

BANCADA DIDÁCTICA PARA SIMULAÇÃO DE UMA UNIDADE DE MICROGERAÇÃO

Tiago João Gonçalves Rocha



Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2010

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Candidato: Tiago João Gonçalves Rocha, Nº 1040177, 1040177@isep.ipp.pt

Nuno Filipe da Fonseca Bastos Gomes, ngb@isep.ipp.pt



Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

11 de Novembro de 2010

Agradecimentos

Agradeço ao Eng.º Armando Herculano e ao meu orientador Eng.º Nuno Gomes por toda a ajuda e disponibilidade prestada ao longo do desenvolvimento deste trabalho, graças a eles pude aplicar e focalizar grande parte dos conhecimentos adquiridos ao longo do meu percurso académico durante a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

Resumo

Neste trabalho é desenvolvida uma bancada didáctica que permite simular o funcionamento de um sistema de microgeração.

A bancada inclui uma máquina síncrona responsável pela geração de energia eléctrica acoplada a uma máquina de indução que simula a máquina primária. A máquina de indução é controlada por um sistema electrónico de controlo de potência (variador de velocidade) que permite manter constante a velocidade de rotação e consequentemente a frequência da tensão gerada pela máquina síncrona. Por sua vez, a excitação da máquina síncrona é controlada por uma fonte de tensão externa.

A parametrização e controlo do variador de velocidade, assim como o controlo da fonte de tensão externa, são feitos a partir dum *software* que corre num PC, que também monitoriza a tensão gerada pela máquina síncrona. Este *software* é ainda responsável pela interface com o utilizador.

O *software* desenvolvido permite manter as características da tensão gerada pela máquina síncrona independentemente da carga imposta.

Palavras-Chave

Bancadas Didácticas, Sistemas de Microgeração, Simulação de Sistemas de Microgeração.

Abstract

In this work is developed a didactic workbench that allows simulate a microgeneration system functioning.

The workbench includes a synchronous engine who's responsible for generate electrical energy together with an induction engine who simulates the primary engine. The induction engine is controlled by an electronic power control (velocity ranging) who allows maintaining a constant speed and consequently the frequency of the tension generated by the synchronous machine. On the other hand, the stimulus of the synchronous machine is controlled by an external voltage source.

The parameterization and control of the velocity ranging, as well as the external voltage source control, are made from software that runs on a PC, who also monitors the tension generated by the synchronous machine. This software is still responsible for the user interface.

The software developed allows maintain the characteristics of the tension generated by the synchronous engine regardless of the burden.

Keywords

Didactic Workbench, Microgeneration systems, Microgeneration simulation systems.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
ACRÓNIMOS	15
1. INTRODUÇÃO	17
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2. OBJECTIVOS.....	18
1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	20
2. SISTEMA ALTERNADO TRIFÁSICO	21
3. MICROGERAÇÃO	27
3.1. CONSTITUIÇÃO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO.....	28
4. DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA	31
4.1. ESQUEMA GERAL DO SISTEMA INSTALADO.....	32
4.2. COMPONENTES DO SISTEMA.....	32
4.3. MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO.....	33
4.4. GERADOR SÍNCRONO.....	34
4.5. VARIADOR DE VELOCIDADE	36
4.6. FONTE DC CONTROLADA	39
4.7. <i>ENCODER</i>	43
4.8. “SENSOR” DE TENSÃO.....	43
4.9. CONVERSOR USB – RS485.....	49
4.10. FONTE EXTERNA 24 <i>VOLT</i> E CONTACTOR	50
4.11. CARGA.....	51
5. SOFTWARE DESENVOLVIDO	53
5.1. FUNCIONALIDADES E ESTRUTURA DO <i>SOFTWARE</i> DESENVOLVIDO.....	54
5.2. INICIALIZAR COMUNICAÇÃO	55
5.3. RELATÓRIO DE ERROS	56
5.4. ESCOLHER NOVO MOTOR	58
5.5. INICIALIZAR SISTEMA	60
5.6. FUNÇÃO ESCREVER	65

5.7.	CÁLCULO BCC (<i>BLOCK CHECKSUM CHARACTER</i>).....	67
5.8.	FUNÇÃO LEITURA.....	68
5.9.	ARRANCAR SISTEMA.....	69
5.10.	CONTROLO EXCITAÇÃO.....	71
5.11.	FUNÇÃO AJUSTE FINO DE EXCITAÇÃO.....	72
5.12.	FUNÇÃO <i>MAIN</i>	73
6.	RESULTADOS.....	75
7.	CONCLUSÕES.....	79
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	81
	ANEXO A. COMUNICAÇÃO VARIADOR DE VELOCIDADE [16].....	83
	DESCRIÇÃO PROTOCOLO ANSI.....	83
	DESCRIÇÃO DOS CARACTERES.....	84
	LER DADOS.....	86
	RELER DADOS.....	88
	ESCREVER DADOS.....	88
	PROTÓTIPO <i>SOFTWARE</i> DESENVOLVIDO C#.....	90
	PROTÓTIPO <i>SOFTWARE</i> DESENVOLVIDO C.....	95
	ANEXO B. SIMULAÇÕES E ENSAIOS LABORATÓRIO - CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	97
	TENSÃO NO “SENSOR” EM FUNÇÃO DO VALOR PARÂMETRO #1.37 DO <i>UNIDRIVE SP</i>	97
	TENSÃO COMPOSTA NA CARGA EM FUNÇÃO DA TENSÃO NO CONVERSOR.....	99
	CARACTERÍSTICA EXTERNA.....	101
	CARACTERÍSTICA DE REGULAÇÃO.....	104
	TENSÃO APLICADA NA FONTE CONTROLADA EM FUNÇÃO DA CORRENTE DE EXCITAÇÃO.....	106
	ANEXO C. SIMULAÇÕES E ENSAIOS LABORATÓRIO – REGULAÇÃO EXCITAÇÃO.....	107
	TABELAS AMOSTRAS RETIRADAS PARA CADA CARGA EM PARTICULAR.....	108
	ANEXO D. FLUXOGRAMAS <i>SOFTWARE</i> DESENVOLVIDO.....	121
	FUNÇÃO REPOR VALORES DE FÁBRICA.....	121
	FUNÇÃO CARREGAR IMAGENS.....	122

Índice de Figuras

Figura 1	Esquema da configuração do sistema.....	19
Figura 2	Alusão real da configuração do sistema	19
Figura 3	Sistema Trifásico [1]	22
Figura 4	Tensões Simples (a) e Tensões Compostas (b) [1].....	23
Figura 5	Ligação em estrela [4]	24
Figura 6	Ligação triângulo [4].....	24
Figura 7	Exemplo de um Sistema Microgeração [9]	28
Figura 8	Exemplo de um Sistema Microgeração para auto-consumo	29
Figura 9	Esquema geral do sistema instalado.....	32
Figura 10	Aspecto do motor de indução trifásico instalado [10].....	33
Figura 11	Aspecto do Gerador Síncrono instalado [11]	35
Figura 12	Gráfico – Corrente Carga = f (Tensão Carga).....	35
Figura 13	Gráfico – Corrente Excitação = f (Corrente Carga)	36
Figura 14	Aspecto do Variador de Velocidade utilizado [12]	37
Figura 15	Diagrama de ligações do <i>Unidrive SP</i>	37
Figura 16	Aplicações típicas do <i>Unidrive SP</i> [13]	38
Figura 17	Aspecto da Fonte Controlada SM 3004 - D [14].....	39
Figura 18	Zonas de funcionamento da Fonte Controlada SM 3004 - D [15]	39
Figura 19	Painel <i>CC/CV Setting</i> de fonte SM 3004 - D	40
Figura 20	Conector e interruptores de programação da Fonte Controlada SM 3004 – D [15].....	41
Figura 21	Conexões cabo de programação da Fonte Controlada SM 3004 – D [15]	41
Figura 22	Conectores em modo programação por tensão [15]	42
Figura 23	<i>Encoder</i> utilizado no sistema	43
Figura 24	Esquema “sensor” tensão <i>PSpice</i>	44
Figura 25	Forma de onda V_{in}	44
Figura 26	Forma de onda V_{in2}	45
Figura 27	Forma de onda por regular e com <i>ripple</i>	45
Figura 28	Forma de onda V_{out}	45
Figura 29	Esquema “sensor” tensão <i>EAGLE</i>	46
Figura 30	Esquema “sensor” tensão c/pistas <i>EAGLE</i>	46
Figura 31	“Sensor” de tensão <i>EAGLE</i>	46
Figura 32	Pistas “sensor” de tensão	47
Figura 33	Placa de circuito impresso “sensor” de tensão	47
Figura 34	“Sensor” de tensão terminado	47

Figura 35	Característica “sensor” tensão simples = f (Tensão “sensor”)	48
Figura 36	Gráfico tensão composta = f (tensão “sensor”)	49
Figura 37	Ligação Conversor USB – RS485	49
Figura 38	Conversor USB – RS485	50
Figura 39	Fonte Externa 24 Volt	50
Figura 40	Contactora	51
Figura 41	Carga resistiva	51
Figura 42	Aspecto <i>software</i> desenvolvido	54
Figura 43	Estrutura dos menus do <i>software</i> desenvolvido	54
Figura 44	Fluxograma função inicializar comunicação	55
Figura 45	Fluxograma função terminar comunicação	56
Figura 46	Aspecto relatório de erros – <i>software</i>	57
Figura 47	Fluxograma função relatório de erros	57
Figura 48	Interface <i>CTScope</i>	58
Figura 49	Formulário novo motor - <i>Software</i>	59
Figura 50	Parâmetros comunicação - <i>software</i>	60
Figura 51	Tela do processo de inicialização - <i>software</i>	63
Figura 52	Janela final de inicialização – <i>Software</i>	63
Figura 53	Fluxograma parametrização – <i>software</i>	64
Figura 54	Janela aviso de <i>Autotune</i> – <i>software</i>	65
Figura 55	Fluxograma função escrita	66
Figura 56	Fluxograma cálculo BCC	67
Figura 57	Fluxograma função leitura	68
Figura 58	Fluxograma arranque – <i>Software</i>	69
Figura 59	Aviso de fonte desligada – <i>software</i>	70
Figura 60	Fluxograma função controlo da excitação	71
Figura 61	Fluxograma função ajuste fino da excitação	72
Figura 62	Fluxograma função <i>main</i>	73
Figura 63	Esquema obtenção formas de onda - resultados finais	76
Figura 64	Forma de onda - resultados finais	77
Figura 65	Forma de onda mudança brusca corrente - resultados finais	78
Figura 66	Formato da trama ANSI	83
Figura 67	Formato da trama Leitura	86
Figura 68	Formato da trama resposta Leitura	86
Figura 69	Caracter devolvido em caso de falta de parâmetro	87
Figura 70	Trama leitura	87
Figura 71	Trama resposta leitura	87
Figura 72	Formato da trama Escrita	88
Figura 73	Exemplo trama escrita	89

Figura 74	Interface gráfica do <i>software</i> desenvolvido.....	90
Figura 75	Interface gráfica <i>Read Data</i>	90
Figura 76	Fluxograma <i>Read Data</i>	91
Figura 77	Interface gráfica <i>Write Data</i>	92
Figura 78	Fluxograma <i>Write Data</i>	93
Figura 79	Ligação com <i>ScopMeter</i> a monitorizar o sinal	94
Figura 80	Sinal obtido do <i>ScopMeter</i>	94
Figura 81	Interface Protótipo <i>Software C</i>	95
Figura 82	Interface <i>software</i> versão final C++	96
Figura 83	Esquema simplificado ligações Gerador – “Sensor” – Unidrive SP – PC	97
Figura 84	<i>Simulink</i> - Tensão no “sensor” = f (Valor UniSP #1.37).....	98
Figura 85	Gráfico - Tensão “sensor” = f (Valor UniSP #1.37)	98
Figura 86	1 – “Sensor” Tensão, 2 – Tensão Simples, 3 – Tensão “sensor”	99
Figura 87	Gráfico – Tensão Simples = f (Tensão “sensor”).....	100
Figura 88	<i>Simulink</i> – Tensão composta = f (tensão “sensor”).....	100
Figura 89	Gráfico – Tensão composta = f (Tensão “sensor”)	101
Figura 90	Esquema simplificado montagem do ensaio da $I_c = f(U_c)$	101
Figura 91	Gráfico – Corrente Carga = f (Tensão Carga).....	103
Figura 92	Esquema simplificado montagem do ensaio da $I_e = f(I_c)$	104
Figura 93	Gráfico – Corrente Excitação = f (Corrente Carga)	105
Figura 94	Esquema simplificado montagem do ensaio da $U_{fonte} = f(I_{excitação})$	106
Figura 95	Gráfico Regulação 0% Carga	108
Figura 96	Gráfico Regulação 2,5% Carga	109
Figura 97	Gráfico Regulação 5% Carga	110
Figura 98	Gráfico Regulação 7,5% Carga	111
Figura 99	Gráfico Regulação 10% Carga	112
Figura 100	Gráfico Regulação 12,5% Carga	113
Figura 101	Gráfico Regulação 15% Carga	114
Figura 102	Gráfico Regulação 17,5% Carga	115
Figura 103	Gráfico Regulação 20% Carga	116
Figura 104	Gráfico Regulação 22,5% Carga	117
Figura 105	Gráfico Regulação 25% Carga	118
Figura 106	Gráfico Regulação 27,5% Carga	119
Figura 107	Fluxograma Repor valores fábrica - <i>software</i>	121
Figura 108	Fluxograma carregar imagem – <i>Software</i>	122

Índice de Tabelas

Tabela 1	Especificações técnicas do motor.....	33
Tabela 2	Especificações técnicas do gerador	34
Tabela 3	Caracteres de Controlo	84
Tabela 4	Tabela verdade XOR.....	87
Tabela 5	Caracteres Controlo - Releitura.....	88
Tabela 6	Caracteres resposta - Escrita.....	89
Tabela 7	Dados Ensaio – $V_{\text{simples}} = f(V_{\text{dc}})$	99
Tabela 8	Dados Ensaio – $I_{\text{Carga}} = f(U_{\text{Carga}})$	102
Tabela 9	Dados Ensaio – $I_{\text{Excitação}} = f(I_{\text{Carga}})$	105
Tabela 10	Valores da excitação por % de carga.....	107
Tabela 11	Ensaio 0% Carga	108
Tabela 12	Ensaio 2,5% Carga.....	109
Tabela 13	Ensaio 5% Carga	110
Tabela 14	Ensaio 7,5% Carga.....	111
Tabela 15	Ensaio 10% Carga	112
Tabela 16	Ensaio 12,5% Carga.....	113
Tabela 17	Ensaio 15% Carga	114
Tabela 18	Ensaio 17,5% Carga.....	115
Tabela 19	Ensaio 20% Carga	116
Tabela 20	Ensaio 22,5% Carga.....	117
Tabela 21	Ensaio 25% Carga	118
Tabela 22	Ensaio 27,5% Carga.....	119

Acrónimos

ASCII – *American Standard Code for Information Interchange*

BCC – *Block Checksum Character*

I – Corrente

I/O – *Input/Output*

P – Potência activa

PC – Computador Pessoal

PLC – *Programmable Logic Controller*

Q – Potência reactiva

RPM – Rotações por minuto

U – Tensão

USB – *Universal Serial Bus*

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Este projecto consiste em controlar um sistema microprodutor baseado num grupo constituído por um motor assíncrono como máquina primária e um gerador síncrono. O controlo é realizado por um controlador de velocidade parametrizado remotamente por um PC a ele ligado permanentemente.

O motor assíncrono encontra-se acoplado ao gerador e a um *encoder*, fornecendo energia mecânica ao sistema produtor.

O controlador de velocidade é responsável não só pela manutenção e acerto da velocidade do motor assíncrono e consequentemente da frequência da tensão gerada pela máquina síncrona, bem como pelas tarefas de aquisição e comunicação entre o PC e os demais periféricos. Tais funções são possíveis devido às funcionalidades de autómato (PLC) que possui o variador, como por exemplo entradas e saídas analógicas. Por exemplo, é através do variador que é feita a aquisição do valor da tensão de saída do gerador (que desejamos manter nos valores nominais).

O programa de *software* desenvolvido é responsável por:

- Controlar a amplitude da tensão de saída do gerador controlando uma fonte de corrente externa.
- Registrar as anomalias que ocorrerem.

- Monitorizar o valor de tensão de saída do gerador.
- Parametrizar o variador de velocidade incluindo um teste ao motor de indução para calcular os parâmetros do modelo equivalente por fase do mesmo.

1.2. OBJECTIVOS

O objectivo do trabalho consiste no desenvolvimento duma bancada didáctica que simula o funcionamento dum sistema de microgeração. A concretização de tal objectivo passa por vários objectivos parcelares como:

- Desenvolvimento do interface entre o PC e o variador;
- Determinação dos parâmetros das várias máquinas utilizadas;
- Desenvolvimento de um protótipo de *software* para testar as comunicações com o variador de velocidade (C#);
- Projecto e implementação de um “voltímetro” que permita a monitorização da tensão produzida pelo gerador;
- Desenvolvimento do interface de comunicação entre a fonte de alimentação externa e o variador de velocidade;
- Fazer a regulação da excitação do gerador pela fonte controlada com o objectivo de manter a tensão produzida nos 400 V a 50 Hz, independentemente da carga inserida, **apenas lendo o valor eficaz da tensão da carga;**
- Desenvolvimento do *software* de comando e controlo de todo o sistema com interface com o utilizador (C++);
- Ligação de uma fonte de alimentação externa a um contactor que é controlado por um relé do variador de velocidade, permitindo assim ligar ou desligar a carga remotamente do sistema.

Após a realização dos objectivos acima referidos, poderemos partir para outras possibilidades de desenvolvimentos futuros como por exemplo:

- Programação de um PLC incorporado no variador *Unidrive SP*, para que este controle todo o sistema, sendo desta forma possível excluir o PC de Controlo.
- Graças ao potencial do variador de velocidade utilizado é possível através da leitura de parâmetros específicos deste determinar o consumo de energia, a energia produzida, o custo e lucro obtido na produção de energia, tempo de funcionamento do sistema, etc.

Procedendo a uma análise dos requisitos do trabalho, foi sentida a necessidade de realizar uma alusão inicial do ambiente em que o projecto se irá inserir.

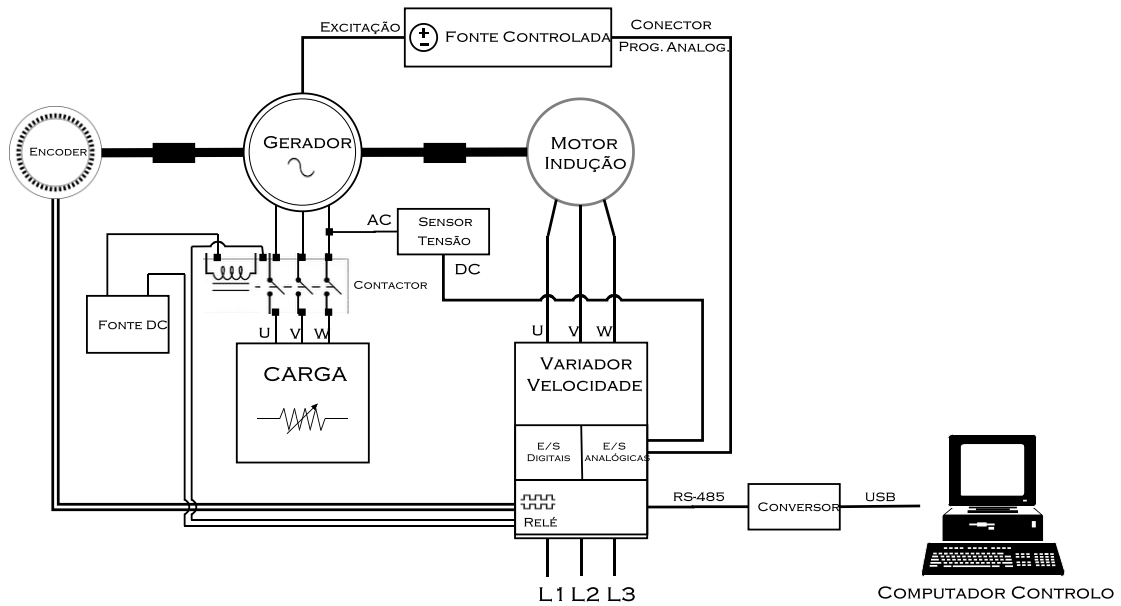


Figura 1 Esquema da configuração do sistema

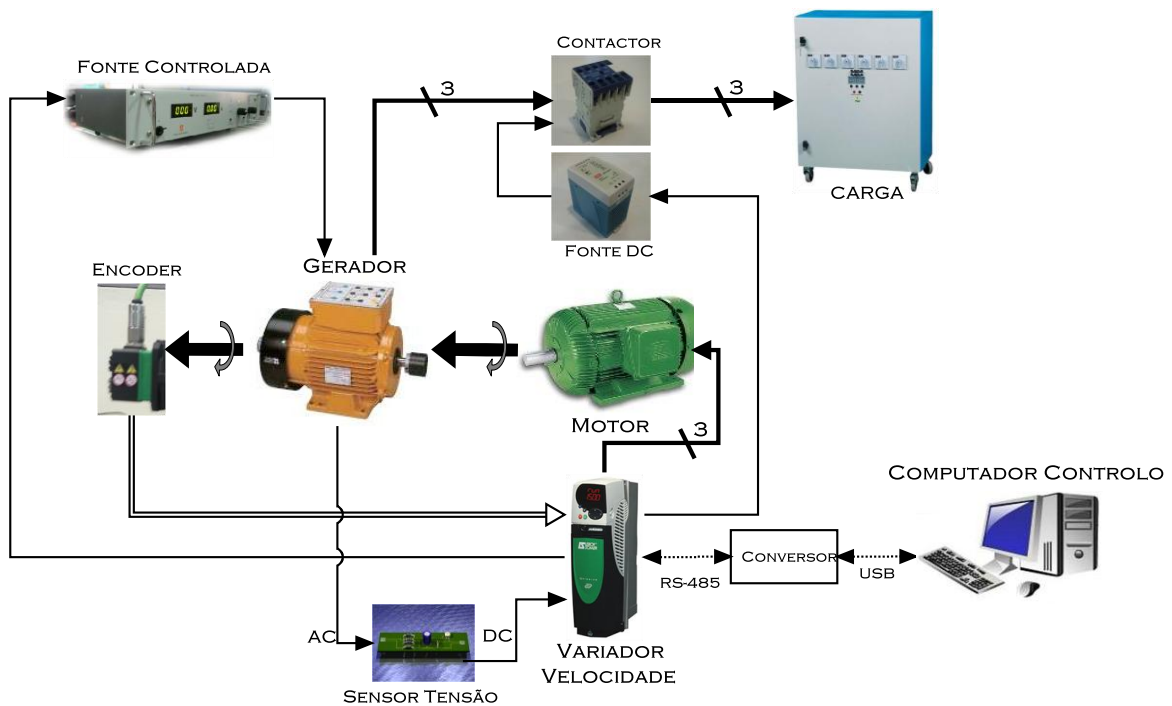


Figura 2 Alusão real da configuração do sistema

Neste projecto temos um PC de controlo onde vai correr o *software* desenvolvido, este PC comunica com o variador de velocidade através de um conversor USB – RS485, sendo este o protocolo utilizado.

O variador de velocidade vai alimentar o motor de indução trifásico que por sua vez roda acoplado a um gerador síncrono e a um *encoder*. O *encoder* está ligado ao variador de velocidade sendo possível assim fazer o controlo em malha fechada da velocidade de rotação do grupo.

A fonte controlada de excitação tem como função excitar o gerador, esta encontra-se ligada a uma das saídas analógicas do variador, sendo este responsável por controlar a corrente de excitação debitada pela fonte.

A uma das fases do gerador temos ligado um “sensor” de tensão com o objectivo de conhecermos o valor eficaz da tensão gerada, este equipamento encontra-se ligado a uma das entradas analógicas do variador de velocidade.

Por fim a carga é conectada ao gerador por meio de um contactor, este é alimentado por uma fonte externa que por sua vez é controlada através de um relé existente no variador de velocidade.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

No Capítulo 1 é feita a contextualização do trabalho, assim como a apresentação dos objectivos. No Capítulo 2 é feita uma breve abordagem sobre os sistemas alternados trifásicos. Segue-se o Capítulo 3 onde é feita uma introdução aos sistemas de microgeração. No Capítulo 4 é feita uma descrição geral do sistema onde são apresentados todos os equipamentos que o constituem assim como é feita uma breve abordagem técnica e funcional de cada um. No Capítulo 5 é explicado ao pormenor o funcionamento do *software* desenvolvido. No Capítulo 6 são apresentados os resultados finais do funcionamento do sistema desenvolvido. Por último, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões finais sobre o desenvolvimento deste trabalho.

2. SISTEMA ALTERNADO TRIFÁSICO

Nas redes eléctricas de energia utiliza-se um sistema trifásico porque apresenta algumas vantagens sobre a utilização de um sistema monofásico. Para o mesmo volume e preço da máquina, um alternador trifásico tem uma potência superior a um alternador monofásico. A secção total dos condutores utilizados no transporte de uma dada quantidade de energia é menor do que no caso de um sistema monofásico que, no mesmo tempo, tivesse de transmitir a mesma energia.

Os sistemas trifásicos são sistemas formados por três grandezas alternadas sinusoidais, de igual amplitude e desfasadas de $2\pi/3$ radianos [1][7].

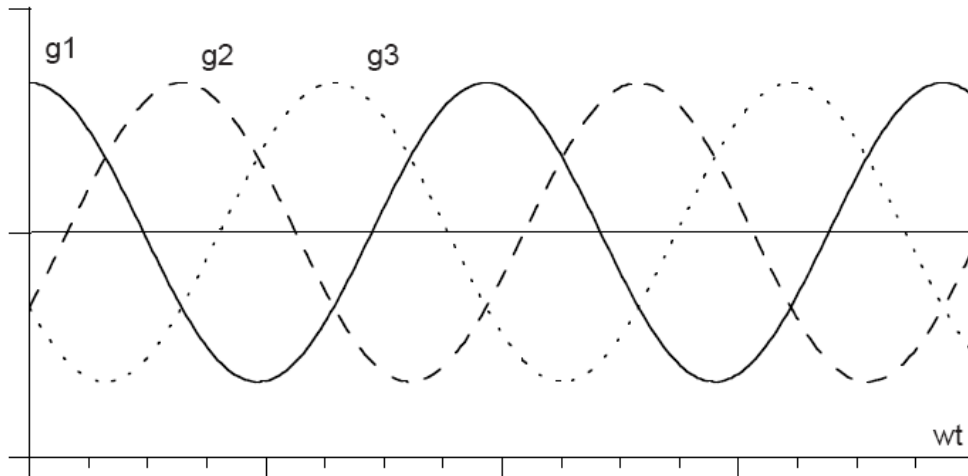


Figura 3 Sistema Trifásico [1]

As três grandezas trifásicas, g_1 , g_2 , g_3 , podem suceder-se segundo duas sequências distintas, formando um sistema de grandezas directo, ou um sistema de grandezas inverso, (tomando com o sentido positivo o sentido trigonométrico, ou contrário ao movimento dos ponteiros de um relógio) [1].

Sistema directo:

$$g_1 = \sqrt{2}A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$g_2 = \sqrt{2}A \cos(\omega t + \varphi - 2\pi/3)$$

$$g_3 = \sqrt{2}A \cos(\omega t + \varphi - 4\pi/3)$$

Sistema inverso:

$$g_1 = \sqrt{2}A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$g_2 = \sqrt{2}A \cos(\omega t + \varphi + 2\pi/3)$$

$$g_3 = \sqrt{2}A \cos(\omega t + \varphi + 4\pi/3)$$

No caso de um sistema trifásico de tensões existe um ponto, acessível ou não, em que a tensão é nula – ponto neutro.

Num sistema trifásico de tensões pode-se ter disponível o valor da tensão entre fase e neutro, que está na Figura 4, em baixo representada, pelo fasor \underline{U}_1 , ou pelo fasor \underline{U}_2 , ou pelo fasor \underline{U}_3 – tensão simples.

Num sistema trifásico de tensões tem-se acessível a tensão entre duas fases, por exemplo $\underline{U}_{12} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2$, que é uma tensão composta. Verifica-se, através da construção geométrica, que $U_c = \sqrt{3} U_s$ e que $U_{12} + U_{23} + U_{31} = 0$.

Note-se que na Figura 4, como $|\underline{U}_1| = |-\underline{U}_2|$ a parte do desenho a ponteadado é um losango, em que $|\underline{U}_{12}|$ é uma diagonal e M o seu ponto médio [1].

Assim, como:

$$|U_{12}| = 2.nM = (|U_1|) \text{sen } 60^\circ = \sqrt{3} \cdot |U_1|, \text{ ou } U_c = \sqrt{3} \cdot U_s$$

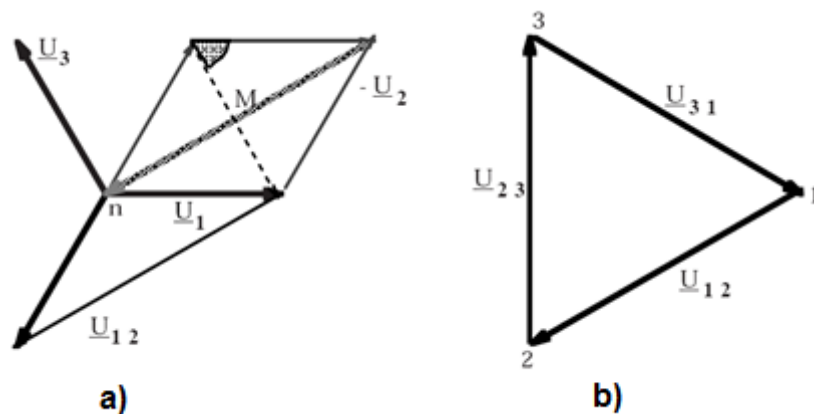


Figura 4 Tensões Simples (a) e Tensões Compostas (b) [1]

Na rede eléctrica nacional de distribuição, em baixa tensão, o valor eficaz actualmente da tensão simples é 230 V, e o valor eficaz a tensão composta é 400 V.

As cargas trifásicas podem ser então interligadas de dois modos distintos:

- **Estrela:** um dos terminais das cargas é conectado a uma das fases do sistema enquanto o outro terminal é conectado a um ponto que é o neutro, utilizado para se medir as tensões de fase. Nesta configuração podemos ter ou não o neutro acessível.

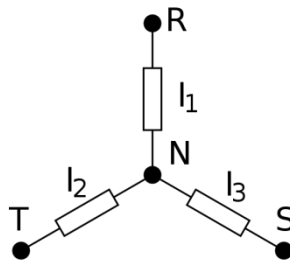


Figura 5 Ligação em estrela [4]

- **Triângulo:** nesta configuração um dos terminais da carga é conectado a um outro terminal de outra carga e as fases do sistema são interligadas nos pontos de junção dos terminais da carga, também pode ser chamado de delta.

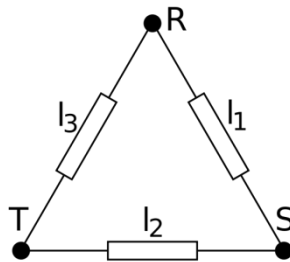


Figura 6 Ligação triângulo [4]

Num sistema trifásico a potência activa absorvida por um agrupamento de cargas em estrela ou em triângulo é a soma da potência activa absorvida por cada elemento:

$P = P_1 + P_2 + P_3$. A potência reactiva absorvida pelo agrupamento é a soma da potência reactiva absorvida por cada elemento: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$.

Já a potência aparente absorvida pelo conjunto é dada por $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$. O desfasamento entre as grandezas de duas fases consecutivas é sempre constante ($2\pi/3$). O factor de potência (α) do conjunto é dado pela razão entre o valor da potência activa e da potência aparente do conjunto, $\alpha = P/S$. [3]

Conforme o tipo de montagem equilibrada utilizada é possível obter-se diferentes relações.

- Ligação em estrela equilibrado

Potência activa – os três receptores estão submetidos à tensão simples U , e são atravessados pelas correntes eléctricas na linha, em que têm o mesmo valor eficaz, I .

$$P_1 = P_2 = P_3 = UI \cos \alpha$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 3UI \cos \alpha$$

Como $U_s = U = U_c / \sqrt{3}$ resulta que $P = \sqrt{3} U_c I \cos \alpha$

Potência reactiva – $Q_1 = Q_2 = Q_3 = UI \sin \alpha$ e $Q = \sqrt{3} U_c I \sin \alpha$

- Ligação em triângulo equilibrado

Potência activa – os três receptores estão submetidos à tensão composta U_c , e são atravessados pelas correntes eléctricas na malha, em que têm o mesmo valor eficaz, I_{ma} .

$$P_1 = P_2 = P_3 = UI_{ma} \cos \alpha$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 3UI_{ma} \cos \alpha$$

Como $I_{malha} = I_{linha} / \sqrt{3} = I / \sqrt{3}$ resulta que $P = \sqrt{3} U_c I \cos \alpha$

Potência reactiva – $Q_1 = Q_2 = Q_3 = UI_{ma} \sin \alpha$ e $Q = \sqrt{3} U_c I \sin \alpha$

Desde que o sistema seja trifásico e esteja equilibrado, as expressões para a potência em corrente alternada sinusoidal, considerando a tensão composta U_c (valor eficaz) e a corrente eléctrica na linha I (valor eficaz), são: [1][7][8]

$$P = \sqrt{3} U_c I \cos \alpha; \quad Q = \sqrt{3} U_c I \sin \alpha; \quad S = \sqrt{3} U_c I; \quad e \quad \alpha = P/S;$$

3. MICROGERAÇÃO

Os problemas ambientais e o custo da energia com origem nos combustíveis fósseis têm apelado à utilização das energias renováveis como fonte primária de energia, privilegiando-se a produção descentralizada para auto-consumo.

A vantagem inestimável da Microgeração é a redução das emissões de gases com efeito de estufa, já que toda a energia produzida a partir de fontes renováveis não emite à partida CO₂.

A Microgeração consiste na produção descentralizadas de energia usando fontes renováveis, em pequenas potências para vendê-la à rede pública ou para auto-consumo. Uma instalação deste tipo é designada “Unidade de Microgeração” [2][9].

3.1. CONSTITUIÇÃO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO

Uma instalação de Microgeração é tipicamente composta por um gerador eléctrico (aerogerador, painel fotovoltaico, micro turbina hídrica, etc.) um inversor para ligação à rede e um contador que conta a energia que é injectada na rede eléctrica, caso exista a ligação.

O inversor para ligação à rede converte a energia eléctrica produzida pelo gerador, seja ele de que tipo for, para os níveis adequados à rede eléctrica. Para além desta conversão é necessário ter em conta que a rede eléctrica está sujeita a variações conforme a carga a que está sujeita. De forma a acompanhar estas oscilações da rede, o inversor monitoriza continuamente a rede eléctrica, ajustando os seus parâmetros de funcionamento aos da rede [5][9].

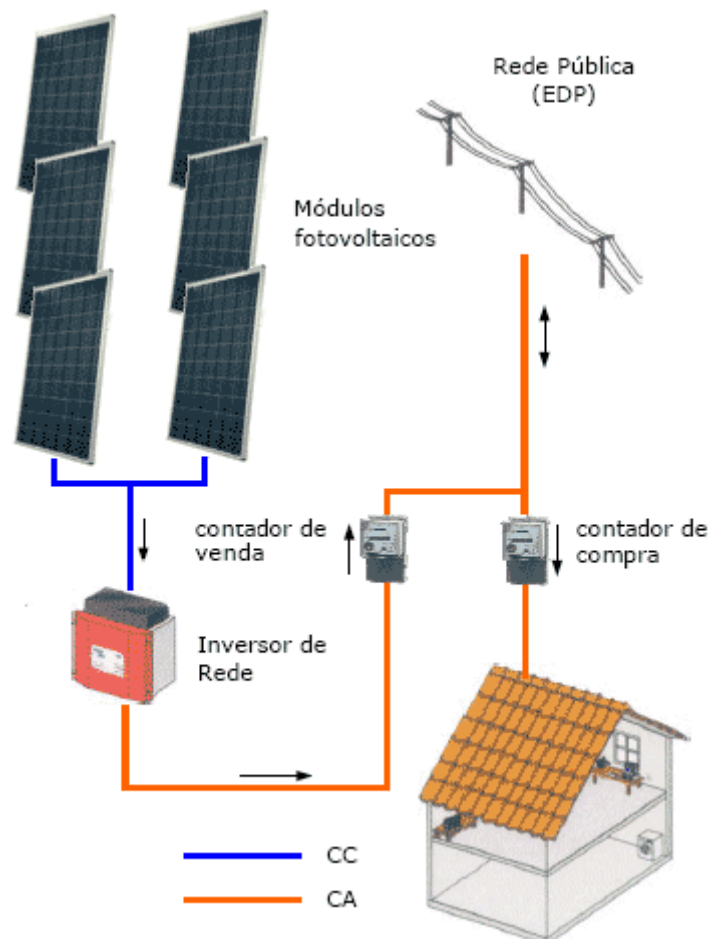


Figura 7

Exemplo de um Sistema Microgeração [9]

Em caso de venda à rede pública, a corrente eléctrica depois de convertida pelo inversor, é injectada na rede eléctrica passando por um contador de venda. Este contador de venda é independente do contador de compra, portanto não é possível utilizar parte da electricidade produzida uma vez que toda esta energia é vendida à rede eléctrica, ou seja, toda a electricidade consumida terá na mesma de ser comprada à EDP. No entanto, como o preço de venda é muito superior ao preço de compra, isto é economicamente vantajoso para o micro produtor. Se esta energia for para auto-consumo, poderão existir baterias para armazenar a energia e posteriormente utilizá-la [9].

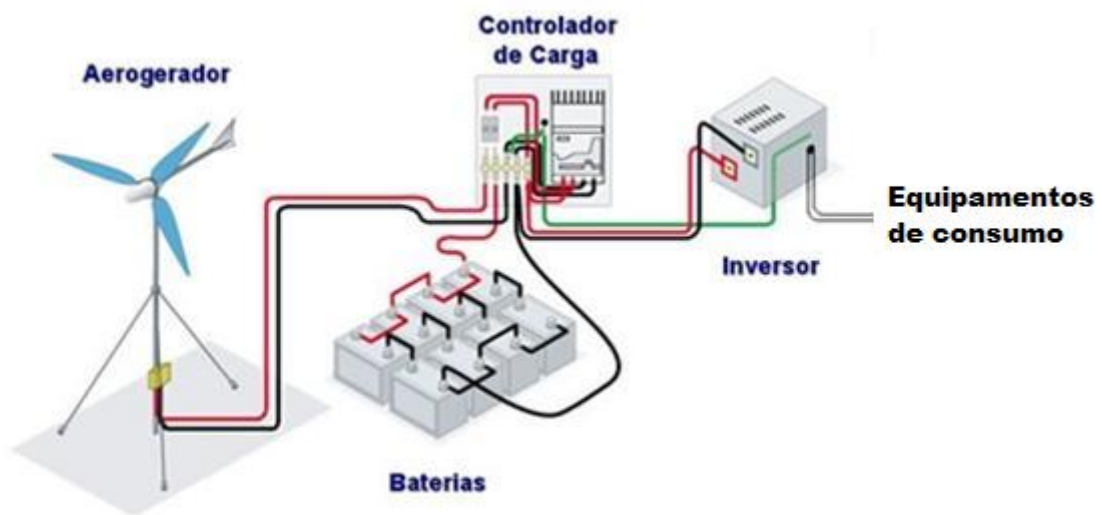


Figura 8

Exemplo de um Sistema Microgeração para auto-consumo

4. DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA

Neste capítulo é feita a descrição do sistema instalado no laboratório assim como uma breve referência e explicação técnica de todos os equipamentos que foram utilizados para a realização deste trabalho. É explicado também as funcionalidades dos diversos equipamentos no âmbito deste trabalho.

4.1. ESQUEMA GERAL DO SISTEMA INSTALADO

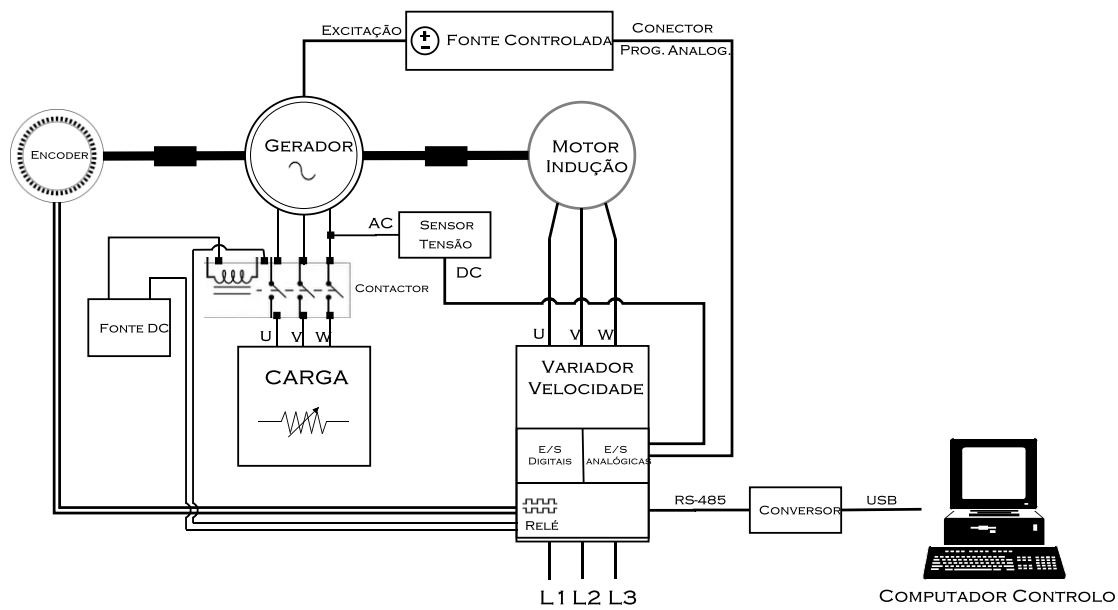


Figura 9 Esquema geral do sistema instalado

4.2. COMPONENTES DO SISTEMA

- Motor de Indução Trifásico
- Gerador Síncrono
- Variador de Velocidade
- Fonte DC Controlada
- *Encoder*
- “Sensor” Tensão
- Conversor USB – RS485
- Carga Resistiva
- Fonte Externa DC 24 Volt
- Contactor
- Computador

4.3. MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

O motor de indução trifásico que é utilizado como máquina primária tem as seguintes características:

Tabela 1 Especificações técnicas do motor

Especificações Técnicas do Motor	
Fabricante	OEMER
Tipo	MTS 90 L/4
Potência Nominal (P_n)	1,5 kW
Velocidade Sincronismo (n_n)	1500 rpm
Frequência	50 Hz
Tensão Δ	230 V
Corrente Δ	6,2 A
Tensão \curvearrowright	400 V
Corrente \curvearrowright	3,6 A
Rendimento	72,5%
Factor de Potência	0,81
Peso	15 kg

Este motor está ligado mecanicamente ao gerador tal como podemos verificar no esquema da Figura 9, e é alimentado através do variador de velocidade.

O aspecto deste motor é o seguinte:



Figura 10 Aspecto do motor de indução trifásico instalado [10]

4.4. GERADOR SÍNCRONO

O gerador é accionado mecanicamente pelo motor de indução, tal como já foi referido anteriormente. Esta máquina síncrona vai ser responsável por gerar a energia neste sistema de microgeração. As especificações técnicas estão referidas na Tabela 2.

Tabela 2 Especificações técnicas do gerador

Especificações Técnicas do Gerador	
Fabricante	Leroy Somer
Tipo	LSAD23L
Peso	19 Kg

Funcionamento Gerador	
Frequência	50 Hz
Potência Nominal (P_n)	1,2 KVA
Velocidade Nominal (n_n)	1500 rpm
Tensão \sphericalangle	400 V
Corrente \sphericalangle	1,75 A
Tensão Excitação (U_n)	140 V
Corrente Excitação (I_n)	1,4 A

Funcionamento Motor	
Frequência	50 Hz
Potência Nominal (P_n)	1,0 kW
Velocidade Nominal (n_n)	1500 rpm
Tensão \sphericalangle	400 V
Corrente \sphericalangle	1,75 A
Tensão Excitação (U_n)	115 V
Corrente Excitação (I_n)	1,15 A

Todos estes valores das especificações técnicas da máquina síncrona foram retirados da chapa informativa que se encontra acoplada à máquina. O gerador síncrono que se encontra instalado no laboratório tem este aspecto:



Figura 11 Aspecto do Gerador Síncrono instalado [11]

Excitou-se o gerador até este gerar aproximadamente 430 V e foram feitos ensaios a esta máquina para se obter a característica externa mantendo a excitação inicial. Os resultados foram obtidos com recurso ao *MatLab* e são apresentados em baixo (Figura 12). Em seguida determinamos a característica de regulação, aumentando a carga gradualmente, mantendo o valor eficaz da tensão nos 400 V, para tal foi necessário aumentar a excitação (Figura 13).

Característica Externa

$[I_c = f(U_c)]$ Corrente na Carga em Função Tensão na Carga

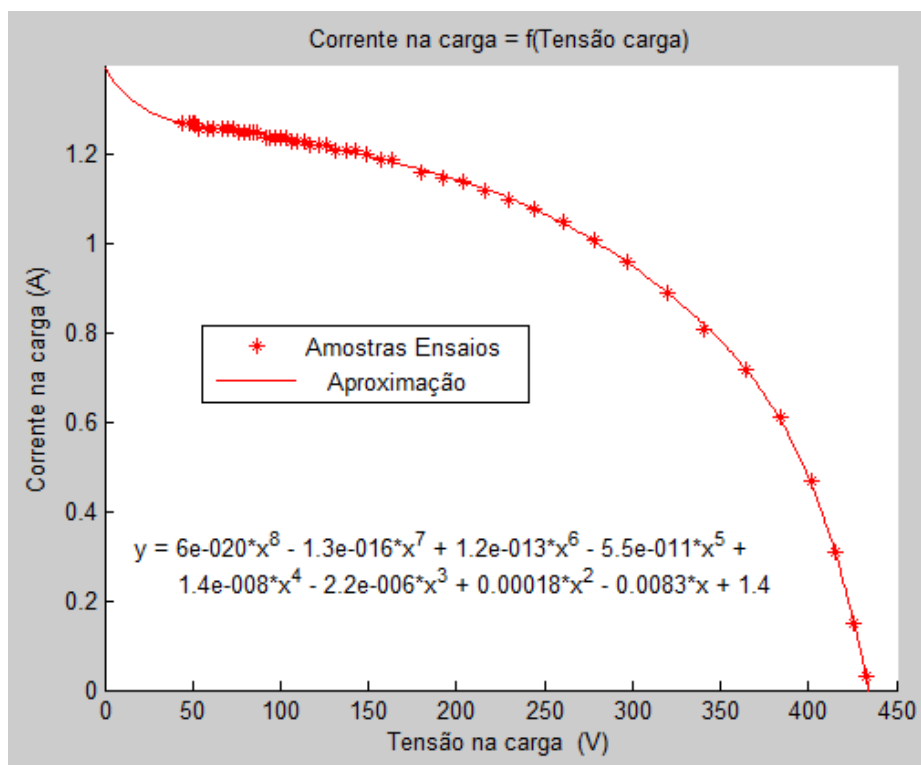


Figura 12 Gráfico – Corrente Carga = f (Tensão Carga)

Característica de Regulação

$[I_{exc}=f(I_c)]$ Corrente Excitação em função da corrente na carga

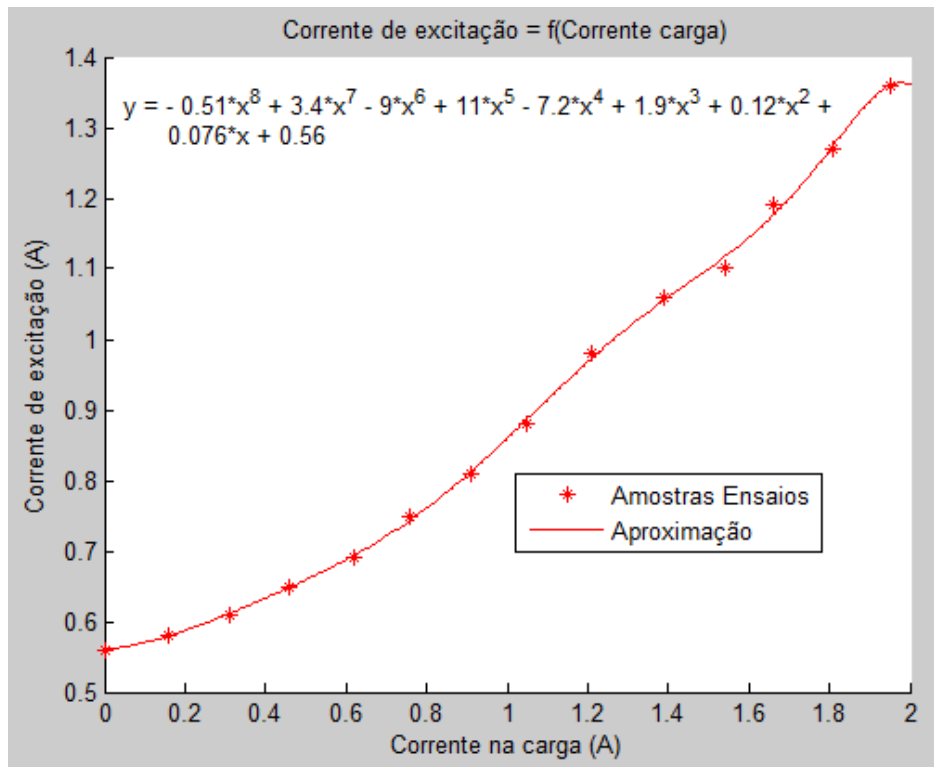


Figura 13 Gráfico – Corrente Excitação = f (Corrente Carga)

4.5. VARIADOR DE VELOCIDADE

Com o desenvolvimento da electrónica de potência surgiram os variadores de velocidade, os quais permitem um controlo independente da velocidade e do binário através do **controlo vectorial**. O motor assíncrono trifásico de gaiola de esquilo é nos dias de hoje sem dúvida a solução de tracção eléctrica mais difundida em ambiente industrial.

É um tipo de motor que revela grande robustez, baixo preço e boa relação tamanho/potência. Apesar destas vantagens, até há uns anos atrás estes não eram muito utilizados devido à impossibilidade de controlar com precisão a velocidade do motor. Neste trabalho o variador de velocidade trabalha com controlo vectorial em malha fechada, fazendo a realimentação de velocidade por ‘encoder’ incremental.

O modelo utilizado é o *Unidrive SP* da *Control Techniques*, apresentado na Figura 14, que funciona com todo o tipo de motores AC, síncronos, assíncronos, servos, motores lineares e em modo regenerativo.



Figura 14 Aspecto do Variador de Velocidade utilizado [12]

As suas principais vantagens são [13]:

- Grande gama de tensões e potências;
- Capacidade de sobrecarga elevada;
- Espaço para três *slots* de expansão I/O e cartas de comunicação;
- Acesso a programa PLC;
- Forma compacta;
- Funções extensivas.

Na Figura 15 temos o diagrama de ligações do *Unidrive SP*.

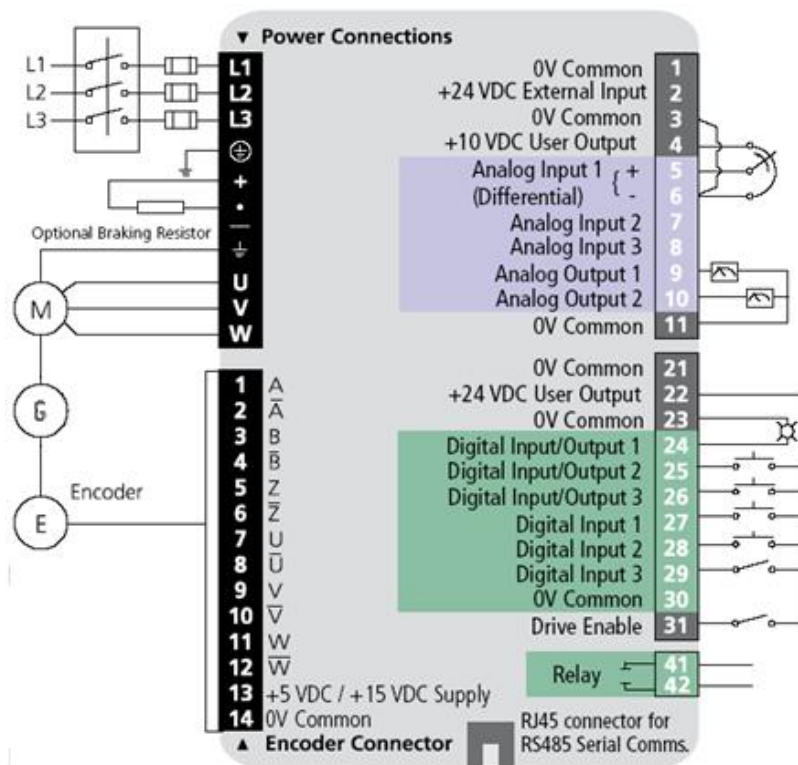


Figura 15 Diagrama de ligações do *Unidrive SP*

Podemos verificar no esquema de ligação do *Unidrive SP* que o *encoder* é ligado por um conector ao variador. Desta forma, como o grupo Motor – Gerador gira em torno do mesmo eixo e com a mesma velocidade, cabe ao variador receber os impulsos do *encoder*, processá-los, e manter o gerador sempre com uma rotação de 1500 rpm, ou seja com uma frequência de 50 Hz.

Na entrada analógica 2 (entrada número 7) é ligado o “sensor” de tensão. Esta porta analógica do *Unidrive SP* suporta sinais analógicos de tensão 0 – 10 V DC, ou correntes dos 0 – 20 mA. Neste trabalho configurou-se esta entrada de forma a receber um sinal DC de 0 – 10 Volt, sinal este que vem do “sensor” de tensão, que por sua vez está ligado a uma fase do gerador (0 – 250 V AC).

Vamos ainda usar a entrada analógica 3, neste caso será a entrada número 8. O único objectivo da utilização desta é receber um sinal de tensão de aproximadamente 5 V proveniente de fonte DC controlada. Isto é feito para que o *software* de controlo consiga detectar o *status* da fonte (Ligada/Desligada), evitando assim desta forma que se arranque o controlo do sistema com a fonte desligada, ou até mesmo parar o funcionamento do sistema caso a fonte se desligue.

Quanto às saídas analógicas apenas será utilizada a saída analógica 2, que corresponde à saída número 10 dos conectores do *Unidrive SP*. Esta saída é responsável pelo controlo da fonte DC controlada, tal como iremos verificar mais à frente. Não são usadas portas digitais neste trabalho.

Fora do âmbito deste trabalho o *Unidrive SP* pode ser aplicado nas mais diversas aplicações.

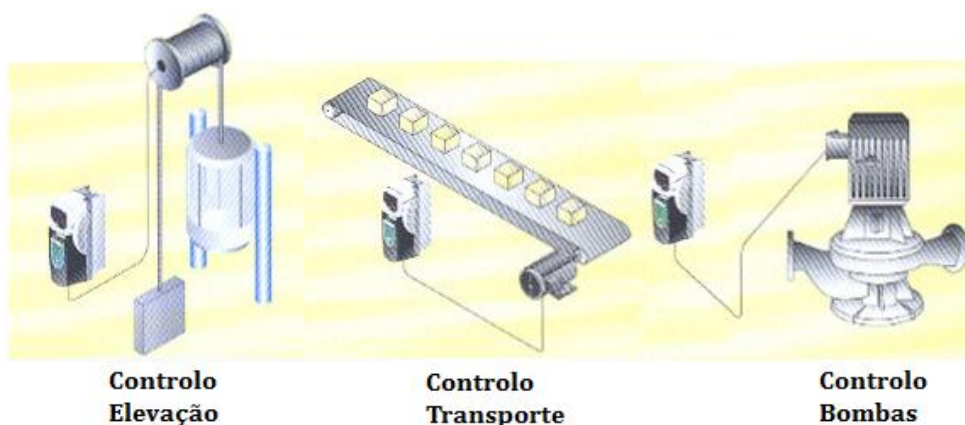


Figura 16 Aplicações típicas do *Unidrive SP* [13]

4.6. FONTE DC CONTROLADA

O nosso sistema encontra-se ligado a uma carga que pode variar. Um dos objectivos principais deste trabalho é assegurar que o nosso gerador mantenha a tensão aproximadamente nos 400 V. Isto só é possível se houver uma excitação do gerador que vai variar consoante as necessidades deste, para tal utilizou-se a fonte SM 3004 – D do fabricante *DELTA ELEKTRONIKA*. Na Figura 17 temos o aspecto desta fonte. Neste ponto do capítulo vamos enunciar algumas características técnicas deste aparelho.



Figura 17 Aspecto da Fonte Controlada SM 3004 - D [14]

1) Saída

A zona de funcionamento da fonte está representada a sombreado no gráfico em baixo. Para este modelo de fonte vamos ter uma potência máxima de saída de 600 W quer para 150 V quer para 300 V [15].

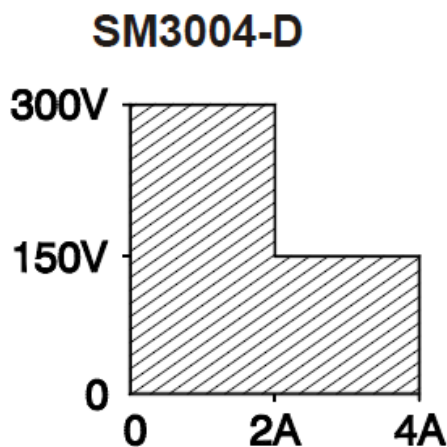


Figura 18 Zonas de funcionamento da Fonte Controlada SM 3004 - D [15]

- Display CV/CC Setting Function

O ajuste de tensão e de corrente de controlo pode ser observado nos *displays* frontais pressionando o botão *Display CC/CV Setting*. Isto vai permitir definir um limite para a corrente e tensão quando trabalhamos em modo *CV* (Tensão) ou *CC* (Corrente) [15].

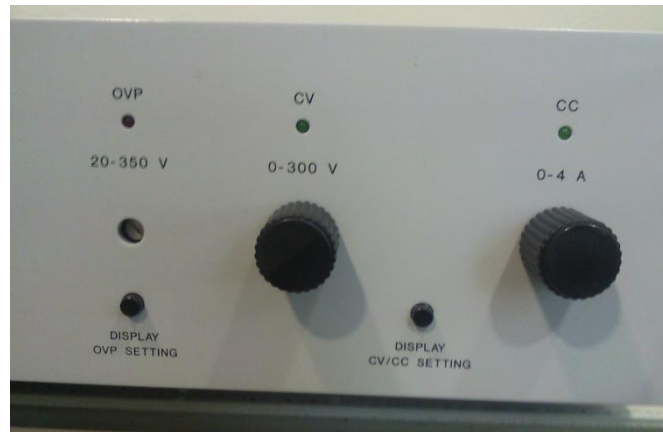


Figura 19 Painel *CC/CV Setting* de fonte SM 3004 - D

- Overload Protection

A fonte de alimentação está completamente protegida contra todas as condições de sobrecarga incluindo curto-circuito.

2) Programming Inputs

Uma das funcionalidades importantes desta fonte de alimentação é o facto de podermos programar a tensão e corrente de saída, através de um sinal analógico externo. Esta programação é muito precisa e sensível a ruídos, portanto será usado um cabo blindado para a realizar. É possível então escolher se queremos usar a fonte em modo manual ou programável, isto é feito por meio de interruptores situados na parte de trás da fonte um pouco abaixo do conector de programação, tal como podemos observar na Figura 20.



Figura 20 Conector e interruptores de programação da Fonte Controlada SM 3004 – D [15]

Para este trabalho, a função desta fonte no sistema é controlar a corrente de excitação do gerador, para tal recebe o sinal analógico (0 – 2V) de controlo, proveniente da saída analógica do variador de velocidade.

Os pinos do conector analógico de programação da fonte podem ser analisados na Figura 21.

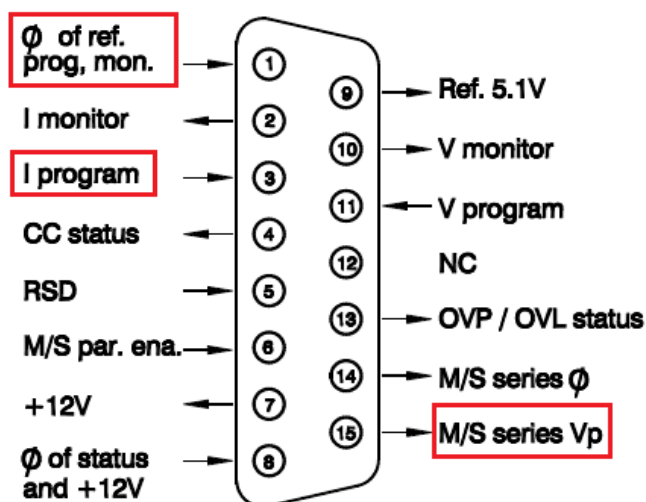


Figura 21 Conexões cabo de programação da Fonte Controlada SM 3004 – D [15]

De todas as ligações disponíveis para as diversas funcionalidades que a fonte possui, apenas iremos usar três pinos:

- 1 – Referência (zero *volt*);
- 3 – *I program*;
- 15 - *M/S series Vp*.

O pino 1 é a referência do sinal, depois o pino 3 recebe o sinal analógico proveniente do variador de velocidade, e serve para controlar a corrente que vai excitar o gerador. Para utilizar a fonte neste modo é necessário colocar os interruptores situados na parte de trás da fonte na posição em que se encontram na Figura 22.

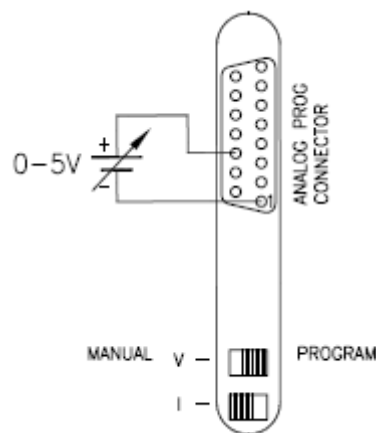


Figura 22 Conectores em modo programação por tensão [15]

O sinal proveniente do variador de velocidade é um sinal analógico de 0 a 2 *Volt*, embora a fonte suporte sinais compreendidos entre 0 e 5 *Volt*. A variação de tensão proveniente do variador vai ser reflectida como uma variação de corrente na fonte controlada de uma forma proporcional. Por fim foi utilizado o pino 15 apenas com o intuito de saber se a fonte está ligada ou desligada, embora tecnicamente não seja a principal função deste pino, mas tendo em conta que quando a fonte está ligada temos 5 V DC neste pino e quando a desligamos temos 0 V foi possível usá-lo desta forma.

Fora as funcionalidades apresentadas é possível também através deste conector realizar outras operações tais como colocar a fonte em *standby* remotamente (*Remote Shutdown*), e desta forma reduzir significativamente o consumo de energia quando esta não está a ser utilizada. Também é possível saber quando é que existem sobrecargas ou os valores de tensão ou corrente ultrapassam os valores estipulados no botão *Display CC/CV Setting*. Podemos também interligar várias fontes em série e paralelo.

4.7. ENCODER

O modo de operação deste sistema é feito através do controlo vectorial em malha fechada, e é necessário manter uma frequência de 50 Hz, ou seja, 1500 rpm, vemo-nos então obrigados a utilizar um *encoder*. Para este trabalho foi utilizado um *encoder* incremental com uma resolução de 4096 linhas por revolução, e que está acoplado a um servomotor. Esta situação deve-se ao facto de não haver de momento *encoders* disponíveis no laboratório. O aspecto deste dispositivo está apresentado na Figura 23.



Figura 23 *Encoder utilizado no sistema*

4.8. “SENSOR” DE TENSÃO

Como já foi referido anteriormente, numa das entradas analógicas do variador de velocidade está conectado um “sensor” do valor eficaz da tensão do gerador. Este equipamento converte a tensão AC para DC com o objectivo de se obter por *software* o valor da tensão produzida, o que no fundo o torna um pouco mais que um simples sensor.

O “sensor” de tensão tem que cumprir os seguintes requisitos:

- Receber uma sinusóide com amplitude máxima de aproximadamente de 250 V e transformá-la numa outra com a mesma frequência mas de 21 Volt.
 - ✓ Para tal foi usado um transformador de tensão 250/21 Volt.
- Rectificar este sinal AC e atenuar o *ripple*.

- ✓ A rectificação é feita por uma ponte de díodos e o *ripple* é atenuado com um condensador electrolítico.
- Ajustar o sinal DC rectificado para um sinal de 0 a 10 Volt.
- ✓ O ajuste da tensão é feito utilizando um potenciómetro.

O *software* utilizado para projectar e simular este conversor foi o *PSpice*, onde foi possível montar o seguinte circuito:

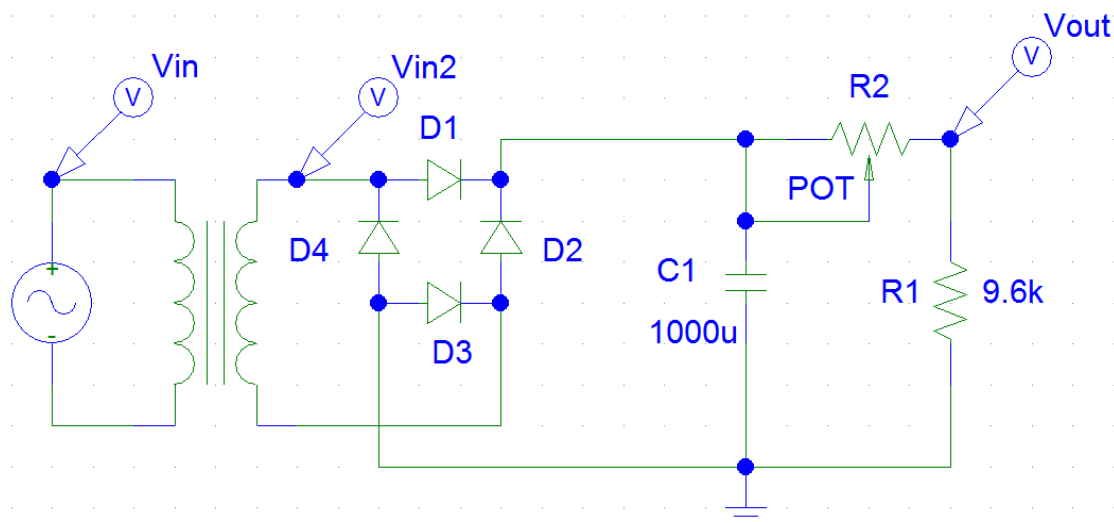


Figura 24 Esquema “sensor” tensão *PSpice*

Observando as formas de onda nas pontas de prova V_{in} , V_{in2} e V_{out} na simulação temos:

O sinal de entrada V_{in} , que vem directamente duma fase do gerador.

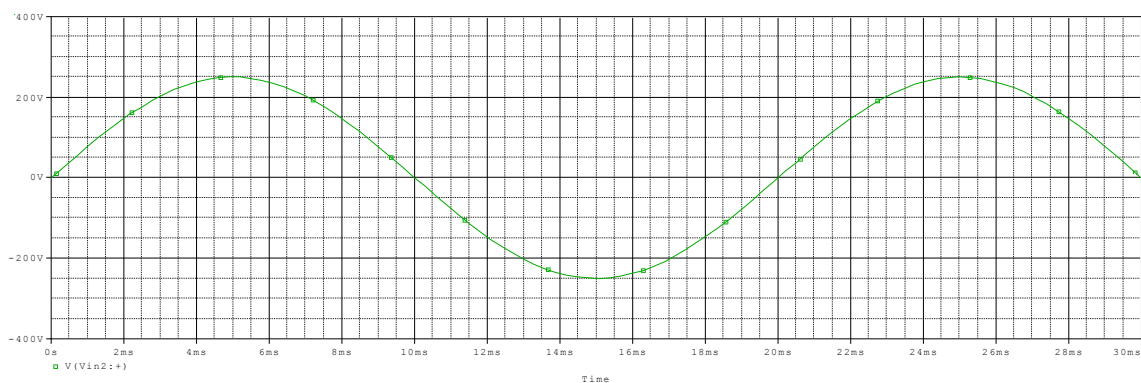


Figura 25 Forma de onda V_{in}

O sinal da Figura 25 é transformado e apresenta-se na seguinte forma de onda, desta vez com uma amplitude de aproximadamente 21V:

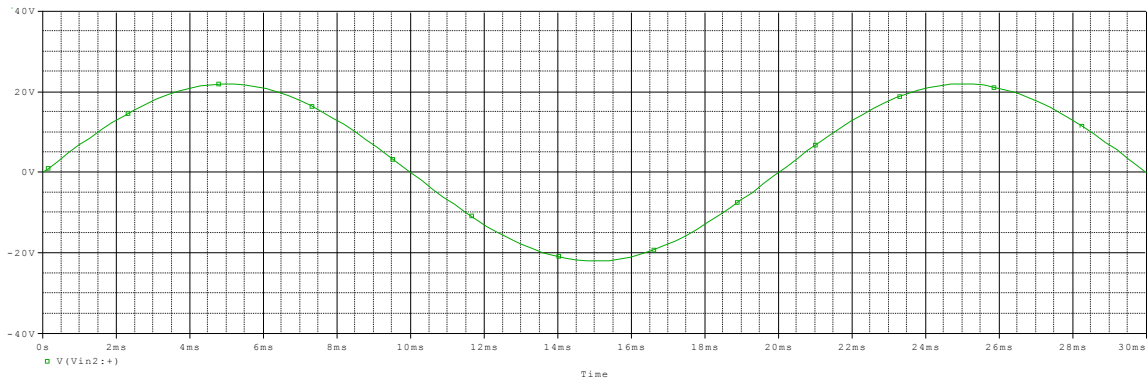


Figura 26 Forma de onda V_{in2}

Após rectificado o sinal e ainda sem atenuar o *ripple* ficamos com:

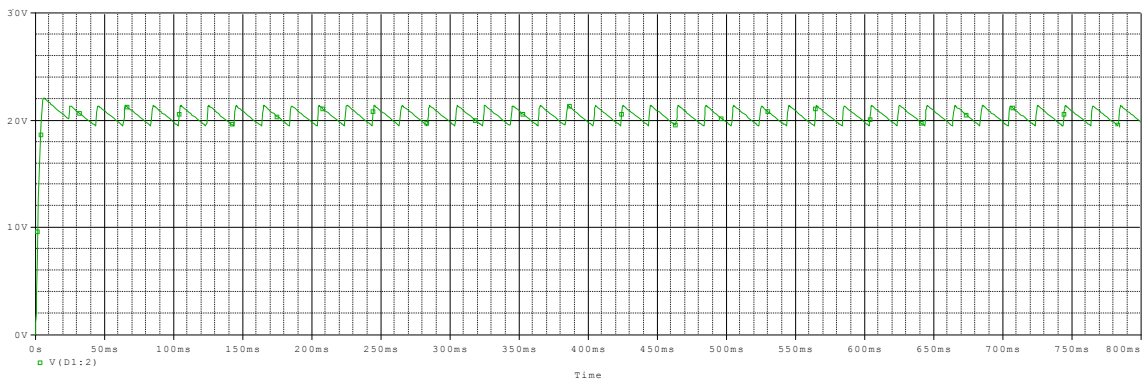


Figura 27 Forma de onda por regular e com *ripple*

Depois de atenuar o *ripple*, foi regulado o potenciómetro de forma a ajustar a tensão para os 10 Volts DC.

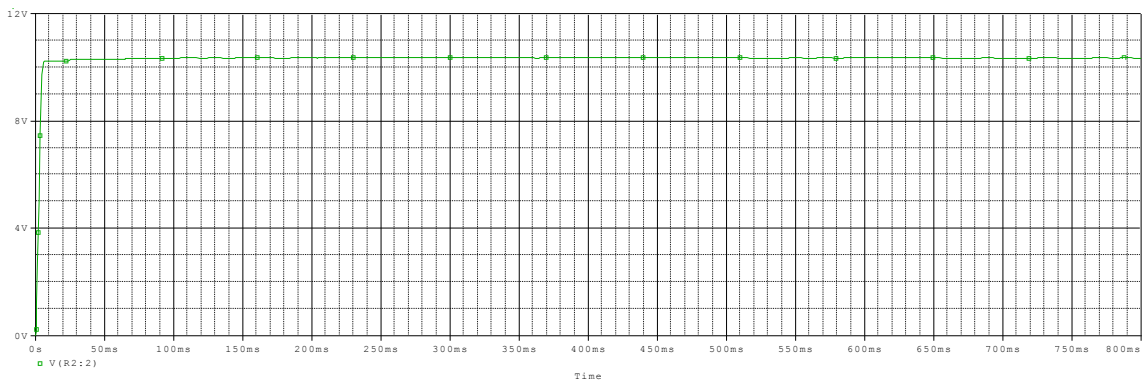


Figura 28 Forma de onda V_{out}

Realizados então todos os ajustes e simulações necessários, o circuito foi montado no *software* EAGLE de forma a obter o desenho do circuito impresso.

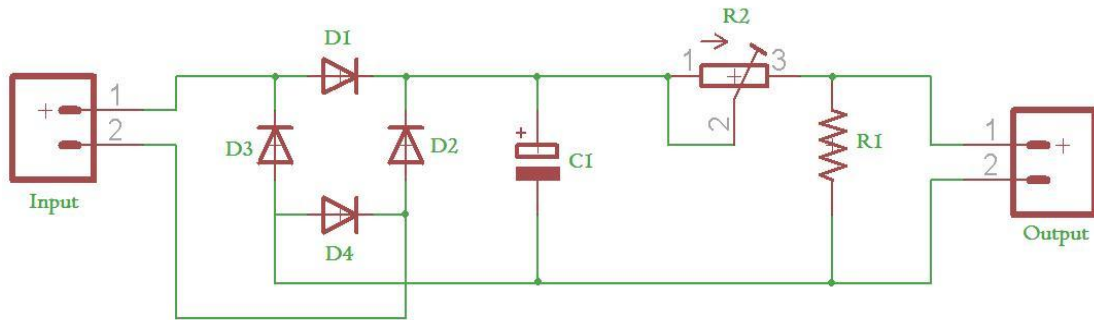


Figura 29 Esquema “sensor” tensão EAGLE

Simulando obtemos:

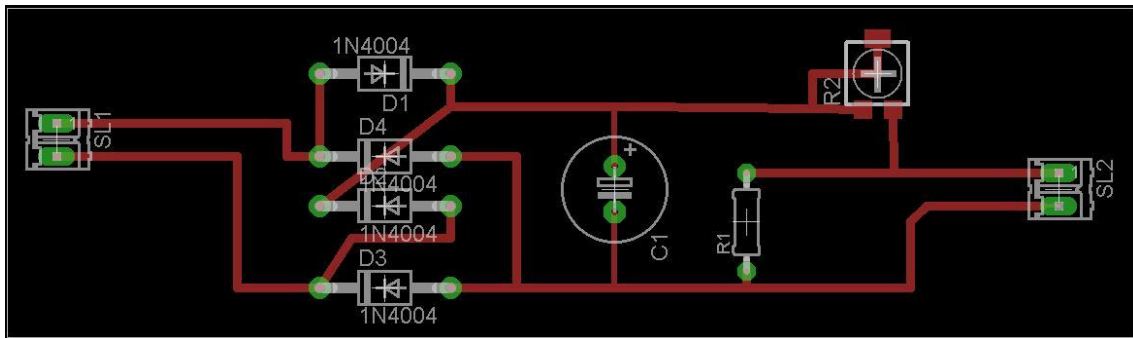


Figura 30 Esquema “sensor” tensão c/pistas EAGLE

A título de curiosidade e utilizando uma ferramenta do *software* EAGLE, denominada *EAGLE 3D* foi possível construir uma foto virtual do aspecto final do “sensor” de tensão.

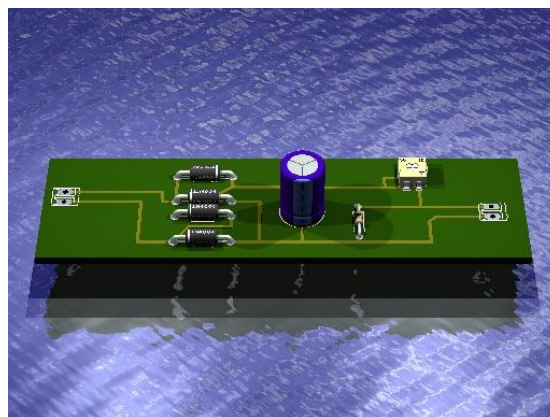


Figura 31 “Sensor” de tensão EAGLE

Estamos agora em condições de realizar a montagem. As pistas do circuito foram desenhadas numa placa de cobre com recurso a papel de fotografia impresso a laser, e um ferro de engomar.

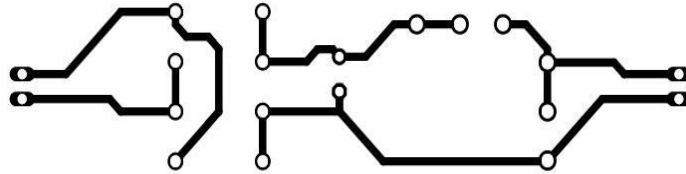


Figura 32 Pistas “sensor” de tensão

A corrosão do cobre em excesso foi feita com uma solução de água + ácido clorídrico + água oxigenada. O resultado é apresentado na Figura 33.

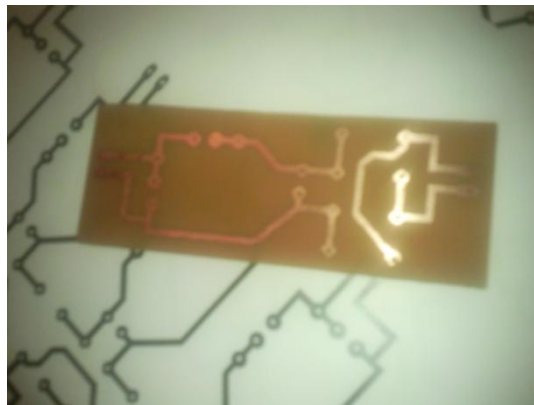


Figura 33 Placa de circuito impresso “sensor” de tensão

Por fim bastou furar a placa nos respectivos sítios e soldar os componentes.



Figura 34 “Sensor” de tensão terminado

Realizando o ensaio do “sensor” e utilizando os dados amostrados e com recurso ao *Matlab* foi possível construir o gráfico da recta característica deste. Na Figura 35 já se encontra a respectiva equação matemática.

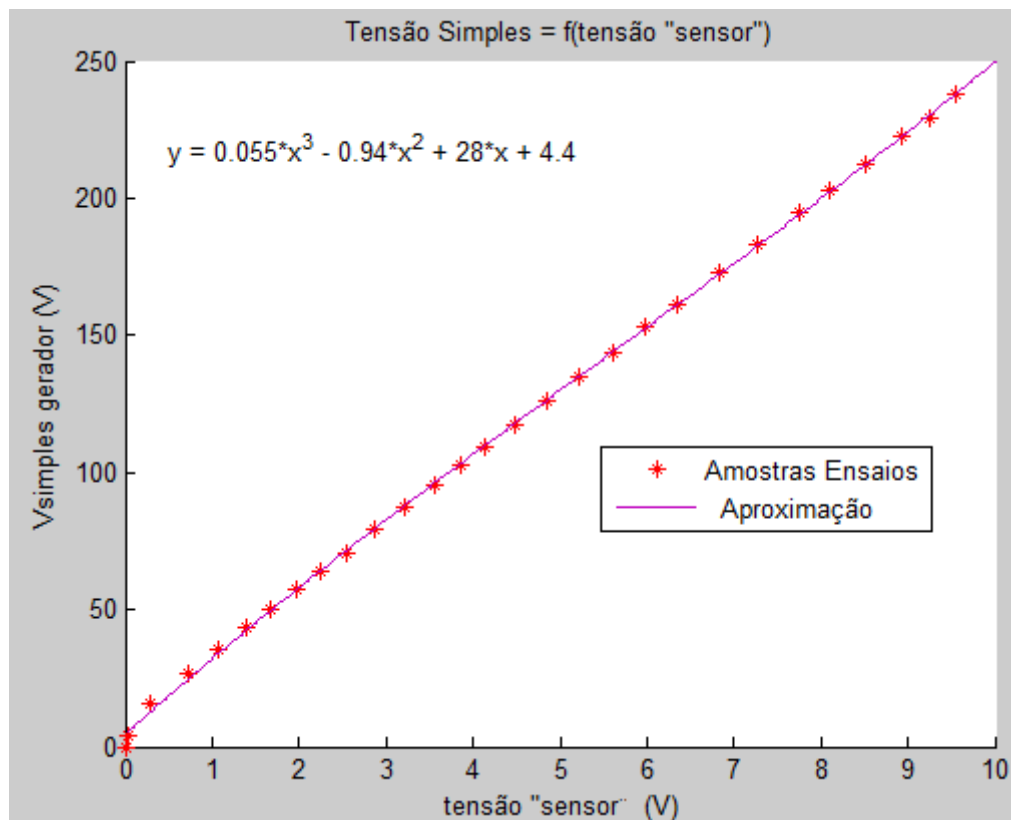


Figura 35 Característica “sensor” tensão simples = f (Tensão “sensor”)

As amostras retiradas deste ensaio encontram-se no Anexo B.

Multiplicando a tensão simples por $\sqrt{3}$, então ficamos com:

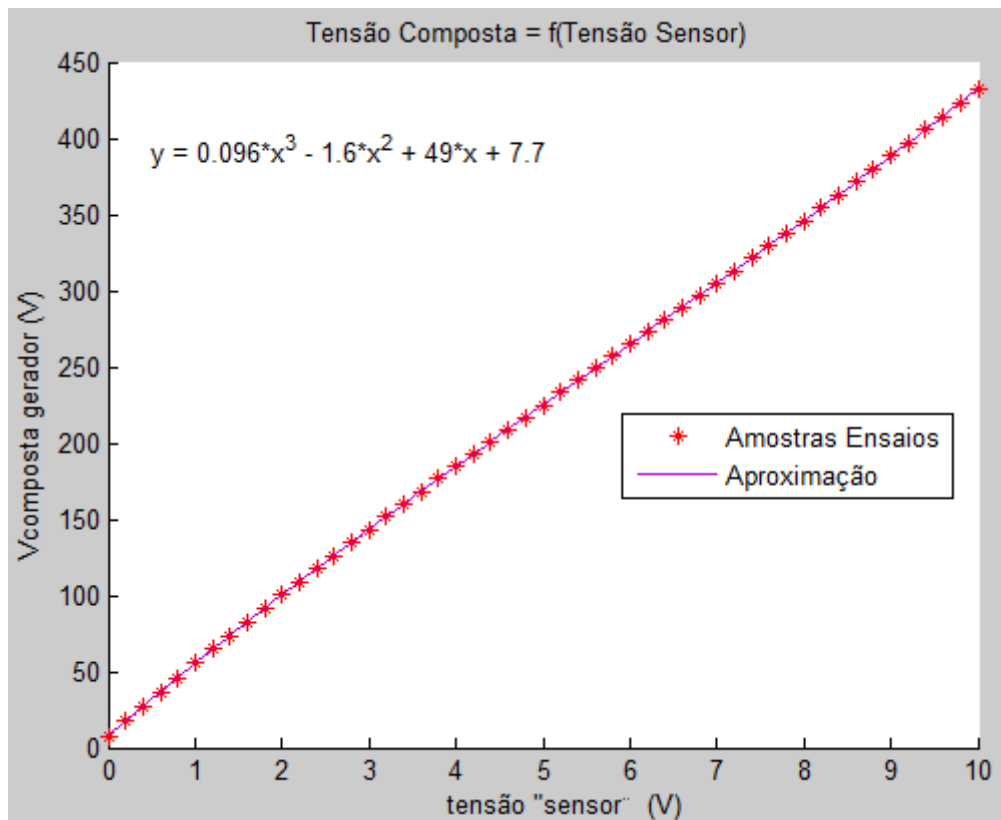


Figura 36 Gráfico tensão composta = f (tensão “sensor”)

4.9. CONVERSOR USB – RS485

O variador *Unidrive SP* utilizada como meio de comunicação o protocolo RS485. Para poder ligar o PC ao variador utilizou-se um conversor RS485 para USB, ficando assim emulada uma porta COM no PC.

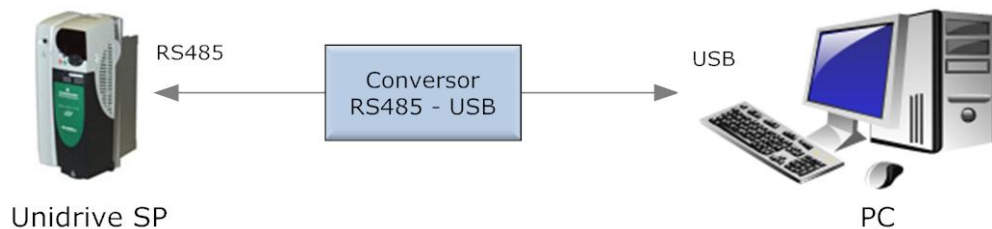


Figura 37 Ligação Conversor USB – RS485

No Anexo A encontra-se o protocolo de comunicação com o variador explicado com mais rigor.



Figura 38 Conversor USB – RS485

4.10. FONTE EXTERNA 24 VOLT E CONTACTOR

Depois da inicialização do sistema, onde todos os parâmetros necessários são definidos, o sistema fica pronto para funcionar. Existe uma sequência de acontecimentos que se sucedem inicialmente tais como: colocar a excitação do gerador a zero, ligar o motor, fazer a excitação inicial e por fim ligar a carga. É devido a este último acontecimento que vamos precisar desta fonte externa.

Temos então a carga ligada a um contactor que é accionado por esta fonte externa de 24 Volt. Este processo é comandado por um relé do variador de velocidade que por sua vez é controlado pelo *software*.



Figura 39 Fonte Externa 24 Volt

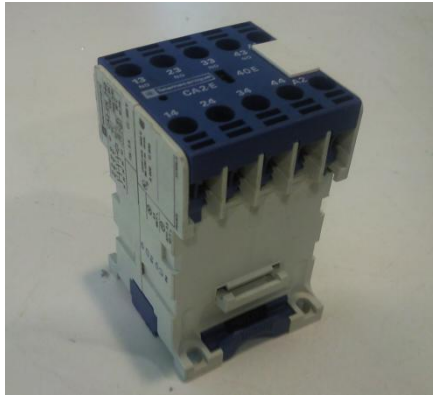


Figura 40 **Contactador**

Quando desligamos o sistema o contactor da Figura 40 vai ser responsável por desligar a carga do gerador, da mesma forma que este conecta a carga ao gerador quando iniciamos o sistema. Na Figura 9 podemos observar onde se inserem estes equipamentos.

4.11. CARGA

De forma a simular a carga consumida pelo gerador foi usado o equipamento da Figura 41. Esta carga é resistiva e tem uma potência de 4 kW. Serão feitas variações através dos interruptores existentes na parte frontal deste equipamento em níveis de 2,5%, 5%, 10%, 15%, 20% e 25% da potência total desta.



Figura 41 **Carga resistiva**

5. *SOFTWARE* DESENVOLVIDO

O principal objectivo deste *software* é fazer a regulação da excitação do gerador utilizando uma fonte controlada de forma a manter o valor eficaz da tensão a rondar os 400 V a 50 Hz independentemente da carga inserida.

Este *software* final foi desenvolvido em C++ recorrendo ao *Visual Studio* 2005 usando um projecto de tipo *Win32*, e possui uma interface gráfica com o utilizador.

Esta parte do trabalho serve também como um tutorial de aprendizagem de utilização deste *software*.

5.1. FUNCIONALIDADES E ESTRUTURA DO *SOFTWARE* DESENVOLVIDO

O ambiente gráfico do *software* desenvolvido tem o seguinte aspecto:



Figura 42 Aspecto *software* desenvolvido

As suas principais funcionalidades são:

1. Parametriação do variador de velocidade;
2. Detecção de anomalias e erros;
3. Escolher novo motor;
4. Controlo da excitação do gerador.

Os menus deste *software* estão organizados da seguinte forma:

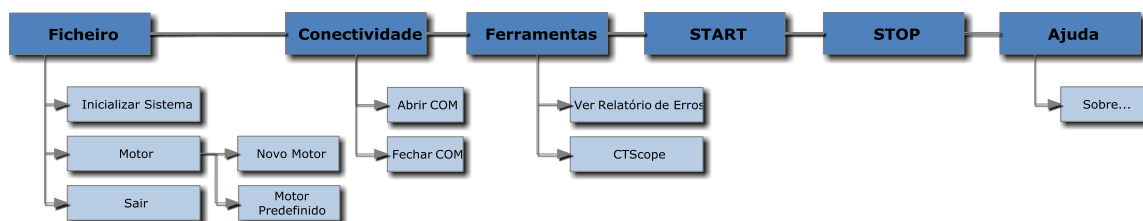


Figura 43 Estrutura dos menus do *software* desenvolvido

5.2. INICIALIZAR COMUNICAÇÃO

Antes de realizar qualquer operação é necessário inicializar a comunicação com o variador. Para tal clicamos em “Conectividade” e depois em “Abrir COM”, caso existam portas COM disponíveis a comunicação será inicializada com sucesso e será mostrada uma mensagem com informação relativa a esse acontecimento. Caso contrário, aparecerá a correspondente mensagem de erro e seu respectivo registo no relatório de erros tal como veremos mais à frente.

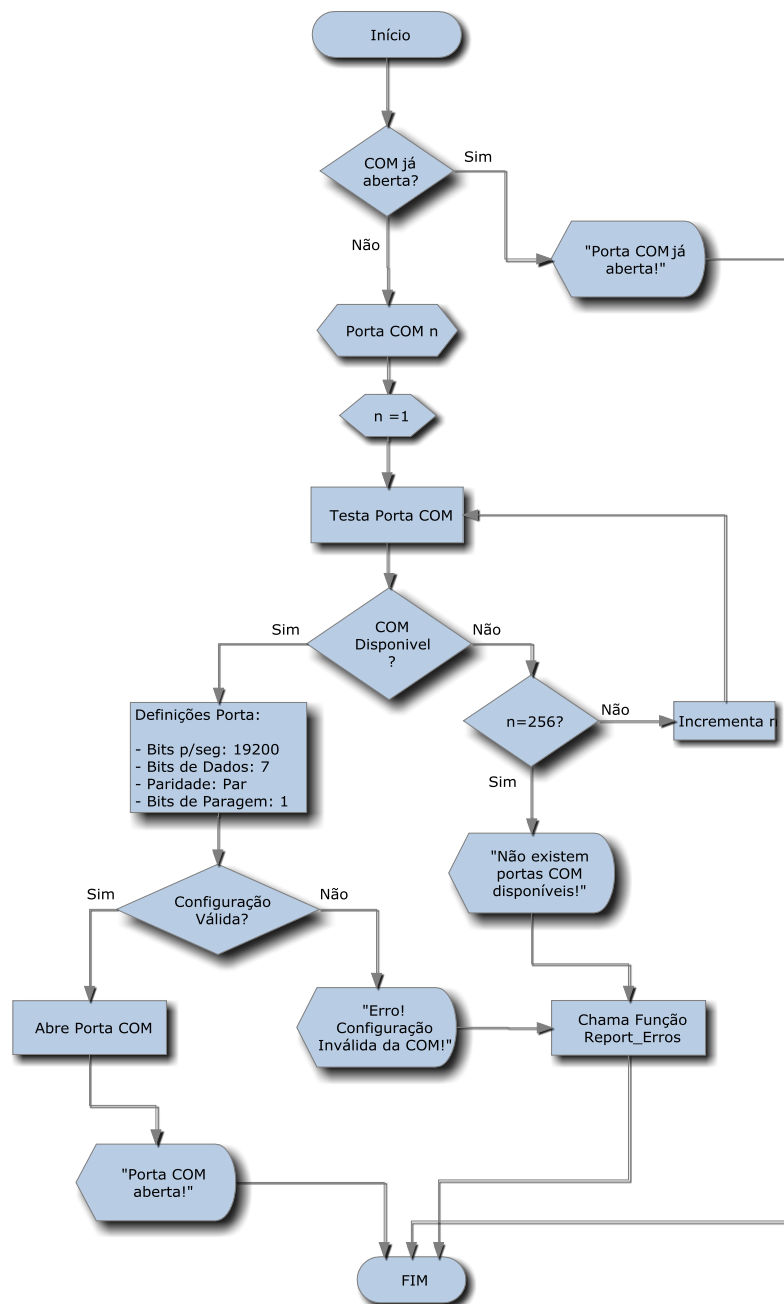


Figura 44

Fluxograma função inicializar comunicação

Para terminar a comunicação e fechar a porta de comunicação clicamos em “*Fechar COM*”.

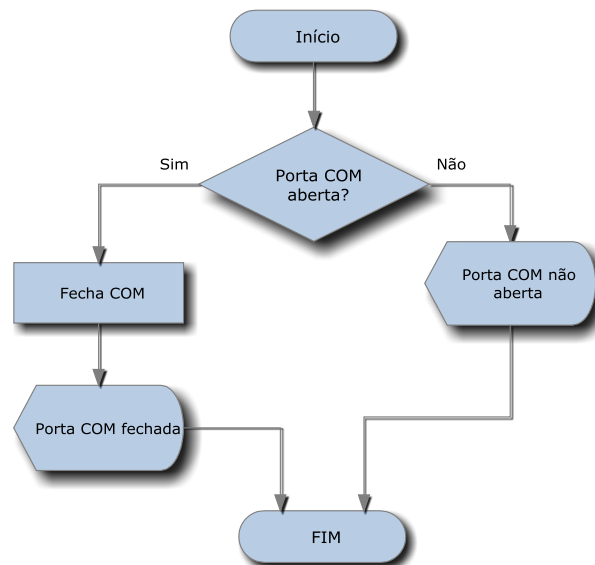


Figura 45 Fluxograma função terminar comunicação

Estão feitas as devidas protecções para evitar que por engano o utilizador tente por exemplo fechar a porta sem a ter aberto, ou ate mesmo tentar abri-la uma segunda vez.

5.3. RELATÓRIO DE ERROS

Uma das particularidades deste *software* é o facto de este conseguir fazer um relatório de erros que possam ocorrer com a vantagem de registar também a data e hora e descrição do tipo de erro ocorrido. Todos os erros ficam guardados no ficheiro de texto que pode ser consultado através deste *software*. Para consultar este relatório vamos ao separador “*Ferramentas*” e clicamos em “*Ver relatório de Erros*”.

São registados erros do tipo:

- Erros de escrita;
- Falhas na configuração (comunicação, entradas e saídas analógicas, *Autotune*)
- Motor parado;
- Fonte controlada desligou-se;
- Velocidade do motor insuficiente.

Na Figura 46 apresentamos o aspecto da formatação do relatório de erros. Neste caso em particular, os erros datam do dia 7 de Julho de 2010. Estes erros ocorreram em ambiente de laboratório.

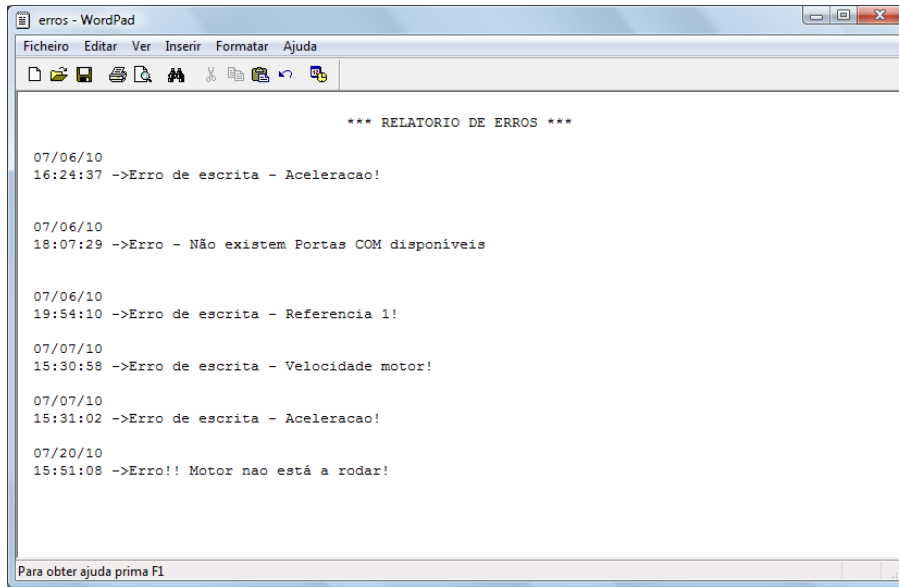


Figura 46 Aspecto relatório de erros – *software*

O fluxograma desta função é o seguinte:

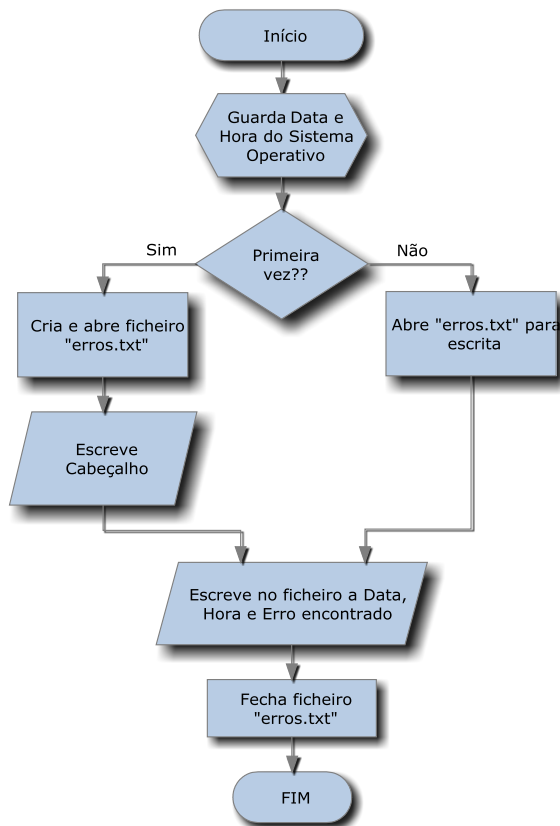


Figura 47 Fluxograma função relatório de erros

Ainda no separador “*Ferramentas*” é possível aceder através deste *software* a um outro desenvolvido pela *Control Techniques*, o *CTScope*. Este programa não é mais que um osciloscópio digital com 4 canais que nos permite visualizar graficamente uma diversa gama de sinais, para tal basta seleccionar o parâmetro que desejamos. O aspecto da sua interface está na Figura 48.

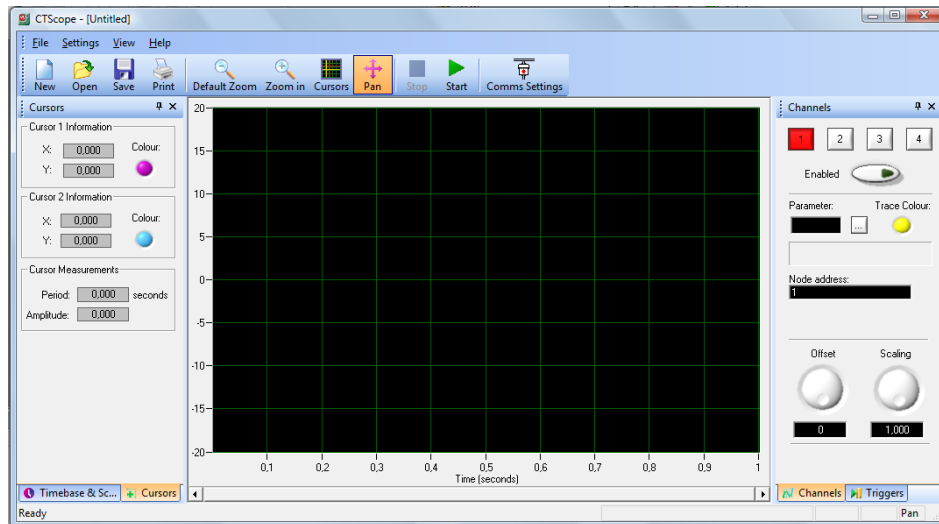


Figura 48 Interface *CTScope*

5.4. ESCOLHER NOVO MOTOR

A inicialização do sistema é feita com base nas características do motor existente no laboratório. Motor esse que tem umas determinadas particularidades que são tomadas em conta na sua parametrização. Posto isto sentiu-se a necessidade de tornar este *software* mais flexível adicionando a possibilidade de o utilizador poder definir novas características, previamente à inicialização, de forma a usar um motor diferente.

Para utilizar esta funcionalidade vamos a “*Ficheiro*”, depois a “*Motor*” e por fim clicamos na opção “*Novo Motor*”. Surge então uma janela com um formulário com este aspecto.

Inserir Paramêtros novo Motor:		Formato Exemplo:	
Frequência:	50.0	Hz	"50.0"
Corrente:	3.56	Amp.	"2.45"
Velocidade:	1600	Rpm	"1600"
Tensão:	400	Volt	"430"
Factor de Potência:	0.856		"0.753"
Número Par Pólos:	6		"4"

Figura 49 Formulário novo motor - *Software*

Este formulário já está preenchido só a título de exemplo, para estabelecer estas novas definições do motor basta clicar em “*OK*”, caso contrário voltamos a ficar com as características do motor predefinido. Para que o variador consiga assimilar os valores das diferentes grandezas inseridas é necessário que estas sejam colocadas no formato exemplo tal como é apresentado da Figura 49.

5.5. INICIALIZAR SISTEMA

Neste ponto precisamos de parametrizar o variador consoante as necessidades do nosso sistema. Para iniciar a parametrização clicámos em “*Ficheiro*” e depois em “*Inicializar Sistema*”.

Vão ocorrer uma série de procedimentos. Como está relatado na função inicializar comunicação, existem definições da porta de comunicação que têm ser previamente colocados manualmente no variador de forma a ser possível iniciar qualquer tipo de comunicação, portanto mal se dê início a esta inicialização surge uma janela de aviso como a da Figura 50.

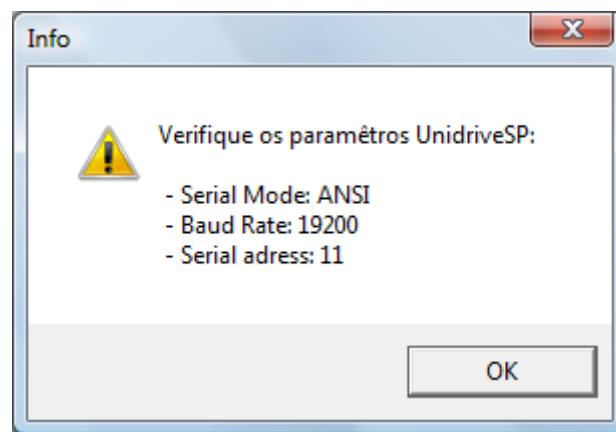


Figura 50 Parâmetros comunicação - *software*

Após clicar em “*OK*” o *software* irá fazer o *reset* a todos os parâmetros do variador, escrevendo no parâmetro x.00 o valor 1233 e logo de seguida grava as novas definições escrevendo nesse mesmo parâmetro o valor 1000, posteriormente vai definir o sistema de alimentação Europeu – 50 Hz, estes valores são indicados no manual do variador.

Postos estes procedimentos vamos então dar início à inicialização dos parâmetros necessários para o sistema funcionar correctamente.

A sequência de parâmetros que vão ser alterados é a seguinte:

1. Encoder

- 11.31 - Modo de operação – *Close Loop*
- 03.38 - Tipo de Encoder – *AB (Quadrature)*
- 03.36 - *Encoder Power Supply – 5 Volt*

- 03.34 - Linhas por revolução – 4096
- 03.39 - *Termination Resistors – A & B enable*
- 03.40 - Detecção Erro – Ruptura de Fio.

2. Motor

- 05.06 - Frequência – 50 Hz
- 05.07 - Corrente – 3,60 A
- 05.08 - Velocidade – 1500 rpm
- 05.09 - Tensão – 400 *Volt*
- 05.10 - Factor de Potência – 0,810
- 05.11 - Número par de pólos – Auto

3. Perfil da Drive

- 01.10 - Referências bipolares - Desactivadas
- 01.07 - Velocidade mínima – 0 Hz (0 rpm)
- 01.06 - Velocidade máxima – 60 Hz (1500 rpm)
- 02.11 - Aceleração – 5 s/100 Hz
- 02.21 - Desaceleração – 10 s/100 Hz

4. Referências de Velocidade

- 01.14 - Referências de Velocidade – Predefinidas
 - 01.21 - Referência 1 – 50 Hz
 - 01.22 - Referência 2 – 60 Hz

5. Entradas/Saídas Referências Analógicas

- **Entrada Analógica 1**
 - 07.07 - *Offset* – 0,0
 - 07.08 - Escala – 0,000
 - 07.09 - Inversão – não invertido
 - 07.10 - Parâmetro de destino – 01.36

- **Entrada Analógica 2**
 - 01.41 - Seleccionar entrada 2
 - 07.11 - Modo – Tensão
 - 07.31 - *Offset* – 0,0
 - 07.12 - Escala – 0,000
 - 07.13 - Inversão – não invertido
 - 07.14 - Parâmetro de destino – 1.37

- **Saída Analógica 2**
 - 07.24 - Modo – Tensão
 - 07.32 - Escala – 0,000
 - 07.22 - Parâmetro de destino – 2.18

- **Estado do Motor**
 - 06.15 - Desliga o motor - OFF

O formato da designação dos parâmetros é *xx.yy* em que o *xx* corresponde ao menu de uma gama de parâmetros e o *yy* equivale ao parâmetro em si.

Por exemplo:

05.06 - Frequência – 50 Hz = Menu 5, parâmetro 6, neste caso é a frequência e será escrito para este parâmetro o valor “50”.

À medida que todos estes parâmetros são alterados é apresentada uma tela no ecrã em tempo real sobre o resultado da operação de determinado parâmetro. Existem 4 possíveis situações:

1. **OK!** – Parâmetro correcto escrito com sucesso;
2. **ERRO!** – Não foi possível escrever no parâmetro;
3. **Valor diferente do esperado!** – Foi possível escrever mas o valor escrito não corresponde ao que seria esperado.
4. **Parâmetro não encontrado ou inválido!** – Se o *software* tentar escrever num parâmetro que não existe ou num parâmetro apenas de leitura.

Embora as situações 3 e 4 sejam improváveis acontecer, o *software* salvaguarda estas situações de forma termos total garantia que são escritos no variador os valores que se pretendem.

Em baixo é apresentado o aspecto dessa tela evidenciando estas quatro situações.

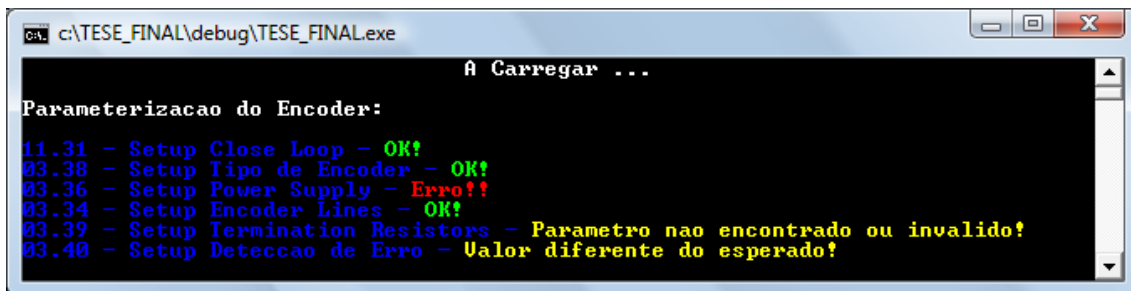


Figura 51 Tela do processo de inicialização - *software*

Na Figura 51 é mostrado apenas a inicialização do *Encoder*, onde foram geradas proposadamente as diferentes situações de erro durante a inicialização de cada parâmetro. Desta forma podemos ter a noção do decorrer da inicialização, observando parâmetro a parâmetro que está a ser inicializado assim como o resultado obtido após a escrita em cada um deles.

Como resultado final desta fase da inicialização surgirá uma janela com os principais grupos de parâmetros inicializados e respectivos valores escritos nesses parâmetros. Em caso de erros de escrita também serão evidenciados aqui. Os valores desta janela são obtidos através de uma leitura directa ao variador.



Figura 52 Janela final de inicialização – *Software*

Todo este processo de inicialização dos parâmetros é explicado no seguinte fluxograma:

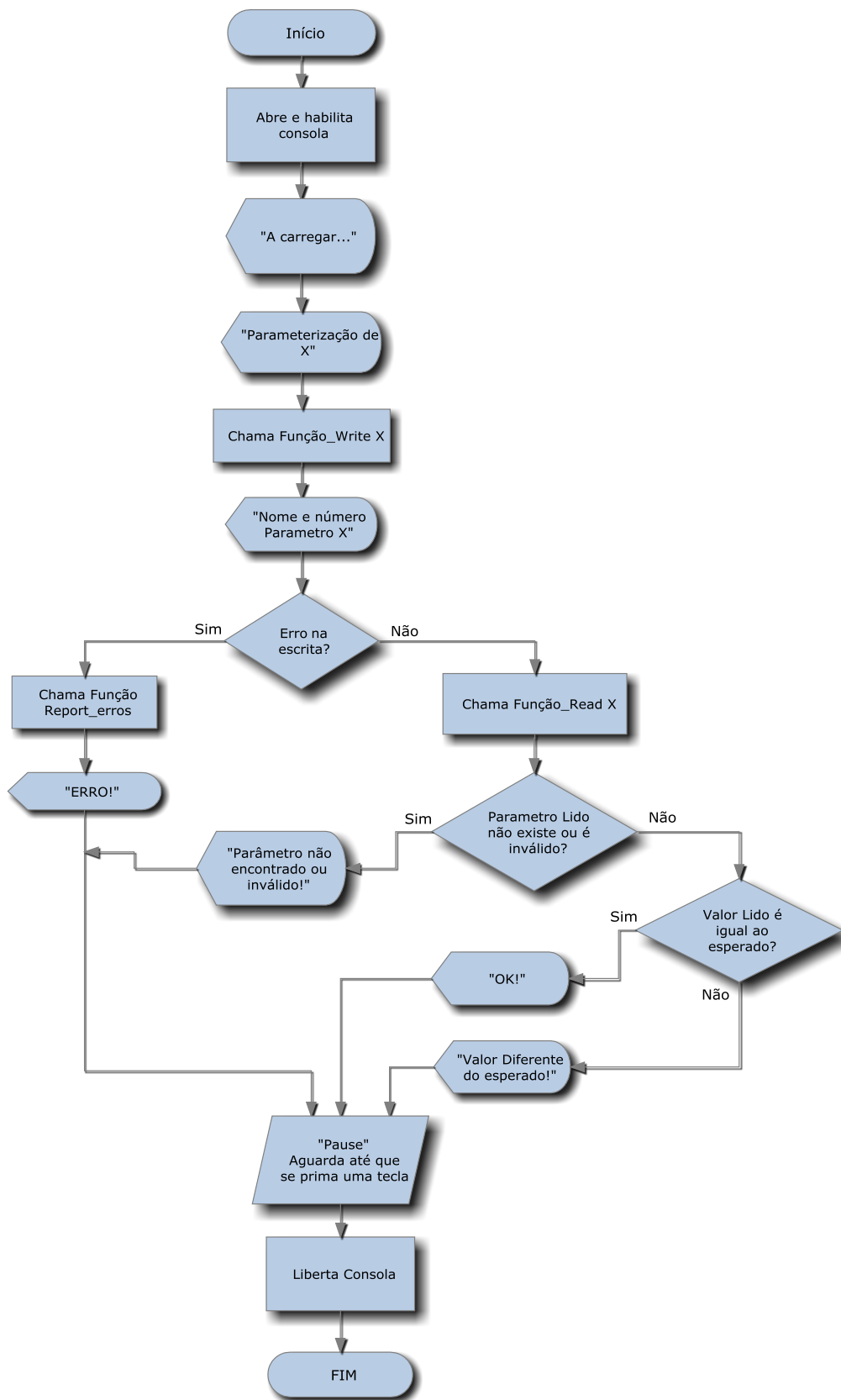


Figura 53 Fluxograma parametrização – software

De forma a não ter que repetir este fluxograma demasiadas vezes considerou-se que o parâmetro *X* vai englobar todo o conjunto de parâmetros que vão ser alterados durante a inicialização, pois o processo é exactamente igual para os todos.

Terminada então esta parte é necessário agora realizar o *Autotune* para que desta forma o variador consiga calcular os parâmetros internos do motor. Surge agora um aviso com o seguinte aspecto e basta clicar em “OK” para dar início ao *Autotune*:

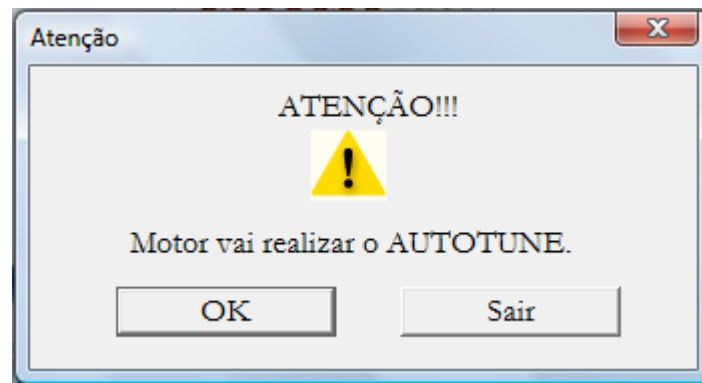


Figura 54 Janela aviso de *Autotune* – *software*

Decorridos alguns segundos, o motor pára e estamos agora sim em condições de arrancar com o nosso sistema. O fluxograma do processo de arranque será explicado mais à frente. Agora será explicada a forma como o *software* escreve e lê parâmetros.

5.6. FUNÇÃO ESCREVER

Qualquer informação que seja passada do *software* para o variador é feita através do processo de escrita. No Anexo A é explicado todo o protocolo de escrita assim como de leitura. O fluxograma deste processo é mostrado na Figura 55.

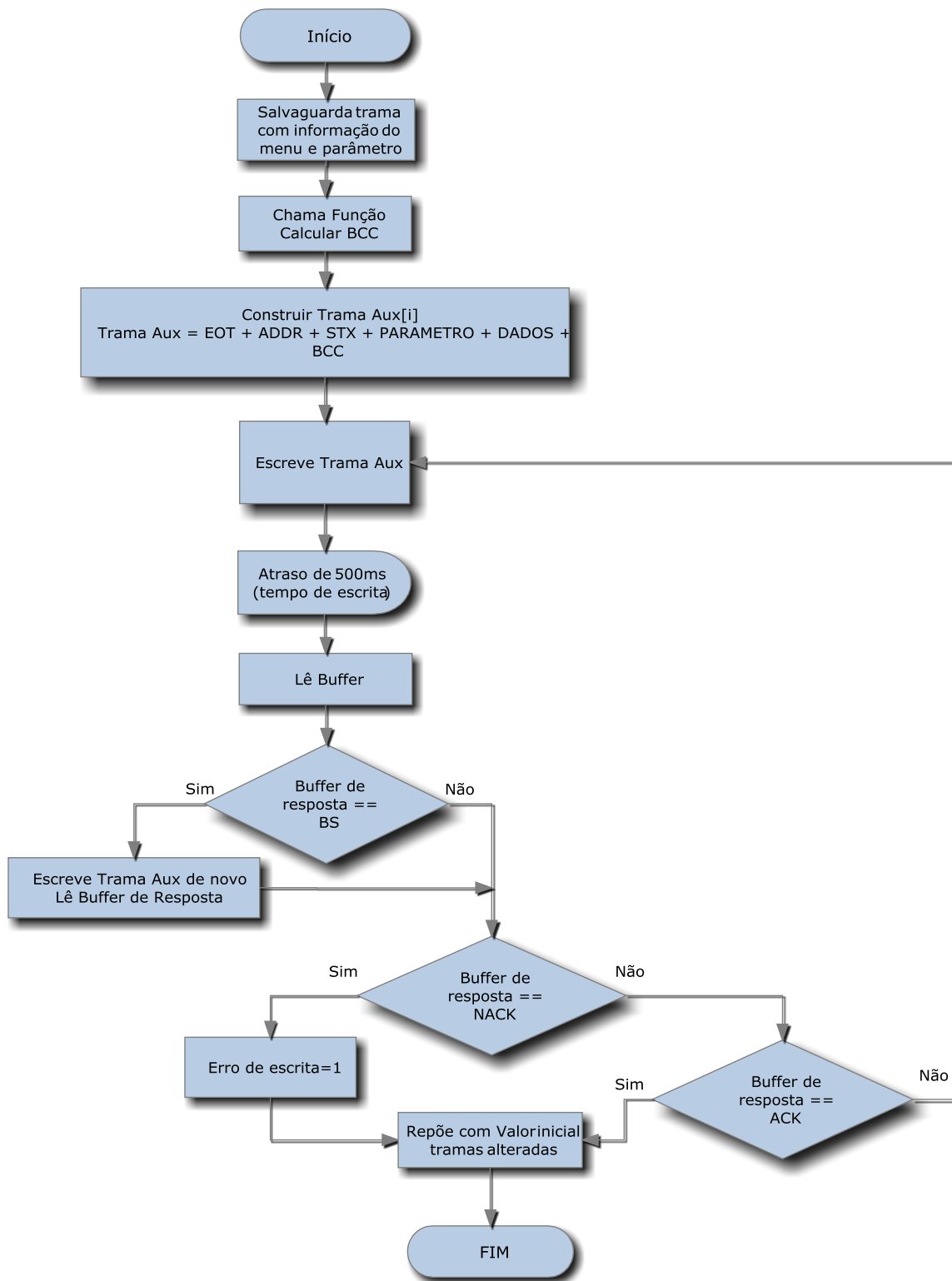


Figura 55 Fluxograma função escrita

5.7. CÁLCULO BCC (*BLOCK CHECKSUM CHARACTER*)

No fluxograma da Figura 55 surge um bloco “*Calcular BCC*”, este cálculo é realizado a fim de garantir que as mensagens quer enviadas ou recebidas para a unidade não sejam corrompidas durante a transmissão. Este bloco de dados permite que a unidade BCC que recebe as mensagens verifique se os dados foram corrompidos ou não, isto é feito realizando um “*XOR*” entre todos os caracteres da trama de escrita. No Anexo A é explicado como este é feito. O fluxograma deste processo é apresentado na Figura 56.

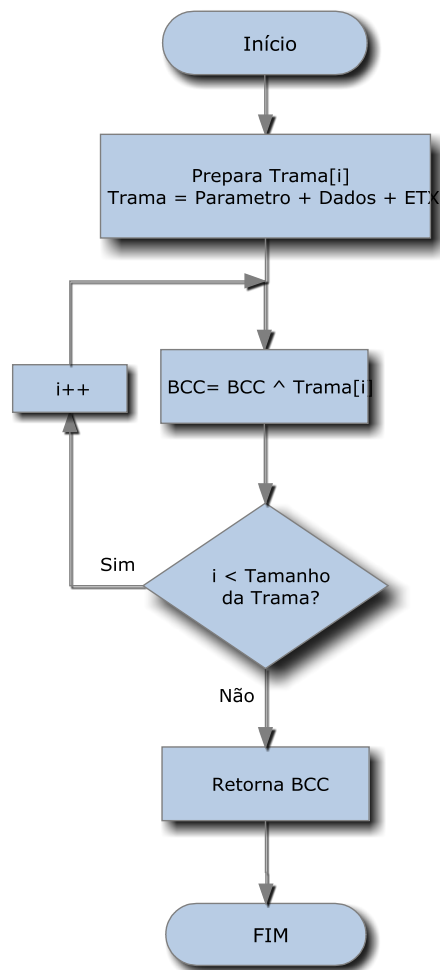


Figura 56 Fluxograma cálculo BCC

5.8. FUNÇÃO LEITURA

Durante a parametrização e controlo do sistema é necessário efectuar leituras de parâmetros quer para comparação de valores quer para confirmação dos parâmetros que foram escritos. Esta função vai ler uma trama de um determinado parâmetro do variador e faz a triagem dos dados que nos interessam. É desta forma que por exemplo conseguimos ler o valor da tensão gerada. O fluxograma desta função encontra-se na Figura 57.

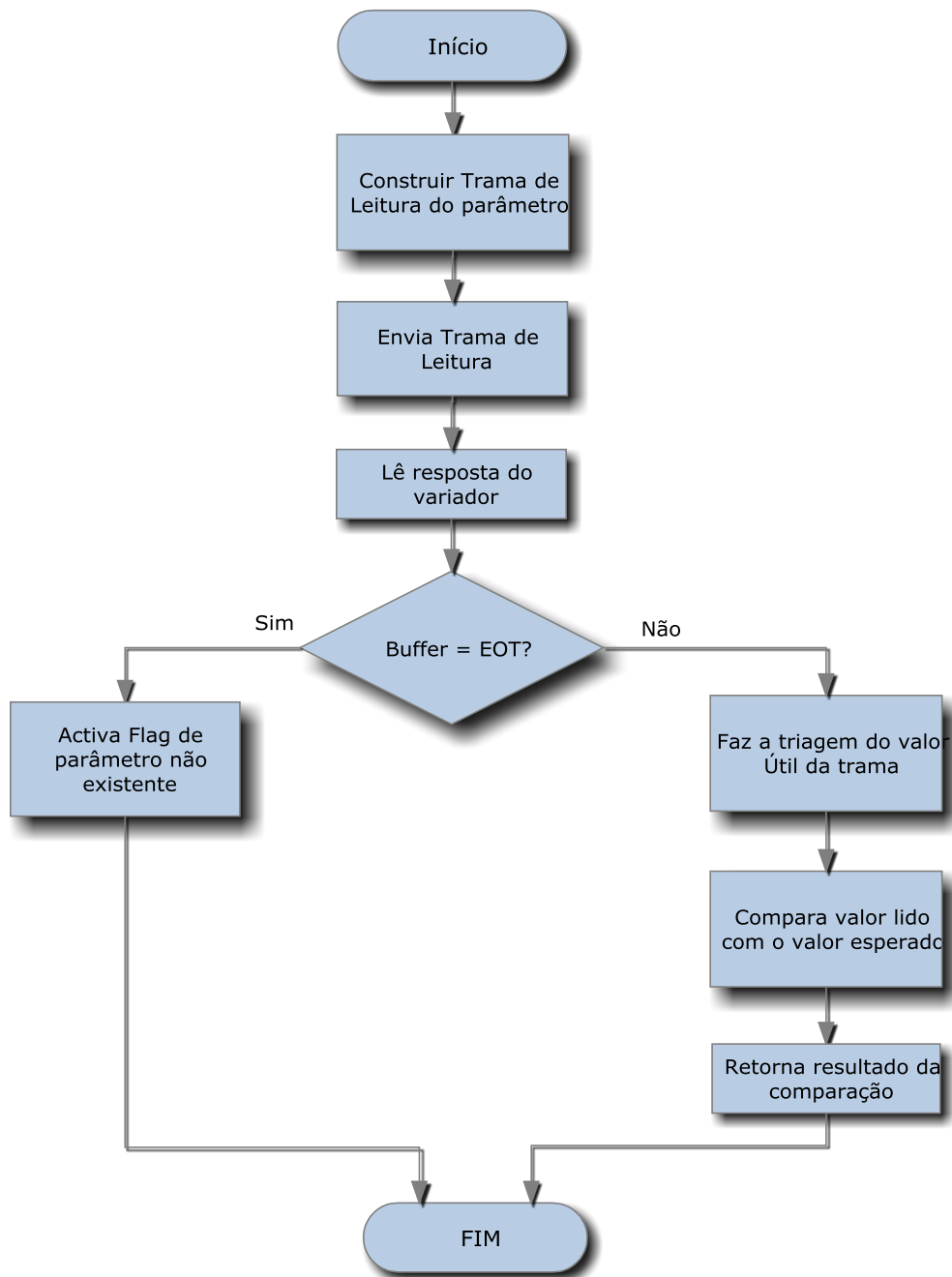


Figura 57 Fluxograma função leitura

5.9. ARRANCAR SISTEMA

Com todos os parâmetros configurados vamos então arrancar com o sistema, para tal basta um *click* no botão “START”. Ainda assim antes de se começar a efectuar o controlo propriamente dito irão ocorrer uma série de processos. No fluxograma em baixo é mostrado todo esse processo.

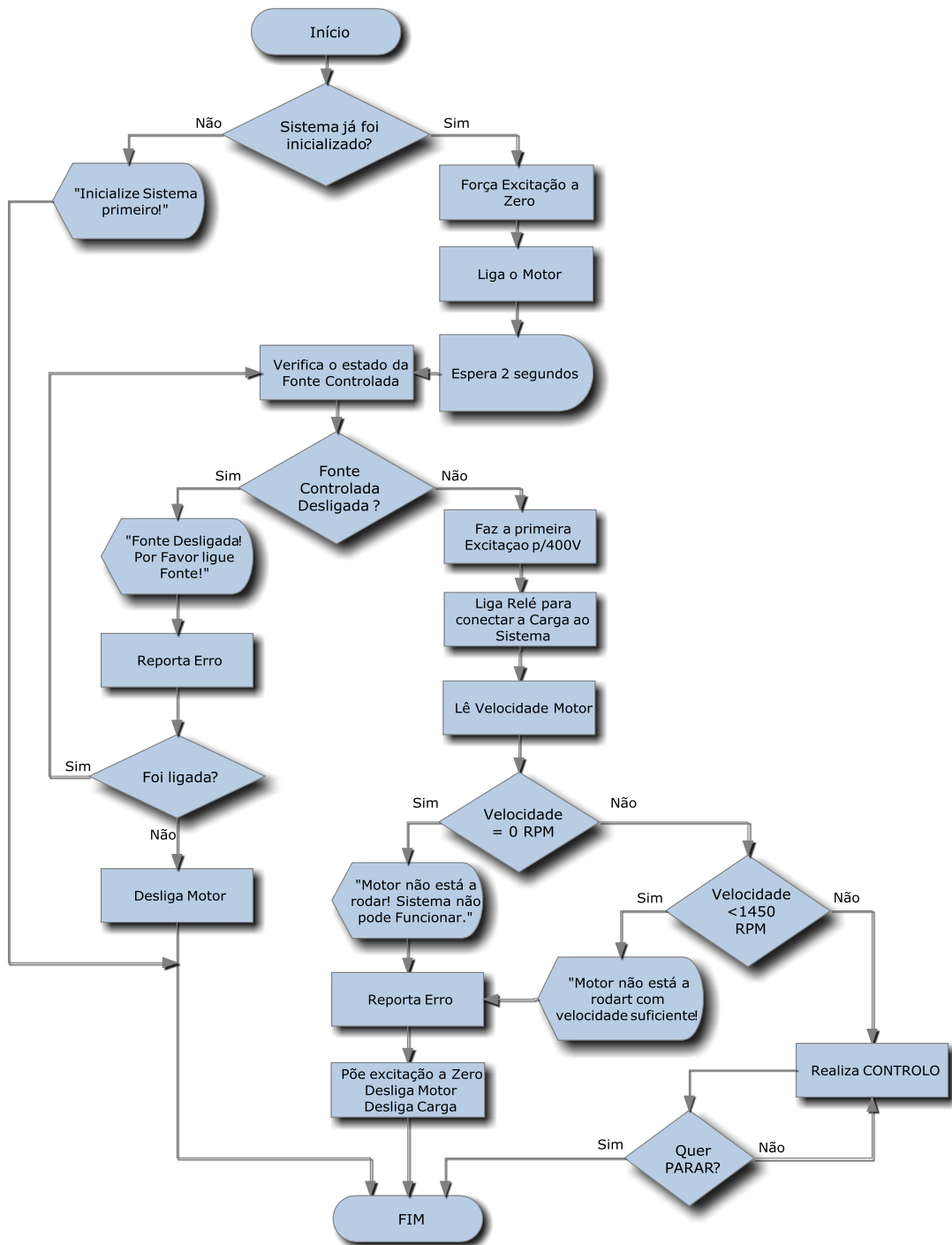


Figura 58 Fluxograma arranque – Software

No bloco “*Verifica o estado da fonte controlada*” e “*Lê velocidade motor*” o processo utilizado é exactamente igual ao processo de leitura de um parâmetro normal, mas desta vez a função retorna um valor (valor = 0 - fonte desligada/motor parado, valor > 0 – fonte ligada/motor a rodar). O parâmetro que corresponde ao estado da fonte é o 01.36, este irá ter um valor maior que zero se a fonte estiver ligada e igual a zero caso esta esteja desligada. Quando isto acontece surge um aviso como o da Figura 59 onde temos 2 hipóteses, ligar a fonte e clicar em “*OK*” ou “*Sair*” e abortar o arranque do sistema.

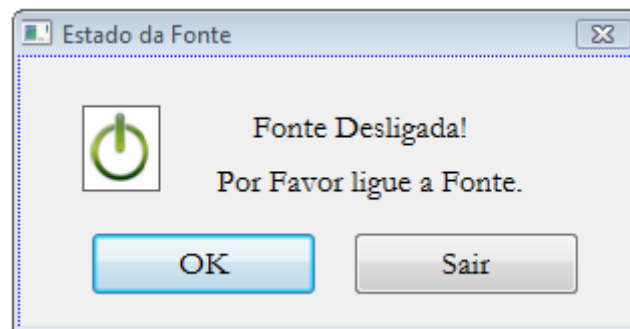


Figura 59 **Aviso de fonte desligada – software**

5.10. CONTROLO EXCITAÇÃO

Depois de ser feita a inicialização do sistema e arranque deste é iniciado o controlo do mesmo. Na Figura 60 temos o fluxograma da função que vai orientar todo o processo de controlo da excitação.

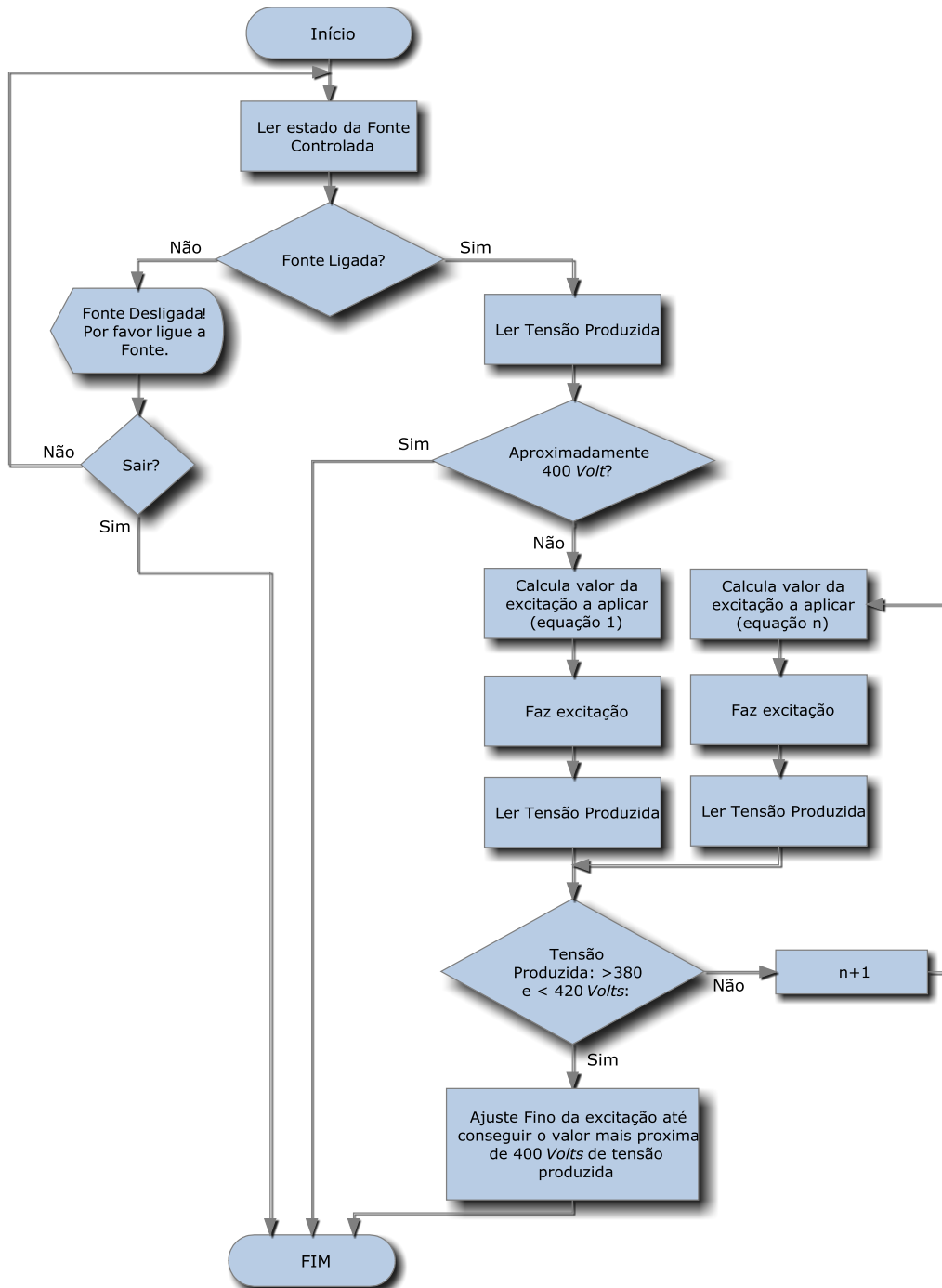


Figura 60 Fluxograma função controlo da excitação

O cálculo da excitação necessária é feito utilizando as equações encontradas através da regressão linear das amostras dos ensaios realizados para cada situação de carga. Estes resultados encontram-se no Anexo C. O *software* vai calculando (equação n) para cada situação de carga o valor de excitação necessário, caso o valor calculado não seja suficiente para manter a tensão nos 400 Volt, é calculado (equação $n+1$) um novo valor utilizando a equação seguinte e assim sucessivamente.

5.11. FUNÇÃO AJUSTE FINO DE EXCITAÇÃO

No fluxograma da Figura 60 existe um bloco que vai fazer o ajuste fino da excitação, o objectivo deste é ajustar a excitação em “passos” muito pequenos para que a tensão produzida se aproxime o mais perto possível dos 400 Volt.

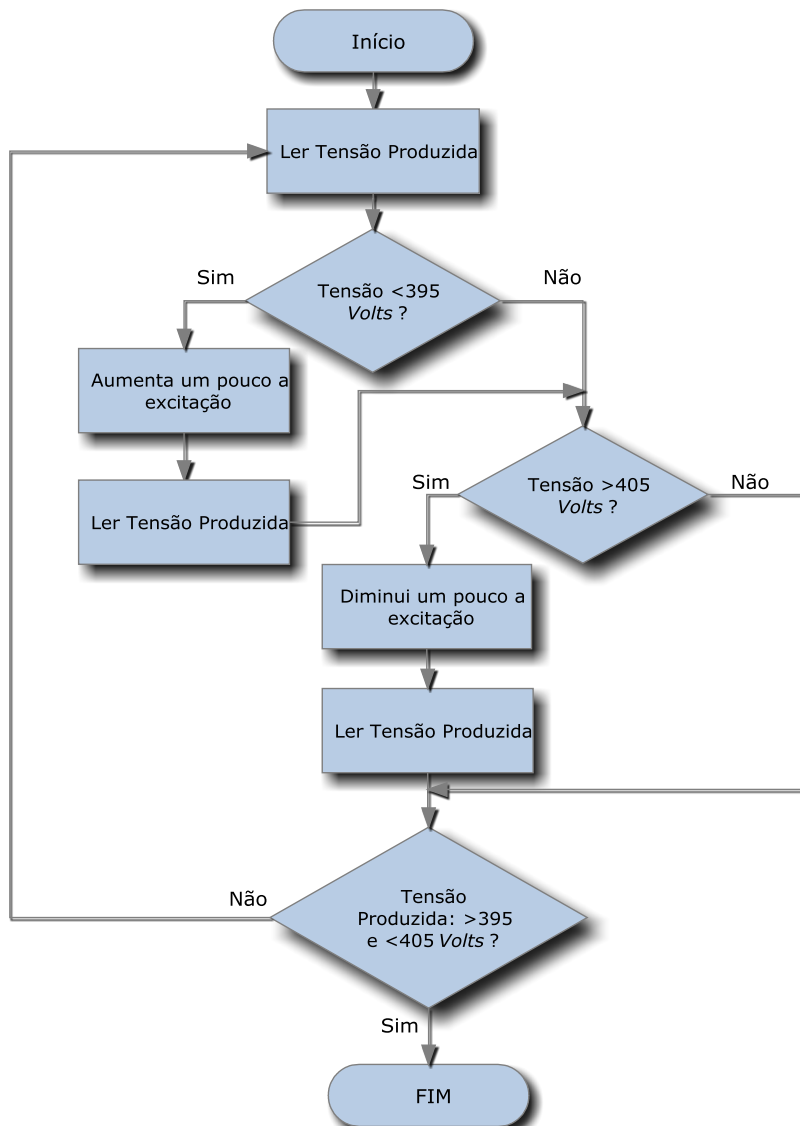


Figura 61 Fluxograma função ajuste fino da excitação

5.12. FUNÇÃO MAIN

Todo o processo de controlo de excitação é realizado em *loop*, e este só vai terminar quando o utilizador clicar no botão “STOP” da interface do *software*, ou seja, o controlo pára quando a nossa função *main* receber uma mensagem de STOP. No fluxograma da Figura 62 é apresentada a função main.

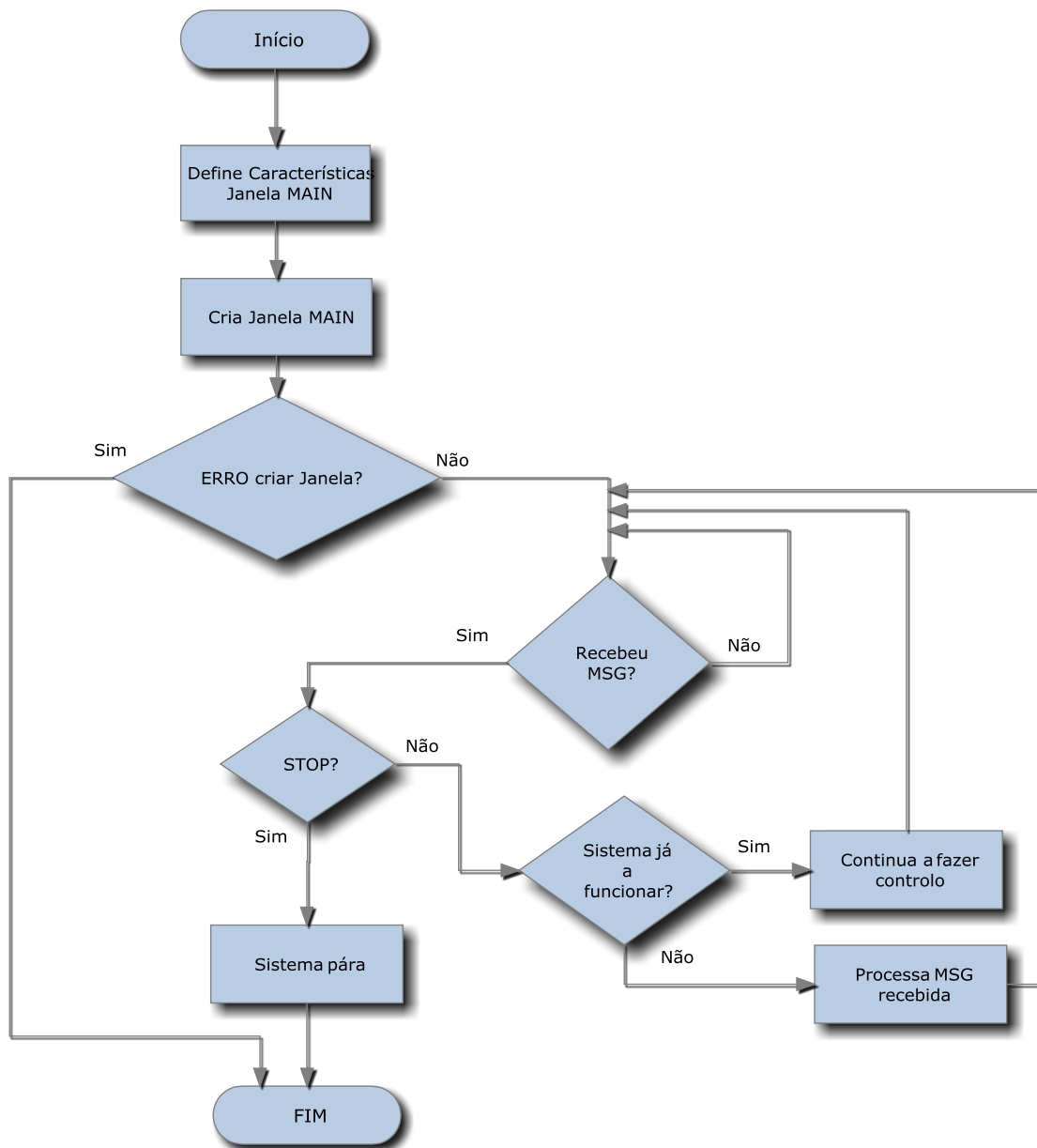


Figura 62 Fluxograma função main

6. RESULTADOS

Terminando assim a explicação das principais funções do código do *software* desenvolvido, vamos agora mostrar e analisar os resultados obtidos que comprovam o funcionamento deste sistema.

Fazendo a montagem da Figura 63, arrancando com o sistema e simulando as variações de carga observamos as seguintes formas de onda.

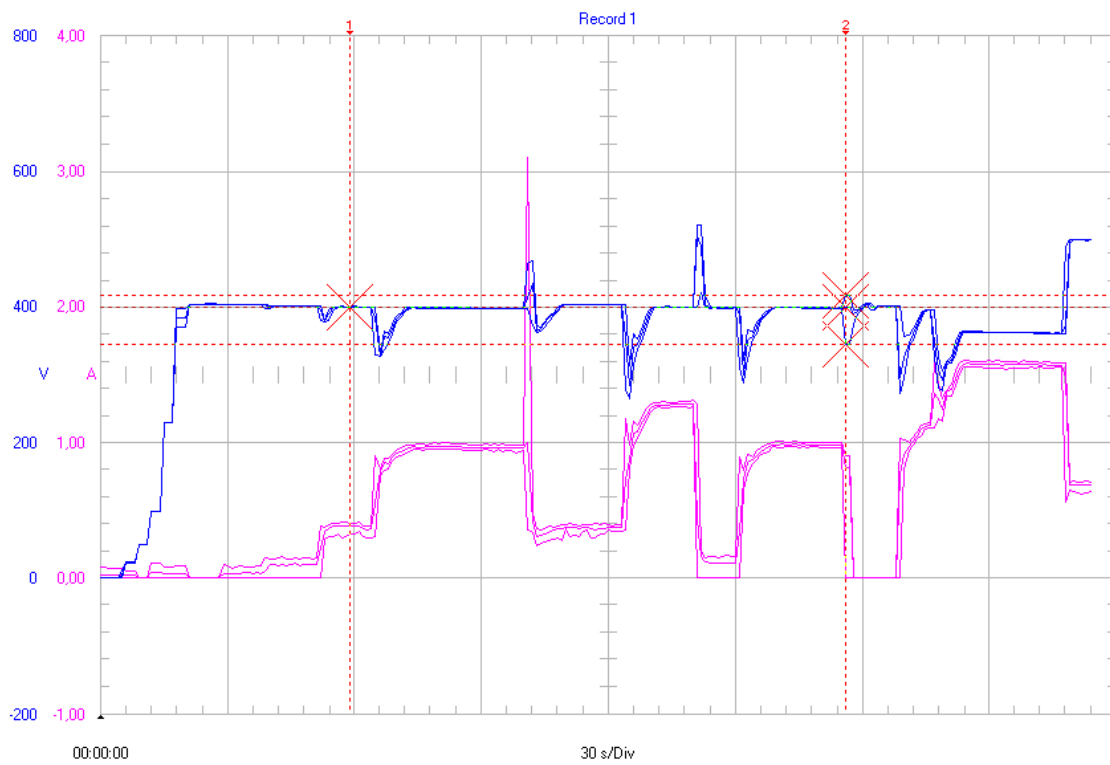


Figura 64 Forma de onda - resultados finais

Analisando o gráfico da Figura 64, verificamos que mal iniciamos o sistema a tensão, representada a azul, estabiliza nos 400 Volt, neste momento ainda sem carga temos a corrente a zero. Ao longo do tempo vamos variando a carga (representada a rosa) propositalmente e conferimos que para diferentes valores desta a tensão mantém-se praticamente sempre nos 400 Volt, tal como era de pretendido. É de referir que quando são feitas as transições entre vários valores de carga, surgem picos na tensão durante o momento da transição, isto acontece porque há uma interrupção súbita na corrente.

No entanto tudo isto funciona praticamente na perfeição se a corrente na carga não for demasiado elevada e se não houver quedas/aumentos demasiado bruscos na corrente. Esta situação foi simulada. Na Figura 65 está evidenciado uma situação dessas, no rectângulo 1 a verde temos uma queda brusca na corrente da carga, a corrente caiu para zero bruscamente, como consequência disso há um pico na tensão, mas até ai é perfeitamente aceitável, mas como podemos ver, no rectângulo 2 a vermelho, a tensão oscila um pouco até estabilizar. No decorrer desta simulação foram realizadas mais experiências deste tipo. Embora a tensão chegue a estabilizar nos 400 V, nesta situação isto vai demorar um pouco mais, são estes aspectos que limitam negativamente o controlo feito pelo *software* desenvolvido. Esta limitação do *software* pode ter origem numa defeituosa realização do ensaio da máquina que consequentemente originou equações aproximadas menos correctas. De referir também que os ensaios foram realizados em regime permanente. Uma análise dinâmica do grupo poderia resolver esta lacuna.

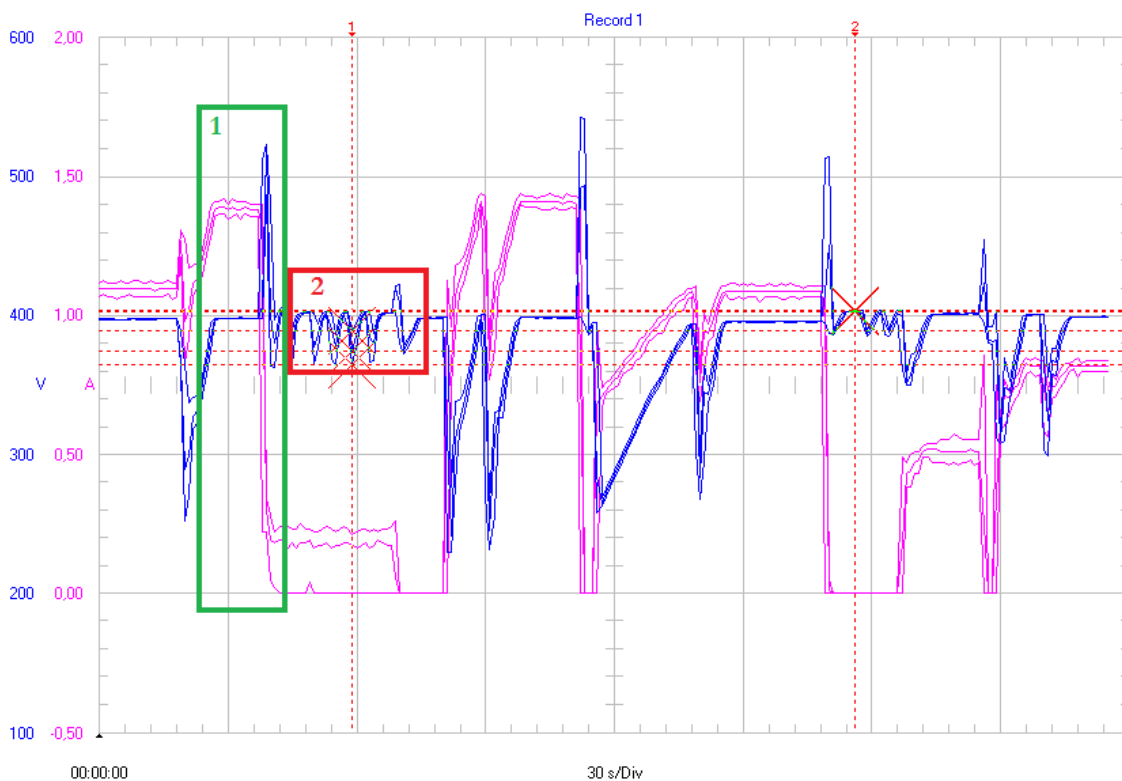


Figura 65 Forma de onda mudança brusca corrente - resultados finais

7. CONCLUSÕES

Podemos concluir de uma forma geral que os objectivos deste trabalho foram atingidos. Foi desenvolvido um *software* de controlo e monitorização do sistema com alguma robustez, projectou-se e implementou-se um “sensor” de tensão que mostrou ter um comportamento muito bom, a comunicação e controlo da fonte externa para excitação do gerador também foi bem sucedida.

Apesar de o sistema final não se comportar na perfeição quando existem variações muito brusca da carga, penso que os principais objectivos foram atingidos com sucesso, tendo em conta a particularidade desafiante deste trabalho que era controlarmos a excitação pretendida para um gerador síncrono desconhecendo completamente a carga que este iria suportar.

Tendo em conta que não foi conseguido obter um controlo perfeito para todas as situações possíveis seria interessante a resolução deste problema na realização de um trabalho futuro.

Com este trabalho consegui adquirir conhecimentos ao nível da área das Máquinas Eléctricas que antes não tinha, ou que possuía mas não muito aprofundado. Durante a realização deste foi necessário incidir em muitas áreas da Electrotecnia nomeadamente Máquinas Eléctricas, Informática, Matemática, Comunicação de Dados, Electrónica

Analógica entre outras, tornando assim a realização deste projecto muito mais interessante e desafiante.

De uma forma geral a realização deste projecto contribuiu bastante para a aquisição de conhecimento durante o meu percurso académico. É de referir que a existência de uma grande componente prática em ambiente de laboratório ajudou a isso.

Referências Documentais

- [1] GUEDES, MANUEL VAZ – *O motor de indução trifásico, selecção e aplicação*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994.
- [2] A ENERGIAS RENOVÁVEIS, EDP, http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/energiasrenovaveis/Pages/energias_renovaveis.aspx
- [3] WIKIPÉDIA, THE FREE ENCYCLOPÉDIA, http://territorioscuola.com/wikipedia/pt.wikipedia.php?title=Fator_de_pot%C3%Aancia
- [4] WIKIPÉDIA, SISTEMA TRIFÁSICO, http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_trif%C3%A1sico
- [5] MICROGERAÇÃO, ECO EDP – <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/oque-e-a-eficiencia-energetica/na-edp/produtos-e-servicos>
- [6] ELECTRO IN-MATEC, *Painéis, Motores e Materiais Eléctricos*, <http://www.in-matec.com.br/ProdutosDetalhes.aspx?Id=44>
- [7] GUEDES, MANUEL VAZ – *Motor síncrono trifásico, modelização, análise do funcionamento, utilização*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1992.
- [8] MÁQUINAS DE CORRENTE ALTERNADA, *Geradores CA e Alternadores*, Centro Federal de Educação Tecnológica de Espírito Santo
- [9] INFORTOURAL, *Energias Renováveis*, <http://www.infortoural.pt/energiasinfo.htm>
- [10] ÁGUA AZUL BOMBAS LTDA, <http://www.aguazulbombaspr.com.br/motores.php>
- [11] LEROY SOMER, <http://www.leroy-somer.com/>
- [12] UNIDRIVE SP, <http://www.controltechniques.com/>
- [13] HARKER SUMNER, http://www.harker.pt/prod03_23.htm
- [14] DELTA ELEKTRONIKA BV, <http://www.delta-elektronika.nl>
- [15] DELTA ELEKTRONIKA BV, *SM700 – Series*, Manual
- [16] ANSI PROTOCOL DESCRIPTION, *Commander SE Advanced User*

Anexo A. Comunicação Variador de Velocidade [16]

Nesta parte do trabalho foi necessário fazer o desenvolvimento de um protótipo *software* que permita efectuar a comunicação entre o PC e o variador de velocidade. Desta forma tornou-se possível controlar o aparelho, sendo permitido alterar ou monitorizar a vasta gama de parâmetros que o *Unidrive SP* possui.

O *Unidrive SP* suporta vários tipos de protocolos, tais como o ANSI, RTU e o CTNet, sendo este último desenvolvido pelo fabricante do variador. No *software* desenvolvido optou-se por implementar o protocolo ANSI.

DESCRIÇÃO PROTOCOLO ANSI

Os dados são transmitidos a uma determinada velocidade na forma de caracteres. Estes caracteres são compostos por *7 bits*, em que o *baud rate* representa a taxa de transmissão em *bits* por segundo. Para que um receptor de dados consiga reconhecer os dados válidos, estes são delimitados por caracteres tais como *start bit*, *stop bit* e *parity bit*. Desta forma o receptor consegue “entender” os dados transmitidos.

O formato da trama é o seguinte:

ASCII 7-bit character (Low ASCII set)									
Start bit	Seven data bits							Even parity	Stop bit
0	bit 0	bit 1	bit 2	bit 3	bit 4	bit 5	bit 6	0 or 1	1
1st bit	2nd bit	3rd bit	4th bit	5th bit	6th bit	7th bit	8th bit	9th bit	10th bit

Figura 66 Formato da trama ANSI

Como podemos observar na Figura 66 a trama é constituída por:

- 1 *Start bit*;
- 7 *Data bits*;
- 1 *Even parity bit*;

- 1 *Stop bit*.

A paridade é utilizada pelo receptor para verificar a integridade dos dados que recebeu. Os 7 *bits* de dados são designados de carácter e compreendem o conjunto ASCII de 128 caracteres decimalmente numerados de 0 a 127. Os primeiros 32 (0 a 31) caracteres no conjunto ASCII (hexadecimal 00h a 01Fh) são utilizados para representar códigos especiais de controlo. Cada um destes caracteres de controlo tem um significado particular, por exemplo, ASCII 02h corresponde “STX” - início do texto.

Uma mensagem não é mais que um conjunto de caracteres. Estes caracteres podem construir diferentes tipos de mensagens:

- *Control characteres;*
- *Adress characteres;*
- *Parameter characteres;*
- *Data characteres;*
- *Block Checksum character.*

DESCRIÇÃO DOS CARACTERES

Control characteres

Cada mensagem é iniciada com um carácter especial de controlo e pode conter mais do que um ao longo da mensagem. Na tabela em baixo podemos observar uma lista de vários caracteres especiais utilizados no protocolo ANSI.

Tabela 3 Caracteres de Controlo

Character	Meaning	ASCII code (Hexadecimal)	Controlo Character Keyboard
EOT	End of Transmission - Reset - prepare for new message	0 4	Control - D
ENQ	Enquiry - interrogation a "drive"	0 5	Control - E
STX	Start of Text	0 2	Control - B
ETX	End of Text	0 3	Control - C
ACK	Acknowledge	0 6	Control - F
NAK	Negative acknowledge	1 5	Control - U
BS	Backspace	0 8	Control - H

Address characteres

Para que seja possível comunicar com um *drive* é necessário endereçá-lo para que só uma unidade alvo responda a uma mensagem transmitida. Este endereço é composto por duas partes:

- O primeiro dígito do endereço corresponde ao endereço de grupo;
- O segundo dígito do endereço corresponde ao endereço da unidade.

Tanto o endereço de grupo como o endereço da unidade tem uma gama de 1 a 9. Um endereço 0 não é válido, quer para endereços de grupo, quer para endereços de unidade (exemplo 01, 10, 20, etc, não são válidos). A razão para isto é que as unidades podem-se agrupadas (até 9 por grupo), e uma mensagem com um endereço específico que contenha um 0 pode ser enviada a todas as unidades do grupo.

Neste trabalho não vamos ter deste tipo de problemas pois apenas temos um variador de velocidade. Caso contrário o protocolo ANSI tem uma característica adicional em que uma mensagem pode ser enviada a todas as unidades de todos os grupos em simultâneo, por tal usa-se o endereço 00. Por exemplo imaginemos que precisamos de alterar frequência/velocidades em todas as unidades simultaneamente.

É importante mencionar que em situações como a referida em cima (endereçamentos 00, 10, 20, etc.) as unidades dentro do grupo não vão conseguir responder à mensagem enviada, pois tal situação num é possível acontecer numa comunicação série.

Por questões de segurança, o formato do endereço que será transmitido requer que cada dígito do endereço seja repetido, ou seja, por exemplo o endereço 12 é enviado em quatro caracteres, '1 1 2 2'.

Parameter characteres

Para efectuar uma transmissão válida é necessário que os parâmetros sejam representados por quatro dígitos, que vão indicar o menu e o número do parâmetro respectivamente. Por exemplo para enviar uma mensagem ao menu 5, parâmetro 21, (ou seja, parâmetro 5.21), é obrigatório enviar '0521'. Como podemos reparar o zero à esquerda deve ser incluído em casos como este assim como o ponto decimal deve ser retirado.

Data caracteres

Os dados a enviar seguem imediatamente ao número do parâmetro. No caso deste variador de velocidade, o comprimento mínimo da mensagem é um carácter sendo o máximo 12, isto incluindo a vírgula e sinal negativo caso necessário.

Block Checksum character (BCC)

A fim de garantir que as mensagens quer enviadas ou recebidas para a unidade não sejam corrompidas durante a transmissão. Este bloco de dados permite que a unidade BCC que recebe as mensagens verifique se os dados foram corrompidos ou não.

LER DADOS

Para ler um valor de um parâmetro de uma unidade para o PC, o formato da trama a enviar tem que ser desta forma:

CC	Address				Parameter				CC
EOT	GA	GA	UA	UA	M1	M2	P1	P2	ENQ

Figura 67 Formato da trama Leitura

Legenda:

CC = Caracter Controlo

GA = Endereço Grupo

UA = Endereço Unidade

[M1] [M2] = Menu

[P1] [P2] = Parâmetro

Nesta trama não é incluído o BCC, pois apenas estamos a solicitar um pedido de leitura. De seguida caso a mensagem esteja correcta e a unidade consiga entender, responderá com a seguinte mensagem:

CC	Parameter				Data				CC	BCC
STX	M1	M2	P1	P2	D1	D2	...	Dn	ETX	BCC

Figura 68 Formato da trama resposta Leitura

Como podemos verificar o tamanho dos dados vai depender do parâmetro que se pretenda ler. Como já foi referido, o comprimento máximo é de 12 dígitos. Este campo começa sempre com o sinal, quer este sejam negativo ou positivo.

Caso o parâmetro em questão não exista, é devolvido o caracter de controlo EOT (*End of transmission*).

CC
EOT

Figura 69 **Caracter devolvido em caso de falta de parâmetro**

Exemplo de leitura do parâmetro 11.33 (*Drive Voltage rating*), da unidade 1 que se encontra no grupo 1:

CC	Address				Parameter				CC
EOT	1	1	1	1	1	1	3	3	ENQ

Figura 70 **Trama leitura**

O variador de velocidade deverá responder com + 400

CC	Parameter				Data				CC	BCC
STX	1	1	3	1	+	4	0	0	ETX	5

Figura 71 **Trama resposta leitura**

Cálculo do BCC

O BCC é calculado aplicando um “OU” exclusivo (XOR) entre todos os caracteres das mensagens após o STX.

Tabela 4 **Tabela verdade XOR**

A	B	Out
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Por exemplo para ler a resposta do exemplo em cima:

$$BCC = M1^{\wedge}M2^{\wedge}P1^{\wedge}P2^{\wedge}D1^{\wedge}D2^{\wedge}D3^{\wedge}D4^{\wedge}ETX$$

$$BCC = 1^{\wedge}1^{\wedge}3^{\wedge}1^{\wedge}+^{\wedge}4^{\wedge}0^{\wedge}0^{\wedge}ETX = 5$$

RELER DADOS

Após lermos os dados de um determinado parâmetro de uma forma correcta e sem erros, é possível fazer pedidos adicionais de leitura, ou seja, podemos solicitar uma releitura de dados sem necessidade de enviar uma mensagem na totalidade para a unidade. É possível então:

- Receber o mesmo parâmetro de dados novamente;
- Pedir parâmetro de dados seguinte;
- Pedir parâmetro de dados anterior.

Para tal são utilizados os caracteres de controlo apresentados na tabela:

Tabela 5 Caracteres Controlo - Releitura

<i>Controlo Character</i>	<i>Function</i>	<i>Controlo Character Keyboard</i>
NACK	Receber o mesmo parâmetro de dados novamente	Control – U
ACK	Pedir parâmetro de dados seguinte	Control – F
BS	Pedir parâmetro de dados anterior	Control – H

Este mecanismo tem como principal vantagem economizar tempo de comunicação.

ESCREVER DADOS

Para escrever dados para uma unidade o formato da trama a enviar é o seguinte:

CC	Address				CC	Parameter				Data				CC	BCC
EOT	GA	GA	UA	UA	STX	M1	M2	P1	P2	D1	D2	...	Dn	ETX	BCC

Figura 72 Formato da trama Escrita

Legenda:

CC = Caracter Controlo

GA = Endereço Grupo

UA = Endereço Unidade

[M1] [M2] = Menu

[P1] [P2] = Parâmetro

[D1] [D2]...[Dn] = Dados incluindo pontos decimais e sinal (se necessário)

BCC = Bloco *checksum*

O bloco de dados segue algumas regras específicas, de entre elas salientam-se as seguintes:

- 1) O tamanho máximo da palavra é de 12 caracteres.
- 2) Este campo pode conter espaços mas nunca depois de outro caracter, sempre antes.
- 3) O aparecimento do sinal positivo é opcional, caso não apareça considera-se positivo.

Depois de enviar uma trama para escrita a unidade vai responder com um caracter único indicando se a escrita foi efectuada com sucesso ou não. Na tabela em baixo verificamos os tipos de resposta:

Tabela 6 Caracteres resposta - Escrita

<i>Control Character</i>	<i>Meaning</i>	<i>Control character Keyboard</i>
NACK	Mensagem inválida	Control – U
ACK	Mensagem válida	Control – F

Uma mensagem pode ser inválida se por exemplo os dados inseridos para escrita num parâmetro sejam demasiado longos, ou se o parâmetro em que se tenta escrever seja apenas de leitura ou caso o BCC esteja incorrecto. Quando a unidade responde com o “ACK” significa que a mensagem é válida, foi entendida e implementada.

Vejamos um exemplo de escrita do parâmetro 11.33 (*Drive Voltage rating = 400 V*), da unidade 1 que se encontra no grupo 1:

CC	Address				CC	Parameter				Data				CC	BCC
EOT	1	1	1	1	STX	1	1	3	3	+	4	0	0	ETX	5

Figura 73 Exemplo trama escrita

PROTÓTIPO SOFTWARE DESENVOLVIDO C#

Depois de um estudo sobre os protocolos escolhidos para efectuar a comunicação com o *Unidrive SP* foi possível então desenvolver um *software* que permita ler e escrever parâmetros desde mesmo aparelho. Este *software* foi desenvolvido inicialmente no *Visual Studio 2005* utilizando a linguagem C#.

Temos assim uma interface gráfica que permite uma melhor interacção com o utilizador. A única funcionalidade deste *software* é escrever/ler parâmetros.

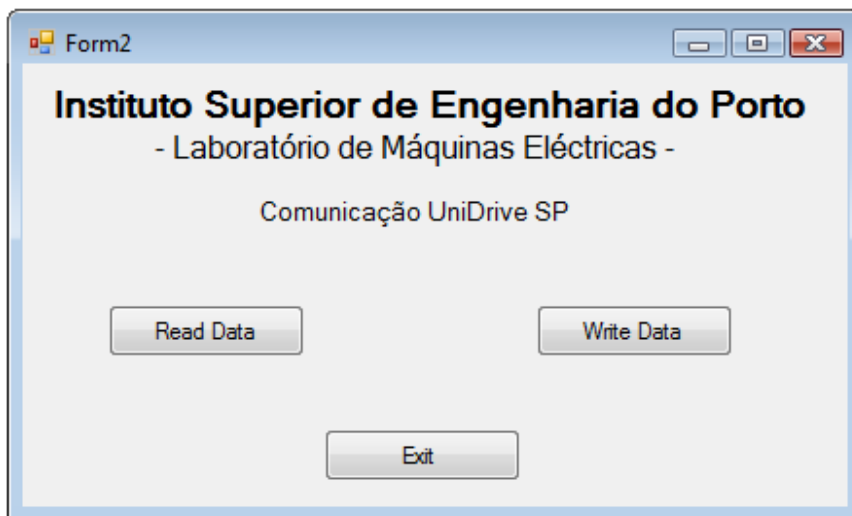


Figura 74 Interface gráfica do *software* desenvolvido

Se pretendemos ler um determinado parâmetro clicamos no botão “*Read Data*”, surgindo então uma interface com o seguinte aspecto:

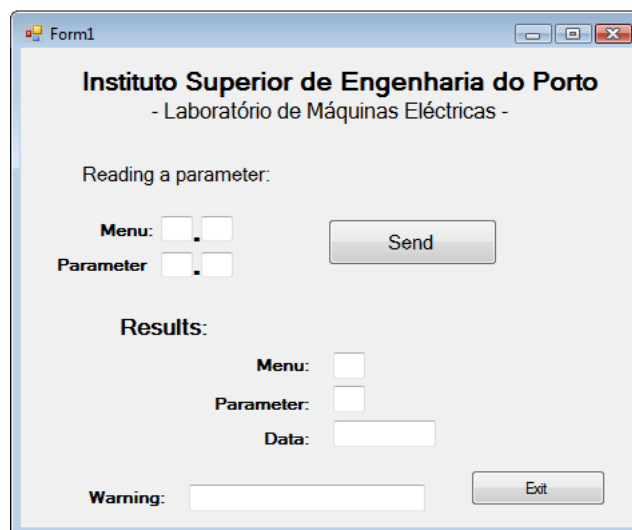


Figura 75 Interface gráfica *Read Data*

Neste formulário serão inseridos os dados necessários para obter a leitura de um determinado parâmetro (*Menu, Parameter*). Depois estes dados são enviados carregando no botão “*Send*”.

Se tudo estiver correcto os resultados aparecerão em baixo nos respectivos campos.

Existe também um caixa de texto “*Warning*” que tem como função mostrar avisos tais como “Preencher todos os Campos!”, “Parâmetro não existe”, etc.

O seguinte fluxograma mostra de uma forma sucinta como funciona a parte de leitura.

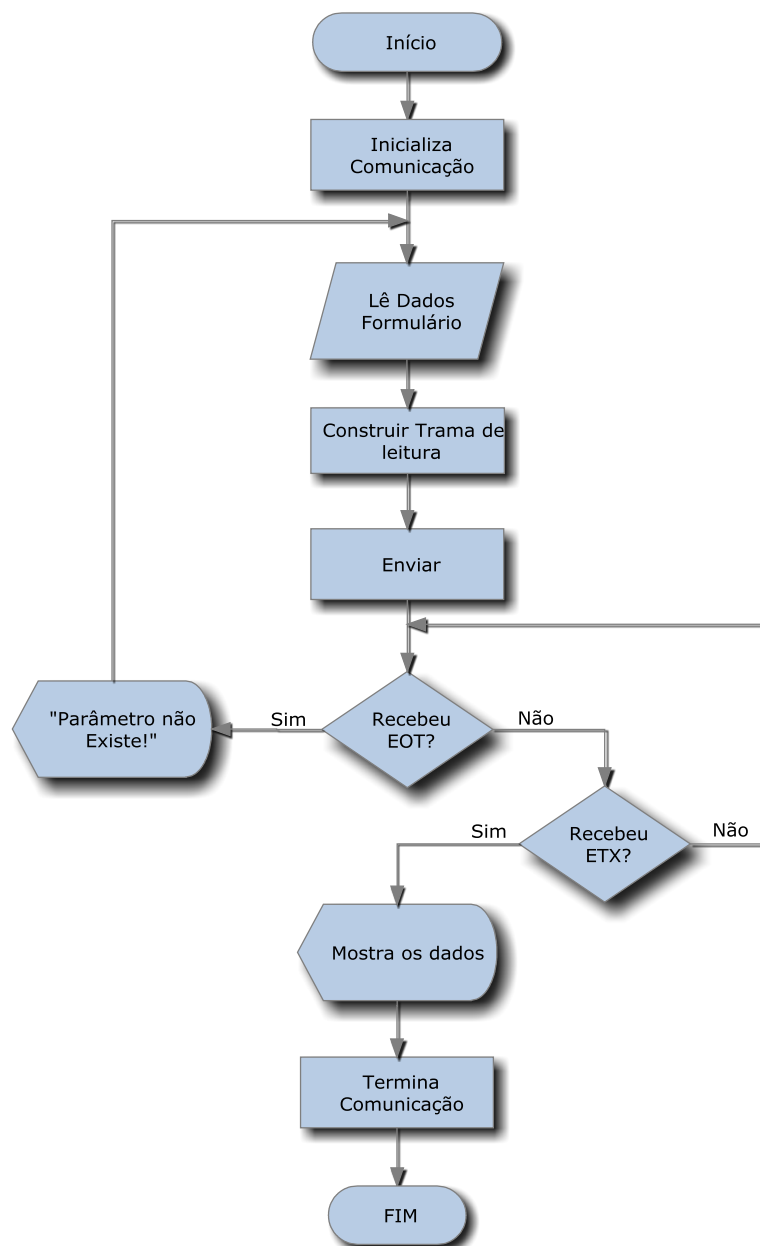


Figura 76 Fluxograma Read Data

Se pretendermos escrever num parâmetro clicamos no botão “*Write Data*” e aparece uma interface com o aspecto seguinte:

Figura 77 Interface gráfica *Write Data*

Neste formulário serão inseridos os dados necessários para poder alterar um determinado parâmetro, sendo preciso para tal inserir em que menu se encontra o parâmetro em questão, qual o número do parâmetro a alterar e os dados que vamos enviar. Caso tudo esteja correcto a alteração é imediata, caso contrário, será mostrada uma mensagem na caixa de texto “*Warning*” a alertar que os dados não foram escritos correctamente. Esta caixa permite também mostrar a confirmação que a escrita foi efectuada com sucesso ou se faltam inserir dados no formulário.

O seguinte fluxograma mostra de uma forma sucinta como funciona a parte de escrita.

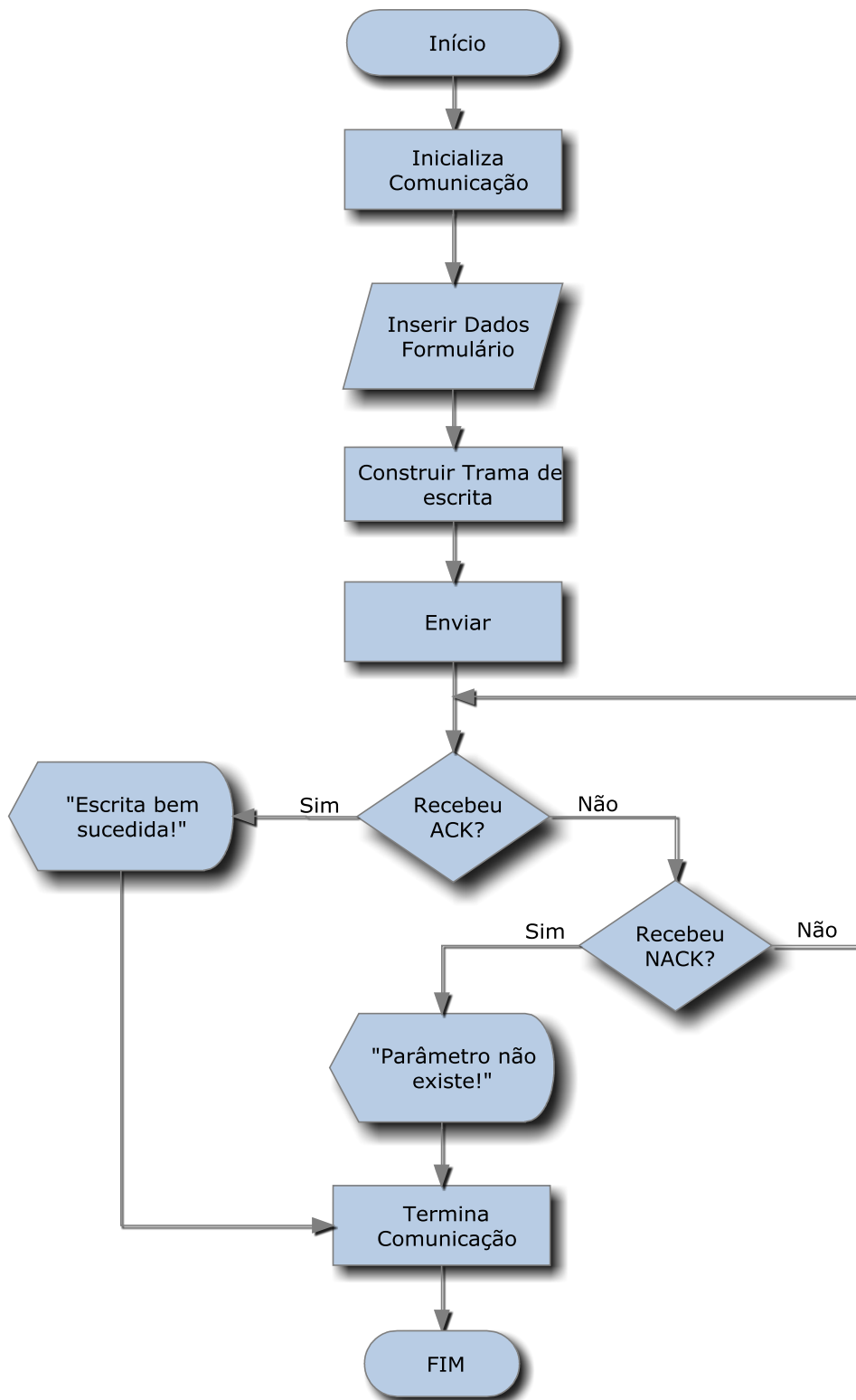


Figura 78 Fluxograma Write Data

Durante o desenvolvimento desde *software* surgiram vários problemas pois o variador não respondia aos pedidos efectuados, para tal foi necessário certificar que este estava a receber as mensagens correctamente. Foram então enviados diferentes caracteres e monitorizando com um osciloscópio se na realidade o *software* estava a enviar o que se pretendia, até que se conseguiu resolver o problema que não passava de um erro de código.

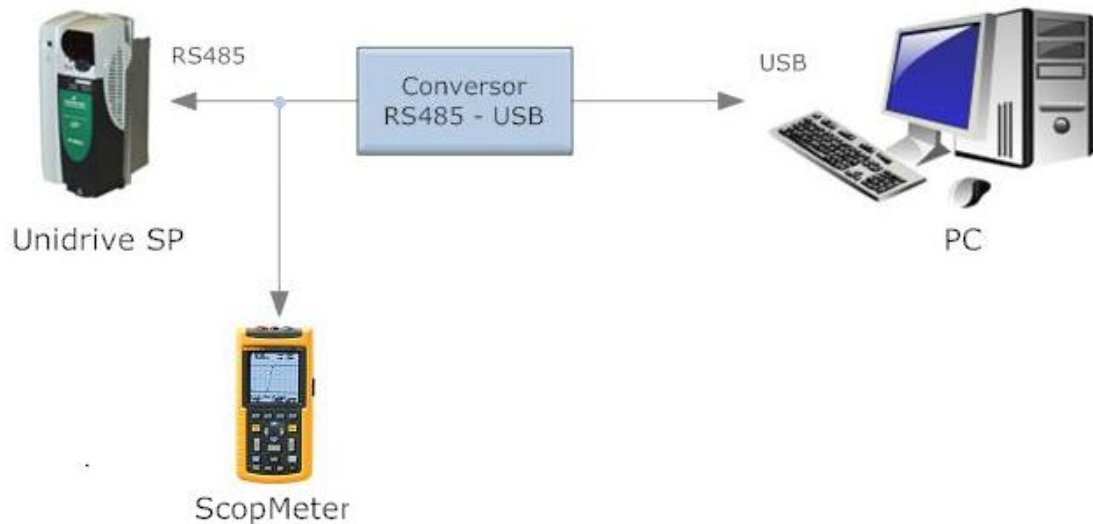


Figura 79 Ligação com *ScopMeter* a monitorizar o sinal

Na figura em baixo temos a imagem capturada pelo ecrã do *ScopMeter* aquando do envio de um "1". Nesta figura podemos identificar o *start bit*, de seguida os dados, depois o *bit* de paridade e no final o *stop bit*.

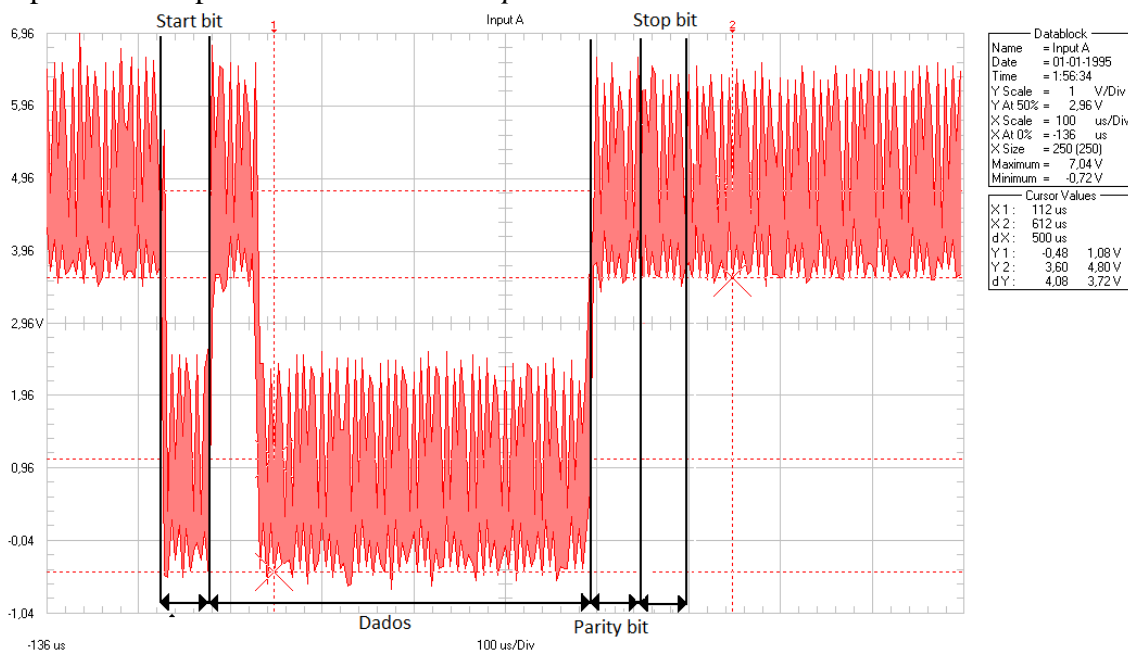


Figura 80 Sinal obtido do *ScopMeter*

PROTÓTIPO *SOFTWARE* DESENVOLVIDO C

Foi testado o *software* em C# apenas com o objectivo de compreender e testar o protocolo de comunicação, mas nesta fase do trabalho foi decidido desenvolver o *software* em linguagem C, ainda que com uma interface gráfica rudimentar, mas já tendo funcionalidades como: abrir a porta COM, escrever uma sequência de parâmetros específicos e ler valores de uma entrada analógica do variador.

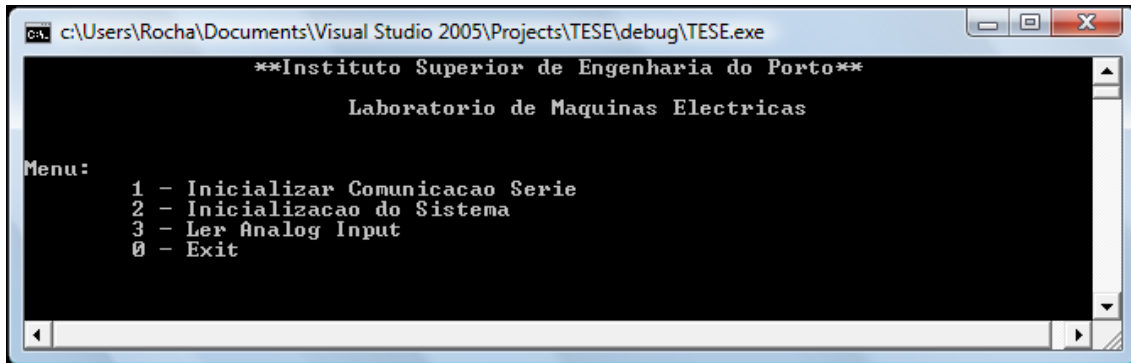


Figura 81 Interface Protótipo *Software* C

Mesmo assim esta não foi a solução final, mas ambos os *softwares* contribuíram em vários factores para o desenvolvimento do *software* final.

Este *software* final foi desenvolvido em C++ recorrendo ao *Visual Studio* 2005 usando um projecto de tipo *Win32*.

O funcionamento deste *software* é explicado no capítulo 5 onde são aclaradas todas as suas funcionalidades. O aspecto da interface aparece na Figura 82.



Figura 82

Interface *software* versão final C++

Anexo B. Simulações e Ensaio Laboratório - Curvas características

De forma a poder desenvolver todo o processo de controlo do sistema foram realizados vários ensaios. O principal objectivo nesta parte é criar e implementar um algoritmo que mantenha a tensão produzida pelo gerador aproximadamente em 400 V, independentemente da carga adicionada ao sistema, com apenas uma margem de erro de 5% (380 V no mínimo e 420 V no máximo), ou seja, o sistema terá de conseguir corrigir a excitação do gerador frente às variações de carga que possam existir ao longo do tempo. Neste Anexo serão apresentados os dados, resultados, gráficos e análises para cada um destes ensaios. De referir que todos os cálculos, simulações e gráficos apresentados foram obtidos no *MatLab* com recurso também à sua ferramenta de simulação o *Simulink*.

TENSÃO NO “SENSOR” EM FUNÇÃO DO VALOR PARÂMETRO #1.37 DO *UNIDRIVE SP*

O “sensor” recebe a tensão numa das fases do gerador, 250 V AC, e converte a mesma para 10 V DC. Só desta forma é possível “ligar” uma das fases do gerador à entrada analógica do *Unidrive SP*, pois esta apenas suporta valores analógicos abrangidos de 0 – 10 V (DC). A gama de valores que vem da fase do gerador é compreendida de 0 a 250 V, que vão corresponder a 0 – 10 V na saída do “sensor”, sendo por sua vez interpretadas pelo variador de velocidade com valor de 0 a 60, proporcionalmente, portanto fazendo um esquema simplificado desta primeira análise temos:

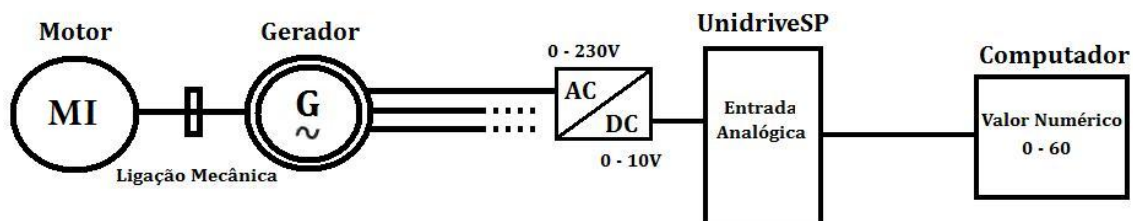


Figura 83 Esquema simplificado ligações Gerador – “Sensor” – Unidrive SP – PC

Simulando a primeira parte:

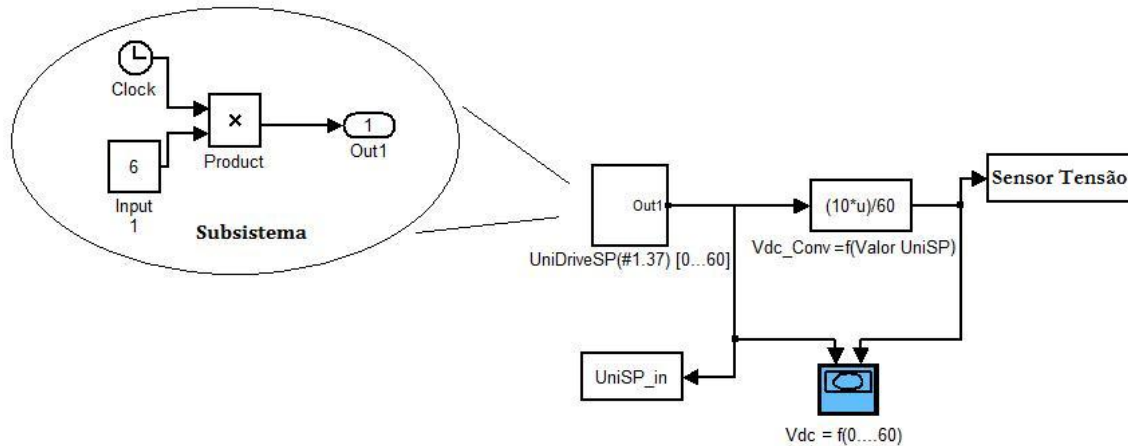


Figura 84 Simulink - Tensão no “sensor” = $f(\text{Valor UniSP \#1.37})$

Através do diagrama de blocos no *Simulink* foi simulado a relação entre a Tensão DC no “sensor” e os valores possíveis no variador. Na Figura 84 aparece #1.37, sendo este o parâmetro de destino no variador para os valores de entrada analógica. A função inserida no bloco “ $Vdc_Conv = f(\text{Valor UniSP})$ ” é respectivamente: $y = \frac{10 \cdot x}{60}$

Como seria de esperar a representação gráfica é linear:

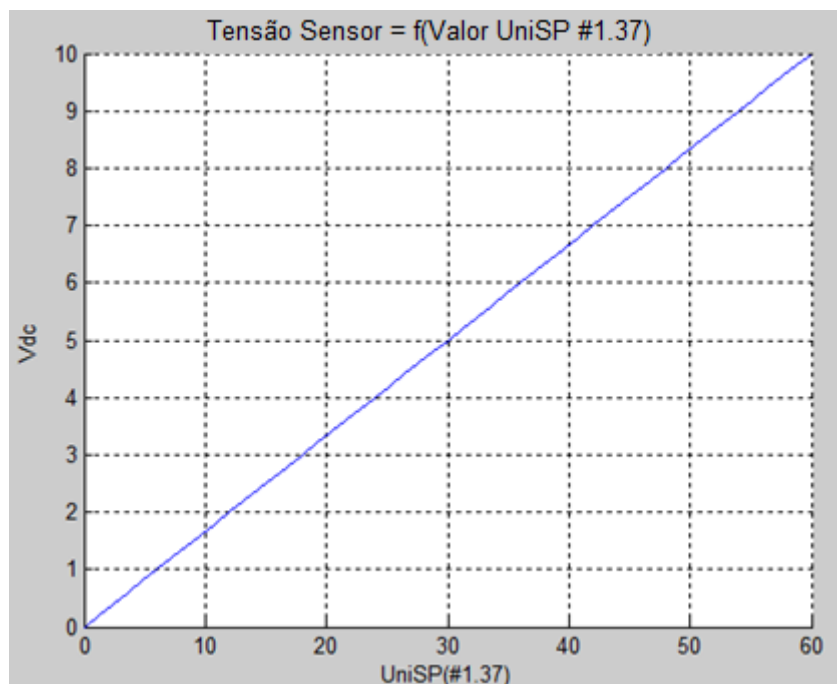


Figura 85 Gráfico - Tensão “sensor” = $f(\text{Valor UniSP \#1.37})$

TENSÃO COMPOSTA NA CARGA EM FUNÇÃO DA TENSÃO NO CONVERSOR

Analisando novamente o esquema apresentado na Figura 84, é necessário encontrar a equação que traduz a tensão composta na carga em função da tensão no “sensor”. Para tal foram realizados ensaios ao “sensor” onde inicialmente foi aplicada uma tensão de 250 V AC para calibrar o potenciômetro do “sensor” de forma a obtermos 10 V DC.

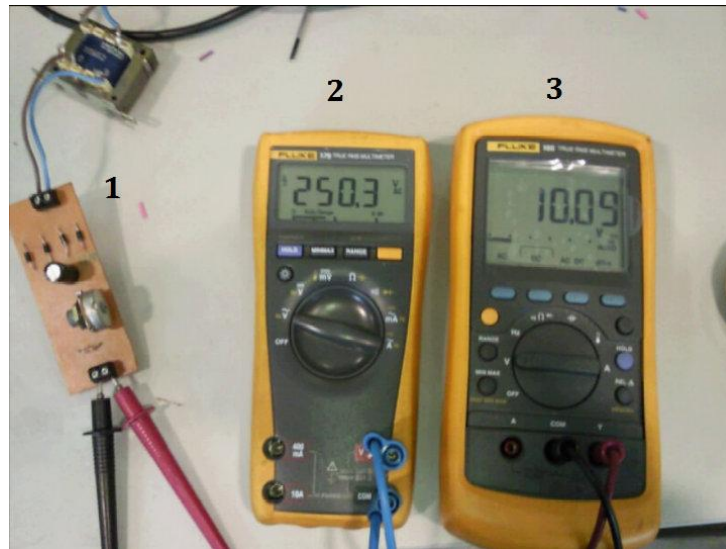


Figura 86 1 – “Sensor” Tensão, 2 – Tensão Simples, 3 – Tensão “sensor”

Depois com auxílio de um autotransformador baixando a tensão gradualmente e registrando os valores:

Tabela 7 Dados Ensaio – $V_{\text{simples}} = f(V_{\text{dc}})$

V_{simples}	V_{dc}	V_{simples}	V_{dc}	V_{simples}	V_{dc}
250,0	10,09	143,8	5,60	57,5	1,97
237,6	9,55	134,9	5,23	49,9	1,67
229,5	9,24	126,1	4,85	43,6	1,40
222,3	8,92	117,0	4,48	35,3	1,06
212,6	8,52	109,1	4,14	26,7	0,72
202,9	8,10	102,5	3,86	15,8	0,29
194,6	7,76	95,2	3,56	3,8	0,03
183,4	7,28	87,1	3,21	0,0	0,00
172,8	6,84	79,6	2,87		
160,9	6,34	70,9	2,54		

Utilizando os dados amostrados e com recurso ao *Matlab* foi possível construir o gráfico da Figura 87, onde já se encontra a recta aproximada e a respectiva equação matemática.

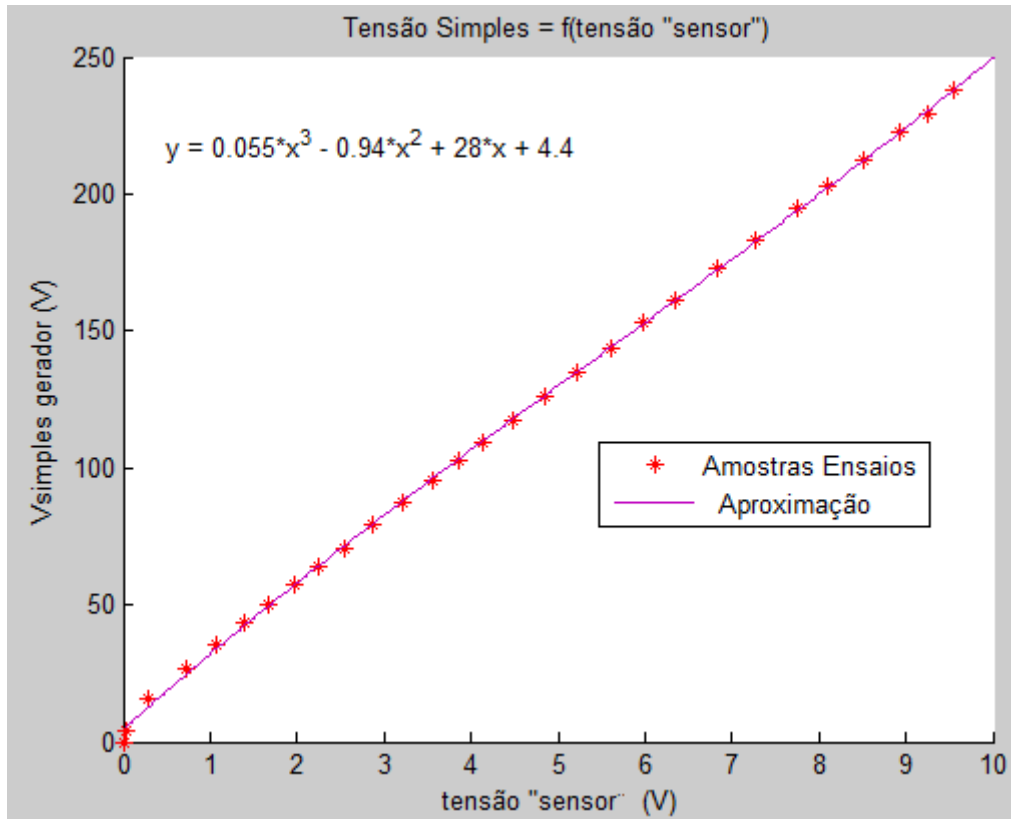


Figura 87 Gráfico – Tensão Simples = f (Tensão “sensor”)

Como o nosso objectivo é obter a Tensão Composta basta multiplicar a Tensão Simples por $\sqrt{3}$, então ficamos com:

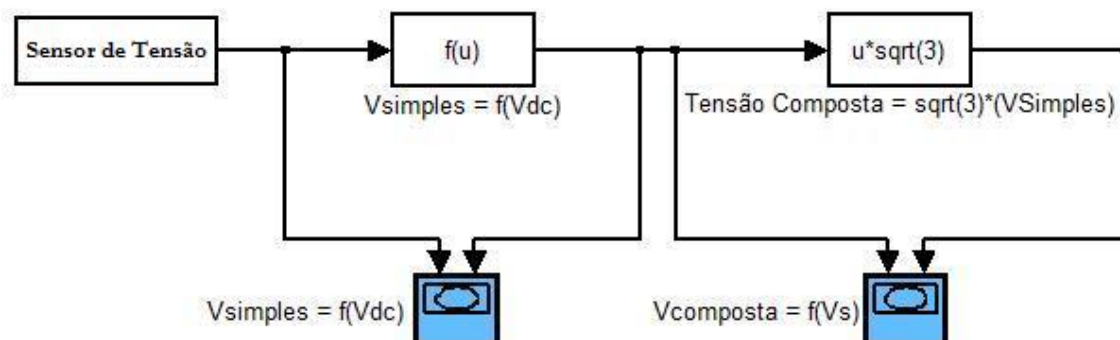


Figura 88 Simulink – Tensão composta = f (tensão “sensor”)

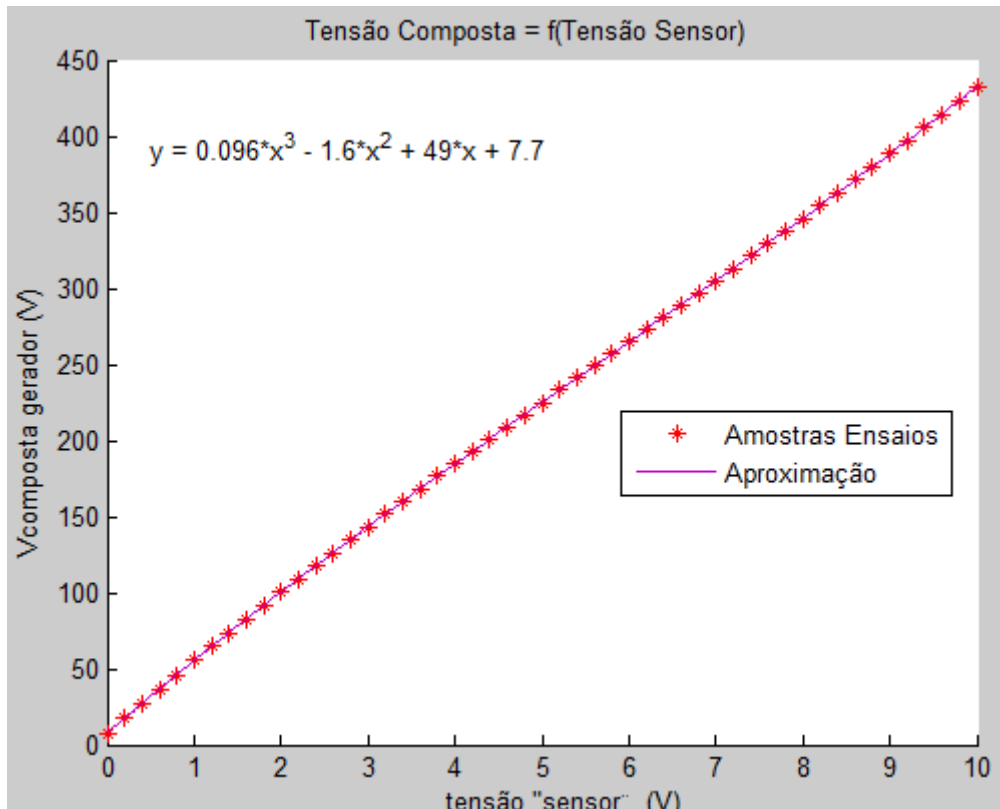


Figura 89 Gráfico – Tensão composta = f (Tensão “sensor”)

CARACTERÍSTICA EXTERNA

[$I_c = f(U_c)$ Corrente na Carga em Função da Tensão na Carga]

Agora que já é possível obter a tensão composta gerada pelo nosso gerador, é necessário saber a corrente na carga. Para tal foi feita a montagem do sistema da seguinte forma:

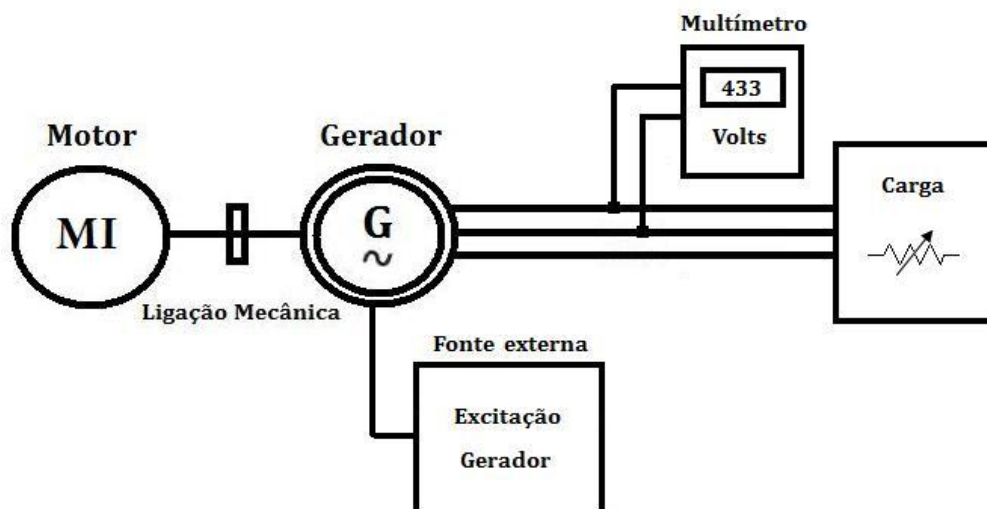


Figura 90 Esquema simplificado montagem do ensaio da $I_c = f(U_c)$

Podemos reparar que no multímetro aparecem 433 *Volt*, esta tensão é o ponto de partida para o início deste ensaio, pois no ensaio anterior, Tabela 7, partimos dos 250 *Volt*, portanto de forma a manter os dados proporcionais ficamos com:

$$U_{\text{composta}} = 250 \times \sqrt{3} = 433 \text{ Volt}$$

Após a calibração dos 433 *Volt* através da excitação de corrente com a fonte, fomos aumentando gradualmente a carga **sem voltar a compensar a excitação** e fomos anotando os valores da tensão e corrente:

Tabela 8 **Dados Ensaio – $I_{\text{Carga}} = f(U_{\text{Carga}})$**

U_{Carga}	I_{Carga}	U_{Carga}	I_{Carga}	U_{Carga}	I_{Carga}
433,0	0,03	163,4	1,19	86,4	1,25
425,2	0,15	156,9	1,19	84,3	1,25
415,0	0,31	149,1	1,20	82,1	1,25
401,3	0,47	142,7	1,21	79,8	1,25
384,0	0,61	137,0	1,21	76,2	1,25
364,5	0,72	131,5	1,21	72,6	1,26
340,4	0,81	126,2	1,22	70,0	1,26
319,7	0,89	121,6	1,22	66,7	1,26
297,2	0,96	117,1	1,22	61,3	1,26
278,0	1,01	113,3	1,23	59,1	1,26
260,7	1,05	109,6	1,23	53,2	1,26
244,3	1,08	106,0	1,23	51,6	1,27
229,5	1,10	102,7	1,24	50,0	1,27
216,0	1,12	99,6	1,24	48,5	1,27
204,0	1,14	96,7	1,24	44,4	1,27
192,7	1,15	94,1	1,24	43,8	1,27
180,4	1,16	91,3	1,24		

Utilizando este dados da Tabela 8 foi possível construir o gráfico da Figura 91, onde já podemos visualizar a recta aproximada e a respectiva equação matemática.

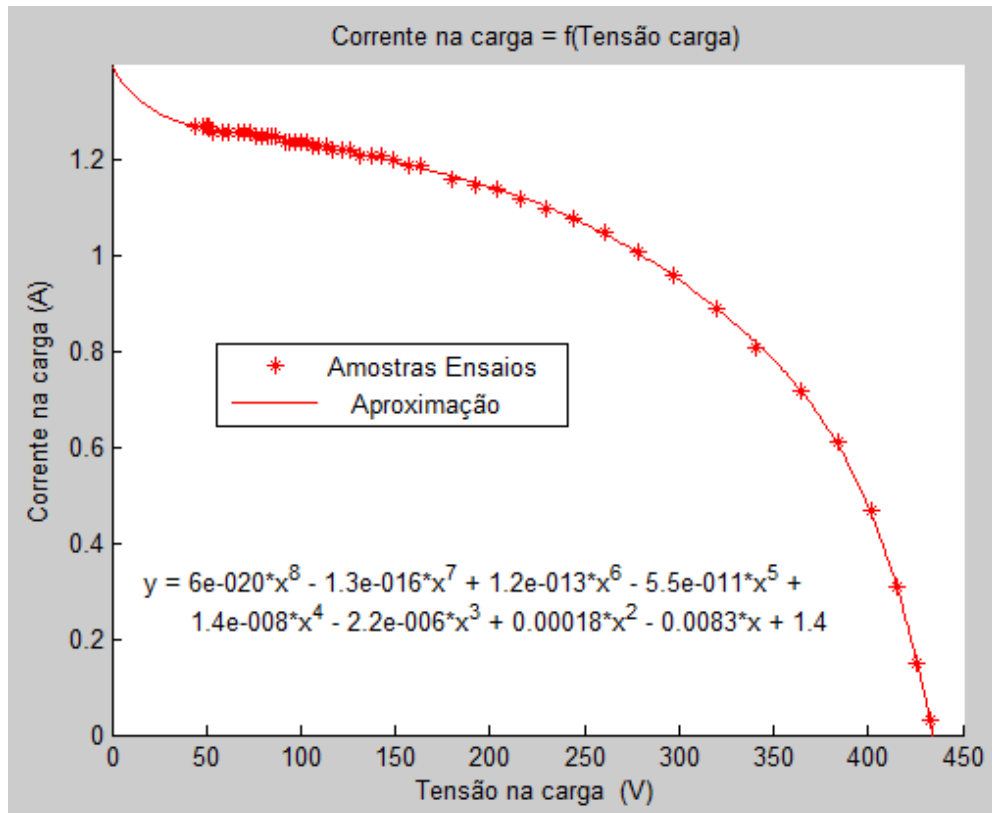


Figura 91 Gráfico – Corrente Carga = f (Tensão Carga)

CARACTERÍSTICA DE REGULAÇÃO

$[I_{exc}=f(I_c)$ Corrente Excitação em função da corrente na carga]

De forma a manter uma tensão de aproximadamente 400 Volt, independentemente da carga, é necessário fazer a respectiva compensação da excitação de gerador recorrendo a uma fonte externa.

Posto isto foi necessário realizar ensaios para se obterem os valores de excitação para cada valor de corrente na carga.

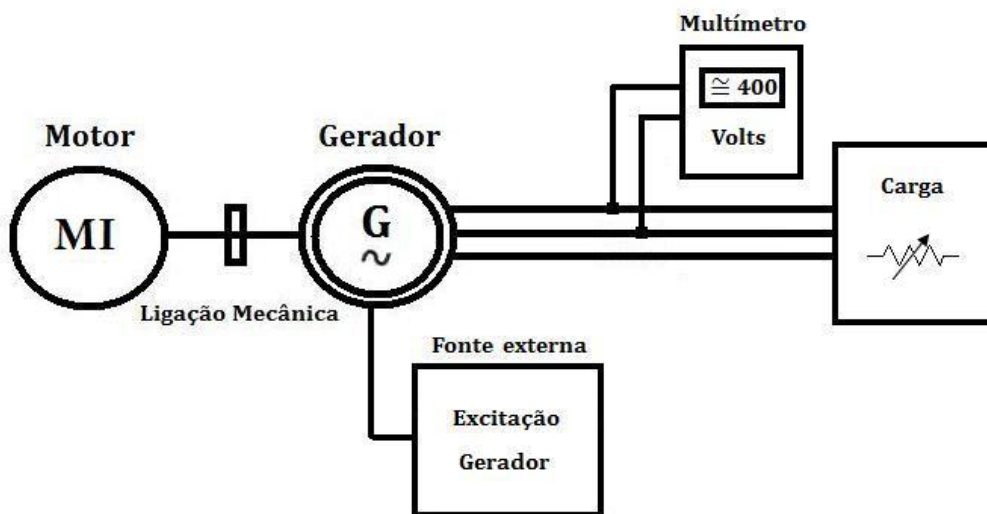


Figura 92 Esquema simplificado montagem do ensaio da $I_e = f(I_c)$

O que foi feito aqui não foi mais que ajustar a tensão produzida pelo gerador nos 400 Volt sem carga, depois aumentando gradualmente a carga verificamos, como é lógico, uma queda da tensão produzida, ora então de forma contrariar isto, e contrariamente ao ensaio anterior, aqui **vamos aumentar a excitação do gerador** mantendo assim a tensão produzida sempre a rondar os 400 Volt. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9

Dados Ensaio – $I_{\text{Excitação}} = f(I_{\text{Carga}})$

$I_{\text{excitação}}$	I_{Carga}
0,56	0,00
0,58	0,16
0,61	0,31
0,65	0,46
0,69	0,62
0,75	0,76
0,81	0,91
0,88	1,05
0,98	1,14
1,06	1,39
1,10	1,54
1,19	1,66
1,27	1,81
1,36	1,95

Embora não seja apresentado na Tabela 9 o valor da tensão na carga, é de referir que este foi sempre mantido nos 400 Volt. Posto isto, e voltando a usar o *Matlab*, foi possível construir o gráfico da Figura 93, onde já podemos visualizar a recta aproximada e a respectiva equação matemática.

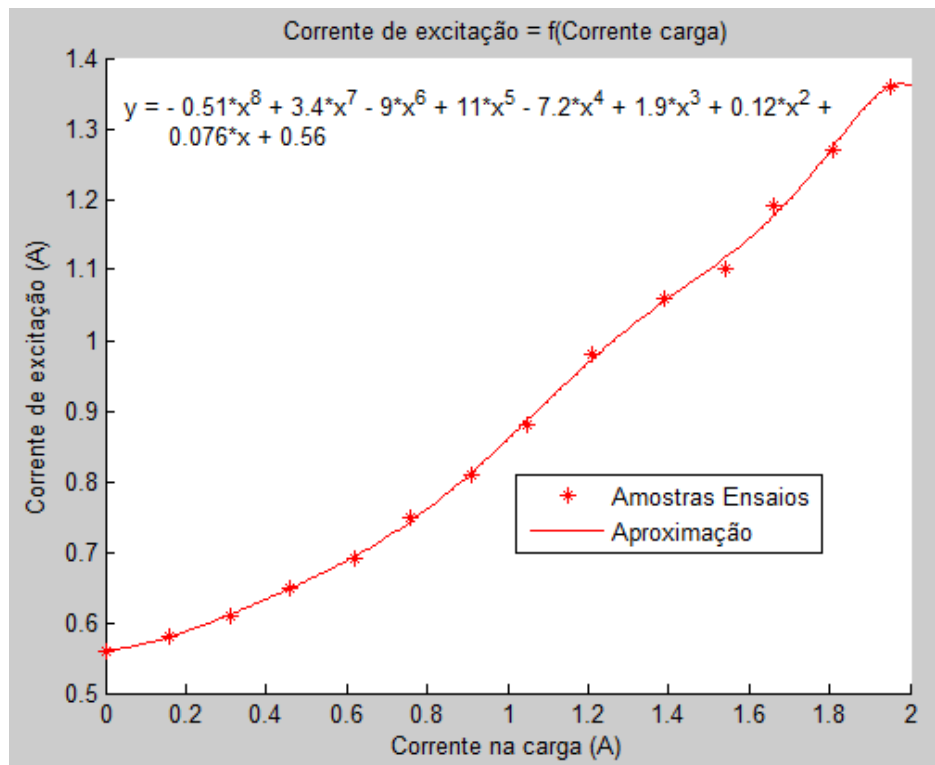


Figura 93

Gráfico – Corrente Excitação = f (Corrente Carga)

TENSÃO APLICADA NA FONTE CONTROLADA EM FUNÇÃO DA CORRENTE DE EXCITAÇÃO

A excitação do gerador é feita através de uma fonte externa, fonte essa que pode ser controlada através de um sinal analógico de tensão ou corrente. Neste caso optou-se por usar uma das saídas analógicas do variador *UnidriveSP* programada em tensão para controlar a excitação, portanto segundo os ensaios feitos e tendo em conta as especificações do gerador, vamos até uma corrente máxima de 1.36 A, que por sua vez vai corresponder a um sinal analógico proporcional de 0 a 2 V, tal como já foi explicado quando foi referido o funcionamento da fonte controlada.

No entanto, para o variador “entende” os 0 – 2 V como um valor numérico de 0 – 655 proporcional, sendo valores dentro deste intervalo que o PC de controlo terá que escrever no variador, consoante a tensão de controlo que pretenda e respectiva corrente de excitação. O esquema seguinte permite-nos entender melhor este processo.



Figura 94 Esquema simplificado montagem do ensaio da $U_{\text{fonte}} = f(I_{\text{excitação}})$

Anexo C. Simulações e Ensaio Laboratório – Regulação Excitação

Foram realizados ensaios para cada situação de carga em particular, regulando a excitação manualmente de forma a obter aproximadamente 400 *Volt* na carga. Os valores de tensão são apresentados no valor numérico de 0 – 60 que irá corresponder de forma proporcional a 0 – 433 *Volt*, assim como a corrente de excitação também será representado da mesma forma, ou seja, 0 – 655 que corresponde a 0 – 1.36 A, proporcionalmente.

Para cada tabela de amostras é feita a representação gráfica assim como a aquisição do polinômio que melhor se aproxima com as amostras, utilizando o *MatLab*.

Na Tabela 10 é apresentado o valor de corrente de excitação para cada carga em particular, assim como o valor numérico do variador representado por “OUT” na tabela.

Tabela 10 **Valores da excitação por % de carga**

CARGA %	OUT	I_{exc} (A)
0	258	0,54
2,5	268	0,56
5	281	0,59
7,5	303	0,64
10	328	0,69
12,5	357	0,75
15	390	0,81
17,5	423	0,88
20	464	0,95
22,5	505	1,03
25	545	1,10
27,5	592	1,18
30	645	1,36

TABELAS AMOSTRAS RETIRADAS PARA CADA CARGA EM PARTICULAR

Tabela 11 Ensaio 0% Carga

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
0	57,4	400,0	258
2,5	56,5	394,0	
5	55,2	384,4	
7,5	52,8	370,4	
10	50,1	352,6	
12,5	47,0	332,7	
15	44,2	312,7	
17,5	41,1	292,1	
20	37,6	270,5	
22,5	34,9	252,4	
25	32,5	236,3	
27,5	30,1	221,0	
30	28,0	206,8	

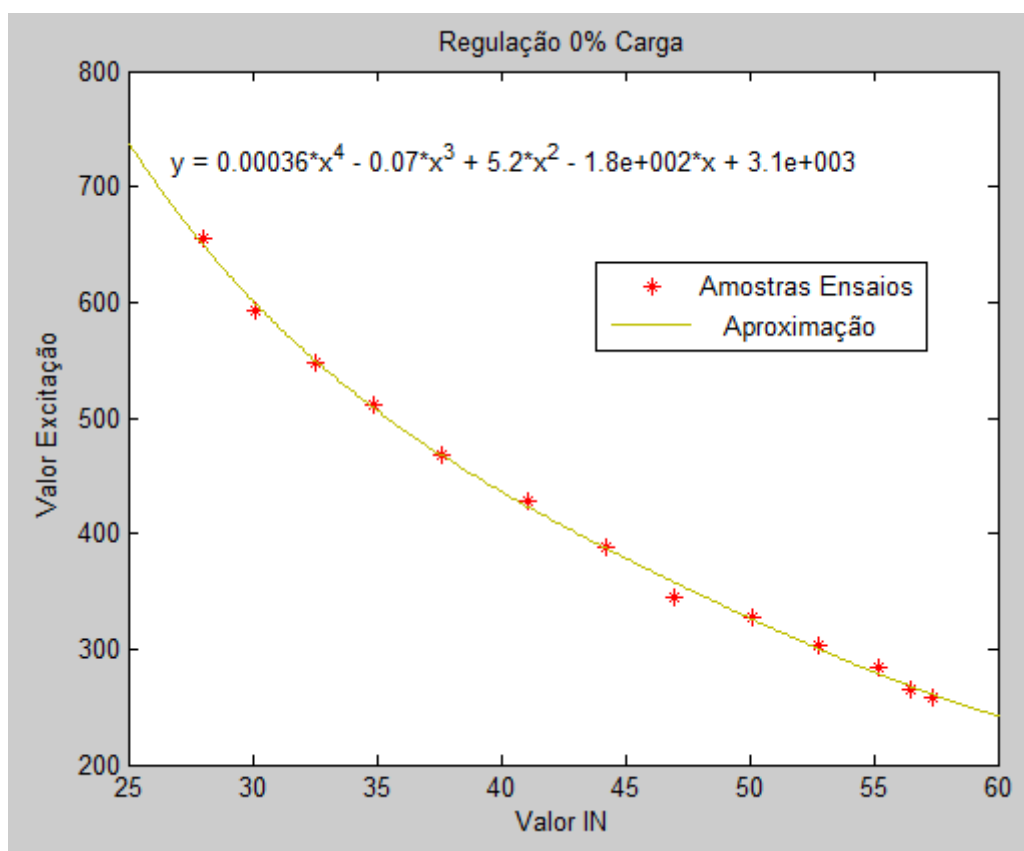


Figura 95 Gráfico Regulação 0% Carga

Tabela 12 Ensaio 2,5% Carga

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
2,5	57,5	400,0	265
5	55,9	389,3	
7,5	53,4	374,6	
10	50,5	355,8	
12,5	47,5	335,6	
15	44,7	315,3	
17,5	41,4	294,6	
20	38,1	272,7	
22,5	35,2	254,6	
25	32,8	238,2	
27,5	30,4	222,9	
30	28,2	208,6	

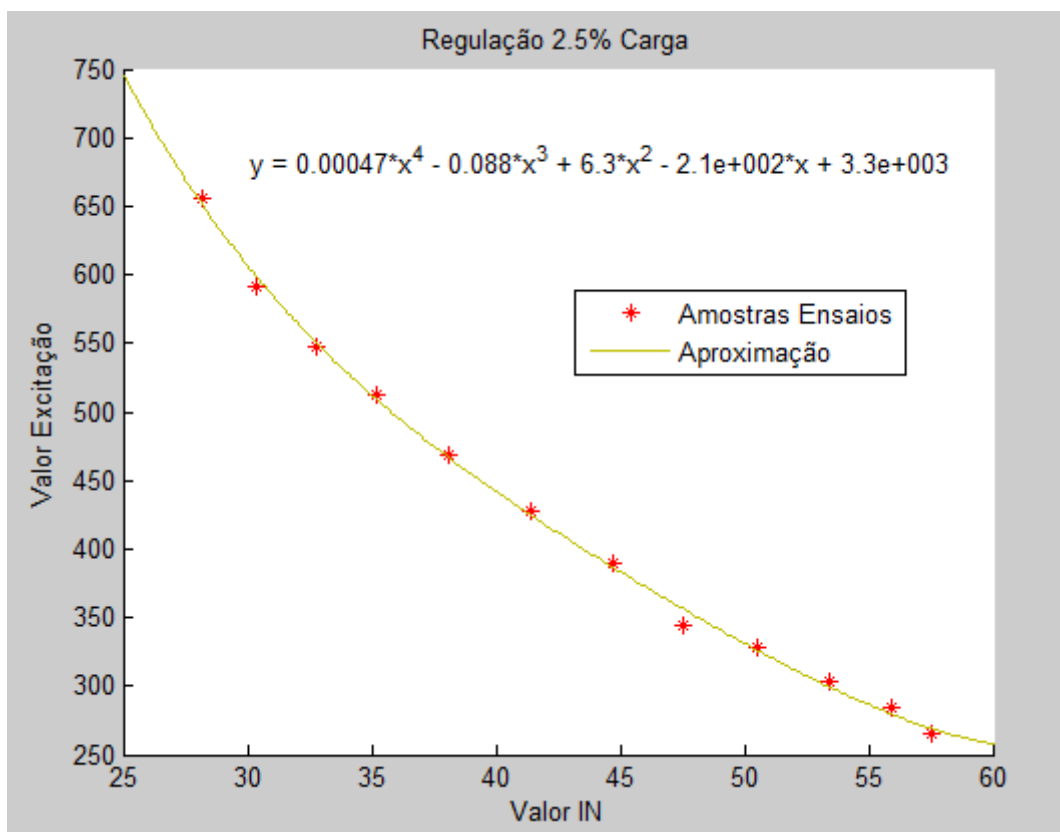


Figura 96 Gráfico Regulação 2,5% Carga

Tabela 13 Ensaio 5% Carga

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
5	57,4	400,0	284
7,5	55,4	387,0	
10	52,8	370,5	
12,5	49,8	351,0	
15	47,0	331,4	
17,5	43,8	310,3	
20	40,3	287,6	
22,5	37,4	268,8	
25	34,9	252,2	
27,5	32,5	236,2	
30	30,1	221,1	

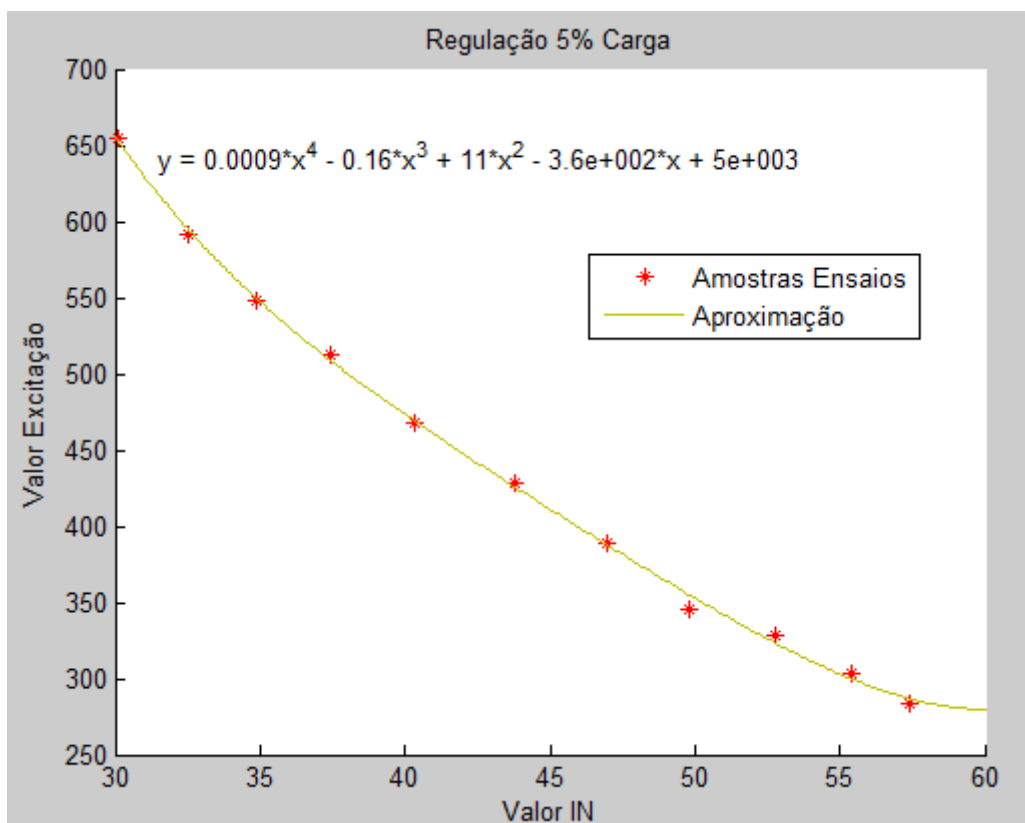


Figura 97 Gráfico Regulação 5% Carga

Tabela 14 Ensaio 7,5% Carga

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
7,5	57,3	400,0	303
10	55,0	385,2	
12,5	52,2	365,7	
15	49,0	346,1	
17,5	46,0	324,8	
20	42,6	302,2	
22,5	39,6	282,8	
25	37,0	265,5	
27,5	34,3	248,7	
30	32,0	233,1	

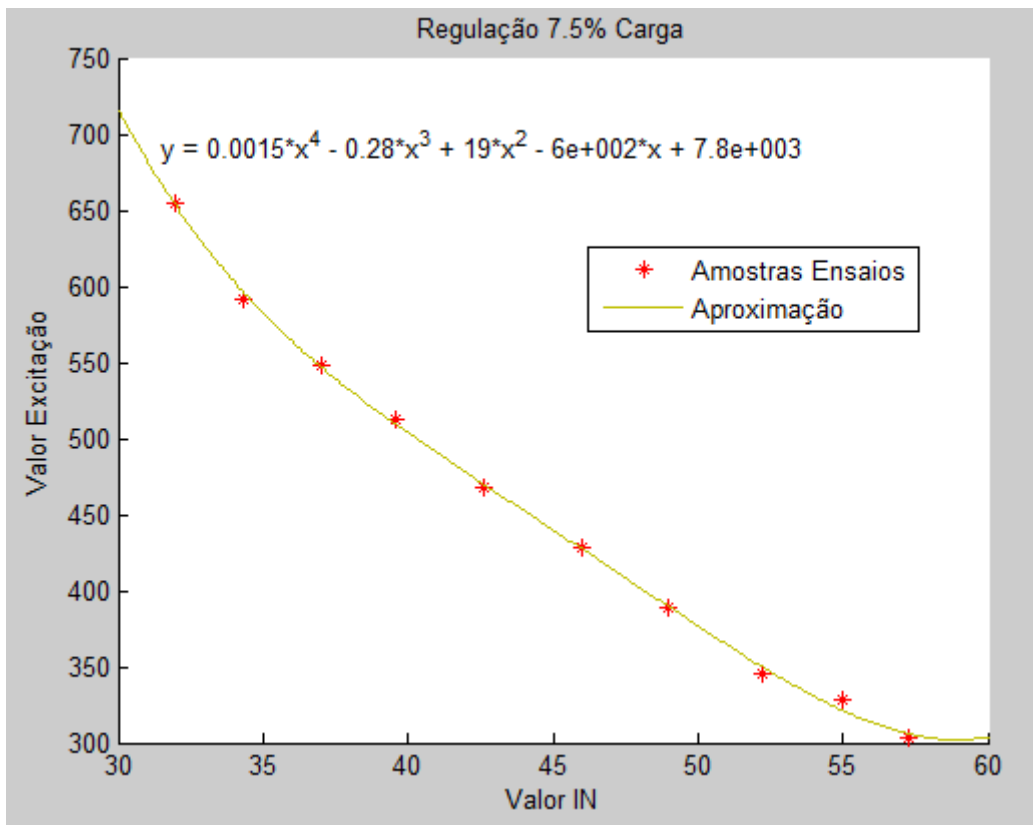


Figura 98 Gráfico Regulação 7,5% Carga

Tabela 15 Ensaio 10% Carga

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
10	57,3	400,0	328
12,5	54,7	384,2	
15	52,0	365,0	
17,5	48,8	343,8	
20	45,2	321,0	
22,5	42,3	301,0	
25	39,6	283,0	
27,5	36,9	265,4	
30	34,3	249,3	

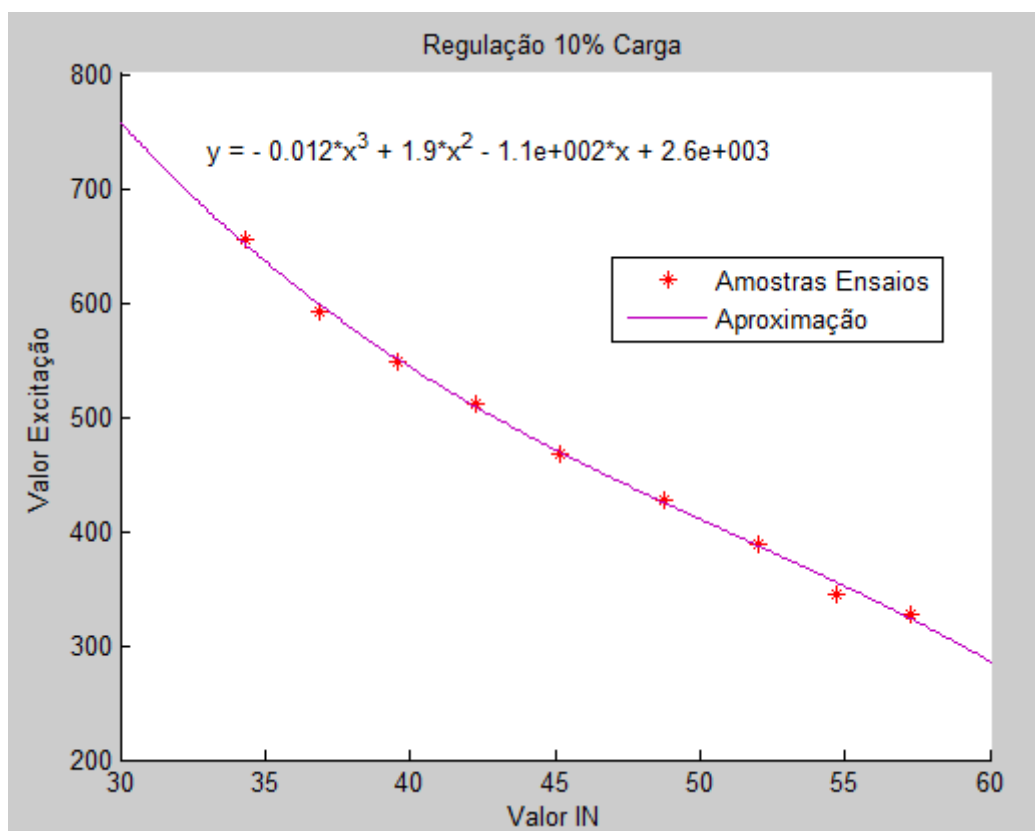


Figura 99 Gráfico Regulação 10% Carga

Tabela 16 Ensaio 12,5% Carga

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
12,5	57,3	400,0	345
15	54,4	382,2	
17,5	51,4	360,8	
20	47,8	337,7	
22,5	44,8	317,7	
25	41,8	298,2	
27,5	39,9	279,9	
30	36,5	263,1	

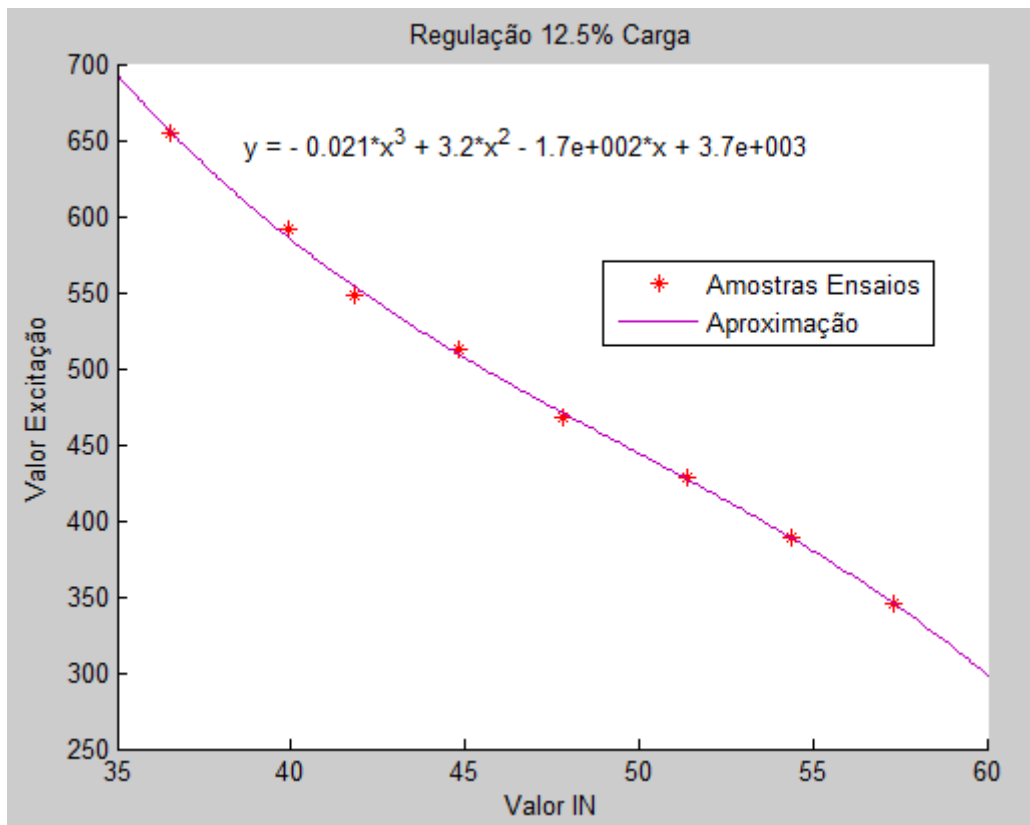


Figura 100 Gráfico Regulação 12,5% Carga

Tabela 17 Ensaio 15% Carga

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
15	57,3	400,0	389
17,5	54,7	383,5	
20	51,7	363,6	
22,5	48,6	342,8	
25	45,6	323,6	
27,5	42,9	304,6	
30	40,1	287,0	

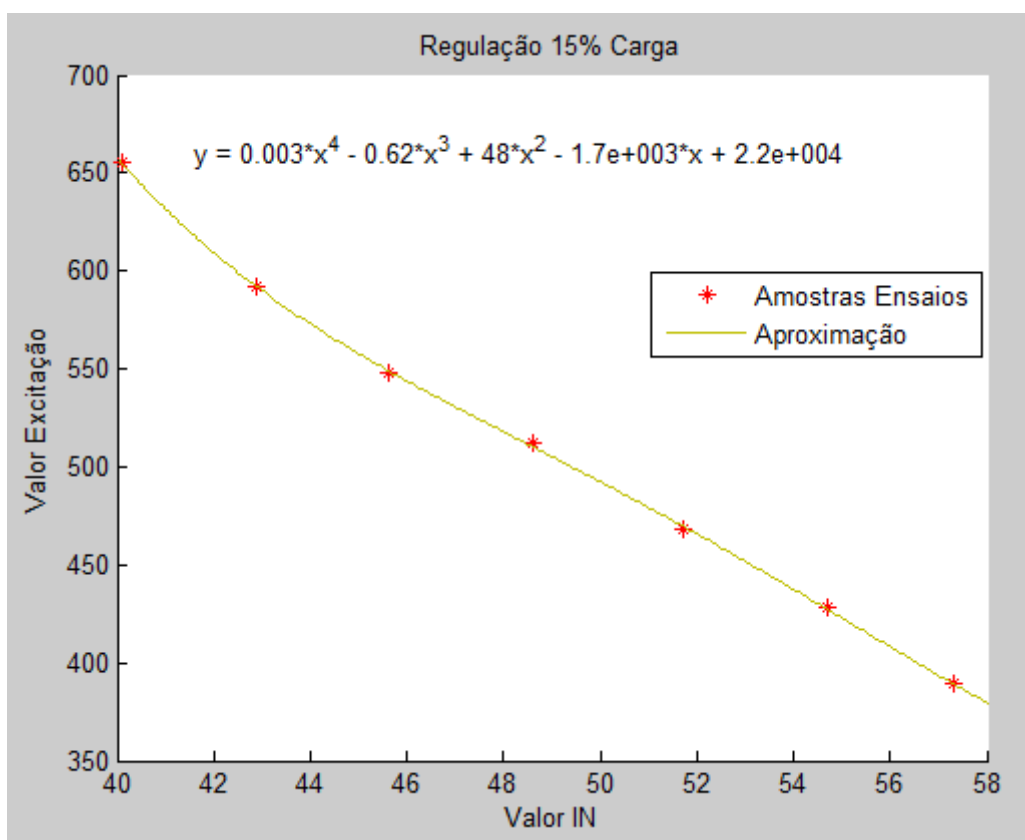


Figura 101 Gráfico Regulação 15% Carga

Tabela 18 Ensaio 17,5% Carga

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
17,5	57,2	400,0	428
20	55,0	385,2	
22,5	51,9	364,5	
25	48,9	345,1	
27,5	45,9	325,6	
30	43,2	307,1	

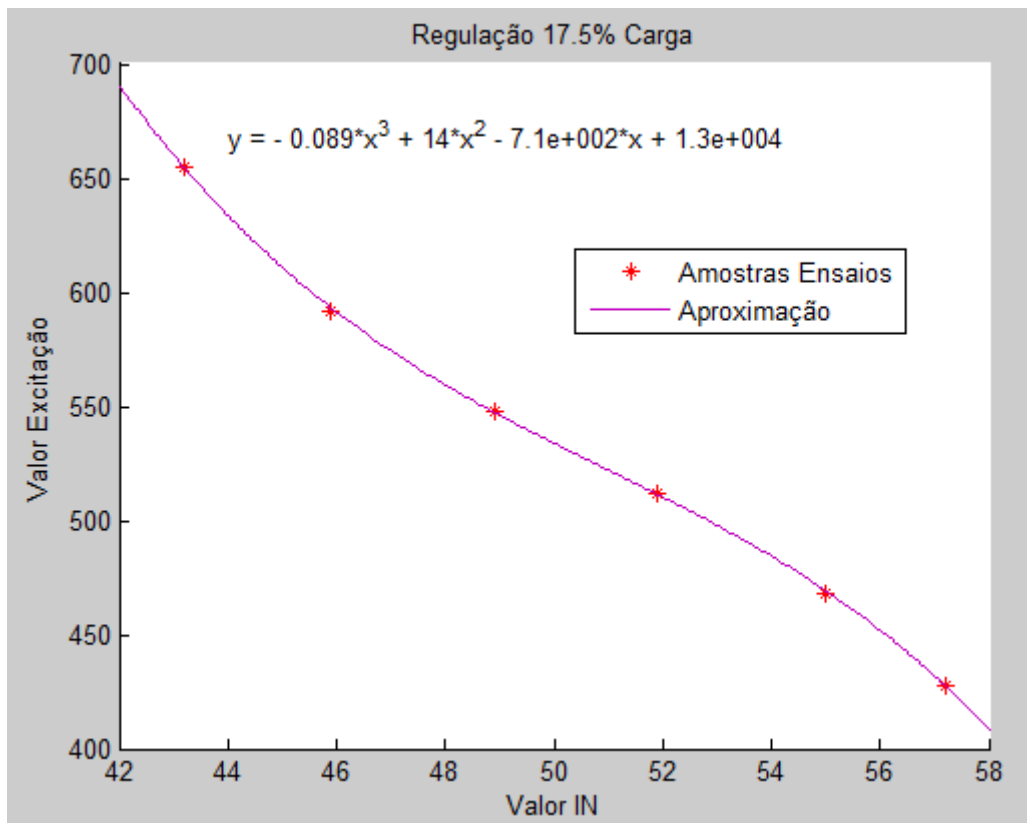


Figura 102 Gráfico Regulação 17,5% Carga

Tabela 19 Ensaio 20% Carga

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
20	57,0	400,0	468
22,5	54,6	382,5	
25	51,9	365,0	
27,5	49,0	346,1	
30	46,4	327,6	

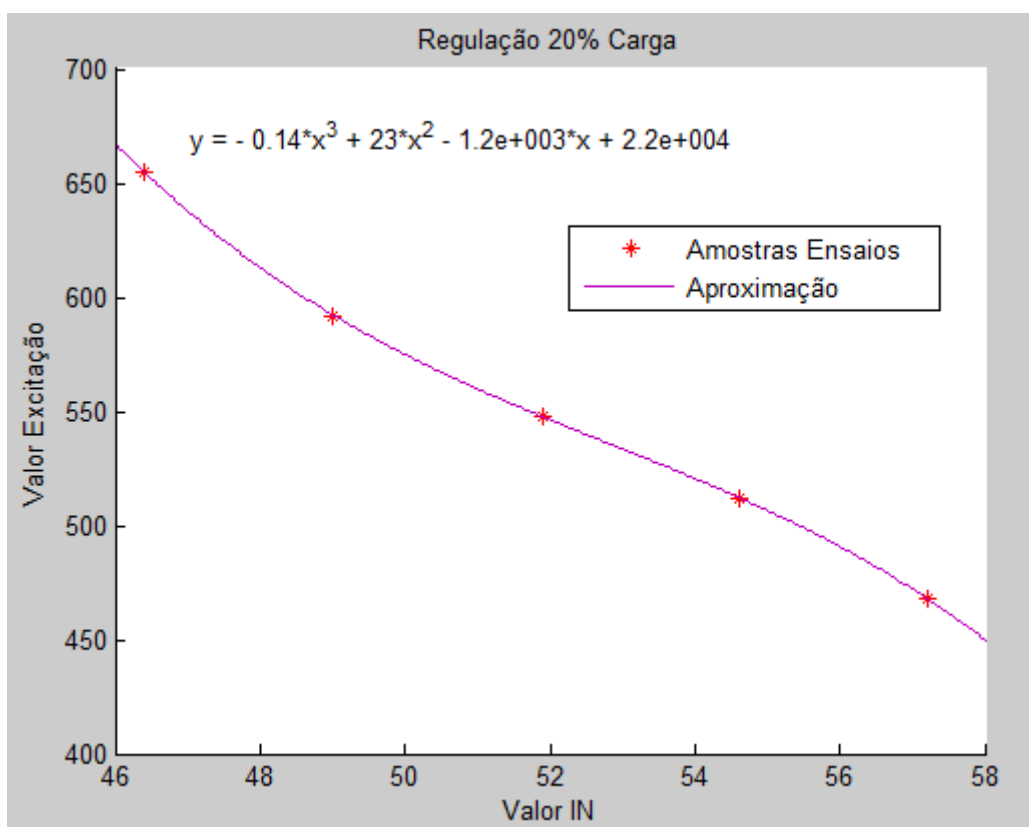


Figura 103 Gráfico Regulação 20% Carga

Tabela 20 **Ensaio 22,5% Carga**

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
22,5	57,2	400,0	512
25	55,0	386,1	
27,5	52,3	367,2	
30	49,4	348,3	

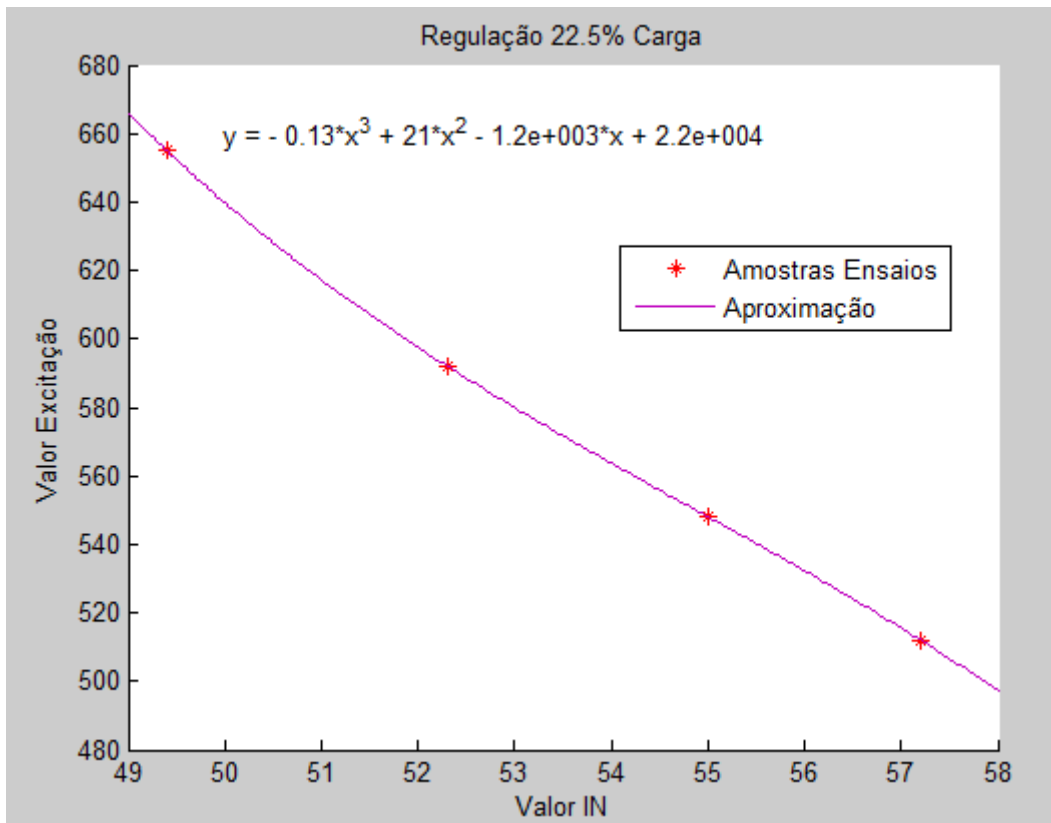


Figura 104 **Gráfico Regulação 22,5% Carga**

Tabela 21 Ensaio 25% Carga

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
25	57,2	400,0	548
27,5	54,7	383,1	
30	51,9	364,6	

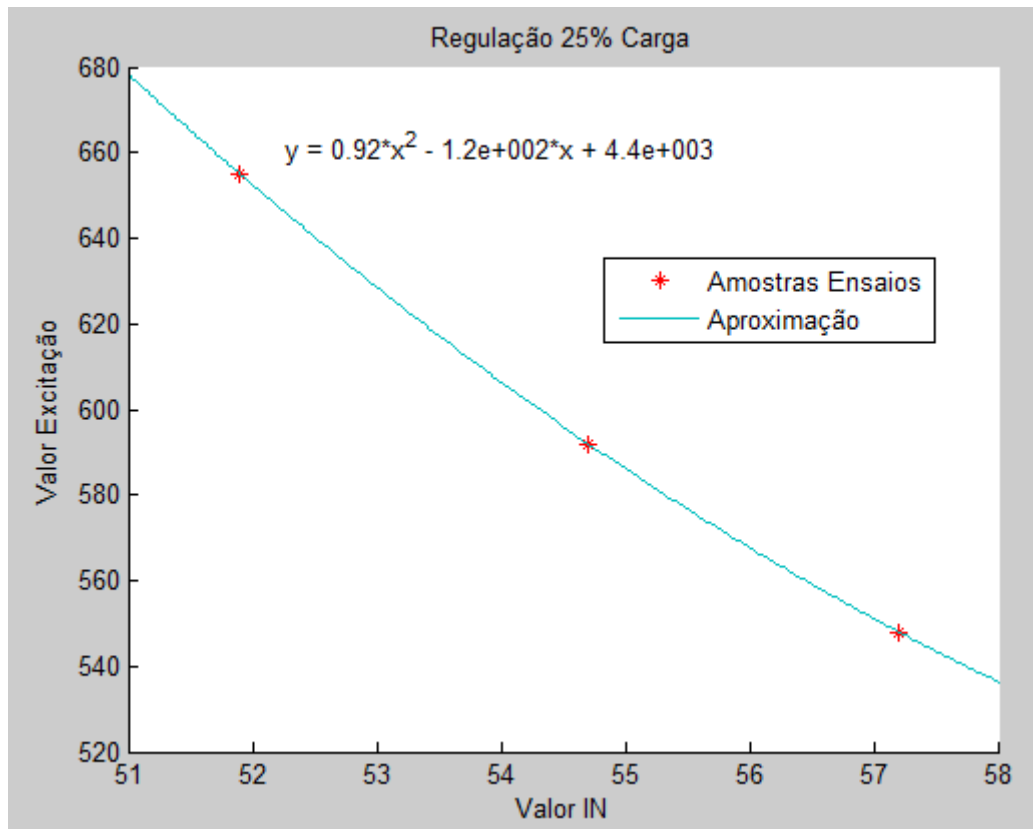


Figura 105 Gráfico Regulação 25% Carga

Tabela 22 **Ensaio 27,5% Carga**

Carga (%)	Valor_IN	V_out (V)	Excitação
27,5	57,1	400,0	592
30	54,7	383,2	

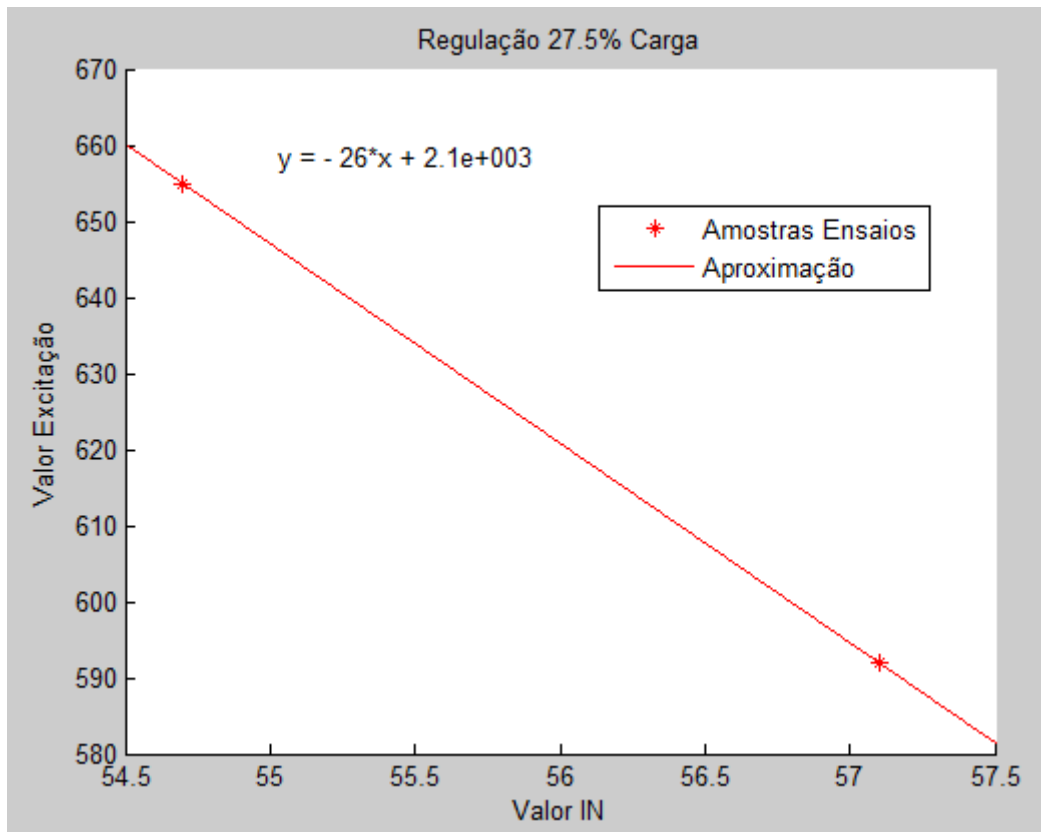


Figura 106 **Gráfico Regulação 27,5% Carga**

Para 30% da carga já não foi efectuado o ensaio pois a corrente nominal do gerador estava ultrapassada.

Anexo D. Fluxogramas *Software* Desenvolvido

FUNÇÃO REPOR VALORES DE FÁBRICA

Anteriormente à inicialização da drive é necessária a reposição dos valores de fábrica, e posteriormente é preciso gravar as novas definições na drive. Para tal basta escrever no parâmetro x.00 o valor 1233 e fazemos assim o *Reset* e logo de seguida grava as novas definições escrevendo nesse mesmo parâmetro o valor 1000.

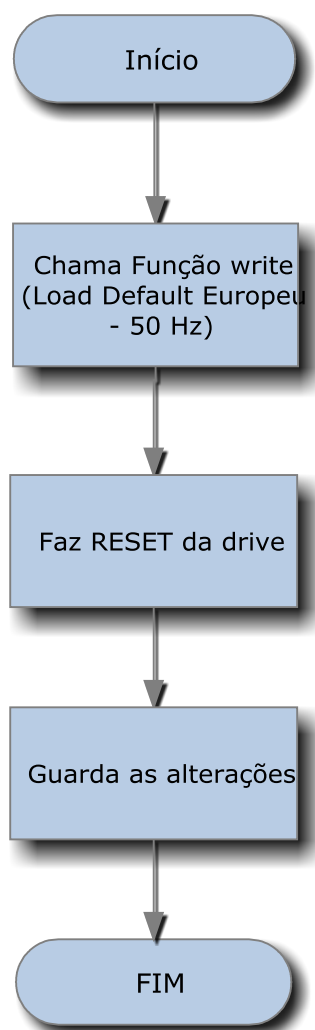


Figura 107 Fluxograma Repor valores fábrica - *software*

FUNÇÃO CARREGAR IMAGENS

Na Figura 52 é apresentada a janela que mostra os resultados da inicialização dos parâmetros assim como varias imagens associadas a cada conjunto de parâmetros apenas a título ilustrativo.

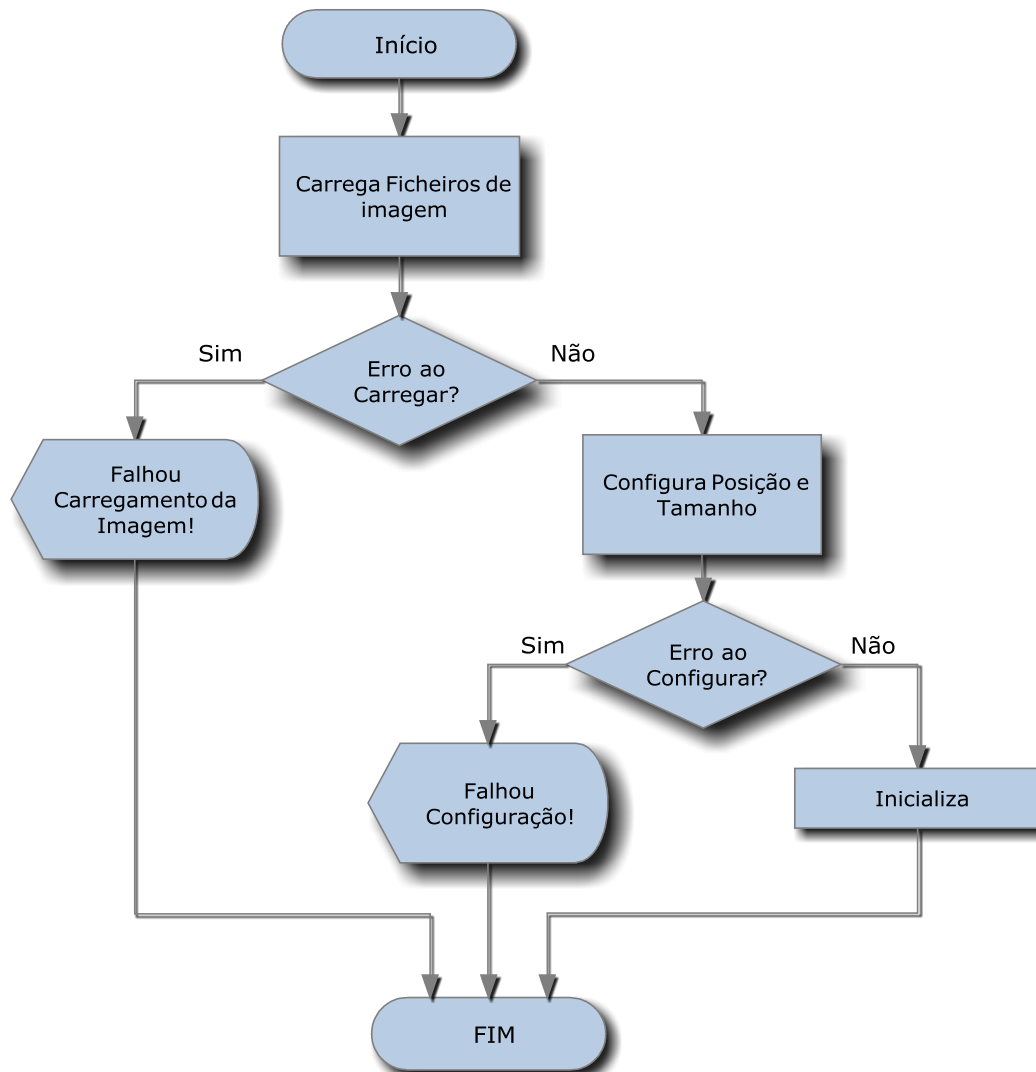


Figura 108 Fluxograma carregar imagem – *Software*