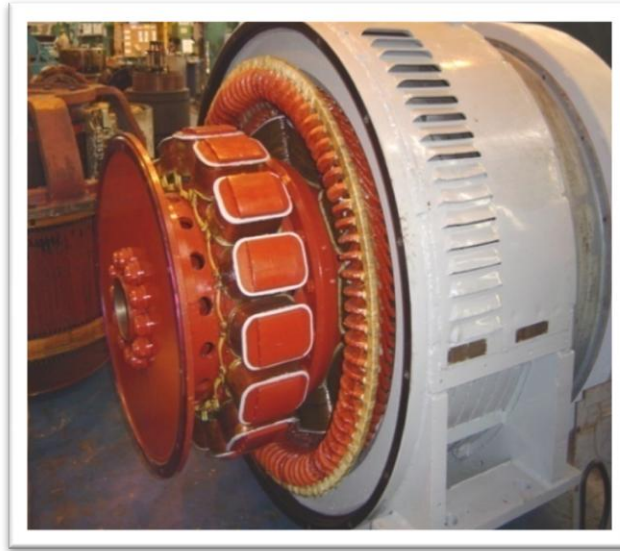
b) Circuito de armadura -Estator - Parte estacionária

O circuito de armadura é composto por três enrolamentos idênticos, simetricamente distribuídos a 120° mecânicos entre si sobre um núcleo de ferro silício laminado fixado à carcaça, e ligados em Y (estrela). Para cada ponto de aceleração, o motor diesel da locomotiva mantém constante uma rotação predeterminada. Quanto mais alto o ponto de aceleração, mais rápido o motor diesel irá girar o rotor do alternador. A medida que o rotor do alternador é girado pelo motor diesel na rotação correspondente a um dado ponto de aceleração, o fluxo magnético desenvolvido pelas bobinas do circuito de campo induz uma tensão alternada em cada um dos três enrolamentos do circuito de armadura.

A frequência da tensão alternada induzida nos enrolamentos do circuito de armadura é directamente proporcional a rotação do motor diesel. Mantida a rotação do motor diesel constante, as três tensões alternadas induzidas têm a mesma frequência e igual valor eficaz, mas estão desfasadas entre si de 120° eléctrico, como mostrado na amplitude das tensões dos enrolamentos da armadura em cada ponto de aceleração do motor diesel, depende directamente da variação da intensidade da corrente do circuito de campo, chamada de corrente de campo. Aumentando ou reduzindo a corrente de campo, podemos respectivamente aumentar ou reduzir o fluxo magnético. A variação da corrente de campo é conseguida pela variação de uma tensão DC, denominada tensão de excitação, que é aplicada ao circuito de campo rotativo através dos anéis colectores, que estão montados na extremidade livre do eixo do rotor.

A saída dupla para o estator do gerador é suprida a dois conjuntos de rectificadores refrigerados a ar na caixa-de-ar que é parte integral do gerador principal ARIO. Os conjuntos de rectificadores consistem de doídos de silício de alta potência. O Rectificador dispõe de fusíveis ultra-rápidos que desconectam automaticamente os doídos avariados por sobrecarga ou por sobre temperatura, caso haja deficiência no sistema de arrefecimento.

Figura19:AR10 E D14



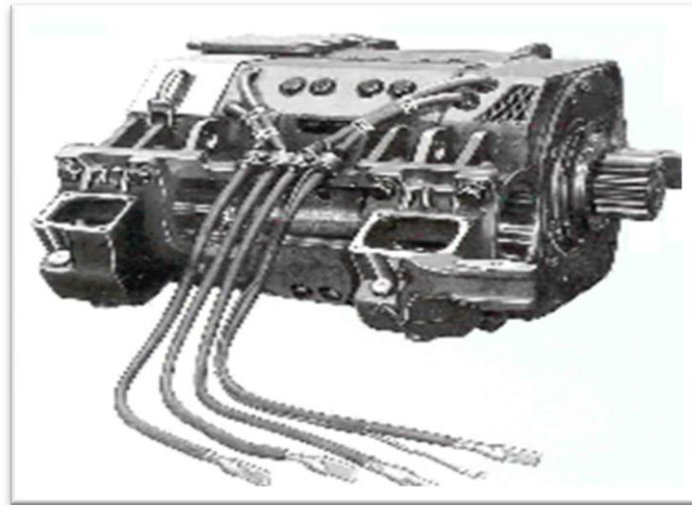
Fonte: Autor(CDN-2019)

- **Motores de tracção**

Os motores eléctricos de tracção são máquinas eléctricas que convertem a energia eléctrica em energia mecânica para movimentar a locomotiva. A energia eléctrica é fornecida ao motor na forma de corrente contínua (motor de tracção DC) ou na forma de corrente alternada (motor de tracção AC). A energia mecânica é disponibilizada pelo motor na ponta de seu eixo.

A potência eléctrica do gerador principal é distribuída aos motores de tracção, montados nos truques. Cada motor é engrenado a um par de rodas. Os motores eléctricos de tracção, normalmente um em cada eixo, são máquinas que convertem a energia eléctrica em energia mecânica para o movimento da locomotiva. Devem ser do tipo blindado e são caracterizados pela construção compacta e pelo volume reduzido, pois o espaço disponível para eles é sempre muito limitado.

Figura20: Motor de Tracção



Fonte: <https://cdn.hackday.io>. (2019)

Figura21: Rodado



Figura: Autor (CDN-2019)

A transmissão do movimento do motor para as rodas é efectuada por meio de um par de engrenagens cilíndricas, denominadas de engrenagem e pinhão. A transmissão do movimento do motor para as rodas é efectuada por meio de um par de engrenagens cilíndricas, denominadas de pinhão e engrenagem.

Figura 22: Pinhão e Engrenagens



Fonte: <https://cdn.hackday.io>.(2019)

4.3. Controlo da locomotiva

O sistema de controlo de excitação da potência é o elemento principal do sistema de produção de energia de uma locomotiva diesel-eléctrica, pois é ele que controla e comanda a capacidade do motor diesel, do gerador de tracção e dos motores de tracção, visando obter o melhor desempenho.

Um gerador auxiliar de corrente continua accionado pelo conjunto de engrenagens do motor proporciona nominalmente uma corrente de corrente contínua de 74V para as chaves de força e relés, sistemas de carregamento de baterias, iluminação e excitação do alternador D14.

A voltagem do gerador auxiliar é mantida automaticamente ao nível desejado através de um regulador de voltagem (módulo VR) que usa dispositivos transistorizados para controlar o nível de excitação do campo do gerador auxiliar. O regulador de voltagem estático também contém uma derivação que proporciona uma voltagem de referência extremamente estável para o circuito de controlo. Os circuitos de controlo utilizam relés, transdutores e componentes estáticos para desempenhar funções de controlo tais como, regulagem de voltagem do gerador principal, equilíbrio de sinal de retorno referência, controle de excitação, frenagem dinâmica, areiros e varias funções protectoras.

Entretanto, o regulador de carga é o principal dispositivo de controlo de potência, ele faz a modulação do sinal de referência de voltagem usado pelos circuitos de controlo, a fim de manter a potência em um nível relacionado a posição das cremalheiras dos injectores do motor diesel.

As demandas da potência do governador principal são mantidos através da variação do nível da corrente de excitação nas bobinas do campo de gerador principal, esta corrente proporcionada pelo alternador D14, é rectificadora através de um rectificador controlado que é disparado pelos circuitos de controlo, de modo que o valor necessário de excitação do gerador e passada pelo rectificador.

AC-DC \Rightarrow Gerador em corrente alternada + Motores em corrente contínua

4.4. Transferência eléctrica

Os motores de tracção são engrenados directamente a cada eixo montados nos truques da locomotiva. Os motores giram os eixos e as rodas para proporcionar a força de tracção da locomotiva. São motores de corrente contínua, de enrolamentos em série, que são usados para obter um alto esforço de tracção, juntamente com a capacidade de alta velocidade necessária para a capacidade da locomotiva. A potência do motor diesel é aplicada a um gerador principal denominado AR10, que consiste em um alternador de alta potência com um conjunto rectificador integrado que transforma a corrente alternada do gerador em corrente contínua requerida pelos motores. Esta corrente é transmitida para os motores através de cabos reforçados, contactores de potência e chaves de reversão. Os contactores de potência são equipados com protecção contra faíscas e são capazes de interromper correntes altas. Dispositivos de trava evitam que as chaves de reversão funcionem quando qualquer um dos contactores de potência estiver fechado.

O gerador principal da locomotiva e o sistema de controlo são projectados para desenvolver uma potência constante em uma dada velocidade de rotação. Isto é, a voltagem do gerador multiplicada pela corrente, resultar em uma potência (Watt). Consequentemente, quando a força electromotriz oferecida pelos motores de tracção é baixa, a voltagem do gerador é baixa e a amperagem é alta. Quando a força electromotriz é alta, a voltagem do gerador é alta e a amperagem é baixa. Quando em condições normais a resistência do motor de tracção é

determinada pela construção das bobinas do enrolamento do motor. A medida que os motores começam a girar, é desenvolvida uma força electromotriz.

Essa força aumenta a medida que a velocidade aumenta, e em velocidade moderada ou alta da locomotiva, a força electromotriz atinge um valor, tal que a voltagem do gerador se aproxima do limite máximo do gerador principal. Se a voltagem do gerador principal atingir o valor máximo, a saída da potência do gerador principal irá cair e a potência disponível do motor diesel não será utilizada e a velocidade da locomotiva poderá ser restringida

4.5. Sistemas de transmissão eléctrica

O sistema de tracção de uma Locomotiva diesel-eléctrica é composto por:

- **Motor Diesel**

O MD converte a energia química contida no óleo diesel em energia mecânica, sob a forma de um movimento de rotação do seu eixo virabrequim, e a entrega para accionamento do gerador de tracção. O Motor diesel e o gerador de tracção formam o conjunto do Grupo Motor-Gerador.

- **Gerador de tracção**

O Gerador de tracção converte a energia mecânica fornecida pelo motor diesel em energia eléctrica, para alimentar os motores eléctricos de tracção, denominados motores de tracção.

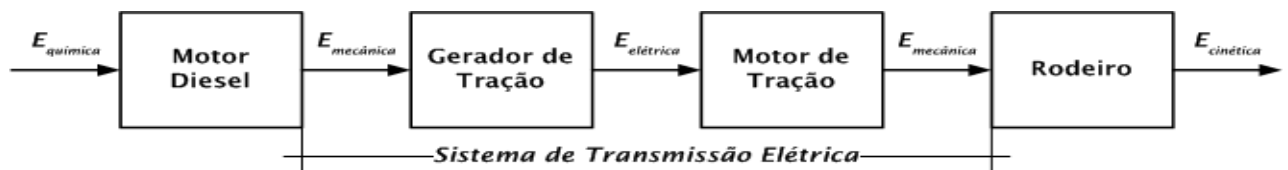
- **Motores de tracção**

Cada Motor de tracção converte a energia eléctrica fornecida pelo gerador de tracção em energia mecânica para impulsionar os rodeiros através de um conjunto de engrenagens.

- **Rodeiros**

Os rodeiros convertem a energia mecânica fornecida pelos motores de tracção na energia cinética que dá movimento ao trem.

Figura23: Sistema de Transferência Eléctrica



Fonte: <https://pt.m.wikipedia.org> (2019)

Como podemos observar, a transmissão da energia mecânica entregue na ponta do eixo virabrequim do motor diesel até os rodeiros da locomotiva é produzida por um sistema eléctrico composto por um gerador eléctrico que alimenta um grupo de motores eléctricos. O esforço de tracção desenvolvido por uma locomotiva diesel-eléctrica ideal deve ser mantido constante em toda a faixa de velocidade de sua operação, o que obriga o sistema de controlo do grupo motor-gerador a manter o motor de tracção operando com conjugado constante. A principal limitação para que esta condição seja obtida, está no fato de que o motor de tracção é incapaz de fornecer conjugado constante em toda a sua faixa de velocidade de operação.

A produção de um esforço de tracção constante faz com que o gerador de tracção solicite do motor diesel uma potência crescente com a velocidade. Assim, para um esforço de tracção constante elevado, na faixa de velocidades altas da locomotiva, o GP irá solicitar uma potência maior do que o MD é capaz de fornecer. Uma vez que o MD é a fonte primária de energia, isto é, é quem gera toda a energia necessária para o funcionamento do sistema de tracção, a energia eléctrica gerada pelo gerador de tracção nunca poderá ultrapassar a capacidade de produção do MD. Como isso é impossível de acontecer?

Na faixa de velocidades altas da locomotiva, o sistema de controlo do grupo motor-gerador mantém constante a potência a ser fornecida ao motor de tracção. A operação em potência constante produz um decréscimo contínuo do conjugado com o aumento da velocidade, diminuindo igualmente o esforço de tracção da locomotiva. A variação do conjugado em função da velocidade do motor de tracção pode ser controlada pela incorporação de características especiais no sistema de controlo do grupo motor-gerador, que é composto por duas malhas fechadas:

- Primeira malha - tem como elemento principal o motor diesel, e actua no sentido de manter a rotação do motor diesel constante no valor correspondente a cada um dos pontos de aceleração;

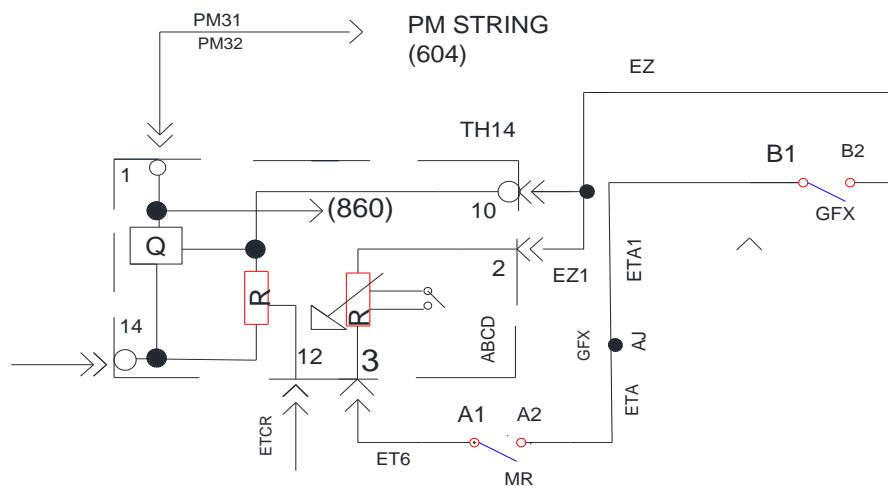
- Segunda malha na segunda malha, o gerador de energia é seu elemento principal, e a variável a ser regulada é a potência fornecida pelo gerador aos motores de tracção.

4.5. Análise do circuito de excitação no regime normal (Problematização)

$$\text{Potência do Gerador} = \frac{\text{Volts do Gerador Principal} * \text{Amperes do Gerador Principal}}{\text{Watts} - \text{ao Fator de Conversao de Potência}}$$

(O factor de conversão é de 700.Recomendado, devido as perdas)

Esquema 2: Circuito de entrada e saída do módulo TH14 antes da rectificação



Fonte: Autor (retirado no esquema da Locomotiva - 2019)

Observação:

O pino 1 é o positivo de alimentação do módulo;

O pino 14 é negativo do circuito do módulo;

O pino 13 é negativo do circuito de resposta de aceleração;

O pino 3 saída, tensão DC variável dos relés de resposta de aceleração;

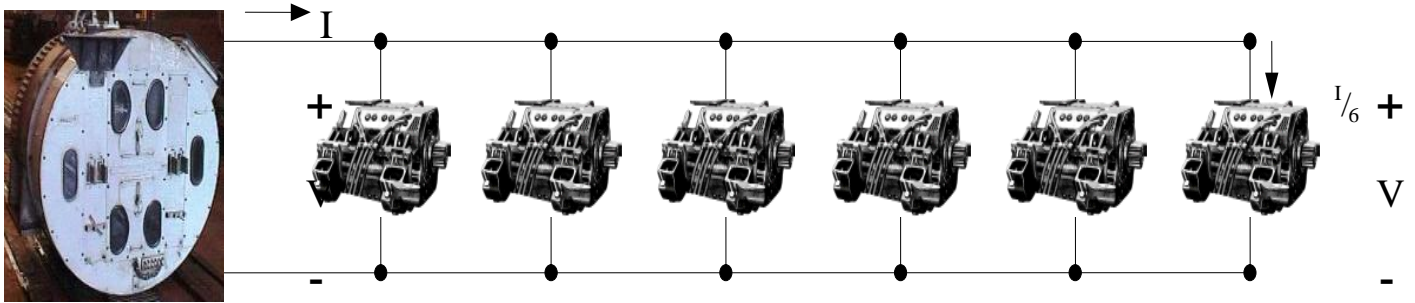
O pino 10saída 68 VDC do regulador de tensão.

Tabela 2: Valores de referência em funcionamento normal

Obs. os valores a baixos são aproximados							
Pontos de aceleração	Rotação do MD – rpm	TH14 pino 03	RC11 pino 03	RC11 pino 13	Regulador de carga pino 03	WS11 pino 13	Potência em HP
Marcha lenta	308 +/- 15	68	68				
1º	308 +/- 15	10.9	10.9	8.5	8.5	8.5	65
2º	390 +/- 15	21.6	21.6	16.2	16.2	16.2	270
3º	493 +/- 15	28.6	28.6	21.3	21.3	21.3	485
4º	570 +/- 15	35.6	35.6	25.5	25.5	25.5	750
5º	656 +/- 15	43.3	43.3	32	32	32	1175
6º	730 +/- 4	51.2	51.2	37.8	37.8	37.8	1,630
7º	838 +/- 4	61.4	61.4	45.2	45.2	45.2	2,205
8º	904 +/- 4	68	68	50	50	50	2700

Fonte: Autor (retirado no esquema da Locomotiva - 2019)

Figura 25:Ligação dos Mt. Tracção (com motores completos)



Fonte: Autor (<https://pt.m.wikipedia.org> – 2019)

A princípio o gerador produz cerca de 2700HP na sua rotação máxima (ponto 8 – 900 rpm.) e com 68 VCC na saída do módulo TH14 para a excitação do campo do AR10 e essa potência é distribuída para 6 motores que estão conectados electricamente em paralelo a este mesmo gerador, ora vejamos:

Potência admissível para cada motor:

2700 HP → 6 Mtrs Tracc

X → 1 Mtr Tr

$X * 6 \text{ Mtrs Tr} = 2700 \text{ HP} * 1 \text{ Mtr Tracc}$

$$X = \frac{2700 \text{ HP}}{6 \text{ Mtrs Tracc}}$$

$X = 450 \text{ HP/ Mtr Tracc},,$

4.6. Análise do circuito de excitação se for isolada um motor de tracção

A potência máxima permissível em cada motor de tracção é de 450HP segundo a análise feita anteriormente, mas se um motor estiver avariado por algum motivo, seja ela de natureza do seu desgaste, falha na manutenção ou um outro motivo, e o departamento de manutenção

decidir liberar a locomotiva nessa situação, com 5 (cinco) motores, sabendo que o gerador continuará a produzir a mesma potência de 2700HP, então teremos:

$$2700 \text{ HP} \rightarrow 5 \text{ Mtrs Tracc}$$

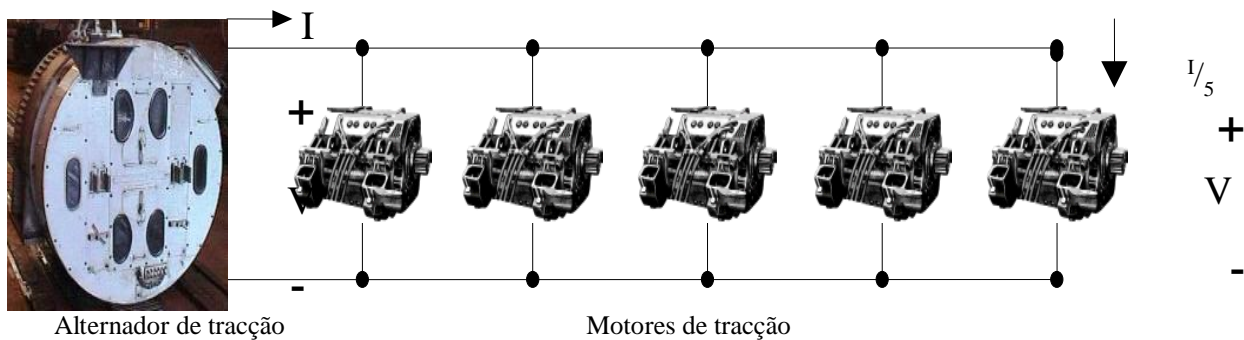
$$X \rightarrow 1 \text{ Mtr Tracc}$$

$$X * 5 \text{ Mtr Tracc} = 2700 \text{ HP} * 1 \text{ Mtr Tracc}$$

$$X = \frac{2700 \text{ HP}}{5 \text{ Mtrs Tracc}}$$

$$X = 540 \text{ HP/Mt. Tracc},,$$

Figura 24: Ligação dos Mt. dos tracção (com 5 motores)



Fonte: Autor (<https://pt.m.wikipedia.org> – 2019)

São cerca de 20% acima da potência permitida, neste caso os motores estarão subcarregados, no entanto é necessário, reduzir a potência do motor que foi isolado. Se o alternador produz 2700 HP para 6 motores de tracção, e 450 HP para cada motor, retirando um motor do circuito, seria necessário também que a potência deste motor seja decepada, com vista a não sobrecarregar os motores restantes.

$$P_{eq} = P_{total} - P_{Por\ mtr}$$

$$P_{eq} = 2700 - 450 \text{ HP}$$

$$P_{eq} = 2250 \text{ HP}$$

Nota: 2250HP é a potência aceitável no (8º) oitavo ponto de aceleração quando é isolado um motor de tracção.

Analisando a tabela dos valores de referência em funcionamento normal, veremos que 2250HP é aproximadamente a potência do (7º) sétimo ponto, o que quer dizer que a tensão de referência para a aplicação do sistema de redução de potência deve ser correspondente ao ponto de aceleração do (7º) e isso será possível se aplicarmos uma queda de tensão na saída do TH14 no pino 3.

4.7. Procedimento para realização da modificação de redução de potência

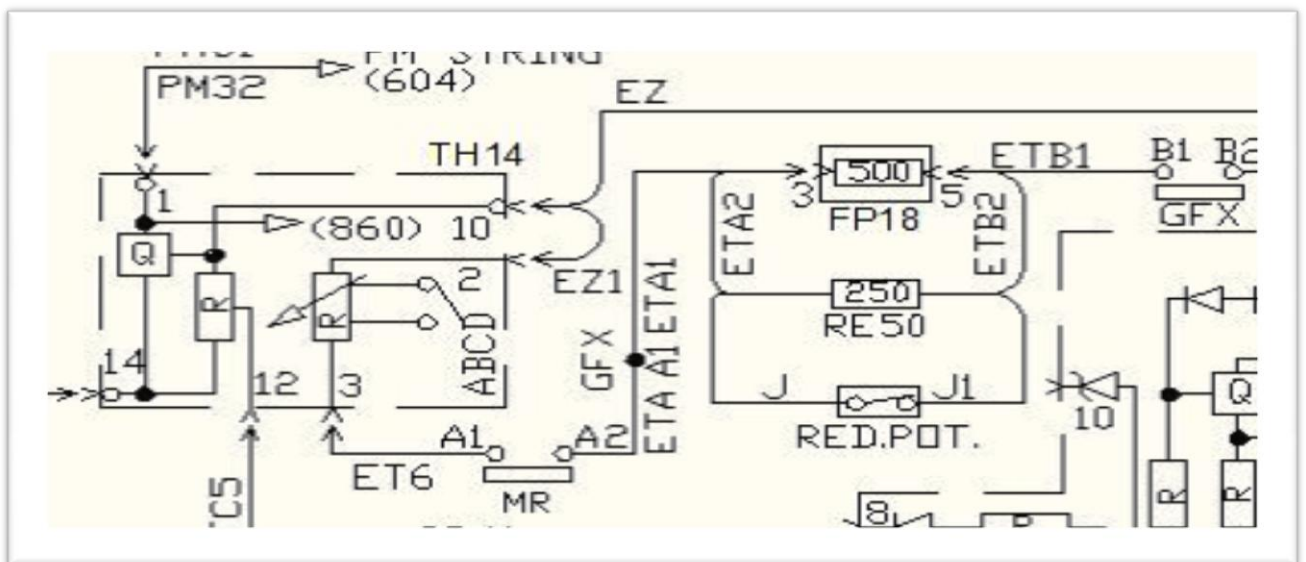
- Desligar a locomotiva, abrir a chave de bateria, soltar os parafusos de fixação do relé DGX (sem desconectar a fiação) e passar o suporte da chave de redução de potência para trás da base do relé DGX;
- Inserir e apertar os parafusos de fixação do relé DGX, fixando junto a base da chave de redução de potência;
- Criar as linhas J e J1 ligando o resistor de 250 Ω pelas extremidades;
- Retirar a linha ETA do contactor B1 do GFX e ligar no contactor A1 do GFX. Fazer uma linha ETA1 do contactor A1 do GFX para o pino 3 do módulo FP (comprimento 2,05m);
- Fazer uma linha ETB1 do contacto do GFX para o pino 5 do módulo FP (comprimento 2,05m);
- Fazer uma linha ETA2 e ligar do lado esquerdo do resistor de redução de potência ao pino 3 do FP (comprimento 2,05m);
- Fazer uma linha ETB2 e ligar do lado direito do resistor de redução de potência ao pino 5 do FP (comprimento 2,05m).

Tabela 3: Valores de referência em funcionamento normal

Obs. os valores a baixos são aproximados							
Pontos de aceleração	Rotação do MD rpm	TH14 pino 03	RC11 pino 03	RC11 pino 13	Regulador de carga pino 03	WS11 pino 13	Potência em HP
Marcha lenta	308+/-15	68	68				
1	308+/-15	9,3	9.3	6.2	6.2	6.2	42
2	390+/-15	10.9	10.9	8.5	8.5	8.5	65
3	493+/-15	21.6	21.6	16.2	16.2	16.2	270
4	570+/-15	28.6	28.6	21.3	21.3	21.3	485
5	656+/-15	35.6	35.6	25.5	25.5	25.5	750
6	730+/-4	43.3	43.3	32	32	32	1175
7	838+/-4	51.2	51.2	37.8	37.8	37.8	1,630
8	904+/-4	61.4	61.4	45.2	45.2	45.2	2205

Fonte: Autor (retirado no esquema da Locomotiva)

Esquema3: Circuito de entrada e saída do módulo TH14 após da rectificação



Fonte: Autor (retirado no esquema da Locomotiva)

CAPITULO V. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

5.1. Conclusão

Perante o desenvolvimento deste trabalho. Após muita análise de conteúdos e formas de soluções disponíveis para responder a indagação desta pesquisa e atingir os objectivos por ela demarcados, foi possível aplicar na prática todo o conhecimento adquirido durante os anos de formação em especial a análise de accionamentos eléctricos e máquinas de corrente contínua. O tema em causa foi desafiador, foi uma experiencia inesquecível, pois coloca a realidade da empresa Corredor de Desenvolvimento. Foi escolhida a metodologia que se baseou numa revisão bibliográfica pela sua forma dinâmica de lidar com qualquer tipo de problematização. Portanto praticando essa metodologia, com auxílio de entrevistas, permitiu o desenvolvimento deste trabalho.

O sistema obtido no final deste trabalho já esta ser aplicado como uma solução de redução de potencia quando e isolado um motor de tracção nas locomotivas GT26CU-2 e pode também se fazer um estudo similar para outros modelos de locomotivas.

5.2. Sugestões

- O interruptor de corte ou ligar a redução de potencia deve ser lacrado;
- O acesso ao interruptor ao interruptor do circuito de redução de potência deverá ser somente para o pessoal responsável pela manutenção do mesmo;
- Em caso de isolamento de dois ou mais motores, aconselha-se em parar/interditar a locomoção com cargas de maiores toneladas;
- Pode se fazer um estudo reduzindo a rotação do motor diesel, pós a produção do alternador AR10 depende da rotação do motor diesel e da excitação;
- Sugere-se que sejam avaliadas as inúmeras vantagens que o sistema de redução de potência oferece, não só a esta Locomotiva como também pode ser feito um estudo com mesmos princípios para outros modelos.

Referencias bibliografias

1. Almeida, J. L. A. – **Electrónica de Potência** – Erica Editora – 1986.
2. Bascope, René P. T. Perin, Arnaldo J. – **O Transistor IGBT Aplicado em Electrónica de Potência** – Sagra Luzzatto Editores – 1997.
3. Boose, B. K. – **Power Electronics and AC Drives** – Prentice Hall.
4. Brina, Helvécio L. – **Estradas de Ferro** – Vol. 2 – Editora da UFMG – 1988 [15] Lobosco, O.S.
5. Dias, J. L. P. C. – **Seleção e Aplicação de Motores Eléctricos** – Vol. 1 - Siemens – Mc Graw-Hill – 1988.
6. Dote, Y. – **Intelligent Control Power Electronic Systems** – Oxford University Press – 1998.
7. Dutra; Polloni; Waneck; Colombino – **Tracção Eléctrica** – Vol. 2 – Siemens e Livraria Nobel – 1987.
8. Fitzgerald, A. E; Kindsley Jr., C. Kusko, A. – **Máquinas Eléctricas** – MC Graw-Hill do Brasil – 1975.
9. **GE Transportation. Locomotive Facts & History.**
10. Halliday, D. Resnick, R. – Física – 4ª Edição – **Livros Técnicos e Científicos** Editora – 1983.
11. Kosow, Irving L. – **Máquinas Eléctricas e Transformadores** – Editora Globo – 2005 [27] Cavazzoni, Fernando A. – **Motor Eléctrico de Tracção de Corrente Contínua** – 1ª Edição.
12. Krein, P. T. – **Elements of Power Electronics** – Oxford University Press – 1998.
13. Leonhard, W. – **Control of Electrical Drives – Electric Energy Systems and Engineering Series** - Springer-Verlag – 1985.
14. Philip Worland. «**GE Export Builder list** – Phil's Loco Page».
15. Setti, João. B. Coelho, Eduardo. J. J. – A E.F. Vitória a Minas e suas Locomotivas desde 1904 – Vol.2 – 2003.
16. Vas, P. – **Sensor less Vector and Direct Torque Control** – Oxford University Press – 1998.

Fontes Orais

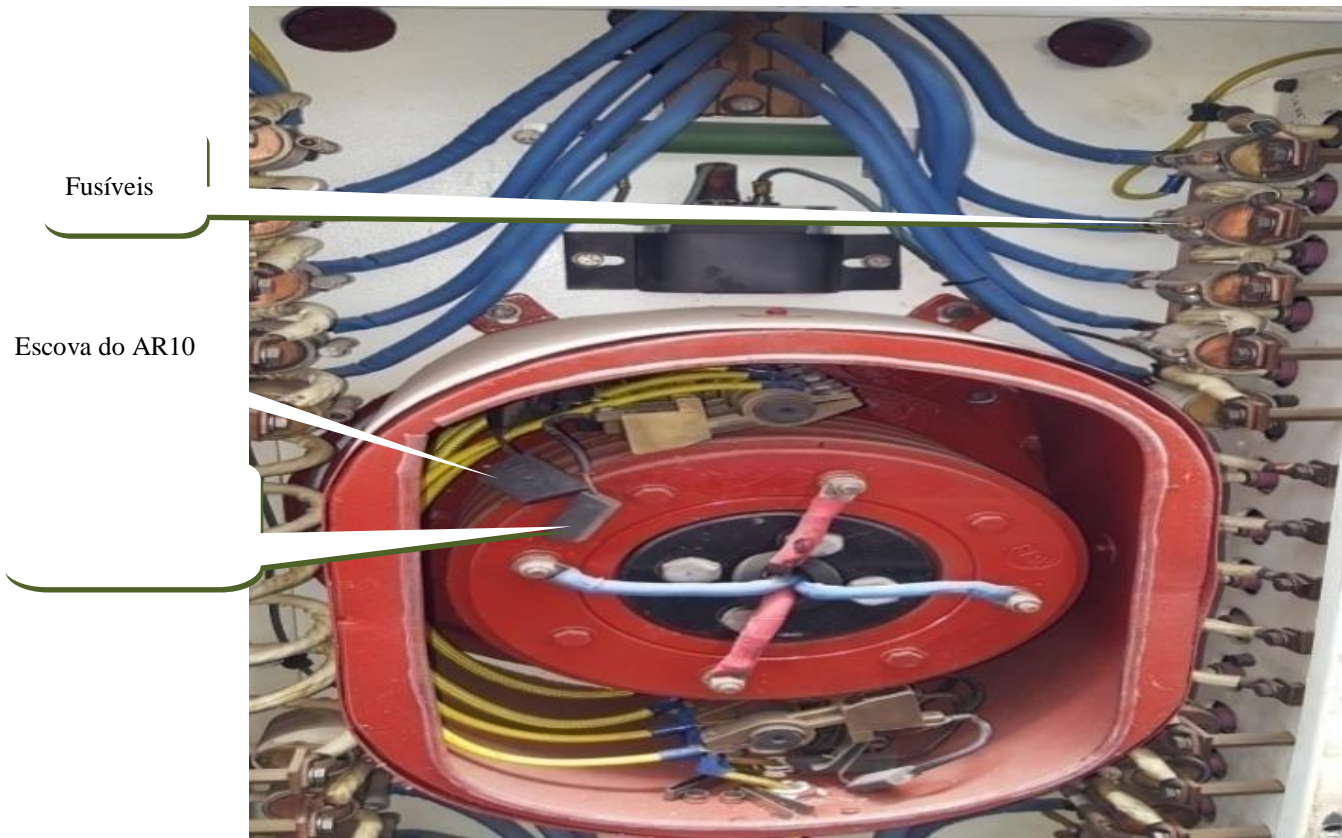
1. Amade, Selimane – **Máquinas Eléctricas** – A Politécnica – 2019

2. Júnior, Francisco – **Circuito de Excitação da Locomotiva GT26CU-2**– Corredor de Desenvolvimento do Norte Nampula - 2019

ANEXOS

Anexo1: Interior do AR10

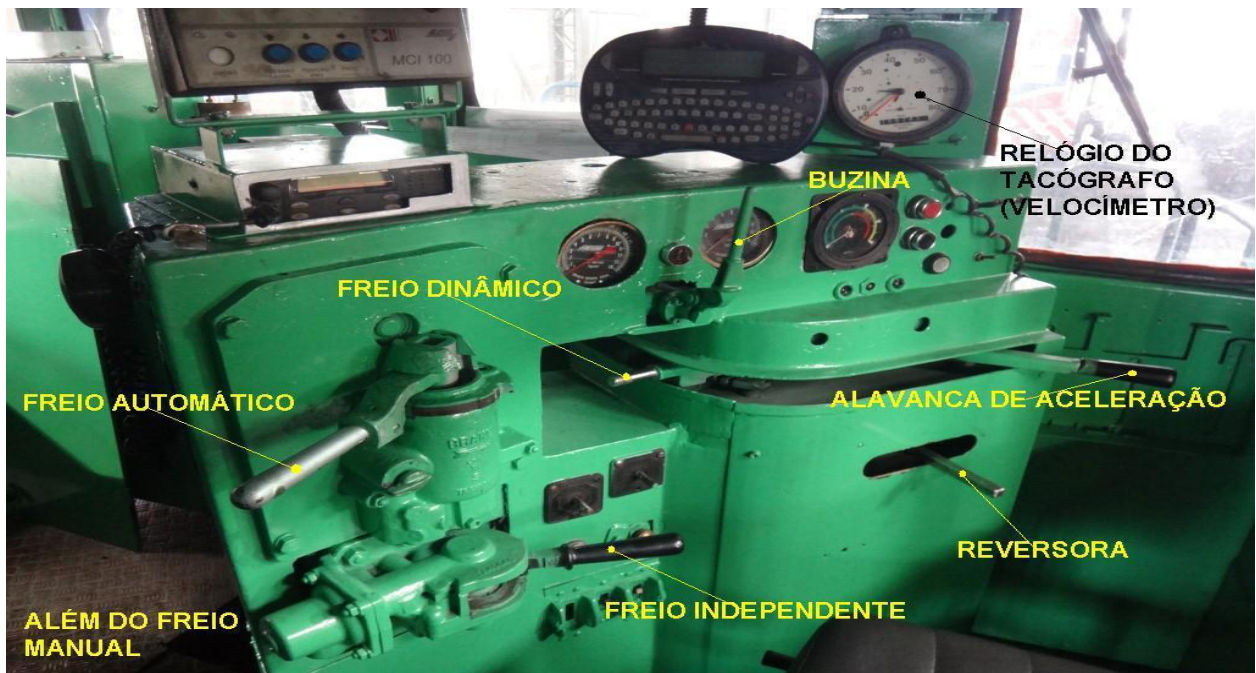
Figura25: Interior do AR10



Fonte: Autor (CDN-2019)

Anexo2: Console de Maquinista

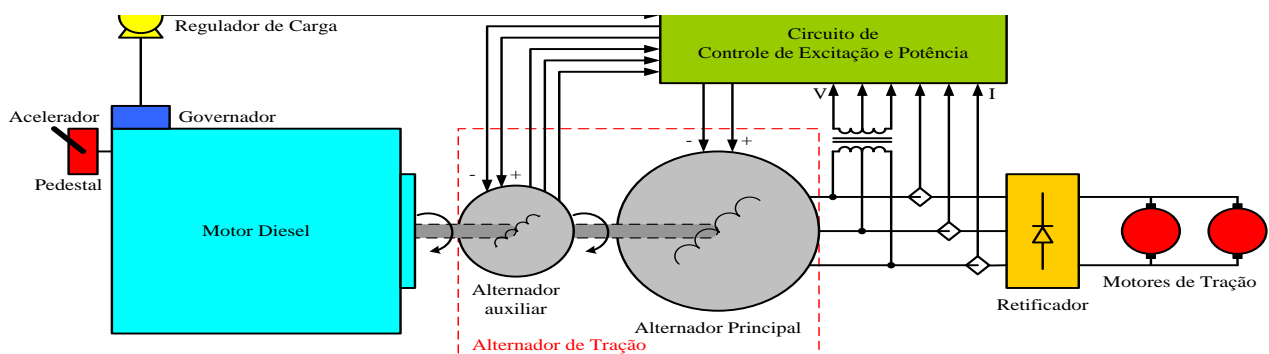
Figura26: Console de Maquinista



Fonte: <https://pt.m.wikipedia.org> (2019)

Anexo3: Sistema de transmissão eléctrica

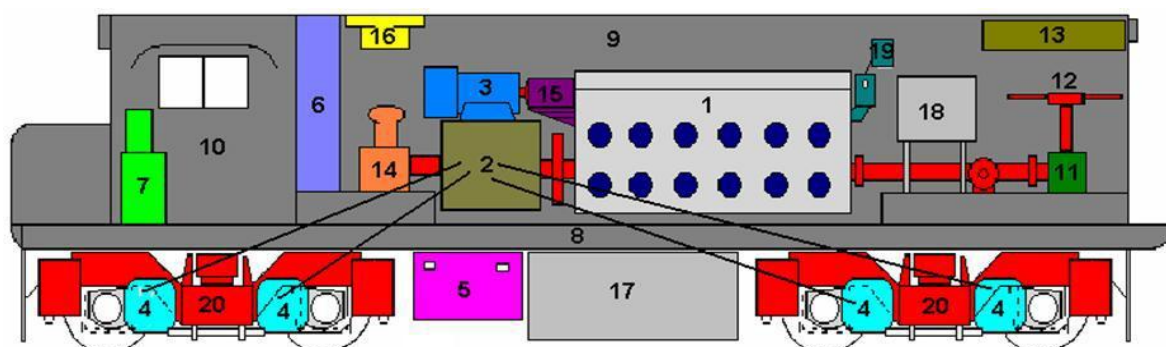
Figura 27: Sistema de transmissão eléctrica



Fonte: <https://pt.m.wikipedia.org> (2019)

Anexo 4: Locomotiva diesel – eléctrica (localização de componentes)

Figura 28: Locomotiva diesel – eléctrica (localização de componentes)



Fonte: <https://pt.m.wikipedia.org> (2019)

No esquema acima tem-se:

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Motor diesel | 11. Caixa multiplicadora |
| 2. Gerador principal | 12. Ventilador |
| 3. Gerador auxiliar | 13. Radiadores |
| 4. Motor de tração de velocidades | 14. Compressor |
| 5. Baterias | 15. Soprador |
| 6. Painel elétrico | 16. Ventilador freio dinâmico |
| 7. Painel de comando | 17. Tanque de combustível |
| 8. Chassi do maquinista | 18. Caixa de água/expansão |
| 9. Carroceria | 19. Governador |
| 10. Cabine | 20. Truque |