



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

GRADUADO

1210001202



**“Desenvolvimento de uma Nova Técnica
de Simulação de Conversores Estáticos, com
Finalidades Didáticas, Aplicada e Disponibilizada
Através dos Recursos da Internet”**

Flávio Alessandro Serrão Gonçalves

Ilha Solteira - SP



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA - FEIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**“Desenvolvimento de uma Nova Técnica
de Simulação de Conversores Estáticos, com
Finalidades Didáticas, Aplicada e Disponibilizada
Através dos Recursos da Internet ”**

Flávio Alessandro Serrão Gonçalves

Orientador:

Carlos Alberto Canesin

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS - UNESP como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA**.

Ilha Solteira(SP), Fevereiro de 2001.

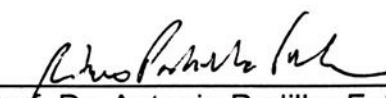
3040 0007 ENGENHARIA ELÉTRICA

BCoIS - FEIS - UNESP

“Desenvolvimento de uma Nova Técnica de Simulação de Conversores Estáticos, com Finalidades Didáticas, Aplicada e Disponibilizada Através dos Recursos da Internet”

FLÁVIO ALESSANDRO SERRÃO GONÇALVES

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – UNESP – COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA (ME).



Prof. Dr. Antonio Padilha Feltrin – Coordenador

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Carlos Alberto Canesin - orientador



Prof. Dr. Mauricio Aredes



Prof. Dr. Luís Carlos Origa de Oliveira

Ilha Solteira – SP, março de 2001

BCpIS - FEIS - UNESP



*A DEUS
AOS MEUS PAIS, JAYR E MARIA DE FÁTIMA
A MINHA ESPOSA LEUSE E A MINHA FILHA EMANUELE*



Agradecimentos

Ao professor Carlos Alberto Canesin pela orientação precisa, por todo o conhecimento transmitido e principalmente por toda amizade, sinceridade, companheirismo, incentivo e confiança irrestritas.

Aos professores Maurício Aredes e Luís Carlos Origa de Oliveira, pela participação na Banca Examinadora de Dissertação de Mestrado e por suas contribuições para o aprimoramento deste trabalho.

Aos professores José Carlos Rossi e Luís Carlos Origa de Oliveira, pela participação direta na minha formação técnica e pelo ininterrupto incentivo ao prosseguimento de meus trabalhos.

Aos grandes amigos e colegas de pesquisa, Fabio Toshiaki Wakabayashi, Rogério Rodrigues dos Santos e Fausto Donizeti Dantas, pela amizade sincera, pelo constante apoio e pelo grande auxílio técnico prestado, tornando o trabalho muito mais prazeroso e gratificante.

Aos colegas do curso de mestrado, por suas marcantes presenças no decorrer desta jornada.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação, Arlindo Avanzo Urzulin e Maria de Fátima Sabino, pelo excelente trabalho desenvolvido.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento desta pesquisa, tornando possível o desenvolvimento do projeto.

À minha família, pelo apoio emocional e pela compreensão demonstrada ao longo de todos estes anos.

A Deus por conceder-me a graça de viver em meio a todos aqueles que aqui citei, permitindo-me compreender melhor o significado da palavra “amigo”.



Sumário

Simbologia.....	vi
Resumo.....	viii
Abstract.....	ix
Capítulo 1 – Introdução Geral	
1 – Introdução Geral.....	1
Capítulo 2 – Modelo Java	
2.1– Introdução à Plataforma Java.....	3
2.1.1 - Disponibilidade da Plataforma.....	3
2.1.2 - Applets e Aplicativos.....	4
2.1.2.1 – Applets.....	4
2.1.2.2 - Aplicativos	4
2.1.2.3 – Diferenças.....	5
2.2 - Linguagem Java.....	5
2.2.1 – Principais Características da Linguagem Java.....	6
2.2.1.1 - Simples, Orientada a Objetos e Familiar.....	6
2.2.1.2 - Robusta e Segura.....	7
2.2.1.3 -Arquitetura Neutra e Portável.....	7
2.2.1.4 - Alto desempenho.....	8
2.2.1.5 - Interpretada, Threaded e Dinâmica.....	8
2.3 - Conclusões.....	9

Capítulo 3 – Aprendizado Auxiliado Por Computadores

3.1 - Introdução	10
3.2 - Sistemas Educacionais Baseados em Computador.....	12
3.2.1 – CAL – Aprendizado Assistido por Computador.....	12
3.2.2 – CBT – Treinamento Baseado em Computadores.....	12
3.2.3 – Estado da Arte de CAL e CBT.....	12
3.3 - Sistemas de Ensino Distribuídos.....	15
3.3.1 - Educação Total à Distância (e-learning).....	18
3.4 - Características Desejáveis em um Software Educacional.....	19
3.5 - Java Applets como Softwares Educacionais.....	20
3.5.1 -Benefícios do Emprego de Java.....	20
3.5.1.1 - Benefícios para pesquisadores de software didático.....	21
3.5.1.2 - Benefícios para usuários de software didático.....	21
3.5.2 – Applets: Organização, Projeto e Implementação.....	22
3.5.3 - Reaproveitamento de Applets Educacionais.....	22
3.6 –Experiências e Resultados Relatados na Bibliografia.....	23
3.7 – Conclusões.....	23

Capítulo 4 – Desenvolvimento de Java Applets Aplicadas em Eletrônica de Potência

4.1 – Introdução.....	25
4.2 - Motivação para a Simulação.....	26
4.2.1 - Modelagem dos Componentes.....	27
4.2.2 - Cálculos de Valores Médios e Eficazes.....	27
4.3 - Implementação dos Algoritmos Fundamentais.....	28
4.3.1 - Categorias e Aplicativos Desenvolvidos.....	28
4.3.1.1 -Estruturas Retificadoras Não Controladas (a diodo).....	28
4.3.1.2 - Estruturas Retificadoras Controladas (a tiristor).....	29
4.3.2 Escolha das Variáveis Principais.....	29
4.3.3 -Interface Gráfica do Usuário.....	30
4.3.3.1 – Área de Interface Gráfica I.....	30



4.3.3.2 – Área de Interface Gráfica II.....	31
4.3.3.3 – Área de Interface Gráfica III.....	32
4.3.3.4 – Área de Interface Gráfica IV.....	32
4.3.3.5 – Área de Interface Gráfica V.....	33
4.3.3.6 – Interface Gráfica Completa.....	33
4.3.4 - Entrada de Dados.....	34
4.3.5 - Informação de Erros.....	34
4.3.6 – Ativação dos Métodos de Simulação.....	35
4.3.7 - Algoritmos utilizados para o cálculo dos valores médios e eficazes.....	36
4.3.7.1 - Através de ábacos.....	36
4.3.7.2 - Através de resolução de uma função.....	36
4.3.7.3- Através de integração discreta gráfica.....	37
4.4 – Retificador Monofásico de Meia Onda Não Controlado.....	38
4.4.1 - Determinação do ângulo de extinção β	38
4.4.2 - Determinação das Correntes Normalizadas.....	39
4.4.3 – Algoritmo de Simulação da Topologia.....	40
4.4.3.1 – Componente: Carga do Tipo RL.....	42
4.4.3.2 – Componente: Fonte de Tensão V_1	43
4.4.3.3 – Componente: Diodo D_1	43
4.5 – Conclusões.....	44

Capítulo 5 – Validação dos Resultados

5.1 – Introdução.....	45
5.2 – Retificadores Não Controlados.....	45
5.2.1 – Retificador Monofásico de Meia Onda.....	45
5.2.1.1- Simulação Applets.....	45
5.2.1.2- Simulação Pspice.....	49
5.2.1.3- Análise dos Resultados.....	51
5.2.2 – Retificador Monofásico de Meia Onda com Diodo de Roda Livre.....	52
5.2.2.1- Simulação Applets.....	53
5.2.2.2- Simulação Pspice.....	55
5.2.2.3- Análise dos Resultados.....	57

5.2.3 – Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio.....	58
5.2.3.1- Simulação Applets.....	58
5.2.3.2- Simulação Pspice.....	62
5.2.3.3- Análise dos Resultados.....	65
5.2.4 – Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte.....	66
5.2.4.1- Simulação Applets.....	67
5.2.4.2- Simulação Pspice.....	71
5.2.4.3- Análise dos Resultados.....	74
5.2.5 – Retificador Trifásico com Ponto Médio.....	76
5.2.5.1- Simulação Applets.....	76
5.2.5.2- Simulação Pspice.....	81
5.2.5.3- Análise dos Resultados.....	85
5.2.6 – Retificador Trifásico em Ponte.....	86
5.2.6.1- Simulação Applets.....	86
5.2.6.2- Simulação Pspice.....	90
5.2.6.3- Análise dos Resultados.....	92
5.2.7 – Ábacos Desenvolvidos para Retificadores à Diodos.....	93
5.2.7.1 – Ângulo de Extinção da Corrente (β).....	94
5.2.7.2 – Correntes Normalizadas na Carga.....	94
5.2.7.3 – Análise dos Resultados.....	95
5.3 – Retificadores Controlados.....	96
5.3.1 – Retificador Monofásico de Meia Onda à Tiristor.....	96
5.3.1.1- Simulação Applets.....	96
5.3.1.2- Simulação Pspice.....	99
5.3.1.3- Análise dos Resultados.....	102
5.3.2 – Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte à Tiristores.....	103
5.3.2.1- Simulação Applets.....	103
5.3.2.2- Simulação Pspice.....	106
5.3.2.3- Análise dos Resultados.....	109
5.3.3– Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio à Tiristores....	110
5.3.3.1- Simulação Applets.....	110
5.3.3.2- Simulação Pspice.....	113
5.3.3.3- Análise dos Resultados.....	116



5.3.4 – Retificador Trifásico com Ponto Médio à Tiristores.....	117
5.3.4.1- Simulação Applets.....	117
5.3.4.2- Simulação Pspice.....	119
5.3.4.3- Análise dos Resultados.....	120
5.3.5 – Retificador Trifásico em Ponte Completa à Tiristores.....	121
5.3.5.1- Simulação Applets.....	121
5.3.5.2- Simulação Pspice.....	127
5.3.5.3- Análise dos Resultados.....	129
5.3.6 – Ábacos Desenvolvidos para Aplicações com Tiristores.....	133
5.3.6.1 – Ângulo de Extinção da Corrente (β).....	133
5.3.6.2 – Correntes Normalizadas na Carga.....	134
5.3.6.3 – Puschlowski.....	134
5.3.6.4 – Análise dos Resultados.....	135
5.3.7 – Ábacos Referentes ao Estudo da Comutação.....	135
5.4 – Conclusões.....	136

Capítulo 6 – Conclusões Gerais

6 – Conclusões Gerais.....	138
----------------------------	-----

Referências Bibliográficas.....	140
---------------------------------	-----



Simbologia

1. Símbolos usados em expressões matemáticas

Símbolo	Significado	Unidade
f	Frequência da tensão de alimentação	Hz
I_{ef}	Valor eficaz normalizado da corrente através da carga	
I_{Lef}	Valor eficaz da corrente através da carga	A
I_{Lmd}	Valor médio da corrente através da carga	A
$i_L(t)$	Corrente instantânea através da carga	A
I_{md}	Valor médio normalizado da corrente através da carga	
$i_{Norm}(t)$	Corrente instantânea normalizada através da carga	
L	Indutância genérica de carga.	H
R	Resistência genérica de carga	Ω
V_{Lmed}	Valor médio da tensão sobre a carga	V
V_o	Valor eficaz da tensão fornecida pela fonte de alimentação	V
$v_1(t)$	Tensão instantânea fornecida pela fonte de alimentação	V
$v_{1Norm}(t)$	Tensão instantânea normalizada fornecida pela fonte de alimentação	
α	Ângulo de disparo do interruptor controlado	Graus
β	Ângulo de extinção da corrente	Graus
β_c	Ângulo crítico de extinção da corrente	Graus
ϕ	Ângulo de Carga	Graus
ω	Frequência angular da tensão de alimentação	Rad/s

2. Símbolos usados para referenciar elementos em diagramas de circuitos

Símbolo	Significado
D	Diodo (interruptor não controlado)
L	Indutor
R	Resistor
T	Tiristor (interruptor controlado)
V	Fonte de tensão



3. Acrônimos e Abreviaturas

Símbolo	Significado
---------	-------------

Applet	Pequeno programa escrito em linguagem Java e compilado
Browser	Programa que permite a navegação na rede WWW da internet
Bit	Binary Digit - algarismo binário
Byte	Unidade de informação básica composta de 8 bits
FP	Fator de potência
Hardware	Componentes Físicos em Computadores
HTML	Hyper Text Markup Language – linguagem utilizada para escrever páginas na internet
Internet	Rede internacional de computadores que utilizam os protocolos TCP/IP
Java	Plataforma computacional introduzida pela Sun Microsystems
Software	Programas escritos para computadores
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol – protocolos de controle e transmissão de dados em redes e especialmente na internet
TDH	Taxa de distorção harmônica
WWW	World Wide Web - rede mundial de documentos em formato HTML interligados entre si e espalhados por servidores em todo o mundo

4. Símbolos de Unidades de Grandezas Físicas do SI

(Sistema Internacional de Unidades)

Símbolo	Nome da Unidade
---------	-----------------

A	Ampère
H	Henry
Hz	Hertz
rad/s	Radianos por segundo
s	Segundo
V	Volt
Ω	Ohm

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de diversas applets, empregando-se a linguagem Java, aplicadas com finalidades educacionais ao contexto de um curso de Eletrônica de Potência, disponibilizado em HTML (hypertext markup language) através da WWW (world wide web) e dos recursos da Internet. Estas applets foram desenvolvidas com o propósito de oferecer uma plataforma de simulação interativa e análise instantânea de estruturas retificadoras idealizadas, operando em regime permanente, monofásicas e trifásicas, controladas e não-controladas, as quais fazem parte de um curso introdutório de Eletrônica de Potência. Além disso, foram desenvolvidas várias applets para facilitar a resolução de diversos exercícios e projetos de retificadores a diodos (não-controlados) e tiristores (controlados). Adicionalmente, é apresentada uma análise comparativa geral, usando-se resultados de simulações através do Pspice 9.1, tomados como referência consolidada, com o propósito de validar as applets desenvolvidas e apresentadas neste trabalho. Neste contexto, o principal objetivo da proposição destas applets é o de proporcionar maiores facilidades para os estudantes entenderem o contexto do curso através de um ambiente agradável e motivante, como a WWW e Internet, enfatizando-se a análise das formas de onda das estruturas. Torna-se importante notificar que, numa primeira experiência com a utilização destas Java applets propostas, realizada no primeiro semestre de 2000 (FEIS-UNESP), proporcionando condições para uma análise comparativa instantânea (on-line), via conexão TCP/IP (Internet), quando do desenvolvimento de experiências laboratoriais realizadas pelos estudantes, foi observada uma importante e significativa melhoria no aprendizado do conteúdo do curso. Portanto, o principal propósito destas novas ferramentas propostas é o oferecimento de significativas facilidades para a estrutura do curso de Eletrônica de Potência, permitindo um verdadeiro curso “on-line” através da WWW, motivando os alunos a aprenderem seu conteúdo a aplicá-los em diversos projetos e exercícios propostos.



Abstract

This work introduces Java applet programs for a WWW (world wide web)-HTML (hypertext markup language)-based multimedia course in Power Electronics. The applet programs were developed with the purpose of providing an interactive simulation platform and steady-state analysis of idealized uncontrolled and controlled single-phase, and three-phase rectifiers, which are an important part of Power electronics course structure. In addition, this work discusses the development of Java applet programs to solve some design-oriented equations for rectifier applications. Moreover, a complete comparative analysis is presented, using simulation results from Pspice 9.1, as a consolidated reference, in order to validate the developed applets. In this context, the major goal of these proposed Java applets is to provide more facilities for the students increase their pace in Power Electronics course, through an agreeable and stimulant environment, as the WWW and Internet, emphasizing waveforms analysis of proposed structures. It should be noticed that, in a first experience (year 2000-FEIS-UNESP) using these proposed Java applets, which are embedded in a WWW-HTML-based course in Power Electronics, and providing conditions for an on-line comparative analysis among different hands-on laboratory experiences developed by the students, via a normal Internet TCP/IP connection, was observed an important improvement of the apprenticeship for the content of this course. Therefore, the main purpose of these novel proposed tools is the offering of significative facilities for Power Electronics course structure, allowing a true on-line course over the WWW, motivating students to learn its content, and apply it in some applications-oriented projects, and their home-works.



Capítulo 1 – Introdução Geral

1 – Introdução Geral

Um dos alicerces para a sustentação do desenvolvimento sócio-econômico de um país é a sua educação. Neste sentido, nas últimas décadas, pesquisadores vem tentando o aprimoramento de conceitos, técnicas e o desenvolvimento de novas ferramentas para auxiliar o progresso da educação [1].

A forma tradicional de ensino apresentada nas salas de aula pode ser complementada com o emprego de sistemas de ajuda interativos baseados em computadores, envolvendo tanto o ensino quanto o treinamento [2]. Estes sistemas proporcionam um ambiente de aprendizado com uma alta qualidade, ajudando a melhorar a produtividade do professor e, conseqüentemente, a qualidade do aprendizado do aluno [3].

A evolução dos computadores, em conjunto com a disseminação cada vez maior da Internet (rede internacional de computadores), tornou fácil o acesso à informação, de quase todos os lugares, a qualquer hora e respeitando o ritmo do usuário. O advento das tecnologias de hipermídia acompanhado por hipertextos, simulações interativas, vídeos e sons originaram um mecanismo novo e efetivo de entrega de informações com o poder de criar laboratórios virtuais e salas de aula virtuais [4].

Por outro lado, ainda (2001), o ensino de circuitos de Eletrônica de Potência geralmente utiliza uma metodologia baseada em livros texto, onde conceitos são apresentados de forma estática. Embora alguns destes métodos funcionem, a utilização de simulações computacionais e a utilização de ferramentas gráficas orientadas a objeto, para ilustrar os conceitos de uma forma mais dinâmica e interativa, proporcionam aos alunos uma maneira mais agradável de visualização dos conceitos mais importantes, usualmente difíceis de se reproduzir nos moldes das tradicionais salas de aula [1, 2, 4-8].

Nestes últimos anos, diversos pesquisadores vem buscando o desenvolvimento de ferramentas de auxílio ao ensino que possam ser executadas em ambientes distribuídos, que sejam reutilizáveis e proporcionem um elevado nível de interação. Neste sentido, uma das principais plataformas utilizadas, por suas vantagens intrínsecas, é a Java [9-10].

Portanto, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de ferramentas de análise de circuitos retificadores à diodos e tiristores, pertencentes à ementa da disciplina de Eletrônica de Potência dos ensinos de graduação e pós-graduação, com as finalidades de promover um melhor



entendimento destas estruturas, auxiliar na resolução de exercícios e projetos, propiciar análise crítica e comparativa com resultados experimentais através de ensaios laboratoriais, possibilitar um aprendizado interativo e disponível através dos recursos da Internet, propiciando condições favoráveis para um melhor aprendizado e estímulo ao estudo da ementa desta disciplina.

Neste sentido, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de auxílio ao ensino, contendo aplicativos que realizem o papel dos ambientes de simulação, para uma análise introdutória do comportamento idealizado e em regime permanente de algumas estruturas retificadoras não controladas (a diodos) e controladas (a tiristores), com o intuito de melhorar a qualidade do ensino dos alunos, englobando diversas características funcionais, tais como: reutilização, modulação, alta qualidade de interatividade, modo de acesso distribuído, ambiente amigável e de fácil utilização.

Portanto, este trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de auxílio a ensino de Eletrônica de Potência, distribuído que apresente aplicativos de simulação das estruturas abrangidas pelo curso, proporcionando uma nova plataforma de simulação dirigida, em tempo real, das estruturas operando em regime permanente, permitindo a visualização das formas de onda de tensão e corrente em cada componente da estrutura, os cálculos referentes aos valores médios, eficazes e de pico de determinadas variáveis, bem como o cálculo de outras variáveis indispensáveis para um melhor entendimento do comportamento da estrutura, como os ângulos de atraso e de carga, análise harmônica, etc..., possuindo uma interface de utilização amigável, baseada no conceito de reutilização de módulos de ensino, operando no ambiente distribuído da Internet, utilizando a plataforma Java.



Capítulo 2 – Modelo Java

2.1 – Introdução à Plataforma Java

O mundo dos computadores se estende atualmente ao longo de muitas plataformas, dentre elas Microsoft Windows®, Macintosh®, OS/2®, UNIX® e NetWare®. O software (programa escrito para computadores) em si para ser executado deve ser compilado separadamente, para ser executado para cada plataforma. O arquivo binário referente a um aplicativo, que é executado sobre uma determinada plataforma, não pode ser executado em outra plataforma, porque o arquivo binário é específico para cada máquina.

A plataforma Java é uma nova plataforma de software para entrega e execução altamente interativa, dinâmica e segura de applets e aplicativos sobre sistemas de computadores em rede [11].

Enquanto cada plataforma possui sua própria implementação da máquina virtual Java, existe somente uma especificação da máquina virtual. Assim, a plataforma Java pode proporcionar um padrão, ou seja, uma interface uniforme de programação para applets e aplicações em qualquer hardware (componentes físicos em computadores). A plataforma Java é, portanto, ideal para Internet, onde um único programa deve ser capaz de ser executado em qualquer computador ao redor do mundo.

O código fonte em linguagem Java é compilado para uma forma intermediária portátil em bytecodes que poderão ser executadas em qualquer lugar onde estiver presente uma plataforma Java com uma máquina virtual. Um código no formato bytecodes está codificado em bytes (unidade básica de informação que contêm 8 bits), ou seja, não são códigos direcionados a nenhuma máquina física específica, mas sim à máquina virtual Java presente na plataforma Java [11].

2.1.1 - Disponibilidade da Plataforma

A Plataforma Base Java está atualmente inserida nos browsers (navegadores) mais utilizados na Internet, Netscape Navigator®, Internet Explorer®, Opera®, além de estar se tornando uma parte indispensável a qualquer tipo de navegador existente. Atualmente, a plataforma Java está presente em todos os gerenciadores de sistemas pessoais, de estações de trabalho e operacionais



em rede, estando disponível para os sistemas mais utilizados como Microsoft Windows[®], Macintosh[®], OS/2[®] e UNIX[®]. Através da família de circuitos integrados, denominada JavaChip, a plataforma torna-se disponível para uma larga faixa de estruturas industriais, como as dedicadas à rede de computadores, impressoras, copiadoras, telefones celulares [11].

2.1.2 - Applets e Aplicativos

A plataforma Java permite aos programadores criar dois tipos diferentes de programas, denominados applet e aplicativo.

2.1.2.1 - Applets

São programas que requerem um browser para serem executados. O marcador <applet> é inserido em uma página Web em conjunto com o nome do programa em Java compilado em bytes a ser executado. Quando a página é acessada por um usuário, através da Internet ou mesmo de uma Intranet, a applet é automaticamente carregada do servidor e executada sobre a máquina do usuário. Devido ao fato das applets serem carregadas, existe a tendência de serem projetadas para possuir um pequeno tamanho (em bytes) ou para operar em módulos, evitando grandes tempos de carregamento.

2.1.2.2 - Aplicativos

São programas que não requerem um browser para serem executados, ou seja, eles não necessitam de nenhum tipo de mecanismo de carregamento através da rede. Quando o aplicativo é requisitado, ele é executado automaticamente. Desta maneira, aplicativos funcionam da maneira tradicional como os programas de outras linguagens. Eles podem realizar tarefas tradicionais dos microcomputadores pessoais, como a de um processador de texto, ou mesmo um aplicativo gráfico. Como a applet, um aplicativo requer a Plataforma Java para ser executado, entretanto a Plataforma pode estar disponível através de um programa em separado, podendo ser inserido diretamente no sistema operacional utilizado, ou no próprio aplicativo.



2.1.2.3 – Diferenças

Enquanto applets e aplicativos possuem diferentes modos de serem invocados, na maior parte dos casos eles possuem o mesmo tipo de acesso para uma larga gama de capacidade da linguagem. Por exemplo, tanto a applet quanto o aplicativo podem acessar um servidor de dados, recuperar dados quando necessário, realizar processamento com estes dados e armazenar os resultados de volta ao servidor.

Todavia, uma applet requer uma rede para ser executada, enquanto o aplicativo não necessita. Aplicativos possuem um maior grau de liberdade, permitindo um total acesso aos serviços do sistema. Um aplicativo, diferentemente de uma applet, pode ter um acesso completo de leitura e gravação de arquivos nas unidades de armazenamento. A partir da existência da possibilidade de uma applet ser carregada de uma página não confiável, são restringidos os acessos à leitura e gravação a qualquer arquivo do sistema exceto do servidor de origem da mesma. Estas restrições podem ser contornadas quando as applets são identificadas com assinaturas digitais, permitindo o usuário final ter a certeza de estar carregando um código inalterado e confiável [11].

2.2 - Linguagem Java

Java foi projetada para satisfazer os desafios do desenvolvimento de aplicações no contexto heterogêneo, de ambientes distribuídos através da rede. Fatores de elevada importância dentre estes desafios são a entrega segura destes aplicativos consumindo o mínimo de recursos do sistema, a execução em qualquer plataforma de hardware e software, e a possibilidade de ser estendida dinamicamente.

Java teve sua origem como parte de um projeto de pesquisa para desenvolver softwares avançados para uma ampla variedade de estruturas de rede e de sistemas inseridos. O objetivo era desenvolver uma plataforma pequena, segura, portátil, distribuída e que proporcionasse uma operação em tempo real. A linguagem C++ foi a linguagem adotada no início do projeto, entretanto com o desenrolar do projeto, as dificuldades encontradas com C++ aumentaram, chegando ao ponto onde os problemas tinham que ser mais bem resolvidos através da criação de uma nova plataforma de linguagem. O esboço do projeto e arquitetura foi criado através de uma variedade de linguagens como Eiffel, SmallTalk, Objective C e Cedar/Mesa. O resultado foi o desenvolvimento de uma plataforma de linguagem que se mostrasse ideal para o desenvolvimento de aplicações seguras, distribuídas, baseadas em redes envolvendo ambientes



que se estendem desde estruturas inseridas para WWW (World-Wide Web) até usuários desktop [12].

Os elevados crescimentos dos recursos da Internet e da WWW conduziram os pesquisadores para um modo totalmente novo de desenvolvimento e distribuição de software. Para existir interação com o mundo do comércio e distribuição eletrônica, Java deveria proporcionar um desenvolvimento de aplicações seguras, com alto desempenho, e ser altamente robusta sobre múltiplas plataformas em redes heterogêneas e distribuídas.

A operação em plataformas múltiplas em redes heterogêneas anula o tradicional esquema de distribuição binária, portanto Java deveria ser uma arquitetura neutra, portátil e dinamicamente adaptável.

O sistema Java desenvolvido para satisfazer estas necessidades é *simples*, pode ser facilmente programado pela maioria dos programadores; *familiar*, os programadores acostumados com as atuais linguagens podem facilmente aprender Java; *orientada a objeto*, aproveita a vantagem das metodologias de desenvolvimento moderno de software e se encaixa dentro de aplicações cliente-servidor; *multithreaded* (multitarefa), para alto desempenho em aplicações que requerem executar múltiplas tarefas concorrentemente, assim como multimídia; e *interpretada*, para uma máxima capacidade de portabilidade e dinâmica [11-16].

2.2.1 – Principais Características da Linguagem Java

2.2.1.1 - Simples, Orientada a Objetos e Familiar

As características primárias de Java incluem uma linguagem simples que pode ser programada sem treinamento extensivo de programação enquanto apresenta-se compatível com as atuais tecnologias de softwares. Os conceitos fundamentais de Java podem ser assimilados rapidamente, permitindo aos programadores tornarem-se produtivos desde o início do trabalho.

Java foi desenvolvida para ser orientada a objeto do início ao fim, proporcionando uma clara e eficiente plataforma de desenvolvimento orientada a objetos.

Programadores utilizando Java podem acessar bibliotecas existentes de objetos testados que proporcionem funcionalidade variando desde tipos básicos de dados através de E/S(Entrada/Saída), interfaces de rede, até ferramentas gráficas da interface do usuário. Estas bibliotecas podem ser estendidas para prover um novo comportamento.

Embora C++ tenha sido descartada como linguagem de implementação, Java conservou-se parecida com C++ o quanto foi possível, resultando em uma linguagem familiar, enquanto as

complexidades desnecessárias de C++ foram removidas, entretanto, Java conservou muito das características de objetos orientados e a da aparência da linguagem C++, permitindo aos programadores migrarem facilmente para o ambiente Java.

2.2.1.2 - Robusta e Segura

Java foi desenvolvida para criar softwares altamente seguros. As próprias características da linguagem guiam os programadores em direção aos hábitos seguros de programação.

O modelo de controle de memória é extremamente simples: objetos são criados através de um novo operador. Não existem explicitações de apontadores de tipos de dados definidos pelo programador, nem apontadores aritméticos, e, a coleta do “lixo” (arquivos temporários gerados pela linguagem) é realizada automaticamente. Este modelo simples de controle de memória elimina inteiramente um conjunto de erros de programação que geralmente ocorrem com os programadores de C e C++. O desenvolvimento de um código em linguagem Java apresenta a segurança que o sistema achará rapidamente os erros e que a maior parte dos problemas não permanecerão ocultos.

Java foi desenvolvida para operar em ambientes distribuídos, o que implica que o fator segurança é de extrema importância. Através das características desenvolvidas dentro da linguagem, Java permite a construção de aplicações que não podem ser invadidas por fora. Nos ambientes de rede, aplicações escritas em Java são seguras quanto à intrusão através de códigos não autorizados tentando agir em segundo plano, tentando a criação de vírus ou mesmo a invasão dos arquivos do sistema.

2.2.1.3 -Arquitetura Neutra e Portável

Java foi desenvolvida para suportar aplicações que podem ser difundidas nos ambientes de redes heterogêneas. Nestes ambientes, as aplicações devem ser capazes de execução sobre uma variedade de arquiteturas de hardwares. Dentro desta variedade de plataformas de hardwares, as aplicações devem executar sobre uma variedade de sistemas operacionais e interagir com múltiplas interfaces de linguagem de programação. Para suportar esta diversidade de ambientes operacionais, o compilador Java gera *bytecodes* (uma arquitetura neutra num formato intermediário desenvolvido para transportar o código eficientemente para várias plataformas de



hardware e software). A interpretação natural de Java resolve tanto o problema de distribuição quanto o problema de versões: o mesmo programa em linguagem Java com código em bytes será executado em qualquer plataforma.

Arquitetura neutra é apenas uma parte de um sistema realmente portátil. Java toma portabilidade em um estágio adicional por tornar-se severa na definição da linguagem básica, demarcando e especificando os tamanhos de seus tipos básicos de dados e o comportamento de seus operadores aritméticos, assim, os programas são os mesmos em todas as plataformas, não existindo incompatibilidade de dados através das arquiteturas de software e hardware.

A arquitetura neutra e portátil da plataforma da linguagem Java é conhecida como MVJ (Máquina Virtual Java). MVJ é a especificação de uma máquina abstrata para cada compilador da linguagem Java. A implementação da Máquina Virtual Java para plataformas específicas de hardware e software proporciona uma concreta realização da máquina virtual. A MVJ é baseada primariamente na especificação da interface POSIX (uma definição padrão da indústria de interface de sistemas portáteis). A implementação de uma Máquina Virtual Java em novas arquiteturas é um trabalho relativamente direto, contanto que a plataforma designada satisfaça exigências básicas como apoio para multitarefa.

2.2.1.4 - Alto desempenho

Desempenho é sempre uma consideração importante a ser analisada. A plataforma Java alcançou um desempenho superior através da adoção de um esquema onde o interpretador pode funcionar à velocidade máxima sem precisar checar o ambiente de tempo de execução. O coletor automático de lixo é executado como thread (tarefa) de fundo de baixa prioridade, assegurando uma alta probabilidade que a memória estará disponível, quando requerida, permitindo um melhor desempenho. Em geral, usuários percebem que aplicações interativas respondem rapidamente embora sejam interpretadas.

2.2.1.5 - Interpretada, Threaded e Dinâmica

O interpretador Java pode executar bytecodes em Java diretamente sobre qualquer máquina cujo interpretador e o sistema de execução está instalado. Em uma plataforma interpretada como o sistema Java, a fase de interpretação do programa é simples, incremental e leve. O



programador se beneficia de um ciclo de desenvolvimento muito mais rápido – prototipagem, experimentação, e rápido desenvolvimento são um caso normal, contra o processo tradicional de compilação e dos ciclos de testes.

Modernas aplicações baseadas em rede, tipicamente necessitam realizar diversas coisas ao mesmo tempo, a capacidade multithread (multitarefa) de Java proporciona os meios para construir aplicações com muitas linhas simultâneas de atividade.

Java suporta multithreading no nível de linguagem com a adição de uma sofisticada sincronização primitiva, onde uma biblioteca de linguagem apresenta a classe Thread, e o sistema de tempo de execução proporciona monitoração e condições de travamento primitivas. As bibliotecas de sistemas Java foram escritas para serem thread seguras, ou seja, a funcionalidade proporcionada pelas bibliotecas é disponível sem conflitos com múltiplas threads de execução.

2.3 -Conclusões

Antes de se executar um programa escrito em Java o programa deve ser compilado. A compilação resulta num arquivo "codificado em bytes", que embora seja um arquivo semelhante a um código de máquina, pode ser executado sob qualquer sistema operacional que possua um interpretador. Este interpretador lê o arquivo codificado em bytes e traduz os comandos codificados em bytes em comandos de linguagem de máquina que podem ser executados diretamente pela máquina onde está sendo utilizado o programa Java. Os programas Java podem conter múltiplas threads de execução, permitindo que os programas manipulem diversas tarefas, concorrentemente. Os programas em Java também efetuam a sua própria coleta de lixo, o que significa que não precisam remover objetos que eles alocam na memória, com isto estes programas não geram problemas com o gerenciamento de memória, como em outras linguagens.

Outro destaque da linguagem Java é sua robustez, pois o interpretador Java verifica todos os acessos do sistema efetuados dentro de um programa. Os programas não conseguem derrubar o sistema, quando um erro sério é descoberto, pois criam uma exceção. Esta exceção pode ser capturada e gerenciada pelo programa de acordo com os critérios do programador.

A utilização da plataforma Java torna possível a implementação de aplicativos de alta qualidade, envolvendo desde animações simples até programas sofisticados que os usuários podem utilizar de maneira on-line através da rede mundial de computadores.



Capítulo 3 – Aprendizado Auxiliado Por Computadores

3.1 - Introdução

A evolução das telecomunicações e da Internet tem proporcionado enormes facilidades para a aquisição e troca de informações. Ao mesmo tempo, com o advento da multimídia acompanhada por hipertextos, simulações interativas e sistemas de animação, dando origem a um mecanismo efetivo de entrega de informações, tem-se uma verdadeira concepção de laboratórios virtuais e salas de aula virtuais [4].

Muitos estudos vêm documentando que o ensino tradicional em salas de aula não é a melhor metodologia para o ensino dos estudantes nas faculdades. Além disso, existem dificuldades associadas aos sistemas tradicionais de ensino nas salas de aula, como tempo gasto com as distâncias percorridas entre a universidade/casa, interrupção nos cronogramas de trabalho, universidade localizada em outra localidade, etc... Governos, indústrias e instituições educacionais de diversos países estão promovendo pesquisas envolvendo a busca de caminhos inovadores para a melhoria do ensino através de um novo e inovador sistema de ensino [17].

Os recursos tradicionalmente utilizados, tais como quadros, giz, transparências e slides apresentam muitas limitações. A questão básica é como seria possível representar com giz e quadro negro, fenômenos que são tridimensionais e dinâmicos por natureza. Uma possível resposta seria a elaboração de apostilas no formato de slides, onde, cada quadro representaria um certo instante de tempo, uma determinada situação [18].

Estando os computadores cada vez mais poderosos, possuindo um enorme potencial para simular sistemas complexos e exibir gráficos e animações interativas, estes programas podem então ser utilizados tanto nas salas de aula, quanto nos micros pessoais dos alunos [18].

Os gráficos gerados pelos softwares exibem de forma animada os processos dinâmicos, sem a necessidade de analogias ou dezenas de transparências. Há ainda, a versatilidade e interatividade, pois se pode executar diversos casos mediante a simples modificação dos parâmetros e a simulação do sistema. Isto, por exemplo, pode tornar o aprendizado de máquinas e geradores elétricos um processo simples, motivante e eficiente [18].

Os sistemas interativos inteligentes são a parte mais ativa e largamente pesquisada da inteligência artificial, devido aos interesses envolvidos nos setores de comércio e indústria, existindo aplicações nos campos financeiros, da medicina, do controle industrial e em

engenharias. Apesar das grandes contribuições para o desenvolvimento destes sistemas serem, na maior parte, apresentadas por instituições educacionais, poucos esforços tem sido empregados no desenvolvimento de aplicações pedagógicas.

Como muitas inovações tecnológicas no passado, inegavelmente, mudaram consideravelmente o ambiente de ensino, os recentes avanços realizados em projetos de sistemas interativos também terão um maior impacto nos processos de aprendizagem. Estes esforços não são realizados com o intuito de substituir o professor pela máquina, mas sim para auxiliar e complementar o professor para que ele possa concentrar-se sobre os métodos mais efetivos baseados na capacidade dos estudantes e na realimentação proporcionada pelos mesmos no processo de ensino [2].

Um dos fatores essenciais envolvidos no sucesso do aprendizado dos estudantes é o seu desejo de aprender, este desejo pode ser melhorado através da apresentação do material do curso de uma maneira mais atrativa, motivando os estudantes a aprender mais e com uma melhor qualidade. A combinação de textos, sons, gráficos e animações para ilustrar conceitos técnicos, ajudam os estudantes a entenderem os principais conceitos, permitindo uma nova técnica de ensino e estudo, em relação àquela de apenas ler e escutar. Além disso, a inclusão da utilização de aplicações do mundo real (viáveis na prática), baseadas nos conceitos do curso, cria uma importante ligação entre a teoria e a realidade. Um curso multimídia bem implementado revela-se uma ferramenta efetiva de educação, especialmente na educação técnica [17].

O processo pedagógico é um sistema dinâmico de troca de informações, onde o desempenho do sistema pode ser melhorado através da integração de módulos de ensino com simulações. As simulações podem ser utilizadas para se obter um melhor entendimento do assunto através do estudo com variações dos parâmetros envolvidos.

O estilo convencional dos professores de ensinar com o giz em frente de uma classe, continua sendo o principal método de educação. Entretanto, nos últimos anos, vários modelos de educação à distância vêm se tornando do interesse dos professores. Porém, do ponto de vista de muitos pesquisadores, o modelo tradicional do professor e seus alunos presentes no mesmo tempo e espaço, proporciona a melhor qualidade de ensino por causa dos modos quase ilimitados de comunicação e interatividade possível através de presença física [6].

Portanto, os objetivos deste trabalho são o de agregar novas técnicas de ensino com a participação efetiva de educadores e educandos.



3.2 - Sistemas Educacionais Baseados em Computador

Atualmente existem duas categorias definidas de aplicação das tecnologias baseadas em computadores ligados ao ensino, o aprendizado assistido por computadores (CAL – Computer Aided Learning) e o treinamento baseado em computadores (CBT – Computer Based Training).

3.2.1 - CAL – Aprendizado Assistido por Computador

Este tipo de aprendizado é baseado na utilização de computadores como ferramentas para promover o aprendizado. Operando com um agente, que inserido em um ambiente de ensino, fornece um novo mecanismo de transmissão de informações.

3.2.2 - CBT – Treinamento Baseado em Computadores

É um tipo de treinamento que focaliza a utilização dos computadores como facilitadores do aprendizado de tarefas específicas em um determinado domínio do conhecimento, empregando simulações computacionais em seus estágios.

3.2.3 – Estado da Arte de CAL e CBT

Os sistemas de CAL e CBT vêm passando por muitos estágios de desenvolvimento desde o seu início na década de 1950. Os estágios de evolução foram geralmente desencadeados por um conjunto de revisões para melhorias, usualmente depois do fracasso de uma metodologia, ou pelo surgimento de novas tecnologias de hardware e software proporcionando novos ambientes para pesquisa. Com o passar dos anos, o trabalho de classificação e identificação dos erros anteriores, conduziu a uma melhora no esboço dos projetos iniciais. Remanescente em todas as evoluções das metodologias foi à conclusão principal, que é a verificação de que a utilização de computadores na educação melhora a produtividade.

As principais metodologias tentaram substituir o material didático tradicional ou algumas funções do professor, como: apresentação, arguição e até ensino.

Um dos primeiros consensos foi o reconhecimento de que ensinar é uma tarefa tão complexa que os computadores poderiam apenas proporcionar um auxílio no ensino ao invés de

“substituir” completamente os professores em todos os sentidos. Logo, computadores passaram a ser vistos apenas como ferramentas, que ofereciam recursos de estruturas audiovisuais [19].

Alguns pesquisadores concentraram seus esforços no desenvolvimento de sistemas do tipo CAL, desenvolvidos para funcionarem como um ambiente individual de aprendizado para o estudante, ou seja, centraram o foco dos trabalhos sobre as interações entre o conjunto composto pelo estudante e seu computador [1].

De acordo com [20], um sistema de ensino deve ser bem estruturado e conduzido para capturar e manter o interesse do estudante. Por este motivo, os componentes interativos em um software didático estão adquirindo cada vez mais importância. A interação pode ser apresentada de vários modos de acordo com os objetivos educacionais específicos, tais como:

(a) Animações em exercícios de fixação - O uso de animações pode conduzir a apresentações atraentes e explicações vivas da solução de um exercício. Selecionando entre conjuntos de diferentes parâmetros de entradas, o estudante encontra a solução escrita em uma tabela estática. A armadilha mais importante desta metodologia é determinada pelo número finito e a natureza repetitiva do exercício: quando o estudante tentou todas as possibilidades, estes não são mais úteis. Além disso, a implementação de animações para todo simples exercício é incômoda e relativamente cara.

(b) Simulações - Uma interação de alto nível é alcançada quando a atividade educacional envolve experimentos de simulação, permitindo a visualização de conceitos importantes que são difíceis de reproduzir nas salas de aula tradicionais.

O objetivo principal de sistemas do tipo CAL é atuar como parceiro no aprendizado, encorajando o aprendizado dos estudantes através de interações entre os mesmos e seus computadores. Entretanto, as reações humanas são muito complexas, tornando-se difícil uma simulação completa do aprendizado através de computadores, em função do comportamento humano. Além disso, quando um estudante não consegue entender alguma unidade do assunto do material, ele teoricamente para de aprender se não existir nenhuma ajuda disponível no momento. Por esta razão, é mais desejável ter parceiros humanos que parceiros cibernéticos. Infelizmente, é usualmente difícil para um estudante encontrar um grupo de parceiros de estudo que estejam sujeitos às atividades demarcadas na hora e local preferidos pelo estudante [1].

A forma tradicional de ensino apresentada nas salas de aula pode ser complementada pelo emprego de sistemas de ajuda interativos baseados em computadores (CAL), proporcionando um

aumento da disponibilidade do professores, e os alunos se beneficiam com os sistemas à medida que podem adiantar com seus próprios ritmos e conveniências os tópicos a serem estudados [2].

De acordo com [1], para alcançar os objetivos no desenvolvimento de CALs e CBTs, o assunto sobre o qual o sistema tratará, deve ser decomposto em pedaços, denominados módulos, para permitir uma dinâmica combinatória entre os mesmos nas unidades de aprendizado.

O exemplo de CAL descrito em [4], envolve o desenvolvimento de um conjunto de ferramentas multimídia interativas de aprendizado e ensino para proporcionar um amplo aprendizado para calouro de engenharia nos processos industriais e sistemas e a concorrente engenharia. Neste exemplo o sistema educacional foi visto como uma ferramenta complementar ao tradicional ensino das salas de aula, sendo o foco central o desenvolvimento de um mecanismo de suporte para melhorar a interação entre o aluno e o professor.

Segundo [17], a implementação de um sistema do tipo CBT, envolve o desenvolvimento dos passos a seguir:

- Apresentação do funcionamento dos principais casos de estudo em módulos;
- Análise de um diagrama de blocos, ou de um esquema da estrutura utilizando os conceitos abordados no módulo;
- Apresentação do comportamento de forma animada das estruturas, melhorando o aprendizado dos estudantes e ajudando a visualizar melhor a funcionalidade das estruturas.

Na experiência obtida em [17] os casos de estudo são apresentados no final de cada CBT em módulos, aplicando a teoria e os conceitos envolvidos em cada módulo. Animações são utilizadas para melhorar o entendimento do funcionamento de cada caso de estudo. O curso também introduz muitos estudos de casos reais, como detectores de movimento, aquecedores elétricos, sistemas de partida de carros, sistemas de alarmes.

Em [8], o desenvolvimento de um CBT com características fechadas na área de eletrônica, envolvendo stand-alone softwares de simulação, permitiu que os alunos ajustassem parâmetros como a indutância de comutação, o ângulo de atraso para a realização de várias simulações, determinando assim os efeitos e o comportamento sobre a estrutura, auxiliando as teorias desenvolvidas nas salas de aula tradicionais.

De maneira a estimular a habilidade e a curiosidade intelectual dos estudantes do nível superior foi proposto no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade do Arizona o oferecimento de um curso avançado para a época (1986) baseado em um sistema de CAL [3],

melhorando o ritmo de aprendizado e enfatizando conceitos avançados em aplicações orientadas ao curso de teoria de circuitos básicos. Em geral, os estudantes envolvidos foram favoráveis aos novos conceitos de ensino do curso. Dentre os fatores que ajudaram ao êxito do projeto podem ser identificados os seguintes fatores :

- Troca do material tradicional, cansativo e estático, por aplicativos interativos;
- Mudança no papel dos estudantes que se tornaram mais ativos nas participações das discussões nas salas de aula;
- A utilização de ensino baseado em computadores (CAL) permitiu ao estudante o trabalho sobre o seu próprio ritmo, receber respostas imediatas, aumentando a motivação dos estudantes em aprender mais, permitindo o emprego de aplicações práticas e contemporâneas.

O interesse e o entusiasmo gerados entre os alunos pelo aprendizado baseado em computadores, incentiva os alunos a continuar seus estudos nos tópicos cobertos pelos materiais, aumentando os seus conhecimentos na área e melhorando a eficiência do seu aprendizado [3].

Todavia, o tempo e os esforços requeridos para a produção de ferramentas de aprendizado pode ser substancial. Esta dificuldade é particularmente agravada na área de engenharia porque o conteúdo e as técnicas de avaliação usualmente não podem ser transferidos diretamente a partir de um livro texto ou de um material de um curso. Em [5], foram citados os exemplos de Hsi et al, que gastou 4 anos de atividades manuais no desenvolvimento do seu software educacional, criado para desenvolver o raciocínio de espaço e as habilidades de visualização, e Wallace e Mutooni, que despenderam mais de 500 horas de trabalhos no desenvolvimento de materiais para o sistema CAL na web, que apenas substitui 1 hora e 50 minutos de apresentação do curso tradicional.

O desenvolvimento de cursos avançados baseados em computadores, CALs, envolve uma considerável quantia de trabalho, entretanto proporciona um curso com alta qualidade ajudando a melhorar a produtividade do professor, e, conseqüentemente, a qualidade do ensino [3].

3.3 - Sistemas de Ensino Distribuídos

A tecnologia hipermídia apresenta um modelo de organização e acesso de informações proporcionado pelas tecnologias de hipertexto e multimídia. Aplicativos hipermídia recebem dos



hipertextos uma organização não-linear da informação apresentada, permitindo que os usuários naveguem e acessem informações ativando ligações estabelecidas entre itens de informações, estes atalhos são conhecidos como “weblinks”. Aplicativos que utilizam a tecnologia hipermídia estão sendo cada vez mais utilizados, principalmente devido a grande difusão da World Wide Web (WWW).

A incorporação de recursos multimídia, com a integração simultânea de mídias estáticas e dinâmicas, enriquece o potencial destes aplicativos para o acesso e manipulação de informações, deixando de ser taxados apenas como uma ferramenta de divulgação e comunicação para transformar-se em uma plataforma capaz de apoiar diversas atividades importantes como educação, comércio e até o controle industrial.

O desenvolvimento e a entrega de sistemas de cursos educacionais representam um dos principais tópicos atuais de pesquisa no campo de aprendizado e treinamento auxiliado por computador (CAL e CBT). Novas tecnologias educacionais foram conduzidas para melhoria na capacidade dinâmica dos mecanismos de acesso e serviços de rede. Além disso, as ferramentas de *authoring* (desenvolvimento) de multimídia, a WWW e a programação Java estão conduzindo à criação de ambientes didáticos novos e efetivos. Neste enredo, deve ser dada atenção particular ao processo de desenvolvimento do aprendizado, uma vez que os estudantes podem aprender melhor quando eles são estimulados por um maior nível de interatividade, propiciando aos mesmos um modo pessoal para aprender [20].

O crescimento dos recursos de comunicação como a Internet e a disponibilidade de ferramentas de desenvolvimento de software e de distribuição para produtos de aprendizado baseados em computador, vem mudando o modo tradicional de funcionamento do aprendizado e das atividades de treinamento. A atividade de pesquisa em treinamentos baseados em computadores (CBT) aproveitou as capacidades dinâmicas dos mecanismos de acesso e dos serviços de rede disponíveis [20].

Segundo [20], o impacto da informática nos métodos pedagógicos foi conduzido principalmente pelos seguintes itens:

- as melhorias na tecnologia multimídia (MM);
- o sucesso da World Wide Web (WWW) como uma rede global de informação acessível, e a linguagem de programação de Java.

A tecnologia multimídia hipermídia, baseada na integração de hipertextos com imagens, vídeo, sons, animações e simulações, é muito adequada às necessidades educacionais

contemporâneas por causa de seus aspectos intrínsecos como operação em módulos e não-linearidade multisensorial [20];

A WWW representa um poderoso agente com seu mecanismo de entrega intrínseco e sua difusão pela Internet, podendo servir como um ambiente educacional efetivo permitindo incorporação de ferramentas pedagógicas pelos pesquisadores [20].

A metodologia de tecnologias multimídias requer que os professores empenhem um grande esforço preparando, organizando e estruturando o software didático. Este trabalho apoiado por fases de validação progressivas pode produzir material de aprendizagem de ótima qualidade [20].

Para explorar a vantagem de tecnologias multimídias baseadas em métodos pedagógicos, é muito importante a escolha de um modo mais efetivo de captura e aumento do interesse do estudante, combinando corretamente mídias diferentes para ensinar a complexidade envolvida no tópico em questão. Uma atenção particular deve ser dada ao desenvolvimento do processo de aprendizagem, com a finalidade de maximizar a efetividade da nova tecnologia e obter um modelo de apresentação e distribuição mais satisfatório [20].

Os estudantes podem aprender melhor e mais depressa quando são estimulados por um alto nível de interatividade, podendo seguir um modo pessoal de aprendizado. Em particular eles podem personalizar sua participação ao software didático, estabelecendo a quantidade de tempo gasto em cada tópico e individualmente seus próprios passos de aprendizado.

As principais vantagens do sistema de ensino baseado em WWW são:

- Independência de tempo e espaço, permitindo um número grande de possíveis atendimentos simultâneos;
- Interface simples e familiar, devido à metodologia estar baseada na utilização do web browser;
- Redução do tempo gasto na criação ou melhoramento do material pedagógico de aprendizado, devido à estrutura ser aberta.

Diferentes estratégias de aprendizado podem ser enviadas para diferenciar currículos de estudantes através da utilização de diferentes caminhos escolhidos dentro do material do curso. Além disso, a inserção de ferramentas para aprendizagem em grupo e trabalho de co-operação pode melhorar a qualidade da educação significativamente [20].

A complexidade crescente do ambiente educacional baseado na WWW, permitiu o surgimento de sistemas dedicados para o desenvolvimento destes ambientes educacionais. Atualmente, sistemas úteis estão disponíveis para ajudar o autor de software didático a construir

e administrar um site de aprendizado com capacidade de sincronização de dados multimídia e facilidades de comunicação entre os professores e estudantes.

3.3.1 - Educação Total à Distância (e-learning)

O denominado e-learning, tem emergido rapidamente como uma tendência na educação no nível superior, especialmente para engenheiros e executivos em indústrias de tecnologia. Centenas de cursos técnicos, incluindo programas de graduação e certificação, estão sendo oferecidos pelas universidades, aproveitando os centros de desenvolvimento profissional e facilitando o treinamento de profissionais ao redor do mundo. Dentre os grandes centros que estão desenvolvendo o e-learning, destaca-se a Universidade de Maryland nos Estados Unidos, que possui um corpo de estudantes composto por mais de trinta mil alunos [21].

Neste último século o rádio, a televisão e a transmissão via satélite incrementaram o ensino à distância com novos métodos de entrega de informações, com o advento da conectividade global proporcionado pela internet e as novas gerações de aplicações de hardware, e software justificam-se o emprego destas técnicas de ensino à distância através da web [21].

Mesmo com a existência de muitos cursos de e-learning, um fator comum é o de que a classe freqüentemente não se conhece pessoalmente. Os alunos da turma se comunicam on-line, não apenas para discutir os trabalhos, mas para fazerem questionamentos, comentarem assuntos dos tópicos estudados e responderem perguntas entre si, criando um ambiente de discussão, que é às vezes é mediado pelo professor. Isto caracteriza, o que os professores denominam de “aprendizado em equipe”, um estilo de resolver os problemas que em muitos casos melhora a absorção do conhecimento pelos alunos [21].

O sistema de e-learning que não proporciona nenhum tipo de discussão, torna-se um sistema de ensino a distância sem valor, podendo levar o estudante a um aprendizado fraco e repleto de enganos. A implementação do aprendizado em conjunto utilizando o conceito de “aprendizado em equipe” elimina grande parte dos tipos de problemas conceituais com a estrutura de ensino à distância [21].

Entretanto, uma das desvantagens na implementação de um e-learning efetivo inicialmente é o alto custo envolvido com o treinamento de profissionais, licenças de softwares, aplicativos de e-commerce (vendas através da internet), ferramentas de desenvolvimento para web e o fato da necessidade de manter uma infraestrutura de computadores e de rede para suportar os diversos sistemas de CAL e CBT envolvidos [21].



3.4 - Características Desejáveis em um Software Educacional

Sistemas de softwares educacionais devem ser caracterizados de acordo com o modo de acesso dos estudantes ao material (local ou distribuído). Devem ser expansíveis pelos professores, usuários (aberto e fechado). Devem operar em um ambiente de objetos de software (stand alone e embedded (inserido)). Um software educacional, idealmente, deveria permitir um acesso distribuído e uma fácil capacidade de expansão do sistema pelos usuários (professores). Este objetivo é facilmente alcançado se o software é executado inserido em um documento do formato HTML (Hyper Text Markup Language – linguagem utilizada para escrever páginas e sites para a internet) [9].

Um sistema de ensino com programas escritos para uma plataforma específica em uma determinada linguagem, C++ por exemplo, seria necessariamente um sistema fechado. Os estudantes têm o acesso ao sistema de ensino fechado através de um computador ou via Cd-Rom adquirido separadamente executando o software localmente. Este sistema é rígido. Uma expansão ou reorganização por professores não é muito fácil de ser realizada .

Um sistema aberto é aberto no sentido de que o acesso distribuído é possível através da WWW, de que novos objetos de software possam ser facilmente adicionados para a coletânea pelos usuários professores, onde a reorganização e modificação do sistema são possíveis rapidamente, permitindo que novos materiais de aprendizado possam ser facilmente compostos pelos professores, através de uma biblioteca de objetos de software.

Um sistema de ensino aberto deve possuir uma coleção de módulos de aprendizado baseados na web, ou em um sistema de ensino expansível, compatível com as ferramentas de desenvolvimento disponíveis. Um sistema de ensino multimídia HTML com imagens, arquivos de sons, vídeos e animações, é um exemplo de sistema aberto. Estes elementos multimídia são ferramentas ótimas de apresentação, mas tem-se o risco de tornar os alunos, na sua maior parte, observadores passivos, ao invés de participantes ativos, por não apresentarem a capacidade de interatividade efetiva [9].

Por outro lado, programas Java applets permitem aos alunos uma interação mais de perto com o material de aprendizado, através das simulações, oferecendo um maior enfoque sobre o material utilizado pelos alunos. Permitindo ainda que os resultados de simulação sejam realimentados em tempo real. Neste contexto, Java applets acrescentam uma nova dimensão para sistemas de ensino multimídias baseados em HTML. Possuindo grandes características como ferramentas demonstrativas e explanatórias .



3.5 - Java Applets como Softwares Educacionais

As Java applets, que por natureza funcionam sobre uma interface gráfica utilizada para efetuar as entradas do usuário, e para apresentação visual dos resultados de simulação, representam uma ferramenta excelente para ensino/aprendizado de conceitos abstratos e princípios da ciência. Processos dinâmicos de simulação e resultados podem ser visualmente apresentados para o aluno em tempo real. Estas mudanças dinâmicas de visualização dos resultados com as simulações em applets conservam a atenção dos alunos e propicia a fixação do tópico estudado.

É provável que um número suficiente de programas Java applets envolverão, com o passar do tempo, cada área de estudo como uma biblioteca de objetos de software reutilizáveis. Assim, cópias destas bibliotecas podem ser distribuídas em um Cd-Rom através de editoras para professores, e a utilização destas Java applets por professores se tornará tão fácil quanto à utilização de figuras usuais, proporcionando maiores facilidades na construção de novos softwares educacionais. Existem organizações como a EOE (Educational Object Economy; <http://www.eoe.org>) que promovem a utilização de objetos Java na educação. A EOE é uma comunidade de professores, trabalhando em conjunto para criação, utilização e colaboração em objetos Java educacionais. Atualmente (2001) existem mais de 2400 java applets educacionais dentro da biblioteca virtual, cobrindo virtualmente quase todos as áreas de estudo. Estas simulações interativas, ilustrações e exercícios estão disponíveis a qualquer um através da web sem qualquer custo envolvido.

Geralmente, um componente de software educacional cobre apenas algumas poucas páginas do material de um livro texto. O desenvolvimento de uma coleção de Java applets concentrada sobre um assunto que possa ser equivalente a um livro texto completo, é o projeto de alguns pesquisadores. Um mesmo programa Java applet pode ser utilizado em diferentes livros baseados em applet, em diferentes níveis e em diferentes disciplinas .

3.5.1 -Benefícios do Emprego de Java

Java permite a criação de pequenas aplicações ("applets"), que podem ser inseridas facilmente em páginas da WWW, melhorando estas com capacidades ativas. Várias



características de Java são altamente valiosas para o desenvolvimento de sistemas de ensino baseado em sistemas distribuídos voltados para a World Wide Web, quais sejam:

- (a) *Suporte à Rede Nativa*: Java foi escrita explicitamente para desenvolvimento de rede;
- (b) *Facilidades de programação*: Um das metas primárias em projeto Java é aliviar os programadores de tarefas de baixo nível;
- (c) *Portabilidade e Desempenho*: Programas Java são compilados em um código de máquina virtual (bytecode) que é interpretado. Deste modo programas em Java possuem arquitetura neutra e possuem portabilidade;
- (d) *Flexibilidade e Poder*: Programas Java são naturalmente dinâmicos e podem ser estendidos facilmente com módulos externos;
- (e) *Robustez*: A robustez intrínseca de Java permite a criação de programas que são seguros em uma variedade de modos.

Todas estas características são valiosas, para uma extensa gama de aplicações, oferecendo importantes benefícios para o desenvolvimento de materiais educacionais, para pesquisadores e usuários de sistemas educacionais [20].

3.5.1.1 - Benefícios para pesquisadores de software didático

A habilidade típica dos pesquisadores de software didático é ensinar, não programar: é essencial para eles se concentrarem nas informações e na apresentação do modelo, evitando o desperdício de tempo em atividades de programação de baixo nível. A flexibilidade da programação Java satisfaz estas necessidades e o seu alto desempenho permite a produção de softwares didáticos complexos.

3.5.1.2 - Benefícios para usuários de software didático.

Enquanto robustez é intrinsecamente uma vantagem para qualquer tipo de programas é até muito mais importante para software didático (educacional): uma aplicação que falha esporadicamente pode induzir conceitos errados aos estudantes, enquanto expõe suas metas pedagógicas. Também vale a pena ressaltar que o tamanho pequeno dos programas executáveis



Java reduz o tempo de carregamento, um benefício valioso para os usuários de softwares didáticos conectados por um modem.

3.5.2 – Applets: Organização, Projeto e Implementação

A separação dos conceitos chaves em variáveis de controle independentes para as applets, permite aos estudantes a realização de modificações nestas variáveis e a visualização do novo comportamento, ajudando os estudantes a melhor entender e aprender o conteúdo em questão.

Sendo uma ferramenta visual destinada ao aprendizado, o layout (organização) da interface para o usuário é muito importante. Um projeto do layout da interface gráfica do usuário (GUI) mal elaborado pode conduzir ao desenvolvimento de uma applet não muito útil, depois de se gastar muitos esforços no seu desenvolvimento. A interface GUI da applet pode ser desenvolvida separadamente das outras partes da applet, aproveitando a vantagem da tecnologia orientada a objetos presente em Java. As interfaces GUI podem ser desenvolvidas utilizando-se ferramentas de desenvolvimento visual como Microsoft's Visual J++®, SUN's Java Workshop®, Inprise Jbuilder®, etc. Estas ferramentas proporcionam o desenvolvimento de um protótipo do layout da interface ao usuário rapidamente. Entretanto, programadores experientes podem desenvolver todo o layout da interface facilmente utilizando as capacidades da linguagem em si. Novamente, uma metodologia de projeto disciplinada utilizando o modelo orientado a objeto é benéfica para a manutenção futura dos programas desenvolvidos e melhora a produtividade de programação.

O desenvolvimento de classes Java reutilizáveis pode conduzir para a formação de uma biblioteca de classes Java para todas as áreas de conhecimento, onde, os fenômenos envolvidos são de difícil visualização nos moldes tradicionais. Facilitando muito a reutilização do software e melhorando a produtividade de programação no desenvolvimento de outros sistemas educacionais.

3.5.3 - Reaproveitamento de Applets Educacionais

Objetos software reutilizáveis, na forma de programas Java applets, proporcionam uma plataforma aberta, distribuída e expansível para um sistema de ensino. Os programas applets, escritos na linguagem orientada a objeto Java, possuem excelentes características para softwares de objetos reutilizáveis educacionais. As Java applets podem ser facilmente incluídas num documento HTML em conjunto com outros elementos multimídias como imagens, vídeos e sons,



permitindo uma fácil configuração de materiais multimídias dinâmicos de ensino. Isto é devido ao fato que os programas applets são executados e inseridos em uma pagina da web .

3.6 –Experiências e Resultados Relatados na Bibliografia

Em [9], são apresentados os resultados obtidos com um sistema de ensino distribuído desenvolvido com a utilização de java applets aplicadas ao ensino dos princípios físicos de estruturas semicondutoras, e dos princípios envolvidos em circuitos simples com um amplificador de um estágio e de portas digitais. O propósito principal das applets desenvolvidas foi o de proporcionar uma visualização dinâmica de conceitos físicos para materiais semicondutores e ilustrar visualmente vários princípios das estruturas. Ocorrendo uma “realização visual da teoria” através das applets.

Esta experiência relatou uma melhoria na motivação do aprendizado da disciplina, bem como uma melhor compreensão dos conceitos principais envolvidos no curso.

A tabela 3.1, ilustra o desempenho obtido em um semestre da disciplina pelos alunos, envolvendo dois grupos distintos, onde um dos grupos utilizou o material interativo proporcionado pelas applets e o outro não [10].

Tabela 3.1 – Desempenho dos Alunos.

Categoria	Número de Estudantes	Médias Finais (0-100)	Desvio Médio
Grupo Applet	14	85.3	11.7
Resto da Classe	54	73.4	16.7
Classe Inteira	68	75.9	16.9

3.7 - Conclusões

Foram apresentadas metodologias inovadoras para o desenvolvimento de software didático e suas principais características, dirigidas principalmente à informática no domínio educacional.

Conclui-se a partir das experiências obtidas através dos tempos pelos pesquisadores que o desenvolvimento de softwares educacionais, empregando as novas tendências de treinamento baseado em computadores, envolvendo simulações, conseguem reter o interesse dos alunos por meio de um alto nível de interatividade.

Devido à natureza distribuída do software didático e a exigência para conectar documentos de WWW com aplicações complexas, a melhor solução para a implementação deste sistema é a utilização do modelo Java.

Uma importante vantagem da utilização de Java applets como componentes de software educacional é o seu fácil reaproveitamento. Educadores com experiência na confecção de páginas HTML podem, facilmente, incluir um programa na forma de applet dentro do seu material, e os alunos simplesmente necessitam visitar a página de ensino com um browser web popular para começar a aprender, utilizando estas applets. A facilidade de composição do sistema de ensino pelos professores e a simplicidade na utilização do sistema de ensino pelos estudantes, são fatores extremamente importantes que as Java applets proporcionam para aplicações educacionais.



Capítulo 4 – Desenvolvimento de Java Applets Aplicadas em Eletrônica de Potência

4.1 – Introdução

O ensino de circuitos de eletrônica de potência, como por exemplo retificadores e inversores, é usualmente efetuado através da utilização de uma metodologia baseada em livros texto, onde conceitos como o de comutação e operação das estruturas são descritos em termos de funções matemáticas fechadas [22-31]. Embora muitos destes métodos tenham se mostrados eficazes, muitos professores têm notado a utilidade do emprego de simulações computacionais e ferramentas gráficas orientadas a objeto, para ilustrar conceitos importantes das disciplinas ministradas. A utilização destas ferramentas permite aos estudantes uma maneira mais agradável de visualização dos conceitos abordados, principalmente no caso do ensino de eletrônica de potência onde a operação das estruturas pode ser analisada em função de formas de onda de tensões e correntes através dos elementos da topologia em estudo.

Circuitos de eletrônica de potência funcionam através da utilização de estruturas semicondutoras denominadas interruptores, que modificam as formas de onda de tensão e correntes, com o objetivo do controle de potência entre dois sistemas distintos. Os avanços ocorridos na capacidade de comutação destas estruturas semicondutoras, combinadas com o desejo de melhorar a eficiência e o desempenho de estruturas elétricas, estão tornando a área de eletrônica de potência uma das áreas em engenharia elétrica que vem sendo largamente estudada nas duas últimas décadas.

Enquanto existem muitos pacotes comerciais poderosos de desenvolvimento e simulação de circuitos em eletrônica de potência, que são capazes de realizar cálculos complexos rapidamente e com muita precisão, entretanto a princípio eles oferecem apenas um pequeno auxílio como ajudantes no aprendizado. Porém, os criadores destes pacotes assumem que o usuário possui um total conhecimento das estruturas e encontra-se totalmente capacitado para aplicar o pacote corretamente. Esta possibilidade está provavelmente correta para especialistas e usuários que utilizam o software com frequência, entretanto, o usuário iniciante não poderia realizar atividades sem consultar manuais e referências, e também sem ter ao menos algum conhecimento adquirido anteriormente sobre o assunto.



Dentre estes pacotes podemos ressaltar os mais difundidos no meio acadêmico, o Spice®, Orcad Pspice®, Saber®, Circuit Maker® e Multisim®, e informar que a sua utilização também é de grande importância, mas em um estágio mais avançado, após o aluno já estar habituado com os comportamentos idealizados das estruturas, permitindo então, a realização de simulações envolvendo modelos que representem melhor os componentes reais.

A simulação de circuitos vem se tornando uma parte integral de vários cursos. Desta forma, a adoção de softwares de simulação de circuitos para cursos de eletrônica de potência tem sido naturalmente integrada ao contexto do curso tanto por estudantes quanto pelos professores, proporcionando uma melhoria no aprendizado de vários circuitos em eletrônica de potência. A utilização de simulações de circuitos de eletrônica de potência, utilizando componentes com características idealizadas, na investigação do comportamento básico destes circuitos, representa um importante benefício educacional, pois os resultados obtidos são aproximações de primeira ordem, usualmente idênticas ao desenvolvimento analítico realizado na discussão do tópico no livro texto.

4.2 - Motivação para a Simulação

A observação das formas de onda de tensões de correntes através dos componentes de um circuito pode proporcionar um entendimento dos conceitos que nem sempre são possíveis em aulas tradicionais, além de permitir alguns dos objetivos procurados na realização das experiências nos laboratórios, quais sejam : análise crítica e comparativa entre os resultados práticos e os teóricos idealizados (estudados).

Simulação pode ser utilizada no lugar de um experimento de laboratório, especialmente durante o início do estudo de eletrônica de potência pelo aluno, ou, o procedimento de simulação pode ser realizado como uma ferramenta de projeto na preparação das atividades de laboratório.

Em uma simulação computacional, todas as tensões e correntes do circuito podem ser investigadas, usualmente muito mais eficientemente que em um laboratório real de circuitos. Em uma atividade de laboratório, problemas podem surgir com os componentes, equipamentos e fios, e prejudicar o objetivo primário do entendimento da operação de um circuito, por outro lado, estruturas de elevada potência e equipamentos de instrumentação satisfatórios de medição e análise de espectro podem não estar disponíveis tornando o experimento impraticável, enquanto nas simulações estes problemas não existem.



4.2.1 - Modelagem dos Componentes

A escolha do modelo do circuito depende dos objetivos requeridos pela simulação, se o objetivo é prever o comportamento do circuito antes de ser construído, componentes podem ser modelados em detalhes nos softwares de simulação específicos. Entretanto, se o objetivo é estudar o circuito para melhorar o entendimento dos princípios de operação, os modelos de componentes podem ser mantidos o mais elementar possível. Em alguns casos, estruturas podem ser modeladas como componentes com características idealizadas [7].

Operações chaveadas são indispensáveis em circuitos de eletrônica de potência, onde, interruptores são implementados com diodos, tiristores, transistores de potência e outros dispositivos. Nos últimos anos, o dispositivo de comutação preferido para um circuito em particular tem mudado com os avanços na tecnologia de semicondutores.

O modelo de interruptor utilizado em simulações introdutórias pode ser conservado o mais simples possível. Embora, apresente um modelo não elaborado, e sem algumas características dos componentes, estes modelos de interruptores proporcionam uma maneira simples de simular operações básicas de comutação representando uma primeira aproximação do comportamento do circuito, com o propósito de analisar o desempenho global do circuito, sendo muito úteis para propósitos educacionais.

4.2.2 - Cálculos de Valores Médios e Eficazes

Os cálculos de valores médios e eficazes das variáveis de tensões e correntes são uma importante parte da eletrônica de potência, a realização do cálculo destes valores para circuitos não lineares tornam-se algumas vezes confusos e trabalhosos para os estudantes, em uma primeira impressão. Por exemplo, para calcular analiticamente o valor da potência média fornecida para a carga em alguns circuitos, pode ser necessário o desenvolvimento da expressão de corrente na carga, o cálculo do valor eficaz através da resolução trabalhosa da integração por métodos numéricos, ou a utilização de ábacos específicos de correntes normalizadas para cada estrutura, para finalmente se calcular as grandezas requeridas.

Portanto, a utilização de simulações nas aulas de eletrônica de potência, economizaria muito do tempo disponível que seria gasto nas técnicas analíticas e nos métodos numéricos para a determinação das variáveis ligadas ao simples cálculo da potência média na carga.



4.3 - Implementação dos Algoritmos Fundamentais

A lógica empregada no desenvolvimento dos aplicativos foi baseada nos procedimentos básicos dos alunos para ilustração do comportamento das estruturas através do traçado das formas de onda, ou seja, seguindo a linha de raciocínio dos alunos. Porém, utilizando-se de modelos, equações e métodos de cálculo numérico para a obtenção de resultados de mesma ordem dos apresentados nos livros textos.

4.3.1 - Categorias e Aplicativos Desenvolvidos

Basicamente foram desenvolvidas duas categorias de aplicativos. A primeira categoria referente à construção de ábacos, responsáveis pela resolução de problemas matemáticos para a determinação do ângulo de extinção da corrente em estruturas retificadoras (β), bem como dos valores de correntes médias e eficazes normalizadas para determinadas estruturas. A segunda categoria é formada pelos aplicativos de simulação. No total, foram desenvolvidos 12 aplicativos de simulação e 5 aplicativos de ábacos referentes às estruturas retificadoras controladas e não controladas monofásicas e trifásicas.

4.3.1.1 -Estruturas Retificadoras Não Controladas (a diodo)

Aplicativos de solução de Ábacos para retificador:

- Monofásico de Meia Onda -Determinação do Ângulo de extinção de Corrente β ;
- Monofásico de Meia Onda -Determinação das Correntes Normalizadas na Carga.

Aplicativos de Simulação para retificador:

- Monofásico de Meia Onda – Cargas R e RL;
- Monofásico de Meia Onda com diodo de Roda Livre – Carga RL;
- Monofásico de Onda Completa em Ponte – Cargas R e RL;
- Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio – Cargas R e RL;
- Trifásico com Ponto Médio – Cargas R e RL;
- Trifásico em Ponte – Cargas R e RL.

4.3.1.2 - Estruturas Retificadoras Controladas (a tiristor)

Aplicativos de solução de Ábacos para :

- Retificador Monofásico de Meia Onda -Determinação do Ângulo de Extinção de Corrente β ;
- Retificador Monofásico de Meia Onda -Determinação das Correntes Normalizadas na Carga;
- Ábaco de Puschlowski – Determinação do Ângulo de Extinção de Corrente β , para cargas do tipo RLE (Retificadores monofásicos e trifásicos).

Aplicativos de Simulação para retificador:

- Monofásico de Meia Onda – Cargas R e RL;
- Monofásico de Onda Completa em Ponte – Cargas R e RL;
- Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio – Cargas R e RL;
- Trifásico com Ponto Médio – Carga R;
- Trifásico em Ponte – Cargas R e RL.

4.3.2 - Escolha das Variáveis Principais

Empregando os princípios abordados em [32], uma escolha ideal das variáveis envolvidas no processo permite uma melhor exploração dos comportamentos apresentados pelas estruturas. Assim, disponibilizando estas ao usuário, de modo a permitir mudanças interativas, possibilita-se ao usuário a visualização dos diversos comportamentos da estrutura a partir das simulações. Portanto, um estudo dos processos matemáticos envolvidos foi realizado e as principais variáveis para serem disponibilizadas ao usuário foram determinadas, quais seguem:

- A escolha do tipo de carga – puramente resistiva (R) ou com características indutivas (RL);
- os parâmetros de carga – as intensidades da resistência (R) e da impedância (L);
- as configurações da fonte de tensão – a tensão eficaz (V_o) e a frequência da rede (f);
- configurações de disparo dos interruptores controlados – ângulo de disparo (α).

4.3.3 -Interface Gráfica do Usuário

A interligação entre o conteúdo teórico e o usuário é proporcionada pela interface gráfica. A construção de uma interface gráfica facilmente compreensível e que permita uma utilização amigável, facilita a interação do usuário com o aplicativo.

A implementação da interface gráfica do usuário, para os aplicativos de simulação, foi realizada através da composição de cinco áreas (I até V), sendo duas áreas ativas e duas passivas em relação ao usuário e uma informativa quanto à procedência do aplicativo. Enquanto os aplicativos da categoria dos ábacos são compostos apenas por elementos referentes às áreas de interface gráfica I e V. As cinco áreas de interface gráfica são apresentadas a seguir.

4.3.3.1 – Área de Interface Gráfica I

A primeira área é responsável pela entrada de dados oferecidos pelos usuários, e a escolha das demais opções disponíveis, entre elas o desencadeamento de uma nova simulação com os novos parâmetros. Três exemplos desenvolvidos para a área I são ilustrados na Figura 4.1 .

Componente: Carga - Load Carga: ☐ Resistiva(R) ☒ Indutiva(RL) V - Soma I - Soma
Períodos: 4 R(ohm): 10 L(mH): 10 f(Hertz): 60 Vo(V): 220 ☐ Grid

(a) Um dos exemplos utilizado nas simulações de retificadores não controlados.

Componente: Carga Carga: ☐ Resistiva(R) ☒ Indutiva(RL) Análise: do tipo de Operação e Condução ☒ Grid
Períodos: 1 Alfa [Graus]: 30 R(ohm): 10 L(mH): 10 f(Hertz): 60 Vo(V): 220

(b) Um dos exemplos utilizado nas simulações de retificadores controlados.

Cálculo efetuado ☒ Usando R,L e Freqüência ☐ Usando Ø(FI)
R(ohm) 100 L(mH) 0 f(Hz) 60 Ø[Graus] 90
E(t.e.m.)[V] 30 Vo[V] 200 Alfa[graus] 30
Estrutura com: 3 Pulsos β[Graus] 173.9114 Calcular β

(c) Um dos exemplos utilizado no ábaco de Puschlowski.

Figura 4.1 – Ilustrações referentes à área I da interface gráfica para o usuário.

O usuário pode escolher o tipo de carga, as intensidades dos componentes da carga R e L, bem como as intensidades das configurações da fonte senoidal de tensão de entrada, o valor eficaz e a sua frequência, o componente a ser analisado, o número de períodos, e, em alguns casos, as componentes desejadas da forma de onda de corrente e tensão na carga, para cargas do tipo RL. Os aplicativos de simulação para os retificadores controlados permitem ao usuário escolher o ângulo de disparo do interruptor (α).

4.3.3.2 – Área de Interface Gráfica II

A segunda área é responsável pela parte gráfica referente à amostragem das formas de onda de tensão e corrente do componente escolhido pelo usuário. Ilustrações desenvolvidas para a área II estão presentes na Figura 4.2. Nesta área, informa-se também a posição dos ângulos de extinção (β), do ângulo de disparo (α) e também o passo da grade de orientação quando ativa. Quando disponíveis ao usuário, nesta área pode-se incluir uma tabela simplificada, contendo uma análise das componentes harmônicas, envolvendo apenas seus valores de pico, ou, uma tabela mais completa envolvendo a análise de Fourier e a Taxa de Distorção Harmônica (T.D.H.) da corrente de entrada.

Cada eixo reservado para o traçado das formas de onda de tensão e corrente possui uma resolução disponível gráfica de 401 pixels reservados para o eixo horizontal, e 121 pixels para o eixo vertical.

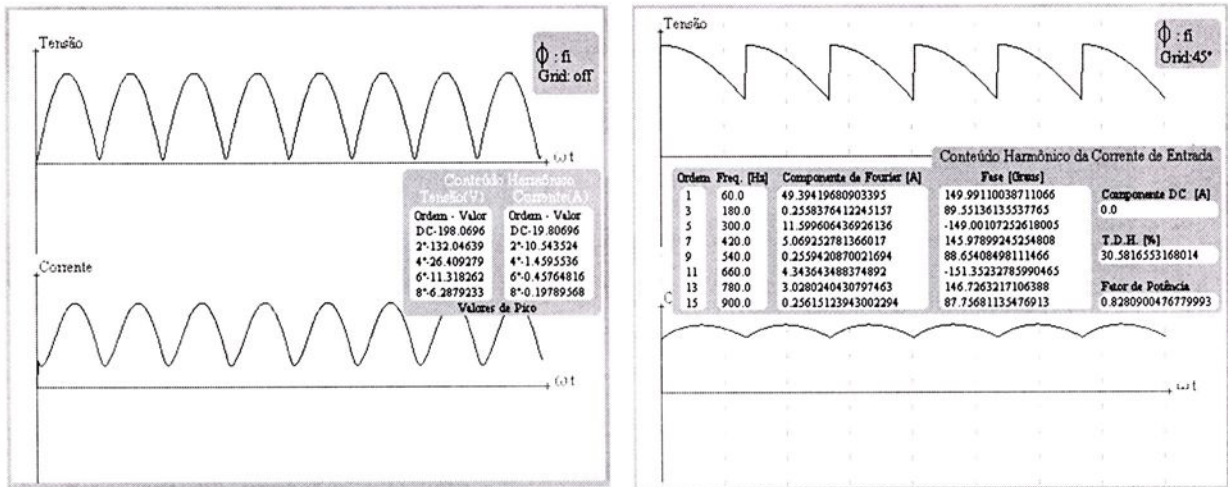


Figura 4.2 – Ilustração referente à área II da interface gráfica para o usuário.

4.3.3.3 – Área de Interface Gráfica III

A terceira área é responsável por conter uma figura ativa ilustrando o circuito esquemático da estrutura que está sendo analisada, bem como o tipo de carga acoplada, onde o usuário pode escolher o componente desejado clicando sobre o mesmo, a partir do mouse. Esta área é, portanto, uma área ativa, que pode desencadear uma nova simulação, a Figura 4.3 ilustra alguns exemplos desenvolvidos para esta área.

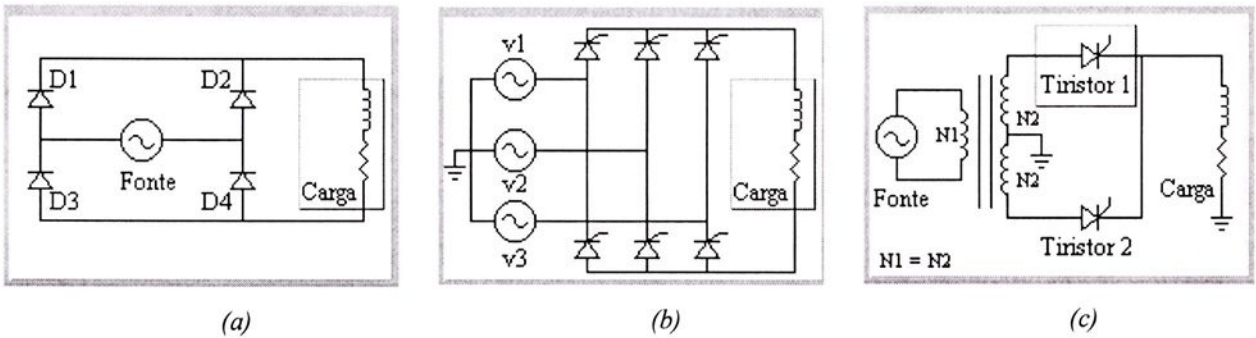


Figura 4.3 – Ilustrações referentes à área III da interface gráfica para o usuário.

4.3.3.4 – Área de Interface Gráfica IV

A quarta área é responsável por informar ao usuário os resultados matemáticos obtidos pela simulação em função dos parâmetros escolhidos. Estes resultados são separados em 4 tópicos, conforme Figura 4.4. Os referentes à fonte de tensão, à carga, aos diodos e tiristores (interruptores), e aos ângulos envolvidos na simulação da estrutura: de extinção (β), de extinção crítico (β_c), de carga (ϕ) e de disparo (α).

FONTE	
Tensão de Pico	311.12698 V
Tensão Eficaz	220.0 V
CARGA	
Tensão Média	198.0696 V
Corrente Média	19.80696 A
Corrente Eficaz	21.163614 A
DIODOS D1, D2, D3 e D4	
Corrente Média	9.90348 A
Corrente Eficaz	14.964935 A
Corrente de Pico	29.23885 A
Tensão de Pico	-311.12698 V
ÂNGULO	
Fi :	20.655998 Graus

(a) Padrão I

FONTES	
Tensão de Pico	311.12698 V
Corrente Eficaz	36.523724 A
CARGA	
Tensão Média	445.6566 V
Corrente Média	44.565502 A
Tensão Eficaz	453.0333 V
Corrente Eficaz	44.649334 A
TIRISTORES	
Corrente Média	14.855167 A
Corrente Eficaz	25.729904 A
Corrente de Pico	47.62301 A
Tensão de Pico	-538.8804 V
ÂNGULOS	
Fi	20.655998 Graus
Beta / Beta Crítico:	200.7/150.0 Graus

(b) Padrão II

Figura 4.4 – Ilustrações referentes à área IV da interface gráfica para o usuário.

4.3.3.5 – Área de Interface Gráfica V

A quinta área é responsável por informar a procedência do material que o usuário está utilizando, contendo informações tais como: local de desenvolvimento e os autores envolvidos, conforme Figura 4.5 .

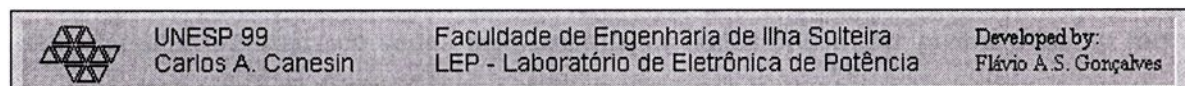


Figura 4.5 – Ilustração referente à área V da interface gráfica para o usuário.

4.3.3.6 – Interface Gráfica Completa

As áreas II, IV e V não possuem áreas ativas que possam ser modificadas em primeira instância pelo usuário, apenas refletem as modificações efetuadas pelo usuário nas áreas ativas I e III. Assim, acoplando-se as 5 áreas tem-se a interface gráfica apresentada ao usuário. Uma visão completa é ilustrada na Figura 4.6 .

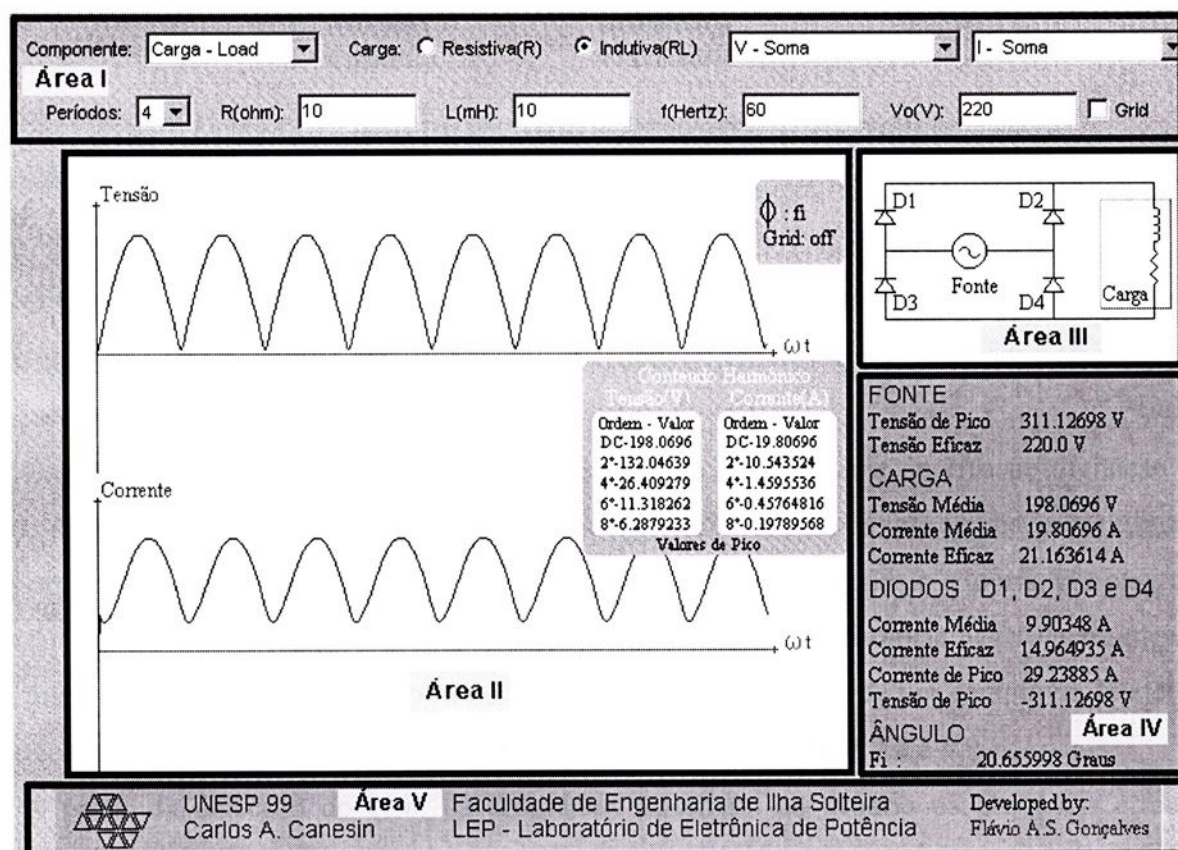


Figura 4.6 – Interface gráfica para o usuário, formada pela união das 5 áreas desenvolvidas, referente ao Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte Não Controlado.

4.3.4 - Entrada de Dados

Em Java, apenas as variáveis do tipo *double*, com entradas localizadas entre $-1,79769313486232e308$ e $1,79769313486232e308$, tem acesso a funções matemáticas do tipo especial, como seno, cosseno e exponencial. Assim, todas as variáveis de estado utilizadas no desenvolvimento dos modelos de simulação foram do tipo *double*.

Para facilitar a entrada de dados pelo usuário, os dados podem ser preenchidos no formato matemático padrão, utilizando-se o sinal de ponto como delimitador fracionário, ou, utilizando-se notação matemática científica, mantendo o mesmo delimitador fracionário e adicionando o símbolo *e*, conforme a Figura 4.7. Assim, por exemplo, mil (1000), pode ser representado por *1e3*. O parâmetro referente à intensidade da componente indutiva da carga, encontra-se previamente configurado com a unidade de milihenrys (mH), ou seja, caso o usuário entre com um parâmetro 50, por exemplo, o programa assumirá um valor de 50 milihenrys (50 mH).

R(ohm):	1e2	L(mH):	1.34	f(Hertz):	60
	Notação Científica		Delimitador Fracionário		Notação Padrão

Figura 4.7 – Exemplo de Entrada de dados utilizando-se os padrões permitidos.

4.3.5 - Informação de Erros

O funcionamento dos aplicativos desenvolvidos depende basicamente dos dados fornecidos pelo usuário. Desta forma, um estudo das exceções referentes a estas entradas teve que ser realizado.

Como todo o programa está sujeito à possibilidade da existência de erro de digitação por parte de seus usuários, os programas desenvolvidos possuem rotinas que impedem a utilização dos programas através de variáveis contendo valores inconsistentes quanto à teoria, por exemplo, caso um usuário tente executar uma simulação com um valor de resistência negativa, ou mesmo, um ângulo de disparo negativo ou maior que 180° , ou a existência de um campo em branco ou sujo (composto por letras e números), conforme exemplo das Figuras 4.8 e 4.9.

A partir da detecção do erro, os programas informam ao usuário os prováveis erros. A própria característica intrínseca da linguagem JAVA, permitiu a criação destas exceções, bem como a resolução de outros problemas frequentes na programação de entradas de dados pelo usuário, além de permitir ao usuário a utilização de notação científica, se desejar.

Cálculo efetuado ☐ Usando R,L e Frequência ☒ Usando ϕ (Fi)

R[ohm] 504 L[mH] 5e3 f[Hz] 60 ϕ [Graus] 200

E(f.e.m.)[V] Vo[V] 200 Alfa[graus] 30

Estrutura com : 3 Pulsos β [Graus] 173.9114

Não deve existir :
 - valores negativos ou nulos.
 - campos vazios!

Notações : 2e-3 = 0.002
 Clique no botão para validar.

Bom Estudo!!!

Prováveis Erros #
 # Existe algum Campo em Branco!!!!
 # O valor de ϕ está entre 0 e 90 graus

Figura 4.8 – Exemplo de atuação das rotinas de detecção de exceções implementadas, neste caso para o aplicativo referente ao ábaco de Puschlowski.

Componente: Carga Carga: ☐ Resistiva(R) ☒ Indutiva(RL) Análise: do tipo de Operação e Condução ☒ Grid

Períodos: 1 Alfa [Graus] R[ohm]: -200 L[mH]: 10 f(Hertz): 60aws Vo(V): 220

Tensão

Corrente

Campo Vazio

Valor Inconsistente

Campo Sujo

Informação ao Usuário

INSTRUÇÕES

- 1) Não podem ser NULOS os campos:
 - da Carga (R e L)
 - da Frequência (f)
 - da Tensão (Vo)
- 2) Não podem ser negativos:
 - os valores de R, L, f e Vo.
- 3) Deve estar entre 0 e 180 graus:
 - os valores de Alfa.
- 4) Não pode existir campos vazios!!!
- 5) Depois de entrar valores para a simulação tecla <Enter> para validar.
- 6) Clique no Componente para escolhê-lo

BOM ESTUDO!!

UNESP 99 Carlos A. Canesin Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira LEP - Laboratório de Eletrônica de Potência Developed by: Flávio A.S. Gonçalves

Figura 4.9 – Exemplo de atuação das rotinas de detecção de exceções implementadas, neste caso referente à simulação do Retificador Trifásico em Ponte Controlado.

4.3.6 – Ativação dos Métodos de Simulação

Adotando-se que os dados de entrada são coerentes e podem ser utilizados como parâmetros para as simulações, os processos de simulação são desencadeados através de qualquer evento válido acionado pelo usuário:

- Escolha de um componente na área I – através do menu combo box presente;
- Escolha de um componente na área III – clique do mouse no componente no desenho do circuito esquemático;
- Após uma entrada de dados novos, complementados pela tecla ENTER;
- Após uma entrada de dados nova, complementada pela escolha de um componente na área III;
- Após uma entrada de dados nova, complementada por outro evento da área I;
- Qualquer evento gerado pela modificação de parâmetros na área I (número de períodos, grid, componentes do circuito, componentes harmônicas).

4.3.7 - Algoritmos utilizados para o cálculo dos valores médios e eficazes

A obtenção destas grandezas foi realizada de três formas distintas:

4.3.7.1 - Através de ábacos

Ábacos desenvolvidos para a solução das correntes normalizadas foram usados para a determinação destas intensidades. Esta opção foi o primeiro método desenvolvido, utilizado nos aplicativos de simulação referentes aos retificadores monofásicos de meia onda não controlados e controlados, para valores médios e eficazes de corrente na carga.

4.3.7.2 - Através de resolução de uma função

Uma função deduzida analiticamente referente a uma determinada estrutura, é utilizada para este cálculo. Esta opção foi utilizada principalmente nos aplicativos de simulação referentes aos retificadores não controlados monofásicos de onda completa e trifásicos, abordando todos os componentes das estruturas. A sua utilização conduziu a bons resultados, entretanto, a dedução destas funções, para obtenção destas grandezas gerais, para todos os componentes de determinadas estruturas envolvendo cargas com características indutivas (RL), geralmente, não são usuais nos livros texto. Assim, os aplicativos devem conter intrinsecamente as fórmulas referentes a cada grandeza desejada tornando complexa a resolução destas variáveis e dos algoritmos de cálculo.



4.3.7.3 Através de integração discreta gráfica

Nesta técnica, realizam-se os cálculos dos valores médios e eficazes utilizando-se um algoritmo genérico de integração discreta, ponto a ponto, das variáveis de estado. Elimina-se assim, o compromisso do aplicativo em possuir internamente as fórmulas específicas para o cálculo de cada variável de corrente e tensão, podendo ser empregado em qualquer componente das estruturas retificadoras analisadas.

Esta opção, foi utilizada nos aplicativos referentes aos retificadores controlados monofásicos de onda completa e retificadores trifásicos controlados.

A utilização diferenciada dos métodos de cálculo destas grandezas ocorreu devido a natural evolução do trabalho, porém, todas as opções implementadas proporcionaram bons resultados, cujos algoritmos básicos são apresentados nos fluxogramas da Figura 4.10 .

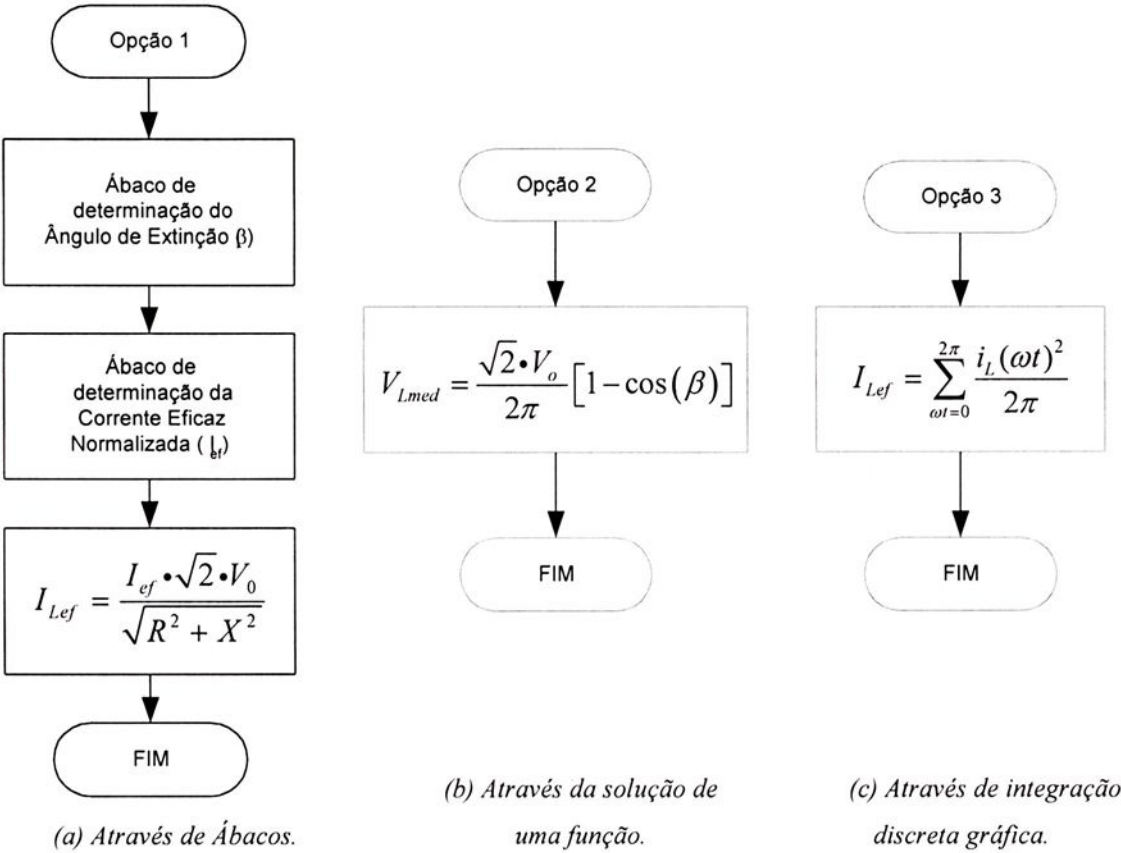


Figura 4.10 – Fluxogramas exemplos, simplificados, desenvolvidos para o cálculo de valores médios e eficazes de variáveis do circuito em análise.

4.4 - Retificador Monofásico de Meia Onda Não Controlado

Como a apresentação de todas as etapas desenvolvidas para todas as estruturas retificadoras tornaria o trabalho muito extenso, optou-se por apresentar, passo a passo, somente o desenvolvimento realizado para o retificador monofásico de meia onda a diodo.

As principais etapas envolvidas na implementação do aplicativo de simulação da topologia em questão são apresentadas nos sub-tópicos a seguir.

4.4.1 - Determinação do ângulo de extinção β .

A corrente de carga (carga R-L) é obtida através da solução da equação diferencial apresentada em (1).

$$\sqrt{2} \cdot V_0 \cdot \text{sen}(\omega t) = L \cdot \frac{di_L(\omega t)}{dt} + R \cdot i_L(\omega t) \quad (1)$$

A solução da equação diferencial (1) é apresentada em (2).

$$i(\omega t) = \frac{\sqrt{2} \cdot V_0}{(R^2 + X^2)^{1/2}} \cdot [\text{sen}(\omega t - \theta) - \text{sen}(-\theta) \cdot e^{-t/\tau}] \quad (2)$$

Onde:

V_0 = Valor eficaz da tensão de alimentação;

R e L = parâmetros da carga;

$$\begin{cases} \theta = \text{tg}^{-1} \frac{X}{R} \\ X = \omega \cdot L \\ \tau = \frac{L}{R} \\ \omega = 2\pi \cdot f \end{cases} \quad (3)$$

f = frequência da tensão de alimentação.

Considerando como condições de contorno; caso $i(\omega t) = 0$, então $\omega t = \beta$, daí temos que:

$$\text{sen}(\beta - \theta) + \text{sen}(\theta) \cdot e^{-\beta/\omega \cdot \tau} = 0 \quad (4)$$

Onde:

β = ângulo de extinção da corrente;

$$\omega \cdot \tau = \frac{\omega \cdot L}{R} = \text{tg } \theta$$

Assim,

$$\text{sen}(\beta - \theta) + \text{sen}(\theta) \cdot e^{-\beta/\text{tg}(\theta)} = 0 \quad (5)$$

Assim, a solução da equação (5) é necessária para a determinação do ângulo de extinção da corrente (β), da estrutura retificadora em questão, desenvolvida em função do ângulo de carga (ϕ).

A solução desta equação partiu do princípio de que: seja $F(x)$ uma função, onde para todo x que for raiz da função, a mesma se anula. Portanto, ao substituir-se o ângulo de carga na equação (5), e variando-se o valor do ângulo de extinção β na função até que o sinal da função varie, ou seja, o sinal da função mude de positivo para negativo, ou, vice versa, encontra-se a solução para β . Quando isto ocorre, significa que se passou pela raiz, então se toma o último par de valores de β , diminui-se o passo de cálculo entre eles, e, realiza-se a operação novamente, assim consegue-se um resultado do ângulo de condução β com uma boa precisão, para as finalidades do aplicativo.

4.4.2 - Determinação das Correntes Normalizadas

O aplicativo responsável pelo cálculo dos valores eficaz e médio das correntes normalizadas na carga, é desenvolvido em função das equações (6) e (7).

$$I_{md} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^\beta [\text{sen}(\omega t - \theta) + \text{sen}(\theta) \cdot e^{-t/\tau}] d(\omega t) \quad (6)$$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^\beta ([\text{sen}(\omega t - \theta) + \text{sen}(\theta) \cdot e^{-t/\tau}]^2 \cdot d(\omega t))} \quad (7)$$

Onde:

I_{md} = Corrente média normalizada na carga;

I_{ef} = Corrente eficaz normalizada na carga.

Considerando que os valores eficaz e médio das correntes na carga são dados em função dos valores normalizados em (6) e (7), tem-se:

$$I_{Lef} = \frac{I_{ef} \cdot \sqrt{2} \cdot V_0}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad (8)$$

$$I_{Lmd} = \frac{I_{md} \cdot \sqrt{2} \cdot V_0}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad (9)$$

Onde:

I_{Lmd} = Corrente média na carga;

I_{Lef} = Corrente eficaz na carga.

As soluções das equações (6) e (7), foram implementadas em um aplicativo do tipo ábaco utilizando-se a solução de β desenvolvida no ábaco anterior. A solução desta integral foi desenvolvida computacionalmente através de um método de integração numérica utilizando-se as Fórmulas de Newton-Cotes, especificamente foi utilizada a Fórmula do Trapézio generalizada, que é baseada na solução da equação (10).

$$I_T = \sum_{i=1}^n \frac{h}{2} (f(x_{i-1}) + f(x_i)) \quad (10)$$

O erro neste método é dado pela soma dos erros cometidos em cada subintervalo. Quanto menor for h , o passo da iteração, menor será o erro cometido pela aproximação de I_T . O h estipulado para nosso método nos gerou um erro igual a 10^{-4} , considerado bom para as finalidades do aplicativo.

A Figura 4.11 apresenta os aplicativos desenvolvidos para a solução do ângulo de extinção β , e para a solução das correntes normalizadas, sem a necessidade de traçado de formas de onda.

Cálculo efetuado ☒ Usando R,L e Frequência ☐ Usando $\phi(F)$

R[ohm] L[mH] f[Hz]

ϕ [Graus]

Angulo β em Graus

UNESP
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
LEP - Laboratório de Eletrônica de Potência
Retificador Monofásico a Diodo
Angulo de Condução x Angulo de Carga
Developed by Flávio A. S. Gonçalves

(a) Referente à Determinação do Ângulo β .

Cálculo efetuado ☒ Usando R,L e Frequência ☐ Usando $\phi(F)$

R[ohm] L[mH] f[Hz]

ϕ [Graus]

β (Beta) = 247.5 graus

Imd Ief

UNESP
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
DEE - Eletrônica de Potência
Retificador Monofásico a Diodo
Ief, Imd x $\phi(F)$ e β (Beta) x $\phi(F)$
Developed by Flávio A. S. Gonçalves

(b) Referente às Correntes Normalizadas

Figura 4.11 – Ábacos desenvolvidos para estrutura do Retificador Monofásico de Meia Onda Não Controlado.

4.4.3 – Algoritmo de Simulação da Topologia

A Figura 4.12 apresenta um fluxograma ilustrando a lógica básica utilizada no desenvolvimento do aplicativo de simulação referente ao retificador monofásico de meia onda não controlado.

O aplicativo é inicialmente submetido ao processo de validação de dados, passando pela etapa de coleta e verificação dos mesmos, o fluxograma simplificado de análise de entradas está presente na Figura 4.13. Assim sendo, a simulação é desencadeada pela existência de eventos nas áreas de interface gráfica para o usuário I e III.

O próximo passo, de acordo com a Figura 4.12, envolve a determinação do tipo de carga adotado, implicando na escolha do modelo a ser utilizado pelo programa para ilustrar o comportamento da estrutura.

O algoritmo desenvolvido para a carga indutiva possui o equacionamento mais sofisticado, pois em cada ciclo da entrada, ou seja, a cada período, existe a carga e descarga do componente indutor que deve ser calculada, pois através dela a forma de onda da corrente torna-se não senoidal, possuindo uma parcela transitória e se defasando em relação ao sinal de entrada, havendo a necessidade da resolução do ângulo de extinção β , onde a corrente se extingue, para o funcionamento dos algoritmos de comportamento dos componentes. Por outro lado, o equacionamento utilizado para carga puramente resistiva foi mais simples, pois, nele não há a necessidade da simulação da carga e descarga do indutor, muito menos de se descobrir o ângulo de extinção β , pois, como a carga é puramente resistiva, o ângulo de carga é 0° e o ângulo de extinção é 180° , portanto não atrasando a corrente, nem deformando a mesma, pois não existe a presença do indutor.

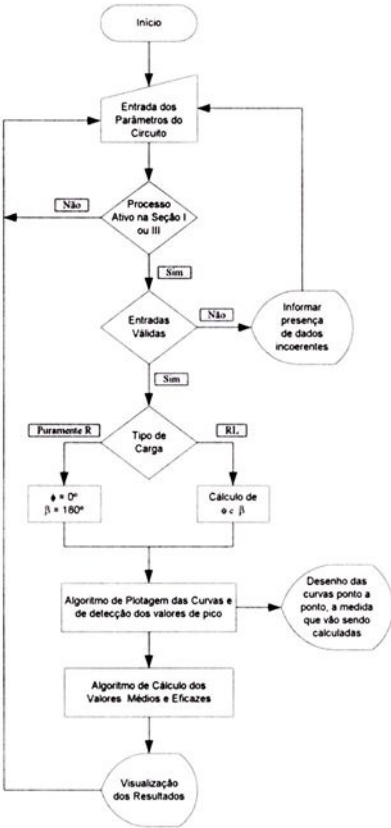


Figura 4.12 – Fluxograma de Funcionamento Básico Referente ao Retificador Monofásico de Meia Onda Não Controlado.

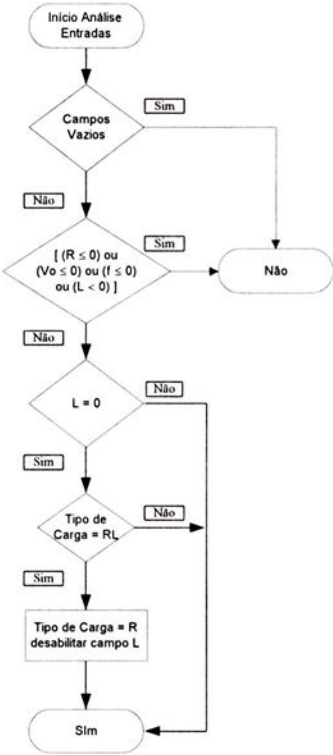


Figura 4.13 – Fluxograma do Algoritmo de Análise das Entradas Básicas.

O ponto fundamental utilizado nos aplicativos de simulação é a determinação da forma correta da corrente na carga. A partir desta variável instantânea, as formas de onda da corrente através dos demais componentes são obtidas, baseadas na modificação do sinal e na utilização parcial da mesma.

Um artifício de normalização das variáveis de estado instantâneas foi utilizado com o intuito de conseguir-se valores gráficos sempre localizados dentro da área destinada à amostragem das formas de onda, ou seja, os espaços delimitados para as formas de onda na área III. A normalização geral utilizada em cada caso é obtida através de simplificações matemáticas efetuadas nas equações de modelo matemático utilizado.

Os modelos matemáticos utilizam como unidade de sincronismo temporal a variável ωt , que representa um intervalo de tempo de um período da forma de onda da tensão senoidal fornecida pela fonte de alimentação com a frequência (f) adotada pelo usuário. Esta variável de controle está definida de 0 a 2π radianos.

Os comportamentos de tensão e corrente são descritos pontualmente, ao mesmo tempo em que são amostrados na interface gráfica. Nos aplicativos desenvolvidos para os retificadores controlados também são realizadas análises referentes ao cálculo de grandezas médias e eficazes da corrente e tensão pontualmente, bem como a análise das componentes de Fourier através da implementação do código referente à transformada discreta de Fourier.

4.4.3.1 – Componente: Carga do Tipo RL

A forma de onda de corrente possui a comportamento dado pela equação (2), normalizando a mesma obtém-se (11).

$$i_{Norm}(\omega t) = \left[\text{sen}(\omega t - \theta) - \text{sen}(-\theta) \cdot e^{-t/\tau} \right] \quad (11)$$

O código referente à simulação do comportamento da carga utiliza-se de três informações no processamento: o ângulo de extinção (β), o ângulo de carga (ϕ) e a variável de sincronismo de tempo (ωt).

De posse do valor do ângulo de extinção, obtido através de um ábaco intrínseco, resolvido para a configuração do ângulo de carga (ϕ), estipulada pelo usuário, o aplicativo descreve graficamente a evolução da corrente de acordo com a equação (11) durante o intervalo de ωt igual a zero radiano até ωt igual a β radianos ao mesmo tempo em que aplica a tensão fornecida pela fonte à carga. Enquanto para o intervalo fechado de ωt igual a $[\beta, 2\pi]$ as variáveis de

corrente e tensão na carga são nulas, para o exemplo deste retificador monofásico de meia onda em análise.

4.4.3.2 – Componente: Fonte de Tensão V_1

Por definição, as fontes de tensão de alimentação utilizadas possuem uma característica puramente senoidal, existindo apenas a componente fundamental determinada pela frequência estipulada pelo usuário. Assim, o valor instantâneo da tensão fornecida pela fonte e a normalização deste são apresentados nas equações (12) e (13).

$$V_1(t) = \sqrt{2} \cdot V_0 \cdot \text{sen}(\omega t) \quad (12)$$

$$V_{1\text{Norm}}(\omega t) = \text{sen}(\omega t) \quad (13)$$

Devido ao fato do circuito ser do tipo série, neste exemplo, o comportamento discreto da corrente para a carga pode ser aplicado também para a fonte.

A simulação do comportamento da fonte de tensão com característica puramente senoidal é implementada aplicando-se a equação (13) para representar a forma de onda de tensão e utilizar o comportamento da corrente de carga como comportamento da corrente fornecida pela fonte.

4.4.3.3 – Componente: Diodo D_1

A lógica empregada na simulação do comportamento do componente diodo neste caso estudado é análoga à empregada para a carga, exceto com relação à tensão aplicada sobre o componente.

Enquanto ωt é maior β radianos, ou seja, durante o intervalo fechado de ωt igual a $[\beta, 2\pi]$ a tensão aplicada sobre o componente é a fornecida pela fonte de tensão. Desta forma, durante o intervalo fechado de ωt $[0, \beta]$ a variável de tensão no componente é nula.

A Figura 4.14 apresenta o fluxograma básico para simulação de determinação do valor pontual das formas de onda de tensão e corrente para os componentes da estrutura do retificador monofásico de meia onda não controlado, tomado como exemplo para as descrições dos algoritmos aqui descritos neste item.

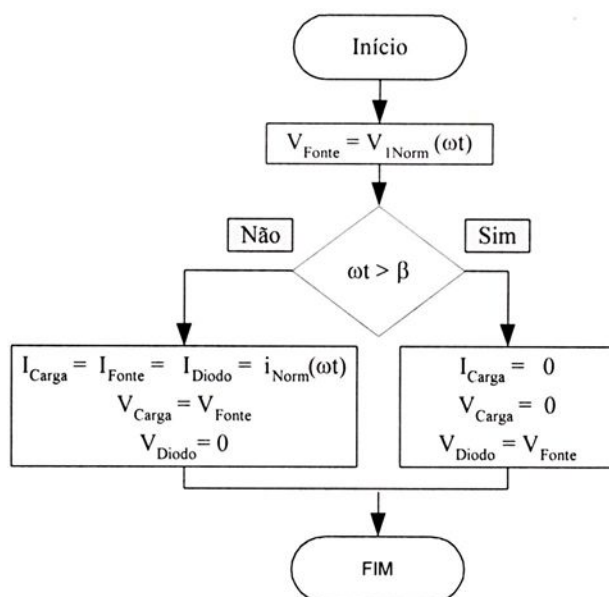


Figura 4.14 – Algoritmo lógico referente ao comportamento das formas de onda dos componentes.

4.5 - Conclusões

A modelagem do comportamento de estruturas que envolvem variáveis não lineares através de códigos de programação é uma tarefa complexa, onde várias etapas devem ser executadas sequencialmente para a obtenção dos resultados finais. Entretanto, a utilização de modelos idealizados para os interruptores controlados e não controlados, facilitou a implementação da emulação dos comportamentos dos componentes presentes nas topologias retificadoras abordadas, conseqüentemente, facilitando a resolução dos problemas matemáticos envolvidos.

Foi concebida uma interface gráfica para os aplicativos formada por um conjunto de áreas responsáveis pela difusão do conteúdo teórico abordado de uma maneira amigável e interativa. Os aplicativos foram implementados utilizando a linguagem Java, permitindo assim a utilização em ambientes distribuídos ideais para softwares de caráter educacionais.

Informa-se que com a evolução dos trabalhos os algoritmos de cálculos se tornaram mais genéricos, quanto aos valores médios, eficazes e de pico de tensões e correntes, deixando de estarem associados a funções matemáticas específicas. Apesar da utilização de diferentes algoritmos de cálculos de valores médios e eficazes das variáveis de tensão e corrente, tanto os específicos quanto os genéricos, apresentaram-se válidos, conforme se verificará nas análises comparativas apresentadas no capítulo 5 a seguir.

Capítulo 5 – Validação dos Resultados

5.1 – Introdução

Um dos softwares de simulação de circuitos elétricos muito utilizado e consolidado no meio acadêmico e profissional é o Pspice A/D®, que atualmente faz parte do pacote denominado Orcad Suíte®, da empresa Orcad Inc.

Neste capítulo será utilizado o Pspice versão 9.1, em conjunto com modelos de componentes idealizados, possibilitando uma comparação com os resultados obtidos através dos programas de simulação desenvolvidos.

Desta forma, nos próximos tópicos serão apresentadas as confrontações dos resultados obtidos em todos os aplicativos desenvolvidos neste trabalho para determinadas configurações de carga, com aqueles obtidos, nas mesmas situações, utilizando-se o software profissional Pspice, os quais serão tomados como referência. As comparações entre os resultados têm como objetivo a validação dos mesmos, e não a competição entre os mesmos, uma vez que se adota o Pspice como padrão.

5.2 – Retificadores Não Controlados

5.2.1 – Retificador Monofásico de Meia Onda

As duas configurações de carga utilizadas nos procedimentos de simulação para avaliação dos resultados obtidos, constam na Tabela 5.1 .

Tabela 5.1 – Configurações dos parâmetros de simulação.

Configuração	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	Vo [V]
1	50	-	60	220
2	10	50	60	220

5.2.1.1 – Simulação Applets

As Figuras de 5.1 até 5.3 ilustram os resultados de simulação obtidos empregando-se a configuração 1 de carga no aplicativo de simulação desenvolvida para a topologia em referência, enquanto as Figuras de 5.4 até 5.6 são referentes à configuração 2.



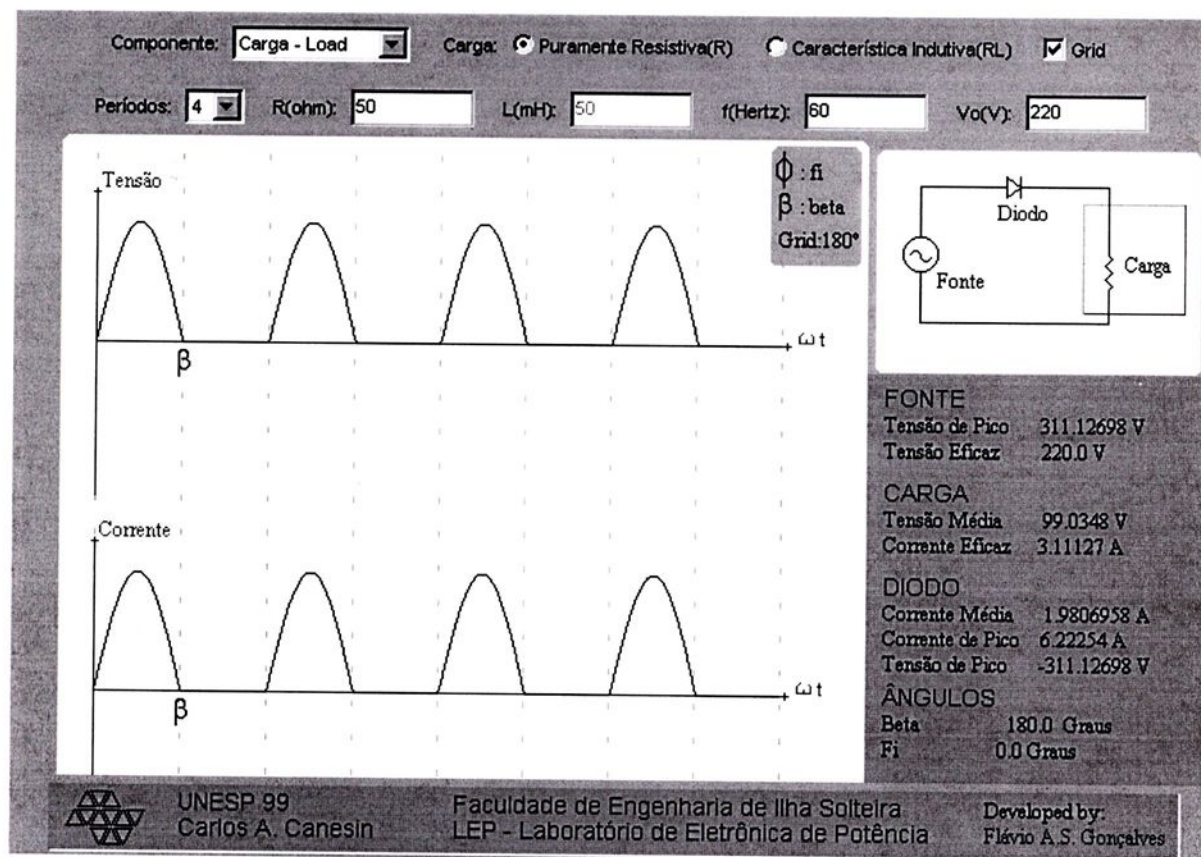


Figura 5.1 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

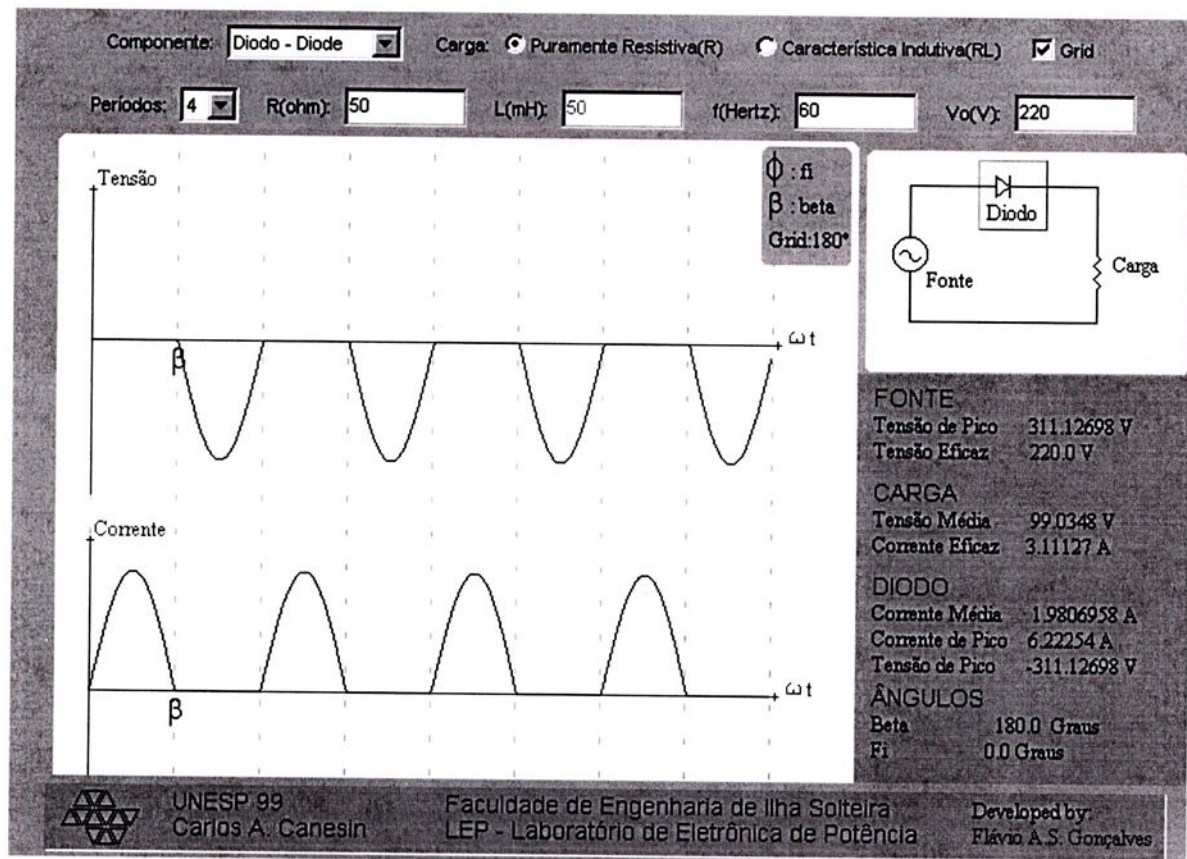


Figura 5.2 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo para configuração 1.

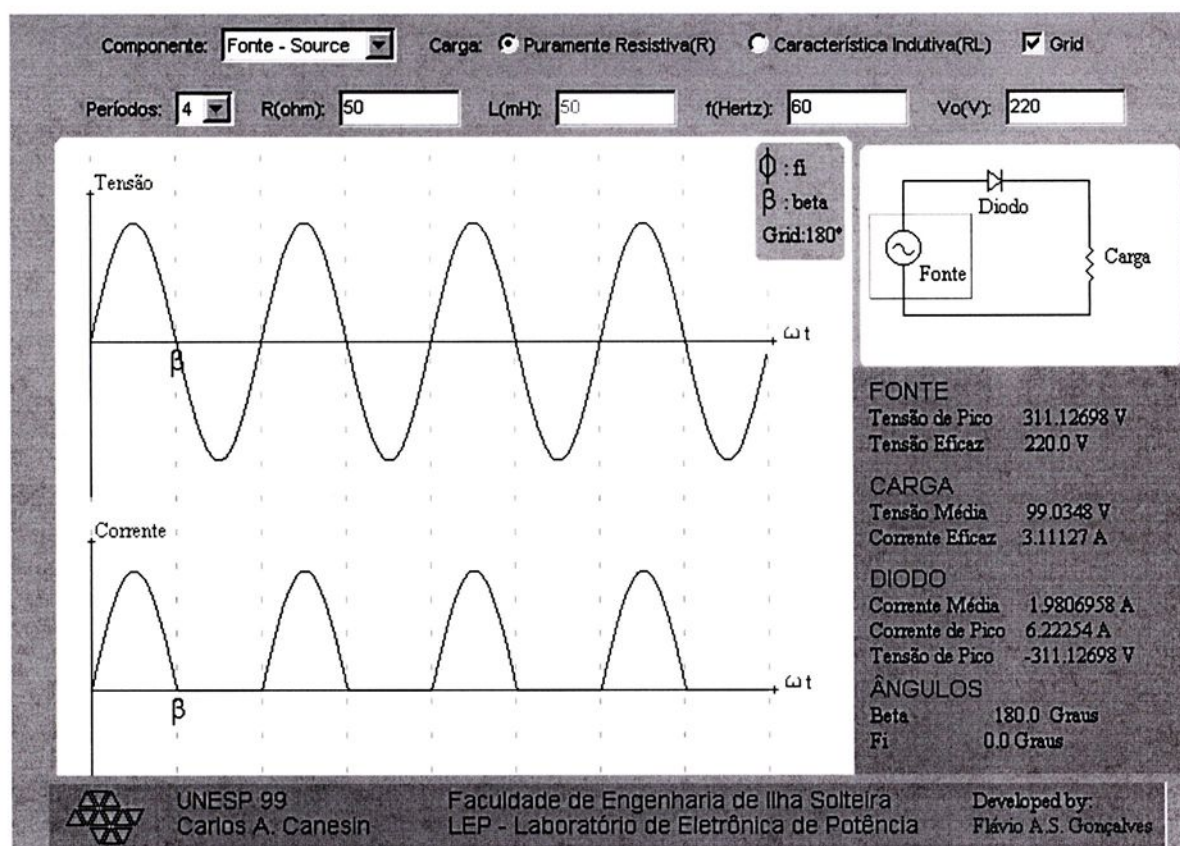


Figura 5.3 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para configuração 1.

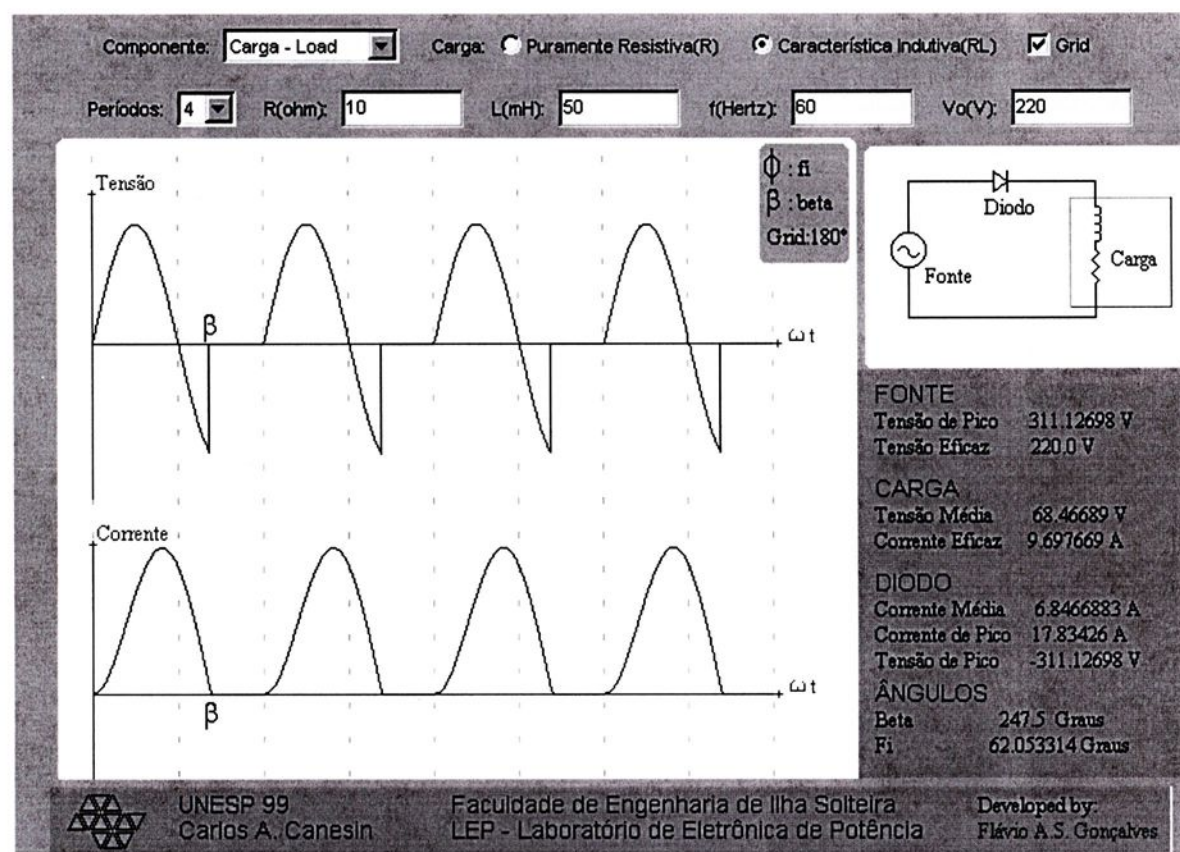


Figura 5.4 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2.

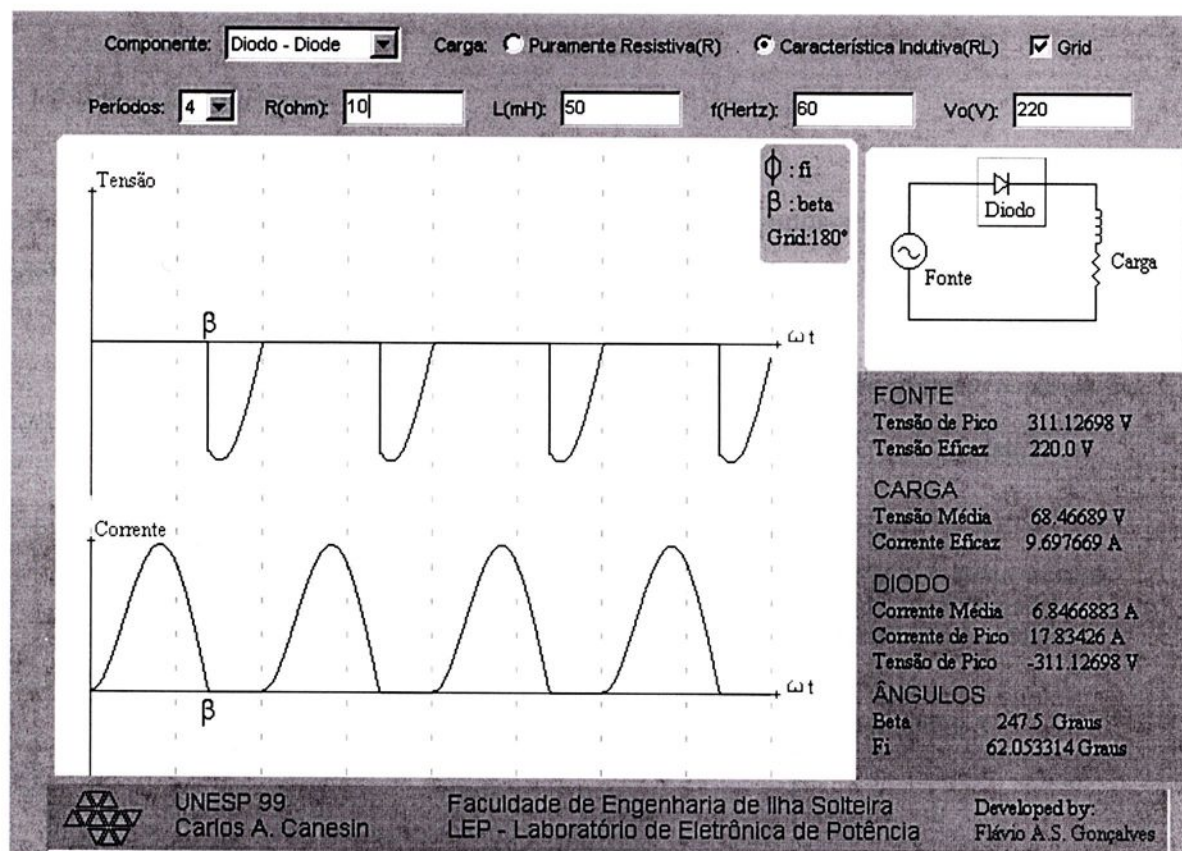


Figura 5.5 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo para configuração 2.

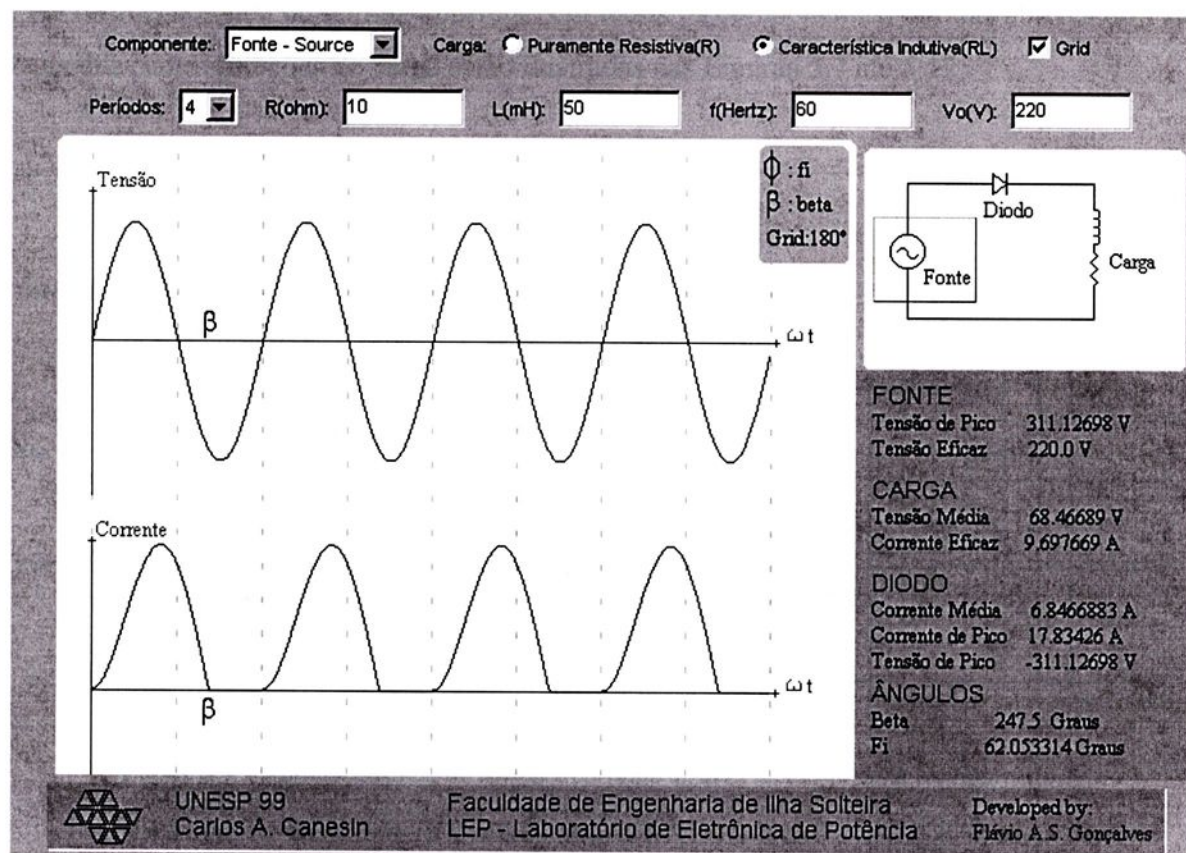
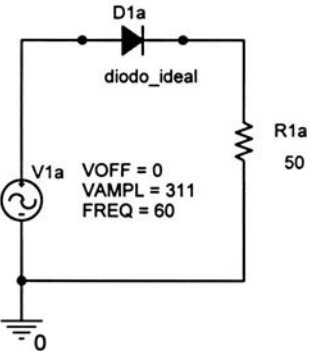
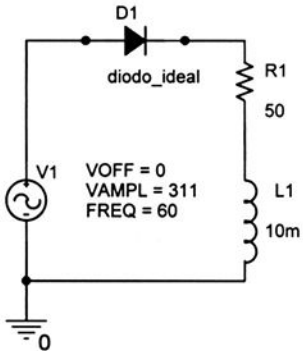


Figura 5.6 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para configuração 2.

5.2.1.2 – Simulação Pspice

A Tabela 5.2 apresenta os circuitos esquemáticos utilizados na simulação, assim como o modelo adotado para o interruptor não controlado (diodo).

Tabela 5.2 – Circuitos esquemáticos e modelo do interruptor não controlado utilizados na simulação.

Circuitos Esquemáticos		Modelo Ideal
 (a) Configuração 1	 (b) Configuração 2	<pre>*DEVICE = diodo_ideal,D * diodo_ideal D model .MODEL diodo_ideal D +IS=1e-14 +RS=1.0000E-3</pre>

As formas de onda de tensão e corrente em todos os componentes, obtidas através do Pspice para as duas configurações de carga estão ilustradas nas Figuras 5.7 até 5.12 .

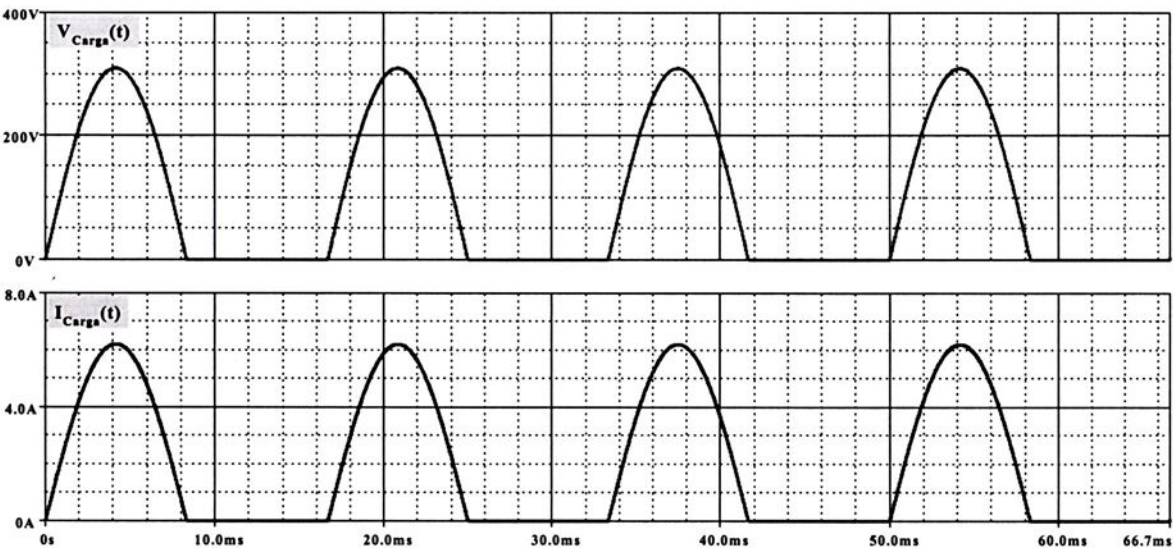


Figura 5.7 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

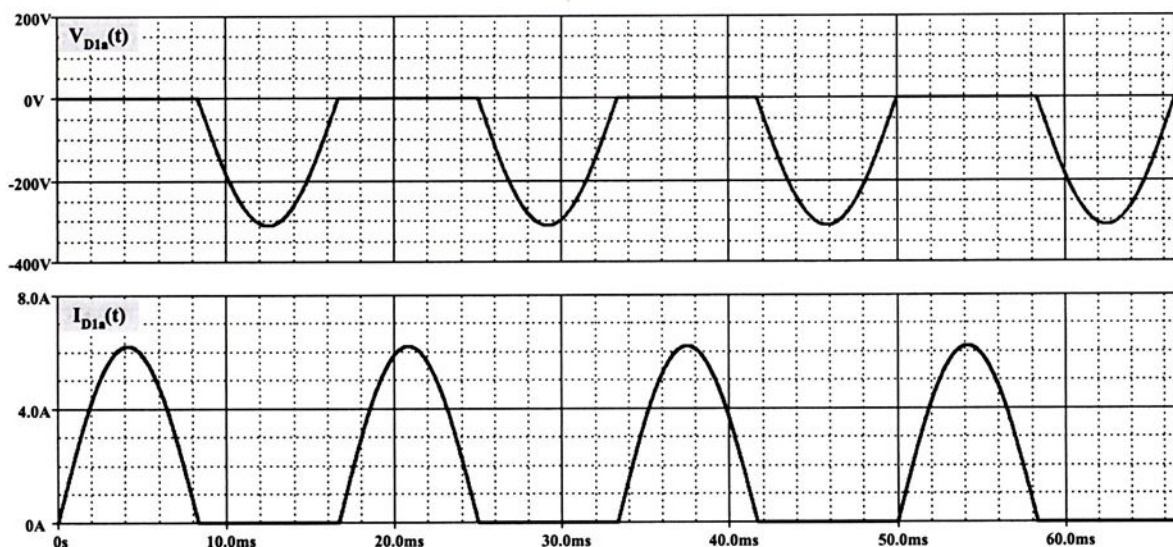


Figura 5.8 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_{1a} para configuração 1.

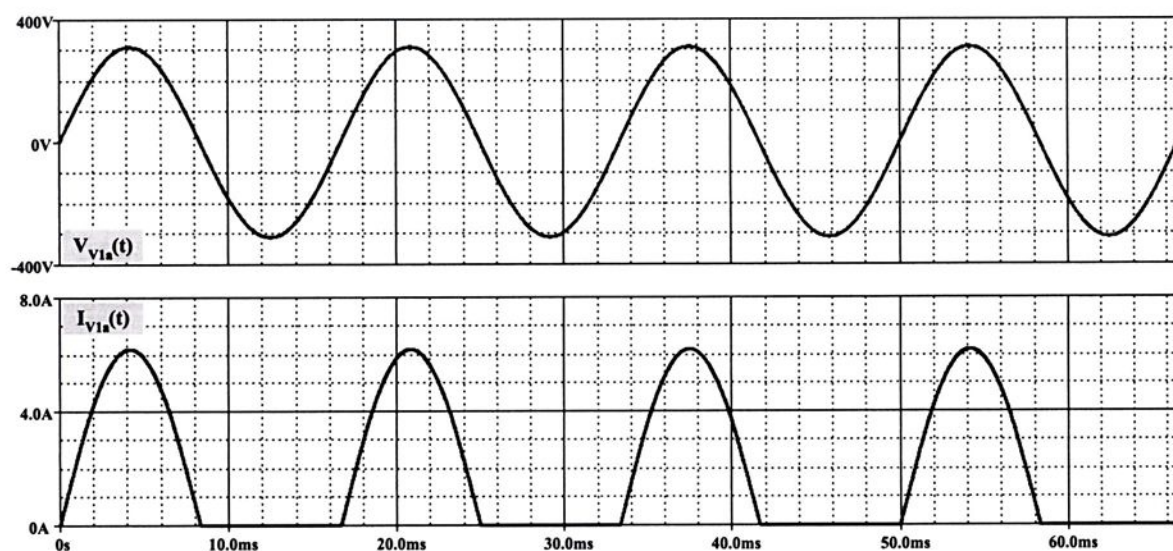


Figura 5.9 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_{1a} para configuração 1.

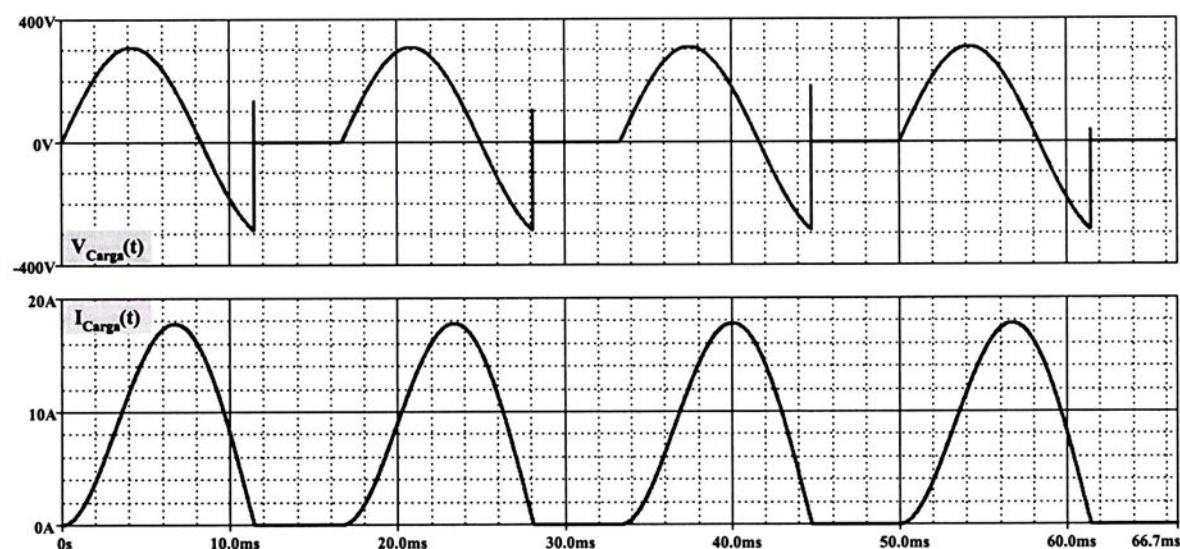


Figura 5.10 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2.

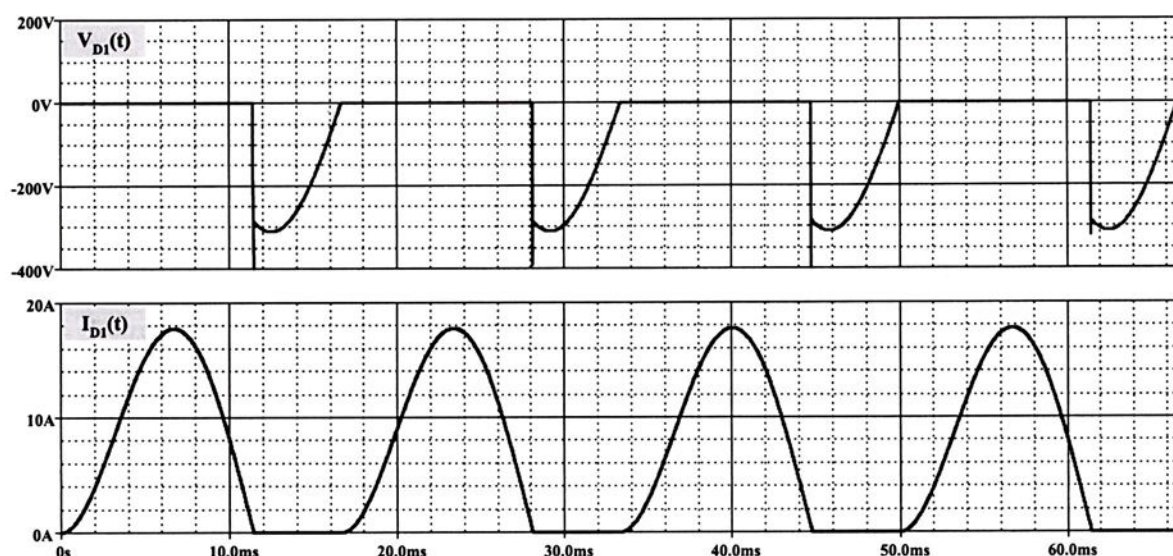


Figura 5.11 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 2.

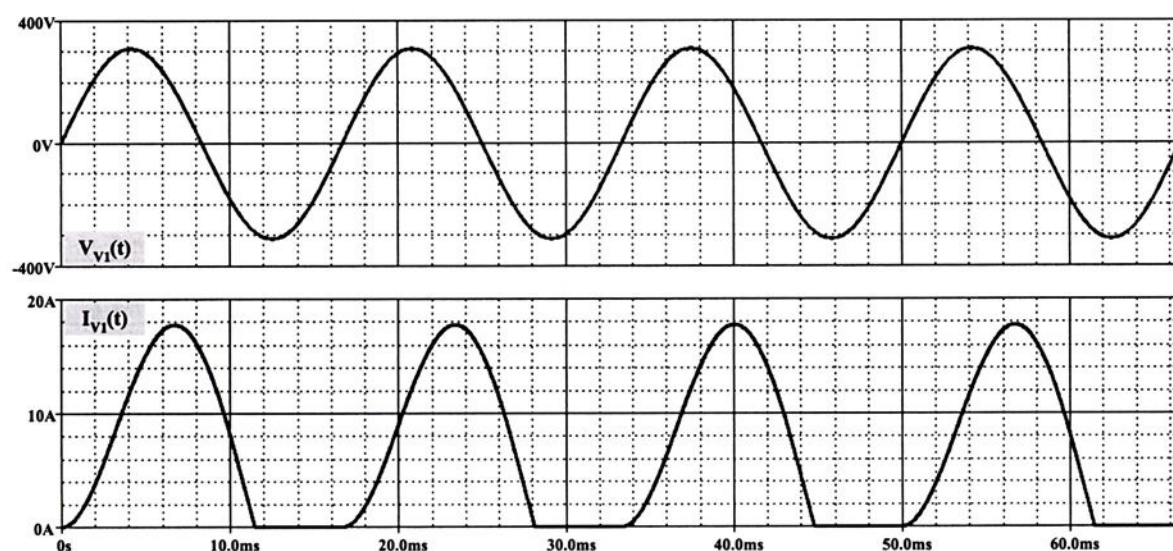


Figura 5.12 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para configuração 2.

5.2.1.3 – Análise dos Resultados

Os resultados das intensidades dos valores médios, eficazes e de pico das formas de onda de corrente e tensão em determinados componentes da topologia em questão, bem como, o ângulo de extinção da corrente (β), referentes à utilização da configuração 1 de carga estão presentes na Tabela 5.3. Na Tabela 5.4 apresentam-se os valores resultantes para a configuração de carga 2.

Tabela 5.3 – Resultados Obtidos para Configuração 1

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Fonte V_1			
Tensão de Pico	311,12698 V	311,00 V	0,0408
Tensão Eficaz	220,000 V	219,9105 V	0,0406
Carga			
Tensão Média	99,0348 V	99,142 V	0,108
Corrente Média	1,9806958 A	1,9818 A	0,132
Corrente Eficaz	3,11127 A	3,10715 A	0,055
Diodo			
Corrente de Pico	6,22254 A	6,2023 A	0,326
Tensão de Pico	-311,12698 V	-311,00	0,0408
Ângulos			
Extinção (β)	180°	180°	0

Tabela 5.4 – Resultados Obtidos para Configuração 2

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Fonte V_1			
Tensão de Pico	311,12698 V	311,00 V	0,04
Tensão Eficaz	220,000 V	219,9095 V	0,04
Carga			
Tensão Média	68,46689 V	69,036 V	0,82
Corrente Média	6,8466883 A	6,85145 A	0,07
Corrente Eficaz	9,697669 A	9,6615 A	0,37
Diodo			
Corrente de Pico	17,83426 A	17,761 A	0,41
Tensão de Pico	-311,12698 V	-311,00 V	0,04
Ângulos			
Extinção (β)	247,5°	247,1328°	0,14

Portanto, todos os resultados apresentados encontram-se validados através da utilização do Pspice como referência. Observa-se que todos os parâmetros e modelos dos elementos do circuito em análise foram considerados ideais quando da obtenção das equações dinâmicas. Desta forma, considerando-se um modelo idealizado para o diodo nas simulações com Pspice, todos os resultados obtidos encontram-se dentro de uma margem de erro muito boa, validando-se a applet apresentada.

5.2.2 – Retificador Monofásico de Meia Onda com Diodo de Roda Livre

A Tabela 5.5 apresenta a configuração de parâmetros empregados nos procedimentos de simulação para avaliação dos resultados obtidos.

Tabela 5.5 – Configuração dos parâmetros de simulação.

Configuração	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	Vo [V]
1	10	50	60	220

5.2.2.1 – Simulação Applets

Os resultados de simulação obtidos empregando-se a configuração 1 no aplicativo de simulação desenvolvido para esta topologia em referência, estão apresentados nas Figuras 5.13 até 5.16.

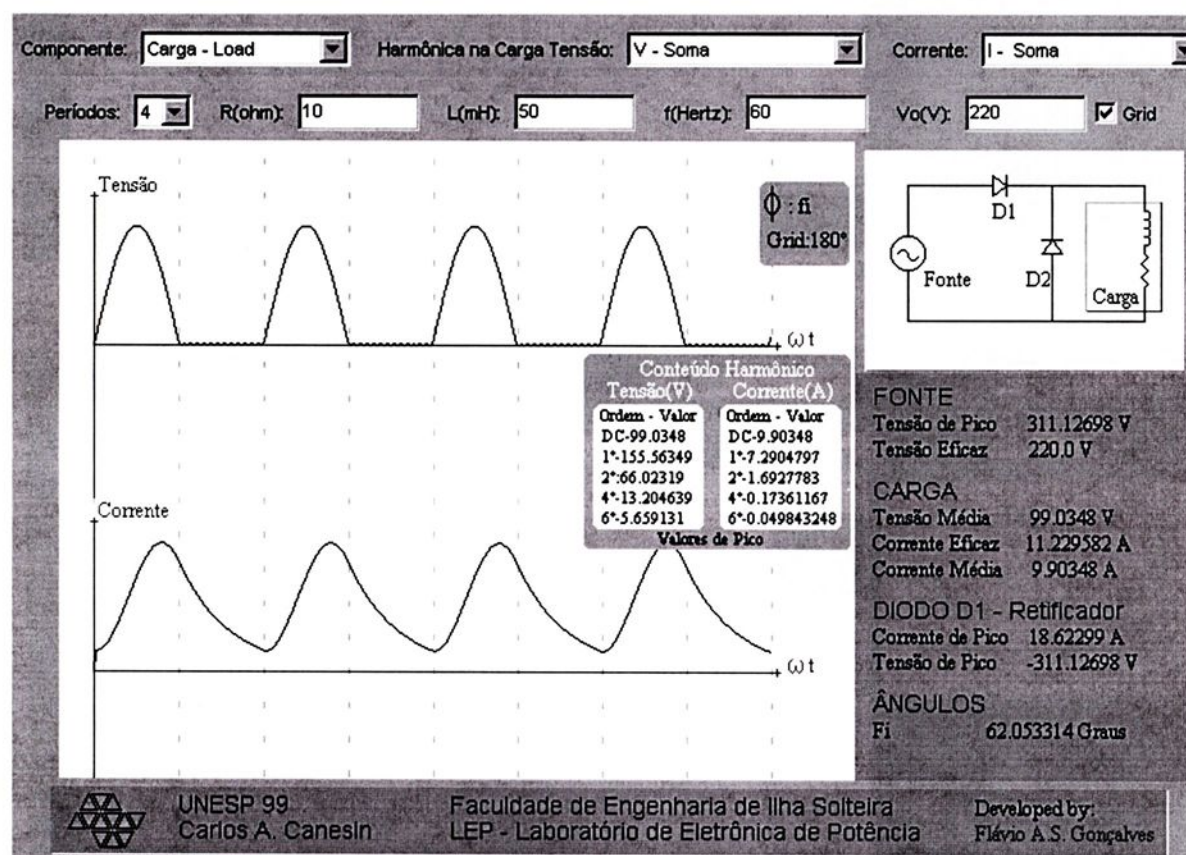


Figura 5.13 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

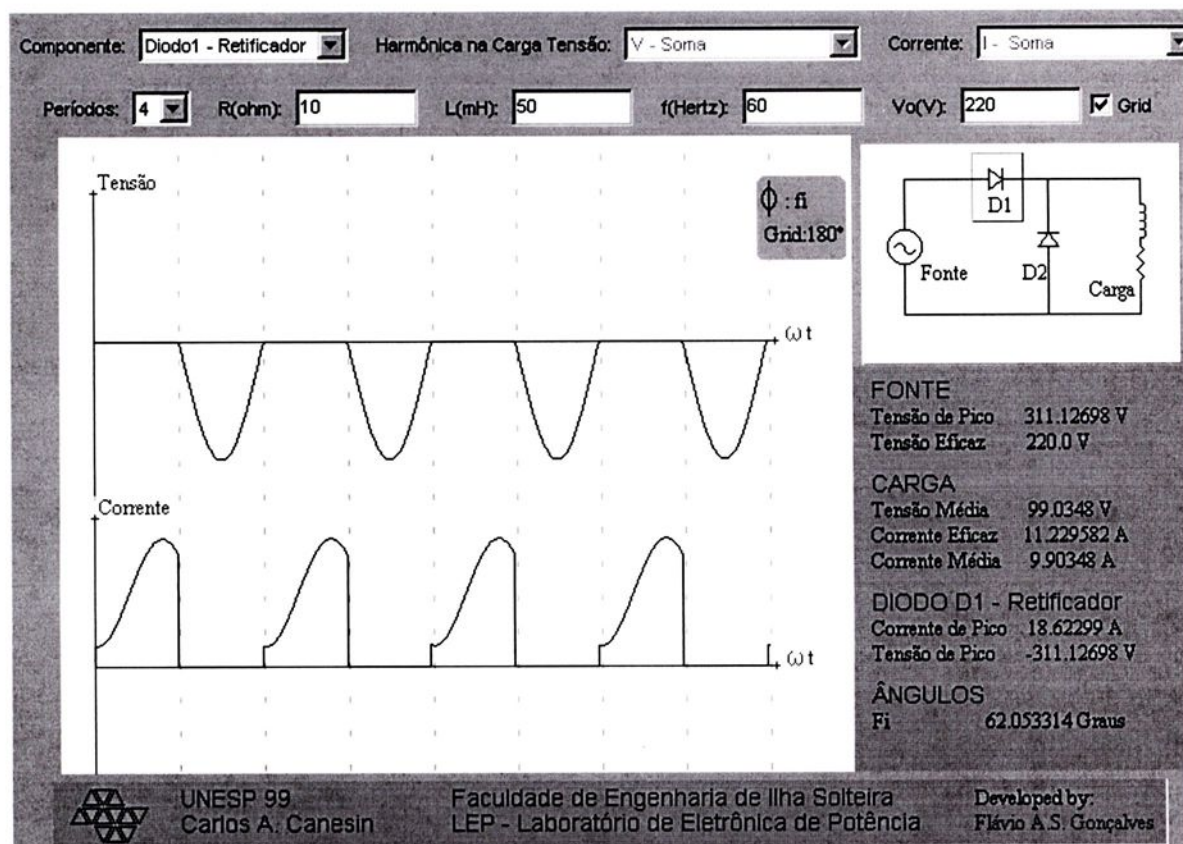


Figura 5.14 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 1.

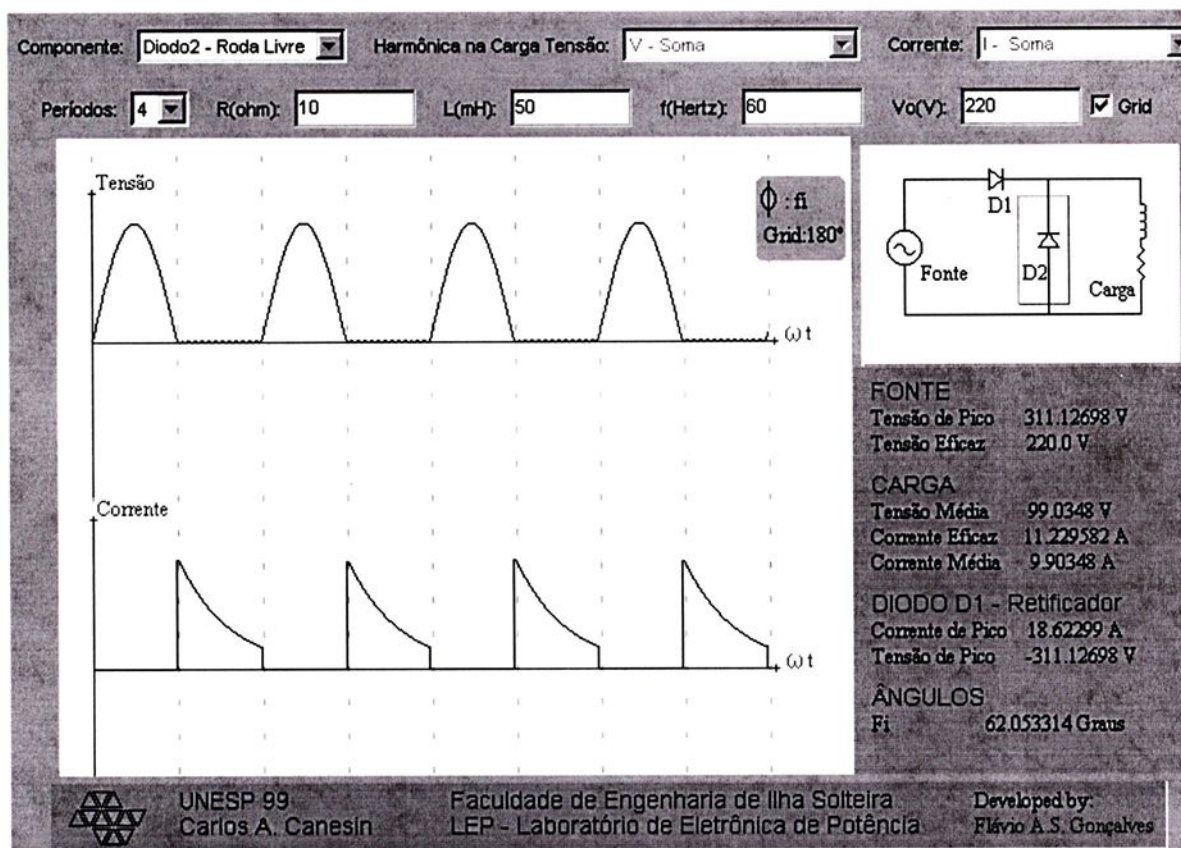


Figura 5.15 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para configuração 1.

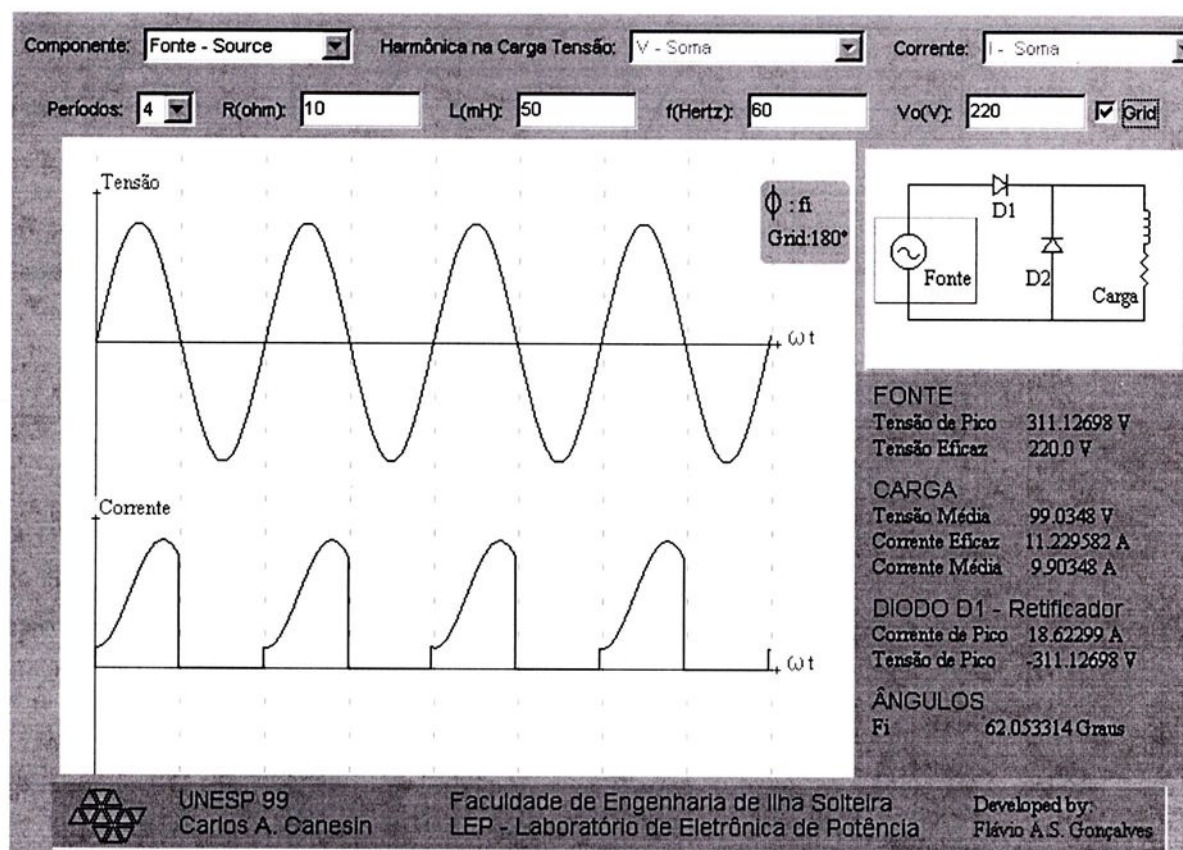
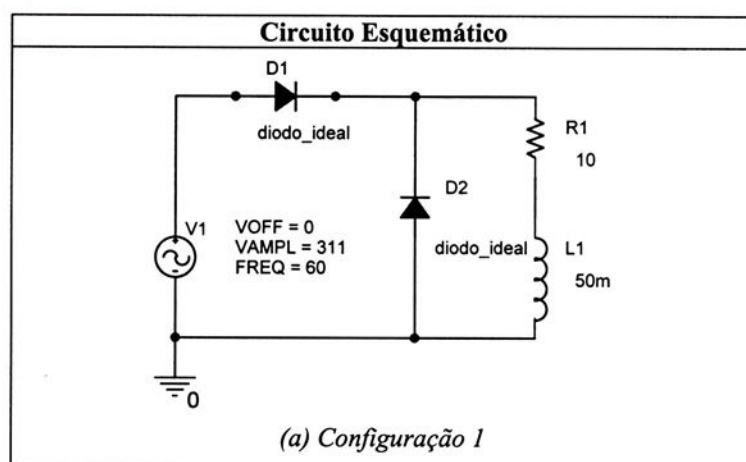


Figura 5.16 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para configuração 1.

5.2.2.2 – Simulação Pspice

A Tabela 5.6 apresenta o circuito esquemático submetido à simulação no Pspice.

Tabela 5.6 – Circuito esquemático da topologia utilizado na simulação.



As Figuras 5.17 até 5.20 ilustram as formas de onda de tensão e correntes através de todos os componentes provenientes da simulação da topologia no Pspice.

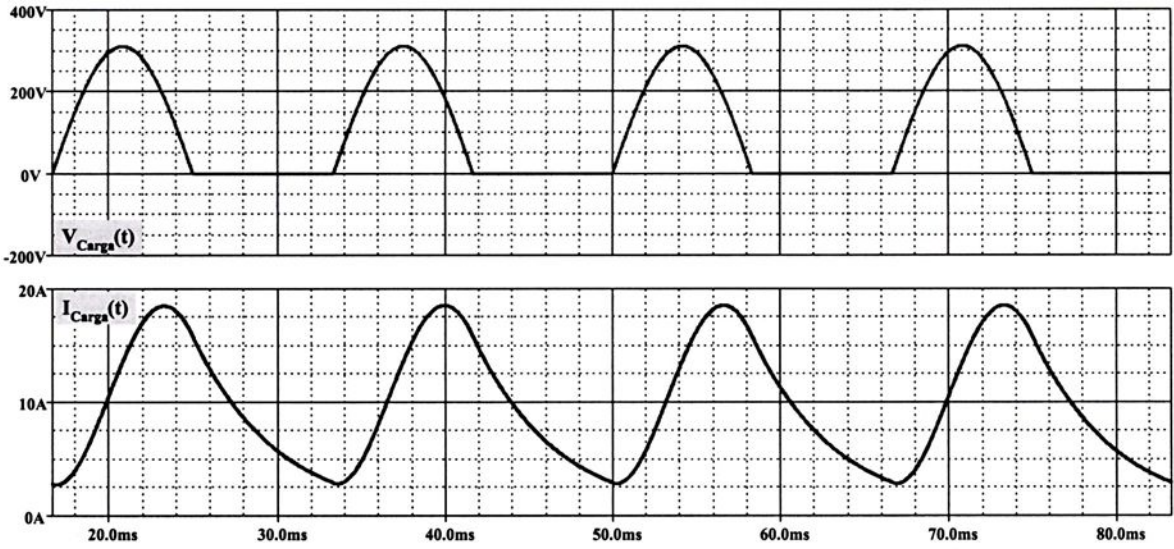


Figura 5.17 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

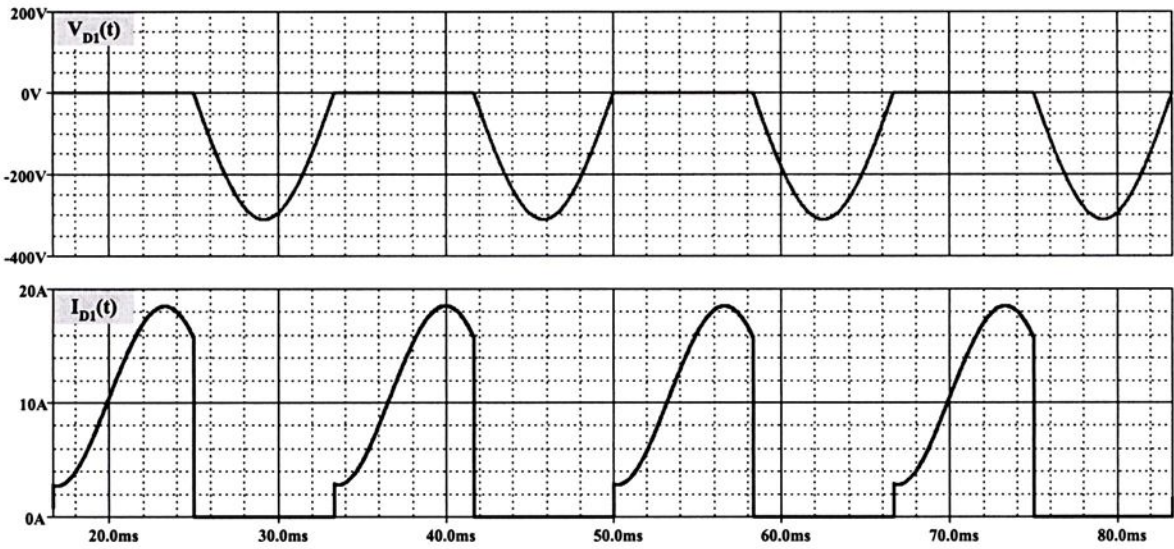


Figura 5.18 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 1.

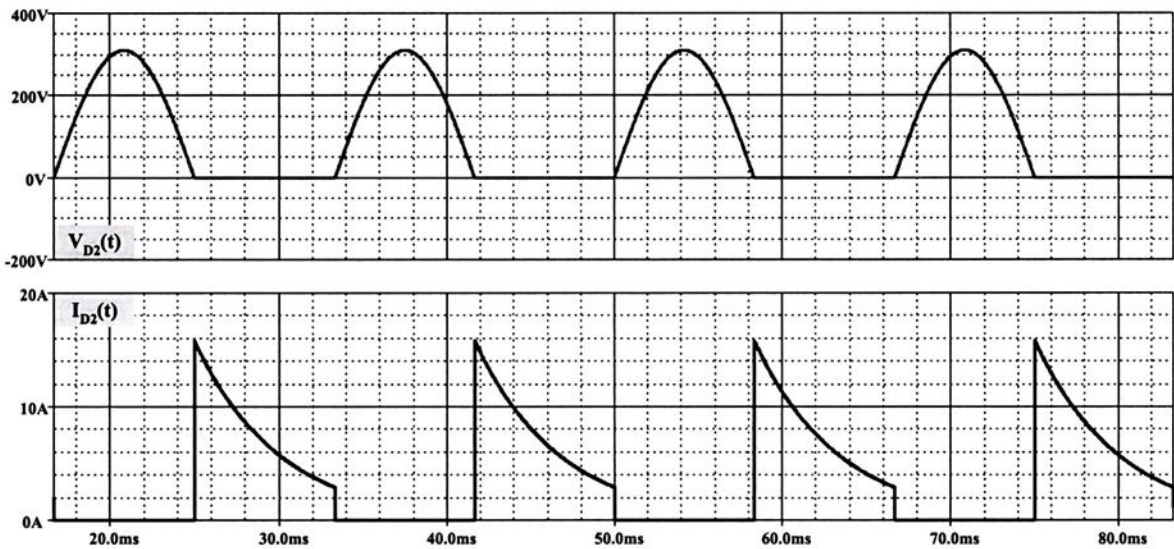


Figura 5.19 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para configuração 1.

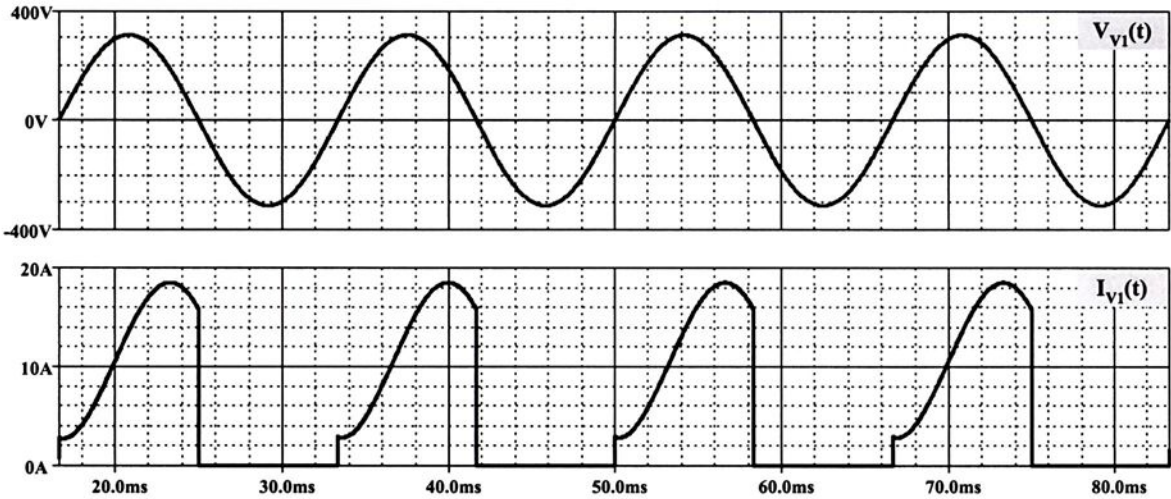


Figura 5.20 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para configuração 1.

5.2.2.3 – Análise dos Resultados

Os resultados das intensidades dos valores médios, eficazes e de pico das formas de onda de tensão e corrente em determinados componentes estão presentes na Tabela 5.7 . A Tabela 5.8 confronta os resultados das componentes harmônicas da forma de onda de tensão e corrente na carga.

Tabela 5.7 – Resultados Obtidos para Configuração 1.

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Fonte V_1			
Tensão de Pico	311,12698 V	311,00 V	0,04
Tensão Eficaz	220,000 V	219,909 V	0,04
Carga			
Tensão Média	99,0348 V	98,6535 V	0,386
Corrente Média	9,90348 A	9,7975 A	1,08
Corrente Eficaz	11,229582 A	11,1385 A	0,817
Diodo			
Corrente de Pico	18,62299 A	18,522 A	0,545
Tensão de Pico	-311,12698 V	-311,00 V	0,04

Tabela 5.8 – Resultados das componentes harmônicas das formas de onda de tensão e corrente na carga obtidos para Configuração 1.

	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Tensão			
Componente DC	99,0348 V	98,10157 V	0,95
Componente Ordem 1	155,56349 V	155,5 V	0,040
Componente Ordem 2	66,02319 V	65,98 V	0,060
Componente Ordem 4	13,204639 V	13,19 V	0,11
Componente Ordem 6	5,659131 V	5,656 V	0,055
Corrente			
Componente DC	9,90348 A	9,811077 A	0,94
Componente Ordem 1	7,2904797 A	7,286 A	0,061
Componente Ordem 2	1,6927783 A	1,692 A	,045
Componente Ordem 4	0,17361167 A	0,1736 A	0,006
Componente Ordem 6	0,049843248 A	0,04991 A	0,133

Portanto, mais uma vez, todos os resultados obtidos, incluindo-se as formas de onda estão de acordo com aqueles obtidos através do Pspice, validando-se as applets desenvolvidas para o retificador monofásico à diodo com carga RL e diodo de roda livre.

5.2.3 – Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio

A Tabela 5.9 apresenta duas configurações de parâmetros empregados nos procedimentos de simulação para avaliação dos resultados obtidos.

Tabela 5.9 – Configurações dos parâmetros de simulação.

Configuração	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	Vo [V]
1	50	-	60	220
2	50	65	60	220

5.2.3.1 – Simulação Applets

As Figuras 5.21 até 5.24 e 5.25 até 5.28 ilustram o aplicativo desenvolvido para a simulação da topologia em referência, para as configurações 1 e 2 de carga, respectivamente.

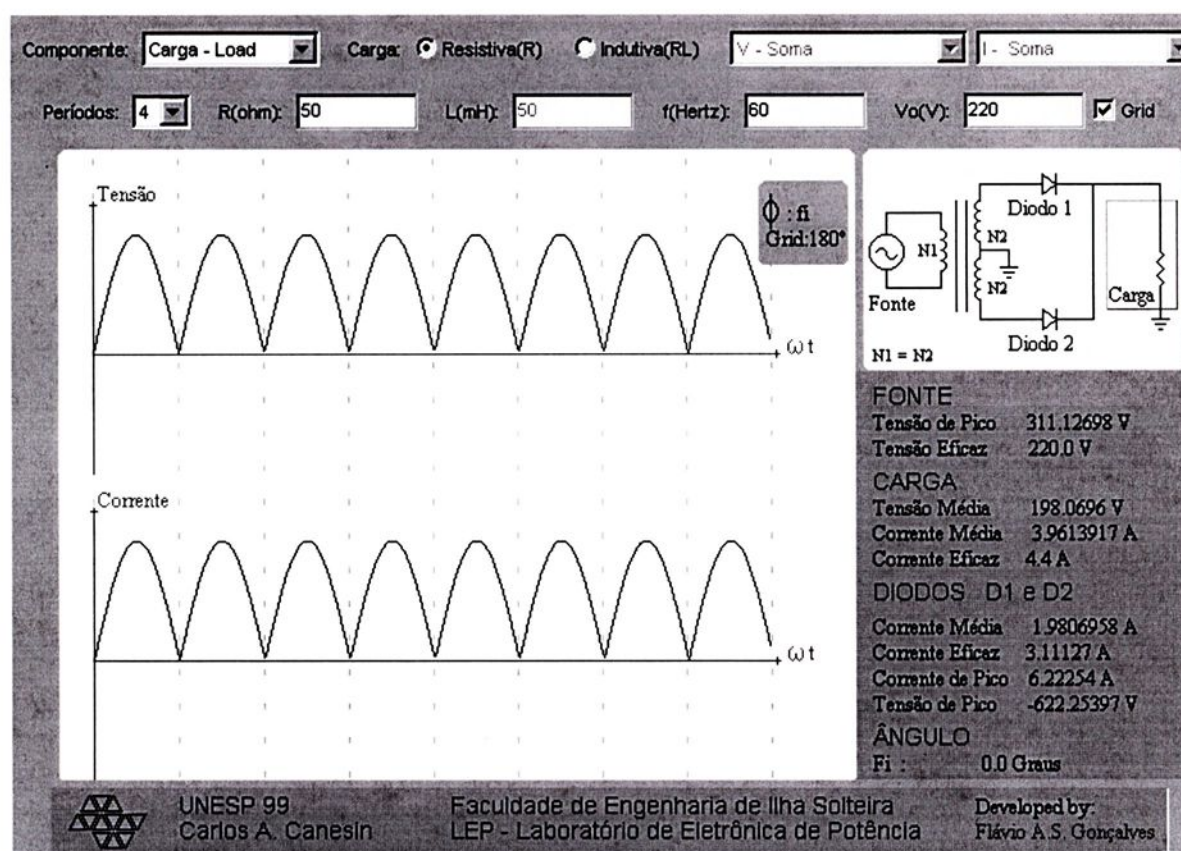


Figura 5.21 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

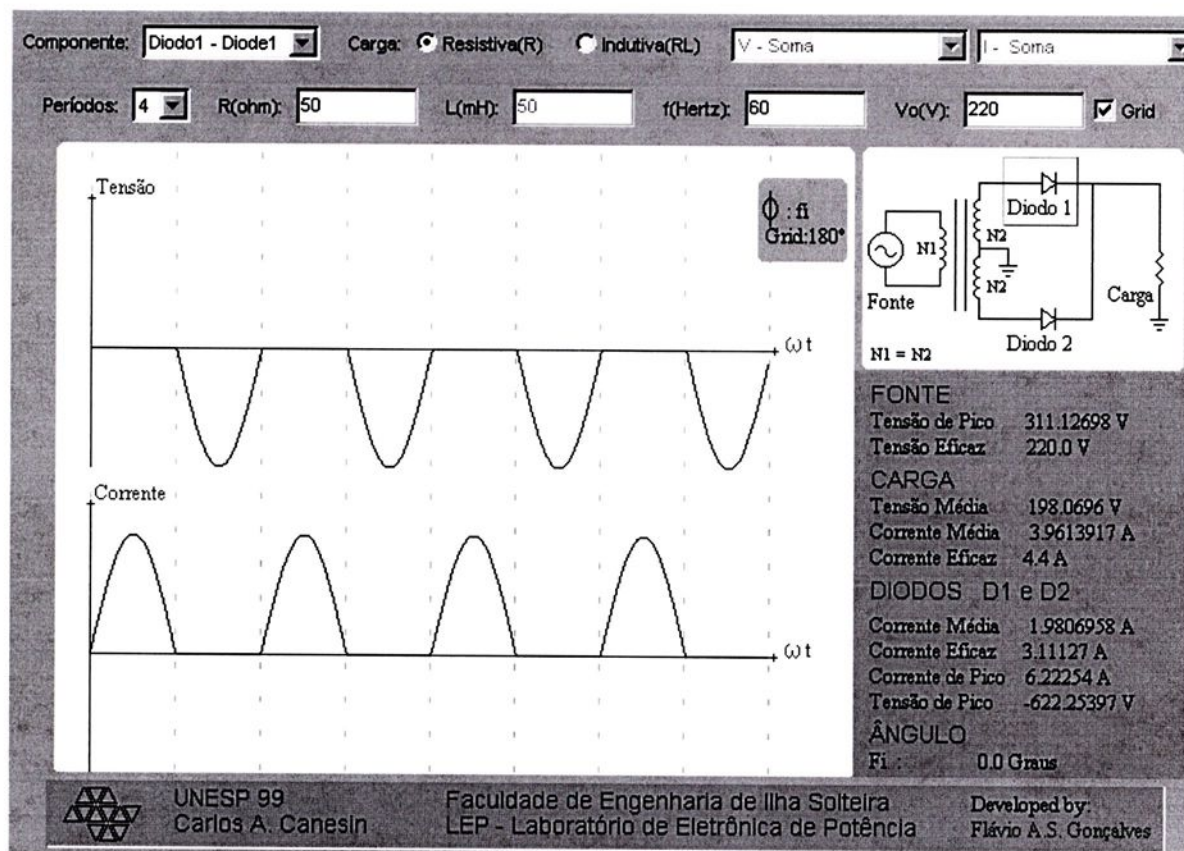


Figura 5.22 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 1.

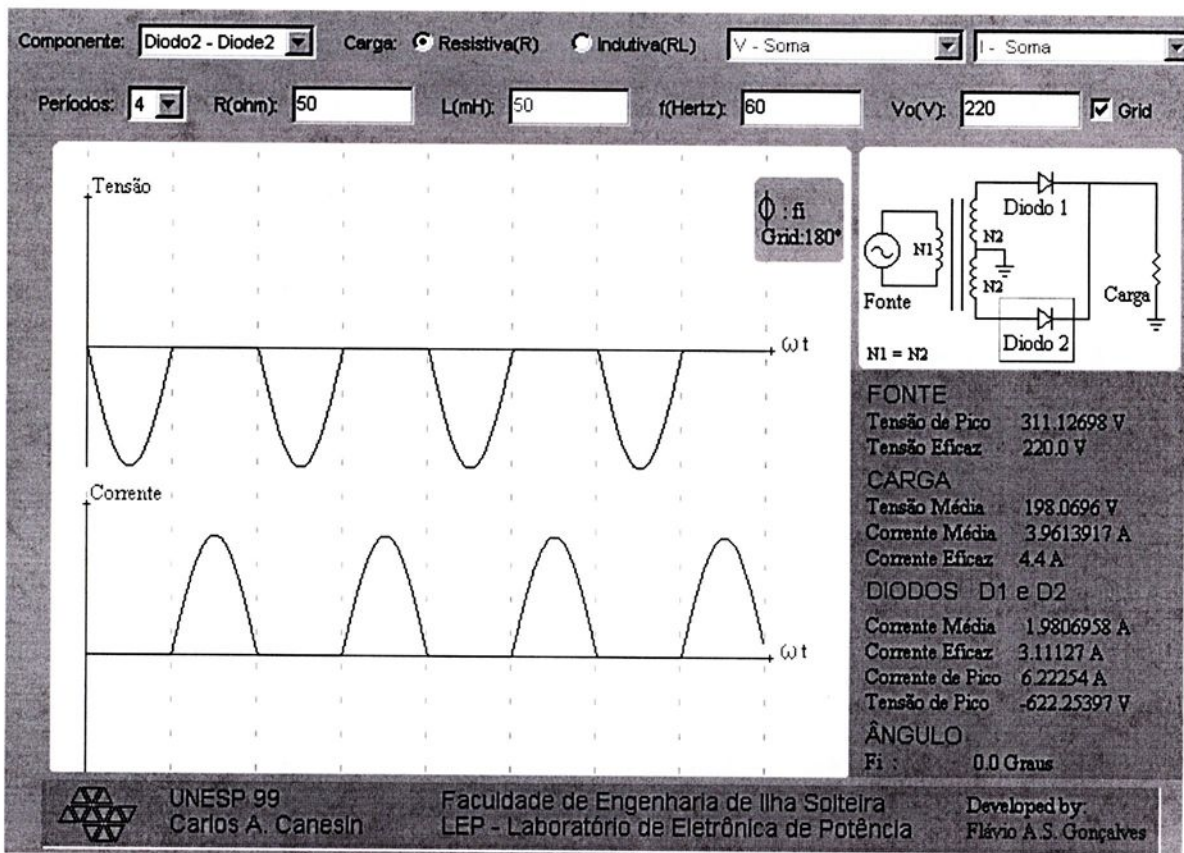


Figura 5.23 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para configuração 1.

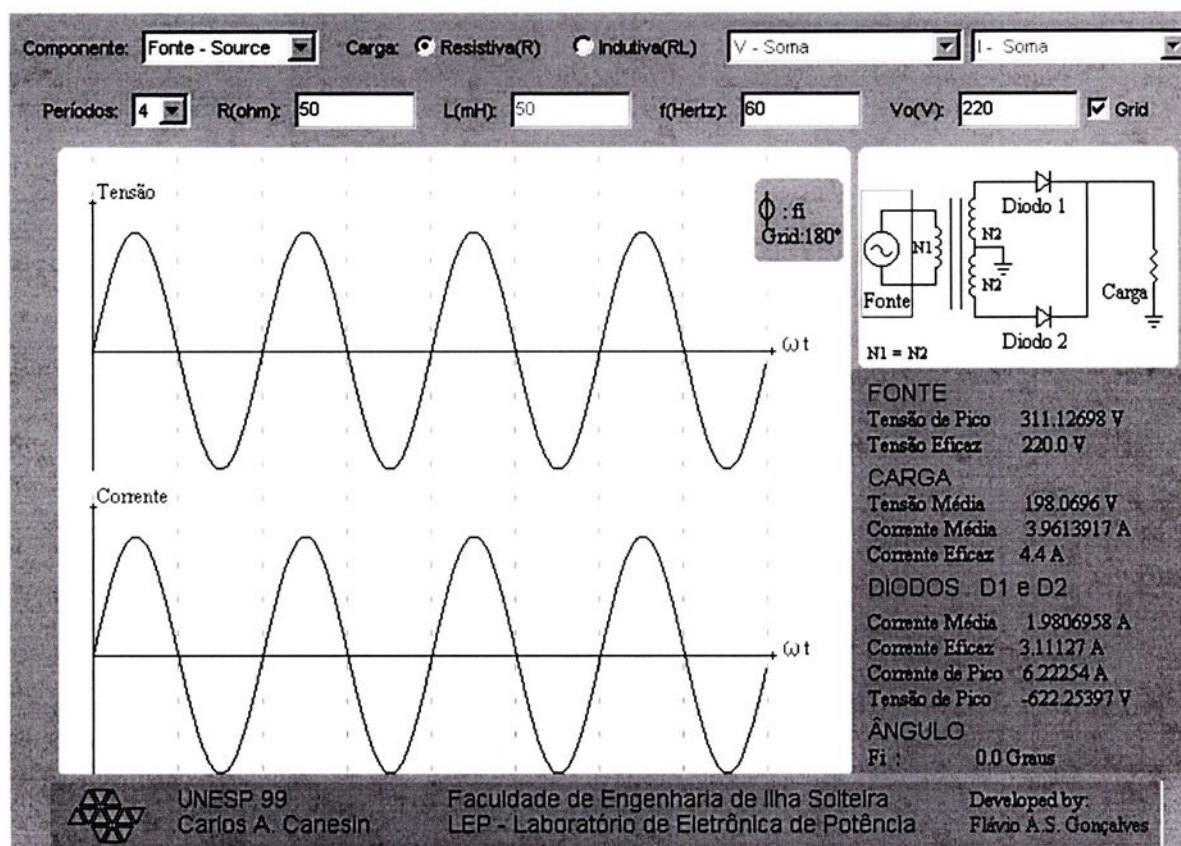


Figura 5.24 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para configuração 1.

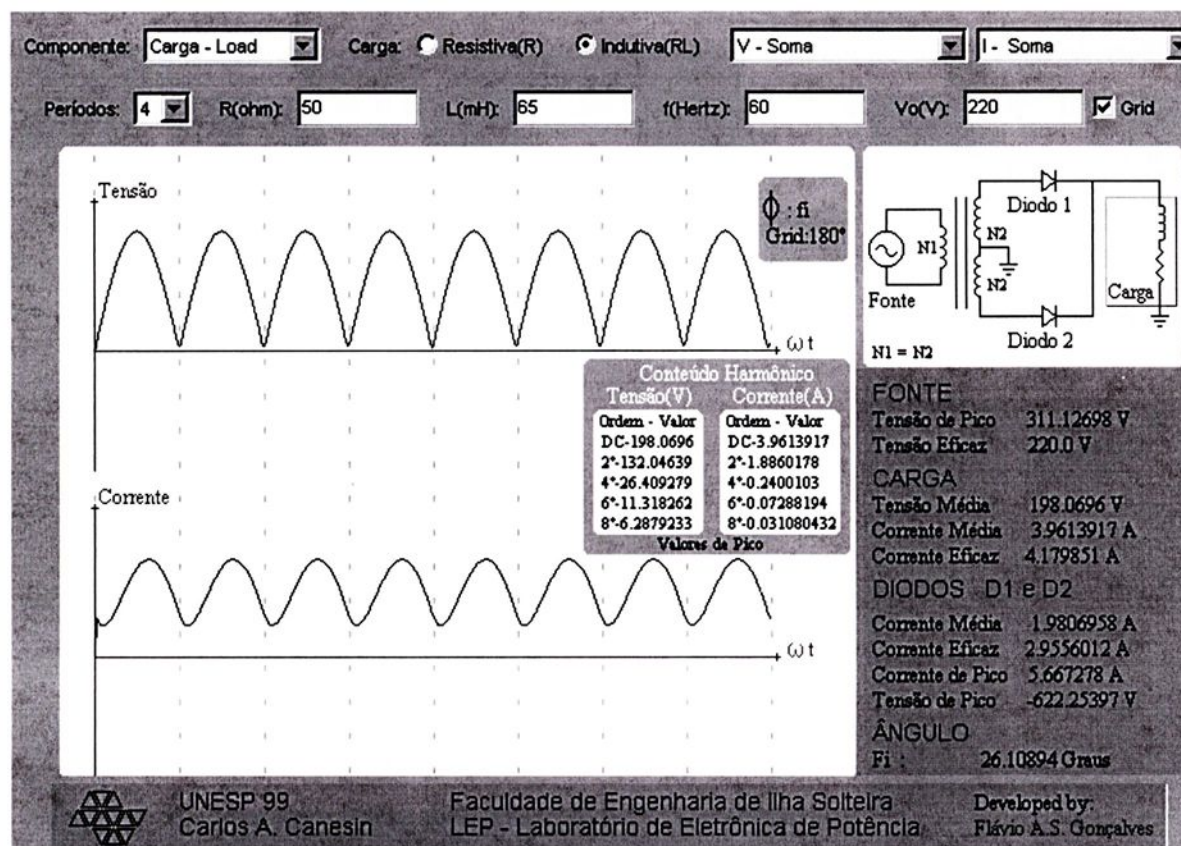


Figura 5.25 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2, apresentando-se a análise harmônica.

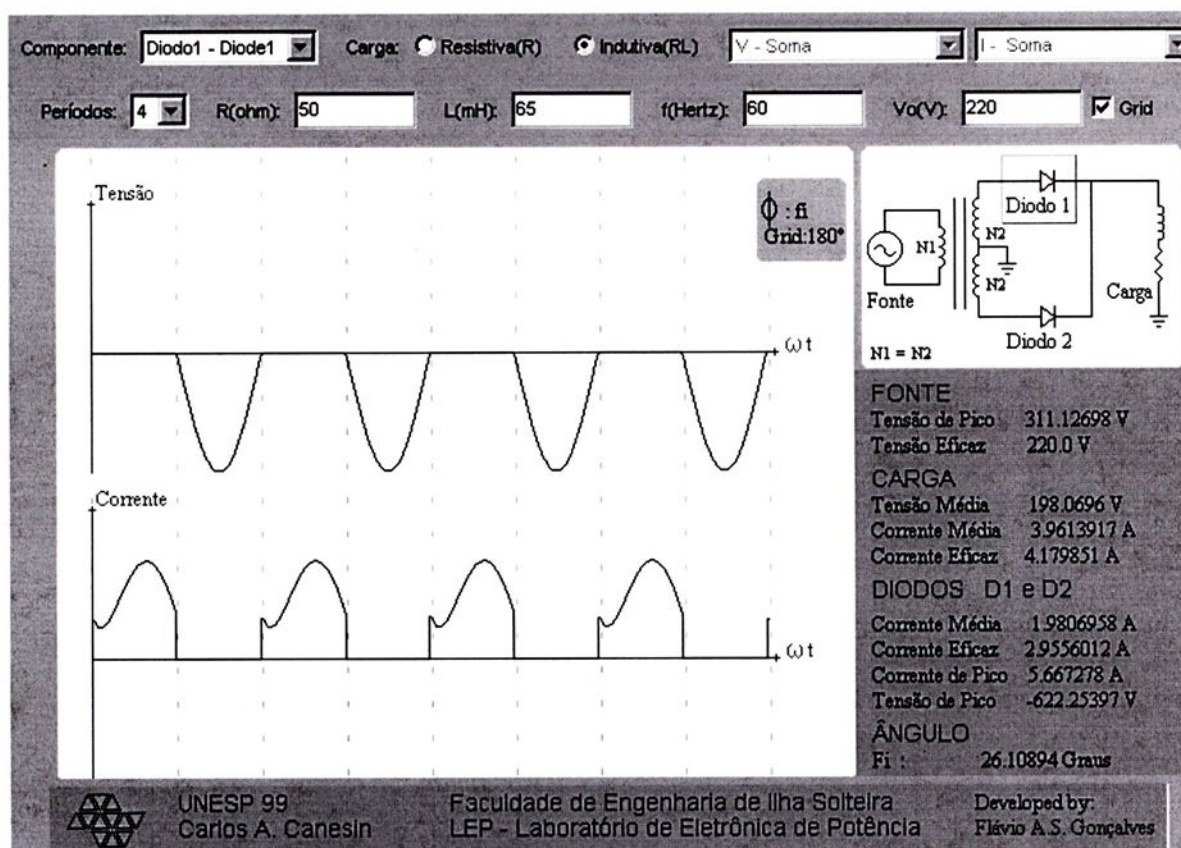


Figura 5.26 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 2.

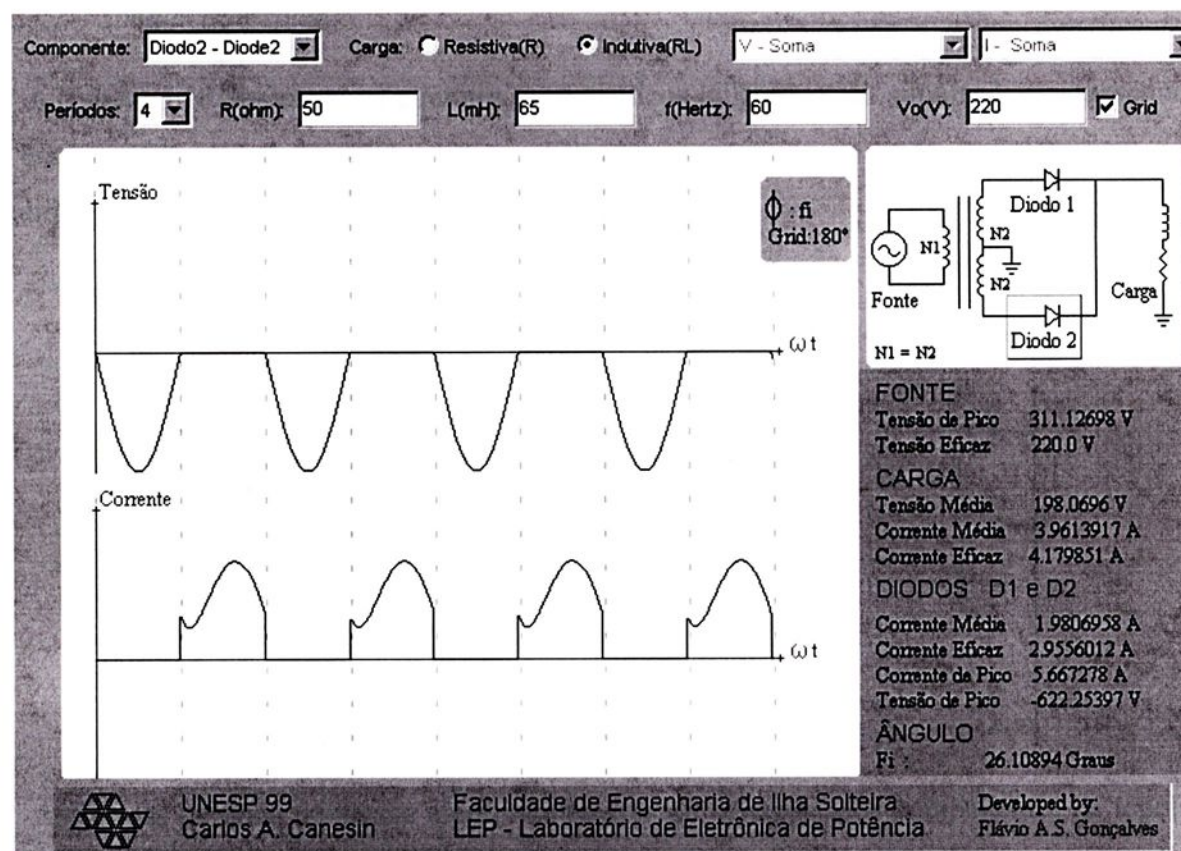


Figura 5.27 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para configuração 2.

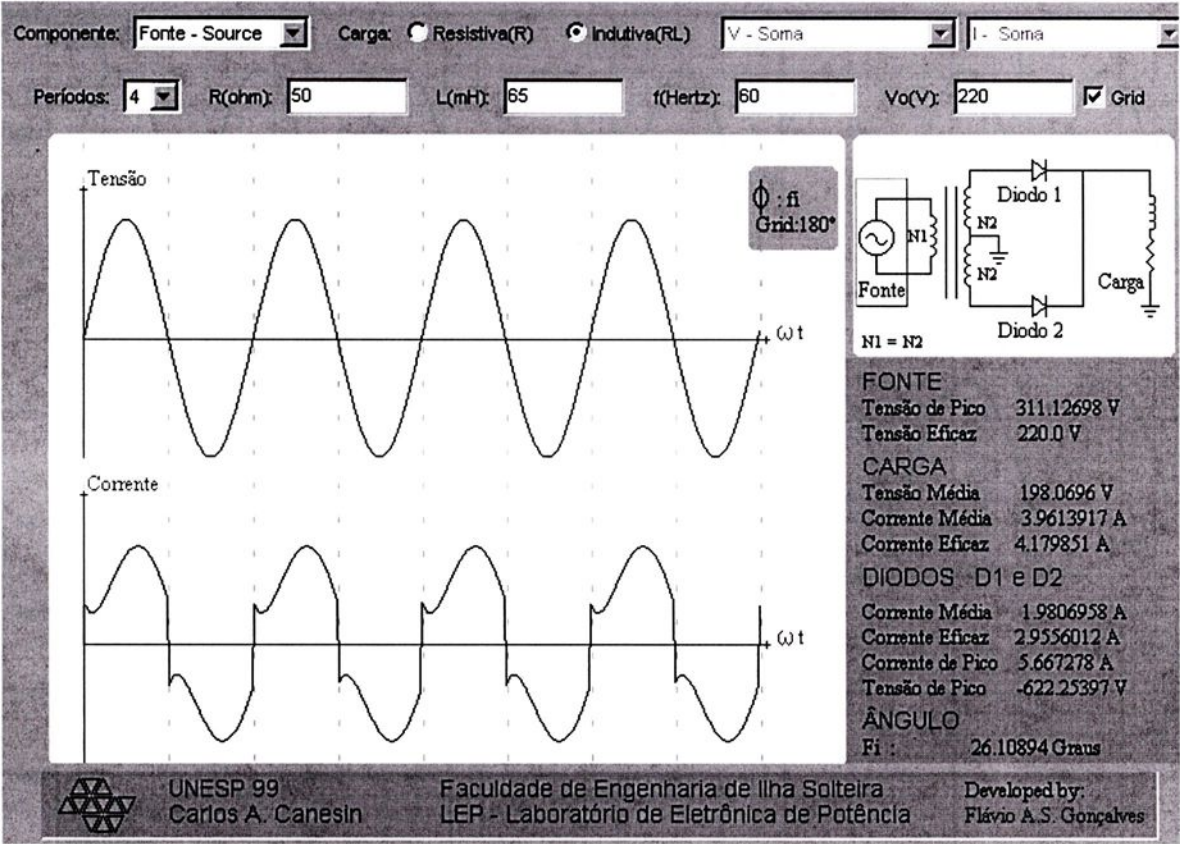
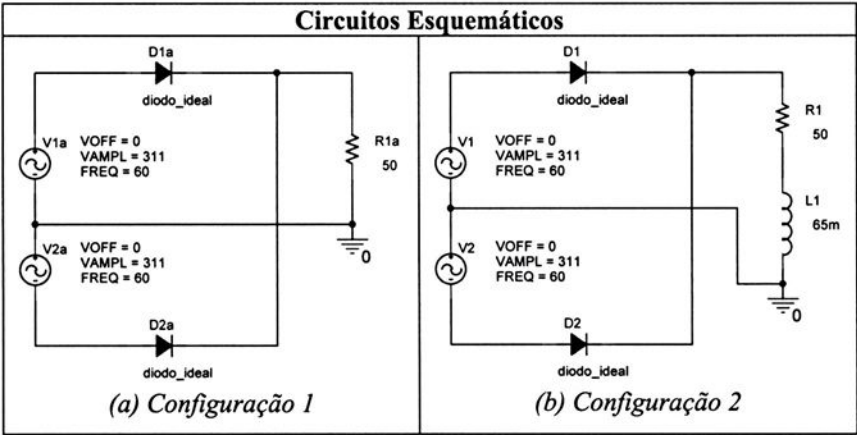


Figura 5.28 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para configuração 2.

5.2.3.2 – Simulação Pspice

A Tabela 5.10 apresenta os circuitos esquemáticos utilizados nas simulações, representando as duas configurações de carga para o retificador monofásico de onda completa com ponto médio.

Tabela 5.10 – Circuitos esquemáticos da topologia utilizados nas simulações.



As formas de onda de tensão e corrente através de determinados componentes da topologia em questão, para as duas configurações de carga, são apresentadas nas Figuras 5.29 até 5.36 .

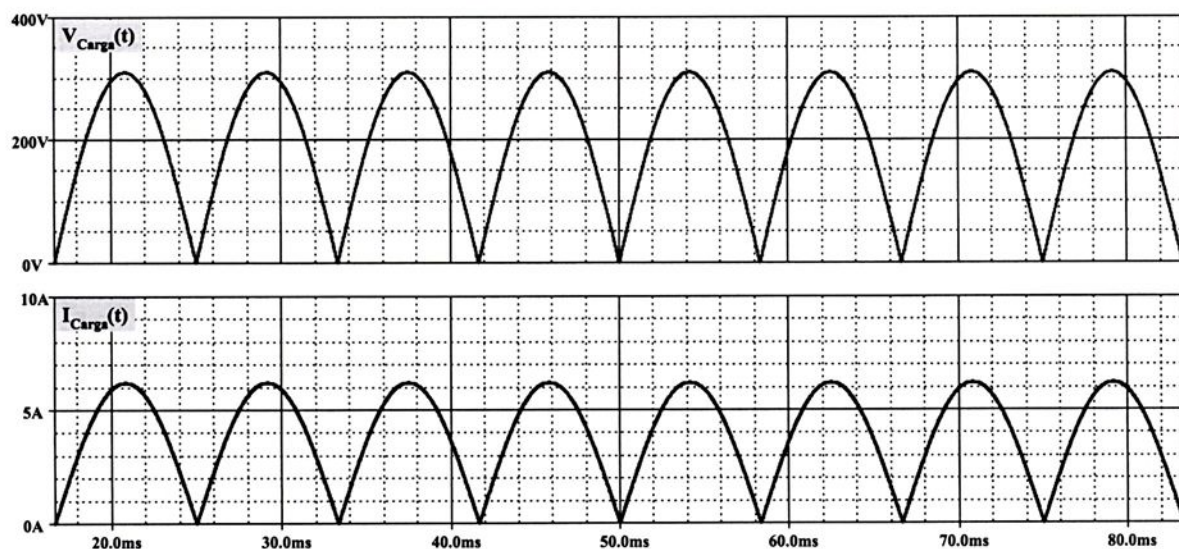


Figura 5.29 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

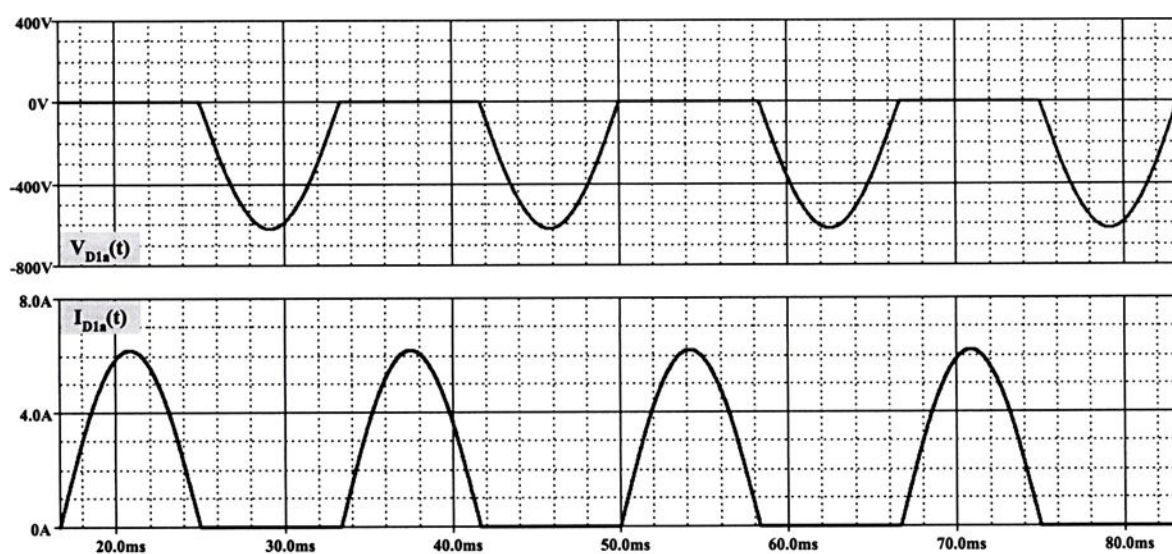


Figura 5.30 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_{1a} para configuração 1.

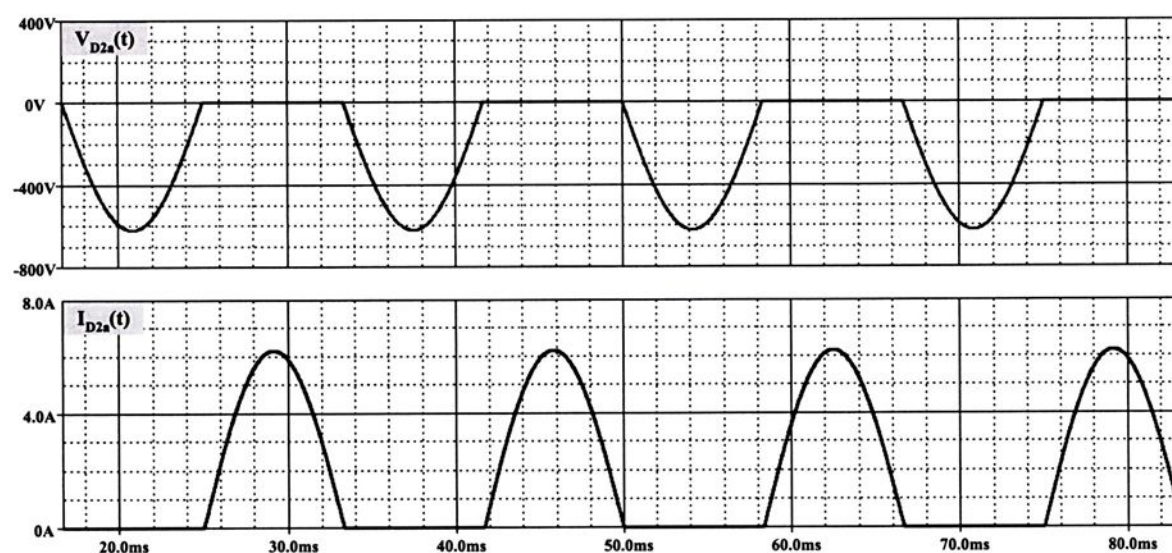


Figura 5.31 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_{2a} para configuração 1.

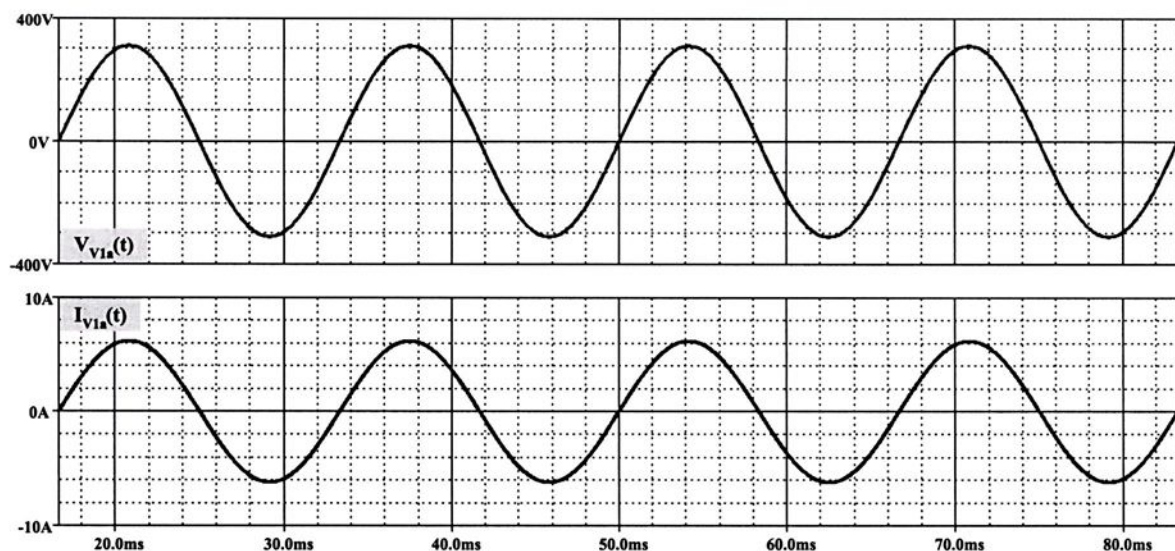


Figura 5.32 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_{1a} para configuração 1.

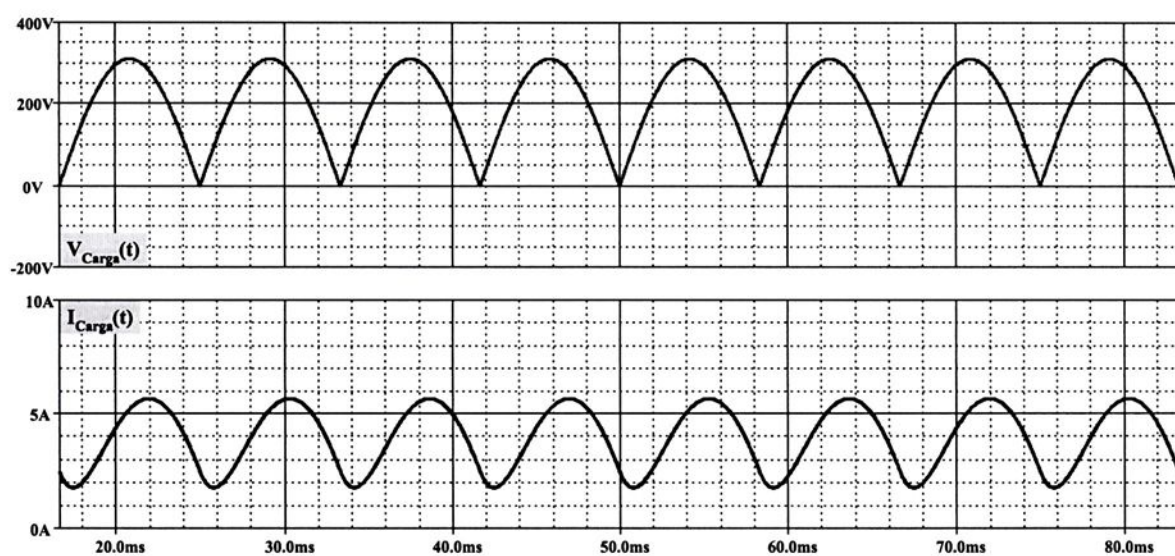


Figura 5.33 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2.

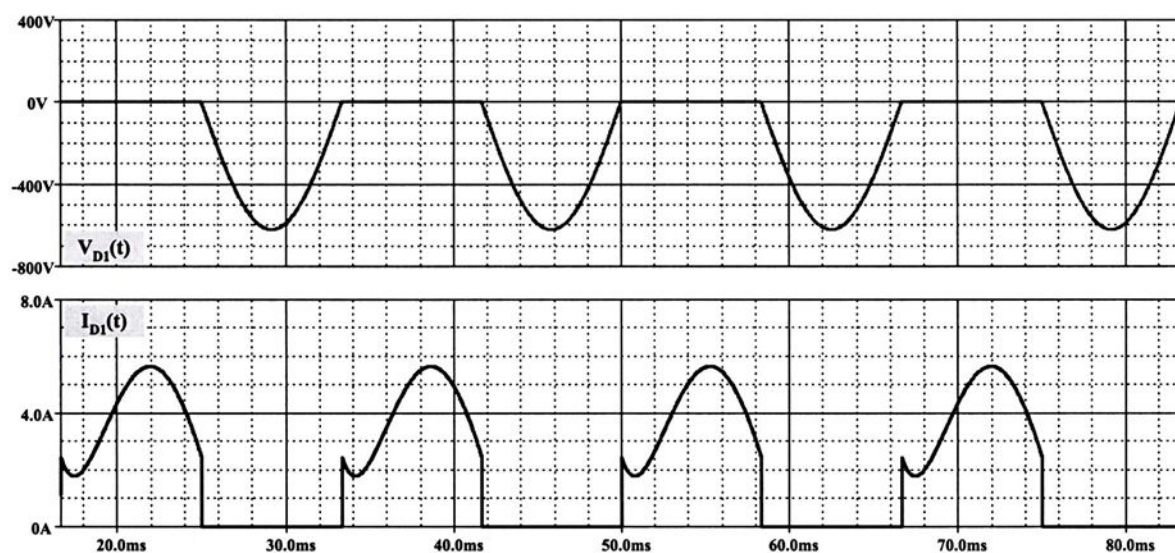


Figura 5.34 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 2.

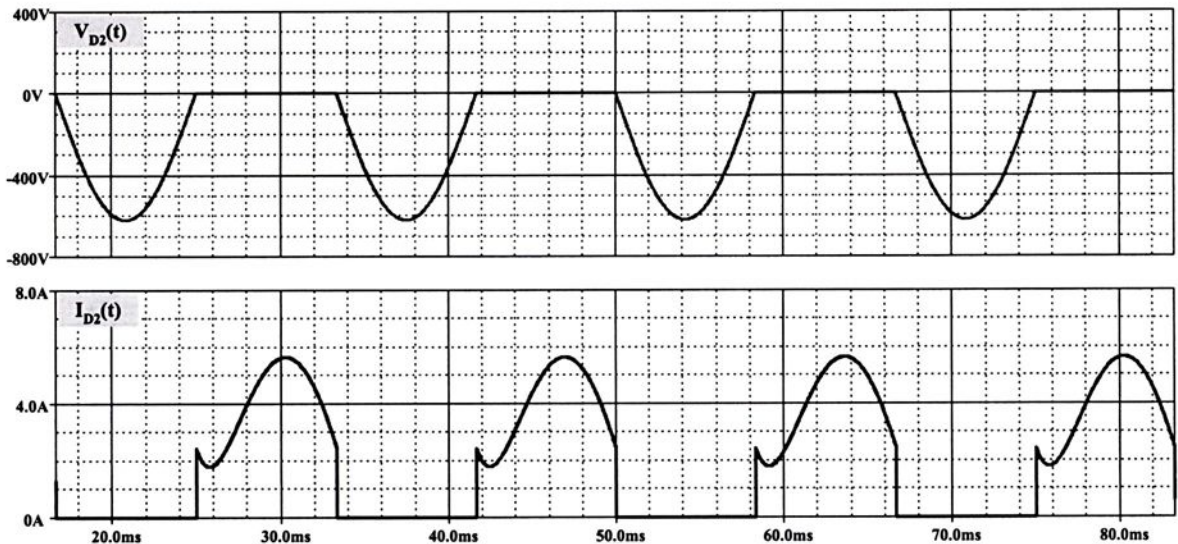


Figura 5.35 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para configuração 2.

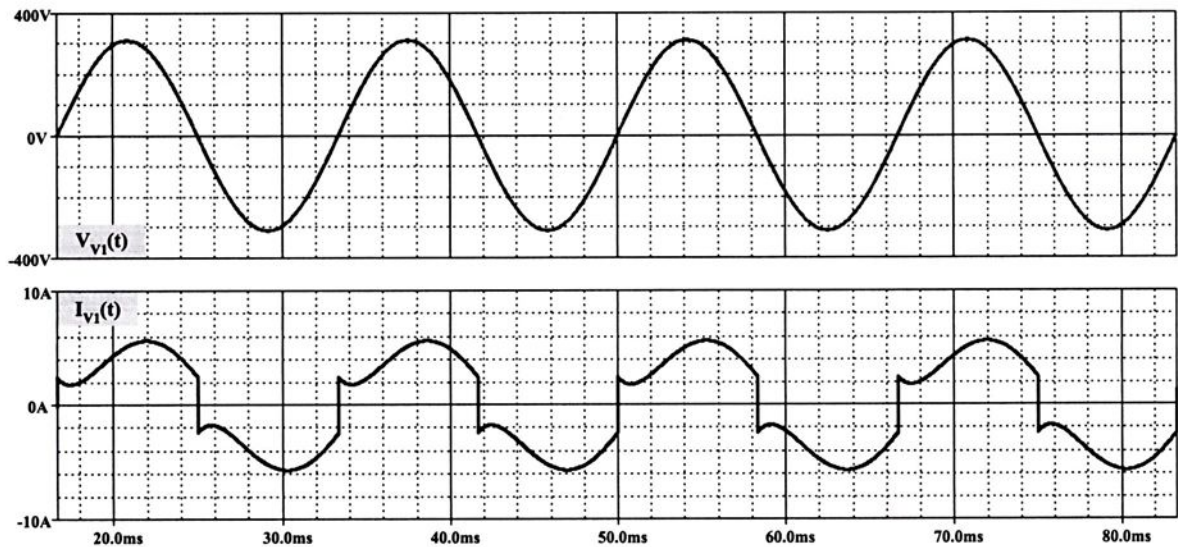


Figura 5.36 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para configuração 2.

5.2.3.3 – Análise dos Resultados

Nas Tabelas 5.11 e 5.12 constam os resultados das intensidades dos valores médios, eficazes, e de pico das formas de onda de corrente e tensão sobre determinados componentes.

Tabela 5.11 – Resultados Obtidos para Configuração 1

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	198,0696V	197,119 V	0,48
Corrente Média	3,9613917 A	3,9425 A	0,48
Corrente Eficaz	4,4 A	4,38245 A	0,40
Diodo			
Corrente de Pico	6,22254 A	6,2023 A	0,33
Corrente Média	1,9806959 A	1,9848 A	0,80
Corrente Eficaz	3,11127 A	2,95455 A	0,18
Tensão de Pico	-622,25397 V	-621,113 V	0,18

Tabela 5.12 – Resultados Obtidos para Configuração 2

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	198,0696V	197,1205 V	0,48
Corrente Média	3,9613917 A	3,9295 A	0,54
Corrente Eficaz	4,179851 A	4,15735 A	0,81
Diodo			
Corrente de Pico	5,667278 A	5,6511 A	0,28
Corrente Média	1,9806958 A	1,9848 A	0,20
Corrente Eficaz	2,95556012 A	2,95455 A	0,034
Tensão de Pico	-622,25397 V	-621,118 V	0,18

Na Tabela 5.13 encontram-se os resultados das componentes harmônicas das formas de onda de tensão e corrente na carga, referentes à configuração 2.

Tabela 5.13 – Resultados das componentes harmônicas das formas de onda de tensão e corrente na carga obtidos para configuração 2.

	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Tensão			
Componente DC	198,0696 V	197,0942 V	0,42
Componente Ordem 2	132,04639 V	132,0 V	0,035
Componente Ordem 4	26,409279 V	26,38 V	0,11
Componente Ordem 6	11,318262 V	11,32 V	0,015
Componente Ordem 8	6,2879233 V	6,28 V	0,12
Corrente			
Componente DC	3,9613917 A	3,94198 A	0,49
Componente Ordem 2	1,8860178 A	1,885A	0,053
Componente Ordem 4	0,2400103 A	0,2395 A	0,21
Componente Ordem 6	0,07288194 A	0,07296 A	0,10
Componente Ordem 8	0,031080432 A	0,03098 A	0,32

Portanto, em função dos resultados apresentados e desprezíveis os erros percentuais obtidos, pode-se afirmar que as applets desenvolvidas para a simulação do retificador monofásico de onda completa com ponto médio, encontram-se validados, considerando-se os modelos idealizados para todos os parâmetros desta estrutura, e, objetivos didáticos estabelecidos para esta análise.

5.2.4 – Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte

As duas configurações de parâmetros empregados nos procedimentos de simulação para avaliação dos resultados obtidos estão presentes na Tabela 5.14 .

Tabela 5.14 – Configurações dos parâmetros de simulação.

Configuração	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	Vo [V]
1	80	-	60	220
2	80	50	60	220

5.2.4.1 – Simulação Applets

Os resultados de simulação obtidos empregando-se as configurações 1 e 2 no aplicativo de simulação, desenvolvido para a topologia abordada, estão ilustrados nas Figuras 5.37 até 5.44.

A Figura 5.41 ilustra o aplicativo fornecendo uma tabela contendo os valores das componentes harmônicas das formas de onda de tensão e corrente através da carga, na forma de seus valores de pico.

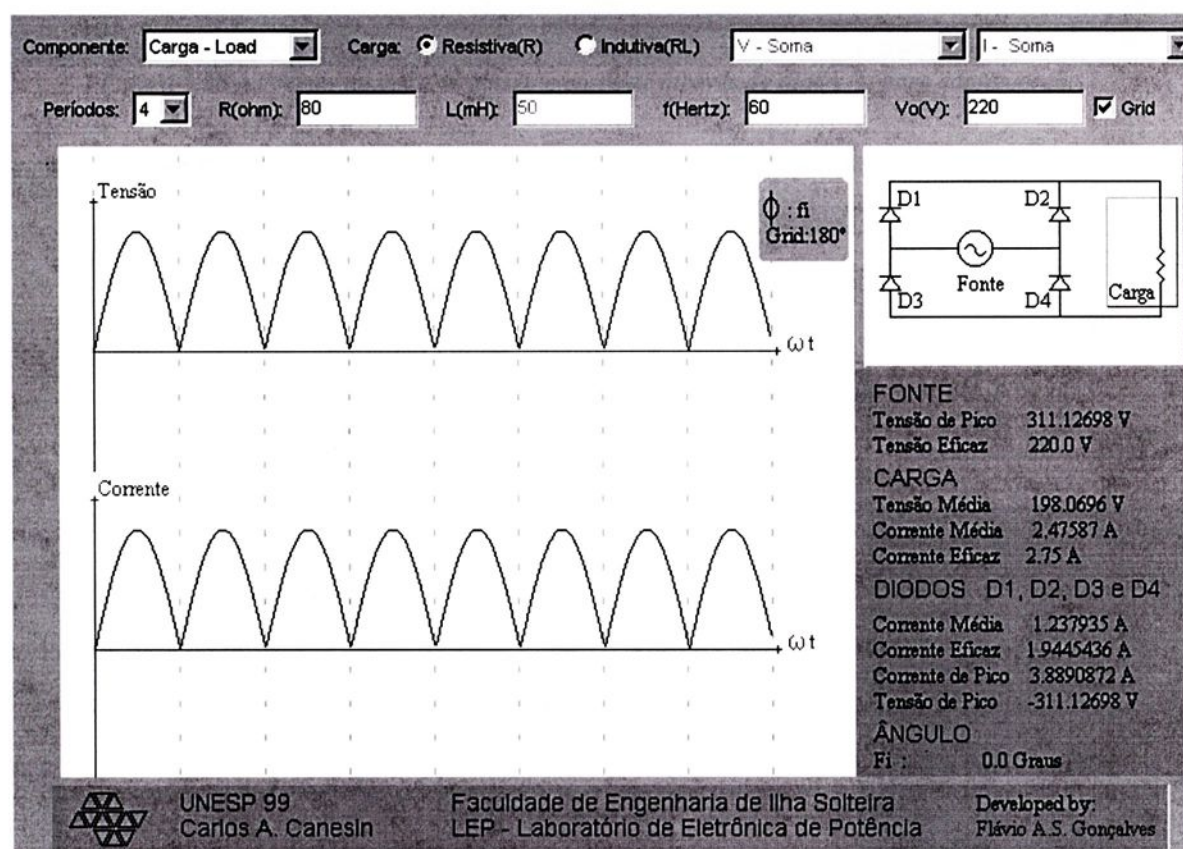


Figura 5.37 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

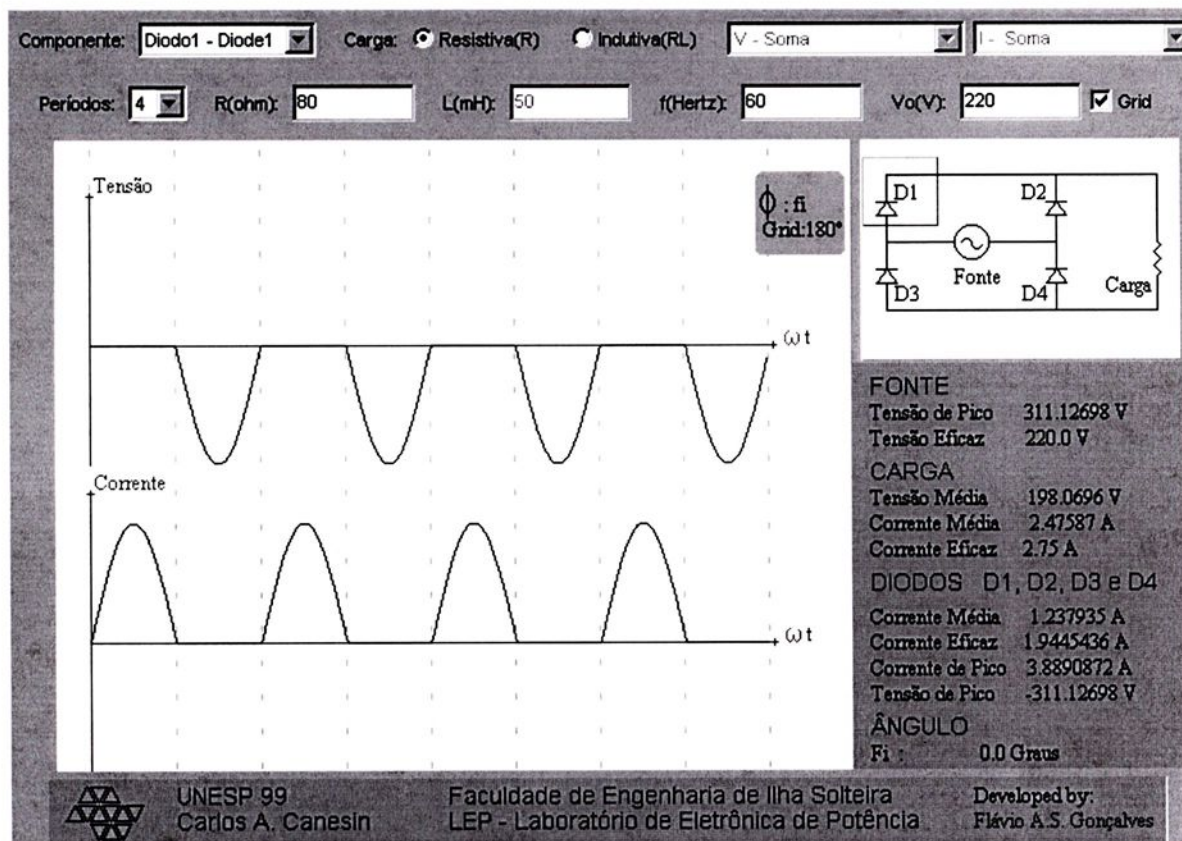


Figura 5.38 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 1.

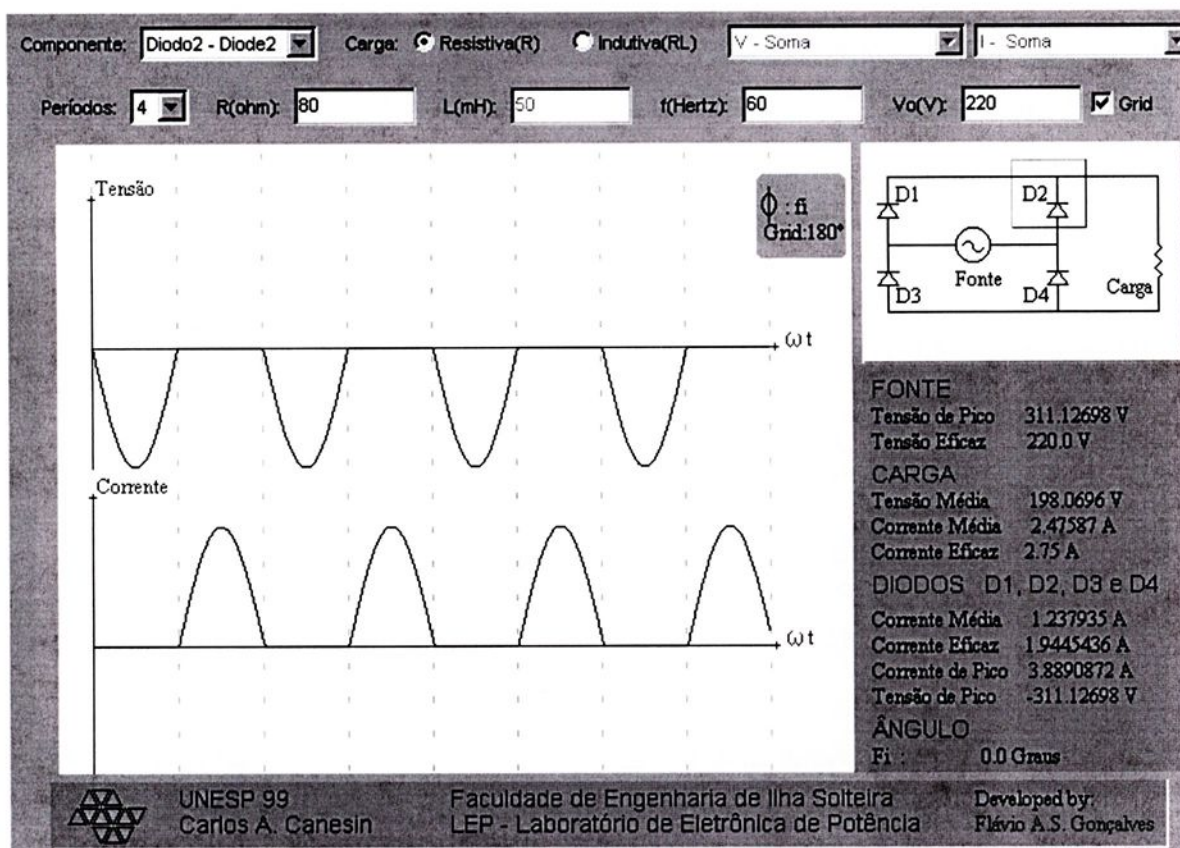


Figura 5.39 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para configuração 1.

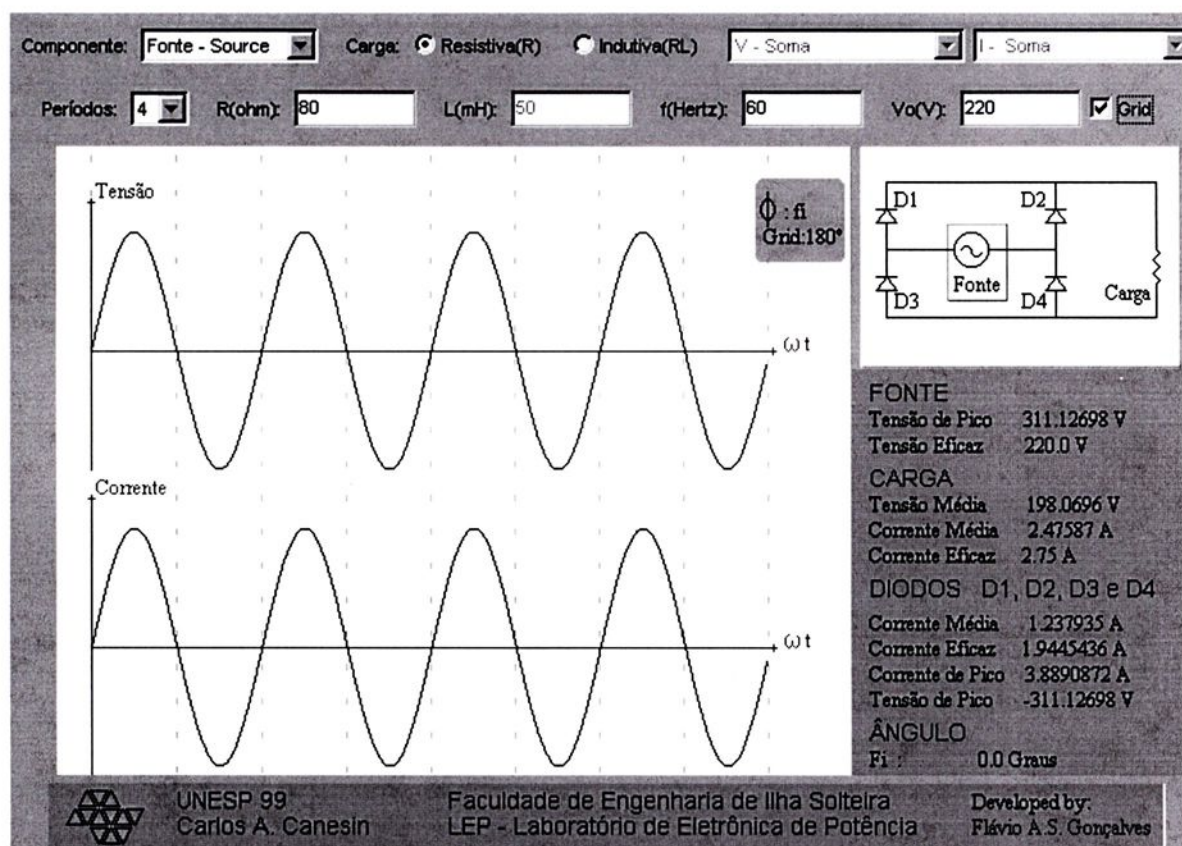


Figura 5.40 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para configuração 1.

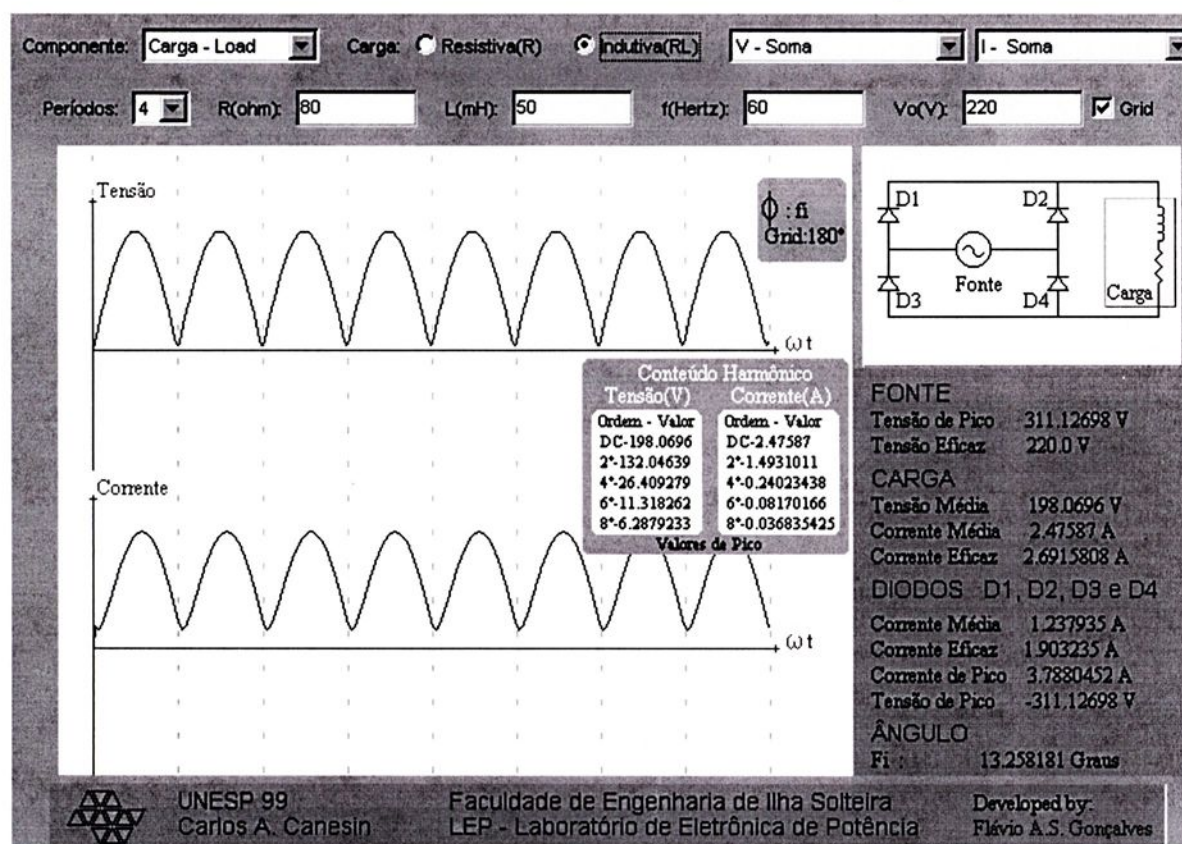


Figura 5.41 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2, apresentando-se a análise harmônica.

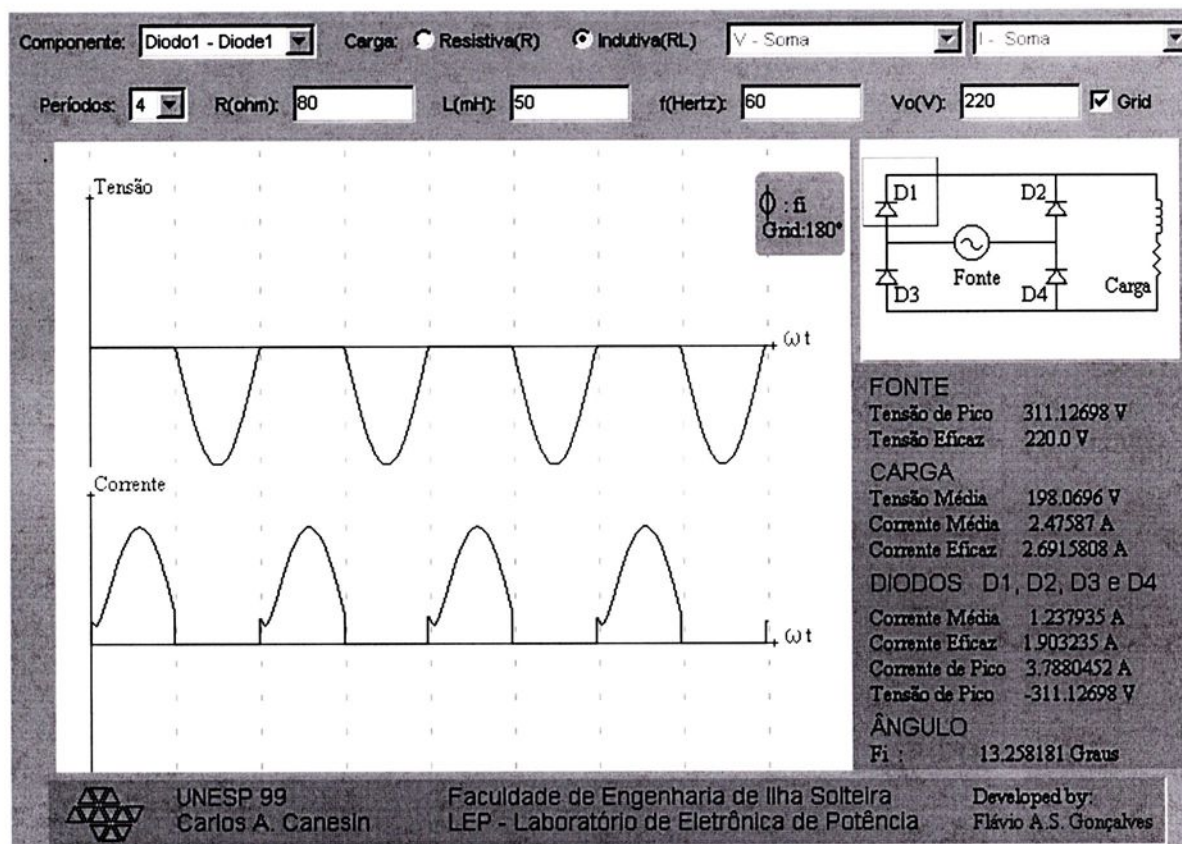


Figura 5.42 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 2.

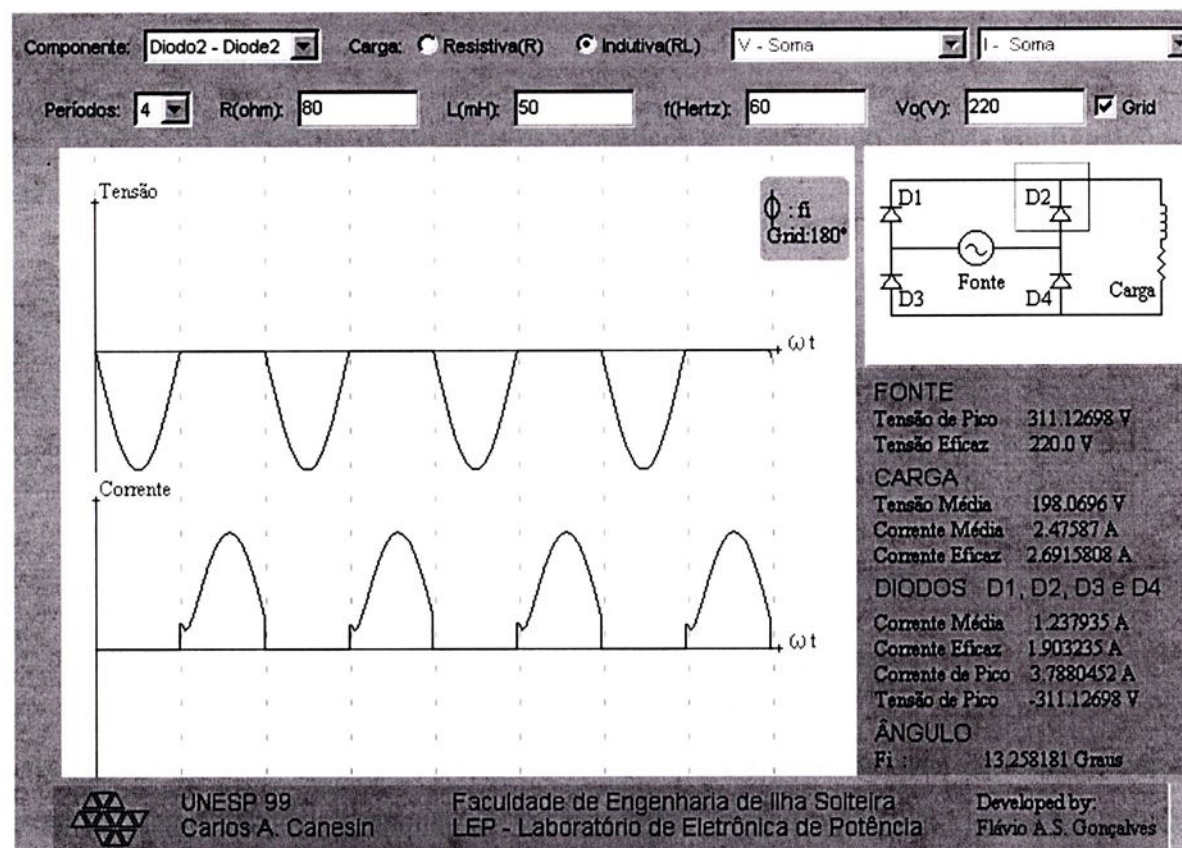


Figura 5.43 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para configuração 2.

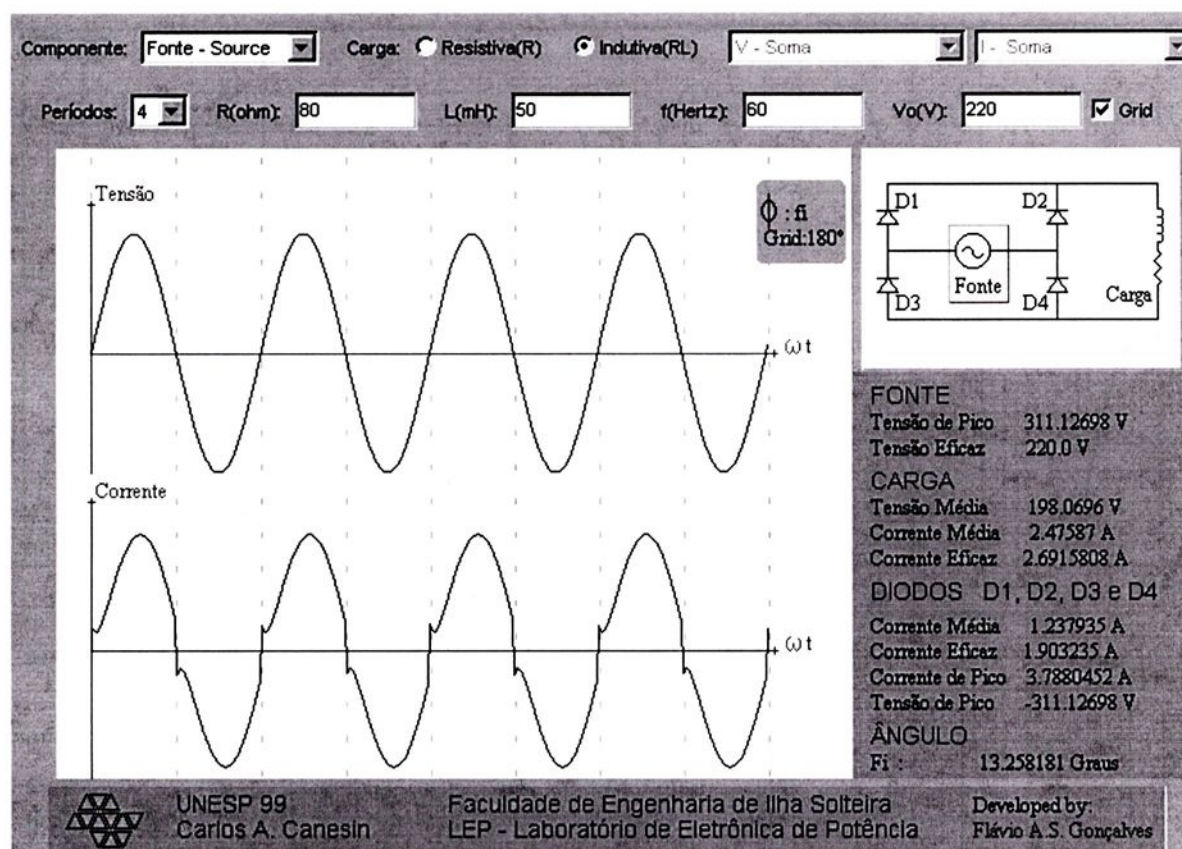
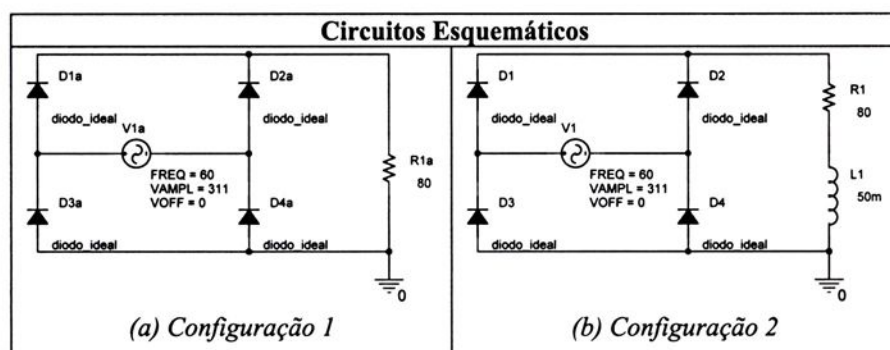


Figura 5.44 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para configuração 2.

5.2.4.2 – Simulação Pspice

A Tabela 5.15 apresenta os circuitos esquemáticos representando as duas configurações de carga empregadas.

Tabela 5.15 – Circuitos esquemáticos utilizados na simulação.



As Figuras 5.45 até 5.52 apresentam os resultados das formas de onda de tensão e corrente através de determinados componentes da topologia, para as duas configurações de carga analisadas.

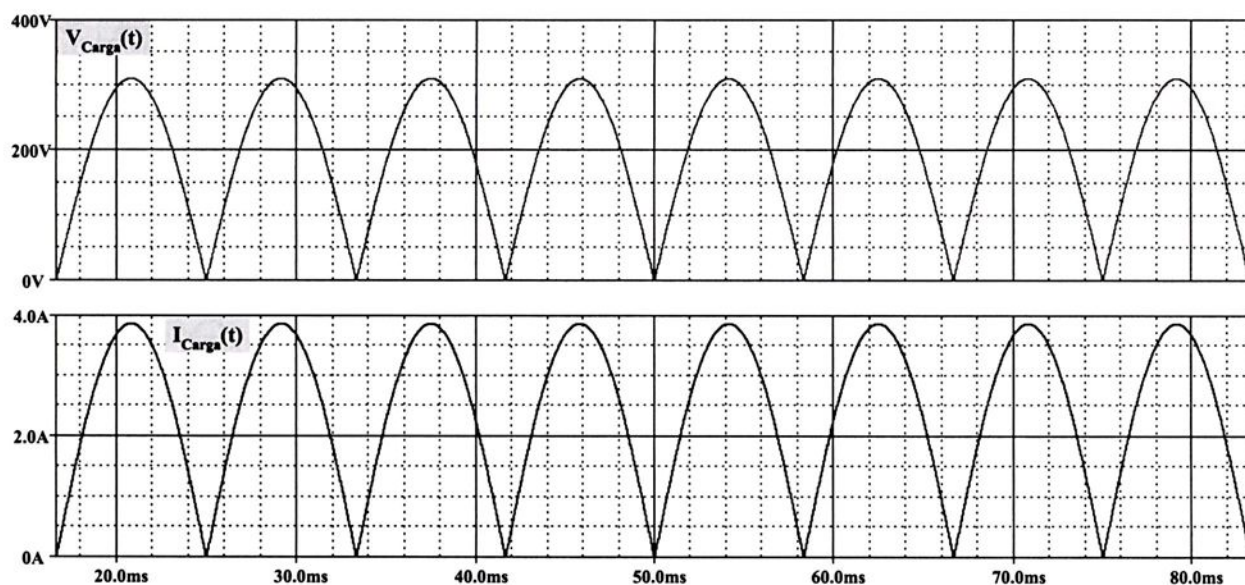


Figura 5.45 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

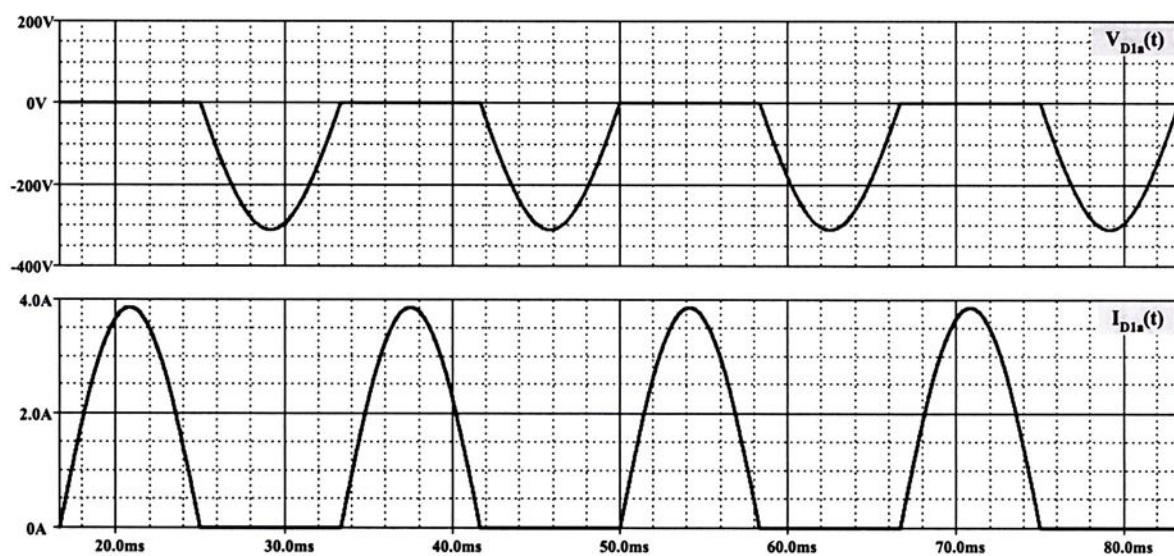


Figura 5.46 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_{1a} para configuração 1.

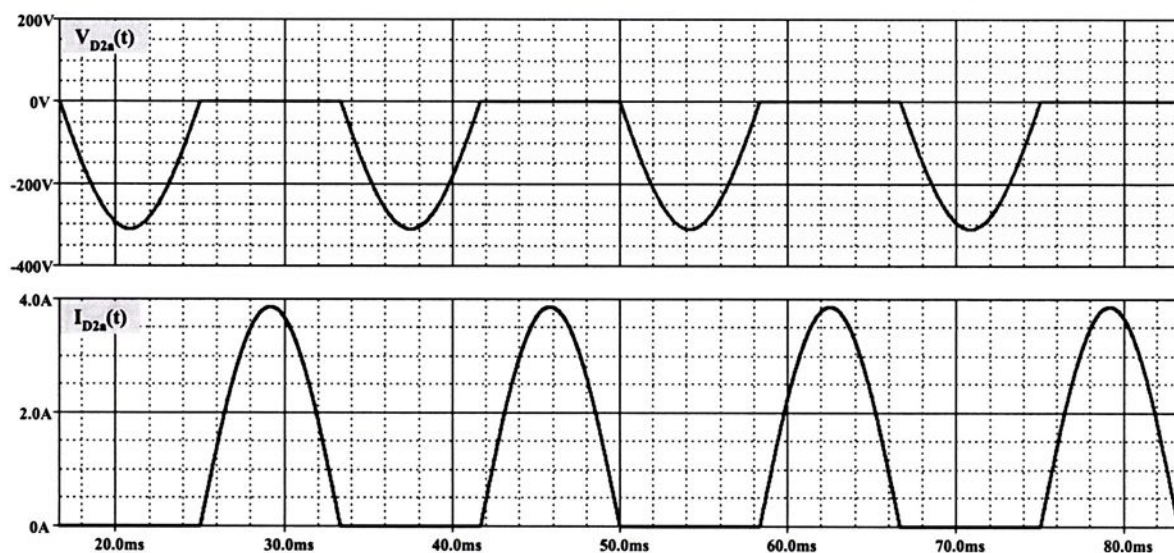


Figura 5.47 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_{2a} para configuração 1.

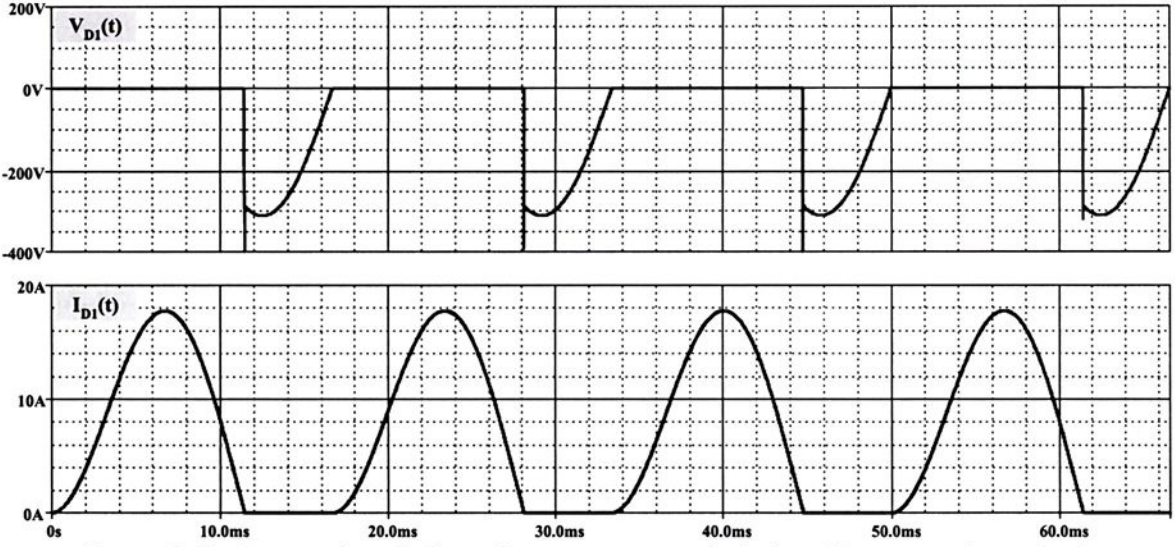


Figura 5.48 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_{1a} para configuração 1.

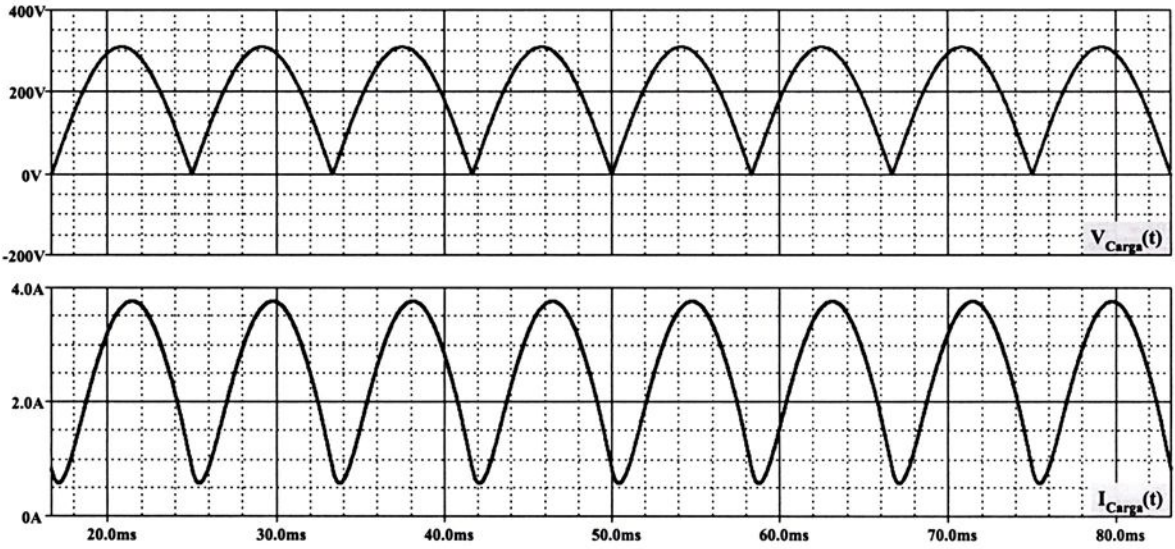


Figura 5.49 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2.

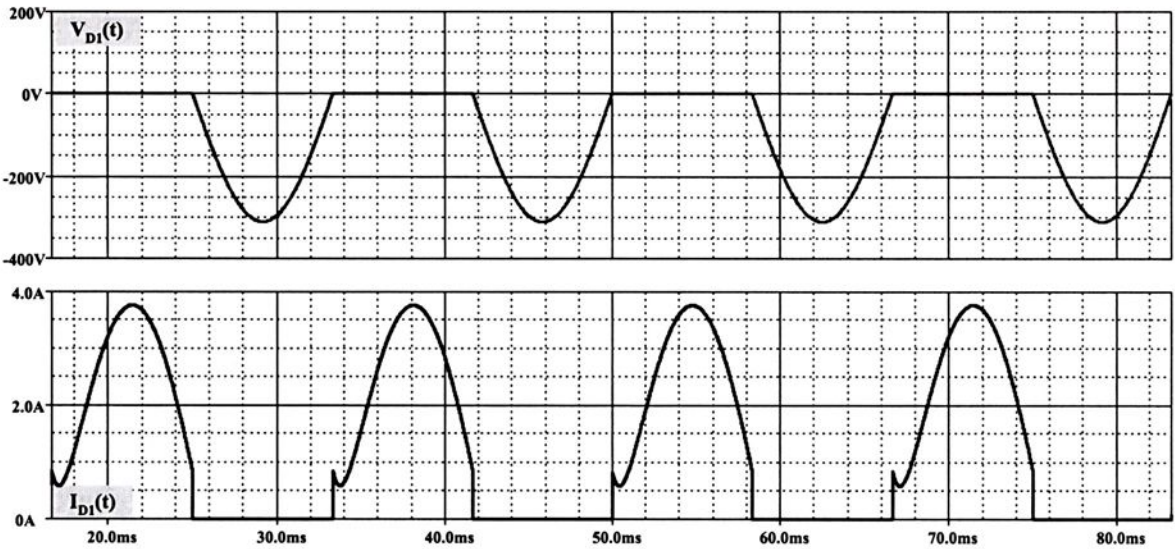


Figura 5.50 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 2.

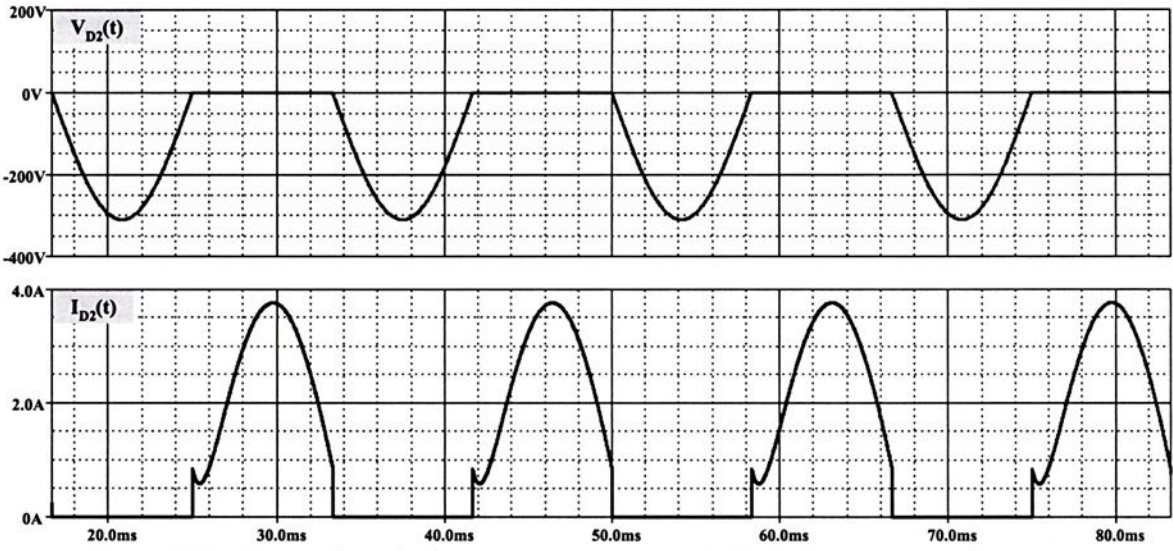


Figura 5.51 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para configuração 2.

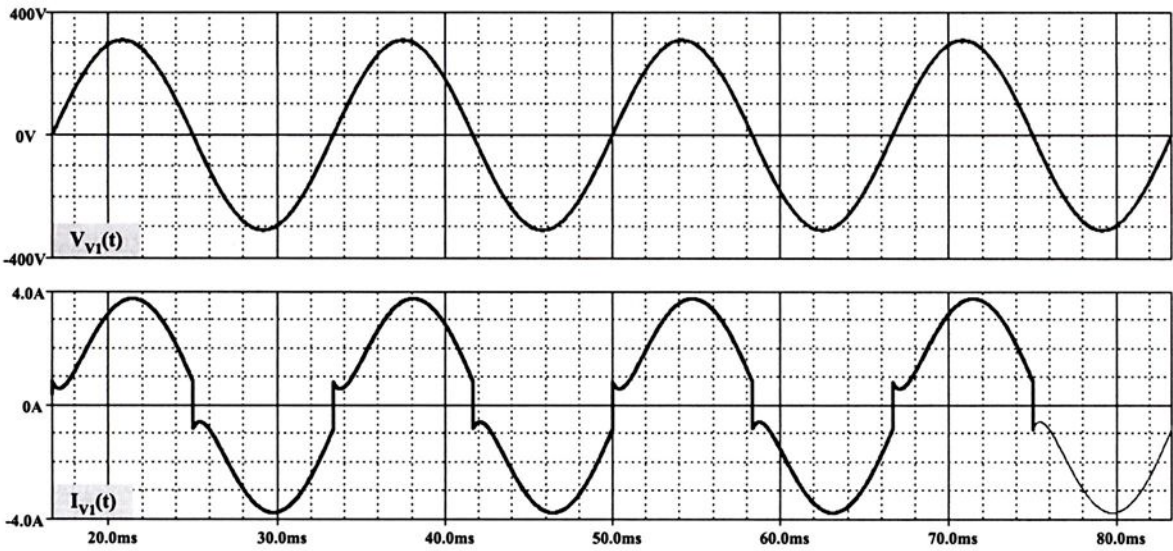


Figura 5.52 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para configuração 2

5.2.4.3 – Análise dos Resultados

Os resultados das intensidades dos valores médios, eficazes e de pico das formas de onda de tensão e corrente, referentes à configuração de carga 1 constam na Tabela 5.16, e, na Tabela 5.17 para a configuração 2.

Tabela 5.16 – Resultados Obtidos para Configuração 1

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	198,0696 V	196,288 V	0,90
Corrente Média	2,47587 A	2,4536 A	0,90
Corrente Eficaz	2,75 A	2,72955 A	0,74
Diodo			
Corrente de Pico	3,8890872 A	3,8684 A	0,53
Corrente Média	1,237935 A	1,24185 A	0,31
Corrente Eficaz	1,9445436 A	1,9408 A	0,19
Tensão de Pico	-311,12698 V	-310,127 V	0,32

Tabela 5.17 – Resultados Obtidos para Configuração 2

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	198,0696 V	196,28 V	0,91
Corrente Média	2,47587 A	2,4493 A	1,08
Corrente Eficaz	2,6915808 A	2,67455 A	0,64
Diodo			
Corrente de Pico	3,7880452 A	3,7656A	0,60
Corrente Média	1,237935 A	1,23775 A	0,014
Corrente Eficaz	1,903235 A	1,9018 A	0,075
Tensão de Pico	-311,12698 V	-310,129 V	0,32

A Tabela 5.18 apresenta os resultados das componentes harmônicas das formas de onda de tensão e corrente na carga, referentes à configuração 2.

Tabela 5.18 – Resultados das componentes harmônicas das formas de onda de tensão e corrente na carga obtidos para Configuração 2

	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Tensão			
Componente DC	198,0696 V	196,226 V	0,93
Componente Ordem 2	132,04639 V	132,0 V	0,48
Componente Ordem 4	26,409279 V	26,37 V	0,14
Componente Ordem 6	11,318262 V	11,32 V	0,015
Componente Ordem 8	6,2879233 V	6,28 V	0,12
Corrente			
Componente DC	2,47587 A	2,45291 A	0,93
Componente Ordem 2	1,4931011 A	1,492 A	0,073
Componente Ordem 4	0,24023438 A	0,2397 A	0,22
Componente Ordem 6	0,08170166 A	0,08153 A	0,21
Componente Ordem 8	0,036835425 A	0,0366 A	0,64

De acordo com as formas de onda apresentadas e resultados obtidos através das applets desenvolvidas para este circuito retificador, quando comparados com o Pspice, mais uma vez, em função das considerações idealizadas admitidas para o desenvolvimento do trabalho, validou-se os mesmos.

5.2.5 – Retificador Trifásico com Ponto Médio

As duas configurações de carga empregadas nos procedimentos de simulação são apresentadas na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 – Configurações dos parâmetros de simulação.

Configuração	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	V _o [V]
1	40	-	60	220
2	40	50	60	220

5.2.5.1 – Simulação Applets

As Figuras 5.53 até 5.62 ilustram o aplicativo desenvolvido, executando a simulação da topologia para as configurações de carga 1, do tipo puramente resistiva, e, do tipo R-L na configuração 2.

A opção de visualização das formas de onda das componentes harmônicas da corrente e tensão sobre a carga é ilustrada na Figura 5.58, nesta ilustram-se as formas de onda referentes à soma total das componentes e uma tabela contendo os valores das componentes, através de seus valores de pico.

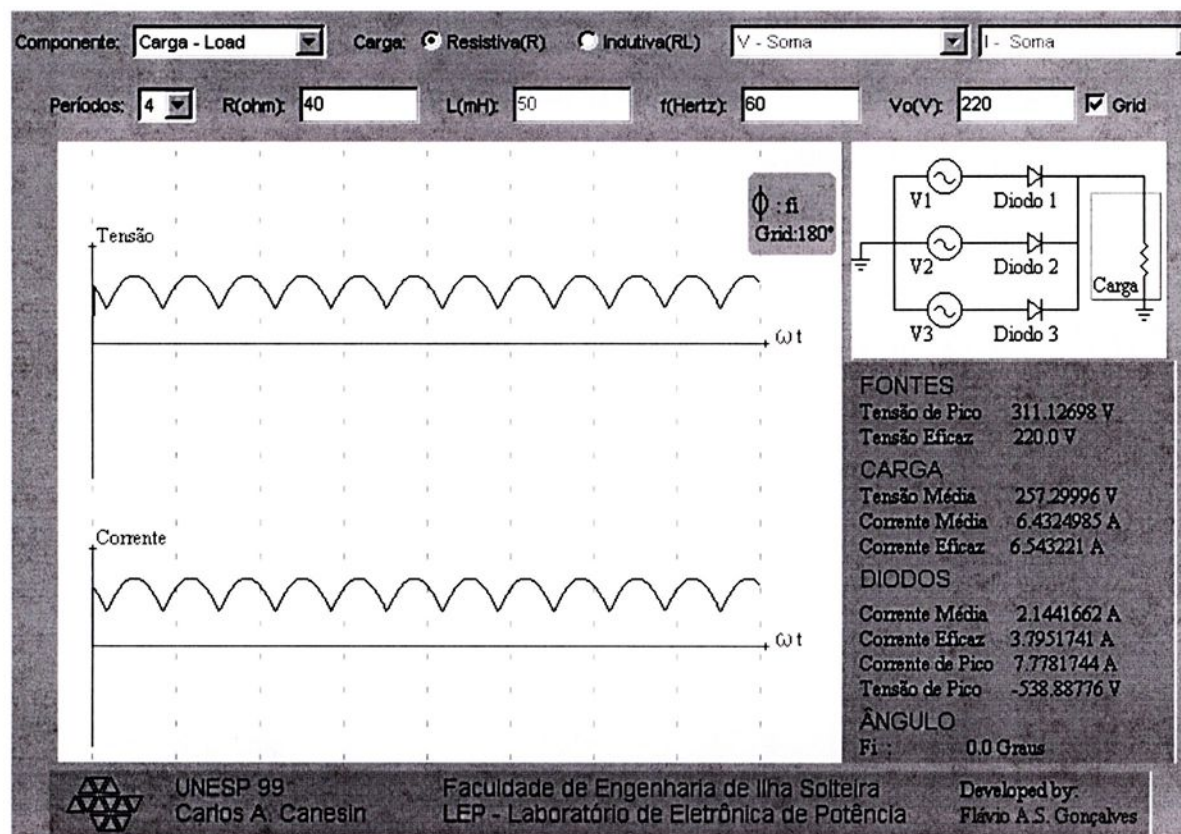


Figura 5.53 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

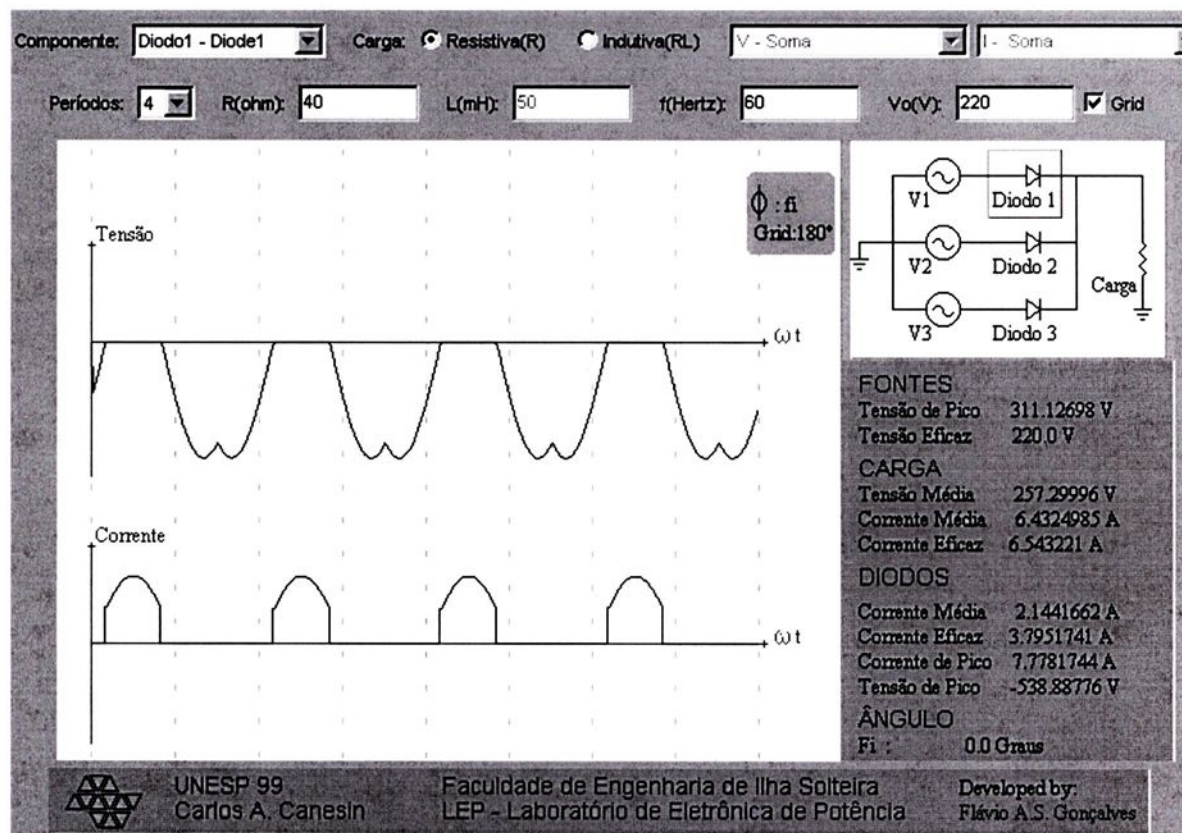


Figura 5.54 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 1.

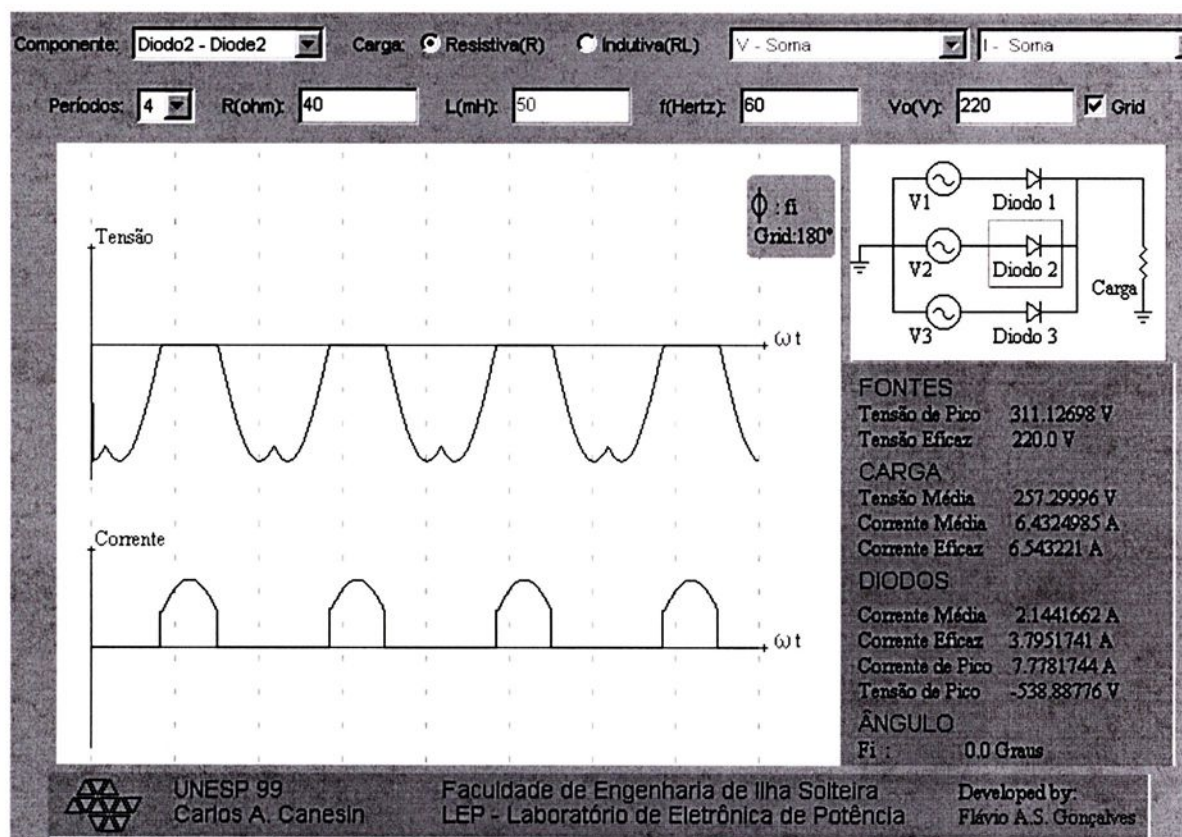


Figura 5.55 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para configuração 1.

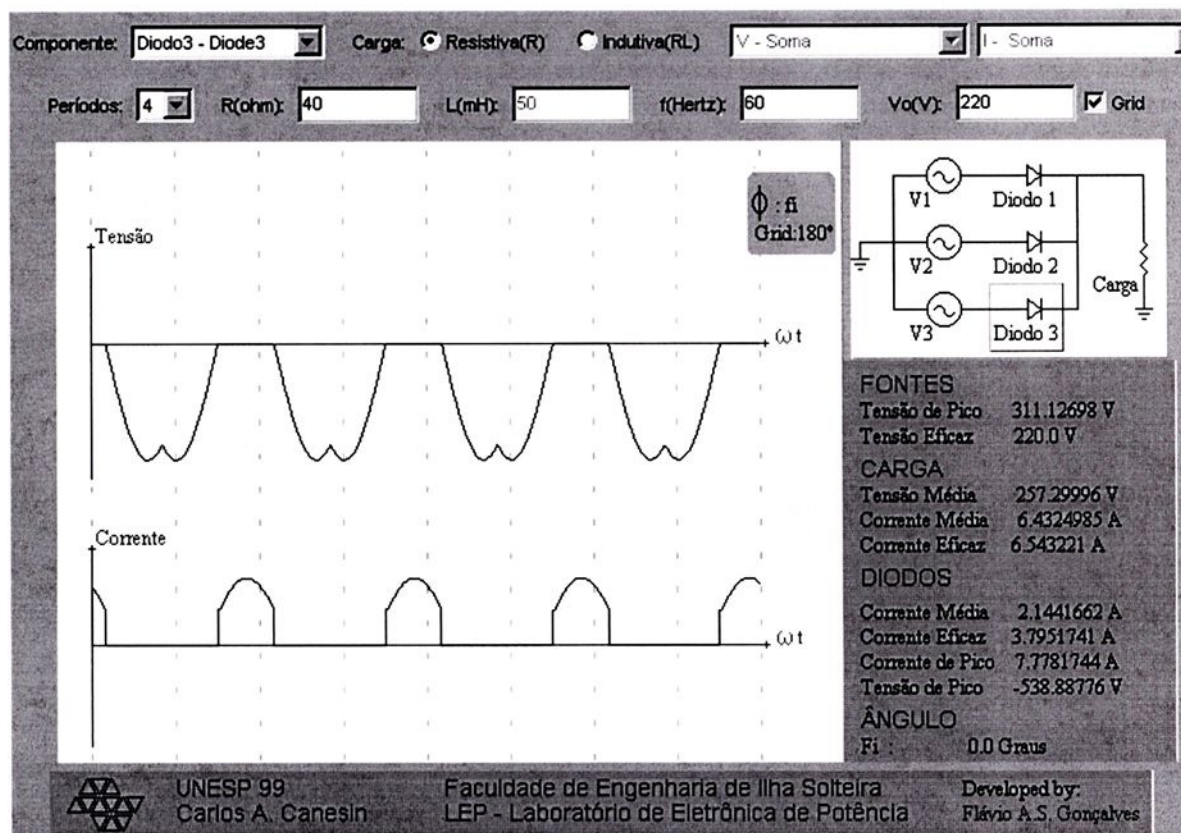


Figura 5.56 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_3 para configuração 1.

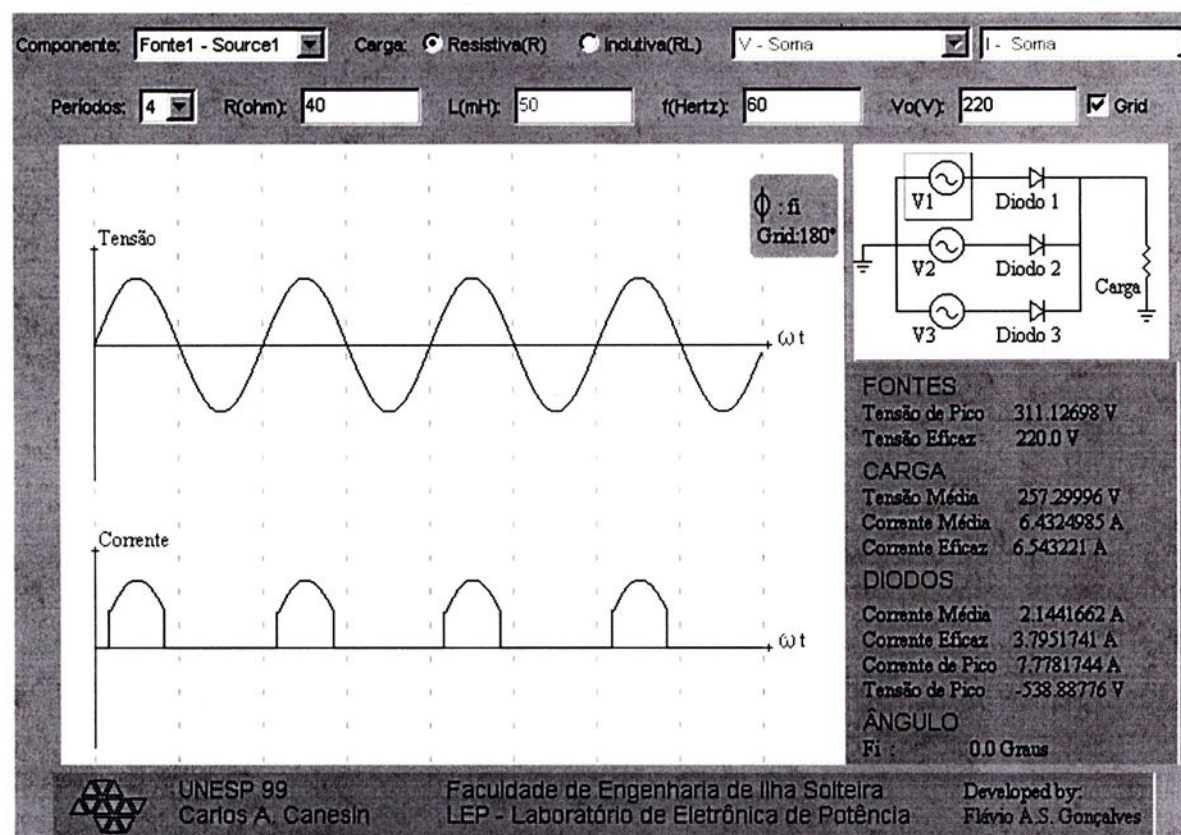


Figura 5.57 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para a configuração 1.

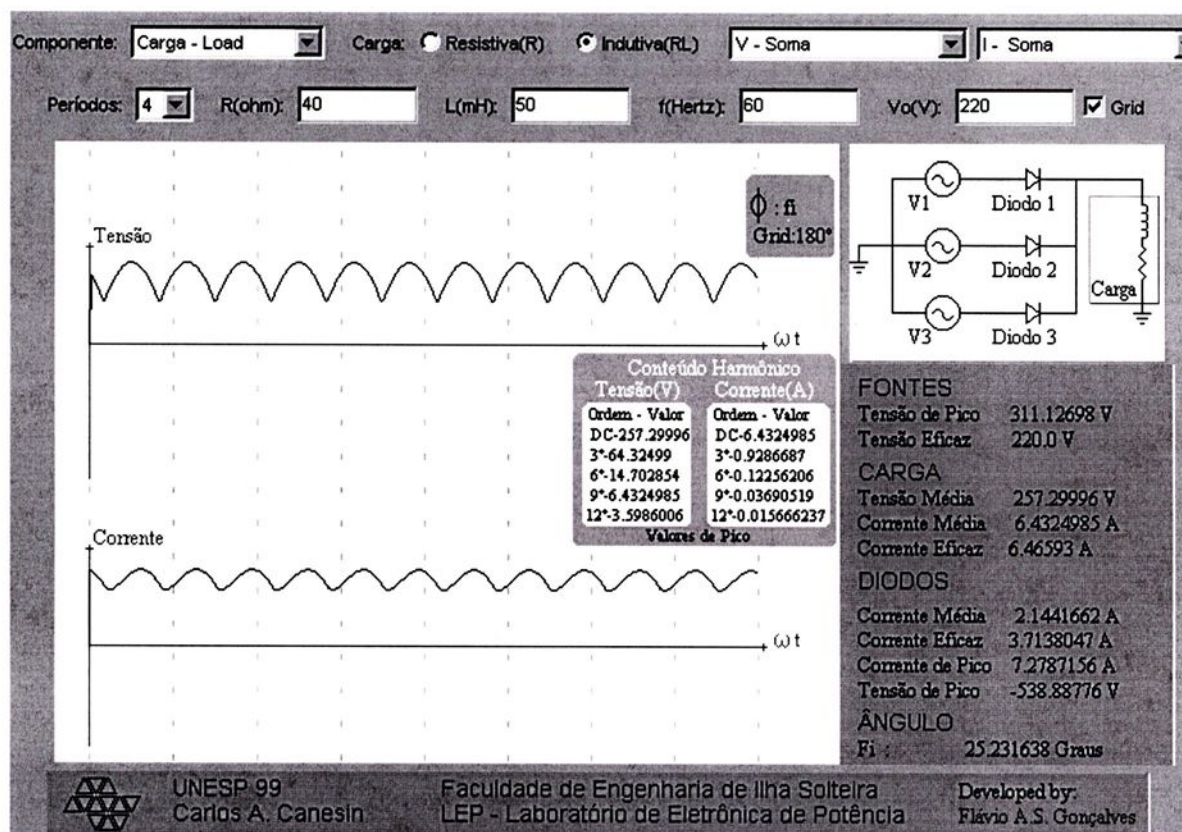


Figura 5.58 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2, e análise harmônica.

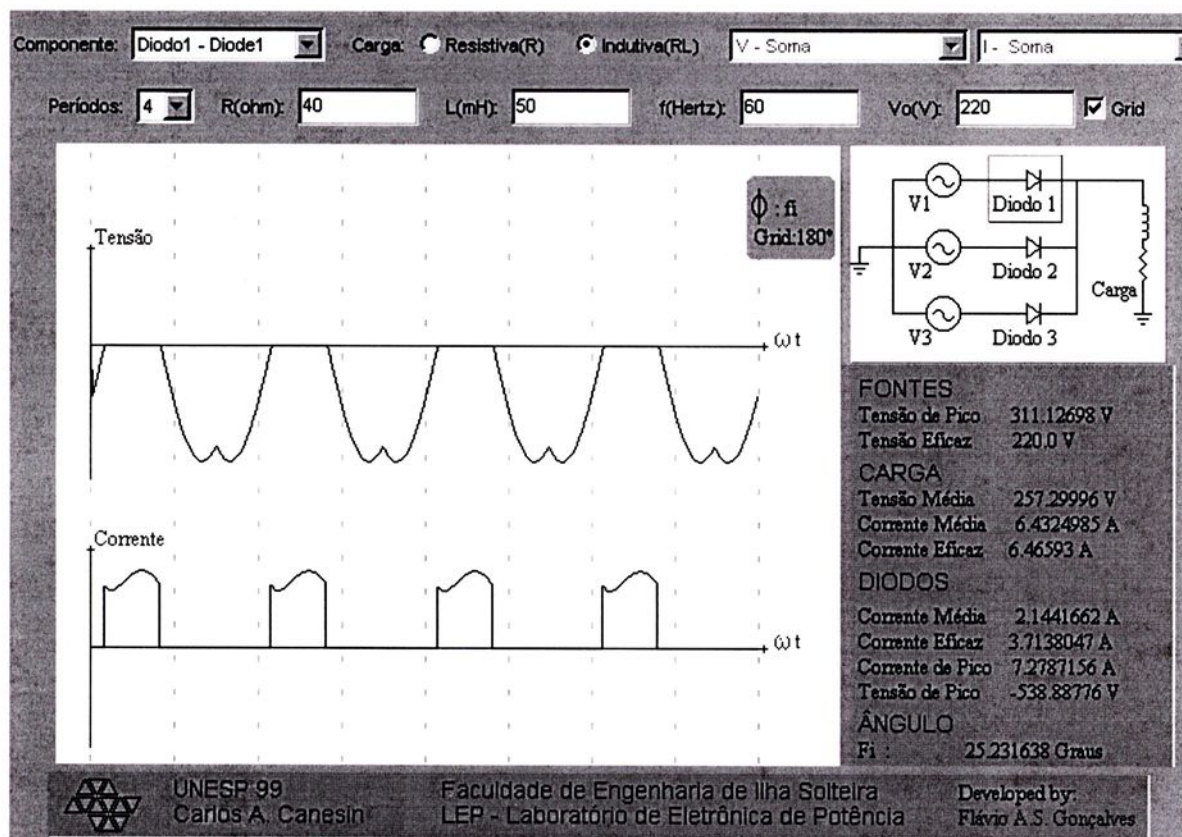


Figura 5.59 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 2.

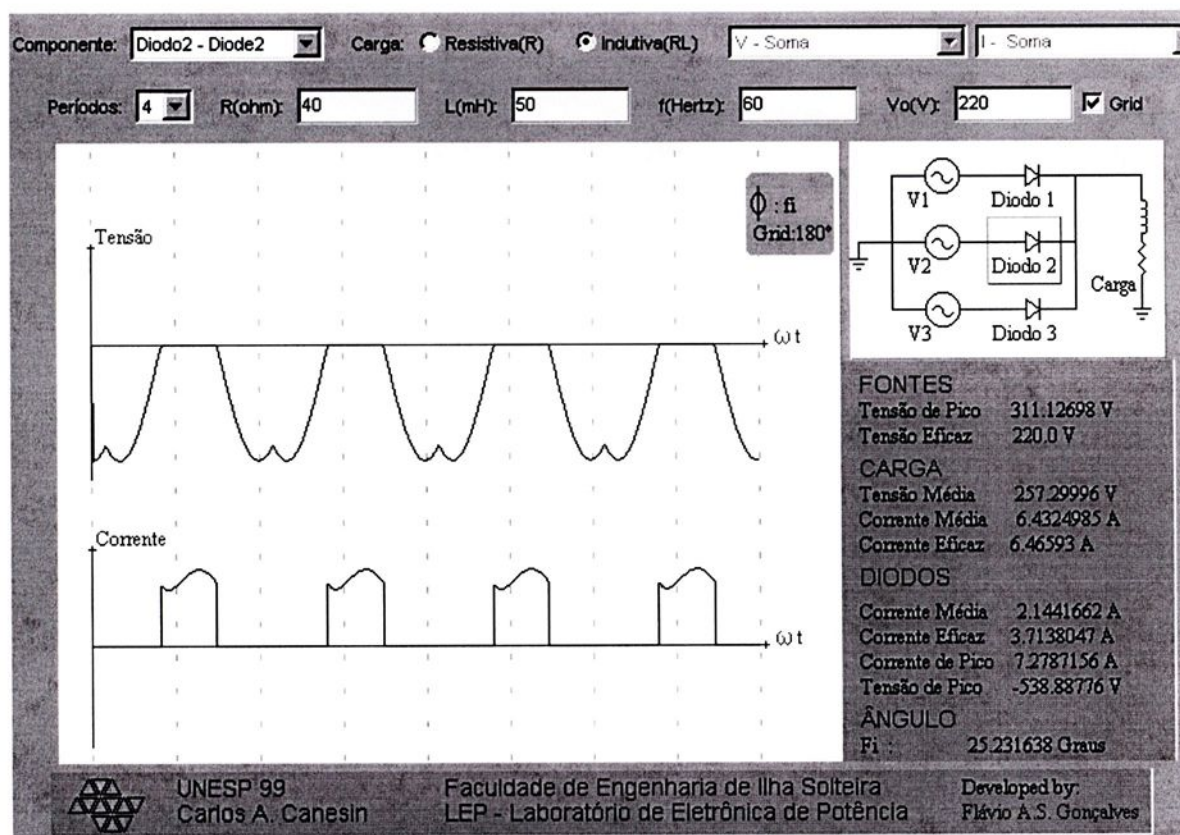


Figura 5.60 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para configuração 2.

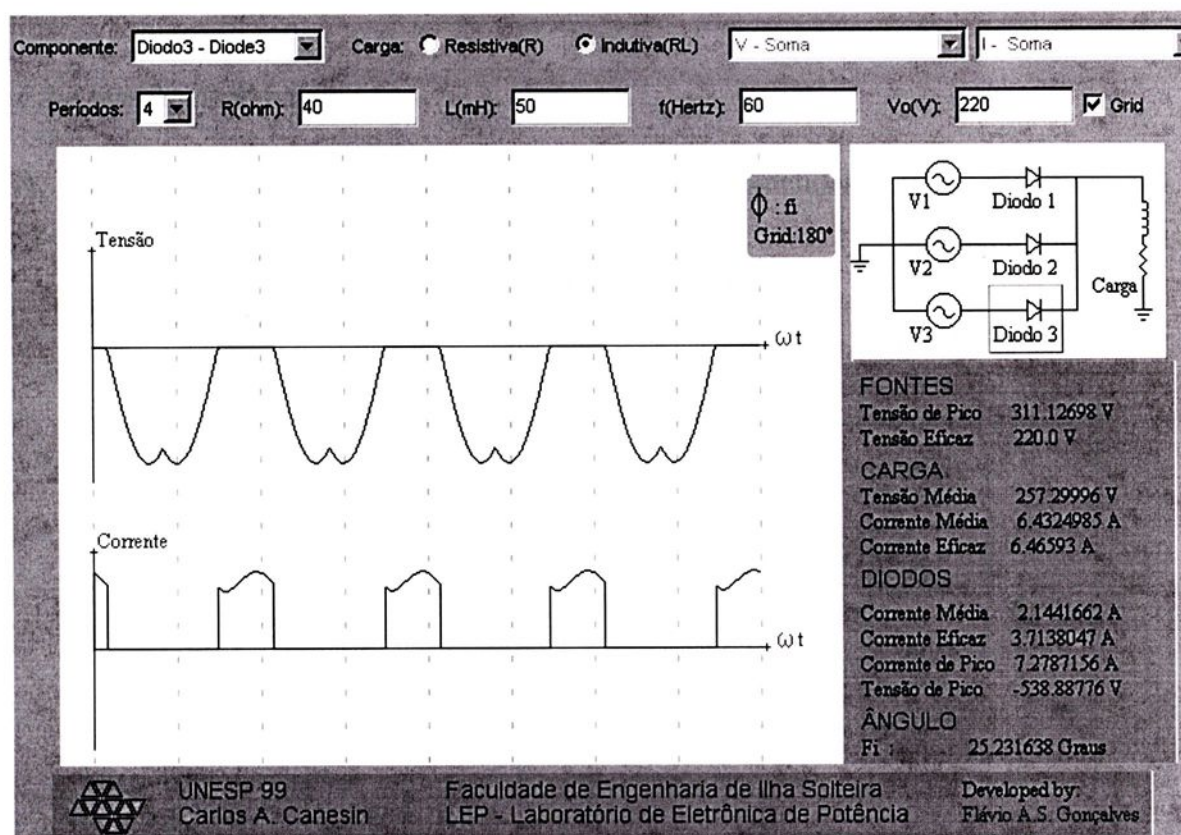


Figura 5.61 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_3 para configuração 2.

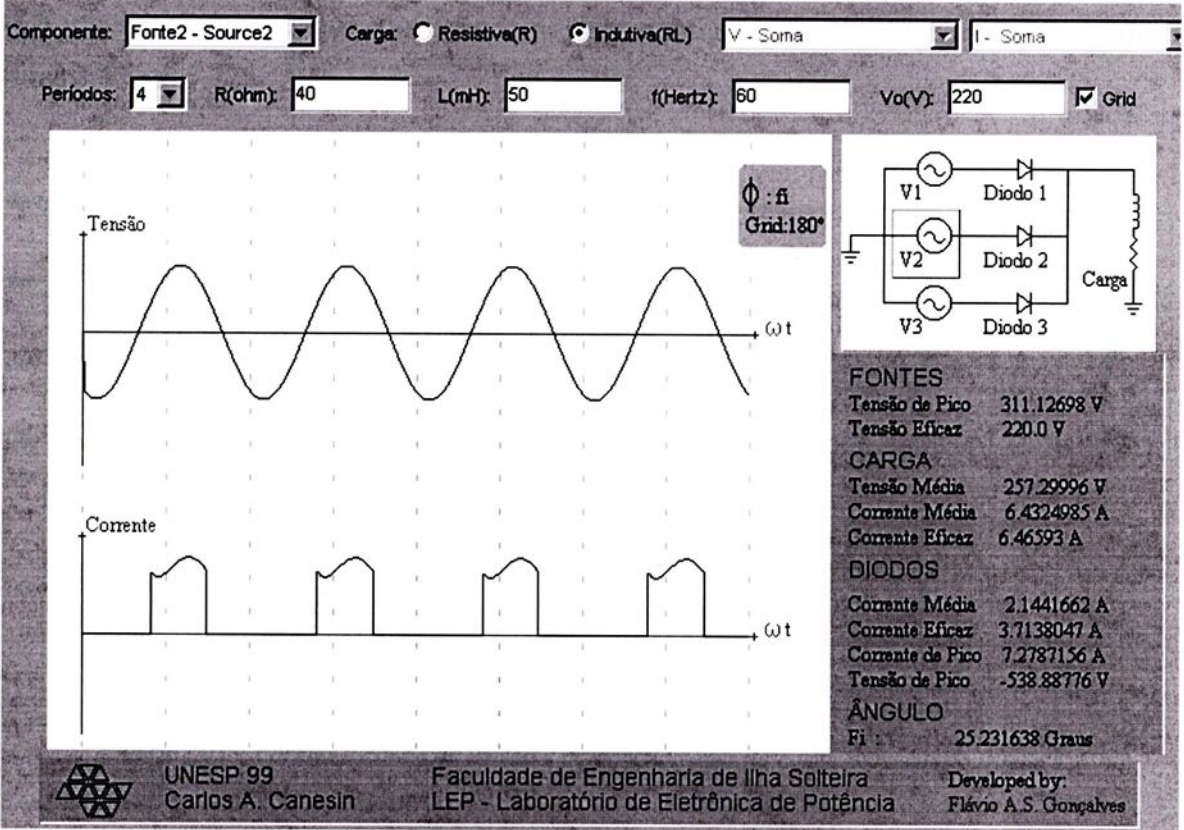
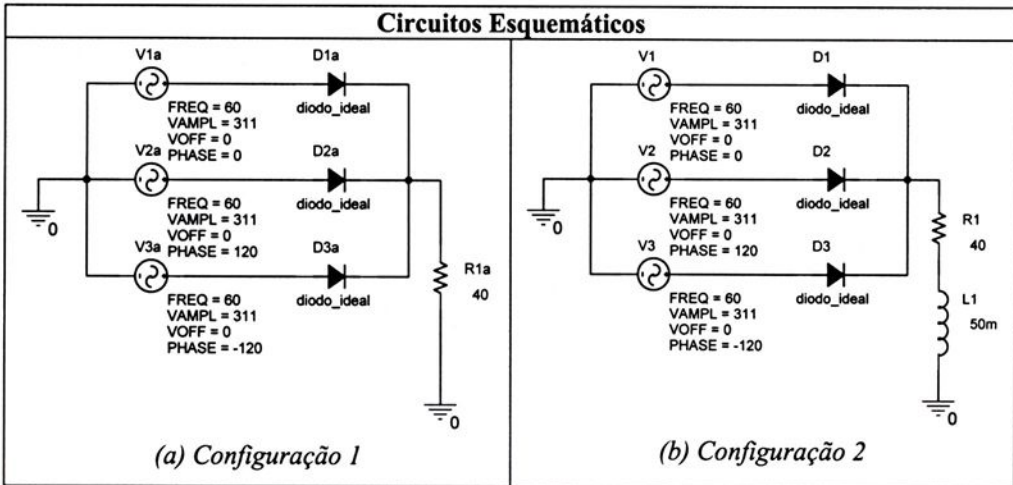


Figura 5.62 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_2 para configuração 2.

5.2.5.2 – Simulação Pspice

A Tabela 5.20 apresenta os circuitos esquemáticos submetidos à simulação, referentes às duas configurações de carga empregadas.

Tabela 5.20 – Circuitos esquemáticos da topologia utilizados na simulação.



Os resultados das formas de onda de tensão e corrente através de determinados componentes para a topologia em questão, empregando as duas configurações de carga, estão ilustrados nas Figuras 5.63 até 5.72 .

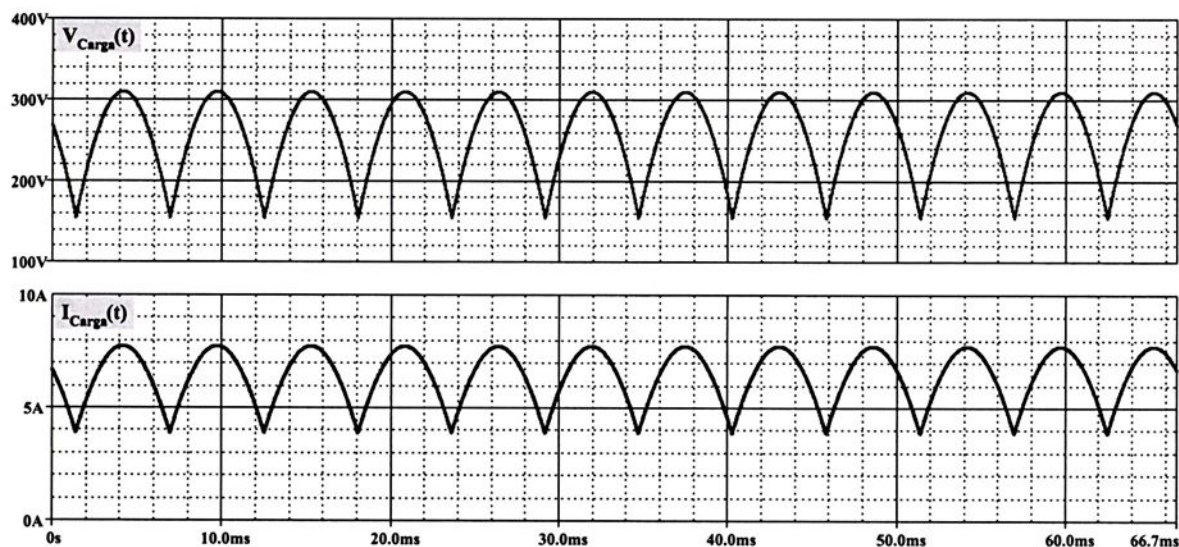


Figura 5.63 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

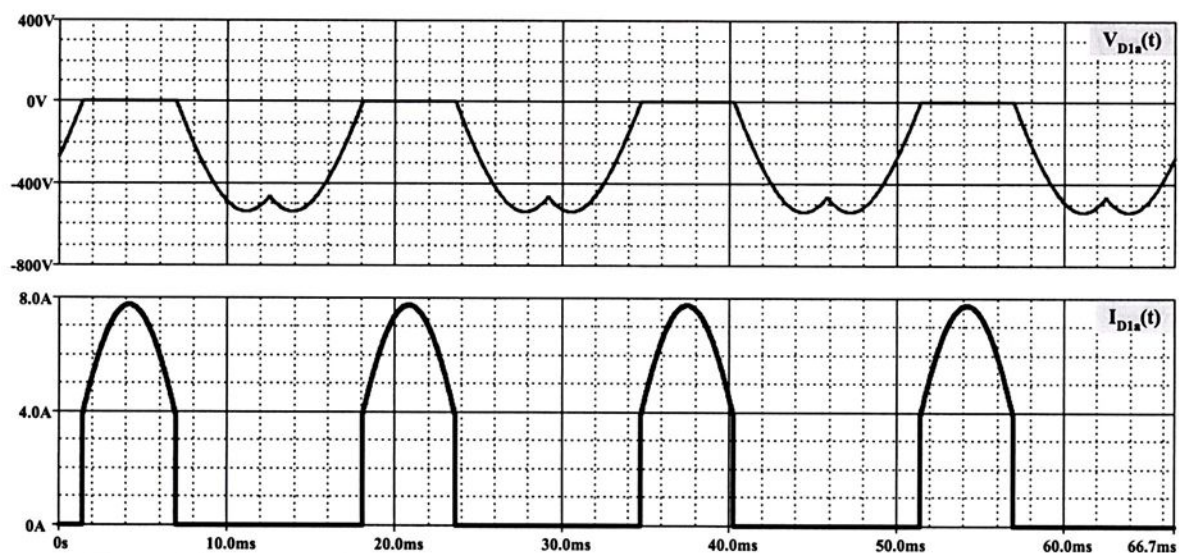


Figura 5.64 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_{1a} para configuração 1.

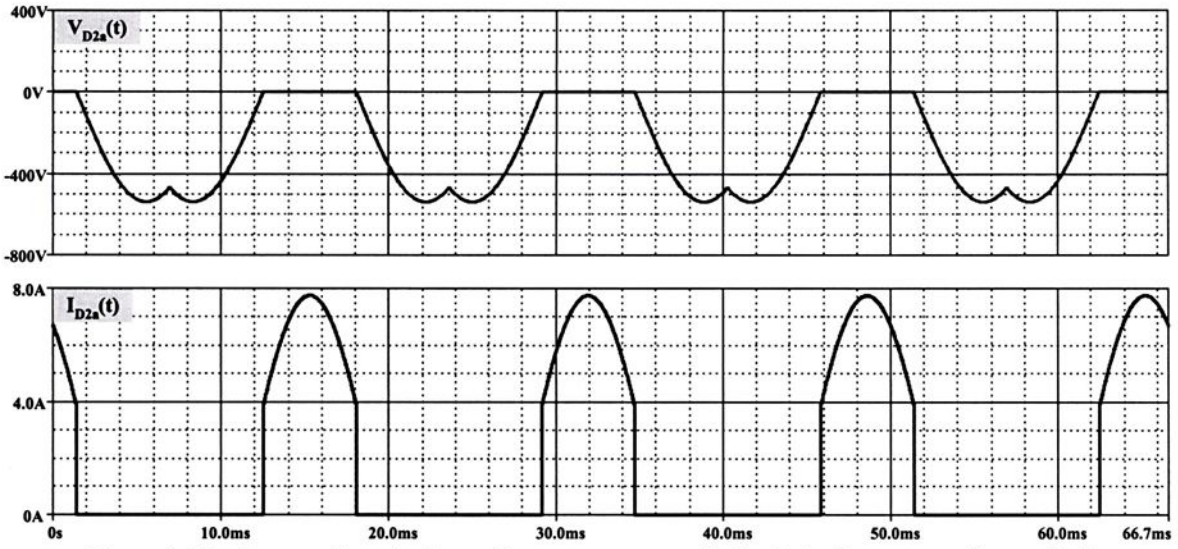


Figura 5.65 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_{2a} para configuração 1.

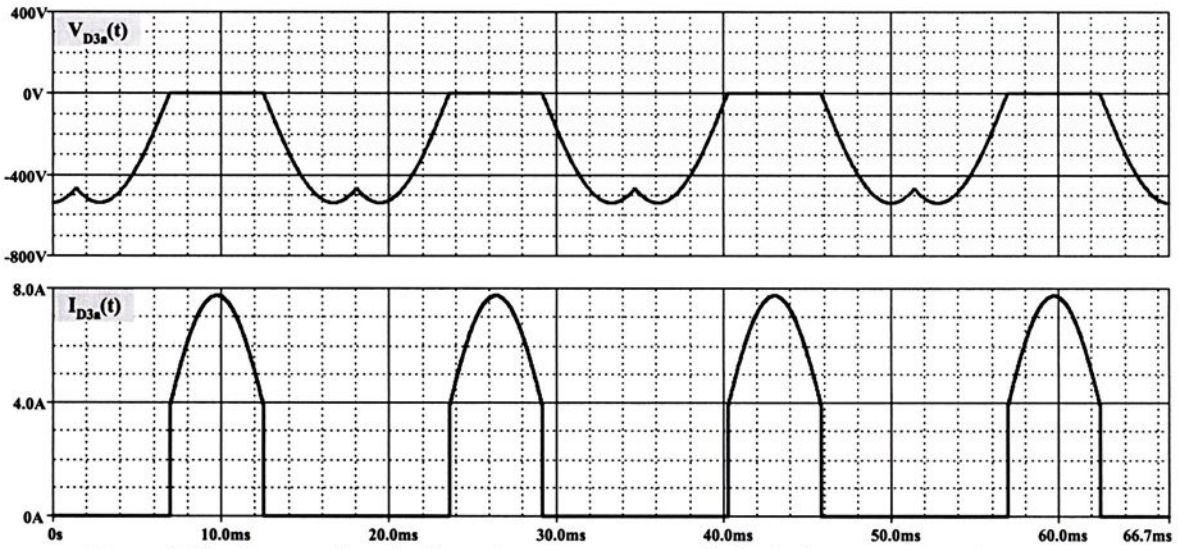


Figura 5.66 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_{3a} para configuração 1.

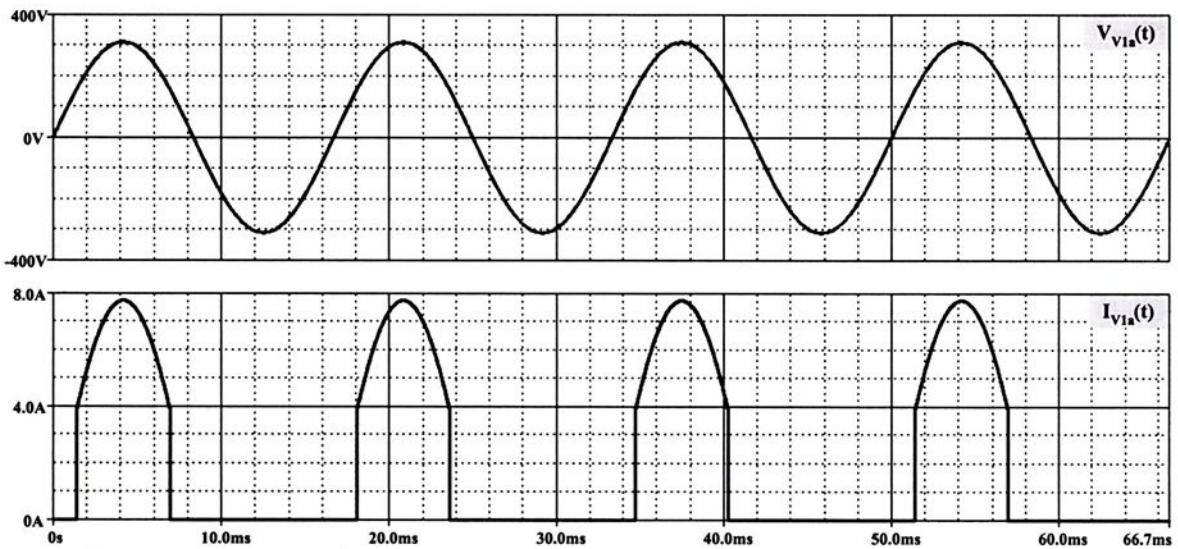


Figura 5.67 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_{1a} para configuração 1.

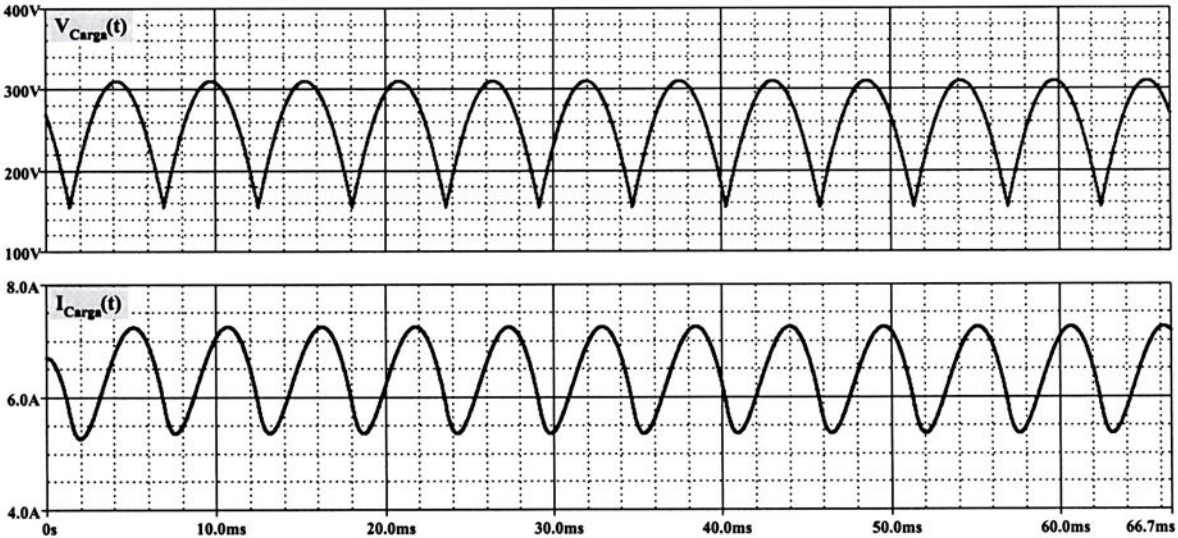


Figura 5.68 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 2.

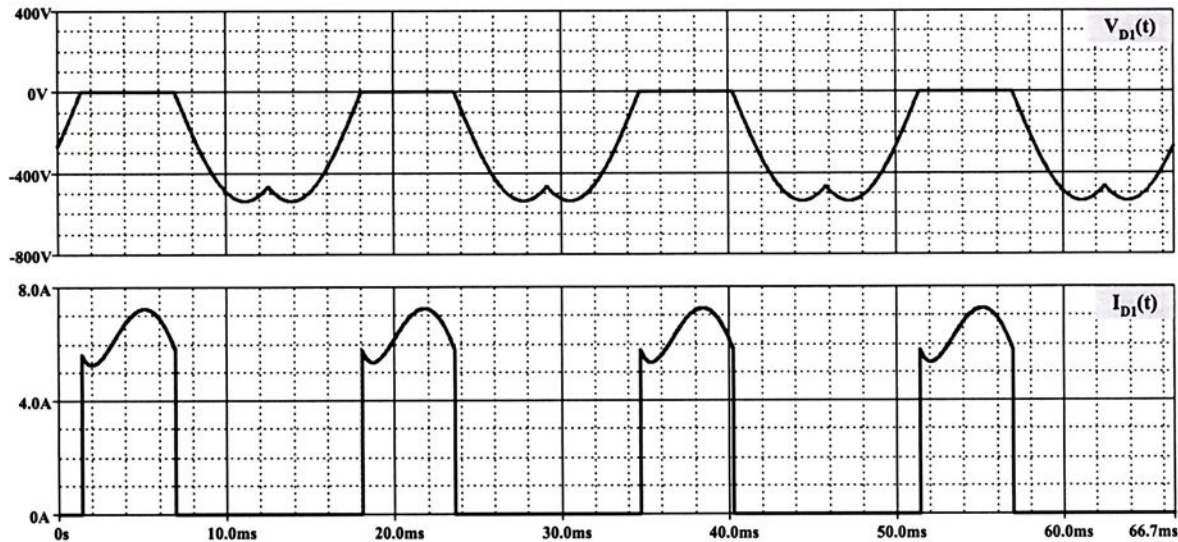


Figura 5.69 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para a configuração 2.

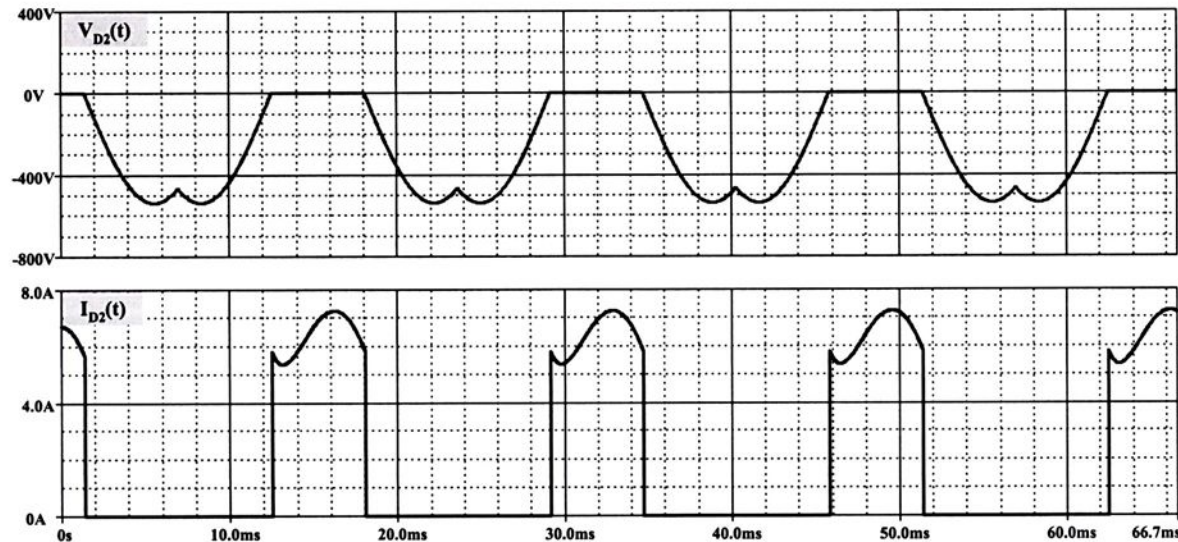


Figura 5.70 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para a configuração 2.

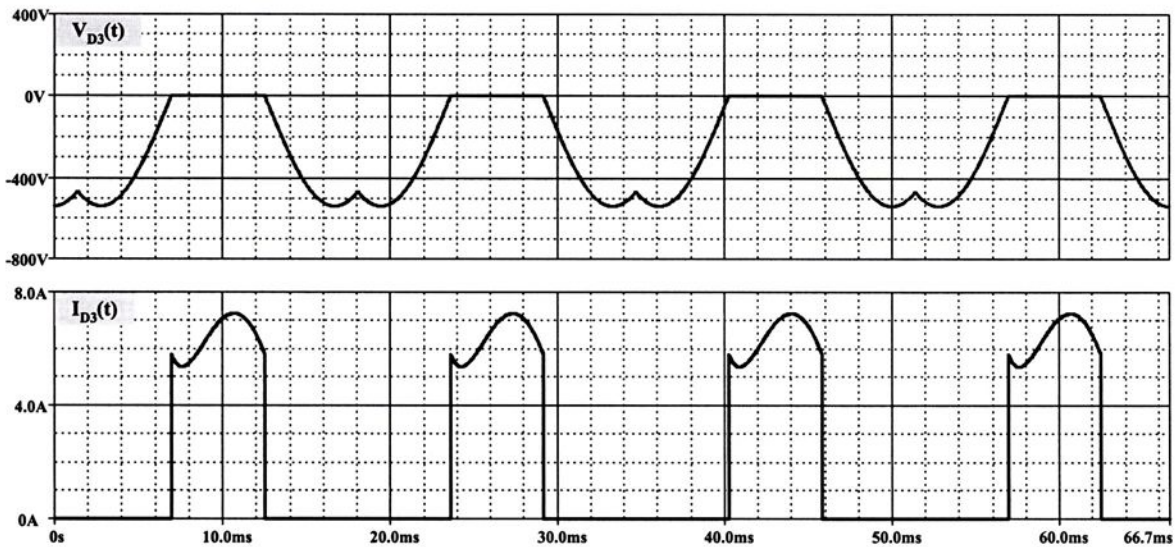


Figura 5.71 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_3 para a configuração 2.

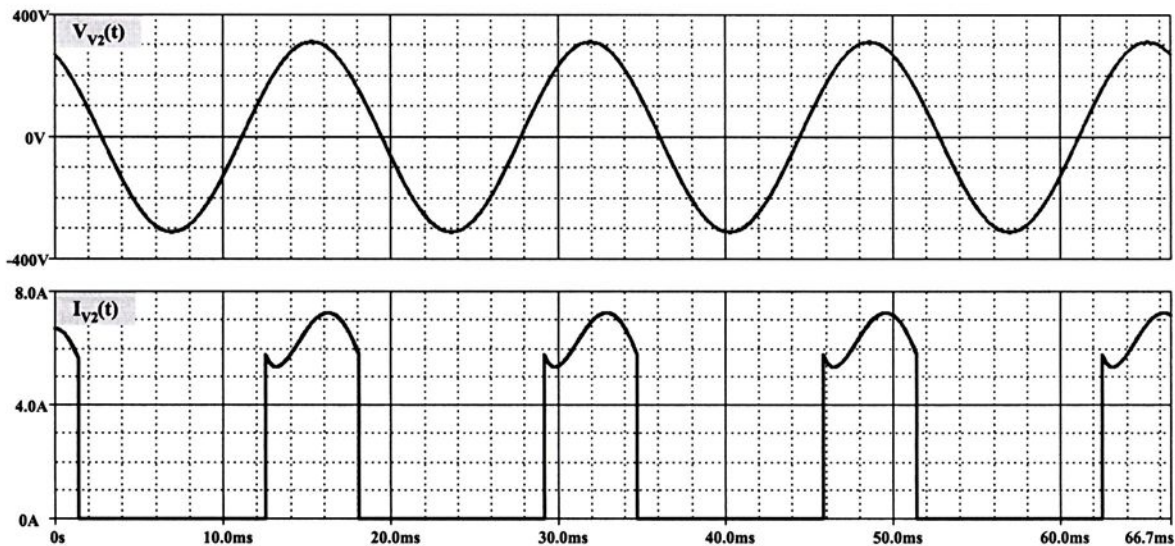


Figura 5.72 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_2 para a configuração 2.

5.2.5.3 – Análise dos Resultados

Os resultados das intensidades dos valores médios, eficazes e de pico das formas de onda de tensão e corrente através de determinados componentes da topologia em questão, obtidas para as duas configurações de carga, são apresentadas nas Tabelas 5.21 e 5.22.

Tabela 5.21 – Resultados Obtidos para Configuração 1

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	257,29996 V	246,143 V	0,45
Corrente Média	6,4324985 A	6,4039 A	0,44
Corrente Eficaz	6,543221 A	6,51055 A	0,50
Diodo			
Corrente de Pico	7,7781744 A	7,7581 A	0,25
Corrente Média	2,1441662 A	2,16495 A	0,96
Corrente Eficaz	3,7951741 A	3,7865 A	0,22
Tensão de Pico	-538,88776 V	-537,778 V	0,20

Tabela 5.22 – Resultados Obtidos para Configuração 2

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	257,29996 V	256,1425 V	0,45
Corrente Média	6,4324985 A	6,405 A	0,43
Corrente Eficaz	6,46593 A	6,4391 A	0,42
Diodo			
Corrente de Pico	7,2787156 A	7,2587A	0,27
Corrente Média	2,1441662 A	2,16775 A	1,08
Corrente Eficaz	3,7138047 A	3,75255 A	1,03
Tensão de Pico	-538,88776 V	-537,783 V	0,27

Tabela 5.23 – Resultados das componentes harmônicas das formas de onda de tensão e corrente na carga obtidos para configuração 2

	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Tensão			
Componente DC	257,29996 V	256,3070 V	0,38
Componente Ordem 3	64,32499 V	64,30 V	0,038
Componente Ordem 6	14,702854 V	14,70 V	0,019
Componente Ordem 9	6,4324985 V	6,423 V	0,14
Componente Ordem 12	3,5986006 V	3,596 V	0,07
Corrente			
Componente DC	6,4324985 A	6,407564 A	0,38
Componente Ordem 3	0,9286687 A	0,9282 A	0,05
Componente Ordem 6	0,12256206 A	0,122 A	0,46
Componente Ordem 9	0,03690519 A	0,0368 A	0,28
Componente Ordem 12	0,015666237 A	0,01567 A	0,02

Os resultados obtidos para as componentes harmônicas das formas de onda de tensão e corrente na carga, para a configuração 2, estão contidos na Tabela 5.23 . Portanto, todos os resultados são validados, de acordo com a metodologia adotada, ou seja, comparando-se os mesmos com aqueles resultados obtidos através do Pspice.

5.2.6 – Retificador Trifásico em Ponte

A Tabela 5.24 apresenta as duas configurações carga empregadas nos procedimentos de simulação.

Tabela 5.24 – Configurações dos parâmetros de simulação.

Configuração	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	Vo [V]
1	80	-	60	220
2	80	60	60	220

5.2.6.1 – Simulação Applets

Os resultados de simulação obtidos, empregando-se as configurações de carga 1 e 2, no aplicativo desenvolvido para a topologia em referência, estão ilustrados nas Figuras 5.73 até 5.78 .

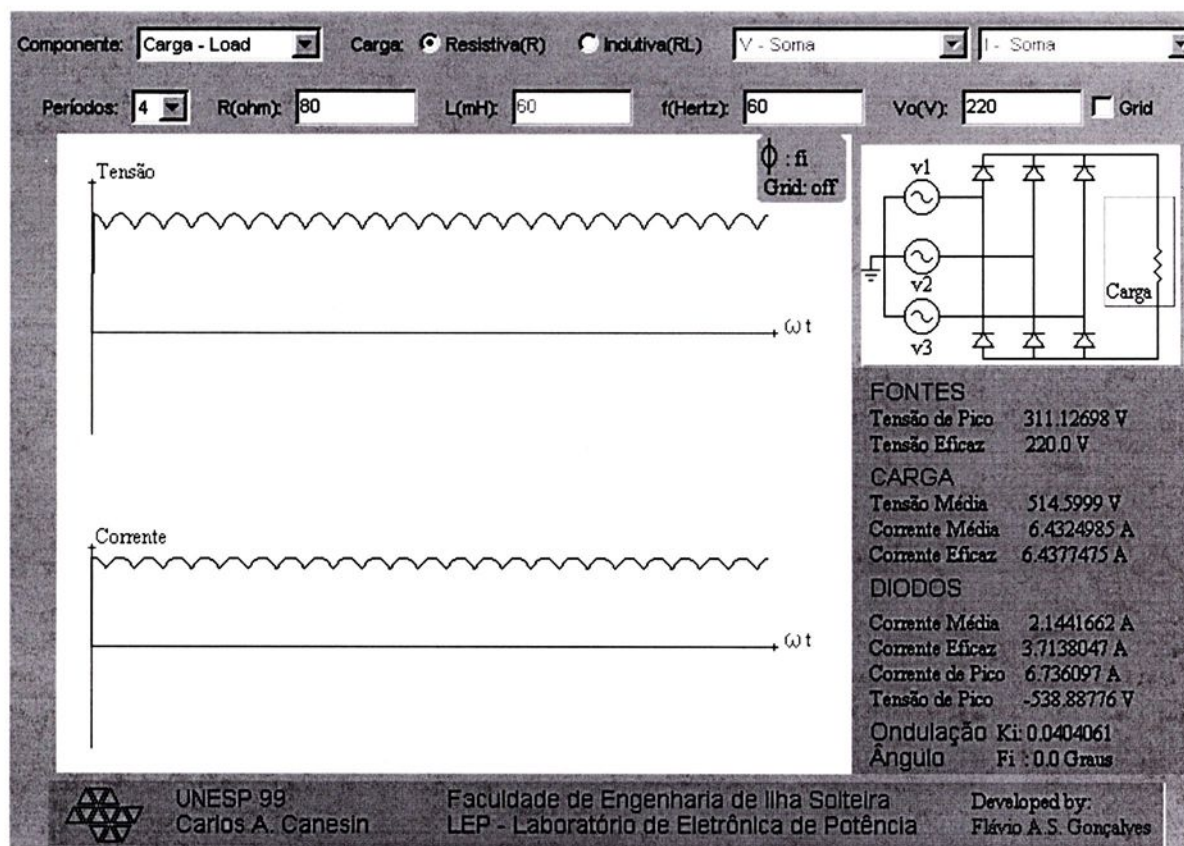


Figura 5.73 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 1.

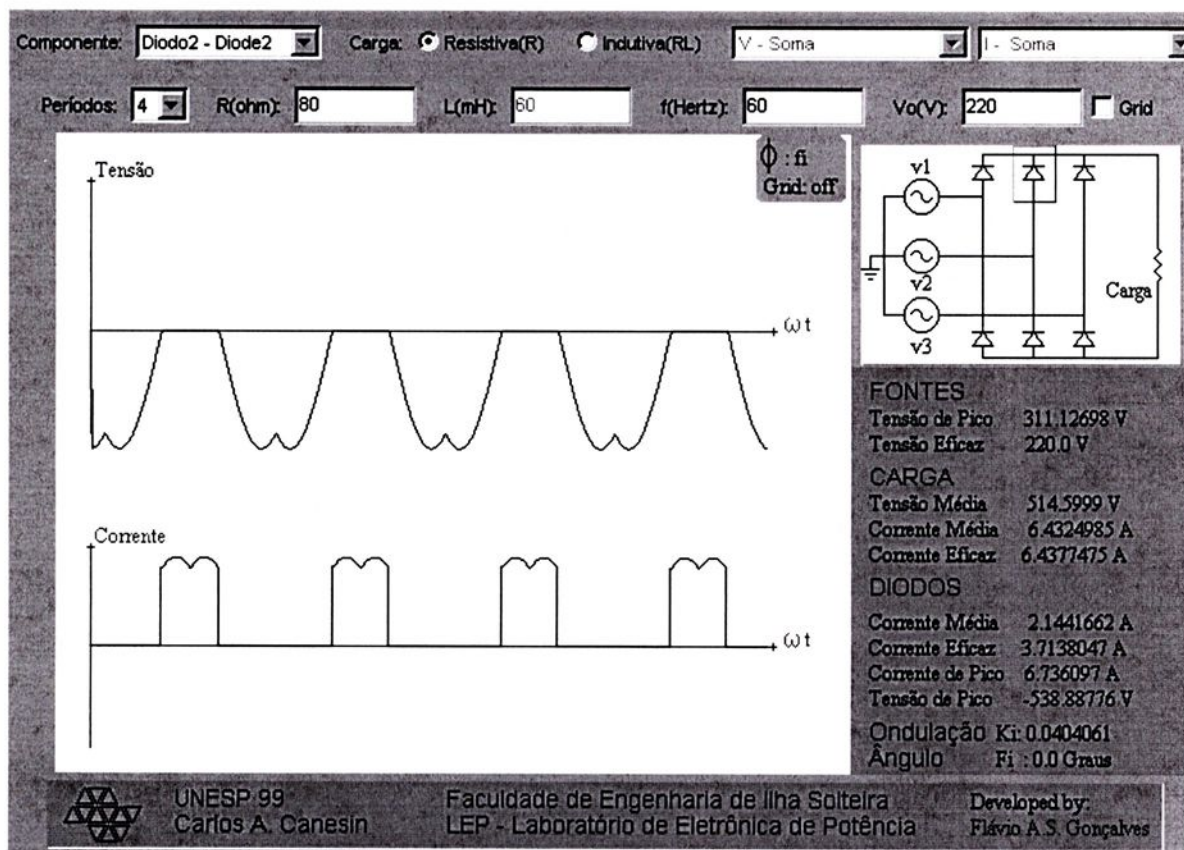


Figura 5.74 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_2 para a configuração 1.

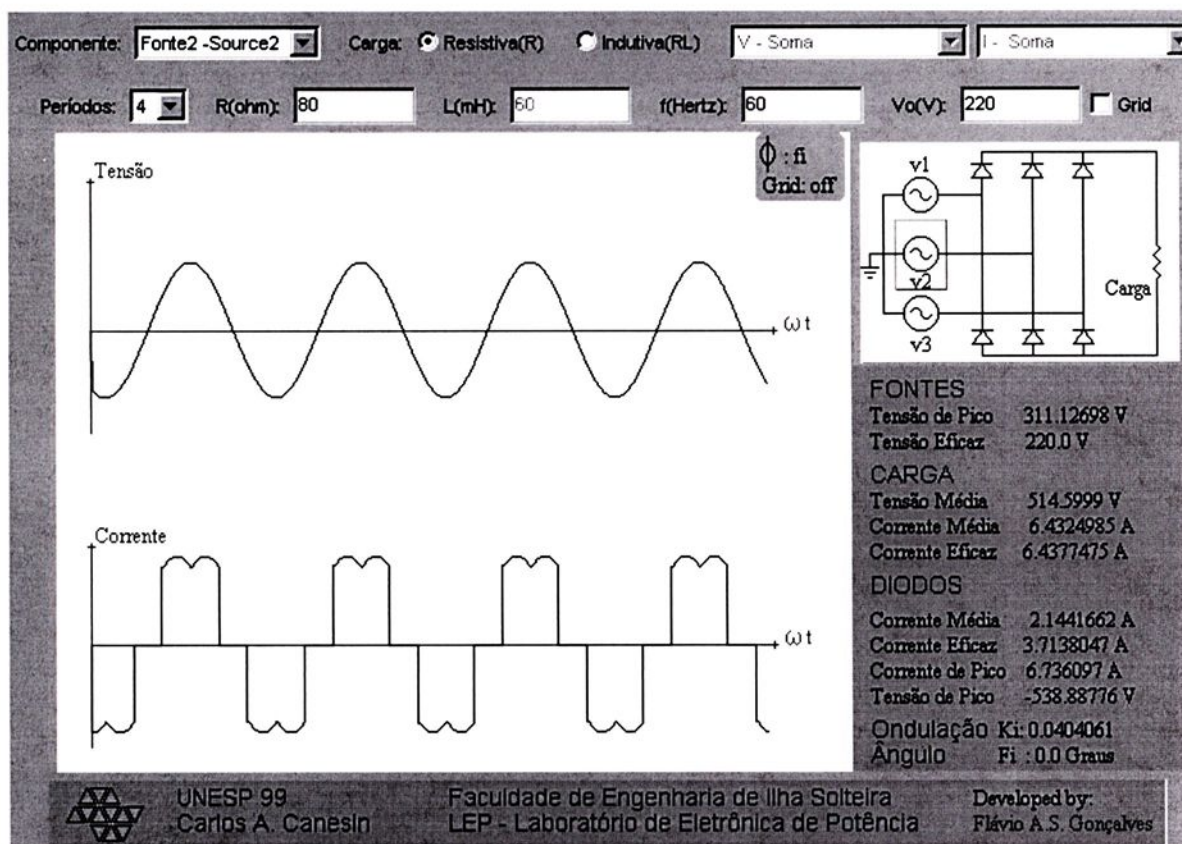


Figura 5.75 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_2 para a configuração 1.

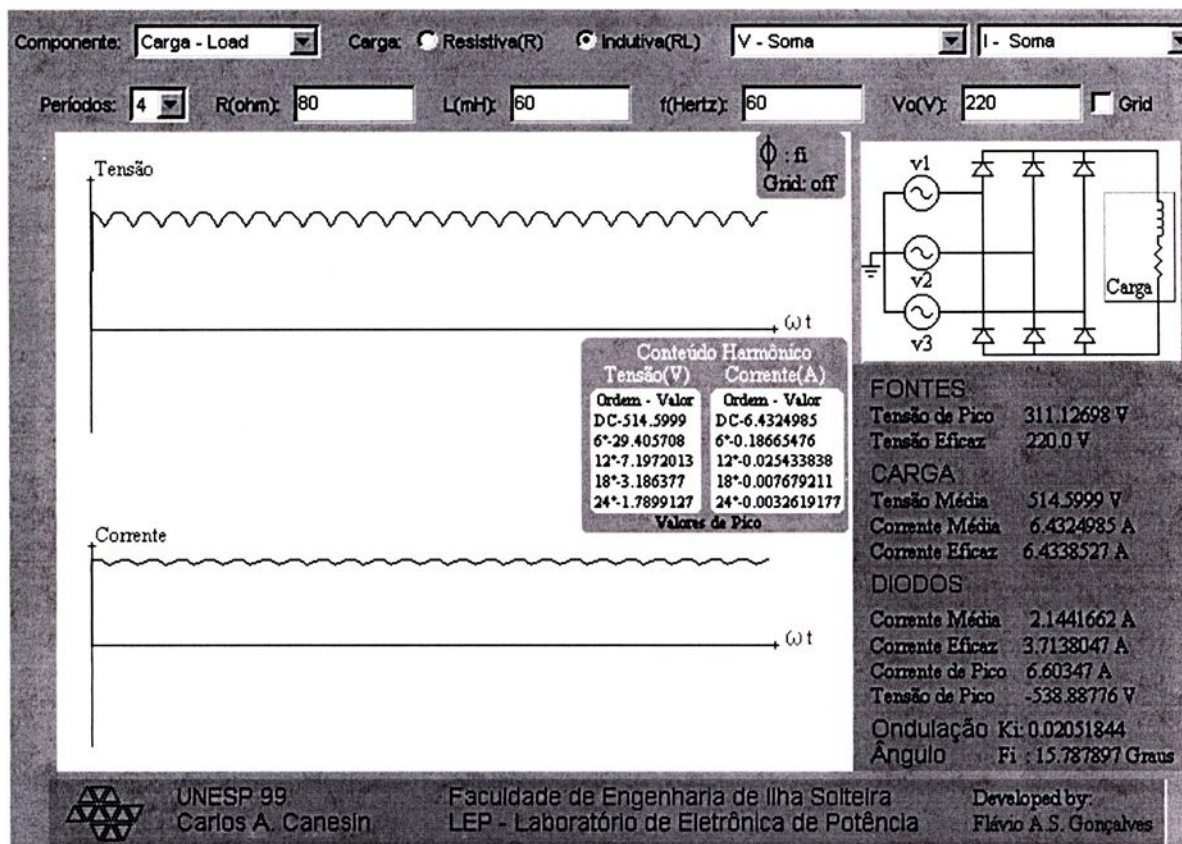


Figura 5.76 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 2 e análise harmônica.

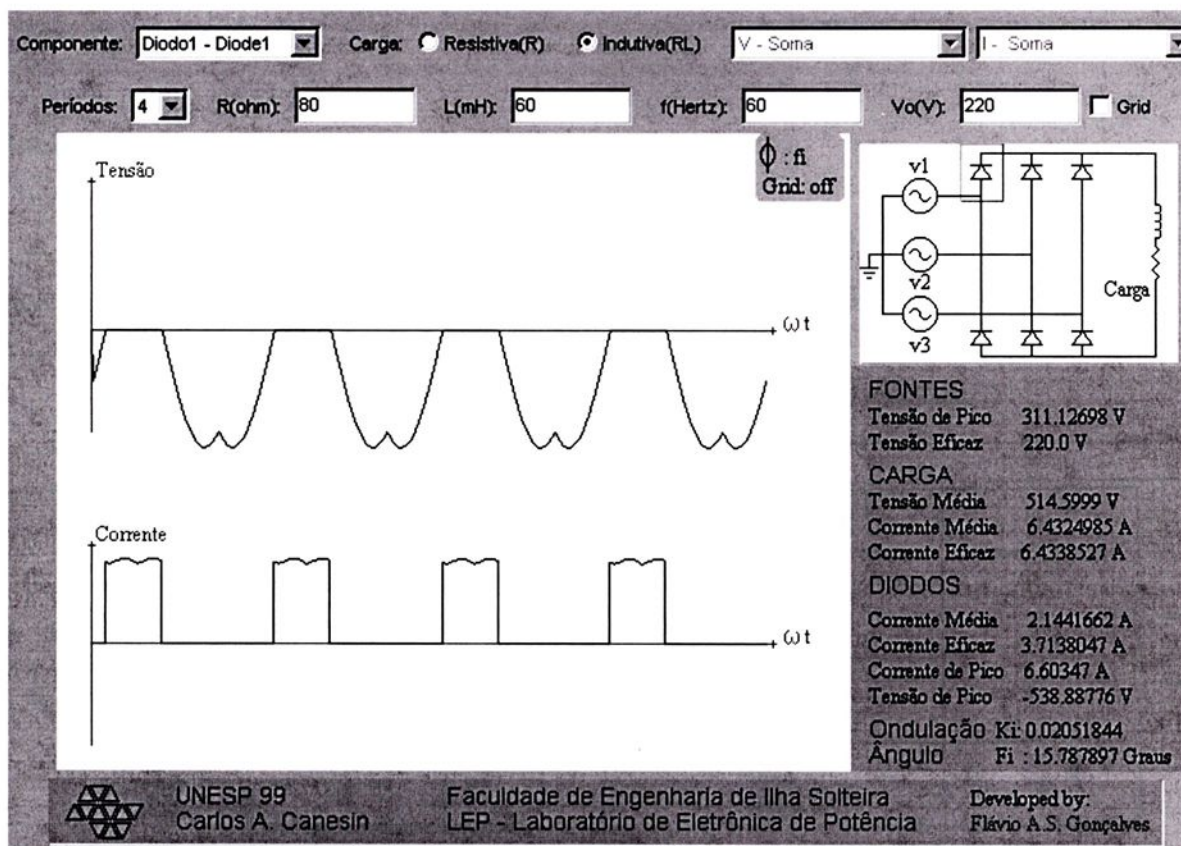


Figura 5.77 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para a configuração 2.

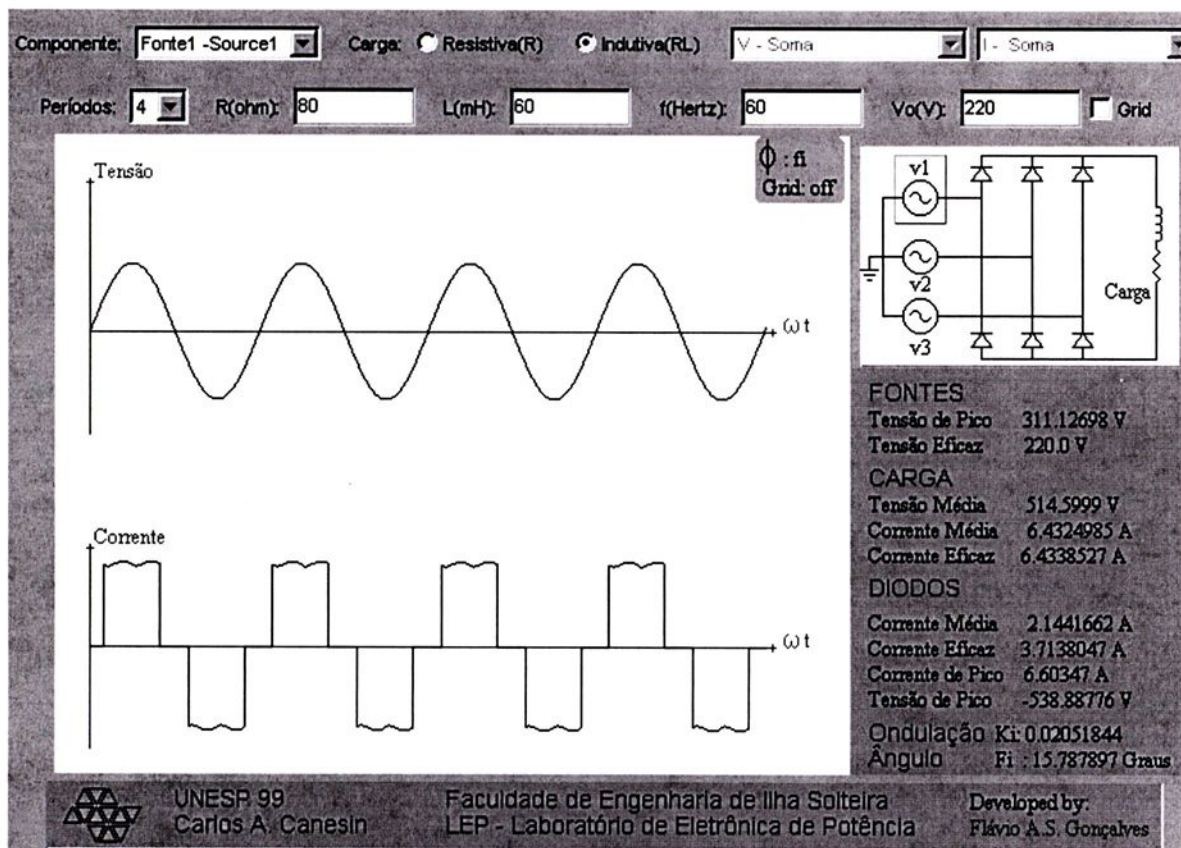
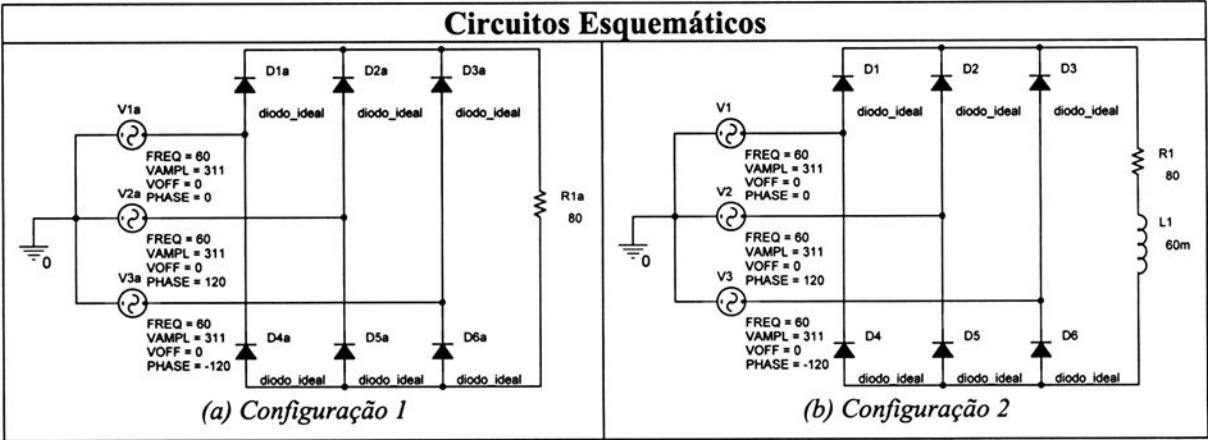


Figura 5.78 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para a configuração 2.

5.2.6.2 – Simulação Pspice

A Tabela 5.25 apresenta os circuitos esquemáticos submetidos à simulação, representando as topologias em análise, empregando-se as duas configurações de carga.

Tabela 5.25 – Circuitos esquemáticos da topologia utilizados na simulação.



Nas Figuras 5.79 até 5.84 apresentam-se os resultados obtidos para as principais formas de onda.

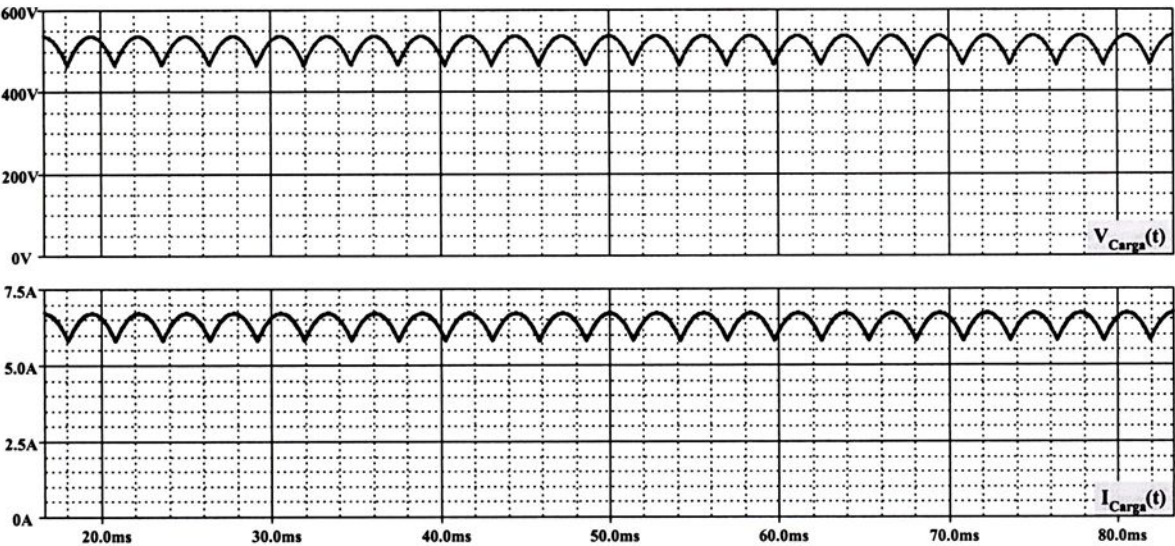


Figura 5.79 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

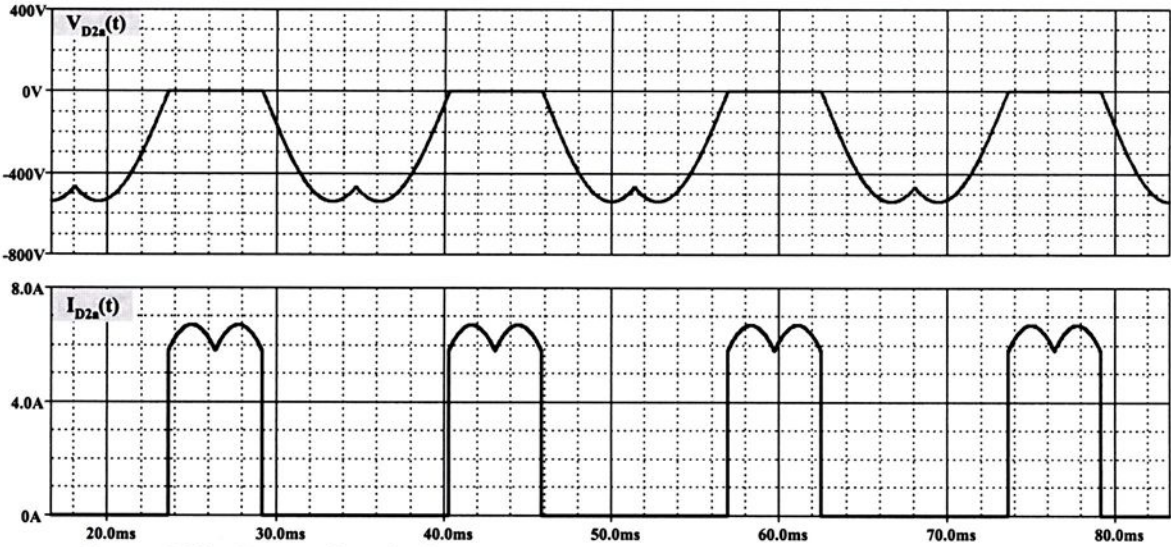


Figura 5.80 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_{2a} para configuração 1.

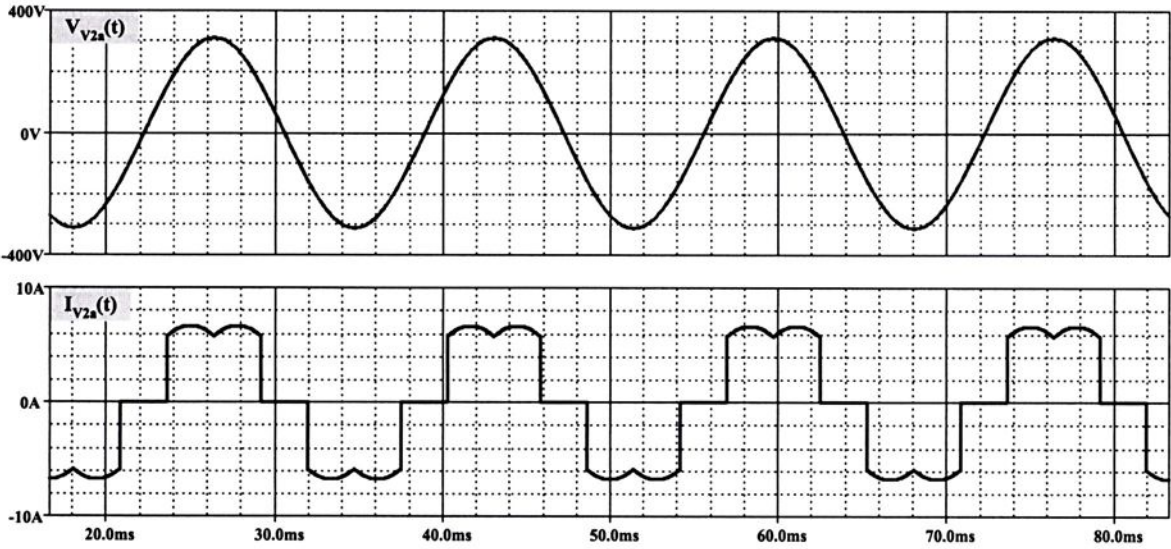


Figura 5.81 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_{2a} para configuração 1.

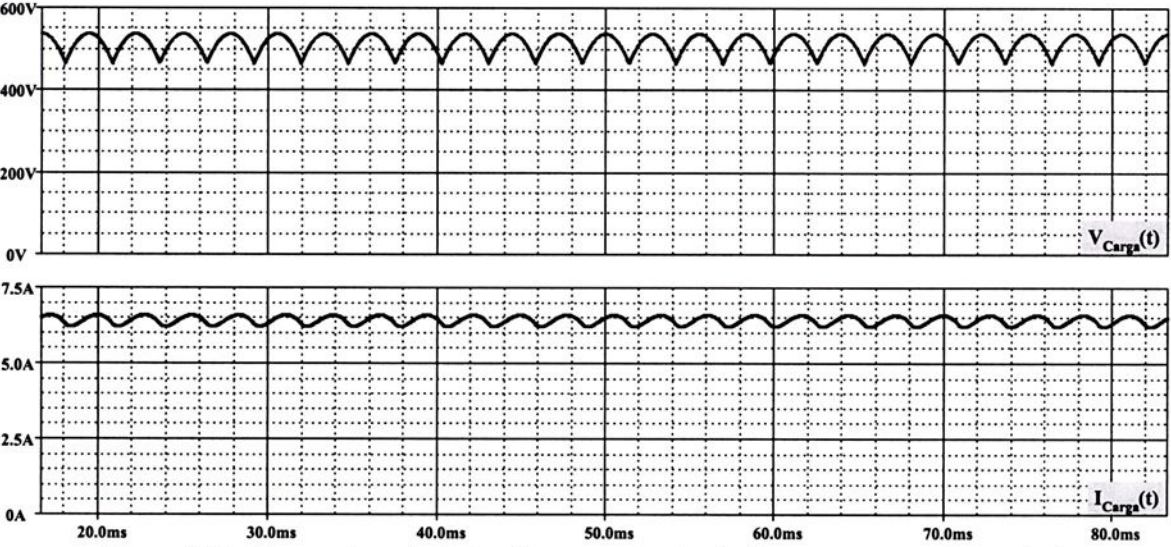


Figura 5.82 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2.

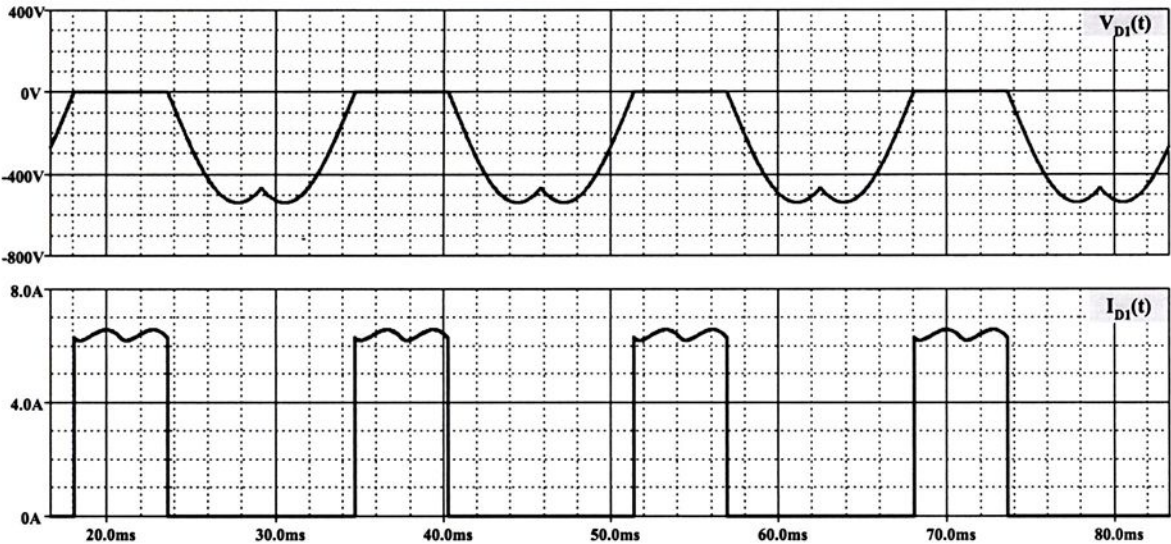


Figura 5.83 – Formas de onda de tensão e corrente através do diodo D_1 para configuração 2.

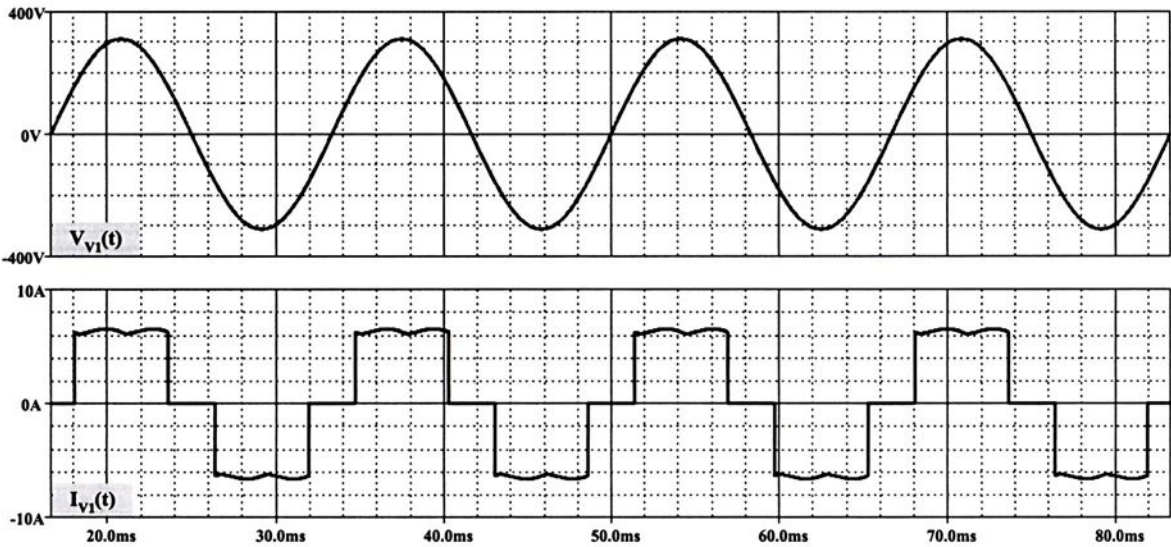


Figura 5.84 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para configuração 2.

5.2.6.3 – Análise dos Resultados

Os resultados das intensidades dos valores médios, eficazes e de pico das formas de onda de tensão e corrente em determinados componentes da topologia analisada, referentes às duas configurações de carga, estão contidos nas Tabelas 5.26 e 5.27 .

Tabela 5.26 – Resultados Obtidos para Configuração 1

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	514,5999 V	512,614 V	0,38
Corrente Média	6,4377475 A	6,40765 A	0,46
Corrente Eficaz	6,4324985 A	6,41335 A	0,28
Diodo			
Corrente de Pico	6,736097A	6,7158 A	0,30
Corrente Média	2,1441662 A	2,11875 A	1,98
Corrente Eficaz	3,7138047 A	3,6902 A	0,63
Tensão de Pico	-538,88776 V	-537,778 V	0,20

Tabela 5.27 – Resultados Obtidos para Configuração 2

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	514,5999 V	512,6135 V	0,38
Corrente Média	6,4338527 A	6,4083 A	0,39
Corrente Eficaz	6,4324985 A	6,40975 A	0,35
Diodo			
Corrente de Pico	6,60347 A	6,7111 A	1,60
Corrente Média	2,1441662 A	2,12195 A	1,04
Corrente Eficaz	3,7138047 A	3,6883 A	0,69
Tensão de Pico	-538,88776 V	-537,779 V	0,20

A Tabela 5.28 apresenta os resultados obtidos para as componentes harmônicas das formas de onda de tensão e corrente na carga, referentes à configuração 2.

Tabela 5.28 – Resultados das componentes harmônicas das formas de onda de tensão e corrente na carga obtidos para configuração 2

	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Tensão			
Componente DC	51405999 V	512,609 V	0,38
Componente Ordem 6	29,405708 V	29,39 V	0,053
Componente Ordem 12	7,1972013 V	7,191 V	0,086
Componente Ordem 18	3,186377 V	3,184 V	0,074
Componente Ordem 24	1,7899127 V	1,788 V	0,10
Corrente			
Componente DC	6,4324985 A	6,407655 A	0,38
Componente Ordem 6	0,18665476 A	0,1866 A	0,029
Componente Ordem 12	0,025433838 A	0,02538 A	0,29
Componente Ordem 18	0,007679211 A	0,007685 A	0,077
Componente Ordem 24	0,003261917 A	0,003245 A	0,52

Com estes resultados, completa-se as análises dos retificadores monofásicos e trifásicos à diodos.

Portanto, em função dos desprezíveis erros obtidos, e, propósitos didáticos estabelecidos para estas applets, podemos concluir que todos os resultados encontram-se validados para os retificadores à diodos.

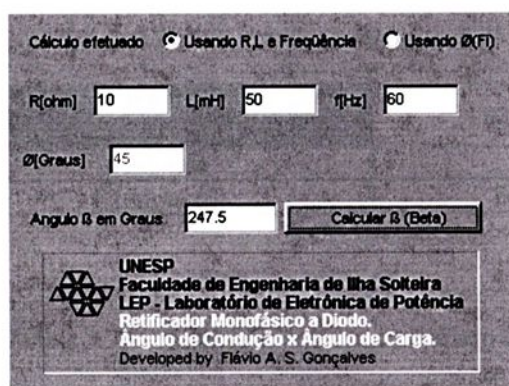
5.2.7 – Ábacos Desenvolvidos para Retificadores à Diodos

Foram desenvolvidos dois aplicativos de resolução de problemas matemáticos específicos da teoria de eletrônica de potência, referentes aos retificadores monofásicos de meia onda. A determinação do ângulo de extinção da corrente (β) e do valor das correntes normalizadas na

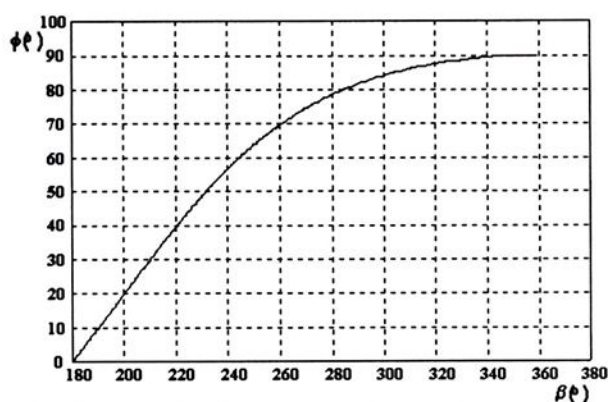
carga, não envolvendo amostragem de formas de onda e utilizando como informações de entrada as características da carga, ou, por valores discretos (R , L e frequência da fonte de alimentação senoidal), ou ainda, através do ângulo de carga (ϕ).

5.2.7.1 – Ângulo de Extinção da Corrente (β)

Na Figura 5.85 apresentam-se a applet desenvolvida e a curva característica de β em função do ângulo de carga.



(a) Ábaco – applet.

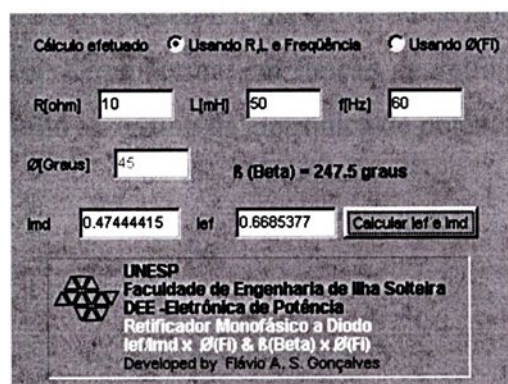


(b) Curva Característica.

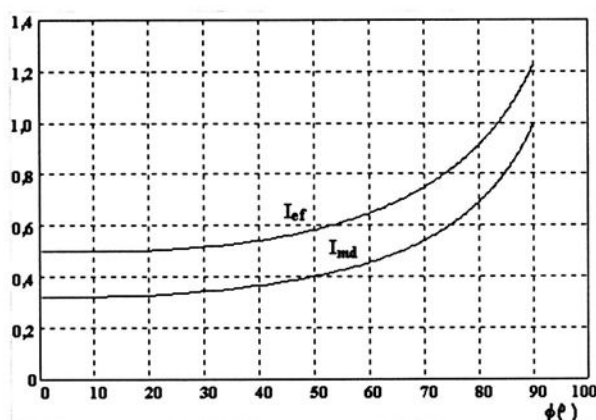
Figura 5.85 – Ábaco de determinação do ângulo de extinção da corrente e o traçado da curva característica.

5.2.7.2 – Correntes Normalizadas na Carga

Na Figura 5.86 apresentam-se a applet desenvolvida e as curvas características das correntes normalizadas na carga, em função de ϕ .



(a) Ábaco – applet.



(b) Curvas Características.

Figura 5.86 – Ábaco de determinação das correntes normalizadas na carga e as correspondentes curvas características.

5.2.7.3 – Análises dos Resultados

A determinação do ângulo de extinção e das correntes normalizadas para a estrutura retificadora monofásica de meia onda não controlada, operando com uma carga do tipo R-L composta por uma resistência de 10Ω e de um indutor de 50 mH, foi realizada empregando-se os ábacos específicos desenvolvidos. As Tabelas 5.29 e 5.30 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 5.29 – Resultados referentes ao ábaco de determinação do ângulo de extinção da corrente.

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Ângulos			
Extinção (β)	247,5°	247,1328°	0,14

Tabela 5.30 – Resultados referentes ao ábaco de determinação das correntes normalizadas na carga para o retificador monofásico de meia onda não controlado.

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual(%)
Carga			
Corrente Média Normalizada	0,4744	0,4700	0,93
Corrente Eficaz Normalizada	0,6685	0,6628	0,85

As applets desenvolvidas são auxiliares muito importantes para a solução de exercícios e projetos propostos na disciplina de eletrônica de potência, automatizando e simplificando estas tarefas. Desta forma, em função da validação das mesmas, tornam-se importantes instrumentos de apoio ao ensino de eletrônica de potência.



5.3 – Retificadores Controlados

5.3.1 – Retificador Monofásico de Meia Onda à Tiristor

A Tabela 5.31 apresenta duas configurações de parâmetros empregadas nos procedimentos de simulação. Estas configurações são formadas pelo ângulo de disparo dos interruptores (α), pela composição da carga e da fonte de alimentação

Tabela 5.31 – Configurações dos parâmetros de simulação.

Configuração	α [Graus]	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	Vo [V]
1	60°	10	-	60	220
2	60°	5	40	60	220

5.3.1.1 – Simulação Applets

As Figuras 5.87 até 5.89 ilustram o aplicativo desenvolvido, executando a simulação da topologia em análise, utilizando a configuração 1, enquanto as Figuras 5.90 até 5.92 ilustram os resultados para a configuração 2.

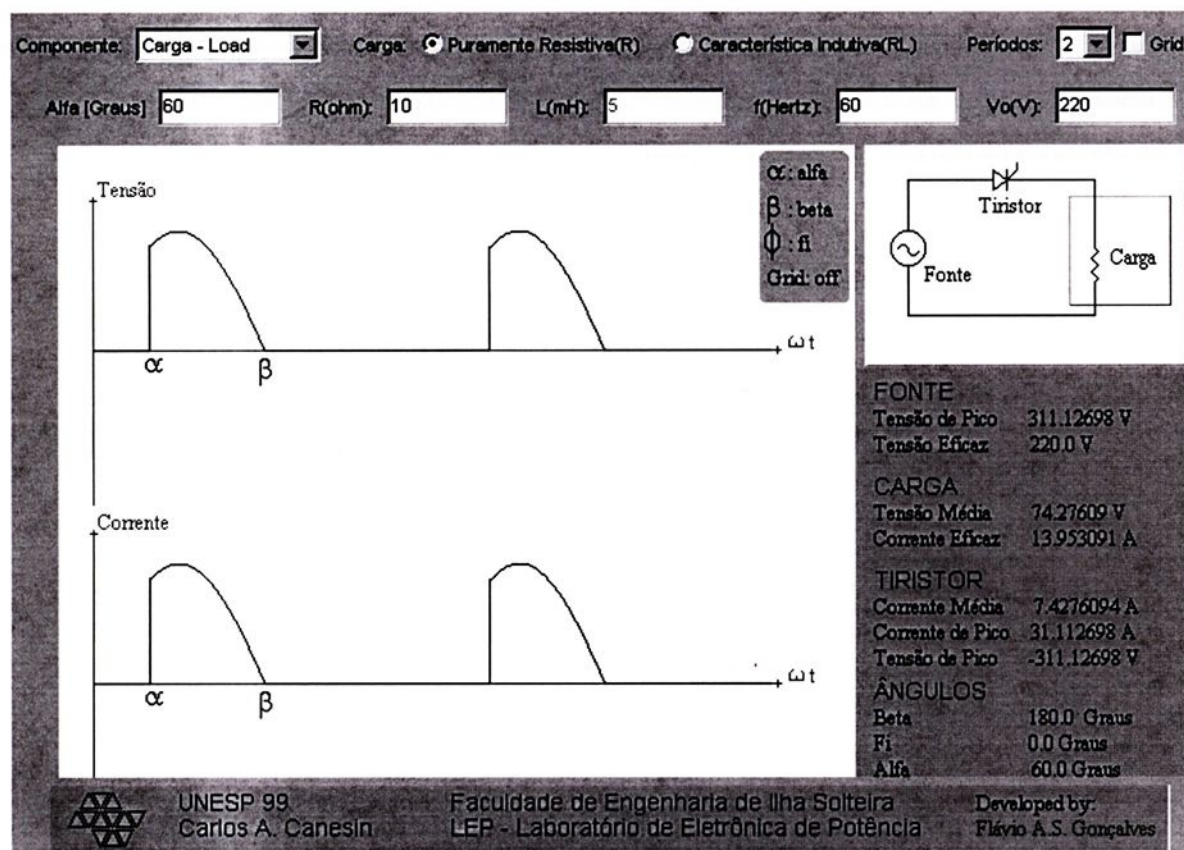


Figura 5.87 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 1.

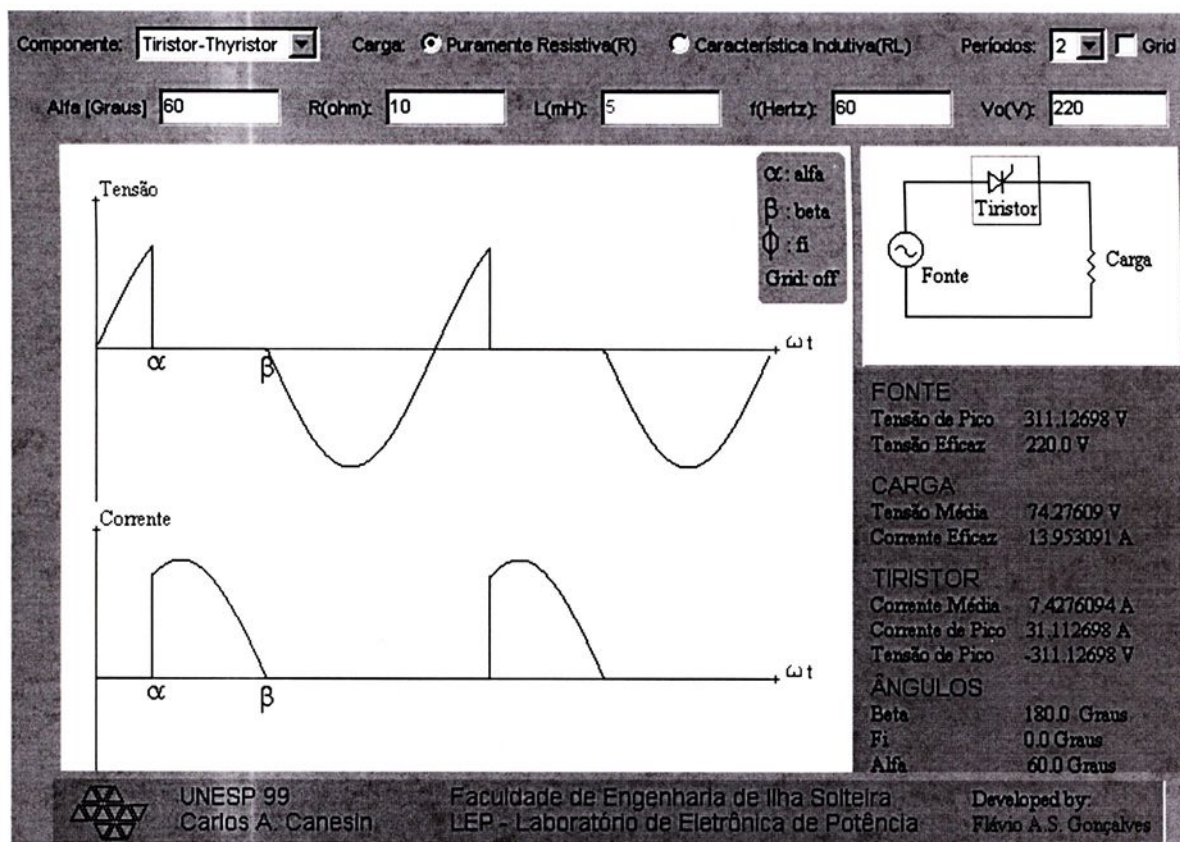


Figura 5.88 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_1 para a configuração 1.

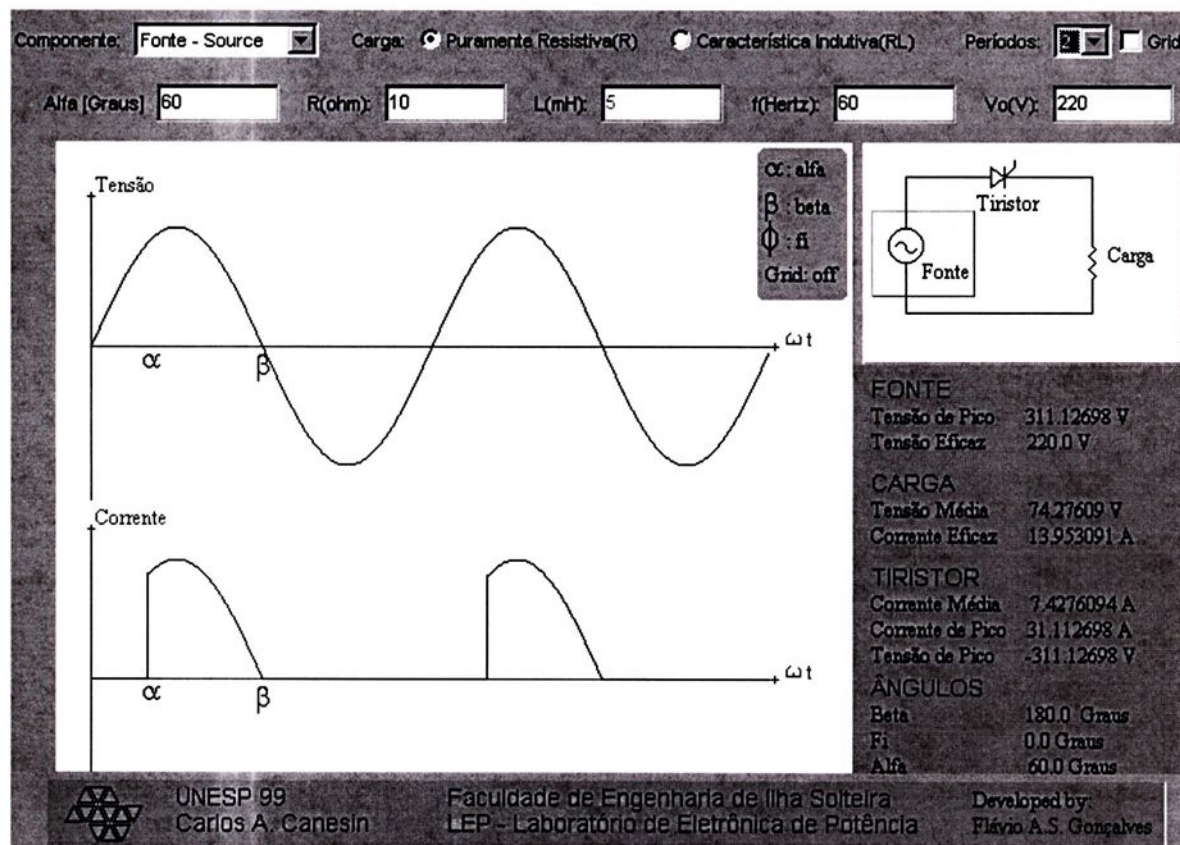


Figura 5.89 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para a configuração 1.

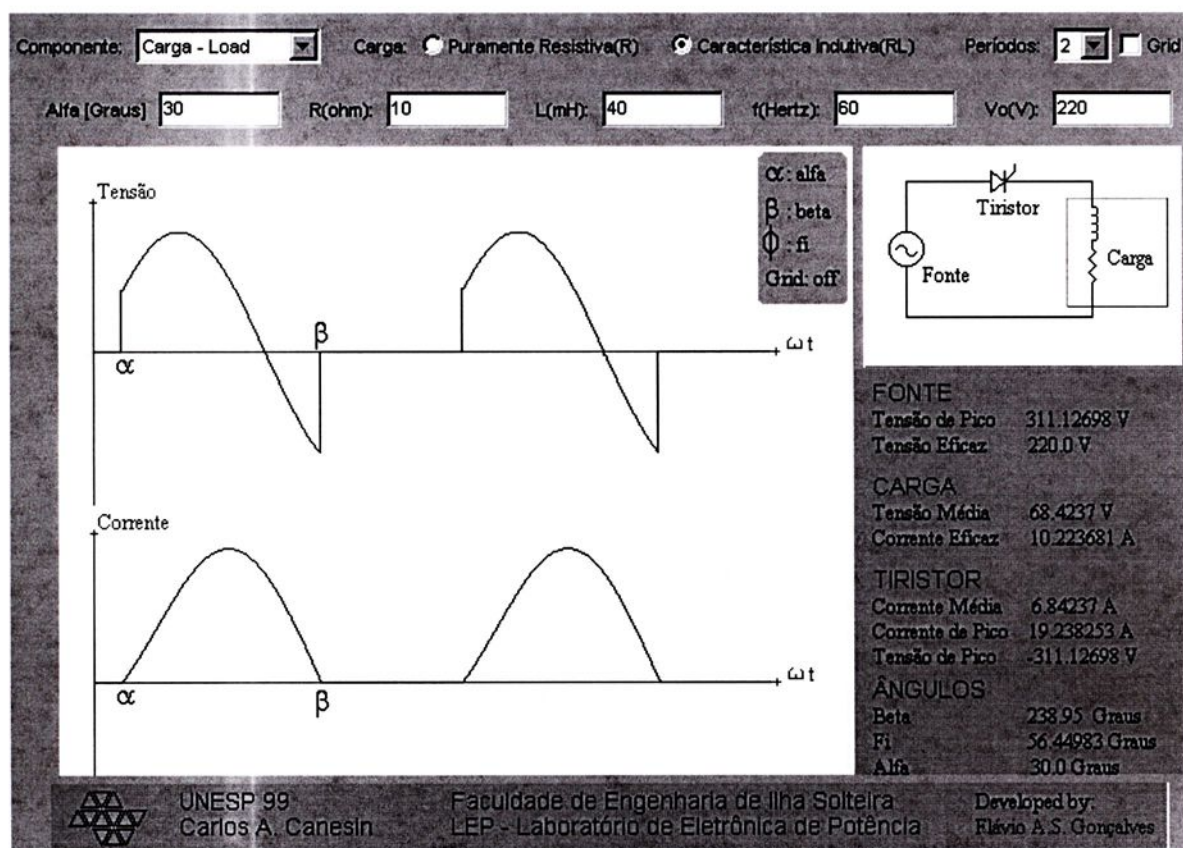


Figura 5.90 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 2.

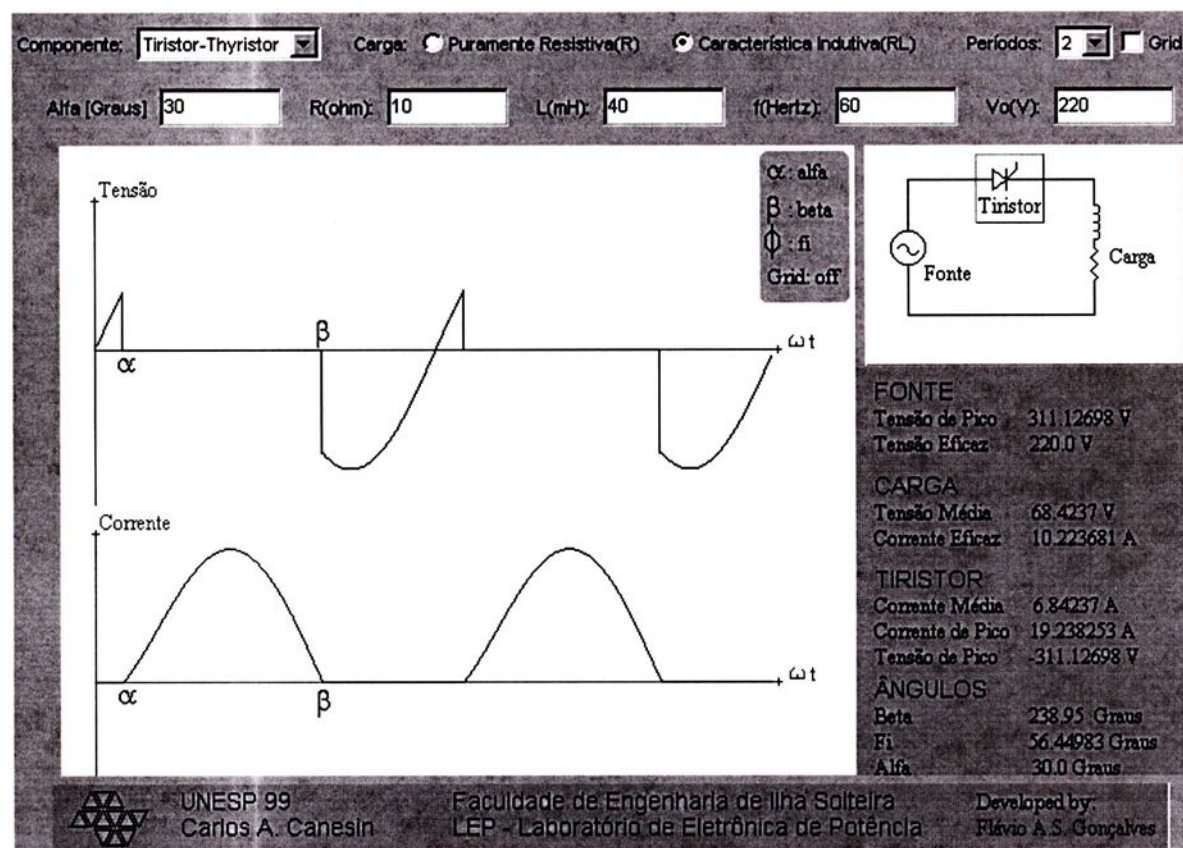


Figura 5.91 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor para a configuração 2.

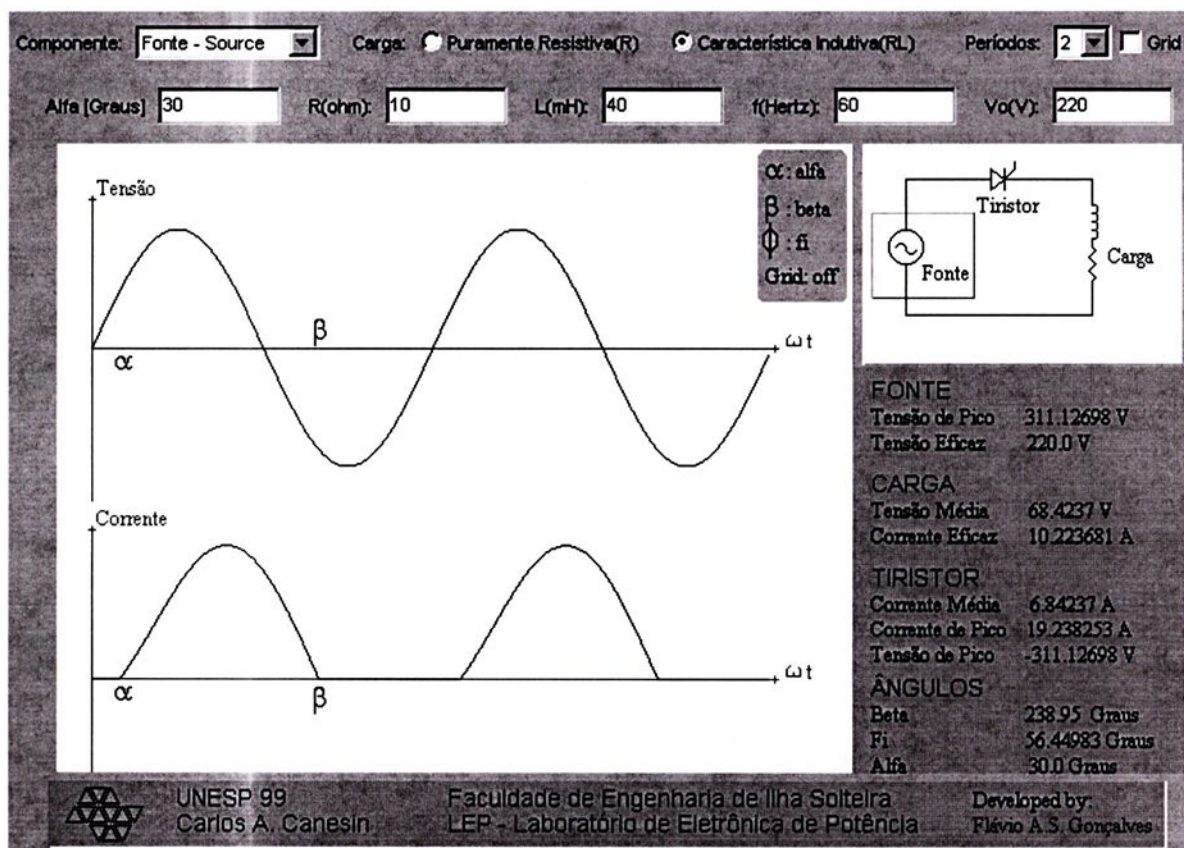
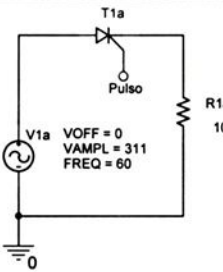
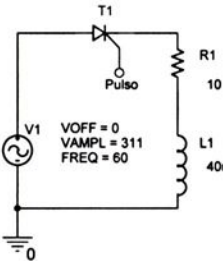


Figura 5.92 – Formas de ondas de tensão e corrente através da fonte para a configuração 2.

5.3.1.2 – Simulação Pspice

A Tabela 5.32 apresenta os circuitos esquemáticos da topologia, submetidos à simulação, referentes às duas configurações de parâmetros e o modelo do interruptor ideal utilizado.

Tabela 5.32 – Circuitos e modelo do interruptor não controlado utilizado.

Circuitos Utilizados	Modelo Ideal Utilizado
 (a) Configuração 1	* Subcircuit for Tiristor_Ideal <pre> .SUBCKT SCR 101 102 103 102 S1 101 105 106 102 SMOD RG 103 104 50 VX 104 102 DC 0 VY 105 107 DC 0 DT 107 102 DMOD RT 106 102 1 CT 106 102 10U F1 102 106 POLY(2) VX VY 0 50 11 .MODEL SMOD VSWITCH(RON=0.0105 ROFF=10E+5 VON=0.5 VOFF=0) .MODEL DMOD D((IS=2.2E-15 BV=1200 TT=0 CJO=0)) .ENDS Tiristor_Ideal </pre>
 (b) Configuração 2	

Os resultados das formas de onda de tensão e corrente através dos componentes da topologia analisada, empregando a configuração 1, referente à carga do tipo puramente resistiva, podem ser verificados nas Figuras 5.92 até 5.94. Ainda, os resultados para a configuração 2 são apresentados nas Figuras 5.95 até 5.97.

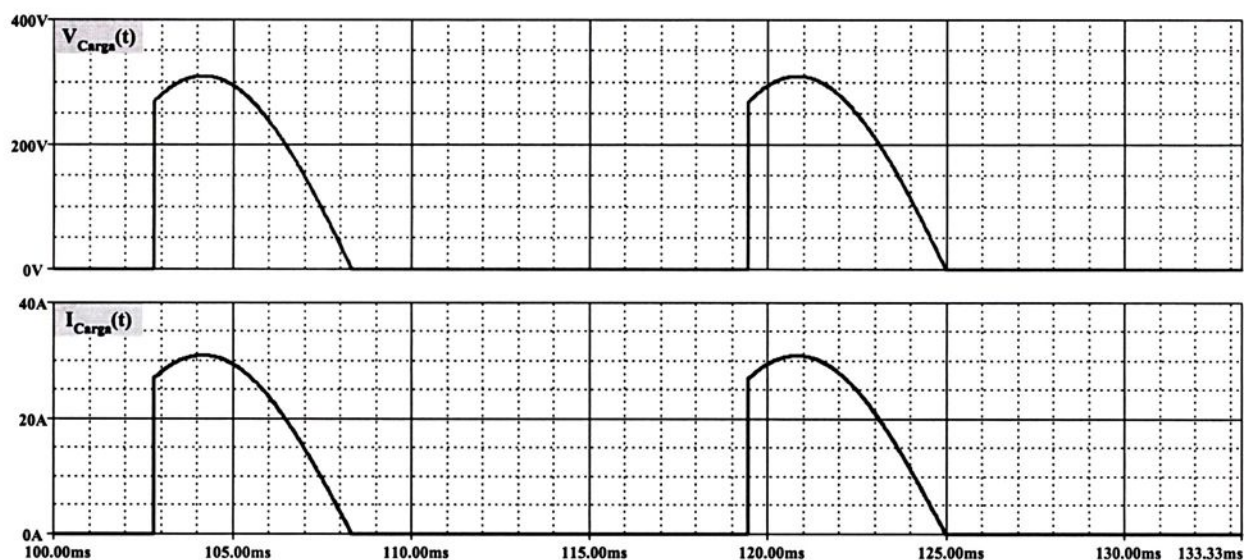


Figura 5.93 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

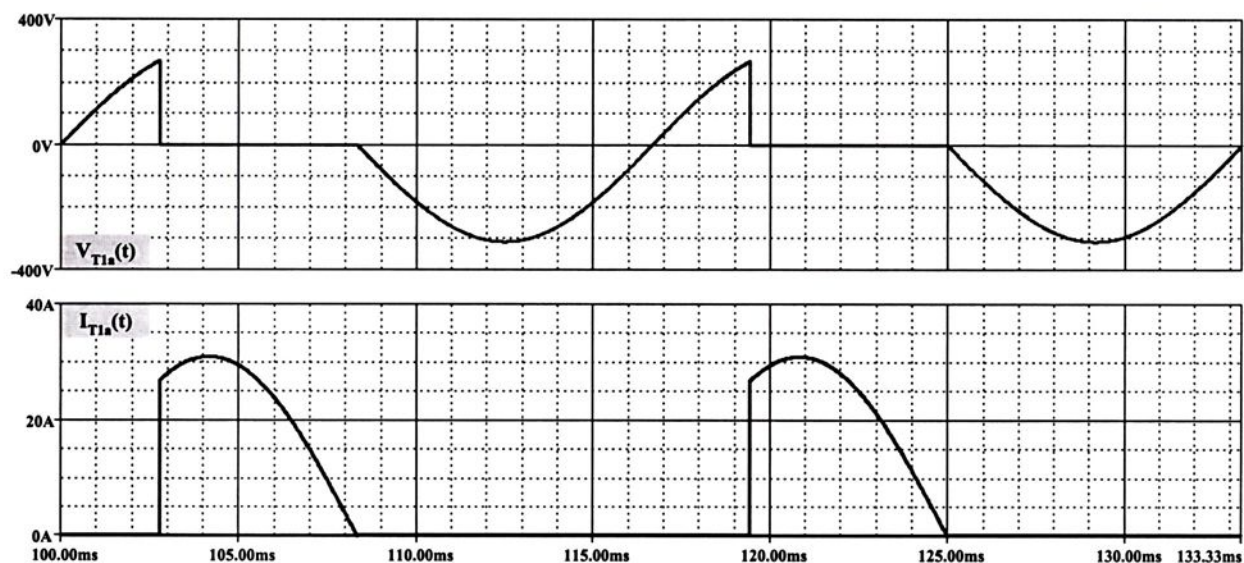


Figura 5.94 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_{1a} para configuração 1.

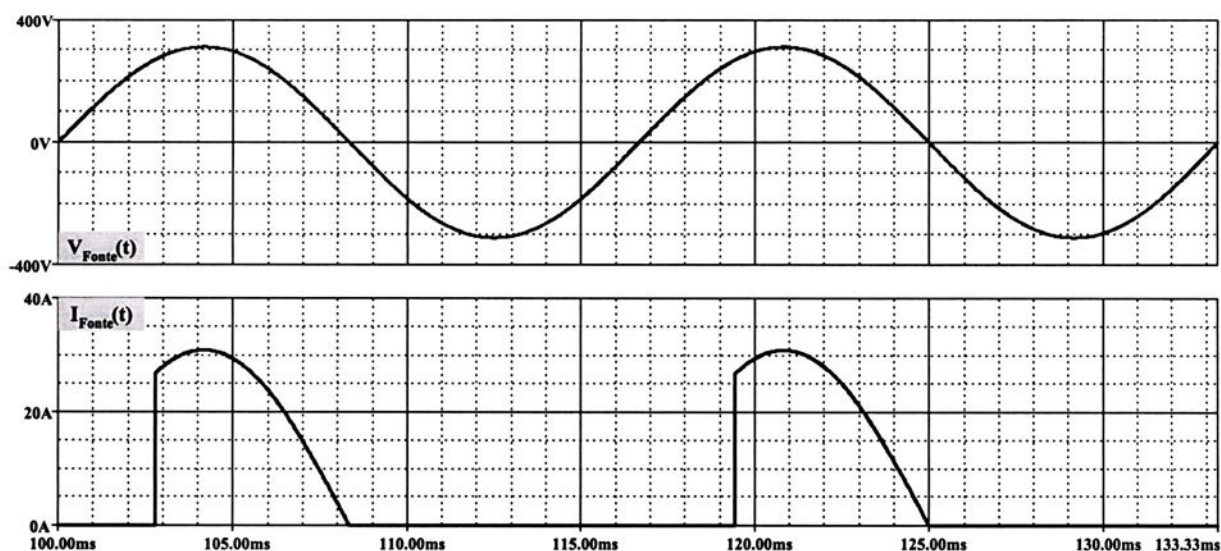


Figura 5.95 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_{1a} para configuração 1.

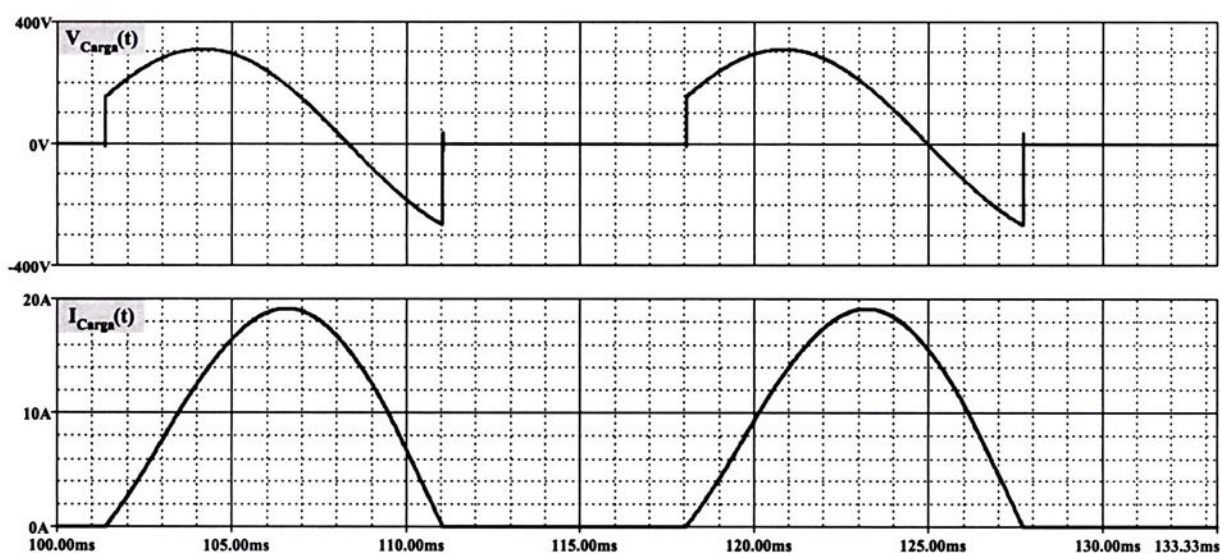


Figura 5.96 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2.

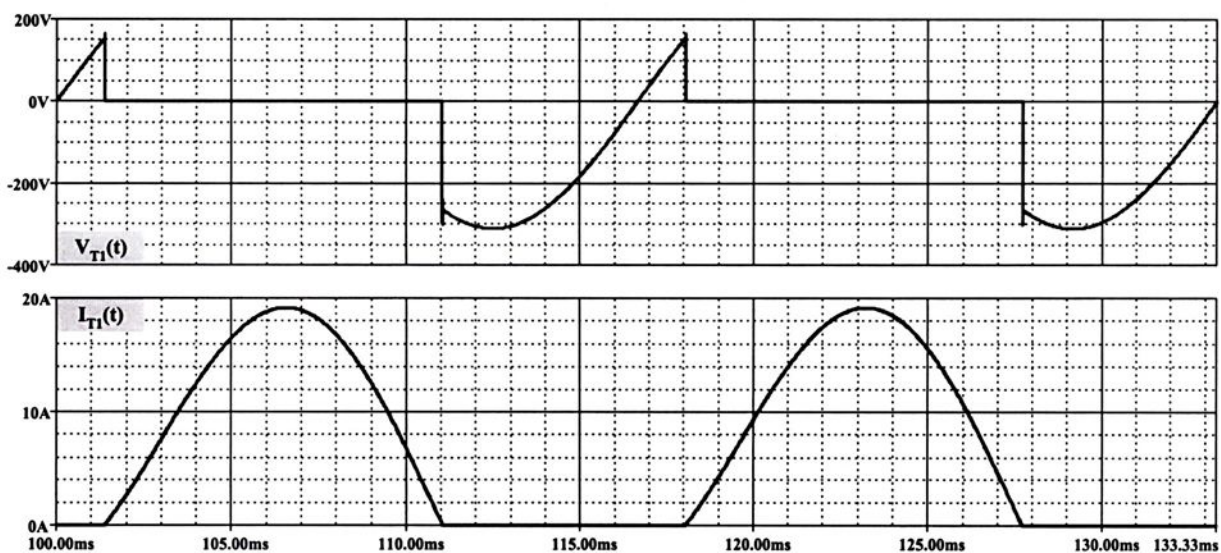


Figura 5.97 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_1 para configuração 2.

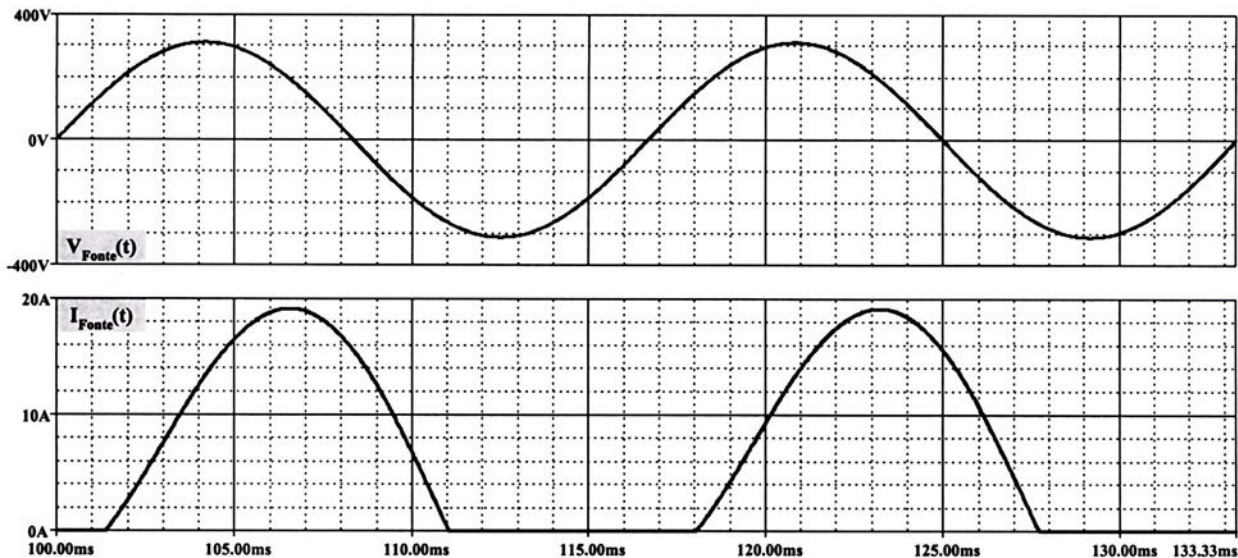


Figura 5.98 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para configuração 2.

5.3.1.3 – Análise dos Resultados

As Tabelas 5.33 e 5.34 apresentam os resultados das intensidades dos valores médios, eficazes e de pico das formas de onda de corrente e tensão sobre de determinados componentes para as configurações de parâmetros 1 e 2 utilizadas nas simulações.

Tabela 5.33 – Resultados Obtidos para Configuração 1

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	74,2761 V	74,372 V	0,12
Corrente Eficaz	13,9531 A	14,002 A	0,34
Tiristor			
Corrente de Pico	31,1127 A	30,974 A	0,44
Corrente Média	7,4276 A	7,437 A	0,12
Tensão de Pico	-311,1269 V	-310,983 V	0,04

Tabela 5.34 – Resultados Obtidos para Configuração 2

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	68,4237 V	68,363 V	0,08
Corrente Eficaz	10,2237 A	10,127 A	0,95
Tiristor			
Corrente de Pico	19,2383 A	19,154 A	0,44
Corrente Média	6,8424 A	6,8363 A	0,08
Tensão de Pico	-311,1269 V	-311,00 V	0,04
Ângulo de Extinção			
β (graus)	238,95	238,26	0,28

Logo, de acordo com os resultados comparativos apresentados, as applets desenvolvidas para o retificador monofásico de meia onda à tiristor, encontram-se validados.

5.3.2 – Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte à Tiristores

As duas configurações de parâmetros empregadas nos procedimentos de simulação estão presentes na Tabela 5.35.

Tabela 5.35 – Configurações dos parâmetros de simulação.

Configuração	α [Graus]	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	Vo [V]
1	40°	10	-	60	220
2	70°	10	25	60	220

5.3.2.1 – Simulação Applets

Os resultados das simulações obtidas com o aplicativo desenvolvido, empregando as configurações 1 e 2, estão ilustradas nas Figuras 5.99 até 5.104.

Pode-se verificar que o aplicativo informa ao usuário na área de interface gráfica III, abaixo do eixo destinado às formas de onda de corrente, o modo de condução de corrente através da carga

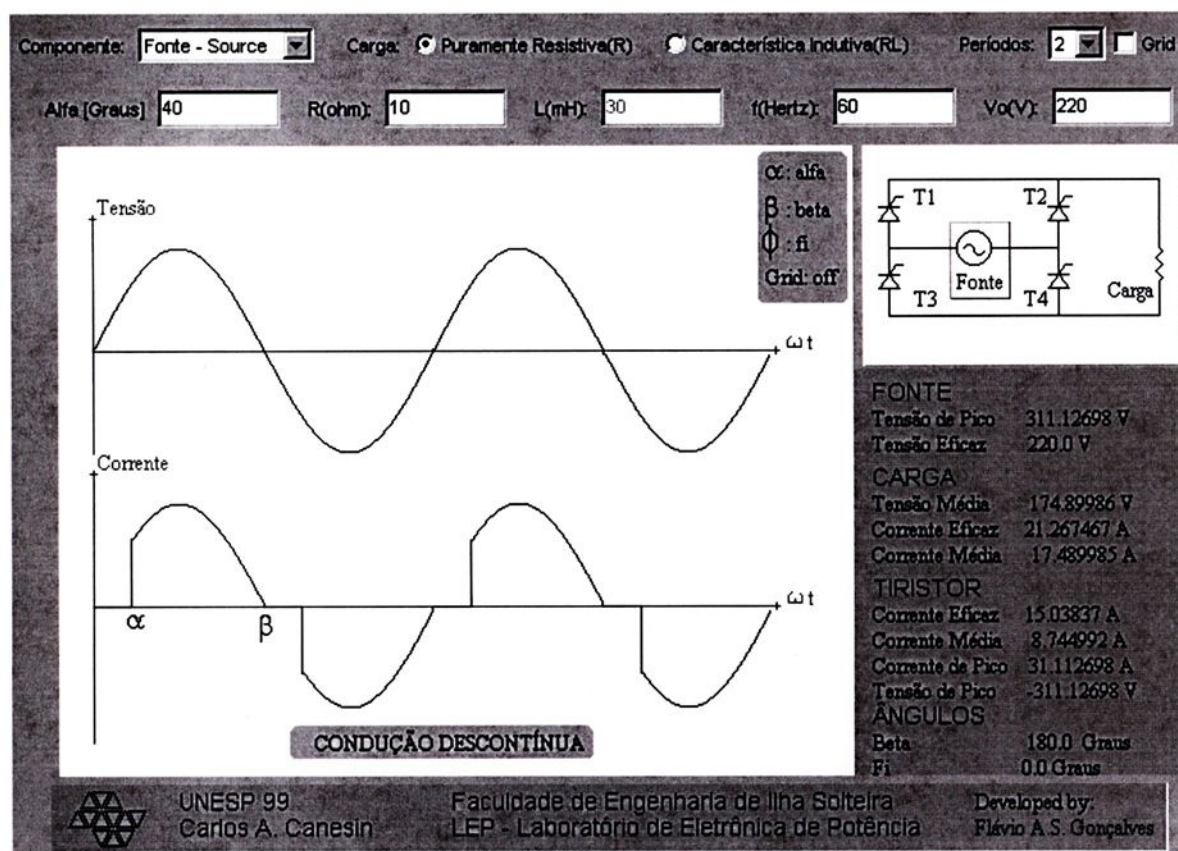


Figura 5.99 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para a configuração 1.

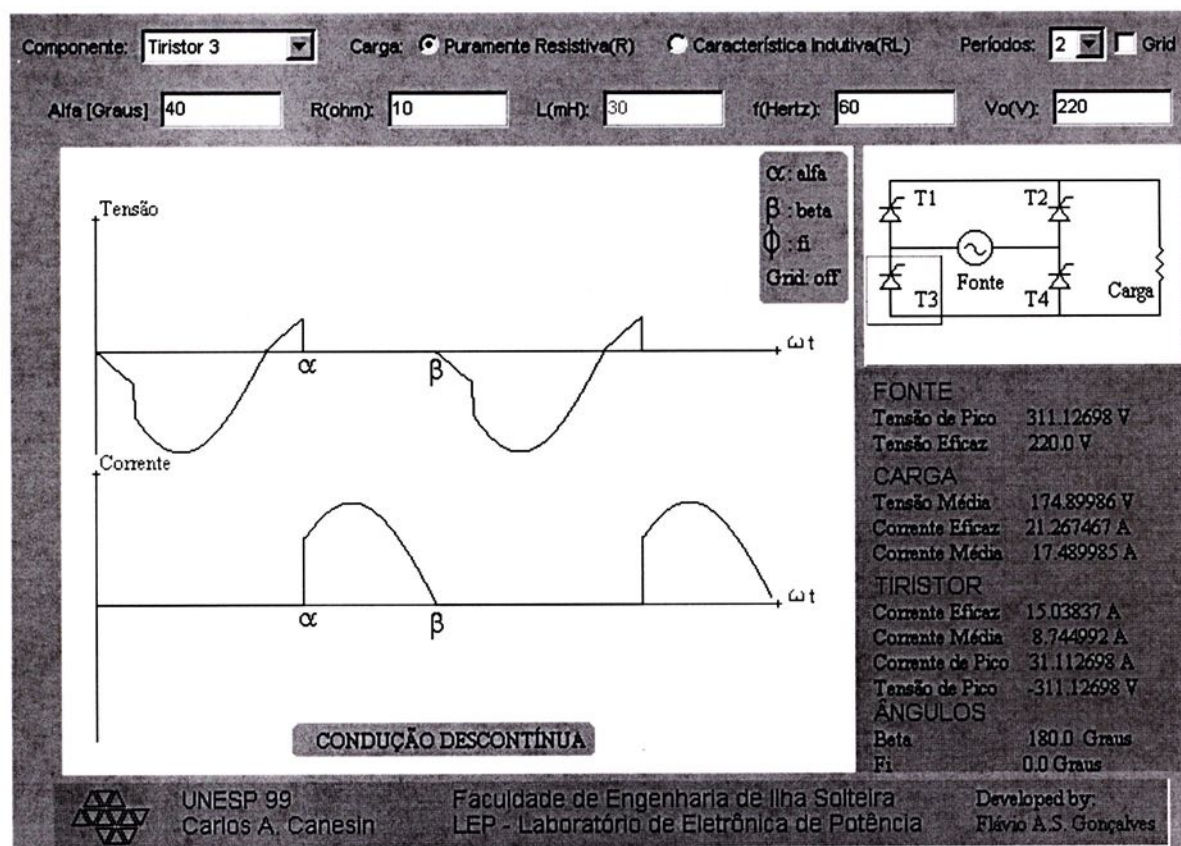


Figura 5.100 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_3 para a configuração 1.

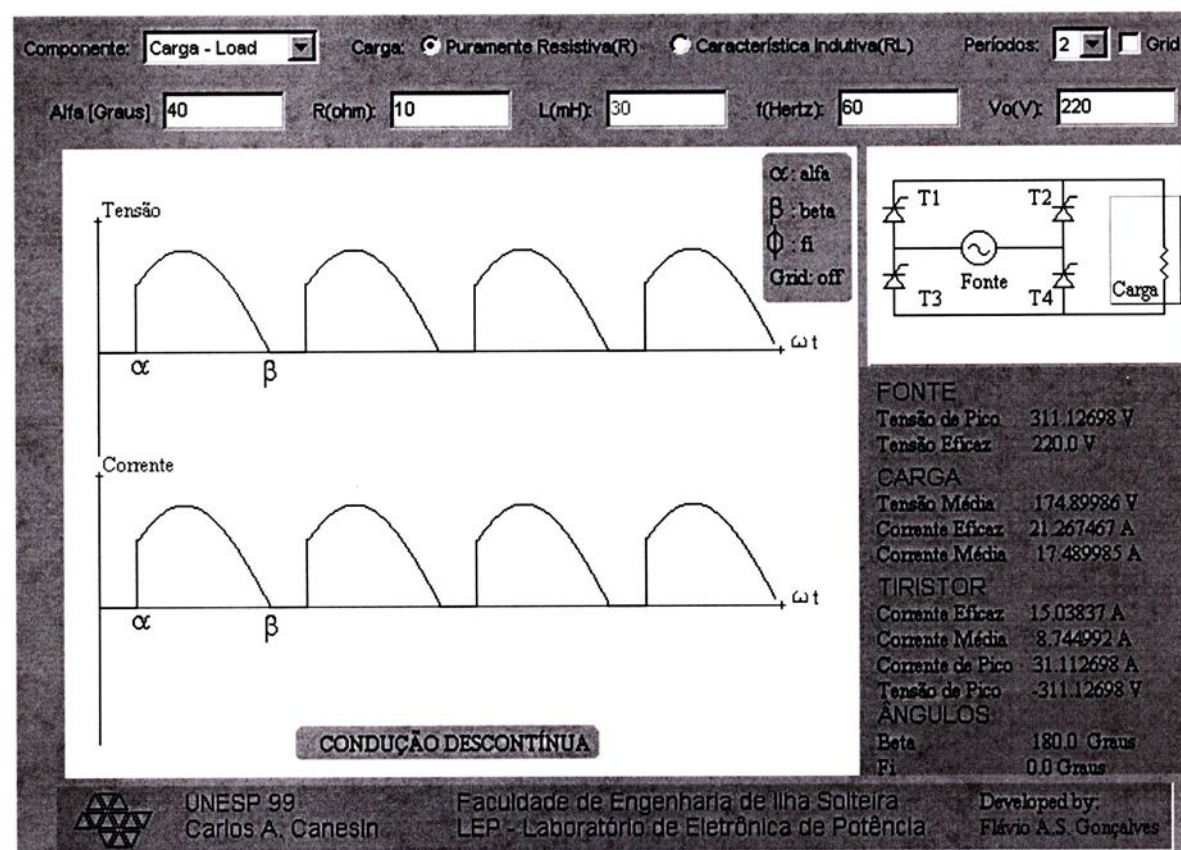


Figura 5.101 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 1.

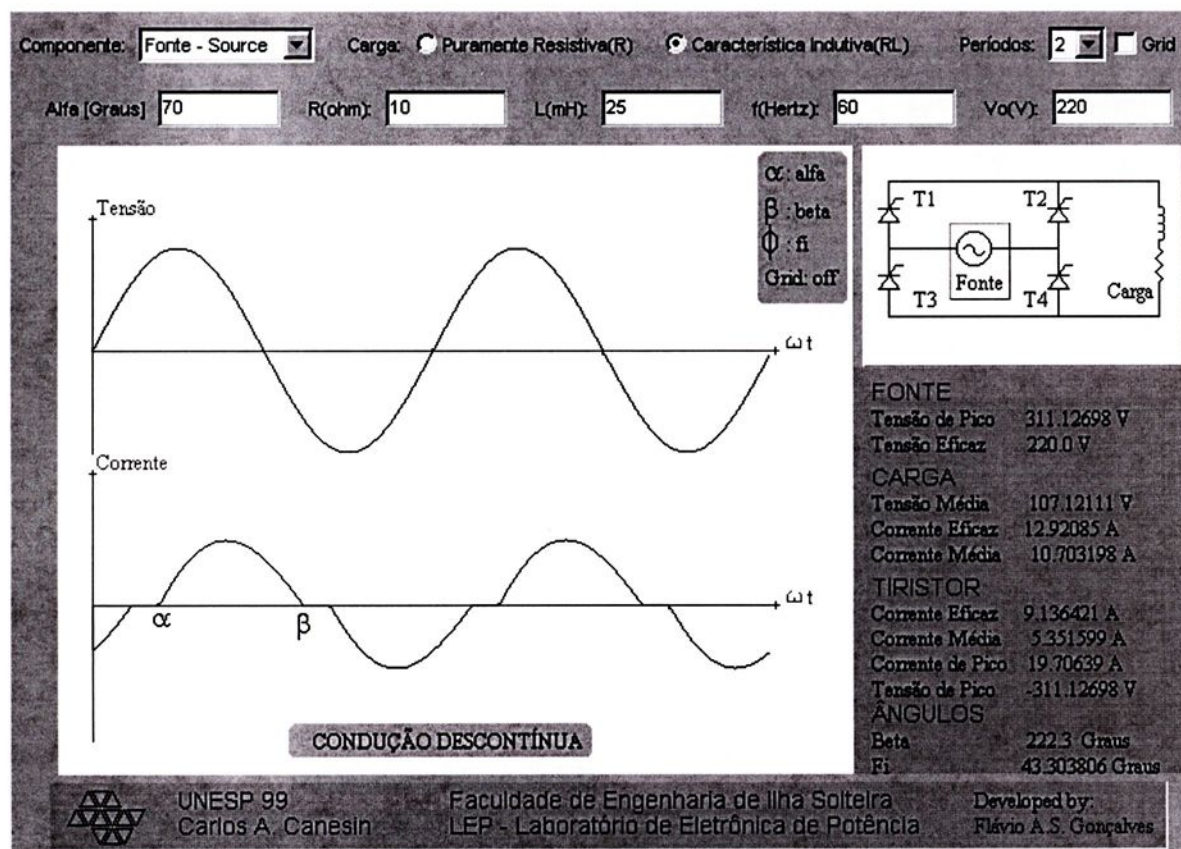


Figura 5.102 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para a configuração 2.

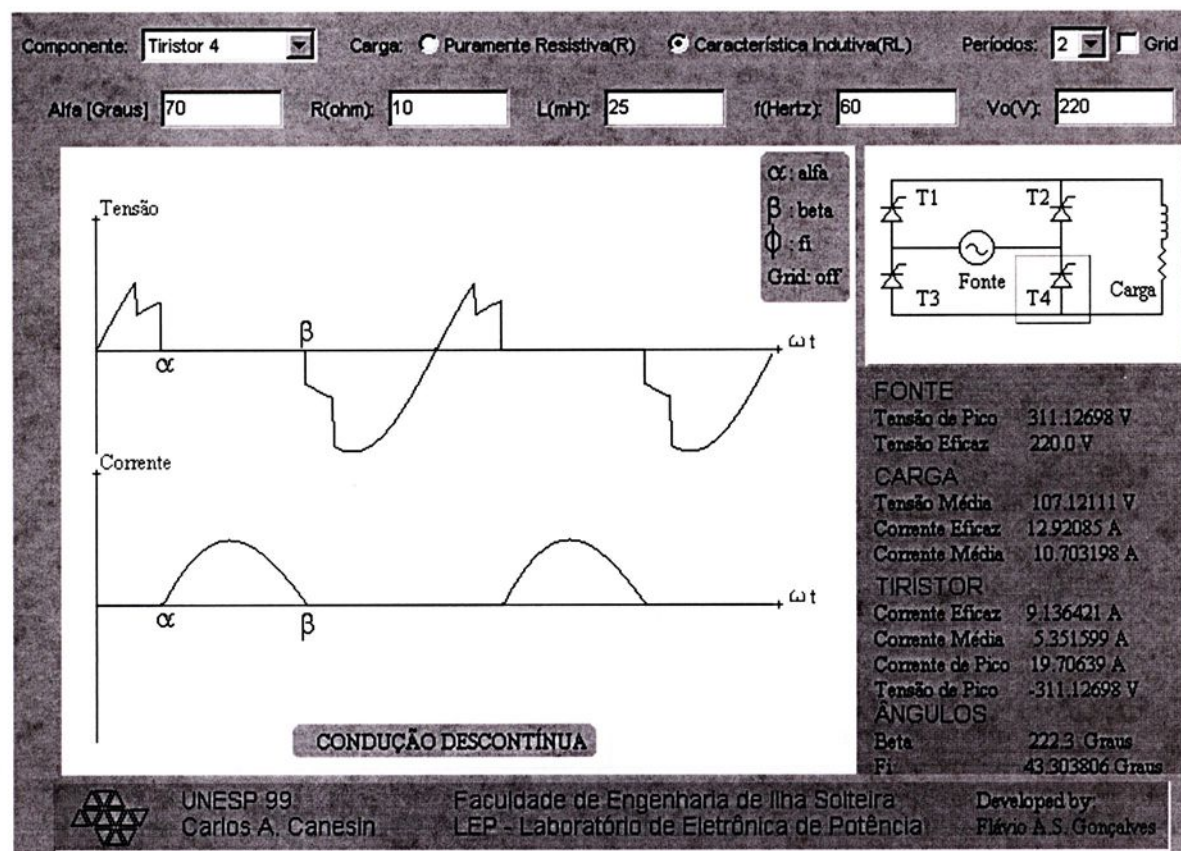


Figura 5.103 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_4 para a configuração 2.

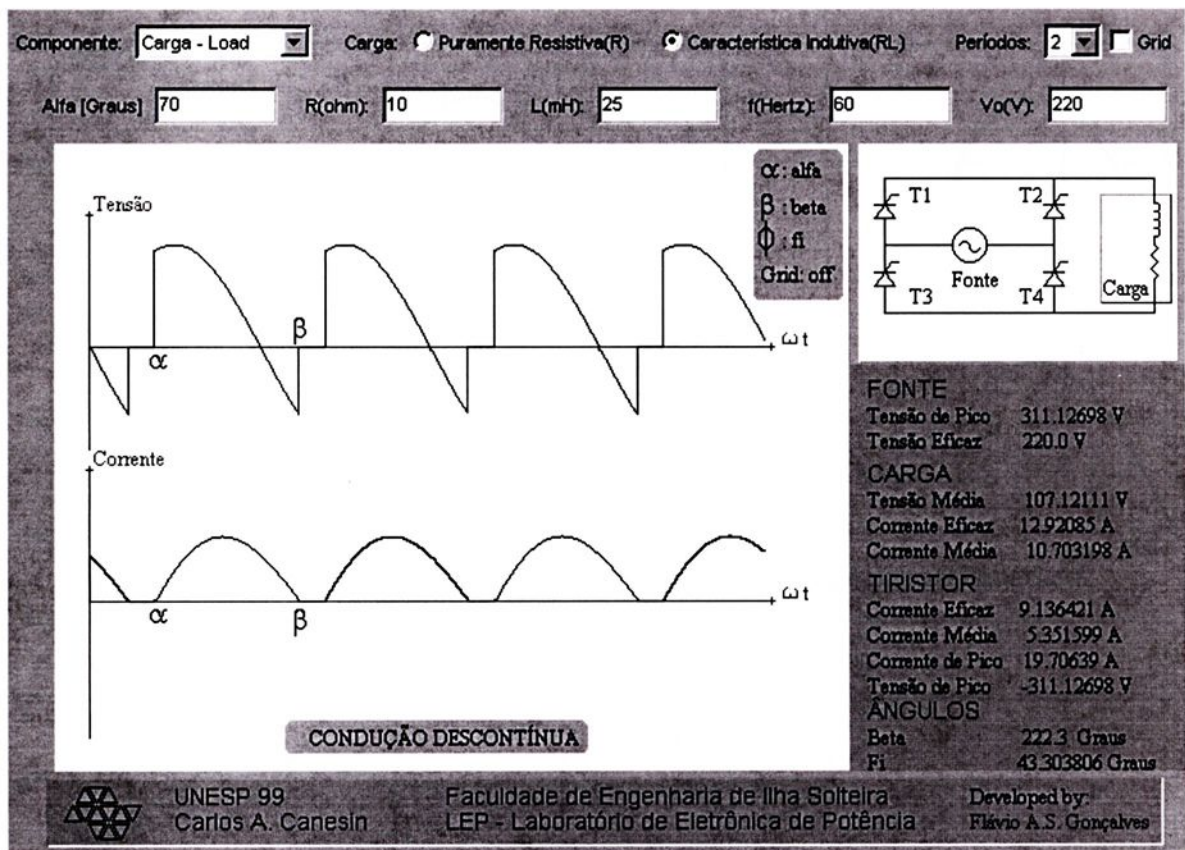
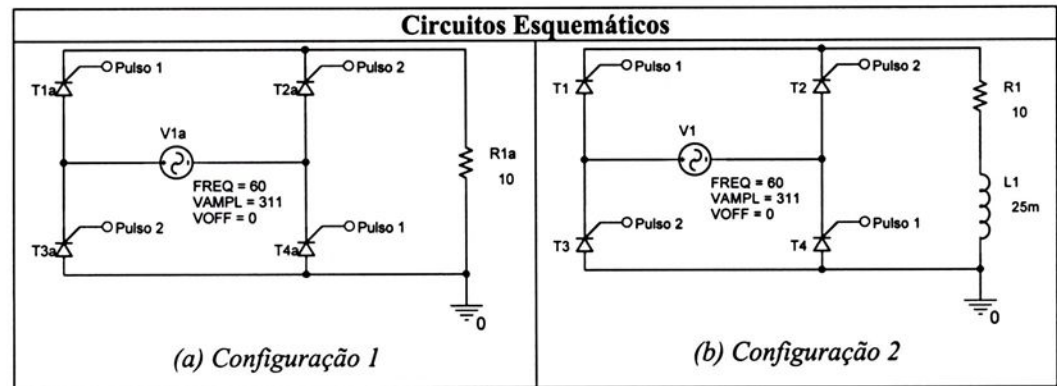


Figura 5.104 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 2.

5.3.2.2 – Simulação Pspice

A Tabela 5.36 apresenta os circuitos esquemáticos da topologia, representando as duas configurações empregadas na simulação.

Tabela 5.36 – Circuitos esquemáticos da topologia utilizados na simulação.



As Figuras de 5.105 até 5.110 ilustram os resultados das formas de onda de tensão e corrente sobre determinados componentes para as configurações utilizadas.

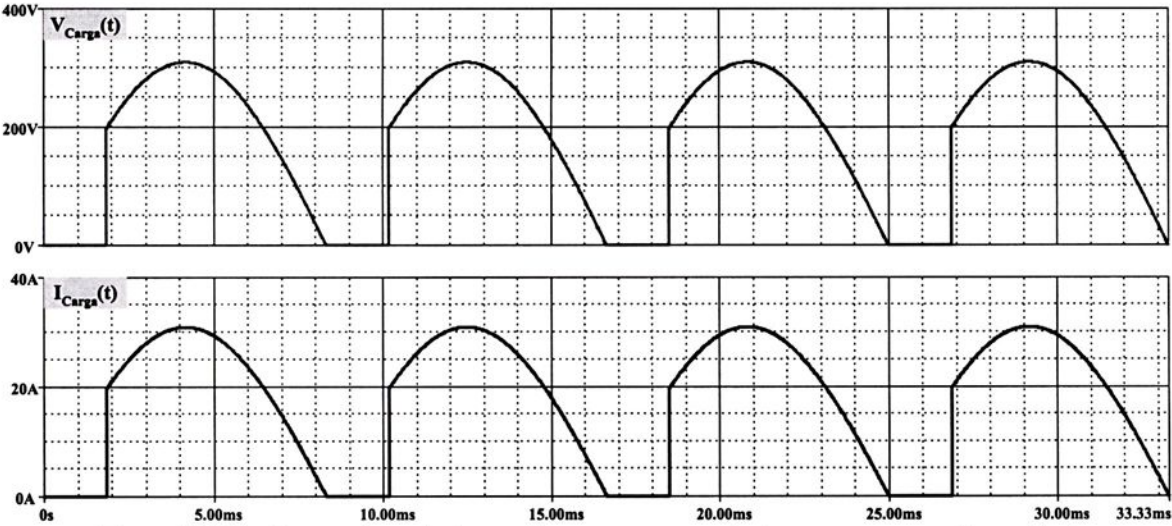


Figura 5.105 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

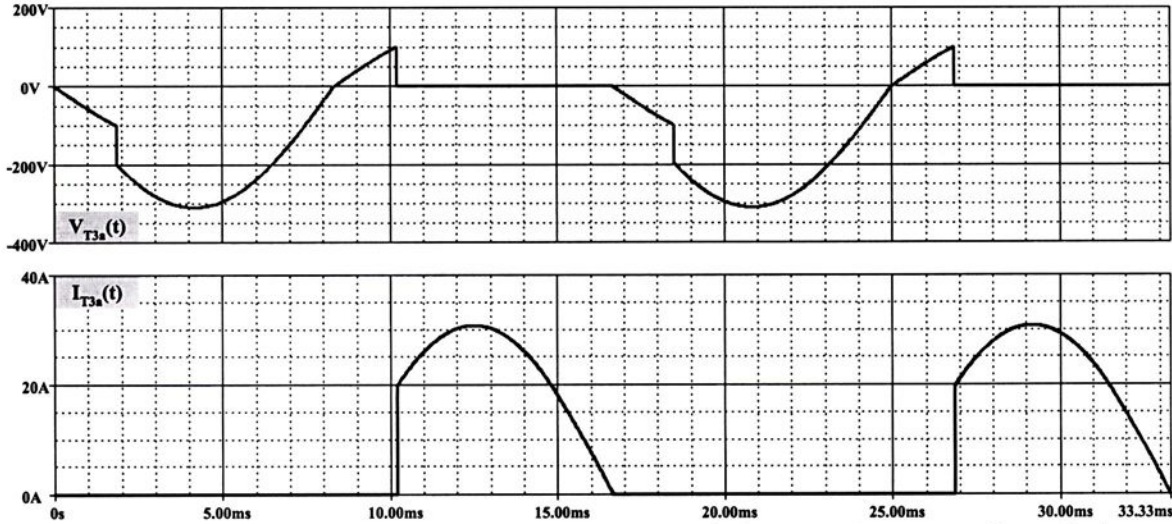


Figura 5.106 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_{3a} para configuração 1.

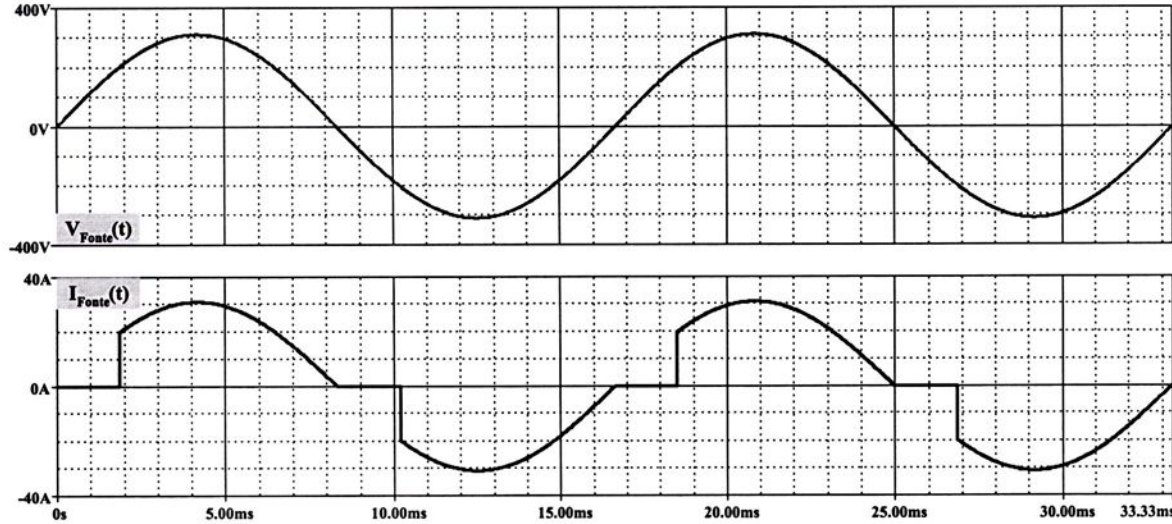


Figura 5.107 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para configuração 1.

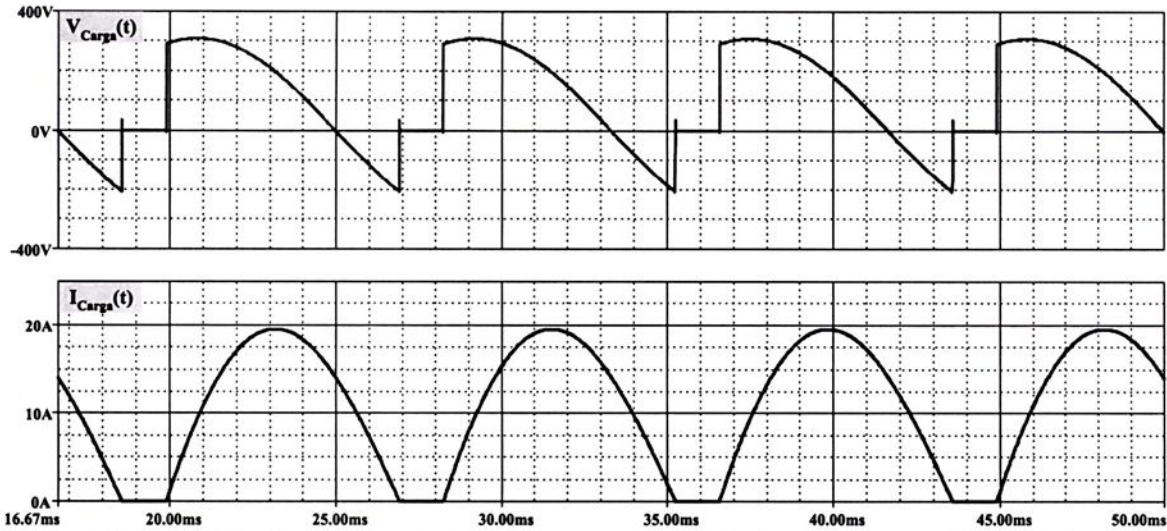


Figura 5.108 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2.

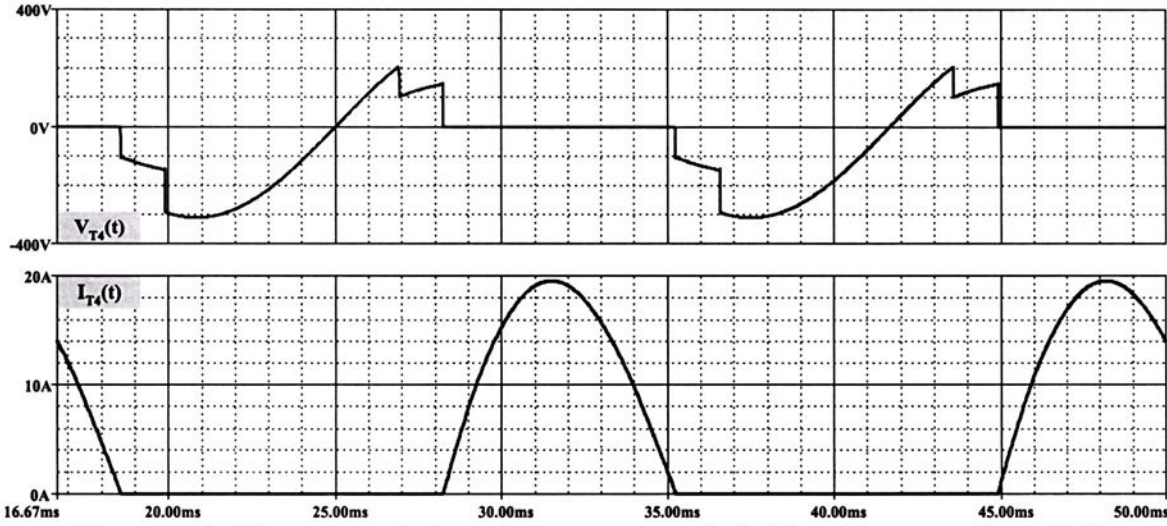


Figura 5.109 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_4 para configuração 2.

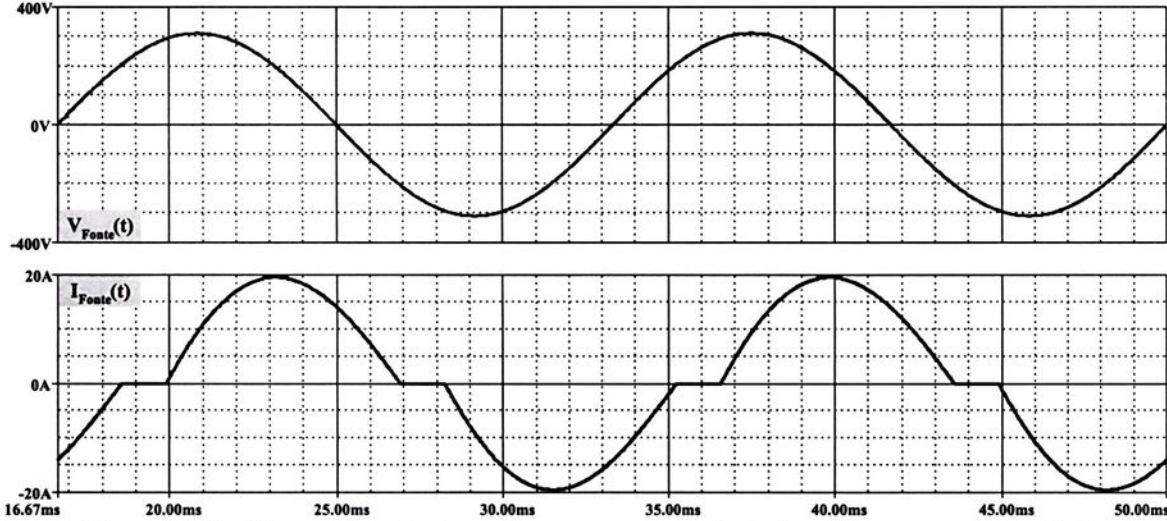


Figura 5.110 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para configuração 2.

5.3.2.3 – Análise dos Resultados

Nas Tabelas 5.37 e 5.38 apresentam-se os resultados das intensidades dos valores médios, eficazes e de pico das formas de onda de tensão e corrente na carga e no interruptor, obtidos nas simulações.

Tabela 5.37 – Resultados Obtidos para Configuração 1

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	174,8998 V	172,04 V	0,39
Corrente Média	17,4899 A	17,204 A	0,004
Corrente Eficaz	21,2675 A	21,012 A	0,04
Tiristor			
Corrente de Pico	31,1127 A	30,852 A	0,67
Corrente Média	8,7450 A	8,7145 A	1,85
Corrente Eficaz	15,0384 A	15,124 A	9,67
Tensão de Pico	-311,1269 V	-309,714 V	0,27

Tabela 5.38 – Resultados Obtidos para Configuração 2

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	107,1211 V	106,011 V	1,05
Corrente Média	10,7032 A	10,378 A	3,13
Corrente Eficaz	12,9208 A	12,678 A	1,91
Tiristor			
Corrente de Pico	19,7064 A	19,544 A	0,83
Corrente Média	5,3516 A	5,1506 A	3,90
Corrente Eficaz	9,1364 A	8,8798 A	2,88
Tensão de Pico	-311,1269 V	-309,97 V	0,37
Ângulo de Extinção			
β (Graus)	222,3	221,56	0,33

Pode-se observar nas applets apresentadas a interatividade total oferecida ao usuário quanto à definição dos parâmetros de carga e ângulo de controle de disparo dos tiristores. Além deste fato, as applets informam o tipo de condução (contínua/descontínua), em função dos parâmetros adotados.

Portanto, em conformidade com os resultados comparativos, as applets apresentadas encontram-se validadas.

5.3.3 – Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio à Tiristores

A Tabela 5.39 apresenta duas configurações de parâmetros empregados nos procedimentos de simulação.

Tabela 5.39 – Configurações dos parâmetros de simulação.

Configuração	α [Graus]	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	Vo [V]
1	60°	10	-	60	220
2	60°	5	10	60	220

5.3.3.1 – Simulação Applets

As simulações da topologia em referência para as configurações 1 e 2, obtidas através da execução do aplicativo desenvolvido, estão ilustradas nas Figuras 5.111 até 5.116.

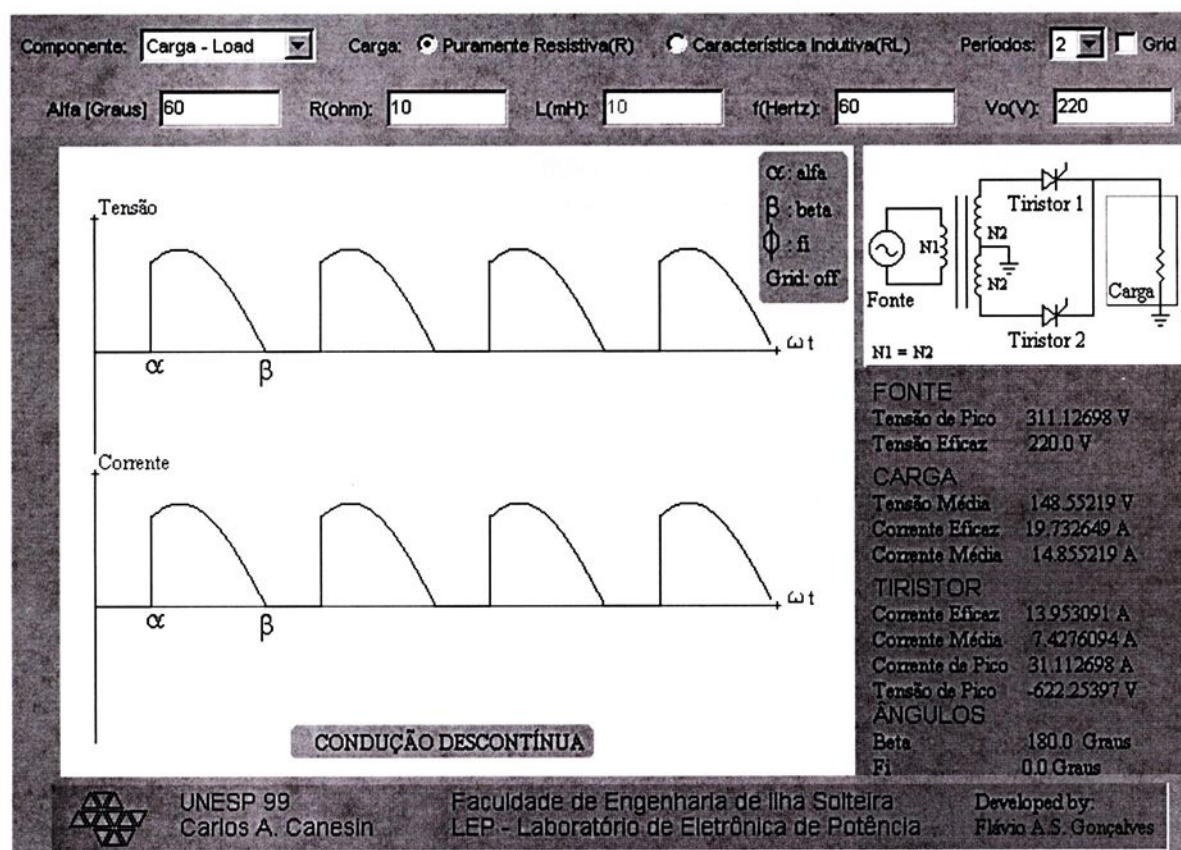


Figura 5.111 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 1.

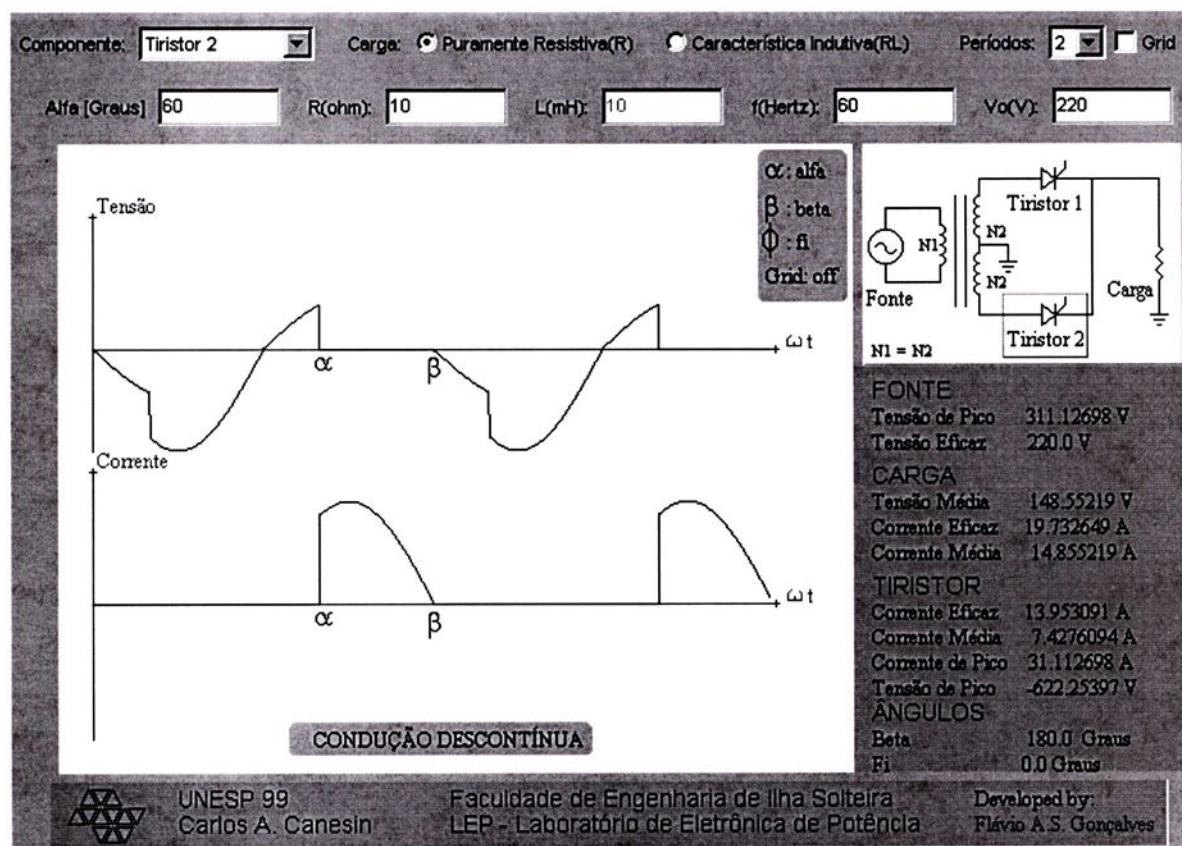


Figura 5.112 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_2 para a configuração 1.

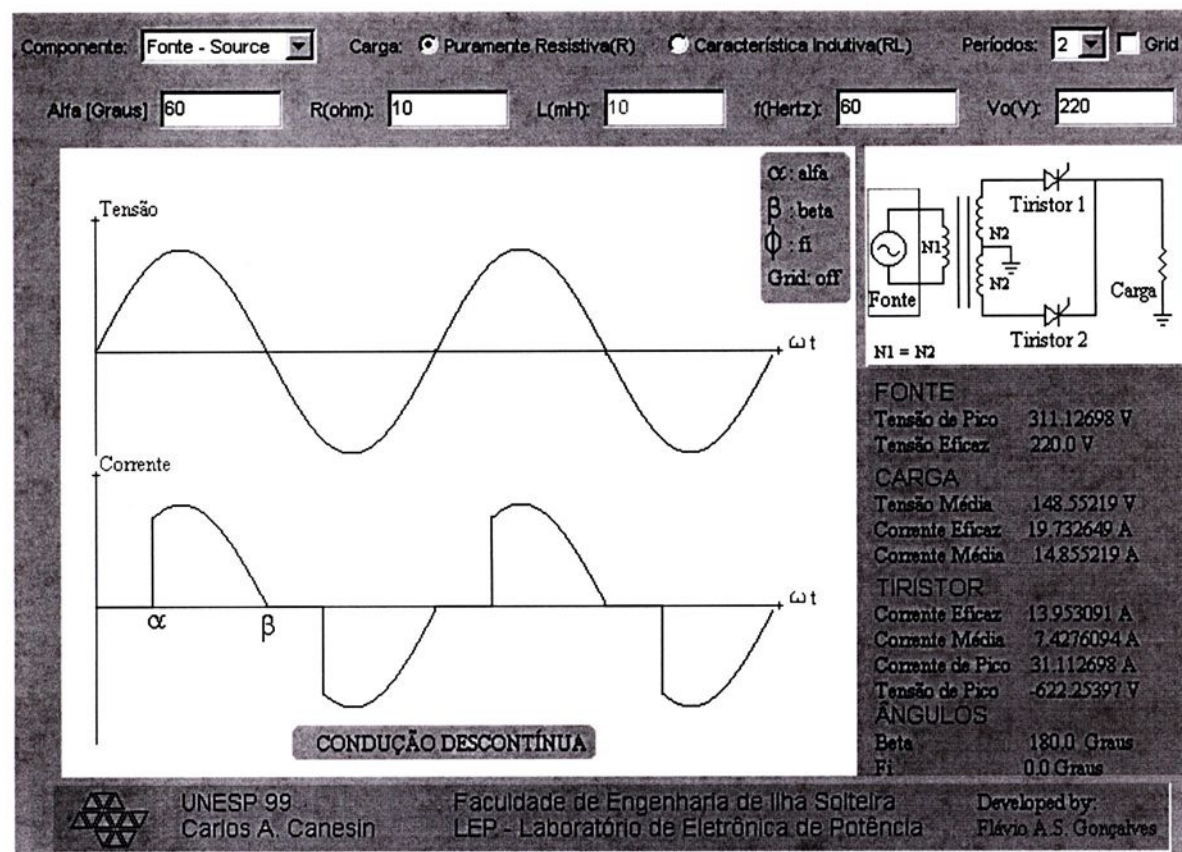


Figura 5.113 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte para a configuração 1.

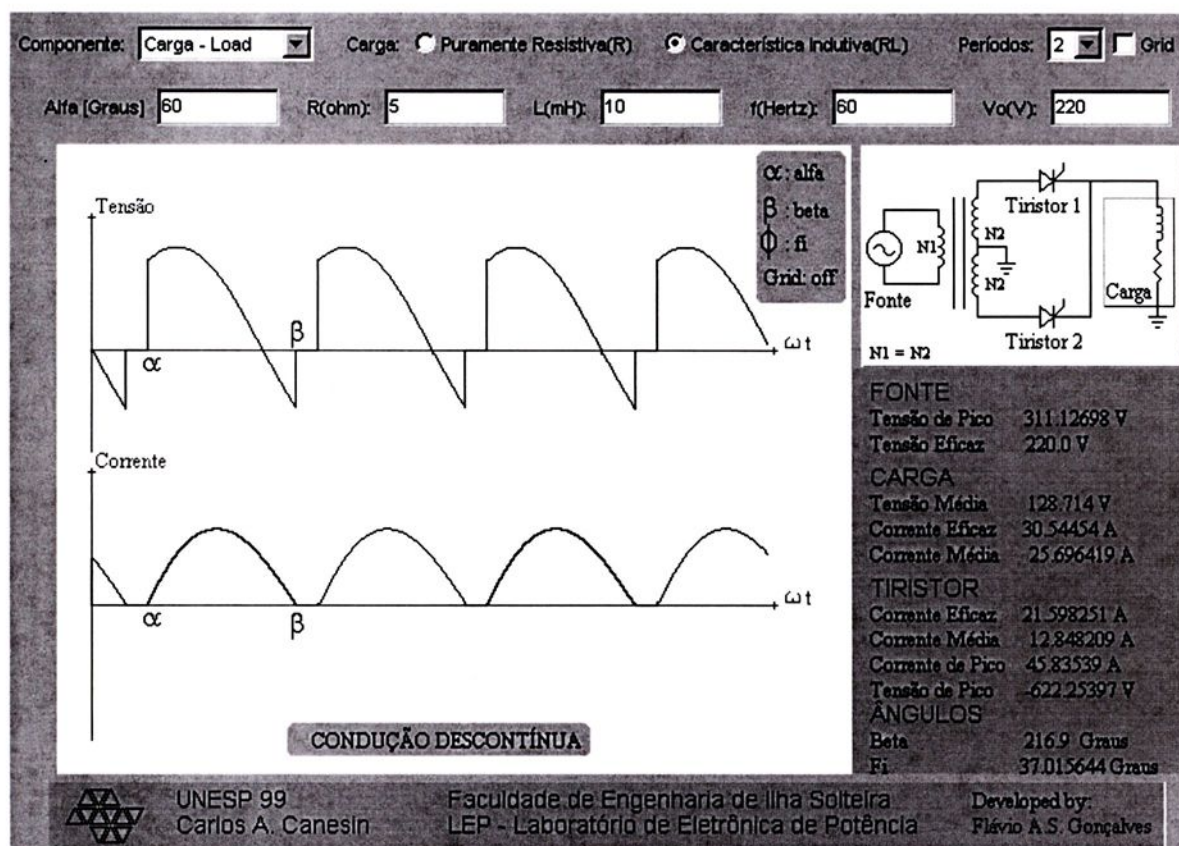


Figura 5.114 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 2.

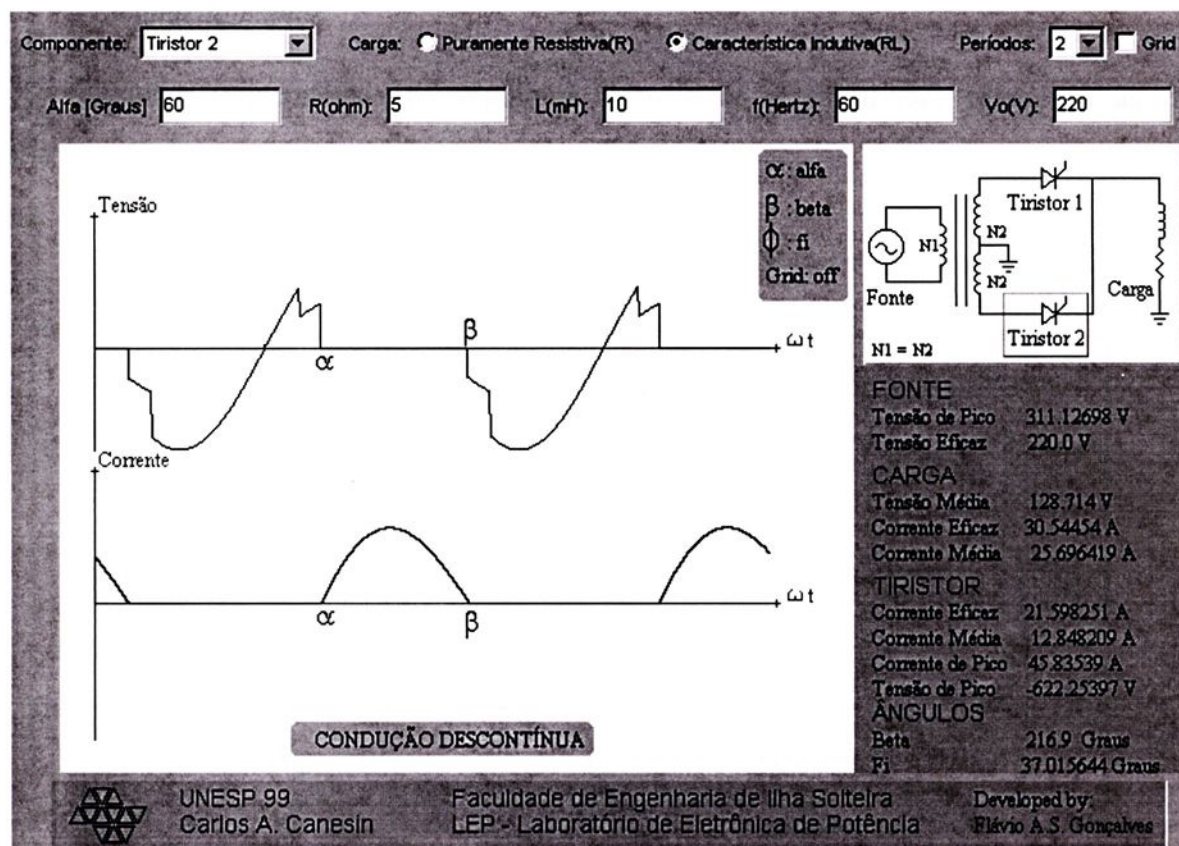


Figura 5.115 – Formas de ondas de tensão e corrente através do tiristor T_2 para a configuração 2.

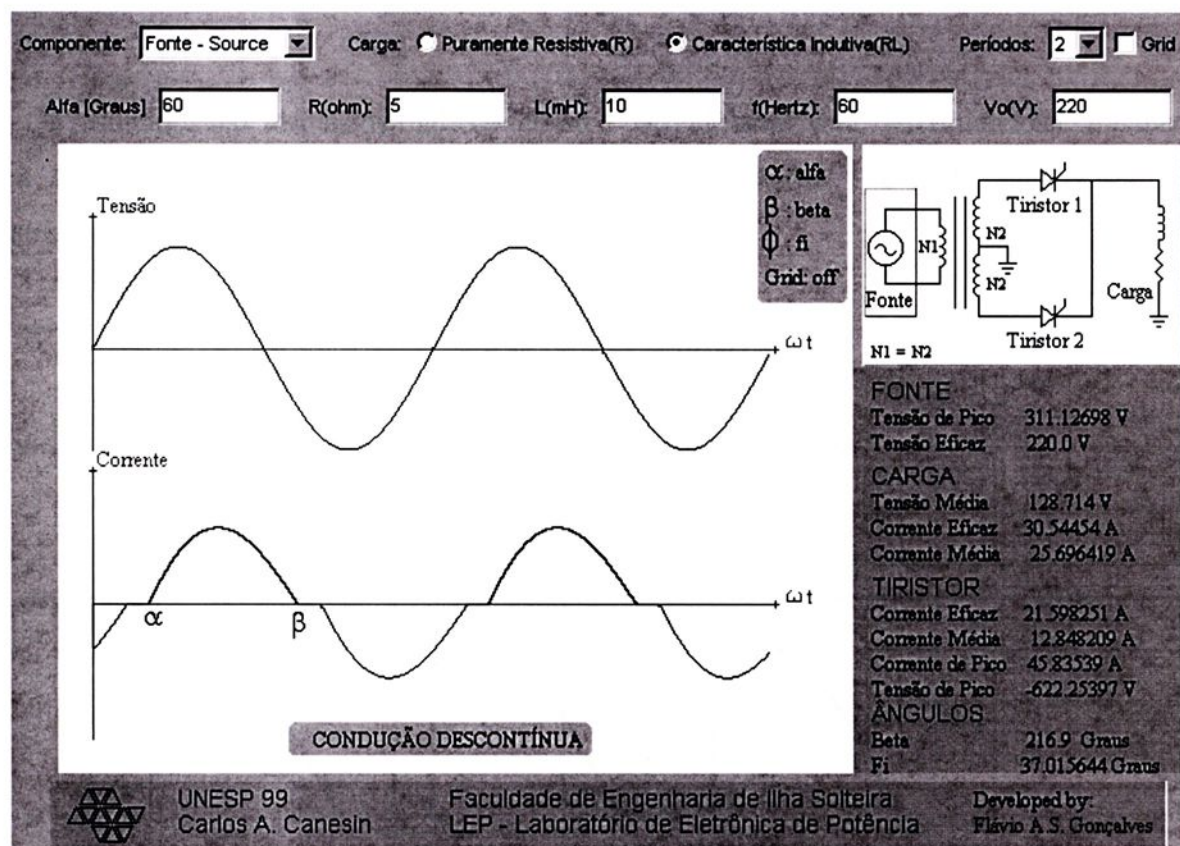
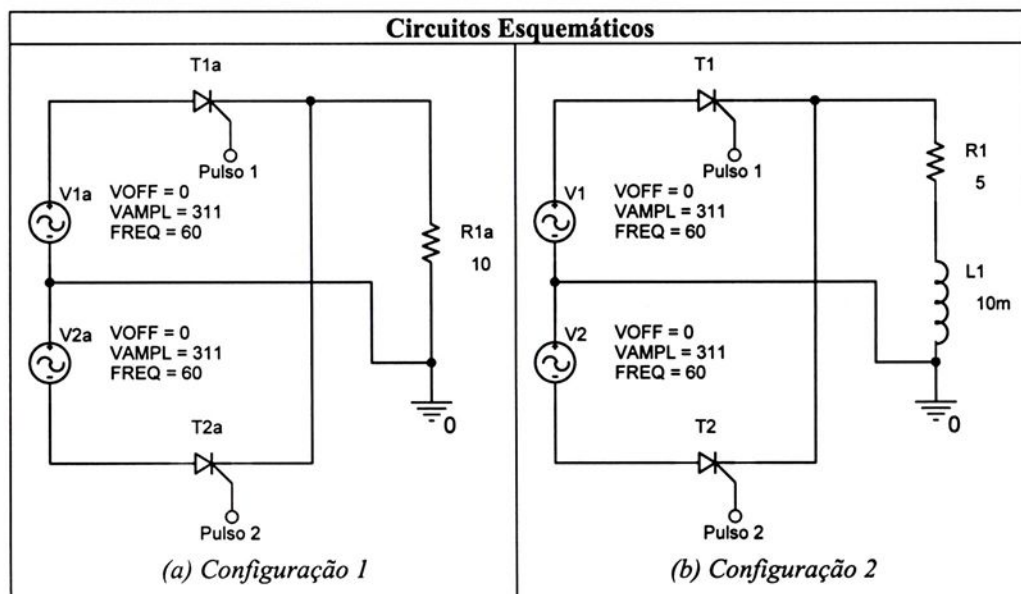


Figura 5.116 – Formas de ondas de tensão e corrente através da fonte para a configuração 2.

5.3.3.2 – Simulação Pspice

Os circuitos esquemáticos da topologia submetidos à simulação, referentes às duas configurações de parâmetros, estão presentes na Tabela 5.40.

Tabela 5.40 – Circuitos esquemáticos da topologia utilizados nas simulações.



Os resultados das formas de onda de tensão e corrente através de determinados componentes para a topologia em análise, empregando-se as configurações 1 e 2 de parâmetros, estão ilustrados nas Figuras 5.117 até 5.122 .

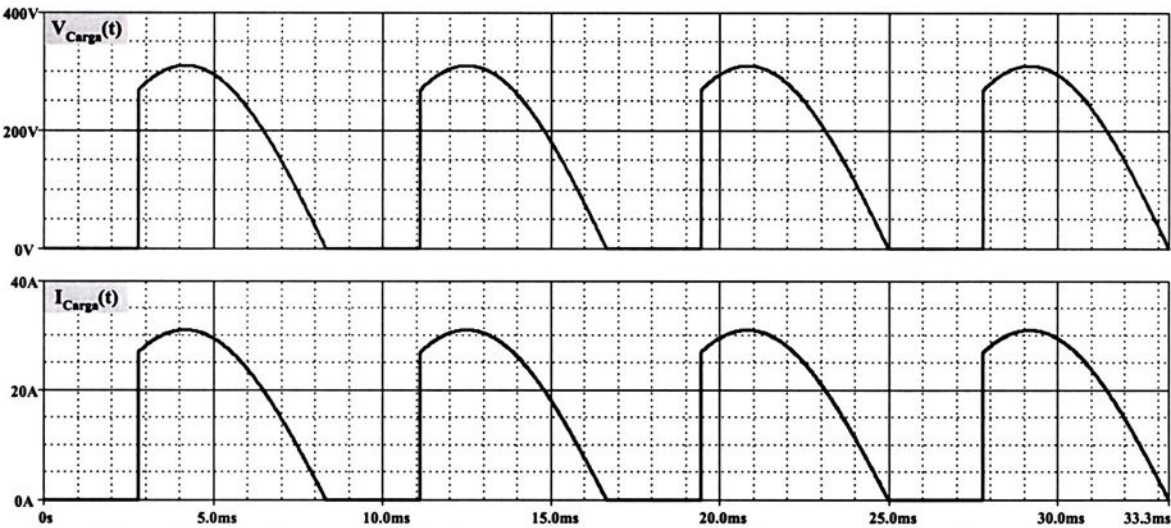


Figura 5.117 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

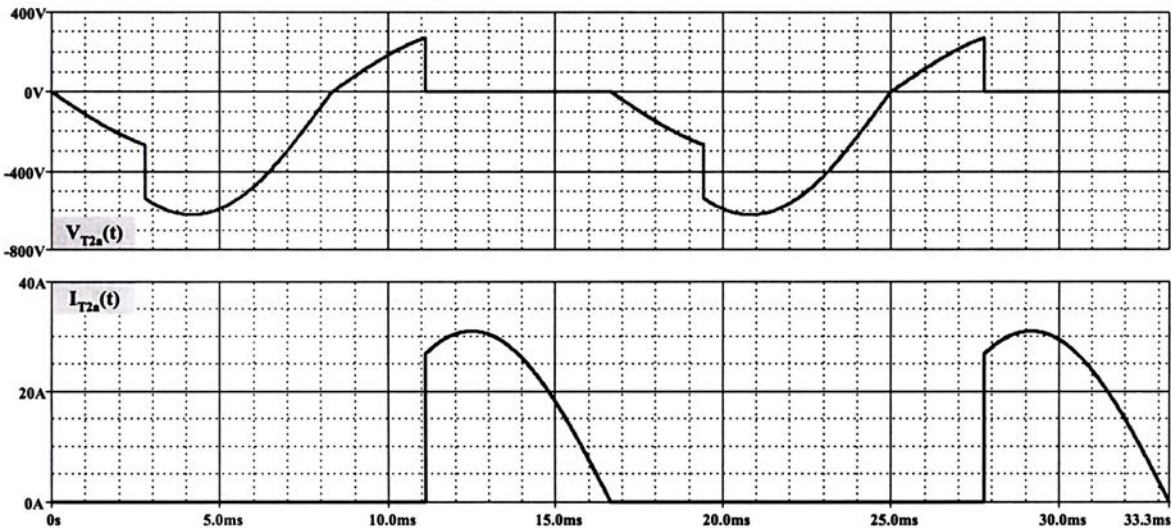


Figura 5.118 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_{2a} para configuração 1.

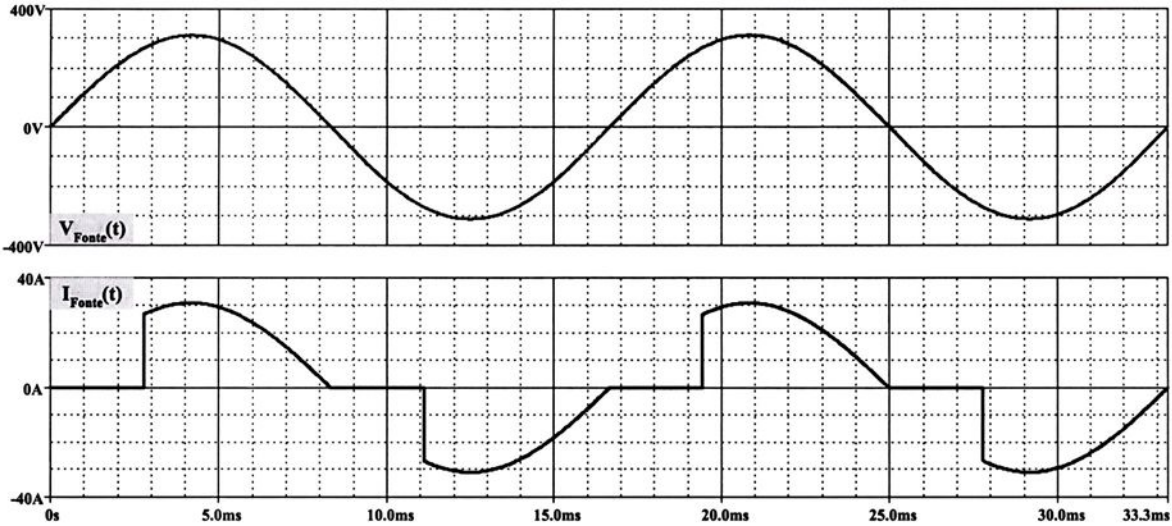


Figura 5.119 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_{1a} para configuração 1.

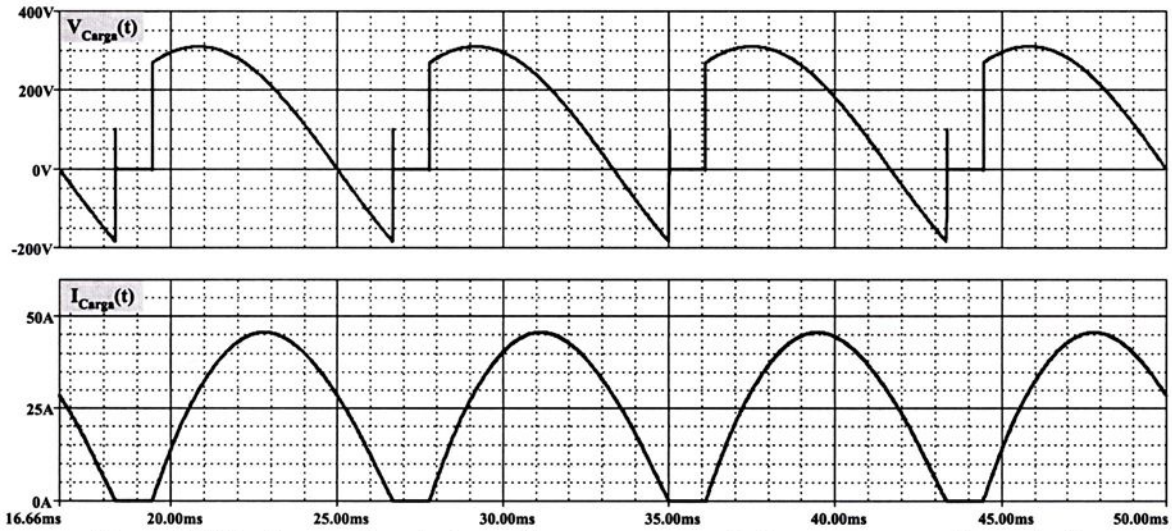


Figura 5.120 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2.

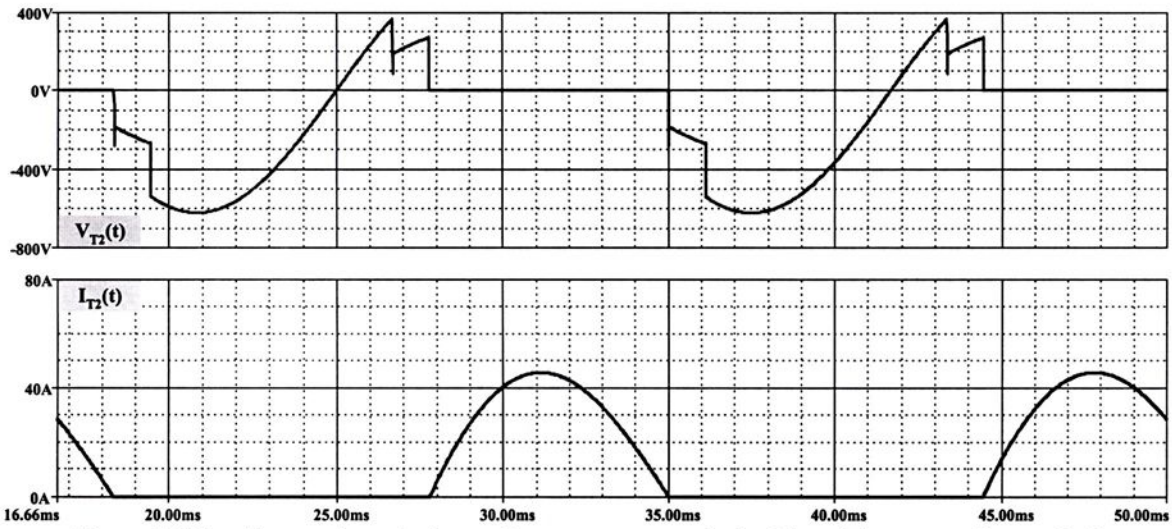


Figura 5.121 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_2 para configuração 2.

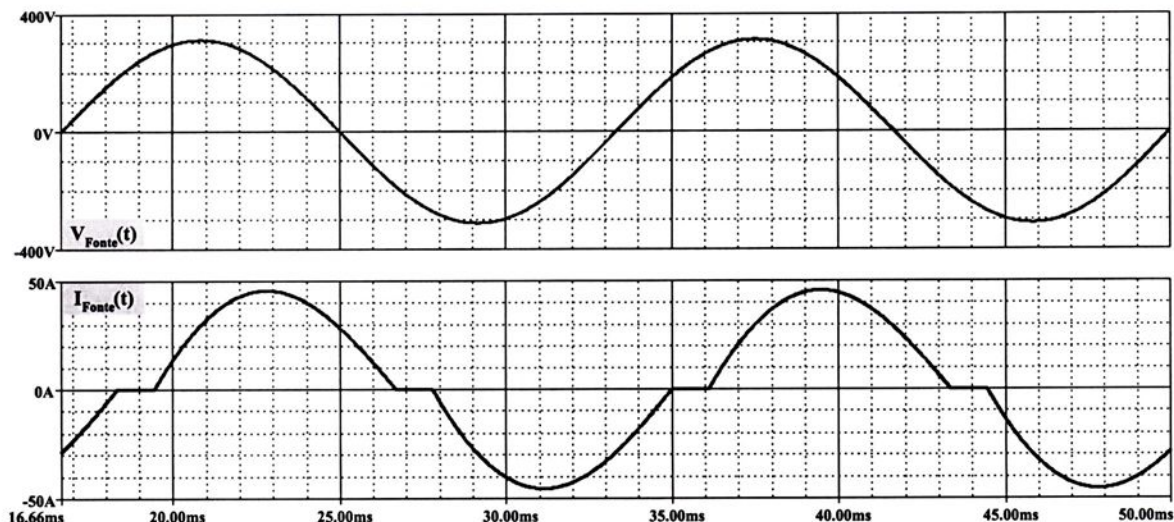


Figura 5.122 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para configuração 2.

5.3.3.3 – Análise dos Resultados

Os resultados dos valores médios, eficazes e de pico das formas de onda de tensão e corrente através da carga e do interruptor, obtidos para as duas configurações de parâmetros, estão presentes nas Tabelas 5.41 e 5.42 .

Tabela 5.41 – Resultados Obtidos para Configuração 1

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	148,5522 V	146,602 V	1,33
Corrente Média	14,8552 A	14,660 A	1,33
Corrente Eficaz	19,732649 A	19,560 A	0,88
Tiristor			
Corrente de Pico	31,1127 A	30,978 A	0,43
Corrente Média	7,4276 A	7,5897 A	2,13
Corrente Eficaz	13,9531 A	13,545 A	3,00
Tensão de Pico	-622,2539 V	-620,713 V	0,24

Tabela 5.42 – Resultados Obtidos para Configuração 2

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	128,714 V	127,804 V	0,71
Corrente Média	25,6964 A	25,471 A	0,88
Corrente Eficaz	30,5445 A	30,327 A	0,71
Tiristor			
Corrente de Pico	45,8354 A	45,602 A	0,51
Corrente Média	12,8482 A	12,632 A	1,71
Corrente Eficaz	21,5983 A	21,268 A	1,55
Tensão de Pico	-622,254 V	-620,725 V	0,24
Ângulo de Extinção			
β (Graus)	216,9	216,1	0,37

Portanto em função dos resultados apresentados, neste item, encerram-se as validações para os retificadores monofásicos à tiristores. Ressalta-se a grande importância da análise das formas de onda apresentadas nas applets desenvolvidas que, além de permitirem elevado grau de interatividade, são executadas praticamente de forma instantânea, devido a linearizações empregadas nas modelagens e equações dinâmicas desenvolvidas, e ainda, devido a atributos próprios da linguagem Java.

5.3.4 – Retificador Trifásico com Ponto Médio à Tiristores

A Tabela 5.43 apresenta a configuração de parâmetros empregados nos procedimentos de simulação.

Tabela 5.43 – Configuração dos parâmetros de simulação.

Configuração	α [Graus]	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	Vo [V]
1	15°	10	-	60	220

5.3.4.1 – Simulação Applets

As Figuras 5.123 até 5.125 apresentam os resultados de simulação obtidos empregando-se o aplicativo desenvolvido para a topologia do retificador trifásico com ponto médio controlado à tiristores. Observa-se ainda que este aplicativo indica também o tipo do modo de condução de corrente na carga.

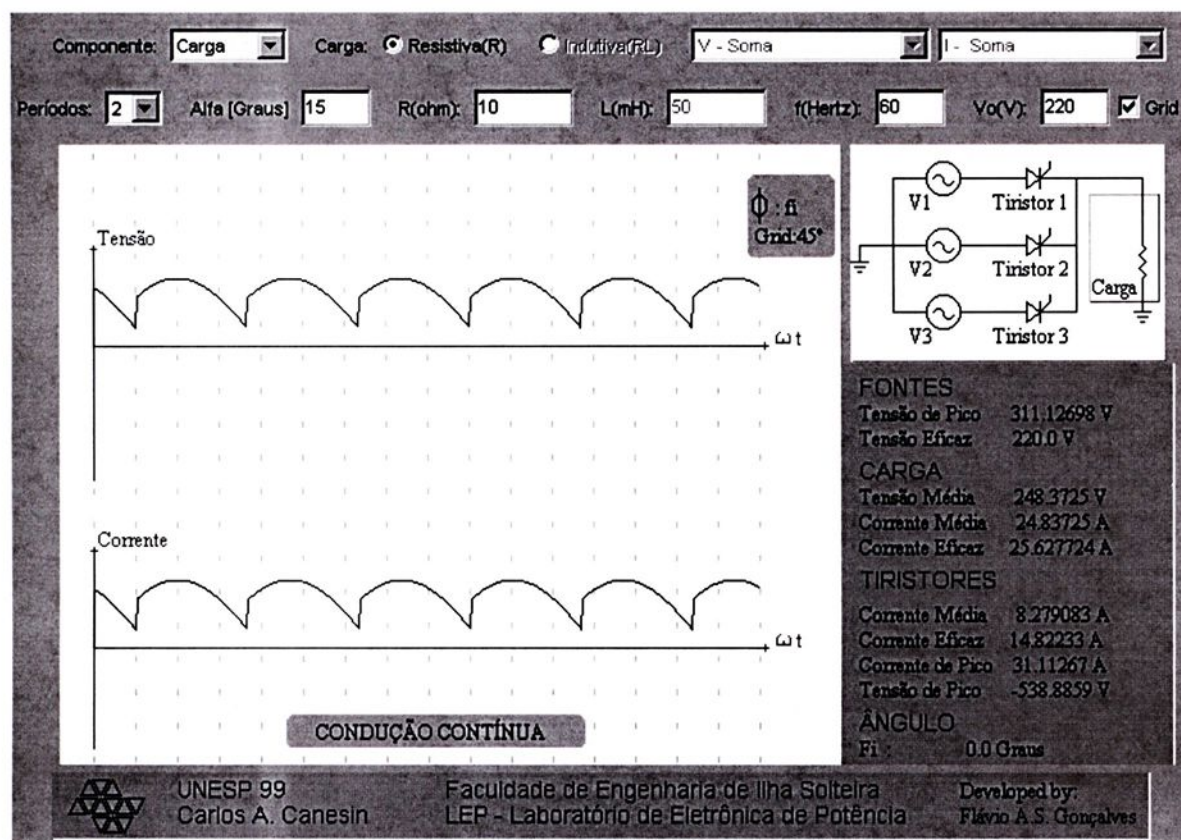


Figura 5.123 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 1.

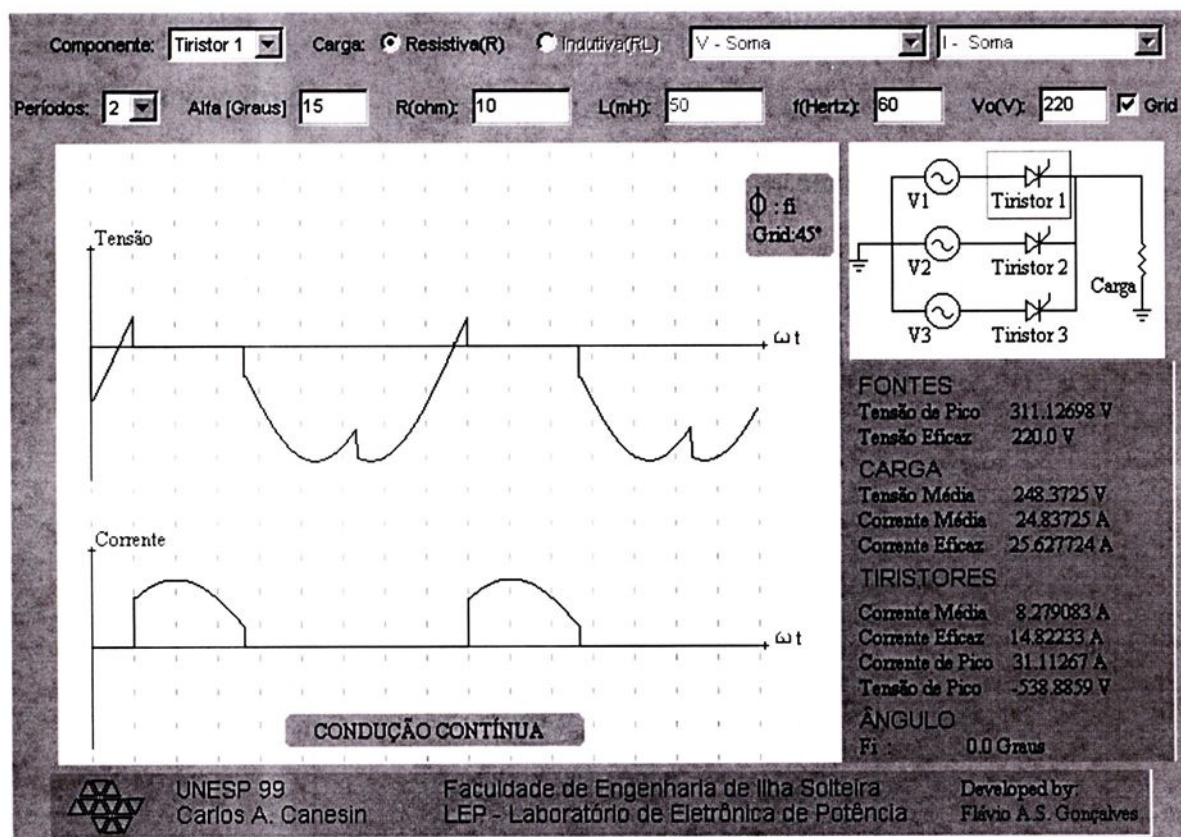


Figura 5.124 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_1 para a configuração 1.

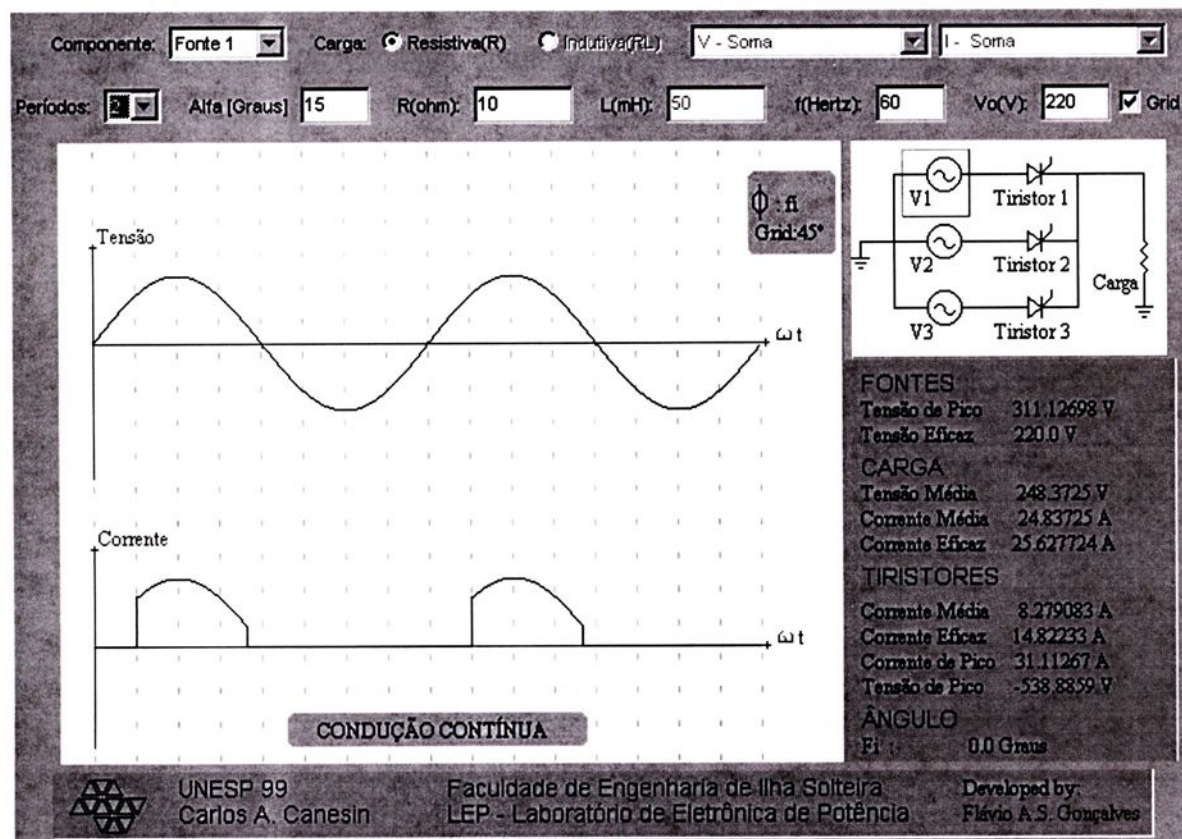
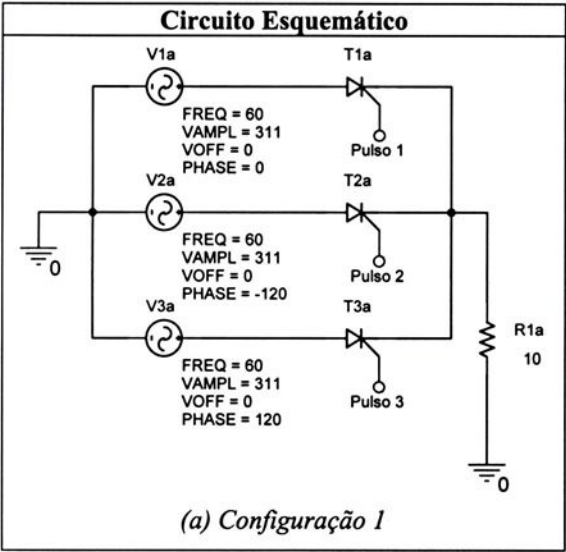


Figura 5.125 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para a configuração 1.

5.3.4.2 – Simulação Pspice

A Tabela 5.44 apresenta o circuito esquemático utilizado na simulação.

Tabela 5.44 – Circuito esquemático da topologia utilizado nas simulações.



As Figuras 5.126 até 5.128 apresentam os resultados das formas de onda de tensão e corrente através dos componentes da topologia, obtidos através das simulações efetuadas com o Pspice.

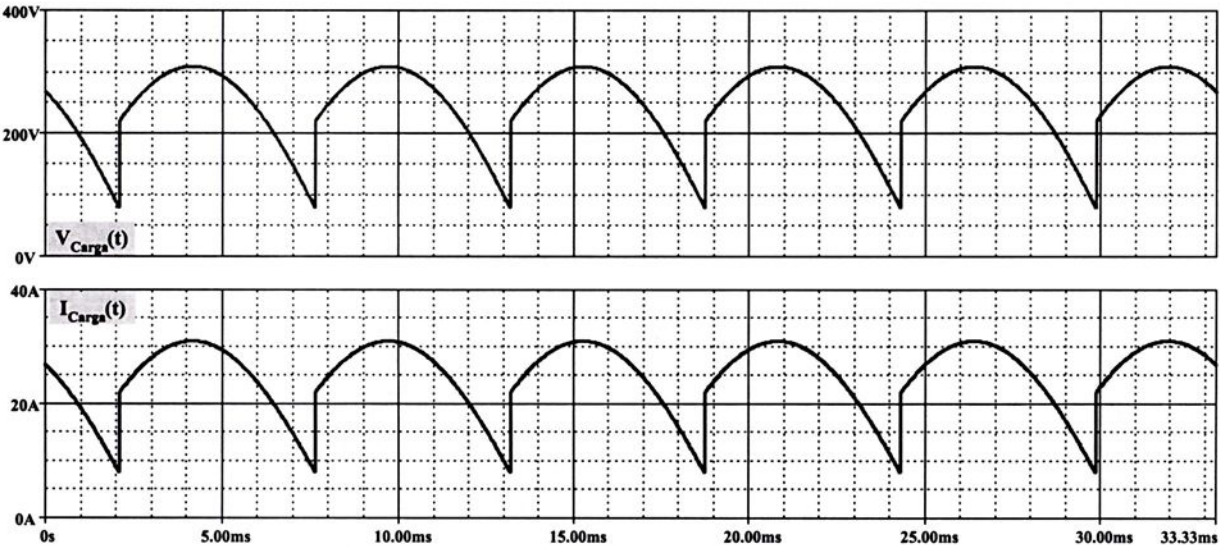


Figura 5.126 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

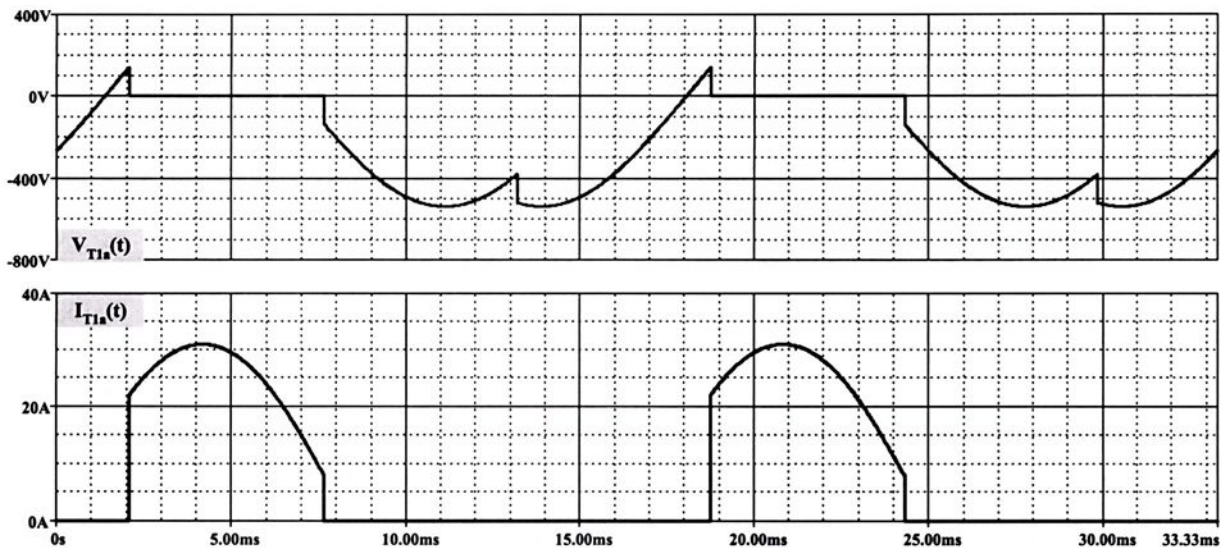


Figura 5.127 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_{1a} para configuração 1.

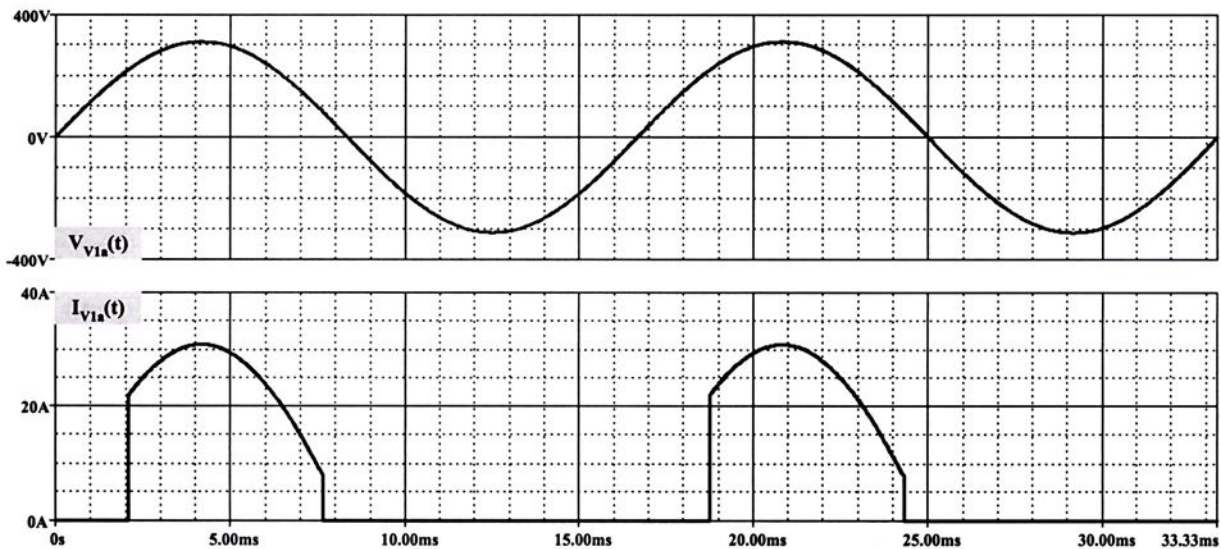


Figura 5.128 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_{1a} para configuração 1.

5.3.4.3 – Análise dos Resultados

Na Tabela 5.45 estão presentes os resultados das intensidades dos valores médios, eficazes e de pico das formas de onda de tensão e corrente através da carga e do interruptor.

Tabela 5.45 – Resultados Obtidos para Configuração 1

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Carga			
Tensão Média	248,3725 V	246,908 V	0,59
Corrente Média	24,8373 A	24,663 A	0,714
Corrente Eficaz	25,6277 A	25,463 A	0,65
Tiristor			
Corrente de Pico	31,1127 A	30,974 A	0,45
Corrente Média	8,2791 A	8,7123 A	4,97
Corrente Eficaz	14,8223 A	15,193 A	2,44
Tensão de Pico	-538,8859 V	-537,428 V	0,27

De acordo com análise comparativa apresentada, a applet desenvolvida para o retificador trifásico com ponto médio à tiristores fica validada, em função da metodologia de análise previamente estabelecida.

5.3.5 – Retificador Trifásico em Ponte Completa à Tiristores

A Tabela 5.46 apresenta as duas configurações de parâmetros empregados nos procedimentos de simulação.

Tabela 5.46 – Configurações dos parâmetros de simulação.

Configuração	α [Graus]	R [Ω]	L [mHenry]	Frequência [Hz]	Vo [V]
1	60°	10	-	60	220
2	30°	50	50	60	220

5.3.5.1 – Simulação Applets

As Figuras 5.129 até 5.134 ilustram o aplicativo desenvolvido, executando a simulação da topologia para as configurações 1 e 2 presentes na Tabela 5.46 .

Este aplicativo possibilita ao usuário a escolha da opção de realização de Análises de Fourier, do modo de operação da estrutura e o modo de condução da corrente na carga. A Figura 5.135 ilustra o aplicativo apresentando os resultados referentes à Análise de Fourier da corrente de entrada, na forma de uma tabela, contendo a ordem das componentes, suas amplitudes em valores de pico e as suas fases. O cálculo da taxa de distorção harmônica da corrente de entrada (T.D.H.) e do fator de potência também são apresentados.

A Figura 5.136 apresenta a Análise de Fourier da forma de onda da corrente através da carga, enquanto a Figura 5.137 a análise da forma de onda da tensão sobre a carga. A Figura 5.138 apresenta a informação sobre os modos de operação (retificador/inversor não autônomo) e os modos de condução da corrente na carga (contínua/descontínua).

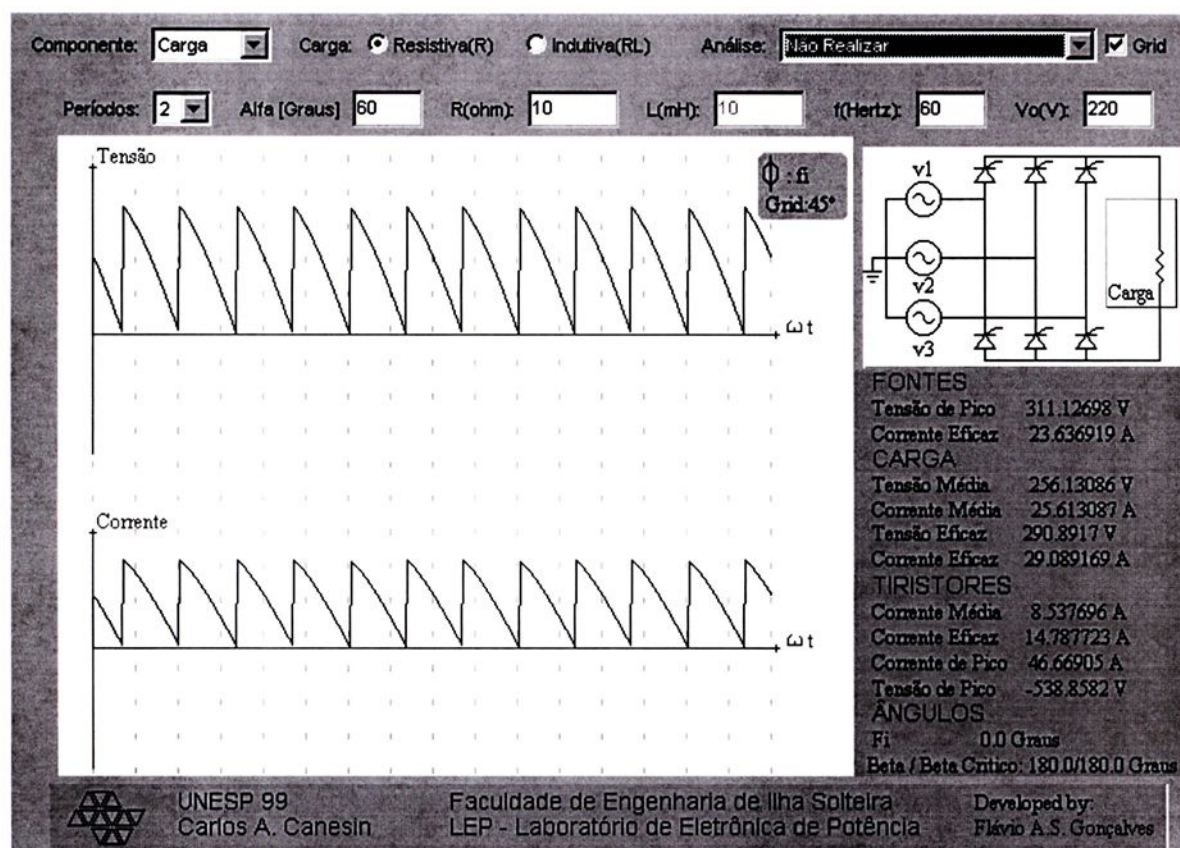


Figura 5.129 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 1.

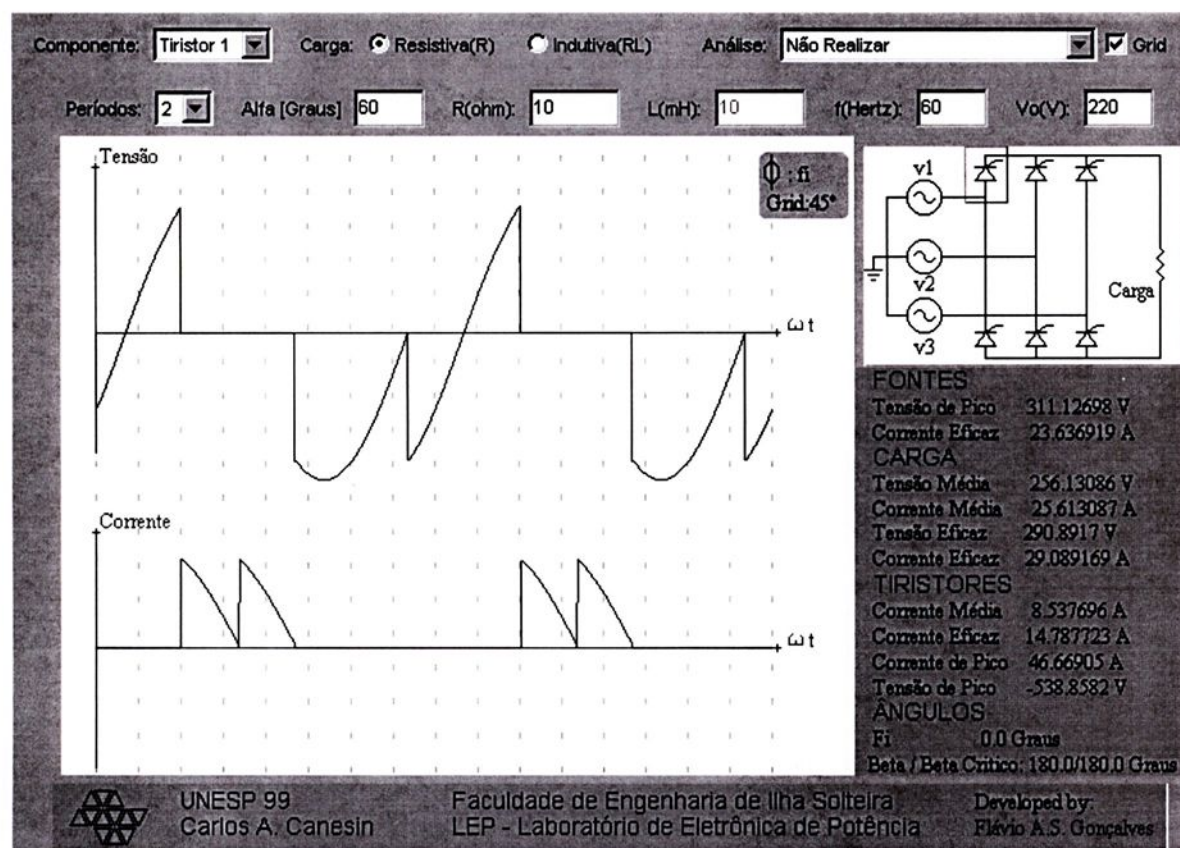


Figura 5.130 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_1 para a configuração 1.

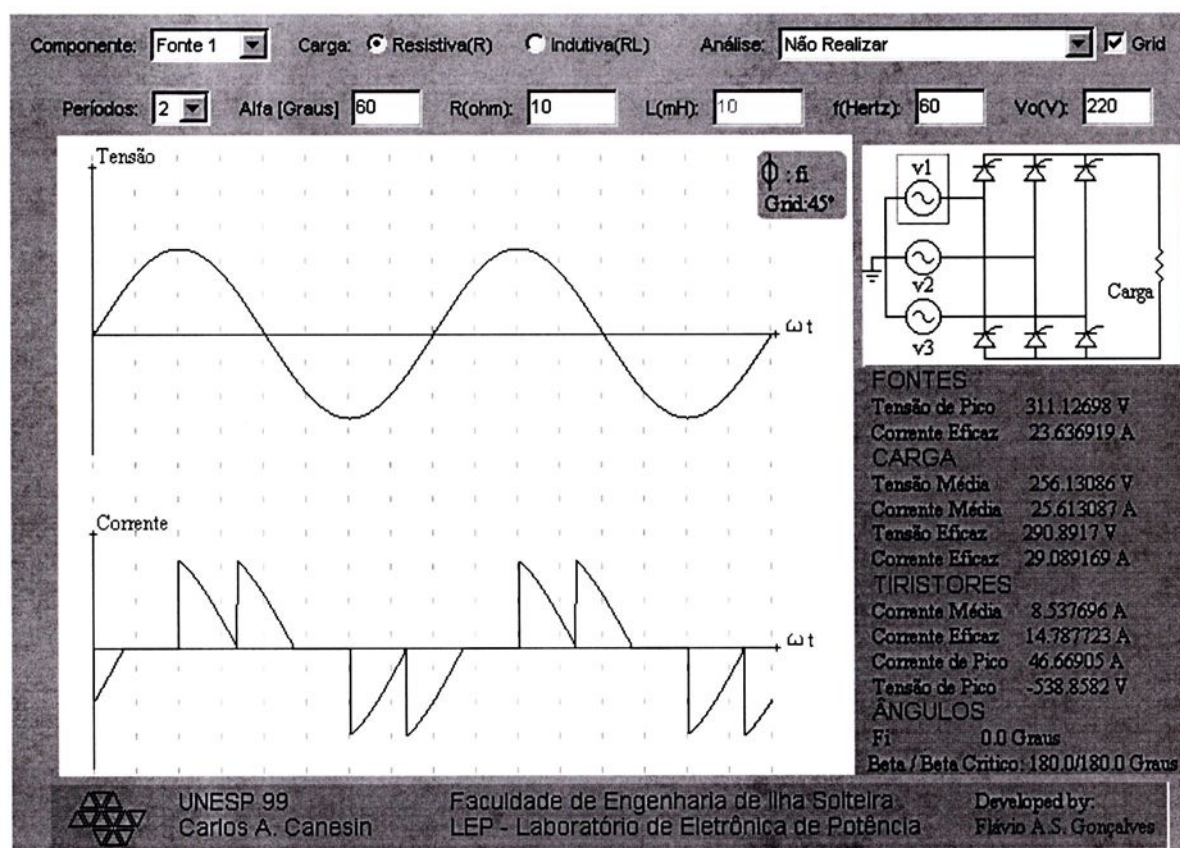


Figura 5.131 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_1 para a configuração 1.

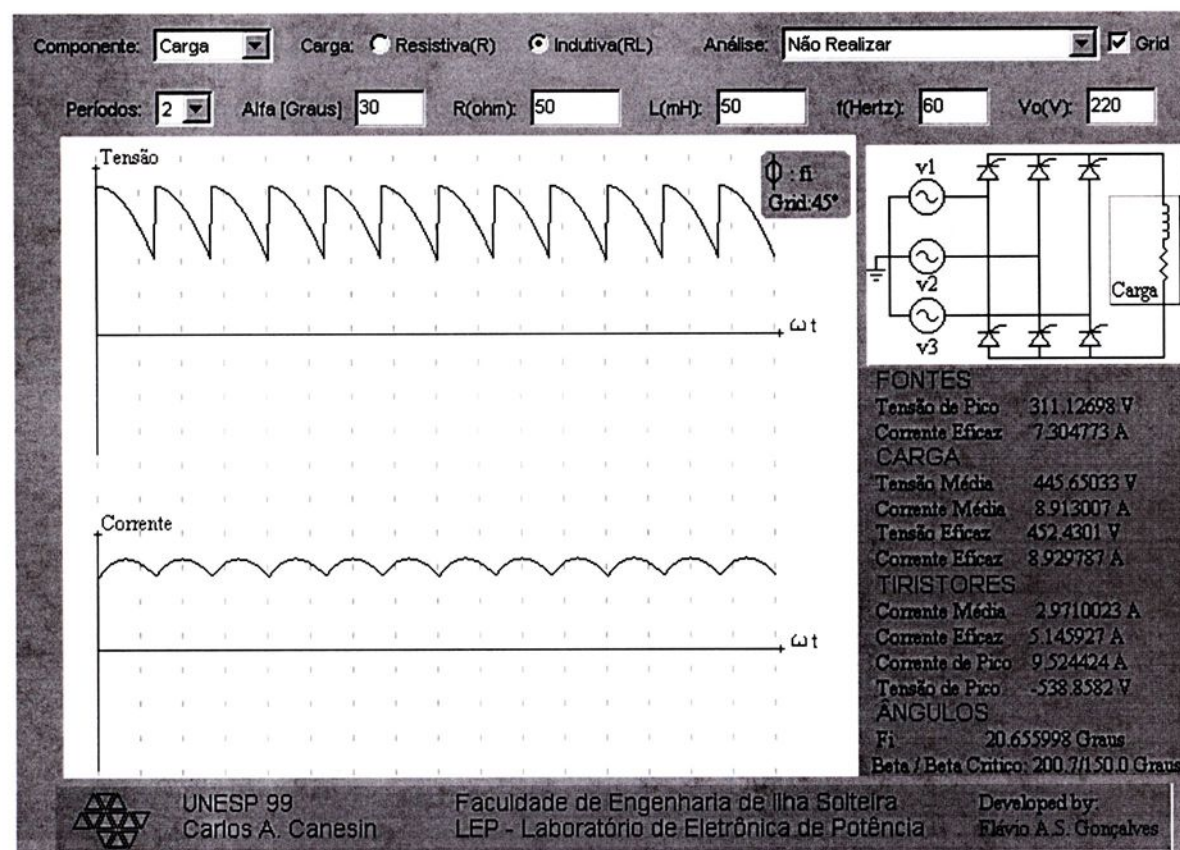


Figura 5.132 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para a configuração 2.

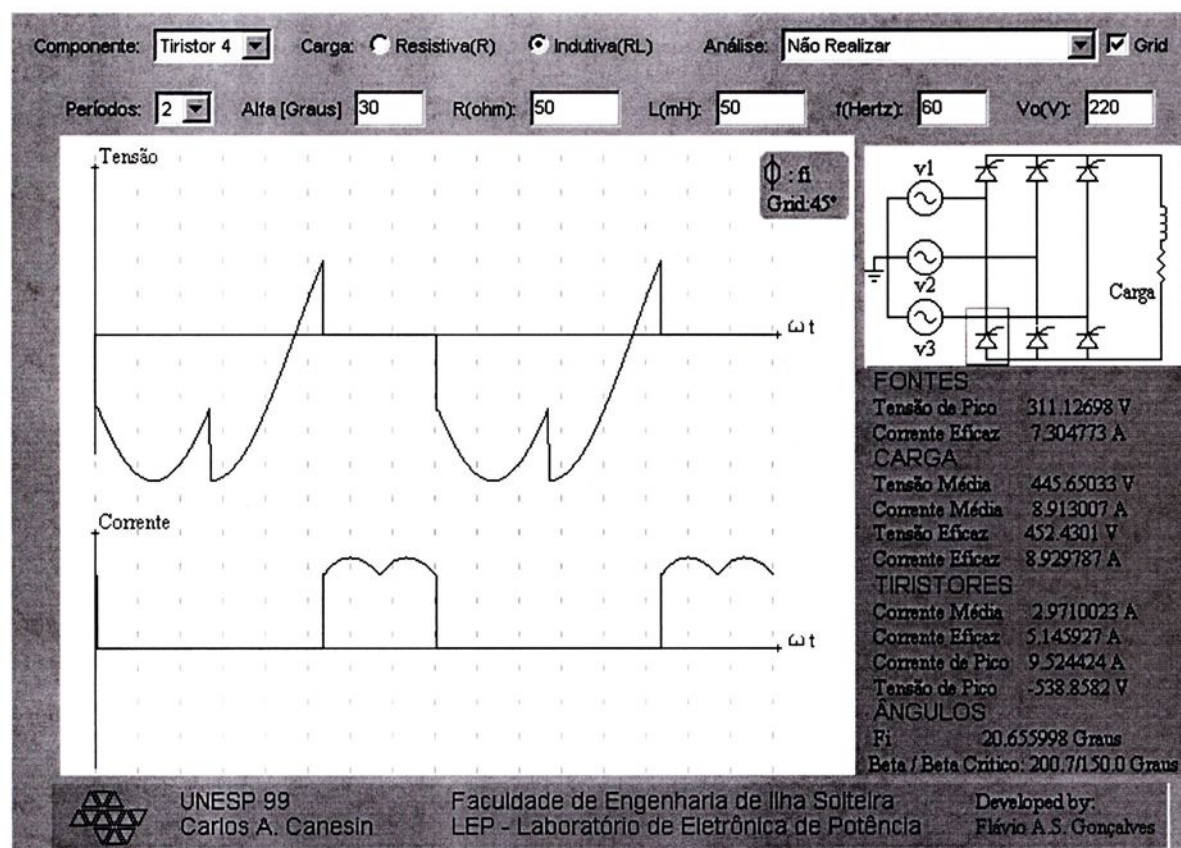


Figura 5.133– Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_4 para a configuração 2.

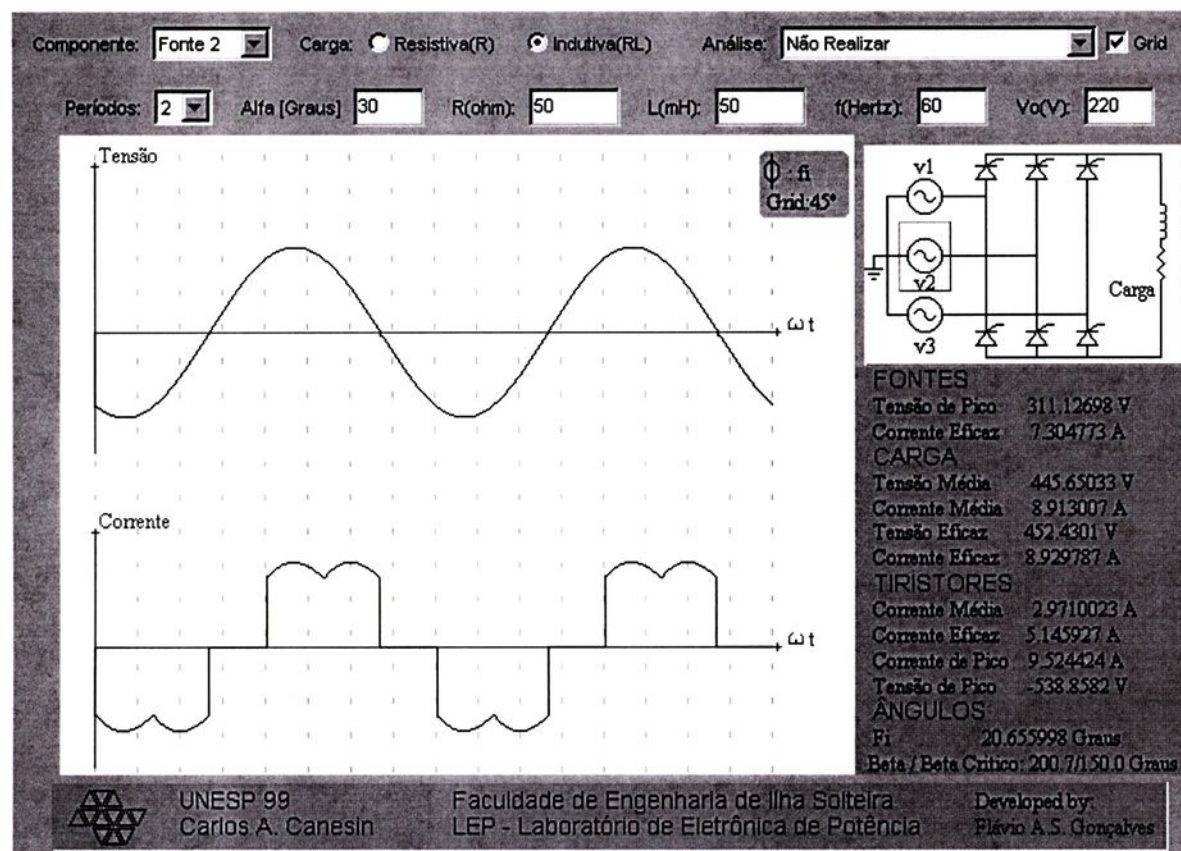


Figura 5.134– Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_2 para a configuração 2.

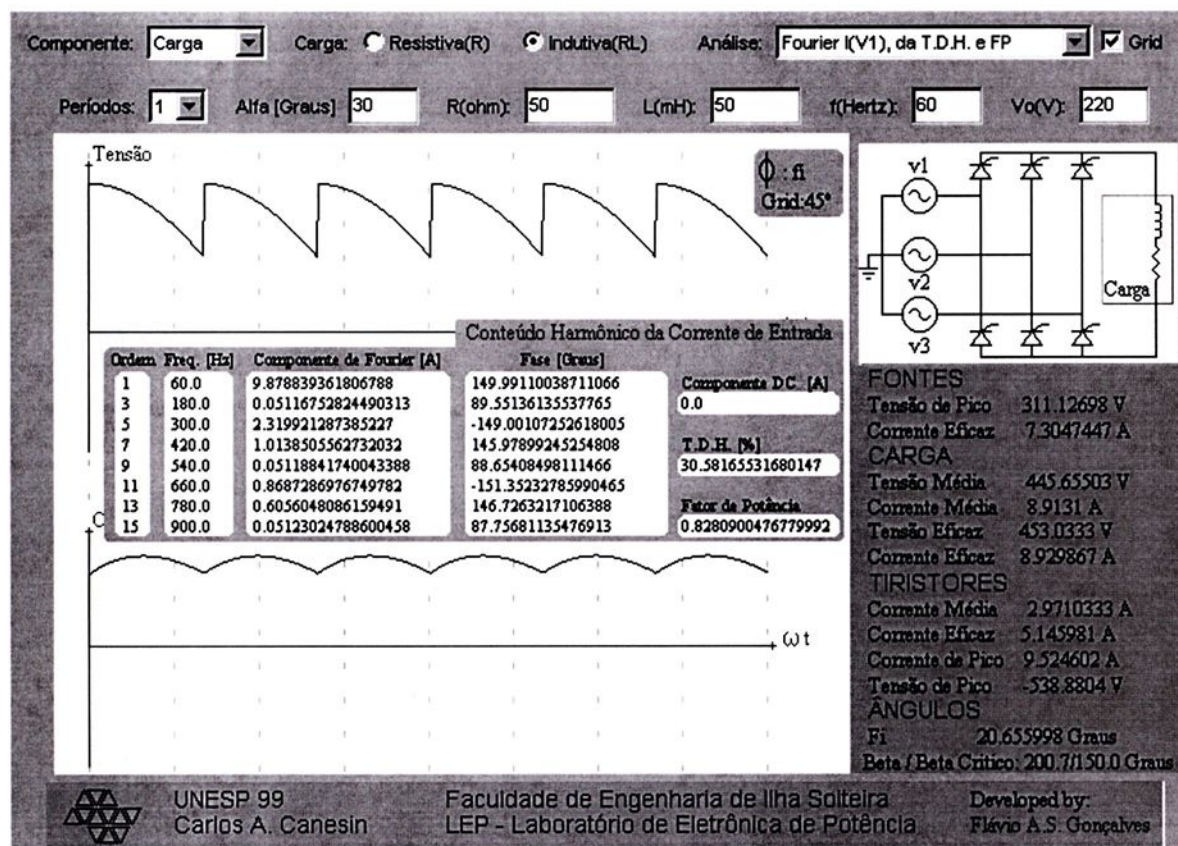


Figura 5.135– Análise de Fourier da forma de onda da corrente de entrada.

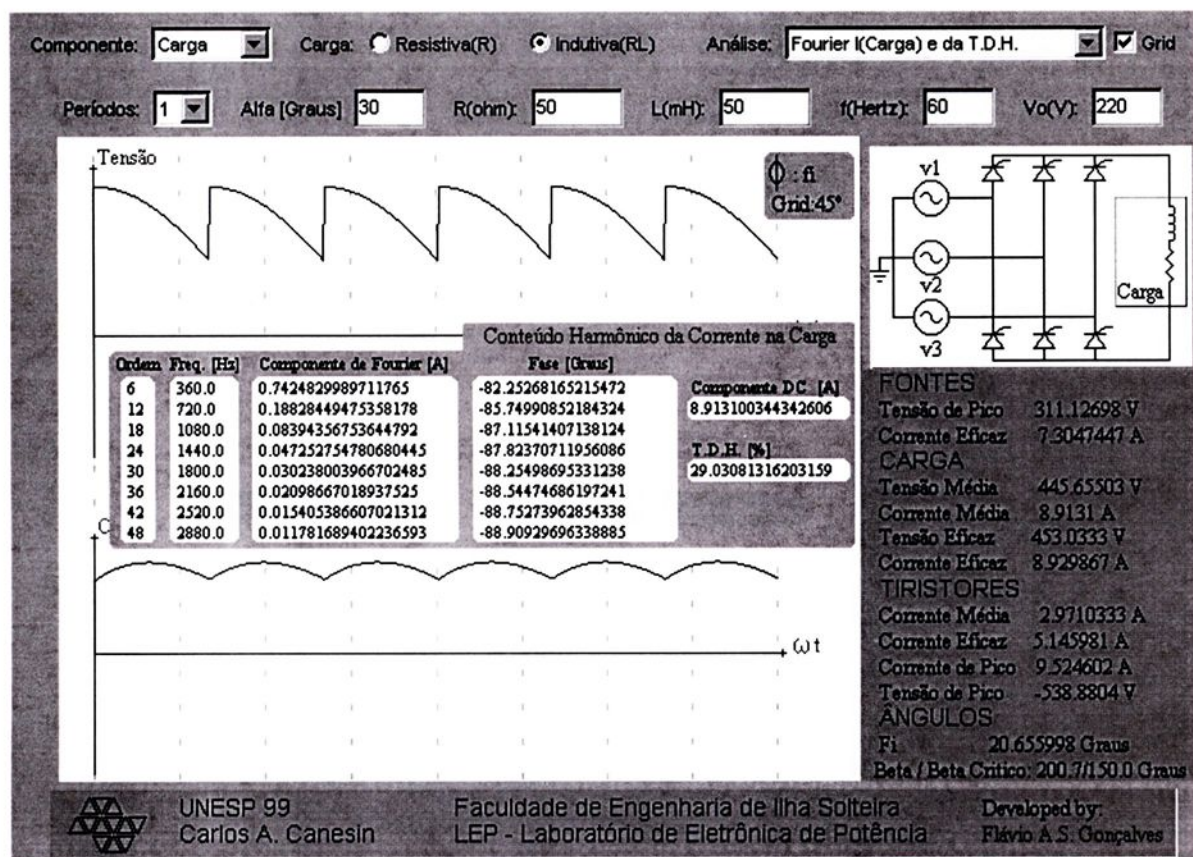


Figura 5.136– Análise de Fourier da forma de onda da corrente através da carga.

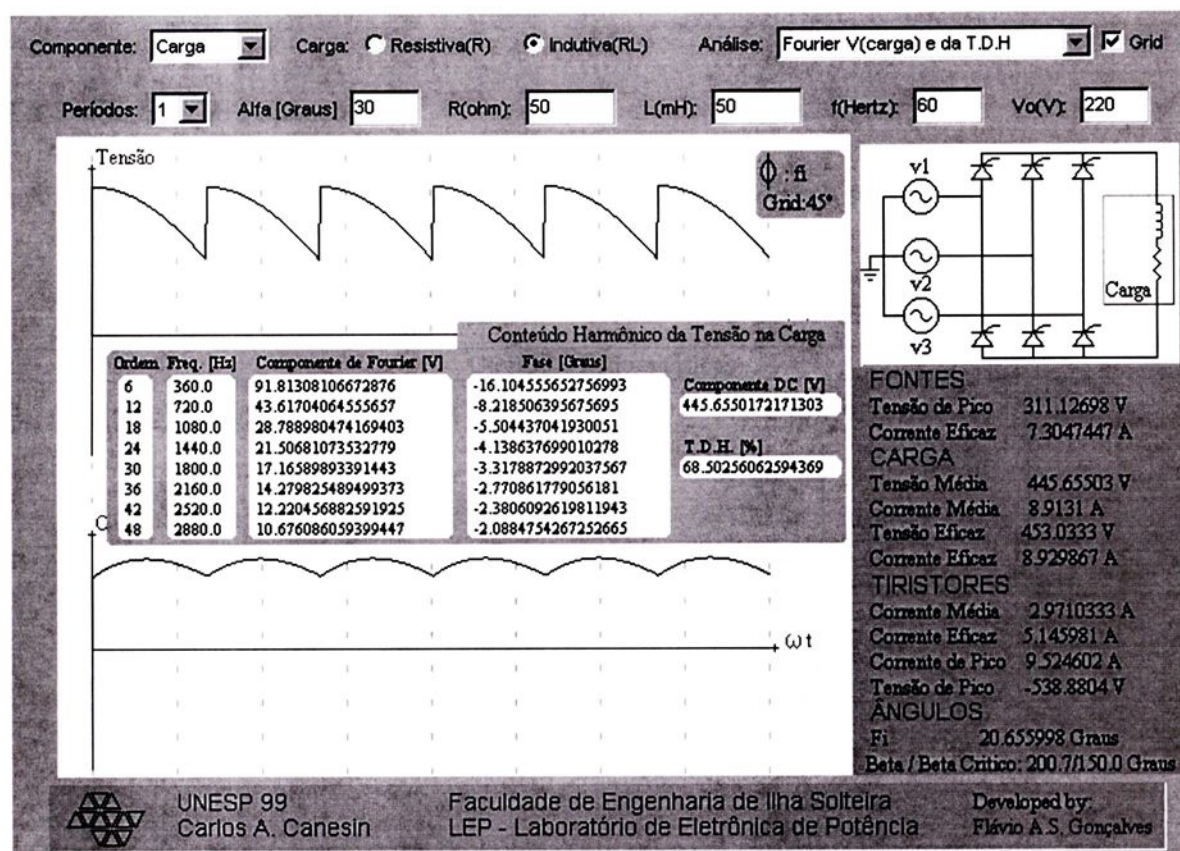


Figura 5.137 – Análise de Fourier da forma de onda da tensão sobre a carga.

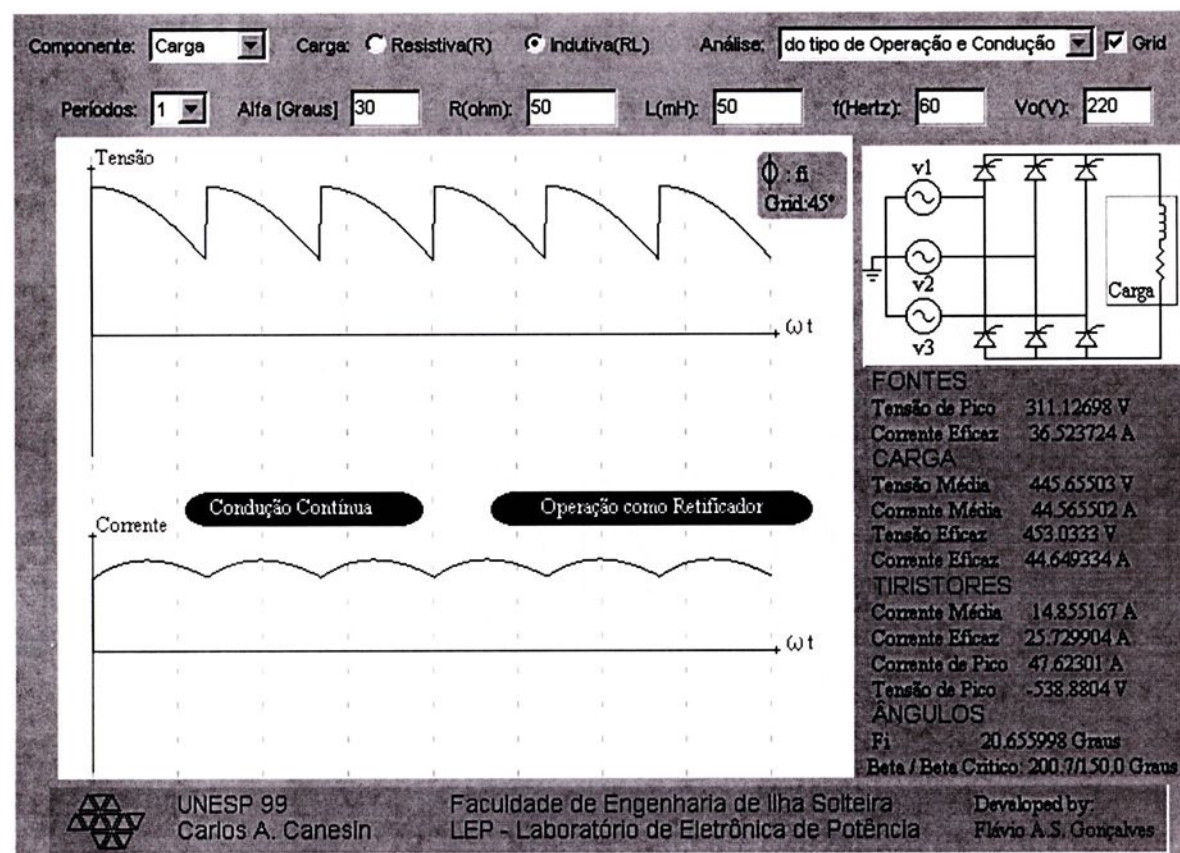
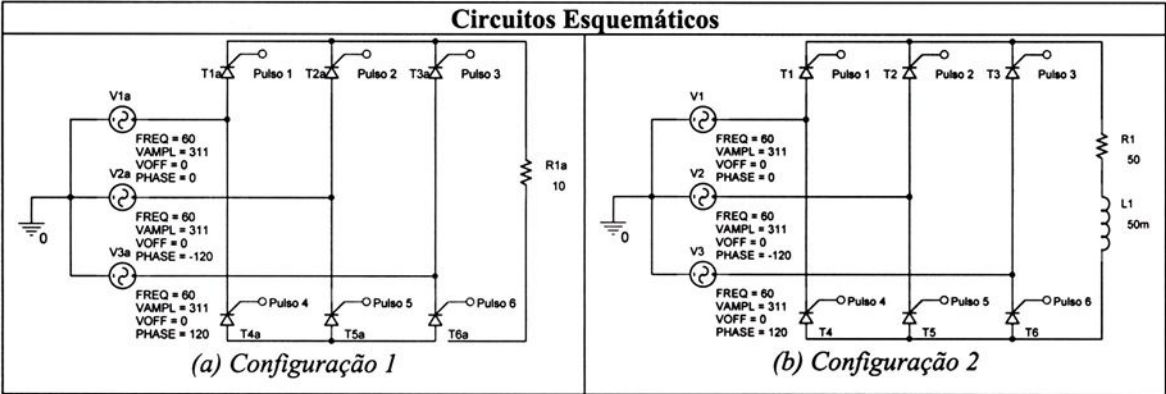


Figura 5.138 – Análise do modo de operação e do tipo de condução.

5.3.5.2 – Simulação Pspice

A Tabela 5.47 apresenta os circuitos esquemáticos da topologia submetidos à simulação.

Tabela 5.47 – Circuitos esquemáticos utilizados nas simulações.



Os resultados das formas de onda de tensão e corrente através de determinados componentes para a topologia em análise, utilizando as duas configurações de parâmetros, estão ilustradas nas Figuras 5.139 até 5.144 .

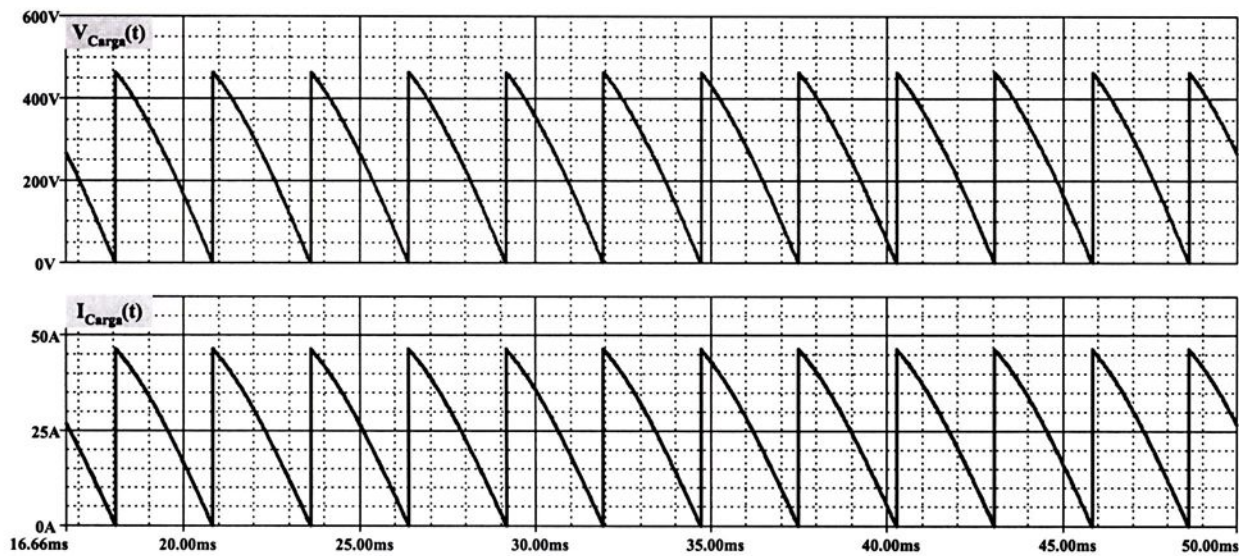


Figura 5.139 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 1.

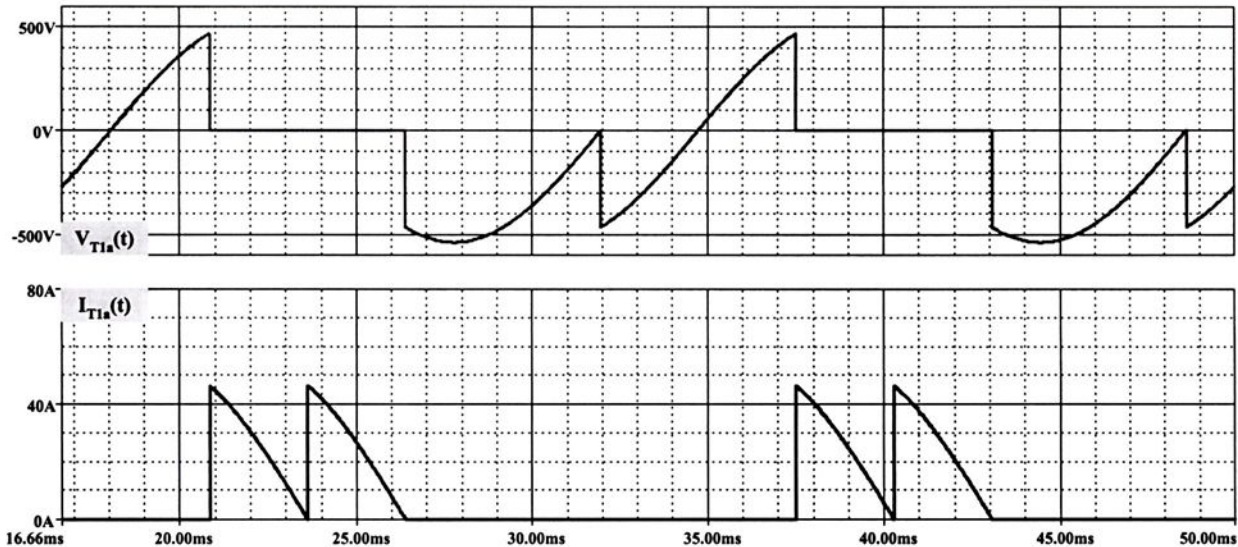


Figura 5.140 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_{1a} para configuração 1.

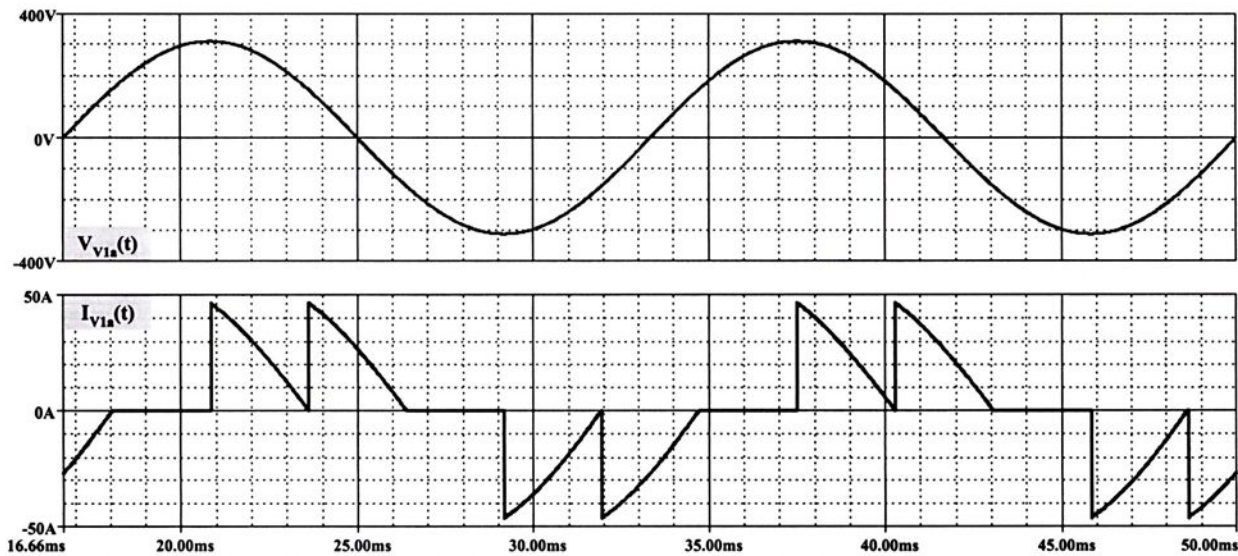


Figura 5.141 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_{1a} para configuração 1.

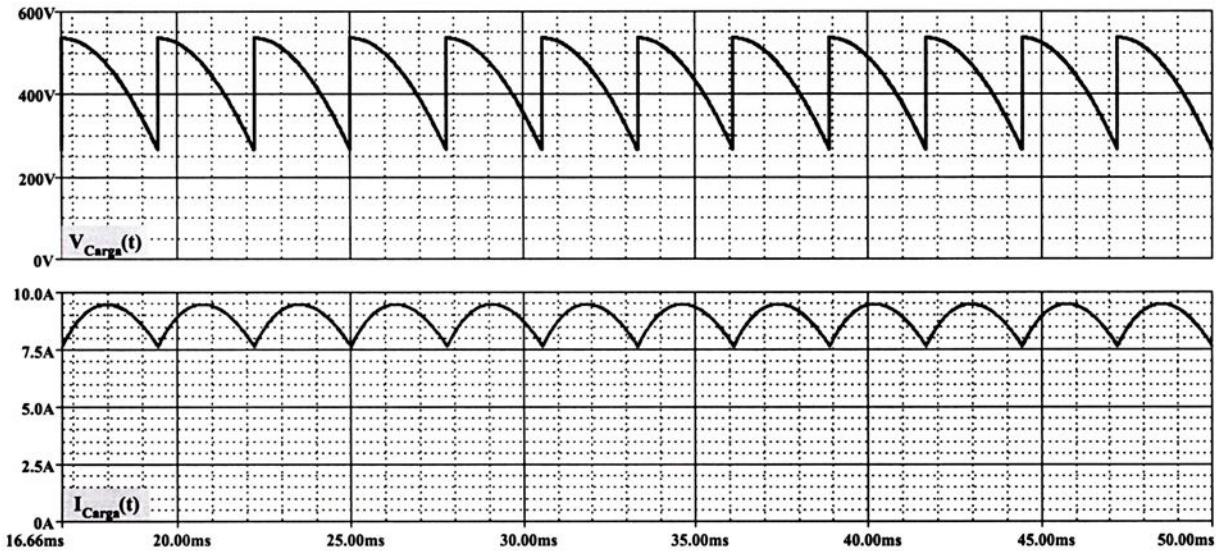


Figura 5.142 – Formas de onda de tensão e corrente através da carga para configuração 2.

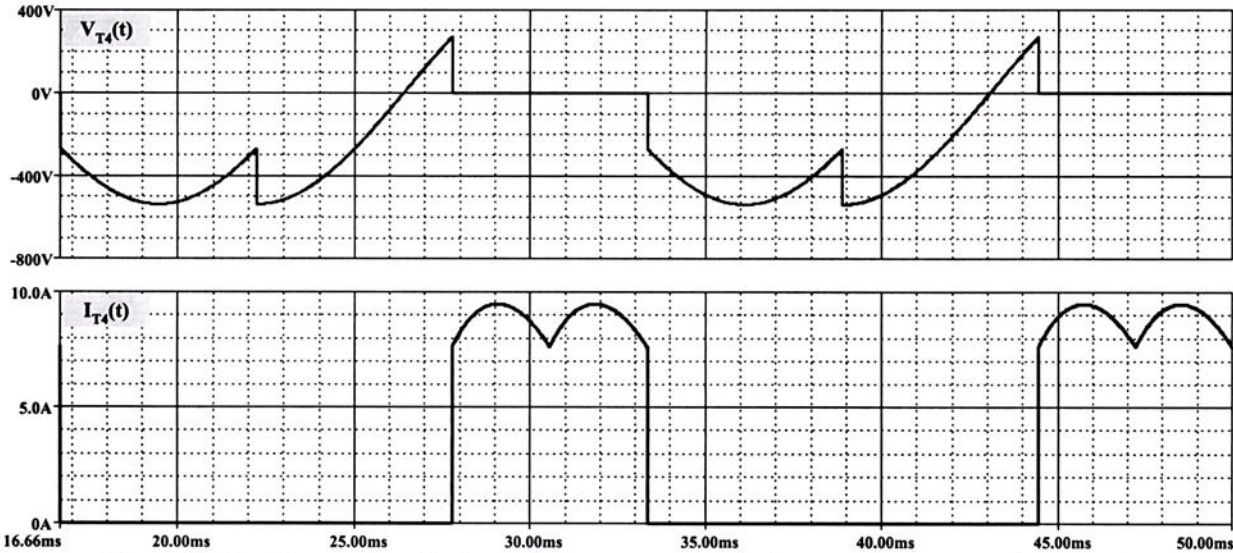


Figura 5.143 – Formas de onda de tensão e corrente através do tiristor T_4 para configuração 2.

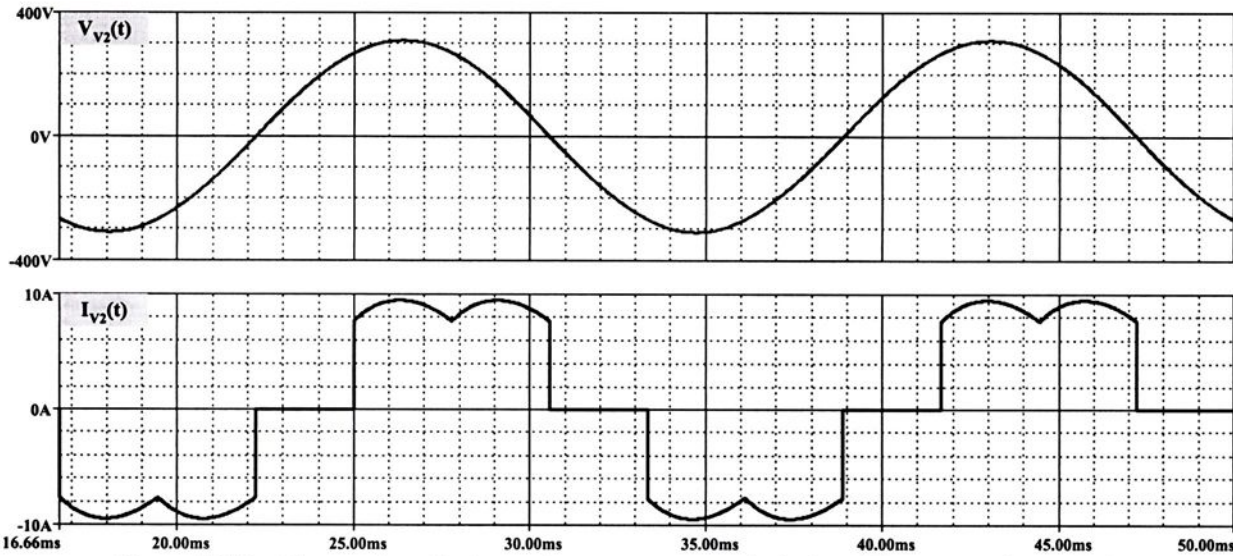


Figura 5.144 – Formas de onda de tensão e corrente através da fonte V_2 para configuração 2.

5.3.5.3 – Análise dos Resultados

As Tabelas 5.48 até 5.55 apresentam os resultados das intensidades dos valores médios, eficazes e de pico das formas de onda de tensão e corrente através de determinados componentes para as configurações presentes na Tabela 5.46 .

Tabela 5.48 – Resultados Obtidos para Configuração 1

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Fonte V_1			
Corrente Eficaz	23,6369 A	23,532 A	0,44
Carga			
Tensão Média	256,1308 V	256,288 V	0,39
Corrente Média	25,6131 A	25,628 A	0,004
Tensão Eficaz	290,8917 V	290,922 V	0,01
Corrente Eficaz	29,0891 A	29,0922 A	0,04
Tiristor			
Corrente de Pico	46,6690 A	46,359 A	0,67
Corrente Média	8,5377 A	8,3825 A	1,85
Corrente Eficaz	14,7877 A	16,371 A	9,67
Tensão de Pico	-538,8582 V	-537,430 V	0,27

Tabela 5.49 – Resultados da Análise de Fourier da forma de onda de corrente através de V_1 obtidos para configuração 1.

Corrente de Entrada (I_{V1a})			
Magnitude			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente DC	0 A	-0,0000178 A	
Componente Ordem 1	28,4998 A	28,49 A	0,03
Componente Ordem 3	0,0764 A	0,0369 A	107,04
Componente Ordem 5	12,823 A	12,83 A	0,05
Componente Ordem 7	6,471 A	6,384 A	1,43
Fase (Graus)			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente Ordem 1	129,0039	129,4	0,31
Componente Ordem 3	172,6108	170,7	1,12
Componente Ordem 5	118,5378	120,0	1,22
Componente Ordem 7	-123,0717	-120,5	2,13
Distorção Harmônica e Fator de Potência			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
T.D.H. [%]	61,295	59,682	2,70
F.P.	0,536	0,545	1,65

Tabela 5.50 – Resultados da Análise de Fourier da forma de onda de tensão na carga obtidos para configuração 1.

Tensão na Carga (V_{R1a})			
Magnitude			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente DC	257,299 V	254,822 V	0,97
Componente Ordem 6	153,6953 V	153,0 V	0,45
Componente Ordem 12	74,9333 V	74,60 V	0,45
Componente Ordem 18	49,6797 V	49,51 V	0,34
Componente Ordem 24	37,1479 V	37,09 V	0,16
Fase (Graus)			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente Ordem 6	173,63	174,5	0,50
Componente Ordem 12	-4,544	-2,718	67,18
Componente Ordem 18	175,46	178,2	1,54
Componente Ordem 24	-4,993	-1,365	265,778
Distorção Harmônica			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
T.D.H. [%]	70,67	70,609	0,08

Tabela 5.51 – Resultados da Análise de Fourier da forma de onda de corrente através da carga obtidos para configuração 1.

Corrente na Carga (I_{R1a})			
Magnitude			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente DC	25,502 A	25,482 A	0,08
Componente Ordem 6	15,369 A	15,30 A	0,45
Componente Ordem 12	7,493 A	7,460 A	0,44
Componente Ordem 18	4,968 A	4,951 A	0,34
Componente Ordem 24	3,715 A	3,709 A	0,16
Fase (Graus)			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente Ordem 6	172,81	174,5	0,97
Componente Ordem 12	-6,236	-2,718	129,43
Componente Ordem 18	172,91	178,2	2,97
Componente Ordem 24	-8,391	-1,365	514,73
Distorção Harmônica			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
T.D.H. [%]	70,67	70,609	0,08

Tabela 5.52 – Resultados Obtidos para Configuração 2

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Fonte V_1			
Corrente Eficaz	7,3048 A	7,2835 A	0,29
Carga			
Tensão Média	445,6503 V	450,992 V	1,18
Corrente Média	8,9130 A	8,8786 A	0,39
Tensão Eficaz	452,4301 V	443,563 V	1,99
Corrente Eficaz	8,9298 A	8,8962 A	0,38
Tiristor			
Corrente de Pico	9,5244 A	9,4825 A	0,45
Corrente Média	2,9710 A	2,9221 A	1,68
Corrente Eficaz	5,1459 A	5,0870 A	1,16
Tensão de Pico	-538,8582 V	-537,662 V	0,22

Tabela 5.53 – Análise de Fourier da forma de onda de corrente através de V_1 para a configuração 2.

Corrente de Entrada (I_{V1a})			
Magnitude			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente DC	0 A	-0,000071 A	
Componente Ordem 1	9,8790 A	9,803 A	0,76
Componente Ordem 3	0,0508 A	0,0116 A	337,93
Componente Ordem 5	2,3187 A	2,340 A	0,91
Componente Ordem 7	1,0197 A	0,978 A	4,26
Fase (Graus)			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente Ordem 1	149,605	150,1	0,33
Componente Ordem 3	88,166	86,90	1,46
Componente Ordem 5	-150,615	-148,6	1,36
Componente Ordem 7	142,175	146,9	3,22
Distorção Harmônica e Fator de Potência			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
T.D.H. [%]	30,5764	29,524	3,56
F.P.	0,825	0,831	0,72

Tabela 5.54 – Análise de Fourier da forma de onda de tensão na carga para a configuração 2.

Tensão na Carga (V_{R1})			
Magnitude			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente DC	445,657 V	442,982 V	0,60
Componente Ordem 6	92,177 V	92,11 V	0,07
Componente Ordem 12	43,789 V	43,71 V	0,18
Componente Ordem 18	28,887 V	28,92 V	0,11
Componente Ordem 24	21,563 V	21,59 V	0,13
Fase (Graus)			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente Ordem 6	-16,916	-16,69	0,48
Componente Ordem 12	-9,979	-9,488	5,17
Componente Ordem 18	-8,189	-7,376	11,02
Componente Ordem 24	-7,744	-6,753	14,67
Distorção Harmônica			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
T.D.H. [%]	68,42	69,95	2,3

Tabela 5.55– Análise de Fourier da forma de onda de tensão sobre a carga obtida para configuração 2.

Corrente na Carga (I_{R1})			
Magnitude			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente DC	8,913 A	8,868 A	0,51
Componente Ordem 6	0,7454 A	0,7421 A	0,45
Componente Ordem 12	0,1890 A	0,1879 A	0,59
Componente Ordem 18	0,08423 A	0,08403 A	0,24
Componente Ordem 24	0,04737 A	0,04728 A	0,19
Fase (Graus)			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Componente Ordem 6	-82,254	-82,33	0,09
Componente Ordem 12	-85,754	-85,77	0,02
Componente Ordem 18	-87,122	-87,11	0,01
Componente Ordem 24	-87,832	-87,90	0,08
Distorção Harmônica			
	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
T.D.H. [%]	29,03	29,101	0,24

Portanto, com estes resultados comparativos comprova-se a total validação para as applets desenvolvidas para os retificadores controlados à tiristores, quer sejam monofásicos ou trifásicos.

As análises harmônicas apresentadas em diversas applets, principalmente estas últimas para o retificador trifásico em ponte completa à tiristores, possui enorme aplicação e importância para a solução de exercícios e projetos normalmente propostos no ensino de eletrônica de potência.

Além do importante auxílio ao ensino, tais applets possibilitam o desenvolvimento de análise crítica e comparativa quando são aplicadas em conjunto com o desenvolvimento de práticas laboratório, trazendo grandes benefícios ao aprendizado.

5.3.6 – Ábacos Desenvolvidos para Aplicações com Tiristores

Foram desenvolvidos dois aplicativos de resolução de problemas matemáticos específicos na teoria de eletrônica de potência referente aos retificadores monofásicos de meia onda controlados. Os aplicativos desenvolvidos para a determinação do ângulo de extinção da corrente (β) e dos valores das correntes normalizadas na carga, utilizando-se como informações de entrada: as características da carga, ou, os valores discretos (R, L e frequência da fonte de alimentação senoidal), ou ainda, o ângulo de carga (ϕ).

Outro aplicativo que determina o ângulo de extinção de corrente (β) para estruturas retificadoras controladas e não-controladas, empregando carga genérica R-L-E, denominado Puschlowski, foi desenvolvido, abordando os mesmos princípios de entradas de dados dos demais ábacos apresentados.

Adicionalmente, foi desenvolvida uma applet para análise dos efeitos das indutâncias de comutação e dos demais parâmetros dos circuitos que influenciam a operação de estruturas retificadoras trifásicas controladas ou não.

5.3.6.1 – Ângulo de Extinção da Corrente (β)

A Figura 5.145 apresenta a applet desenvolvida para a determinação de β para o retificador monofásico de meia onda a tiristor.

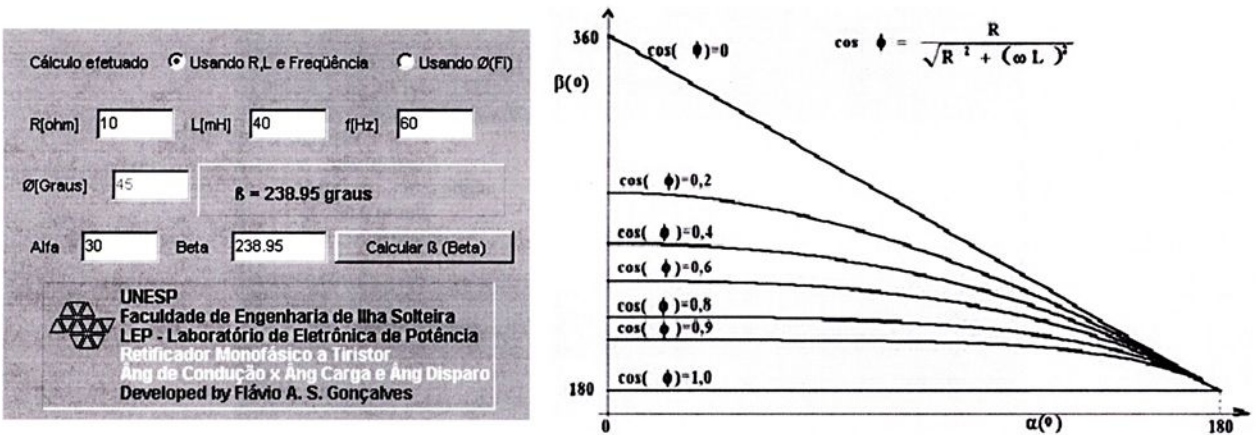


Figura 5.145 – Ábaco para determinação do ângulo de extinção da corrente e o traçado das curvas características.

5.3.6.2 – Correntes Médias Normalizadas na Carga

A Figura 5.146 apresenta a applet desenvolvida para a determinação dos valores normalizados de corrente média e eficaz na carga, para o retificador monofásico de meia onda a tiristor.

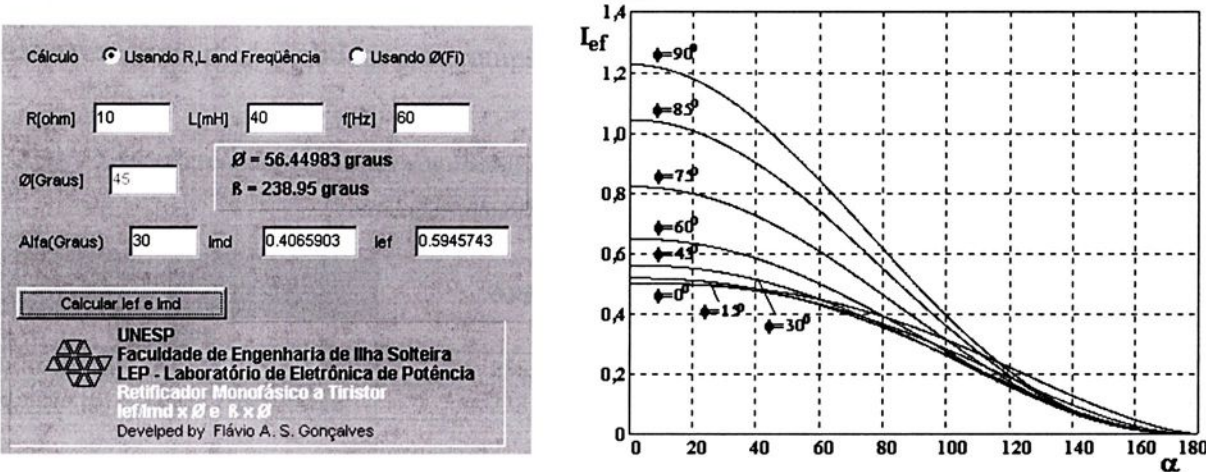


Figura 5.146 – Ábaco para determinação das correntes normalizadas na carga e o traçado das curvas características para a corrente eficaz normalizada (como exemplo).

5.3.6.3 – Puschlowski

A Figura 5.147 apresenta uma das applets mais importantes desenvolvida para a análise de retificadores controlados ou não, para uma carga genérica R-L-E qualquer, denominado Ábaco de Puschlowski.

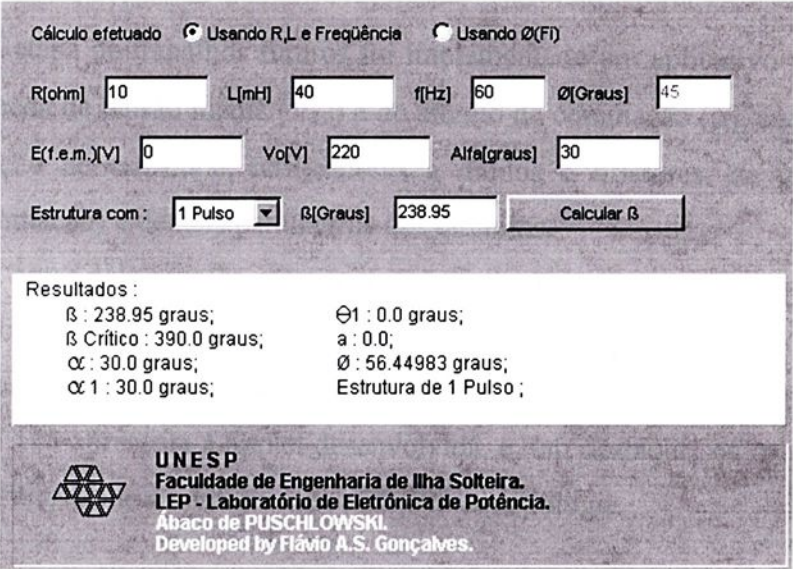


Figura 5.147– Ábaco de Puschlowski.

5.3.6.4 – Análises dos Resultados

A determinação do ângulo de extinção e das correntes normalizadas para a estrutura retificadora monofásica de meia onda controlada, operando com uma carga composta por uma resistência de 5Ω e um indutor de 40 mH, sendo comanda com ângulo de disparo igual a 60° , foi realizada empregando os ábacos específicos e o ábaco de Puschlowski. As Tabelas 5.56 e 5.57 apresentam os resultados obtidos e as comparações com o Pspice.

Tabela 5.56 – Resultados referentes aos ábacos de determinação do ângulo de extinção da corrente, para o retificador monofásico de meia onda à tiristor.

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual (%)
Ângulos			
Extinção (β) – Ábaco Específico	238,95°	238,26°	0,04
Extinção (β) – Ábaco Puschlowski	238,95°	238,26°	0,04

Tabela 5.57 – Resultados referentes ao ábaco de determinação das correntes normalizadas na carga para o retificador monofásico de meia onda à tiristor.

Componentes / Dados	Applets	Pspice 9.1	Erro Percentual(%)
Carga			
Corrente Média Normalizada	0,4065	0,3977	2,2
Corrente Eficaz Normalizada	0,5945	0,5891	0,91

5.3.7 – Ábaco Referente ao Estudo da Comutação

Como primeira etapa de trabalhos futuros foi implementado um aplicativo responsável pela determinação da queda de tensão média (V_{Lc}) e do ângulo de comutação (μ), considerando-se os efeitos na comutação de estruturas retificadoras a diodos e tiristores, de indutâncias série (indutâncias de comutação) e demais parâmetros dos circuitos.

O usuário pode optar pela escolha entre as topologias retificadoras monofásicas e trifásicas, controladas e não-controladas. O aplicativo fornece os valores da tensão média resultante, a queda média de tensão na carga e o ângulo de comutação, para a configuração escolhida pelo usuário. A Figura 5.148 apresenta a applet desenvolvida, e, em destaque, os menus da interface gráfica onde o usuário escolhe a configuração desejada de topologia.

Topologia com : Tipo de Estrutura : ☐ Não-Controlada ☒ Controlada

Dados : Lc [mH]: Corrente Média na Carga [A]:

Frequência da Rede [Hz]: Tensão Eficaz de Entrada (fase-neutro) [V]:

Alfa[graus]:

Resultados :

Ângulo de Comutação [μ] : 0.77026564 graus;
 Queda de Tensão Média na Carga [VLc] : 0.36 Volts;
 Tensão Média resultante na Carga [VLmed] : 292.2307 Volts;
 Estrutura de 6 Pulsos;

UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.
 LEP - Laboratório de Eletrônica de Potência.
 Tensão Média na Carga Considerando os efeitos
 da comutação e ângulo de comutação.
 Developed by Flávio A.S. Gonçalves. (07/2000)

(a) Ábaco – applet.

Topologia com :

1 Pulso
 2 Pulsos
 3 Pulsos
 6 Pulsos

(b) Tipos de Retificação.

Tipo de Estrutura : ☐ Não-Controlada ☒ Controlada

(c) Topologia controlada ou não-controlada.

Figura 5.148– Ábaco referente à determinação da tensão média na carga considerando-se os efeitos de comutação.

5.4 – Conclusões

O desenvolvimento da análise comparativa de aplicativos que proporcionam a simulação dos comportamentos dos retificadores controlados e não controlados, abordados na disciplina de Eletrônica de Potência, foi realizado neste capítulo, empregando-se a visualização interativa das formas de onda de tensão e corrente através dos componentes das topologias, bem como a apresentação de diversas informações, como o cálculo dos valores médios, eficazes e de pico das principais formas de onda, assim como, análises das componentes harmônicas de tensões e correntes na carga.

A confrontação entre os resultados obtidos nas simulações das topologias utilizando-se o software profissional de simulação Pspice e os aplicativos desenvolvidos, revelou que os aplicativos propostos conseguiram retratar o fiel comportamento das estruturas, considerando-se as simplificações e linearizações adotadas para desenvolvimento deste trabalho.

Embora os aplicativos possuam basicamente um caráter educacional, os cálculos numéricos efetuados com as formas de onda de tensão e corrente apresentaram um erro percentual muito baixo, em média sempre menor que 1%. Portanto além de poderosas ferramentas educacionais, podem ser também utilizadas para a confecção on-line de projetos utilizando as topologias abordadas, solução de exercícios e diversas tarefas que envolvam tais circuitos.

Observa-se finalmente que as ferramentas desenvolvidas são auxiliares ao ensino de eletrônica de potência e não possuem a capacidade de retratar fenômenos transitórios dos circuitos analisados, uma vez que toda análise é admitida em regime permanente. Desta forma, softwares como Pspice são e devem continuar a ser muito importantes para uma análise mais precisa e avançada destas estruturas propostas neste trabalho.

Portanto, as applets desenvolvidas possuem o caráter de análise introdutória aos circuitos retificadores controlados ou não, facilitando o seu estudo e permitindo que o usuário, sem o conhecimento prévio de técnicas de simulação, ou, comportamento destas estruturas, possa de forma interativa vencer diversos obstáculos que possibilitem o aprendizado em eletrônica de potência.



Capítulo 6 – Conclusões Gerais

6 – Conclusões Gerais

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de applets em Java, direcionadas para compor um software educacional, envolvendo a ementa de um curso de Eletrônica de Potência disponibilizado através da Internet [33 e 34].

Deve ser informado, de forma veemente, que estas ferramentas não foram desenvolvidas para substituir o professor, mas sim, para melhorar a qualidade do aprendizado por parte dos estudantes.

A utilização da informática trouxe-nos novas perspectivas para o ensino, não somente pelas tecnologias em si, mas também pela filosofia, estratégias de ensino e aprendizado, permitindo significativas mudanças em muitos aspectos do ensino no nível superior.

Neste contexto, foi observado um importante aumento no desejo dos estudantes em aprender o conteúdo programático do curso de Eletrônica de Potência, quando as ferramentas propostas de Java applets foram incluídas, ainda em desenvolvimento (1º semestre de 2000), junto à disciplina de Laboratório de Eletrônica Industrial (FEIS-UNESP). A utilização destas ferramentas durante a execução das atividades nas tradicionais experiências laboratoriais, através de uma conexão normal da Internet, possibilitada em cada bancada de um grupo de estudantes, tornou possível uma análise crítica comparativa instantânea (on-line), entre estas experiências de laboratório e os conceitos teóricos desenvolvidos em sala de aula de forma tradicional, proporcionando um interativo e atrativo sistema de aprendizado. O resultado foi uma importante melhora na motivação dos estudantes e a melhoria das habilidades dos mesmos em compreender o comportamento de vários circuitos retificadores.

Por outro lado, deve ser observado que as experiências de aplicação ainda são recentes e deverão ser aplicadas ainda neste primeiro semestre de 2001 na disciplina tradicional teórica de Eletrônica de Potência (Eletrônica Industrial/FEIS-UNESP), proporcionando maiores facilidades para os estudantes resolverem seus deveres de casa, alguns projetos orientados propostos, e, o próprio conteúdo deste curso.

Para a integração dos aplicativos desenvolvidos, em conjunto com o material teórico tradicional, foram desenvolvidos dois softwares educacionais de apoio ao ensino da teoria de retificadores, controlados ou não-controlados. Ambos utilizam as applets desenvolvidas, entretanto o primeiro apresenta o material teórico na forma de páginas do formato HTML,



permitindo a utilização distribuída através da Internet no endereço eletrônico: <http://www.dee.feis.unesp.br/gradua/elepot/principal.html>. A segunda opção apresenta o material teórico no formato de um programa escrito em Visual Basic 4, sendo este um sistema fechado com modo de acesso local. Informa-se que ambas versões dos sistemas de ensino foram implementadas em um CD-ROM denominado “LEP2000”, permitindo a utilização dos dois sistemas de forma local pelos estudantes, mesmo em locais que não possuam um ponto de conexão com a WWW.

Observa-se ainda que o primeiro sistema de ensino, aberto, baseado na utilização de páginas HTML em conjunto com as applets Java desenvolvidas, possui a importante característica de ser distribuído através da WWW e dos recursos da Internet.

Como proposta de continuidade para trabalhos futuros destaca-se o desenvolvimento das applets que proporcionem a simulação das estruturas analisadas sob efeitos de não idealidades durante as comutações e aquelas que complementem o conteúdo programático da disciplina de Eletrônica de Potência, quais sejam: Conversores CC/CC; Fontes Chaveadas; Inversores de Tensão e Corrente; etc... .

Finalmente, destaca-se que o desenvolvimento de ferramentas como as abordadas neste trabalho, relacionadas com outros tópicos do conteúdo programático do curso de engenharia, deve ser fortemente encorajado, visto que os benefícios tanto para o aluno, que recebe uma melhor qualidade de ensino, quanto para o professor, que melhora a sua produtividade de ensino, são objetivos comuns que todos os educadores devem buscar, proporcionando mudanças importantes na qualidade do ensino nacional de engenharia.



Capítulo 6 – Conclusões Gerais

6 – Conclusões Gerais

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de applets em Java, direcionadas para compor um software educacional, envolvendo a ementa de um curso de Eletrônica de Potência disponibilizado através da Internet [33 e 34].

Deve ser informado, de forma veemente, que estas ferramentas não foram desenvolvidas para substituir o professor, mas sim, para melhorar a qualidade do aprendizado por parte dos estudantes.

A utilização da informática trouxe-nos novas perspectivas para o ensino, não somente pelas tecnologias em si, mas também pela filosofia, estratégias de ensino e aprendizado, permitindo significativas mudanças em muitos aspectos do ensino no nível superior.

Neste contexto, foi observado um importante aumento no desejo dos estudantes em aprender o conteúdo programático do curso de Eletrônica de Potência, quando as ferramentas propostas de Java applets foram incluídas, ainda em desenvolvimento (1º semestre de 2000), junto à disciplina de Laboratório de Eletrônica Industrial (FEIS-UNESP). A utilização destas ferramentas durante a execução das atividades nas tradicionais experiências laboratoriais, através de uma conexão normal da Internet, possibilitada em cada bancada de um grupo de estudantes, tornou possível uma análise crítica comparativa instantânea (on-line), entre estas experiências de laboratório e os conceitos teóricos desenvolvidos em sala de aula de forma tradicional, proporcionando um interativo e atrativo sistema de aprendizado. O resultado foi uma importante melhora na motivação dos estudantes e a melhoria das habilidades dos mesmos em compreender o comportamento de vários circuitos retificadores.

Por outro lado, deve ser observado que as experiências de aplicação ainda são recentes e deverão ser aplicadas ainda neste primeiro semestre de 2001 na disciplina tradicional teórica de Eletrônica de Potência (Eletrônica Industrial/FEIS-UNESP), proporcionando maiores facilidades para os estudantes resolverem seus deveres de casa, alguns projetos orientados propostos, e, o próprio conteúdo deste curso.

Para a integração dos aplicativos desenvolvidos, em conjunto com o material teórico tradicional, foram desenvolvidos dois softwares educacionais de apoio ao ensino da teoria de retificadores, controlados ou não-controlados. Ambos utilizam as applets desenvolvidas, entretanto o primeiro apresenta o material teórico na forma de páginas do formato HTML,



permitindo a utilização distribuída através da Internet no endereço eletrônico: <http://www.dee.feis.unesp.br/gradua/elepot/principal.html>. A segunda opção apresenta o material teórico no formato de um programa escrito em Visual Basic 4, sendo este um sistema fechado com modo de acesso local. Informa-se que ambas versões dos sistemas de ensino foram implementadas em um CD-ROM denominado “LEP2000”, permitindo a utilização dos dois sistemas de forma local pelos estudantes, mesmo em locais que não possuam um ponto de conexão com a WWW.

Observa-se ainda que o primeiro sistema de ensino, aberto, baseado na utilização de páginas HTML em conjunto com as applets Java desenvolvidas, possui a importante característica de ser distribuído através da WWW e dos recursos da Internet.

Como proposta de continuidade para trabalhos futuros destaca-se o desenvolvimento das applets que proporcionem a simulação das estruturas analisadas sob efeitos de não idealidades durante as comutações e aquelas que complementem o conteúdo programático da disciplina de Eletrônica de Potência, quais sejam: Conversores CC/CC; Fontes Chaveadas; Inversores de Tensão e Corrente; etc... .

Finalmente, destaca-se que o desenvolvimento de ferramentas como as abordadas neste trabalho, relacionadas com outros tópicos do conteúdo programático do curso de engenharia, deve ser fortemente encorajado, visto que os benefícios tanto para o aluno, que recebe uma melhor qualidade de ensino, quanto para o professor, que melhora a sua produtividade de ensino, são objetivos comuns que todos os educadores devem buscar, proporcionando mudanças importantes na qualidade do ensino nacional de engenharia.



Referências Bibliográficas

- [1] G. Hwang, “ A Tutoring Strategy Supporting System for Distance Learning on Computer Networks”, IEEE Transactions on Education, Vol. 42, n.4, November-1999, CD-Rom Folder;
- [2] K. Debebe and V. Rajagopalan, “A Learning Aid for Power electronics with Knowledge Based Components”, IEEE Transactions on Education, Vol. 38, n.2, Maio-1995, pp.171-176;
- [3] L. P. Huelsman, “An Advanced Modern Course on Circuit Theory”, IEEE Transactions on Education, Vol. 29, n.03, Agosto-1986, pp.166-172;
- [4] G. Bengu and W. Swart, “A Computer-Aided, Total Quality Approach to Manufacturing Education in Engineering”, IEEE Transactions on Education, Vol. 39, n.03, Agosto-1996, pp.415-422;
- [5] A. A. Renshaw, J. H. Reinbel, C. A. Zukowski, K. Penn, R. O. McClintock and M. B. Friedman, “An Assessment of On-Line Engineering Design Problem Presentation strategies”, IEEE Transactions on Education, Vol. 43, n.2, Maio-2000, pp.83-91;
- [6] H. A. Latchman, C. Salzmann, D. Gillet and H. Bouzekri, “Information Technology Enhanced Learning in Distance and Conventional Education”, IEEE Transactions on Education, Vol. 42, n.4, Maio-2000, pp.247-254;
- [7] D. W. Hart, “ Circuit Simulation as an Aid in Teaching the Principles of Power Electronics”, IEEE Transactions on Education, Vol. 36, n.1, Fevereiro-1993, pp.10-16;
- [8] S. Pekarek and T. Skvarenina, “ACSL/Graphic Modeler Component Models for Electric Power Education”, IEEE Transactions on Education, Vol. 40, n.1, Fevereiro-1999, CD-Rom Folder;
- [9] C. R. Wie, “Educational Java Applets in Solid State Materials”, IEEE Transactions on Education, Vol 41, n.04, Novembro-1998, Cd-Rom Folder;



- [10] C. R. Wie and I. Na, "Development of Java Applet Resources For Solid State Materials", J. Mater. Edu., Vol. 20, n.1-2, 1998, pp.49-55;
- [11] D. Kramer, "The JavaTM Plataform – A White Paper", Sun microsystems, <http://java.sun.com>, Maio, 1996;
- [12] J. Gosling e H. McGilton, "The JavaTM Language Environment – A White Paper", Sun microsystems, <http://java.sun.com>, Maio, 1996;
- [13] C. S. Horstman and G. Cornell, "CoreJava 2 – Volume 1 – Fundamentos", Makron Books, 2001, São Paulo, 654 p. ;
- [14] M. C. Chanm, S. W. Griffith e A. F. Iasi, "Java – 1001 Dicas de Programação", Makron Books, 1999, São Paulo, 679 p. ;
- [15] C. Walnum, "Java em Exemplos", Makron Books, 1997, São Paulo, 610 p. ;
- [16] Sun Microsystems, "The Java Developers Kit (JDK 1.1.6)", USA, 1998;
- [17] N. Al-Holou and F. Ibrahim, "Developing Multimedia Case Studies for Engineering Curriculum", IEEE Transactions on Education, Vol. 41, n.4, November-1998, CD-Rom Folder;
- [18] C. Goldenberg and E. L. Pellini, "Visual Study of Rotating Electric Machines", Proceedings of INDUSCON'00, Porto Alegre (RS), 2000, pp.508-513;
- [19] J. Raymond and D. Pilon, "Software Tools for Computer-Aided Lecturing", IEEE Transactions on Education, Vol. 37, n.1, Fevereiro-1997, pp.23-29;
- [20] M. Chirico, F. Giudici, A. Sappia and A. M. Scapolla, " The Real Experiment eXecution Approach to Networkink Courseware", IEEE Transactions on Education, Vol. 40, n.04, Novembro-1997, p.297;
- [21] R. Ubell, "Engineers Turn to e-Learning", IEEE Spectrum, Vol.37, n.10, 2000, pp.59-63;



- [22] N. Mohan, T. Underland and W. Robbins, "Power Electronics: Converter, Applications and Design", John Wiley & Sons, Canadá, 1989, 802 p. ;
- [23] R. W. Erickson, "Fundamentals of Power Electronics", Chapman and Hall, New York-USA, 1997, 773 p. ;
- [24] M. H. Rasshid, "Power Electronics – Circuits, Devices, and Applications – Second Edition", Prentice-Hall, New Jersey (USA), 1993, 701 p. ;
- [25] I. Barbi, "Eletrônica de Potência", Edição do Autor, Florianópolis (SC), 2000, 408 p. ;
- [26] C. A. Canesin, "Eletrônica de Potência I", Apostila do Professor-FEIS-UNESP, Ilha Solteira (SP), 1991, 146 p. ;
- [27] J. G. Kassakian, M. F. Schlecht and G. C. Verghese, "Principles of Power Electronics", Addison-Wesley Series in Electrical Engineering, USA, Junho-1992, 738 p. ;
- [28] B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drives", Prentice-Hall, New Jersey-USA, 1986, 402 p. ;
- [29] M. B. P. Guazzelli, "Eletrônica de Potência", Editora da UNICAMP, Brasil, 1986, 261 p. ;
- [30] J. L. A. de Almeida, "Eletrônica Industrial", Érica Editora Ltda, Brasil, 1991, 245 p. ;
- [31] G. Figini, "Eletrônica Industrial – Circuitos e Aplicações", Hemus Editora Ltda, Brasil, 1989, 336 p. ;
- [32] J. Roschele, C. DiGiano, M. Koutlis, A. Repenning, J. Phillips, N. Jackiw and D. Suthers, "Developing Educational Software Components", IEEE Computer Society, Vol. 32, n. 9, 1999, pp.50-57;
- [33] F. A. S. Gonçalves and C. A. Canesin, "Educational Java Applets in Power Electronics", Proceedings of INDUSCON'00, Porto Alegre (RS), 2000, pp.491-496;



[34] F. A. S. Gonçalves and C. A. Canesin, "Java Applets For a WWW-HTML-Based Course in Power Electronics", IEEE PESC'2001, Vancouver (Canadá), Junho-2001 (artigo aceito);





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Câmpus de Ilha Solteira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Av. Brasil Centro, 56
15385-000 Ilha Solteira - SP
www.dee.feis.unesp.br

