



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO - XII  
GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO - GMI**

**CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE RISCO DE TRANSFORMADORES DE FORÇA**

**ANA PAULA PEREIRA TSUYUGUCHI CAETANO (\*)  
ENERSUL**

**RESUMO**

Devido à necessidade de reduzir as interrupções de energia elétrica (indicadores), reduzir custos e aumentar a confiabilidade e disponibilidade do sistema, foi desenvolvida a análise de risco para transformadores de força, de forma simples e de fácil visualização, com utilização de pontuações para atributos relacionados ao transformador de força.

Desta forma tem sido possível avaliar os riscos de perda da função dos equipamentos, subsidiando ações de planejamento para determinar remanejamentos, estratégias de manutenção, simular cenários futuros, bem como alterações de localização de transformadores, de modo a reduzir riscos, com otimização da confiabilidade e da disponibilidade, minimizando-se os recursos OPEX e CAPEX.

**PALAVRAS-CHAVES**

Transformador de força;  
Confiabilidade;  
Análise de risco;  
Otimização.

**1.0 – INTRODUÇÃO**

“Em termos gerais, o conceito de risco está intimamente relacionado à presença de situações indesejáveis, sob o ponto de vista do usuário do sistema, produto ou equipamento. Se estas situações indesejáveis implicarem em risco de vidas humanas e/ou prejuízos econômico-financeiros de elevado valor, devem ser adotados esforços adicionais no sentido de minimizar ou mesmo evitar estas situações quando possível.” (LAFRAIA, 2006)

Atualmente, o sistema elétrico da Enersul - Empresa Energética de Mato Grosso do Sul (concessionária de energia elétrica para 92% do estado de Mato Grosso do Sul) possui 93 subestações nas classes tensão 34,5, 69 e 138 kV distribuídas estrategicamente e 163 transformadores de força em operação.

O transformador de força é o principal e mais caro equipamento de uma subestação de energia elétrica, por isso, e devido a crescente necessidade de reduzir as interrupções de energia elétrica (indicadores), reduzir custos e aumentar a confiabilidade e disponibilidade do sistema, foi desenvolvida a análise de risco, de forma simples e fácil visualização, com utilização de pontuações para atributos relacionados com o transformador de força.

Os atributos foram divididos em três grupos: Criticidade (idade, histórico de falhas, resultados de ensaios), Importância (clientes atendidos, valor/potência e carregamento) e Logística (tempo de restabelecimento).

Desta forma tem sido possível avaliar os riscos de perda da função dos equipamentos, subsidiando ações de planejamento para determinar remanejamentos, estratégias de manutenção. Pode-se ainda simular cenários futuros, bem como alterações de localização de transformadores, de modo a reduzir riscos com otimização da confiabilidade e da disponibilidade, minimizando-se os recursos OPEX e CAPEX.

O sistema da Enersul praticamente não possui redundância ou mesmo flexibilidade operativa, afetando consideravelmente os transformadores de força, resultando disso a necessidade de avaliações, principalmente em

(\*) Avenida Gury Marques, n° 8000 – sala 06 - Bloco XIII – CEP 79072-900 Campo Grande, MS – Brasil  
Tel: (+55 67) 3398-412 – Fax: (+55 67) 3398-4517 – Email: anapaula.tsuyuguchi@enersul.com.br

função da contínua redução dos indicadores de continuidade (DEC, FEC, DMIC, DIC e FIC) e da necessidade de redução de custos de O&M. Portanto, tópicos como disponibilidade, confiabilidade, aumento do carregamento, envelhecimento dos equipamentos, redução de custos, podem dificultar o cumprimento das metas estabelecidas pela ANEEL com aumento das penalidades e da insatisfação dos consumidores.

O trabalho é baseado em fatores que estão diretamente relacionados ao funcionamento e desempenho dos transformadores de força, com utilização de informações de fácil acesso, como: ano de fabricação, histórico de falha, resultado de ensaios, número de clientes atendidos por transformador, potência, carregamento e, em caso de falha do transformador de força, o tempo de restabelecimento.

Para cada fator foi atribuído uma pontuação e com isso estabelecido um gráfico com os quadrantes de maiores e menores riscos, facilitando a visualização da situação atual, ou futura, dos equipamentos.

## 2.0 – DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho é auxiliar de forma simples e eficiente à engenharia de planejamento e à equipe de manutenção, utilizando-se o gráfico de avaliação de risco nos planejamentos e simulações, visando às melhorias necessárias para que o sistema continue com as funções requeridas, proporcionando-se maior confiabilidade.

### 2.2. Aplicação

A média de idade do total de 164 transformadores de força das subestações de energia elétrica da Enersul é de 24,74 anos, porém, quase 2/3 dos transformadores de força estão entre 21 e 40 anos de idade ver Gráfico 1. Este é um fato que preocupa a engenharia de manutenção da Enersul, pois, com o envelhecimento dos equipamentos aumenta o risco de falha.

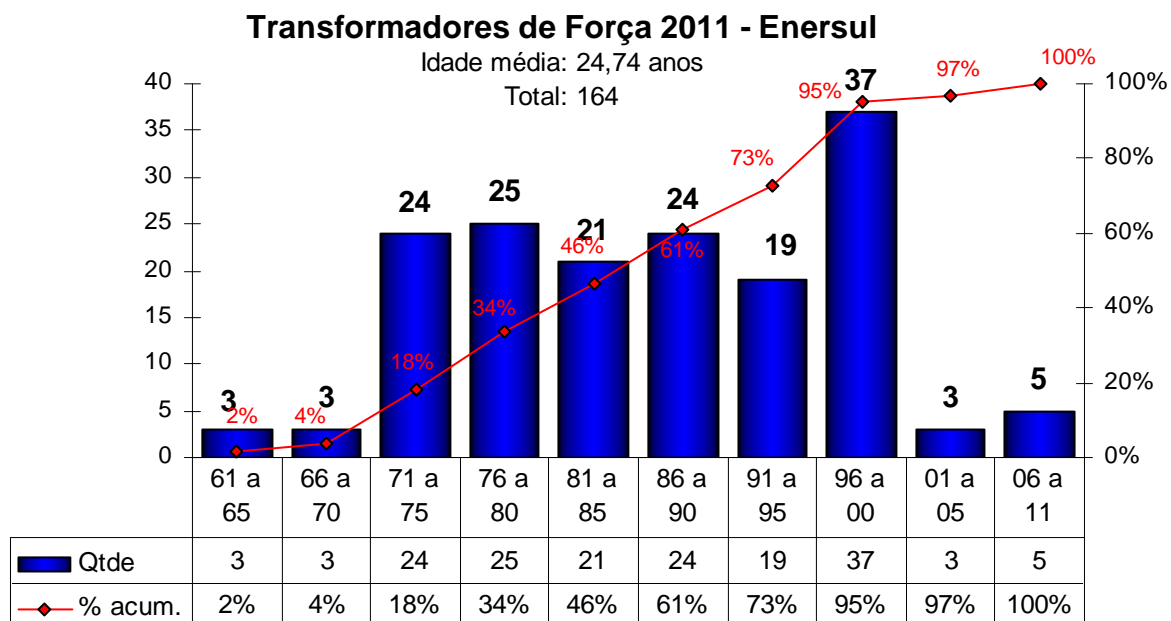


GRÁFICO 1 – Quantidade de Transformadores de Força por ano fabricação

Este trabalho foi aplicado para os transformadores de 34,5, 69 e 138kV e também para linhas de subtransmissão, sendo que para estes últimos usaram-se atributos e pontuações diferentes.

Será exemplificado o caso de transformadores de força de 138kV. Para as demais classes o procedimento é idêntico.

### 2.3. Atributos e pontuação

“O estudo ou análise de um produto, sistema ou equipamento pode geralmente ser efetuado observando as partes ou componentes desse sistema ou ainda analisar este sistema como um todo. Neste caso, faz-se necessária a interação entre diversas partes que o compõem, a fim de demonstrar o seu funcionamento de modo geral.” (LAFRAIA, 2006)

Os atributos e pontuação foram estabelecidos pela equipe de engenharia e manutenção de subestação e divididos em: Criticidade (Idade, Histórico de Falha, Resultado de ensaios), Importância (Clientes Atendidos, Valor/Potência e Carregamento) e Logística (Tempo de Restabelecimento).

### 2.3.1. Criticidade

Este atributo abrange 45% do total da pontuação dos atributos, conforme Tabelas 1, 2 e 3.

TABELA 1 – Idade por transformador de força (20%)

Idade	Pontuação
0 a 15 anos	0
16 a 25 anos	5
26 a 30 anos	10
31 a 35 anos	15
acima de 35 anos	20

TABELA 2 – Histórico de falhas por transformador de força (10%)

Histórico de Falhas	Pontuação
Não	0
Sim	10

TABELA 3 – Situação dos ensaios por transformador de força (15%)

Resultados de Ensaios	Pontuação
Normal	0
Com anormalidade estável	10
Anormalidade em evolução	15

### 2.3.2. Importância

Este atributo abrange 25% do total da pontuação dos atributos, conforme Tabelas 4, 5 e 6.

TABELA 4 – Quantidade de clientes atendidos por transformador de força (10%)

Clientes atendidos	Pontuação
até 10.000	0
entre 10.001 e 25.000	5
acima de 25.000	10

TABELA 5 – Potência por transformador de força (5%)

Valor/Potência	Pontuação
10/16	0
20/25/33/41	5

TABELA 6 – Carregamento por transformador de força (10%)

Carregamento	Pontuação
até 80%	0
entre 81 e 90%	5
acima de 90%	10

### 2.3.3. Logística

Este atributo abrange 30% do total da pontuação dos atributos, conforme Tabela 7.

O tempo de restabelecimento foi definido conforme o plano de contingência, trabalho desenvolvido com o intuito de agilizar o restabelecimento em caso de falha dos transformadores de força.

TABELA 7 – Tempo de restabelecimento por transformador de força (30%)

Tempo Restabelecimento carga	Pontuação
De 1h as 30h	1 ponto por hora

### 2.3.4. Quadro de distribuição dos atributos e suas pontuações

Resumo das pontuações e porcentagem por atributos, ver Tabela 8 e Gráfico 2.

TABELA 8 – Pontuação máxima por atributos

Atributos	Pontuação Max.
Resultados Ensaios*	15
Histórico Falhas*	10
Idade*	20
Quantidade Clientes*	10
Valor / Potência*	5
Carregamento*	10
Tempo Restabelecimento**	30

<b>Máximo</b>	<b>100</b>
---------------	------------

\* Criticidade / Importância

\*\* Logística

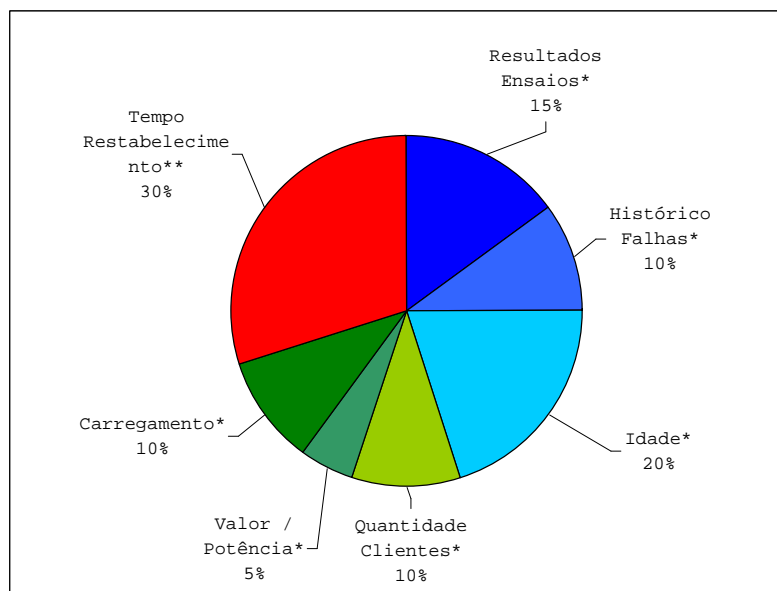


GRÁFICO 2 - Porcentagem por atributos.

#### 2.4. Tabelas dos dados e pontuações

Foram relacionados todos os transformadores com seus dados em tabelas no Excel de forma a ser prática a atualização dos dados e compreensão para as pessoas que não estão diretamente ligadas ao trabalho, ver Tabelas 9 e 10.

TABELA 9 – Exemplo de transformadores de força com seus dados.

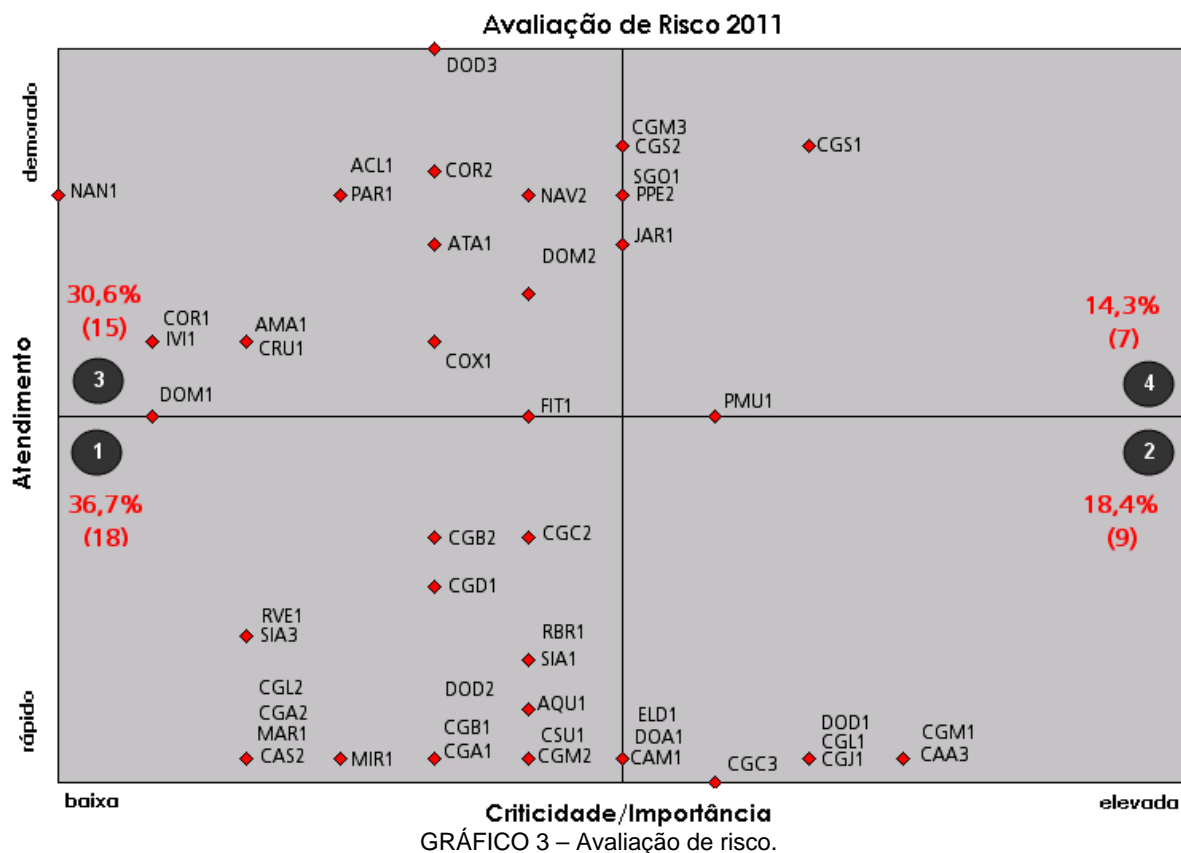
LOCAL	CÓDIGO OPERAC.	FABRIC.	POTÊNCIA (MVA)	IDADE	OCORREU FALHA?	RESULTADO ENSAIO	CLIENTES (mil)	CARREG. (%)	TEMPO REST. (h)
SACL	74TF-01	TOSHIBA	12,5	25	Não	Normal	4402	49	15
SAMA	74TF-01	TOSHIBA	12,5	17	Não	Com Anormalidade Estável	13370	80	18
SAQU	74TF-01	WEG	41,5	12	Não	Normal	28513	59	15
SATA	74TF-01	TRAFO	12,5	18	Não	Com Anormalidade Estável	8015	78	24
SCAA	764TF-03	PROLEC	30	19	Não	Normal	7343	49	18
SCAM	754TF-01	TRAFO	20	29	Sim	Normal	5702	39	3
SCAS	74TF-02	TOSHIBA	12,5	17	Não	Com Anormalidade Estável	8697	84	22
SCGA	74TF-01	TRAFO	41	29	Sim	Com Anormalidade Estável	32805	58	1
SCGA	74TF-02	TRAFO	41	29	Sim	Normal	18874	54	1
SCGB	74TF-01	WEG	41,5	2	Não	Normal	19577	43	1

TABELA 10 – Exemplo de transformadores de força com suas pontuações.

LOCAL	CÓDIGO OPERAC.	PONTUAÇÃO								
		CRITICIDADE			IMPORTÂNCIA			CRITIC + IMPORT	LOGÍSTICA	TOTAL
		IDADE	HIST. FALHAS	ENSAIOS	CLIENTES	VALOR	CARREGAMENTO			
SACL	74TF-01	5	0	0	0	0	0	5	15	20
SAMA	74TF-01	5	0	10	5	0	0	20	18	38
SAQU	74TF-01	0	0	0	10	5	0	15	15	30
SATA	74TF-01	5	0	10	0	0	0	15	24	39
SCAA	764TF-03	5	0	0	0	5	0	10	18	28
SCAM	754TF-01	10	10	0	0	5	0	25	3	28
SCAS	74TF-02	5	0	10	0	0	5	20	22	42
SCGA	74TF-01	10	10	10	10	5	0	45	1	46
SCGA	74TF-02	10	10	0	5	5	0	30	1	31
SCGB	74TF-01	0	0	0	5	5	0	10	1	11

#### 2.4. Gráfico Avaliação de Risco

Para facilitar a visualização para avaliar os riscos dos transformadores de força, foi gerado o gráfico “Avaliação de Risco”, no qual, foi determinado que os atributos da Criticidade e Importância compusessem o eixo X e a Logística o eixo Y, ver Gráfico 3.



Quadrante 1 - Baixa importância/criticidade com reduzido tempo de restabelecimento;

Quadrante 2 - Elevada importância/criticidade com reduzido tempo de restabelecimento;

Quadrante 3 - Baixa importância/criticidade com elevado tempo de restabelecimento;

Quadrante 4 - Elevada importância/criticidade com elevado tempo de restabelecimento.

Transformadores que estão no quadrante 4 estão com maior risco, por terem um atendimento demorado e Criticidade/Importância elevada, portanto deve-se ter um acompanhamento constante e manutenção em dia. No caso de falha, o atendimento dos transformadores de força que estão no quadrante 3 será demorado e, portanto devem ter sua integridade funcional mantida ao máximo, aumentando-se a confiabilidade. Transformadores de força no quadrante 2 não possuem um atendimento demorado, mas devem ser monitorados quanto à manutenção, pois possuem um alto risco de falha. Transformadores no quadrante 1 apresentam baixo risco de falha e atendimento rápido.

Deste modo tem-se o controle de quantos e quais transformadores de força estão em situação crítica e com maior risco de falhas, acompanhar a evolução da situação dos transformadores de força em operação ano por ano e realizar simulações, ver Tabelas 11, 12, 13 e 14.

TABELA 11 – Transformadores de força de 138kV distribuído por quadrante (2009).

QD	Qtde	%
1	18	37,5
2	6	14,5
3	20	41,7
4	4	6,3
Total	48	100,00

TABELA 12 – Transformadores de força de 138kV distribuído por quadrante (2010).

QD	Qtde	%
1	16	32,65
2	9	18,37
3	18	36,73
4	6	12,24
Total	49	100,00

TABELA 13 – Transformadores de força de 138kV distribuído por quadrante (2011).

QD	Qtde	%
1	18	36,73
2	9	18,37
3	15	30,61
4	7	14,29
Total	49	100,00

Previsão realizada em 2009 para 2011, simulando aumento de 4% ao ano do carregamento e quantidade de clientes por transformadores (conforme orientação da área de planejamento da empresa) e sem alteração dos ensaios e histórico de falhas, ver Tabela 14.

TABELA 14 – Transformadores de força de 138kV distribuído por quadrante (previsto para 2011).

QD	Qtde	%
1	14	29,2
2	10	20,8
3	19	39,6
4	5	10,4
Total	49	100,00

Caso não haja intervenções nos equipamentos a tendência com o passar dos anos é a redução da quantidade de equipamentos no quadrante 1 e 3 com aumento no quadrante 2 e 4. Porém, com esta ferramenta foi possível embasar decisões como aquisições de dois transformadores de força 138kV em 2010/2011, o que possibilitou colocar em paralelo um dos transformadores e melhor planejamento e otimizações das manutenções. Pode-se verificar um aumento no quadrante 4 em 2011, isto devido a algumas anomalias ocorridas no sistema, que poderiam ter sido piores se não houvesse este controle. Desta forma considera-se que a situação dos equipamentos em 2011 é melhor do que o previsto.

Situação transformadores de força por ano

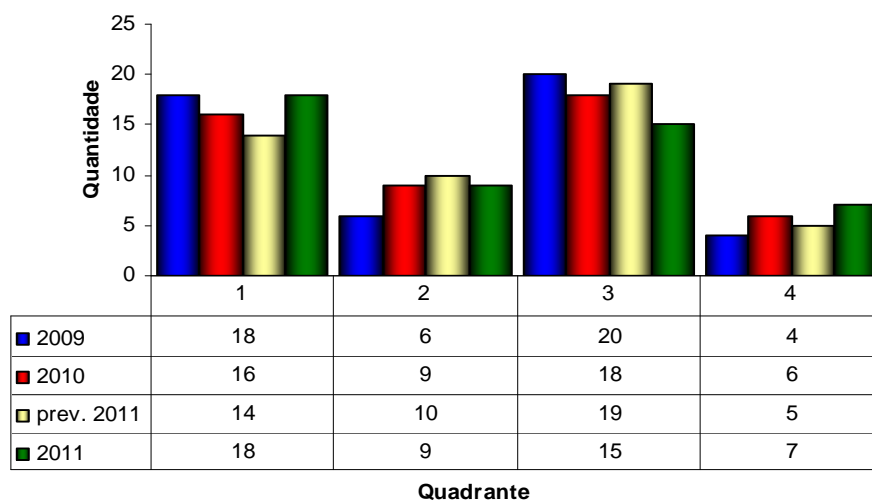


GRÁFICO 4 – Evolução da quantidade de transformadores por ano.

Esta análise de risco é disponibilizada no servidor da empresa através do PORTAL - GESTÃO DA MANUTENÇÃO, sendo acessível aos colaboradores e a direção da empresa, de forma que todos possam visualizar a situação atualizada dos transformadores de força.

### 3.0 – CONCLUSÕES

O sistema em utilização na Enersul desde o final de 2008 tem possibilitado:

- Aplicação simples e rápida, com fácil visualização para o corpo técnico e direção da empresa;
- Utilização como base para solicitação de melhorias, adaptações e investimentos;
- Fácil atualização, com monitoramento constante das condições dos equipamentos, subsidiando ações da manutenção;
- Realização de simulações a curto e longo prazos, conseguindo atuar preventivamente nos equipamentos que apresentarem evolução de riscos;
- Maior controle da situação dos equipamentos, com isso, aumento da confiabilidade e disponibilidade do sistema.
- Redução de custos de O&M.

### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) LIMA, Luciano D M. Transformadores - Reatores - Reguladores. Recife, ED. Edições Bagaço, 2005.

(2) LAFRAIA, João Ricardo B. Manual de Confiabilidade, Mantabilidade e Disponibilidade. ED. Qualitymark, 2006.

### 5.0 – DADOS BIOGRÁFICOS



Ana Paula Pereira Tsuyuguchi Caetano

Nascida em Vilhena-RO no ano de 1983.

Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul em 2005.

Pós-graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal – UNIDERP em 2010.

Está a serviço da Enersul – Empresa Energética de Mato Grosso do Sul há 4 anos, onde já exerceu os cargos de Analista Comercial e Engenheiro de Manutenção SE/LT (atual).