



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Análise dos Perfis de Carregamento de Veículos Elétricos numa Estação de Carregamento

Rita Pinto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
**Engenharia Eletrotécnica e de Computadores: Ramo dos
Sistemas Biónicos**
(2º ciclo de estudos)

Orientador: *Prof. Doutora Maria do Rosário Calado*

Covilhã, junho de 2014

Este documento foi produzido e organizado para ser apresentado como Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no Ramo dos Sistemas Biónicos, cuja orientação científica foi da responsabilidade da Professora Doutora Maria do Rosário Alves Calado da Faculdade das Engenharias da Universidade da Beira Interior.

Dedicatória

A medida do amor é amar sem medida.

Ao Cristiano, por surgir na minha vida e ter a coragem de ficar.

Agradecimentos

O presente trabalho representa um passo muito importante na minha formação, tanto acadêmica como pessoal. Não teria sido possível percorrer este caminho sem o infindável apoio dos meus. Assim, quero aqui manifestar a minha admiração e deixar o merecido agradecimento a todos.

Gostaria, em primeiro lugar, de agradecer, de forma sincera, à Professora Maria do Rosário Calado a prontidão em aceder ao meu pedido e à disponibilidade que sempre demonstrou. Gostaria de exprimir o meu apreço pela possibilidade de ingressar num projeto desta envergadura, pela orientação e pelas oportunidades que surgiram e fez surgir.

Ao Professor Sílvio Mariano devo um grande obrigada pela disponibilidade, pelos ensinamentos e experiência que tanto contribuíram para este trabalho e para a minha formação.

Os anos que tenho vivido nesta instituição têm-me permitido estabelecer laços de amizade com aqueles que no meu caminho se cruzaram. Aos poucos, mas bons, colegas deste curso, Sandra, Ana Isabel e Emanuel, que comigo caminharam até aqui e, que de certa forma, contribuíram e continuarão a contribuir na minha vida e na minha formação, quero agradecer o companheirismo que sempre cultivaram. Quero, por isso, agradecer também aos colegas que encontrei no laboratório, por me receberem e pelo bom ambiente nas horas que lá deixámos.

Mesmo longe estão perto. Não posso deixar de agradecer à minha família pela paz de espírito e motivação que me proporcionaram, por acreditarem em mim e no meu empenho, pelo carinho e amizade durante o meu percurso académico. Obrigada mãe. E não menos importante, obrigada avó e tia.

A todos, um grande e sincero obrigada.

Não sabendo que era impossível, ele foi lá e fez.

Jean Cocteau

Resumo

Portugal, em termos energéticos, caracteriza-se como um país de elevados índices de dependência externa, na medida em que importa mais de 70 % da energia primária que consome, principalmente, combustíveis fósseis. A volatilidade dos preços desses combustíveis e uma maior consciencialização ambiental são fatores que fazem crescer a dinâmica de implementação de energias renováveis com promoção de medidas de eficiência energética e que contribuem para o aumento da segurança energética nacional.

O elevado número de população nas grandes cidades que utiliza veículos de combustão interna, faz deste meio um problema de saúde. A penetração dos veículos elétricos parece assim ser inevitável, uma vez que apresentam a capacidade de fazer tender para zero as emissões dos meios de transporte.

De forma a tornar o veículo elétrico uma possibilidade real é necessário que existam as condições necessárias à sua implementação, criando estruturas de apoio, nomeadamente, estações de carregamento. Assim, os veículos totalmente elétricos ganharão uma capacidade de percorrer maiores distâncias e, conseqüentemente, maior atenção por parte dos consumidores.

A massificação da eletrificação da mobilidade faz crescer preocupações e levanta questões acerca da qualidade da energia que a rede de distribuição elétrica é capaz de fornecer e o impacto que estes veículos poderão causar na rede. Com este trabalho, é pretendido realizar uma análise dos perfis de carregamento de um veículo elétrico em carregamento numa estação de carregamento protótipo, resultado de um protocolo entre a UBI e ENFORCE, Engenharia da Energia, S.A..

Palavras-chave

Veículo Elétrico, Estação de Carregamento, Perfis de Carregamento, Qualidade de Energia.

Abstract

Portugal, in energy terms, is characterized as a country with high levels of external dependence, in that it imports more than 70 % of primary energy it consumes, mainly fossil fuels. The price volatility of the fuels and greater environmental awareness are factors that make grow the dynamic deployment of renewable energy with promoting energy efficiency measures and contribute to increased national energy security.

The high number of population in large cities that use internal combustion vehicles, makes this vehicle a health problem. The penetration of electric vehicles seems so inevitable, since they have the ability to tend towards zero emissions from transportation.

In order to make the electric vehicle a real possibility it is essential that there are the necessary conditions for its implementation, creating support structures, namely, charging stations. Thus, the all electric vehicles will gain greater autonomy and, consequently, greater attention by consumers.

The massification of electrification of mobility is growing concern and raises questions about the quality of the energy that the electric distribution network is capable of providing, and the impact that these vehicles can cause back on the grid. This work is intended to perform an analysis of load and consumption profiles of an electric vehicle charging in a charging station prototype, resulting of an agreement between UBI and textsc Enforce, Energy Engineering, SA..

Keywords

Electric Vehicle, Charging Station, Charging Profile, Energy Quality.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do Trabalho	1
1.2	Objetivo do Trabalho	2
1.3	Estrutura do Trabalho	3
2	Veículos Elétricos	5
2.1	Introdução	5
2.2	Veículo Elétrico	6
2.2.1	Alimentação de Veículos Elétricos	6
2.2.2	Tração Elétrica	7
2.2.3	Tipologias de Veículos Elétricos	8
2.2.4	Vantagens do Veículo Elétrico	10
2.2.5	Riscos do Veículo Elétrico	10
3	Baterias	13
3.1	Introdução	13
3.2	Tipologias de baterias	13
3.2.1	Baterias Primárias	14
3.2.2	Baterias Secundárias	15
3.3	Outras Informações	18
4	Estações de Carregamento	21
4.1	Introdução	21
4.2	Características das Estações de Carregamento	23
4.3	Equipamento de Carregamento de Veículos Elétricos	26
4.3.1	Piloto de Controlo	26
4.3.2	Piloto de Proximidade	27
4.4	Modos de Carregamento	27
4.4.1	Modo 1	28
4.4.2	Modo 2	28
4.4.3	Modo 3	28
4.4.4	Modo 4	29
4.5	Impacto na Rede de Distribuição	29
5	Análise dos Perfis de Carregamento de Veículos Elétricos	31
5.1	Introdução	31
5.2	Materiais	31
5.2.1	Veículo Elétrico	31
5.2.2	Posto de Carregamento	31
5.2.3	Analisador <i>Fluke</i>	32
5.3	Metodologias de Ensaio	33

6	Resultados	35
6.1	Introdução	35
6.2	Carregamento 1	35
6.2.1	Diagrama de Carga	36
6.2.2	Evolução da Tensão	37
6.2.3	Equilíbrio do Sistema	38
6.3	Carregamento 2	39
6.3.1	Diagrama de Carga	40
6.3.2	Evolução da Tensão	42
6.3.3	Equilíbrio do Sistema	43
6.4	Carregamento 3	43
6.4.1	Diagrama de Carga	44
6.4.2	Evolução da Tensão	46
6.4.3	Equilíbrio do Sistema	46
6.5	Carregamento 4	47
6.5.1	Diagrama de Carga	48
6.5.2	Evolução da Tensão	50
6.5.3	Equilíbrio do Sistema	51
6.6	Carregamento 5	51
6.6.1	Diagrama de Carga	51
6.6.2	Evolução da Tensão	53
6.6.3	Equilíbrio do Sistema	55
6.7	Carregamento 6	55
6.7.1	Diagrama de Carga	55
6.7.2	Evolução da Tensão	57
6.7.3	Equilíbrio do Sistema	58
7	Conclusão	61
7.1	Introdução	61
7.2	Tensão	61
7.3	Corrente	62
7.4	Desfasamento de Tensão e Corrente	62
7.5	Potência	63
7.6	Harmónicas	64
7.7	Condições Atmosféricas	64
7.8	Considerações Gerais	64
7.9	Limitações	65
7.10	Trabalho Futuro	66
	Bibliografia	67
A	Anexos	73

Lista de Figuras

3.1	Esquema das diferentes estruturas de bateria. À esquerda, em forma de moeda. Ao centro, em forma de cilindro. À direita, em forma de pino. Fonte: elaborada pela autora.	14
3.2	Veículos com painéis solares incorporados. À esquerda, o REVA NXR, da Mihandra. Fonte: Wikipedia ¹ . À direita, o Leaf, da Nissan. Fonte: www.gadgetreview.com ²	19
4.1	Ficha <i>Mennekes</i> . Fonte: www.mennekes.co.uk ¹	26
5.1	Protótipo de Estação de Carregamento Rápido de Veículos Elétricos a Energia Solar. Fonte: ENFORCE.	32
5.2	Analisador de Qualidade de Energia de Sistemas Trifásicos. Fonte: <i>Fluke</i> ¹	33
6.1	Carregamento 1: Estado de Carga da Bateria.	36
6.2	Carregamento 1: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.	37
6.3	Carregamento 1: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.	37
6.4	Carregamento 1: Taxa de Distorção Harmônica.	38
6.5	Carregamento 1: Harmônicas (% H1).	38
6.6	Carregamento 1: Tensão nas Fases.	39
6.7	Carregamento 1: Diagrama de Fases.	39
6.8	Carregamento 2: Estado de Carga da Bateria.	40
6.9	Carregamento 2: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.	40
6.10	Carregamento 2: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.	41
6.11	Carregamento 2: Taxa de Distorção Harmônica.	41
6.12	Carregamento 2: Harmônicas (% H1).	42
6.13	Carregamento 2: Tensão nas Fases.	42
6.14	Carregamento 2: Diagrama de Fases	43
6.15	Carregamento 3: Estado de Carga da Bateria.	44
6.16	Carregamento 3: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.	44
6.17	Carregamento 3: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.	45
6.18	Carregamento 3: Taxa de Distorção Harmônica.	45
6.19	Carregamento 3: Harmônicas (% H1).	46
6.20	Carregamento 3: Tensão nas Fases.	47
6.21	Carregamento 3: Diagrama de Fases.	47
6.22	Carregamento 4: Estado de Carga da Bateria.	48
6.23	Carregamento 4: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.	48
6.24	Carregamento 4: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.	49
6.25	Carregamento 4: Taxa de Distorção Harmônica.	49
6.26	Carregamento 4: Harmônicas (% H1).	50
6.27	Carregamento 4: Tensão nas Fases.	50
6.28	Carregamento 4: Diagrama de Fases.	51
6.29	Carregamento 5: Estado de Carga da Bateria.	52
6.30	Carregamento 5: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.	52
6.31	Carregamento 5: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.	53
6.32	Carregamento 5: Taxa de Distorção Harmônica.	53

6.33 Carregamento 5: Harmônicas (% H1).	54
6.34 Carregamento 5: Tensão nas Fases.	54
6.35 Carregamento 5: Diagrama de Fases.	55
6.36 Carregamento 6: Estado de Carga da Bateria.	56
6.37 Carregamento 6: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.	56
6.38 Carregamento 6: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.	57
6.39 Carregamento 6: Taxa de Distorção Harmônica.	57
6.40 Carregamento 6: Harmônicas (% H1).	58
6.41 Carregamento 6: Tensão nas Fases.	58
6.42 Carregamento 6: Diagrama de Fases.	59

Lista de Tabelas

4.1	Tipos de Tomadas Conforme IEC 62196	26
4.2	Modos de Carregamento: Corrente e Potência Correspondentes	28
4.3	Características de Carregamento e Equipamento para Veículos Elétricos	29
7.1	Ângulos de Desfasamento entre a Corrente e a Tensão	63

Lista de Acrónimos

<i>Al</i>	Alumínio
<i>AL – ar</i>	Alumínio-Ar
<i>AlCl₃</i>	Cloreto de Alumínio
ANSI	American National Standards Institute
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
<i>C</i>	Carbono
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
<i>Cd</i>	Cádmio
CEN	Comité Europeu de Normalização
CENELEC	Comité Europeu para a Normalização Eletrotécnica
CI	Combustão Interna
<i>Co</i>	Cobalto
<i>CO₂</i>	Dióxido de Carbono
<i>Cr</i>	Crómio
<i>e⁻</i>	Elétrão
EAVE	Equipamento de Abastecimento de Veículos Elétricos
EC	Estado de Carga
ETSI	European Telecommunications Standard Institute
EUA	Estados Unidos da América
FCS	Faculdade de Ciências da Saúde
<i>Fe</i>	Ferro
<i>H₂</i>	Hidrogénio
<i>H₂O</i>	Água
<i>lão–Li</i>	lão-Lítio
<i>lão–Na</i>	lão-Sódio
I & D	Investigação e Desenvolvimento
IEC	International Electrotechnical Comission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organization for Standardization
IWC	Infrastructure Working Council
<i>KOH</i>	Hidróxido de Potássio
<i>Li</i>	Lítio
<i>Li – ar</i>	Lítio-Ar
<i>Li₂FePO₄F</i>	Fosfato de Ferro de Lítio
<i>MnCl₂</i>	Cloreto de Manganês
<i>MnO₂</i>	Dióxido de Manganês
MT	Média Tensão
<i>Na</i>	Sódio
<i>NaC_x</i>	Carbonatos de Sódio
<i>NaCl</i>	Cloreto de Sódio
<i>NaOH</i>	Hidróxido de Sódio
<i>Na – S</i>	Sódio-Enxofre

Lista de Acrónimos

$NaSO_3$	Sulfito de Sódio
Na_2FePO_4F	Fosfato de Ferro de Sódio
NEMA	National Electrical Manufactures Association
$Ni - Cd$	Níquel-Cádmio
$Ni - Fe$	Níquel-Ferro
$Ni - H_2$	Níquel-Hidrogénio
$Ni - MH$	Níquel-Hidreto Metálico
$NiOOH$	Hidróxido de Óxido de Níquel
$Ni - Zn$	Níquel-Zinco
O	Oxigénio
PC	Piloto de Controlo
PdC	Posto de Carregamento
PFV	Painéis Fotovoltaicos
PP	Piloto de Proximidade
PWM	Pulse-Width Modulation
<i>RedOx</i>	Reação de Oxidação Redução
S	Enxofre
SAE	Society of Automotive Engineers
SI	Sistema Internacional
TDH	Taxa de Distorção Harmónica
Ti	Titânio
UBI	Universidade da Beira Interior
UE	União Europeia
Un	Tensão Nominal
V	Vanádio
V2G	Vehicle-to-Grid
VE	Veículo Elétrico
VEB	Veículo Elétrico a Bateria
VEH	Veículo Elétrico Híbrido
VEHP	Veículo Elétrico Híbrido de <i>Plug-in</i>
VEV	Veículo Elétrico de Vizinhança
VH	Veículo Híbrido
<i>m</i>	Metro
Zn	Zinco

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento do Trabalho

Todos os carros apresentam uma base comum. Eles são capazes de atravessar barreiras sociais, ideológicas, religiosas e económicas e oferecer às pessoas uma forma de se relacionarem umas com as outras, através de interesses ou convicções comuns. Os automóveis proporcionam uma segurança, liberdade e conforto que não se consegue encontrar em meios de transporte públicos [1].

As expectativas do consumidor, a legislação que incentiva a baixas emissões, a inflação e flutuação dos preços dos combustíveis aliados ao facto de que o petróleo é um recurso finito, são fatores que levam a mudanças inovadoras na indústria automóvel, particularmente, no âmbito da eletrificação dos meios de transporte.

O crescente interesse e a investigação tem conduzido ao desenvolvimento de veículos de combustível alternativo, incluindo Veículos Elétricos Híbridos (VEH), em tecnologias de Veículos Elétricos Híbridos de carregamento de baterias pela rede de distribuição de eletricidade (VEHP - Veículo Elétrico Híbrido de *Plug-in*), devido ao seu reduzido consumo de combustível e das suas reduzidas emissões. Mais recentemente, a indústria apresenta-nos os Veículos Elétricos (VE) que oferecem zero emissões durante o seu funcionamento [2].

A elevada densidade populacional das cidades modernas faz dos veículos de Combustão Interna (CI) um problema de saúde [3]. Em muitos países, os governos têm planeado estratégias e políticas que incentivem a colocação de um estabelecido número de VE até 2015 [4] ou 2020 [5], [6] na estrada, encorajando também a implementação de infraestruturas de apoio a estes veículos a todos os níveis. Algumas organizações, tais como Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrónicos (IEEE, do inglês *Institute of Electrical and Electronics Engineers*), a Sociedade de Engenheiros Automóveis (SAE, do inglês *Society of Automotive Engineers*) e o Conselho de Trabalho para Infraestruturas (IWC, do inglês *Infrastructure Working Council*) estão a trabalhar em normas e códigos que dizem respeito à interação com o consumidor e a sua utilidade [7]. Os VE têm ainda que ganhar uma maior aceitação. Para tal, têm de ser ultrapassadas quatro importantes barreiras que incluem o elevado custo, questões sobre tempo útil de utilização e o ciclo de vida das baterias destes automóveis, complicações com os carregadores e a falta de infraestruturas para a possibilidade de carregamento num curto espaço de tempo, a modos rápidos.

Portugal, em termos energéticos, caracteriza-se como um país com levada dependência externa, pelo que tem importado mais de 70 % da energia primária que tem consumido nos últimos anos de 2011 [8] e 2012 [9], segundo os mais recentes dados conhecidos. Para além do problema da elevada importação de combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão, existem os desequilíbrios ambientais associados à sua utilização. Por isso, existe hoje uma dinâmica

bastante forte na implementação de energias renováveis [10], ao passo que se promove a utilização de fontes de energia endógenas. Isto leva à diversificação das fontes de energia primária que, quando associadas à atenuação da intensidade energética, através consciencialização da utilização de medidas de eficiência energética, contribuem para o aumento da segurança energética nacional.

O contexto de racionalidade energética, em meios urbanos e num futuro muito próximo, poderá levar a uma introdução mais intensa de VE no panorama de mobilidade, uma vez que estes veículos não emitem gases nem partículas nocivas [11], [12], durante o seu funcionamento, e contribuem para a redução da poluição sonora, com um funcionamento silencioso [13]. Assim, o VE pode ser encarado como uma solução efetiva na redução da pegada ecológica. Ele é capaz de satisfazer as necessidades dos condutores que se deslocam a curtas distâncias, de algumas centenas de quilómetros, sendo inevitável a introdução deste veículo no nosso quotidiano, tornando viável o investimento recente de Portugal em recursos endógenos, particularmente em energia eólica [14].

Uma vez que estes veículos têm ainda um alcance relativamente pequeno, quando comparado com os convencionais veículos a CI [15], mas que podem satisfazer uma grande fração de necessidades de transporte, é indispensável a implementação a larga escala, e não apenas a nível nacional, de estações de carregamento de VE. Com a sua existência aumentará a disponibilidade para grandes distâncias destes veículos, uma vez que são capazes de, em modos de carregamento com determinadas características, realizar um carregamento completo de baterias num curto espaço de tempo.

Os VE são agora vistos como o futuro do automóvel, estando a ganhar um rápido *momentum* industrial [7]. Afim de tornar a mobilidade elétrica uma opção consistente e consolidada é necessário criar as condições necessárias à sua implementação, bem como assegurar a fiabilidade, segurança e qualidade das estruturas e subestruturas de apoio relevantes e indispensáveis e da energia fornecida pelas mesmas.

Com a introdução dos VE na mobilidade nacional e, conseqüentemente, a sua necessidade de carregamento da bateria regularmente será de esperar que estes veículo estimular algum impacto nas rede elétricas. Por isso mesmo, surge assim a necessidade de serem feitos estudos no sentido de perceber a melhor forma de os integrar nas redes existentes, com vista a evitar o que bom funcionamento de rede seja perturbado. Tornam-se então importante, perceber quais as conseqüências da utilização deste tipo de veículos e fazer uma análise do possível impacto que este meio de transporte possa provocar na qualidade da energia distribuída, uma vez que estes exigirão da rede elétrica uma performance mais desafiadora que a atual.

1.2 Objetivo do Trabalho

Com a aceitação dos VE por parte do consumidor, é de esperar que o número deste tipo de veículos mais amigos do ambiente venha a crescer nas próximas décadas. O aumento da sua utilização e, principalmente, porque a energia utilizada pelo veículo será disponibilizada pela rede nacional de eletricidade, faz surgir dúvidas quanto à manutenção da qualidade da energia distribuída.

Neste trabalho propõe-se a realização de uma análise dos perfis de carregamento dos VE num protótipo de uma estação de carregamento, discutido no Capítulo 4. O intuito será de, ao estudar os dados recolhidos, concluir sobre o impacto destes veículos sobre a energia providenciada na estação, pela rede. Com efeito, para a realização dessa análise, foram recolhidos os registos efetuados durante os carregamentos parciais e completo do VE utilizado.

Os dados conseguidos através da realização dos ensaios incidem sobre a variação da tensão, potência ativa e reativa, conteúdo harmónico e desfasamento entre fases, fazendo nota ao comportamento da corrente e fator de potência. Será estudado também o comportamento do veículo em relação ao seu estado de carga em função do tempo durante o carregamento. Os resultados serão apresentados sob a forma gráfica acompanhados da análise inerente.

Com este trabalho, pretende-se conferir a qualidade da energia no posto e dar mais um passo na implementação de estruturas de carregamento de VE, principalmente naquelas, e como é o caso desta, que recorrem a energias endógenas para garantir a alimentação dos veículos.

1.3 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos. A sua estrutura compreende capítulos sobre os pontos mais importantes a focar quando se fala em VE e estações de carregamento, os quais se descrevem resumidamente de seguida. No primeiro, Capítulo 1, faz-se a introdução ao tema geral, com o enquadramento do mesmo no proposto trabalho, e apresentam-se os objetivos e a estrutura que o trabalho segue. No Capítulo 2 faz-se uma análise do VE, onde se apresenta o veículo utilizado para a realização do proposto trabalho. Analisam-se, de forma geral, os veículos disponíveis no mercado, apresentando as suas tipologias e características, de acordo com a sua implementação, deixando um espaço para referir as suas principais vantagens e desvantagens. No terceiro, Capítulo 3, faz-se uma descrição da oferta de baterias comercializadas, implementadas e com potencialidade para serem aplicadas num VE, uma vez que este se apresenta como um elemento fundamental. No Capítulo 4 é feita uma análise sobre o que são estações de carregamento e suas características, equipamentos necessários, localizações ideais e modos de operação, onde se apresenta o protótipo de estação de carregamento alvo do estudo.

Os seguintes capítulos relacionam-se mais diretamente com o estudo proposto, incluindo a descrição das metodologias seguidas, resultados e conclusões, tal como se descrevem seguidamente de forma sucinta. No Capítulo 5 serão descritos os procedimentos a seguir e materiais necessários para a realização dos ensaios e aquisição de dados acerca dos perfis de carregamento do VE. No sexto e sétimo capítulos, Capítulos 6 e 7, serão apresentados os resultados obtidos e as conclusões acerca dos dados recolhidos, respetivamente. No último haverá ainda lugar para uma reflexão sobre as dificuldades sentidas e trabalho futuro a ser desenvolvido.

Conclusão

O presente capítulo tem como principal função introduzir o conteúdo que será abordado nas próximas páginas e documentar a sua estrutura. O trabalho realizado, e que se apresenta ao

longo dos capítulos seguintes, reporta as várias etapas de investigação e realização de ensaios de carregamento de um veículo elétrico numa estação de carregamento dedicada aos mesmos, tendo em vista a apreciação sobre a qualidade de energia fornecida ao veículo e o comportamento dos perfis de carregamento. Para que esse objetivo seja cumprido, diversos são os temas a abordar, os quais foram listados em 1.3.

No final do documento serão discutidas as conclusões obtidas ao longo deste trabalho. Os resultados alcançados nas diferentes fases do trabalho e o modo como podem contribuir para a continuação da investigação neste domínio são aí referidos. Em anexo ao documento é disponibilizada, para consulta, informação respeitante a todos os dados obtidos durante os ensaios, sob a forma gráfica e individualmente apresentados para mais fácil apreciação.

Capítulo 2

Veículos Elétricos

2.1 Introdução

Da história do VE distinguem-se três fases principais, segundo [7]. Em 1900, os consumidores de transportes motorizados tinham a possibilidade de escolher entre motores a vapor, motores de CI, movidos a gasolina, e VE, sem que o mercado indicasse, de forma clara, qual dos tipos dominaria. Os motores a vapor atingiam velocidades aceitáveis e eram mais acessíveis do ponto de vista monetário, mas requeriam muito tempo a arrancar [16] e paragens frequentes para reabastecer de água [17], devido ao seu elevado consumo. Os veículos de motor a CI era sujos, difíceis de arrancar e ligeiramente mais caros, mas eram capazes de viajar a velocidade considerável por longas distâncias sem necessidade de paragem. Já os VE eram limpos e silenciosos, mas lentos e muito caros. No entanto, cada um deles lutou para ser competitivo no mercado desde do seu desempenho até ao preço [1].

Estes veículos já tiveram o seu bom momento de mercado, quando mantinham, nos primeiros anos do século XX, uma quota competitiva diante dos motores a vapor ou de CI. Em 1899, na Madison Square Garden, uma exibição eletrónica mostrou que a indústria deste tipo de veículos estava bem estabelecida. Desde 1920 que estes veículos têm balançado a sua posição no mercado, sendo populares apenas por pequenos períodos de tempo, durante períodos de escassez de combustível ou crises ambientais, e depois o seu interesse desvanece [1]. Os EV ganharam a sua reputação desde o início da sua história pelo facto de serem amigos do ambiente. Tal como agora.

O segundo ressurgimento do VE foi desencadeado pelo desenvolvimento da eletrónica de potência [7]. Na década de 60, a indústria automóvel foi pioneira na investigação do controlo de motores para VE. Este interesse manteve-se até à década seguinte devido à crise do petróleo [18]. Os protótipos desenvolvidos neste período definem a base dos VE modernos. No entanto, a baixa densidade de energia e os elevados preços das baterias impediram que estes veículos se tornassem de novo competitivos no mercado [19].

Atualmente, os VE e os VEH estão a tentar um retorno ao mercado do transporte convencional [7], havendo também uma vontade política mundial de tornar os sistemas de transporte mais amigos do ambiente com subsídios e redução de taxas para os VEH e VE, desde a Ásia [20], passando pelos Estados Unidos da América [21], até à Europa [22].

Para além dos incentivos governamentais, a indústria automóvel, para tornar este meio de transporte mais apetecível no mercado, tem vindo a melhorá-lo de tal forma que tem merecido cada vez mais atenção por parte dos potenciais compradores. Os VE oferecem ainda aos utilizadores a oportunidade de vender eletricidade armazenada nas suas baterias de volta para a rede de distribuição de energia [23]. Um sistema Veículo-para-Rede (V2G, do inglês *Vehicle-to-Grid*) pode tirar proveito do tempo que, de facto, os veículos permanecem imóveis. Durante esses tempos

ociosos a eletricidade armazenada nas baterias poderia ser transferida do veículo para as linhas de energia e de volta para a rede. Neste sistema, também seria de esperar que VEHP tivessem a capacidade de comunicar automaticamente com a rede de energia para vender serviços de resposta [24].

2.2 Veículo Elétrico

2.2.1 Alimentação de Veículos Elétricos

Para a propulsão destes veículos é necessária energia, quer esta seja disponibilizada a partir de alimentação externa, baterias ou realizada por motores de CI. Os veículos podem ser caracterizados quanto à sua alimentação, segundo [25]:

- **Combustão Interna** - os motores de combustão interna, que compreendem geradores de Corrente Alternada (CA) ou de Corrente Contínua (CC), produzem energia para motores de tração. Tal como unidades de mecânica, hidráulica e outras alternativas, o acionamento elétrico apenas é utilizado onde melhor se adequa. A combinação entre geradores elétricos, motores de tração e controlo pode ser considerado como uma transmissão elétrica, pois tem a mesma finalidade, mas com importantes vantagens, especialmente em equipamentos de grandes dimensões, como é o exemplo das locomotivas. Os motores a Diesel predominam, embora os motores de turbinas a gasolina ou gás que queimam óleo residual tenham a sua utilização. Este tipo de motor é capaz de desenvolver a sua capacidade máxima apenas à velocidade máxima. Os veículos movidos por motores de CI necessitam de potência máxima numa ampla gama de velocidades, desde o início até à velocidade máxima, a menos que a máquina requeira menos. Isto implica uma baixa tensão e elevada corrente a velocidades baixas e alta tensão e baixas correntes a velocidades mais elevadas para motores CC em série.
- **Células de Combustível e Células Solares** - células de combustível e células solares são produtores primários de energia. As células de combustível oxidam combustível para produzir energia elétrica, por meio de uma ligação química. As células solares convertem luz solar em energia elétrica diretamente. O seu emprego em veículos é usualmente combinado com armazenamento da energia em baterias, quando ela é produzida em excesso. Embora ainda seja necessário uma grande evolução, o desenvolvimento de células de combustível para substituir as baterias tem se mostrado promissor. Geralmente, as baterias de armazenamento de energia têm uma capacidade eficaz de cerca de 80% na conversão de energia elétrica para química e vice-versa. A recuperação de energia é cerca de 64%, o que não é de todo um resultado ótimo. Existe ainda energia que se perde sob a forma de calor.
- **Bateria** - veículos movidos a bateria partilham as mesmas limitações que a sua fonte de alimentação - a bateria a bordo. A bateria é um grupo de células em série. Cada uma dessas células é de baixa tensão, de tal forma que as suas baterias são necessárias na configuração em série para obter a tensão suficiente para o uso do motor de tração. Cada uma dessas células armazena energia através da conversão de energia elétrica em energia química e produz eletricidade pelo processo inverso. As baterias clássicas contêm chumbo ácido ou níquel alcalino. Ambos oferecem longa duração, mas perdem alguma da sua capacidade nominal se forem descarregadas em menos tempo do que o estabelecido. Células

de níquel-cádmio são mais caras, mas têm melhor descarga rápida e desempenho de ciclo. As baterias têm sofrido alterações afim de as melhorar, mas ainda apresentam capacidade finita de armazenamento. Vários tipos de células foram ou poderiam ter sido desenvolvidas, mas o custo ou a alta temperatura necessária para a sua utilização torna-as limitadas. O custo de produção e comercialização e a eficiência são ainda um problema no setor da investigação nesta área. Este tópico será abordado, de forma mais abrangente no Capítulo 3.

- Alimentação Externa - este tipo de veículo obtém a sua energia elétrica a partir de uma alimentação externa. A alimentação é, geralmente, conseguida a partir de um sistema de contacto devido a um coletor montado no veículo. Os requisitos da sua aplicação determinam quão bom é o coletor e o sistema de contacto tem de ser. As características destes afetam bastante a regulação da tensão, interrupções, entre outros aspetos. Fontes de alimentação externas oferecem aos veículos grandes vantagens no seu desempenho. A capacidade de entrega da energia da alimentação é grande quando comparada com motores de tração ou qualquer outro veículo e a aceleração pode ser realizada com velocidade mais elevada.

As características acima descritas definem a classificação dos veículos quanto ao seu tipo. No entanto, esta pode variar de acordo com outros autores e literatura, cuja classificação se constrói por influência do tipo de motor para a propulsão que é utilizado [26]. No caso dos VE, o motor será sempre elétrico, independentemente do seu tipo de funcionamento..

2.2.2 Tração Elétrica

A tração elétrica é a propulsão de veículos com motores elétricos. Eles operam pelos mesmos princípios que máquinas elétricas para outras aplicações, mas são utilizados em ambientes e sob condições que são impostas e, nas quais, poucas dessas máquinas conseguem operar. A velocidade do motor de tração varia desde a paralisação à velocidade máxima, o binário varia consideravelmente e pode fazê-lo a qualquer velocidade. A tecnologia da tração elétrica é a perceção das aplicações e do como projetar, fabricar e aplicar máquinas que sobrevivam e apresentem um bom desempenho em condições especialmente difíceis [25].

Máquinas CC com ligação em série foram motores por eleição para tração no passado devido às suas inerentes características. Em aplicações mais recentes, motores de indução trifásicos com características determinadas pela lógica de controlo são prevaletentes. Esta tendência deverá manter-se devido ao baixo custo do ciclo de vida do equipamento. Alternadores de tração a CA com díodos retificadores têm suplantado, mas em aplicações de baixa potência [25].

Além da classificação de motores de tração, geradores de tração ou máquinas auxiliares CA ou CC, estas máquinas podem ser também classificadas quanto à sua fonte de alimentação, se se trata de alimentação externa, alimentação a partir motores de combustão interna a bordo, alimentação a baterias ou uma combinação dos três, os quais são aplicados aos denominamos Veículos Híbridos (VH) [25].

A tração elétrica é usada onde é a melhor opção relativamente às alternativas. O seu papel mudou e espera-se que a sofra alterações, não só no seu próprio desenvolvimento como também

no surgimento de novas alternativas. A sua utilização pode ainda ter origem na necessidade ambiental de energias limpas [25].

As diferenças de utilização nas diversas parte do mundo refletem não só as suas características técnicas, mas também políticas governamentais e participação com base em diferentes costumes culturais, sociológicos, económicos e valores políticos.

2.2.3 Tipologias de Veículos Elétricos

Um VE faz uso de um ou mais motores elétricos, ou motores de tração, para a propulsão. Existem dois tipos de VE: os que são carregados diretamente de uma estação de carregamento ou outros ponto de ligação com a rede de distribuição de eletricidade, onde a energia consumida pelo motor de arranque, luzes e motor deriva da bateria, carregada nesses pontos, e os que são carregados por energia armazenada originária de uma fonte de alimentação interna do veículo, como é o caso dos VH [12], onde o motor de CI gera energia durante o seu funcionamento que é armazenada e utilizada em modos baixos de condução, pontos nos quais estes se comportam como veículos completamente elétricos. A *interface* da condução com o condutor, em qualquer um dos tipo de veículos anteriores é feita da mesma forma que os veículos convencionais de CI apresentam.

A potência dos VE pode variar entre alguns kiloWatts (kW), como é o caso dos pequenos quadriciclos, até perto dos 200 kW [27], no caso de veículos de elevado desempenho. Já a eficiência dos motores elétricos depende dos pontos de trabalho que cada ciclo de condução aplica ao motor, como acontece nos motores de CI [7]. É sabido que o maior custo, na produção e consequentemente na comercialização, destes veículos mais amigos do ambiente é incorrido no desenvolvimento do método e sistema de gestão de armazenamento e geração de energia [28].

Os VE apresentam várias tipologias, como as que se seguem. Uma vez que o intuito do presente trabalho será analisar os comportamento de carga de veículos 100 % elétricos, os Veículos Elétricos a Bateria (VEB) serão simplesmente identificados como VE.

2.2.3.1 Veículo Elétrico de *Plug-in*

Um Veículo Elétrico de *Plug-in* (VEP) é qualquer VE a motor que pode ser recarregado a partir de qualquer fonte externa de energia elétrica, como as tomadas de parede em instalações domésticas, e a eletricidade armazenada na bateria recarregável dirige ou contribui para dirigir as rodas. VEP são um super conjunto de veículos elétricos, que inclui veículos totalmente elétricos a bateria, VEB, que obtêm a sua energia exclusivamente de eletricidade, e Veículos Elétricos Híbridos de *Plug-in* (VEHP), os quais são movidos tanto por energia elétrica como por combustíveis líquidos [29].

Veículo Elétrico a Bateria

Um VEB é um tipo de VE que utiliza energia química armazenada em baterias recarregáveis. Os VEB fazem uso de motores elétricos e controladores de motor, em vez de motores de CI para a propulsão, e é apenas a bateria que alimenta o motor, as luzes e o sistema de ignição. As

baterias para estes veículos são caracterizadas pela sua elevada proporção de potência-peso e energia-peso. Baterias mais pequenas e leves reduzem o peso total do veículo e melhoram o seu desempenho, mas a sua capacidade de potência é diminuída. Existem muitas alternativas no mercado, desde o modelo C-Zero da *Citroën*, passando pelo Leaf da *Nissan* até a gama superiores, como o i8 da *BMW*. Para o proposto trabalho, será utilizado o Zoe da *Renault*, descrito na Secção 5.2, do Capítulo 5.

Existem autores que consideram também veículos completamente elétricos a bateria, mas de dimensões inferiores e autonomia menores, como Veículos Elétricos de Vizinhança (VEV). São considerados VEV todos os veículos de curto alcance e que devido à sua categoria e enquadramento legal, segundo a Diretiva 2002/24/EC [30], não podem circular acima de um determinado limite de potência e que, por isso mesmo, só podem ser encontrados em estradas com limites iguais ou inferiores de velocidade correspondentes. São veículos com autonomia que variam de alguns dias a uma semana [23].

Veículo Elétrico Híbrido de *Plug-in*

VEHP são VEH que têm ainda a capacidade de recarregar a suas baterias a partir de uma fonte de eletricidade externa. Eles podem ser quase literalmente, ser conectados a uma tomada de parede. A adaptação de VH a VEHP aporta reajustamentos que aumentam o custo e o peso.

O conjunto dos VEHP e dos VE apresenta-se vantajoso, devido a menores custos de manutenção, em comparação com os veículos de CI, uma vez que os sistemas eletrónicos danificam com muito menos frequência do que os sistemas mecânicos convencionais. E menos sistemas mecânicos a bordo implica um maior tempo útil de vida do veículo, devido à melhor utilização dos componentes eletrónicos. Adicionalmente os VE não requerem mudanças de óleo e outras verificações de manutenção de rotina [23].

2.2.3.2 Veículo Elétrico Híbrido

O termo VEH, ou simplesmente VH, refere-se a veículos que usam um motor de CI em conjunto com um, ou mais, motores elétricos para a sua propulsão. Este veículo é um dos tipos onde a energia da propulsão, durante uma operacionalidade específica, é disponibilizada a partir de dois ou mais tipos de armazenamento de energia, fonte ou conversor, onde pelo menos um deles tem de estar no próprio veículo. A bateria está constantemente a ser carregada com energia extra proveniente do motor de CI. A níveis baixos de condução a energia é retirada da bateria. Quando esta se encontra descarregada, o veículo movimenta-se a partir do combustível. Por convenção, este tipo de veículos apresenta uma melhor eficiência no consumo de combustível, no binário e na performance do motor comparativamente com aqueles com apenas um motor de CI [12].

A definição deste tipo de meio de transporte pode ser estendida a veículos que apresentam motores diferentes dos de CI. Veículos onde a energia provem de células de combustível que propulsionam o motor elétrico também são um tipo de VEH. As células de combustível são, essencialmente, um motor onde a energia química no combustível é convertida em energia elétrica diretamente, sem que para isso seja necessário nenhum processo de combustão [12].

2.2.4 Vantagens do Veículo Elétrico

Este tipo de veículos, amigo do ambiente, prima pela não emissão de gases prejudiciais durante a sua utilização, ao contrário do que acontece com os motores de CI ou outros veículos que façam uso de combustão para a propulsão. A condução de um VE apresenta-se confortável e, durante os períodos de utilização, demonstra circulação silenciosa. Estes modelos de meio de transporte não necessitam de caixa de velocidades, transformando a condução numa prática mais fácil e simples para o dia-a-dia, cómoda e adequada ao para-arranca das grandes cidades, área para a qual são fundamentalmente desenvolvidos.

A bateria destes veículos, tal como ocorre nos VEH, pode ser carregada durante os espaços de tempo em que este se encontra em utilização, uma vez que vêm equipados com tecnologias que permitem a realização de travagens regenerativas, fornecendo assim energia à bateria mesmo quando esta se encontra a debitá-la. A resposta à aceleração e travagem apresenta-se bastante satisfatória, uma vez que as tecnologias implementadas permitem o surgimento de binários máximos a baixas velocidades, podendo ainda o condutor tirar partido desta característica em toda a gama de velocidades que o veículo disponibiliza.

Para além do conforto da condução, as cidades começam já a criar oportunidades que podem fazer crescer o interesse neste veículos. Assim, é possível encontrar locais de estacionamento dedicado a VE [31], o que, por enquanto, pode ser sinónimo de diminuição de tempo despendido à procura de um lugar, com a vantagem de poder deixar o veículo a realizar o carregamento da bateria.

A investigação na área da mobilidade elétrica encontra-se numa fase muito dinâmica, na medida em que, vão surgindo cada vez mais novidades que fazem aumentar consideravelmente o interesse em VE. Os sistemas de carregamento destes veículos são ainda complexos uma vez requerem acessórios para esse fim, em que muitas vezes não podem ser utilizados em todos os métodos de carregamento. Com a inovação de Vasco Portugal, estes últimos já não fariam sentido. Trata-se de um carregamento de VE realizado a partir do pavimento [32]. Assim que o VE é imobilizado no estacionamento há transferência automática de corrente desde o passeio, onde está instalado o ponto de carregamento, até à bateria. O fluxo de energia pode ser feito bidirecionalmente, admitindo tecnologia V2G.

Tatiana Correia, investigadora no Laboratório Nacional de Física (NPL, do inglês National Physics Laboratory), criou o condensador HITECA, a partir de um material capaz de resistir a temperaturas muito mais elevadas que o comum [33]. Atualmente, estes elementos, responsáveis pelo arrefecimento dos sistemas elétricos dos veículo, não toleram temperaturas superiores a $70^{\circ}C$, perdendo longevidade, o que obriga à sua substituição. Assim, perspectiva-se que o condensador desenvolvido pela investigadora, criado a partir de material cerâmico, aumente o tempo útil de utilização dos sistemas elétricos e, conseqüentemente, dos VE.

2.2.5 Riscos do Veículo Elétrico

A vantagem mais óbvia de veículos com as características descritas anteriormente é a não produção de poluição, pelo menos no que diz respeito ao funcionamento de motores de CI, comparativamente com os primeiros. Ainda assim, estão longe de serem perfeitos, uma vez que

apresentam outros custos ambientais. A eletricidade que é consumida no nosso país e que é também utilizada para realizar o carregamento das baterias do veículo tem a sua fonte. Nem toda a eletricidade gerada em Portugal provem de fontes renováveis, apesar de 2013 ter sido um ano bastante favorável [34].

A energia solar não polui durante o seu uso e os painéis solares apresenta-se cada vez com mais e melhores funções, ao mesmo tempo que o seu custo vem decrescendo, tornando esta forma de produção de energia uma solução cada vez mais vantajosa. Neste sentido, a estação de carregamento em estudo, concebida com recurso a tecnologia de energia solar, surge como uma alternativa fiável e com pouco impacto no ambiente.

Tanto os VE como os VEH, quando operam totalmente em modo elétrico e a velocidades baixas, produzem muito menos ruído rodoviário que os comuns veículos com motores de CI, contribuindo para a diminuição da poluição sonora ao mesmo tempo que assume um papel muito importante na redução de efeitos nocivos na saúde devido ao ruído [35]. No entanto, as pessoas cegas, ou com deficiência visual acentuada, consideram o ruído de motores de combustão uma ajuda útil para atravessar ruas [36], daí os VE e VEH poderem representar um perigo inesperado quando operam dentro das condições referidas.

Um veículo é uma máquina perigosa. Ela mata milhares de pessoas por ano no nosso país [37]. As características que a tornam especialmente perigosa são o seu tamanho, o seu peso, a sua velocidade e, provavelmente a mais assustadora, a capacidade, juntamente com elevado nível de carga, do tanque de combustível, no caso dos comuns veículos de CI. Relativamente a esta última, os VE ganham vantagem. No entanto, as baterias são constituídas por uma, ou mais, células eletroquímicas que convertem a energia química armazenada em energia elétrica. Tipicamente são utilizadas baterias de ião de Lítio (lão-*Li*) [38]. Este tipo de baterias, ainda que pequena, apresenta uma probabilidade de incêndio ou explosão, devido a fugas térmicas, com alguns casos já reportados [39]. Estes factos preocupam os utilizadores e podem revelar-se determinantes na opção do consumidor.

Conclusão

Os VE têm ganho alguma evidência nos últimos anos. Podem ser indicados vários motivos que explicam o interesse crescente por esse tipo de veículos, como por exemplo o nível baixo de poluição que provocam, muito menos que veículos a CI, tornando-se uma alternativa ambientalmente saudável, especialmente nas cidades. À primeira vista, é difícil identificar, visualmente, a natureza do veículo, se é elétrico ou não. Durante a condução a diferença mais evidente é o seu funcionamento bastante silencioso, o qual apresenta alguns prós e contras, apresentados no presente capítulo.

Neste capítulo faz-se uma análise superficial à oferta do mercado em termos de veículos elétricos, no que diz respeito ao seu tipo, evidenciando pontos como o tipo de alimentação e tração utilizadas, passando pelas tipologias. As vantagens e desvantagens são também referidas, sendo que as primeiras superam as segundas em muitos pontos, não só ambientais como económicos, acreditando-se por isso, ser uma alternativa limpa num futuro próximo da mobilidade nacional e internacional.

No capítulo seguinte, Capítulo 3, será feita uma revisão sobre o elemento fundamental num VE, a bateria. Nele serão apresentadas as possibilidades disponíveis no mercado de bateria aplicadas e com potencialidades para serem aplicadas em VE.

Capítulo 3

Baterias

3.1 Introdução

As baterias foram uma descoberta muito importante, na medida em que não é necessária uma ligação direta à rede de distribuição de eletricidade para operar dispositivos elétricos e eletrônicos. São fontes de energia e fazem a sua distribuição de forma segura, quando usadas adequadamente. Ao mesmo tempo, é crucial escolher o sistema correto em combinação com o carregamento, descarregamento e armazenamento corretos, de forma a assegurar a sua operação ótima, fiável e segura. Há situações em que as baterias poderão descarregar, sofrer roturas ou até explodir devido ao seu defeituoso manuseamento. Para evitar tais situações, a bateria deve incluir dispositivos de proteção [40].

A necessidade de operar ferramentas e dispositivos alimentados a energia elétrica, de forma independente de fontes de alimentação estacionárias, tem levado ao desenvolvimento de uma grande variedade de sistemas de baterias, com características preferenciais para o campo de aplicação. O mercado apresenta uma diversa gama de diferentes sistemas de baterias, com funcionalidades e atributos, como descrito na Secção 3.2. Em aplicações a longo prazo mas com consumo baixo de corrente, como os relógios ou *pacemakers*, as baterias de células primárias são as escolhidas. Para outras aplicações como computadores portáteis, leitores de MP3, telemóveis ou bateria em veículos, apenas sistemas de baterias recarregáveis podem ser consideradas, do ponto de vista do custo e do ambiente.

3.2 Tipologias de baterias

A bateria é um dispositivo capaz de converter energia química em energia elétrica diretamente, por via de uma reação de Oxidação-Redução eletromecânica (reação RedOx). Este tipo de reação envolve uma transferência de eletrões desde o eletrodo negativo, de um material, até ao positivo, de outro, num circuito interno, num compartimento denominadas célula. Esta consiste em três componentes essenciais:

- ânodo - eletrodo negativo que cede eletrões (e^-) para o circuito e que oxida durante a reação RedOx.
- eletrólito - condutor iónico que disponibiliza o meio para a transferência de e^- desde do ânodo até ao cátodo. Tipicamente, este meio apresenta-se no estado líquido, como Água (H_2O) ou outros solventes com sais, ácidos ou bases para permitir condução iónica. Outros apresentam eletrólitos sólidos, que incluem substâncias cristalinas e/ou amorfas, as quais permitem condução elétrica à temperatura de funcionamento da célula. Estes eletrólitos são considerados condutores iónicos rápidos.
- cátodo - eletrodo positivo que aceita e^- do circuito e é reduzido durante a reação RedOx.

Ao longo da história de fabrico de bateria descartáveis muitas normas nacionais e específicas foram usadas para designar os tamanhos das mesma antes de um acordo internacional de normas. As normas técnicas para tipo e tamanhos de baterias são publicadas por organizações como a Comissão Internacional Eletrotécnica (IEC, do inglês *International Electrotechnical Commission*) e o Instituto de Normas Nacionais Americanas (ANSI, do inglês *American National Standards Institute*). Muitos tamanhos são ainda referidos com norma antiga ou designação de fabricante. Outras designações não sistemáticas foram incluídas nas normas internacionais devido à sua ampla utilização. Atualmente, as normas IEC para baterias primárias estão contempladas em IEC 60086-2 [41]. Nos EUA as normas para o mesmo grupo de dispositivos estão contempladas em ANSI C18 [42], desenvolvidas por um comité americano, nomeado Associação de Fabricantes Elétricos Nacional (NEMA, do inglês *National Electrical Manufacturers Association*). Mais recentemente e devido à crescente necessidade e procura de bateria secundárias foi necessário estabelecer normas para este tipo de baterias. Elas assentam nas normas IEC 62133 [43] e ANSI C18.2M [44].

3.2.1 Baterias Primárias

As baterias Primárias, ou baterias de células primárias, ou baterias não recarregáveis, admitem três diferentes configurações: moeda, cilíndrica ou em forma de pino, tal como mostra a Figura 3.1.

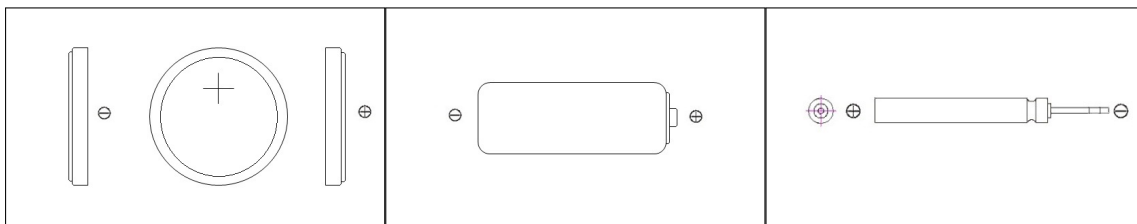


Figura 3.1: Esquema das diferentes estruturas de bateria. À esquerda, em forma de moeda. Ao centro, em forma de cilindro. À direita, em forma de pino. Fonte: elaborada pela autora.

3.2.1.1 Baterias Alcalinas

A bateria alcalina comum é composta por um elétrodo negativo de Zinco (Zn), que ocupa a posição central, imerso numa solução alcalina de Hidróxido de Potássio (KOH) ou Hidróxido de Sódio ($NaOH$), e um elétrodo positivo de Dióxido de Manganês (MnO_2) compactado [40]. No entanto, estas baterias admitem componentes diferentes, como os que se seguem.

3.2.1.2 Baterias de Alumínio-Ar

As baterias de Alumínio-Ar ($Al - ar$) produzem energia através da reação do oxigénio do ar, que se apresenta como elétrodo positivo, com uma liga de Alumínio (Al), o elétrodo negativo, numa solução aquosa neutra contendo Cloreto de Sódio ($NaCl$), Cloreto de Alumínio ($AlCl_3$), Cloreto de Manganês ($MnCl_2$), ou numa solução aquosa semelhante à utilizada em baterias alcalinas.

Estas conseguem obter elevados valores de tensão e de densidade de energia, baixo custo e apresentam-se como um produto ambientalmente benigno e reciclável, o que as tornam uma boa opção para aplicações em VE, podendo gerar energia e potência suficiente em gamas de

condução e aceleração similares com as de veículos de motores de CI [45].

Esta bateria não tem o mesmo potencial energético por quilograma de bateria que as de Lítio-ar (*Li-ar*), mas poderia, teoricamente, atingir densidades de energia muitas vezes melhor do que as baterias de lão Lítio (*lão-Li*) que são atualmente o padrão da indústria. A sua grande desvantagem é que elas não apresentam o mesmo tempo útil de utilização. O alumínio torna-se hidróxido de Alumínio Embora isso possa ser reciclado, não pode ser recarregada, limitando o seu espectro de ação.

3.2.1.3 Baterias de Lítio-Ar

Os sistemas de *Li-ar* são vistos como uma possibilidade para aplicações de propulsão de VE, desde 2009 [46]. Estas baterias consistem num elétrodo negativo, constituído numa fina lâmina de *Li*, um elétrodo positivo onde ocorre a redução do Oxigénio (*O*) do ar, e um outro elétrodo com função de catalisador. Este, inicialmente, teria sido proposto como um elétrodo de Carbono (*C*) e Cobalto (*Co*). Mais tarde, o catalisador passou a ser constituído por um elétrodo poroso de *C* e MnO_2 , introduzido numa solução não aquosa. Apesar do elevado interesse neste tipo de baterias, o seu tempo útil de utilização é reduzido, devido à difusão do *O*, Dióxido de Carbono (CO_2) e H_2O através do eletrólito e conseqüente reação com o *Li*. Estes dispositivos apresentam alta polarização de carga-descarga, o que resulta em perdas de energia e que têm de ser reduzidas para futura aplicação em VE [47]. Estas baterias têm energia teórica por peso quase tão alta quanto a gasolina pode produzir. No entanto, uma série de problemas práticos têm impedido a comercialização generalizada.

3.2.1.4 Baterias de Zinco-Ar

O conceito de baterias de Zinco-Ar (*Zn - ar*) tem ganho alguma atenção. O seu estado de desenvolvimento está significativamente à frente das demais e acredita-se que poderão alcançar as características necessárias para aplicação em VE. Para esse fim, o elétrodo negativo de uma bateria de *Zn - ar* consiste numa suspensão de Zinco (*Zn*) líquido que flui através dos tubos que funcionam como elétrodos positivos de ar [48].

3.2.1.5 Bateria Betavoltaica

Uma bateria betavoltaica é um tipo de bateria atômica. O seu funcionamento assenta em reações nucleares, associadas a isótopos, que convertem a energia armazenada em eletricidade. Tradicionalmente, ela trabalha convertendo partículas beta em energia, utilizando isótopos de longa meia-vida, para aplicações de baixa potência e em dispositivos onde o seu acesso é difícil ou impraticável. Um bateria deste tipo fornece uma quantidade de energia elétrica adequada para ser usada em meios de transporte, como VE e outros dispositivos movidos a energia elétrica, com um funcionamento contínuo durante um intervalo de tempo que corresponde a cerca do tempo útil de utilização do próprio dispositivo [49].

3.2.2 Baterias Secundárias

Nos últimos anos, a demanda por baterias recarregáveis com tensões elevadas de operação, de maior estabilidade durante o ciclo, valores de densidade de energia mais altos, maior segurança

e custos iniciais e de ciclo de vida têm aumentado, de forma a atender as mais recentes e exigentes novidades de mercado.

Para colmatar essas necessidades surgem as baterias secundárias que garantem um maior tempo útil de utilização, mostrando ser uma boa opção, em detrimento das anteriores, com a vantagem de serem mais amigas do ambiente, uma vez que admitem a sua reutilização por vários ciclos de bateria.

3.2.2.1 Baterias Alcalinas

Este tipo de baterias contemplam as mesmas características e funcionalidade que as descritas em 3.2.1, mas apresentam a possibilidade de serem recarregadas, sucessivamente. As maiores vantagens deste tipo de baterias são a sua elevada capacidade de carga e descarga e a sua resistência e longo prazo. Ambas desempenham um papel importante no futuro de aplicações em veículos, especialmente para VEH. No que diz respeito a VE, estas baterias permanecerão um pequeno nicho de mercado, devido às suas limitações na escala de condução, apesar do avanço da tecnologia [50].

3.2.2.2 Baterias de Chumbo-Ácido

As baterias de Chumbo-ácido (*Pb*-ácido) são as mais antigas baterias recarregáveis. Apesar de apresentarem baixo rácio de energia-peso, são capazes de fornecer elevadas correntes, o que significa que têm um rácio relativamente grande de potência-peso. Estas características, em conjunto com o seu baixo preço fazem com que sejam apelativas para aplicações em veículos a motor, como VE [51], especialmente no motor de arranque que requer elevados níveis de corrente para proceder ao arranque do motor do veículo, até que este tenha condições de trabalhar sem auxílio.

3.2.2.3 Baterias de Lítio-Lítio

As baterias de lítio-*Li* pertencem à família de baterias recarregáveis, onde os iões de *Li* se movem desde o eléctrodo negativo até ao positivo durante o descarregamento e voltam durante o carregamento da mesma. São as mais comumente utilizadas em eletrónica portátil devido à sua elevada densidade de potência, reduzido efeito de memória e lenta perda de carga quando inativa. Nos últimos anos têm ganho alguma popularidade em aplicações militares, aeroespaciais e em VE [52].

3.2.2.4 Baterias de Níquel-Cádmio

As baterias de Níquel-Cádmio (*Ni - Cd*) são um tipo de baterias recarregáveis que utilizam Hidróxido de Óxido de Níquel (*NiOOH*) e Cádmio (*Cd*) metálico como eléctrodos. Estas baterias eram, ao mesmo tempo, utilizadas em ferramentas portáteis, como máquinas fotográficas, lanternas, iluminação de emergência e outros dispositivos eletrónicos, bem como em aplicações em VE [53]. Com o seu desenvolvimento, as baterias passaram a ter maior capacidade e mais baixo custo, mas o impacto de *Cd* no ambiente fez reduzir consideravelmente o seu uso.

3.2.2.5 Bateria de Níquel-Hidrogénio

As baterias de Níquel-Hidrogénio ($Ni - H_2$) são baterias recarregáveis baseadas em Níquel (Ni) e Hidrogénio (H). A novidade neste tipo de dispositivo é o H armazenado sob pressão e na forma gasosa na célula. Este tipo de bateria usa Hidróxido de Potássio (KOH) como eletrólito, Ni como eléctrodo positivo e H como negativo. A sua maior vantagem, quando comparada com baterias como as de Li , é o facto de apresentar tempo útil de utilização bastante grande. Tais características fazem destas baterias uma opção para aplicações em VEH [54].

3.2.2.6 Bateria de Níquel-Ferro

As baterias de Níquel-Ferro ($Ni - Fe$) são baterias recarregáveis com KOH como eletrólito, $NiOOH$ como eléctrodo positivo e Ferro (Fe) como eléctrodo negativo. Estas baterias penetraram no mercado em 1904, devido a Thomas Edison, com o intuito de serem aplicadas ao VE da época. Eram muito robustas e algumas duraram algumas décadas, mas com a massificação da produção de veículos de motor de CI por Henry Ford, o mercado dos primeiros com tais características entrou em declínio [55].

3.2.2.7 Bateria Níquel-Hidreto Metálico

As baterias de Níquel-Hidreto Metálico ($Ni - HM$) são baterias recarregáveis que fazem uso de $NiOOH$ como constituinte do eléctrodo positivo e uma liga de absorção de H , podendo este ser substituído por Vanádio (V), Titânio (Ti), Ni ou outro metal como eléctrodo negativo em solução alcalina. São baterias com capacidade superior, quando comparadas com as de $Ni - Cd$ e de densidade de energia maior às de lão- Li para além de que são inofensivas ao ambiente e recicláveis. A maioria dos VEH utiliza baterias de $Ni - HM$, mas ainda assim as baterias de lão- Li apresentam melhores características de funcionamento [56].

3.2.2.8 Bateria Níquel-Zinco

As baterias de Níquel-Zinco ($Ni - Zn$) são baterias recarregáveis com elevada densidade de energia e potência. São capazes de operar desde os $-100\text{ }^{\circ}C$ até os $50\text{ }^{\circ}C$, o que significa que podem operar em condições de temperatura severas. No entanto, apresentam pobre ciclos de vida o que as impede de prosperar em aplicações automóveis [57].

3.2.2.9 Bateria lão-Sódio

As bateria de lão-Sódio (lão- Na) reutilizáveis encontram-se em desenvolvimento. Fazem uso de Carbonatos de Sódio (NaC_x) como eléctrodo negativo. Testes realizados para o eléctrodo positivo indicam que Fosfatos de Ferro de Sódio (Na_2FePO_4F) pode facilmente substituir o Fosfatos de Ferro de Lítio (Li_2FePO_4F) em de baterias de Li . Devido à sua abundância na natureza, baixo preço e adequado para reações $RexOx$, este tipo de bateria apresenta-se muito promissor como armazenamento de energia para diversas aplicações, incluindo os VEHP e os VE [58].

3.2.2.10 Bateria de Sódio-Enxofre

As baterias de fluxo são um tipo de bateria recarregável, onde a possibilidade de recarga é fornecida por dois componentes químicos dissolvidos em líquido contido no interior do circuito e separados por uma membrana. A transmissão iónica ocorre através da membrana enquanto

os líquidos circulam no seu próprio compartimento. Apresentam a vantagem de longevidade praticamente ilimitada, comparada com a maioria das baterias recarregáveis convencionais e, como é capaz de ser recarregada rapidamente, pode ser usada em aplicações onde a energia tenha de ser assumida tão rápido como acontece com motores de CI, como é o caso dos VE [59].

As baterias de Sódio-Enxofre ($Na-S$) são construídas a partir de Sódio (Na) líquido, com função de eletrodo negativo e enxofre (S). O eletrólito é uma membrana sólida colocada entre o eletrodo positivo e o eletrodo negativo. A célula está contida num invólucro de aço, protegido por Crómio (Cr) para evitar efeitos do elevado índice de corrosibilidade dos Sulfatos de Sódio (Na_2SO_4). É este invólucro que atua como eletrodo positivo. Os materiais que requer são caros, mas apresentam elevadas densidades de energia e potência, elevada eficiência carga-descarga, tempo útil de utilização longo, baixo custo devido à sua abundância e conveniente para produção em massa de grandes volumes. Este tipo de bateria apresenta-se promissor para aplicações de armazenamento de energia, desde a década de 80, e possível candidato para aplicações em VE [60].

3.3 Outras Informações

A principal desvantagem dos VE é o tempo necessário para o carregamento da bateria. Este constitui uma das principais razões que impulsiona a Investigação e Desenvolvimento (I & D) nesta área. Os fabricantes de automóveis elétricos têm lançado no mercado novas soluções que permitem compensar o tempo necessário para efetuar um carregamento completo de uma bateria.

Veículos como o Fisker Karma [61], o REVA NXR [62] e o Nissan leaf [63] apresentam Painéis Fotovoltaicos (PFV) incorporados no veículo. Estes painéis são projetados para carga lenta das baterias, num processo contínuo. Na Figura 3.2 é possível observar os PFV colocados sobre toda a área do tejadilho do veículo REVA NXR, à esquerda. Do lado direito da mesma figura encontra-se o Nissan Leaf com painéis alojados no aerofólio traseiro.

Outra tecnologia proposta é a REVive, desenvolvido pela REVA. Quando as baterias dos seus modelos elétricos estão perto de se esgotar ou estão totalmente esgotadas, o motorista é capaz de enviar um SMS para "reviver" e desbloquear uma reserva escondida na bateria [62]. A marca não forneceu mais detalhes sobre como o sistema irá funcionar.

Phinergy, uma companhia israelita, afirma ter produzido uma bateria de Metal-Ar capaz de oferecer 1800 km de autonomia a um VE sem necessidade de recarregá-la, com apenas 100 kg de peso, mas com três vezes o tamanho que as disponibilizadas hoje no mercado para estes veículos [64].

Estas baterias fazem uso do ar envolvente para realizar as reações químicas. Uma vez que não possuem a função de armazenar químicos líquidos ou sólidos, o seu peso reduz drasticamente. Um dos desafios das baterias de Metal-Ar é captar oxigénio suficiente para fornecer a energia necessária. Os eletrodos porosos, desenvolvidos pela Phinergy têm uma área total de superfície suficiente para o permitir. O catalisador à base de prata (Ag) impede que o CO_2 os penetre, problema comum noutras versões desta tecnologia e que reduz o seu tempo útil de utilização.

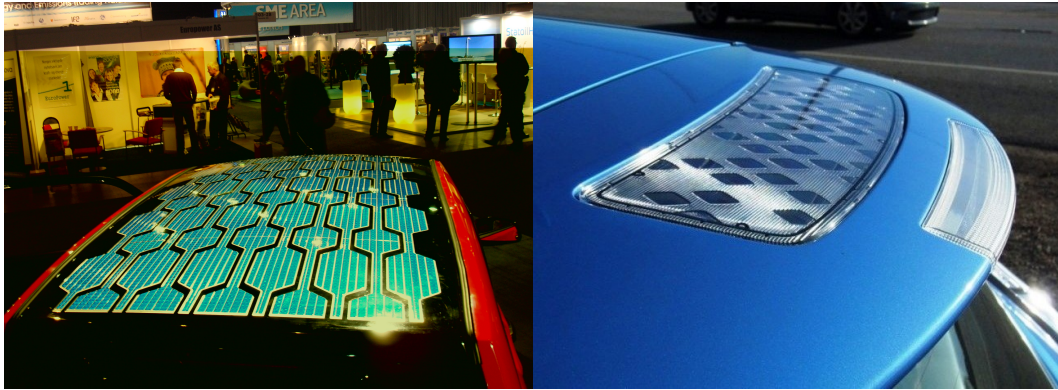


Figura 3.2: Veículos com painéis solares incorporados. À esquerda, o REVA NXR, da Mihandra. Fonte: Wikipedia¹. À direita, o Leaf, da Nissan. Fonte: www.gadgetreview.com².

Um outro ponto negativo dos VE, também associado às baterias, é o seu peso. Muitas são as possibilidades que o mercado oferece. No entanto, as baterias, que desempenham o papel principal num VE, permanecem limitadas. A sua capacidade é reduzida, tendo, por isso, de ser recarregadas regularmente. Mas porque o mercado exige que façam muitos mais e que tenham mais autonomia, as baterias são conectadas em série, numa tentativa de providenciar energia adicional. Isto faz com que estes dispositivos se tornem ainda mais pesados, reduzindo desta forma a sua autonomia. No entanto, este problema poderá, num futuro próximo afirmar-se resolvido.

Conclusão

Uma bateria é um dispositivo que utiliza reações Redox para converter energia química em energia elétrica. A reação química utilizada será sempre espontânea. Este aparelho é um elemento fundamental num VE, uma vez que é a única fonte de alimentação de todo o conjunto de dispositivos necessários para a locomoção do veículo. É ele que alimenta o motor de arranque, o painel, as luzes e o motor. É, portanto, da bateria que vem toda a energia necessária num VE.

Ao longo do capítulo foram identificadas a maioria das tipologias de baterias que são aplicadas e as que se apresentam promissoras para esse fim, num VE. Como se pode observar pelo estado da arte deste dispositivo, existem uma grande dinâmica na investigação neste campo de conhecimento e muitas são as possibilidades quando se pretende escolher o tipo mais vantajoso. No entanto, as baterias de lítio-*Li* continuam a dominar o mercado e não apenas na indústria automóvel.

Seguidamente, no Capítulo 4, será apresentado o conceito de estação de carregamento. Estas infraestruturas são fundamentais para apoiar a projeção dos VE no mercado e assegurar a continuidade da sua utilização, quando estes pretendem deslocar-se por distâncias maiores. A

¹Disponível em: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Reva_nxr_solar_panels.jpg Acesso: maio 2014

²Disponível em: <http://www.gadgetreview.com/wp-content/uploads/2011/02/Nissan-Leaf-5-650x487.jpg> Acesso: maio 2014

autonomia de um VE prende-se com a capacidade da bateria, entre outros fatores como o modo de condução ou condições climatéricas. Assim, para viabilizar os VE, é necessário que pontos de carregamento das baterias sejam implementados.

Capítulo 4

Estações de Carregamento

4.1 Introdução

Com o objetivo de suportar a adoção de VE surge a necessidade de implementar infraestruturas para estações de carregamento. Os padrões de carregamento e infraestruturas para esse fim e que estejam disponíveis têm um grande impacto no modo em como as pessoas utilizam, ou possam vir a utilizar, os VE e, conseqüentemente, tem impacto em como estes veículos penetram o mercado.

Os sistemas de VE são compostos por dois elementos principais: o próprio veículo e o equipamento necessário para se ligar com a rede de eletricidade. Uma vez que os VE têm baixa densidade de energia, comparativamente com os convencionais veículos a CI ou células de combustível, muitos desses veículos têm um campo de ação mais pequeno, o que dificulta a sua adoção pelo mercado a grande escala. Por isso, a redução do tempo de carregamento e acessibilidade a infraestruturas para esse mesmo fim devem ser procuradas.

É entendido que uma infraestrutura de apoio deve estar no local antes mesmo da introdução de uma nova tecnologia de energia. Por este motivo, a instalação de infraestruturas contemporâneas é de extrema importância para a organização e introdução iminente no mercado de sistemas de VE a larga escala. Compreender estes sistemas e as suas oportunidades de desenvolvimento e estruturas de apoio deve ser uma prioridade para a prevalência da mobilidade elétrica.

Os postos de carregamento para VE compreende uma rede de estações de carregamento capazes de reabastecer a baterias dos veículos. Por convenção, uma estação de carregamento descreve-se como um local físico onde as baterias podem ser recarregadas. Esta localização é caracterizada pela presença de equipamento para carregar essas mesmas baterias, quando esgotadas ou perto do esgotamento, bem como o espaço de estacionamento necessário. Estas estações podem acomodar um ou mais veículos e podem ser destinadas ao público em geral ou a grupos e/ou utilizadores privados. No caso do carregamento propriamente dito, a estação compreende duas componentes principais: a *interface* com o utilizador e a ficha que liga o veículo à rede que fornece a eletricidade. Um sistema de carregamento completo inclui vários dispositivos de carregamento para diferentes veículos de modo a satisfazer todas as necessidades deste setor da indústria automóvel.

Deve ser feita uma distinção importante entre carregador e estação de carregamento, uma vez que não podem ser utilizados para identificar o mesmo propósito. Carregadores de bateria, ou unidades de processamento de energia, são os dispositivos que modulam a corrente de entrada e a tensão da fonte de alimentação, afim de aplicar as melhores características de carga de acordo com a química da bateria. Este dispositivo com grandes dimensões encontra-se no exterior da estação, devido ao seu tamanho, embora hajam carregadores de menores dimensões

colocados no interior do veículo. O carregamento pode ser realizado mediante a aplicação de uma corrente condutiva, ou indutiva, ou por substituição de baterias descarregadas por outras de carga completa. O método padrão para o carregamento de VE faz uso de baixa corrente condutiva através de uma ligação entre o veículo e a fonte de alimentação, o qual é gerido por um carregador a bordo ou externo.

Para alguns tipos de baterias é possível aumentar a taxa em que a bateria é carregada, aumentando o fluxo da corrente da fonte, o que faz com que seja necessário utilizar carregadores de maiores dimensões para atenuar os efeitos que advêm da utilização de valores mais elevados de correntes, quer nos casos que utilizam CA quer nos que fazem uso de CC. A regulação de valores de corrente mais altos que obriga ao uso desses carregadores maiores nega a possibilidade de estes serem colocados a bordo dos veículos (veículos com carregadores a bordo). O sistema de carregadores a bordo facilita a utilização de VE, uma vez que permite que este seja carregado em casa, durante a noite, por exemplo, ou em posto de carregamento. Por outro lado, como já havia sido referido, carregadores a bordo não suportam correntes elevadas, o que torna o carregamento das baterias um processo demorado (6 a 8 horas, a baixa corrente).

Com o surgimento dos carregadores com maior capacidade, alguns dos VE são equipados com ambos os sistemas: padrão (carregamento lento doméstico) e rápido CC (carregamento rápido em postos convenientes), exigindo pontos de carga separados para as respetivas conexões de baixa e alta potência.

Existe literatura que tem relatado efeitos adversos sobre as baterias dos veículos, devido a carregamentos rápidos [65], o qual deve, portanto, ser realizado somente quando uma extensão imediata da capacidade da bateria é necessária. Por isso, é recomendado que o carregamento rápido CC seja restrito a menos de 5 % do número total de ciclos de carga das baterias [66], embora os efeitos reais sejam ainda pouco conhecidos.

Postos de carregamento de baterias eficazes e eficientes são de crítica importância, porque o investimento em VE pelos condutores demonstra-se ainda hesitante. O custo da instalação de infraestruturas desta envergadura, a dificuldade associada à extração de uma grande quantidade de energia da rede e o custo de utilização asseguram que o carregamento lento padrão permanecerá como o método mais comum para reabastecer as baterias dos veículos.

Estações de carregamento capazes de carregar baterias em tempo coincidente durante o qual os veículos estão estacionados é o primeiro passo para a criação de uma rede de postos de carregamento viáveis para locais públicos. Com a penetração significativa de VE, as infraestruturas têm de ser instaladas em locais que incluam sítios como parques de estacionamento domésticos, públicos e ruas em toda a cidade. Estas infraestruturas terão também de encontrar o seu lugar ao longo de autoestradas e caminhos rurais. Assim a mobilidade elétrica poderá tornar-se competitiva.

Muitas são as empresas que disponibilizam já formas de carregamento de VE em locais públicos ou privados. No espaço geográfico dos EUA e Canadá, a *ChargePoint* detém uma das maiores redes de estações de carregamento [67]. A *Schneider* [68] e a *GE* [69] também disponibilizam várias soluções de carregamento de VE. Esta última com presença em todo o mundo. A *MOBI.E* foi das pioneiras na implementação de infraestruturas de carregamento no nosso país. O abas-

tecimento do VE requer a utilização de cartão MOBI.E que permite efetuar abastecimentos em qualquer ponto do país nas suas instalações [70].

A *BrightSolar* lançou no ano anterior carregadores que utilizam tecnologia baseada em energia solar [71], através de PFV, desenvolvidos pela *MagnumCap*. Mais recentemente, a ENFORCE prepara-se para lançar no mercado estações de carregamento também elas a energia solar. O protótipo da empresa está instalado na Faculdade de Ciências da Saúde (FCS) da Universidade da Beira interior (UBI). É constituída por uma cobertura de fibra de vidro em forma de folha de árvore com PFV e que permite o abastecimento de até três veículos em simultâneo. Será esta a infraestrutura a ser utilizada para efetuar o estudo dos perfis de carregamento do *Renault Zoe*.

4.2 Características das Estações de Carregamento

Com o surgimento de tecnologias como a mobilidades elétrica e das infraestruturas de suporte, é necessário estabelecer definidos conceitos relativos à área em que se aplicam. Assim:

- Rede de Distribuição - consiste numa instalação de rede elétrica de Alta Tensão (AT), Média Tensão (MT) ou Baixa Tensão (BT), às quais as infraestruturas estão conectadas e através das quais os consumidores carregam os seus veículos;
- Ponto de Carregamento - ou Posto de Carregamento (PdC), é o ponto de conexão entre o veículo e a infraestrutura;
- Infraestrutura de Carregamento - é composta por um ou mais PdC e pelo lugar de estacionamento necessário para os VE. Em alguns casos, equipamento adicional como transformadores, geradores ou dispositivos de armazenamento podem fazer parte integrante da estrutura, de forma a providenciar um serviço eficiente e confiável. Estas infraestruturas podem ser de uso público e estarem localizadas em parques de estacionamento, centros comerciais, ruas, edifícios empresariais, entre outros. Ou podem ser apenas para uso privado e, nestes casos, estão localizados em espaços privados;
- *Interface* - consiste num conjunto de meios, sejam eles físicos ou lógicos, dispostos de forma a fazer a adaptação da interação entre o consumidor e a infraestrutura.

A implementação de infraestruturas de carregamento de VE apropriadas requer esforços para o desenvolvimento dos projetos de todas as partes interessadas envolvidas. Os sistemas propostos têm de ter em consideração os papéis dos fornecedores, operadores e consumidores/utilizadores. As carências do mercado enfatizam o desenvolvimento de sistemas de infraestruturas simples e familiares para aumentar a confiança dos consumidores e permitir uma penetração no mercado bem sucedida e sensível ao contexto.

O projeto de um posto de carregamento envolve dois esforços primários: o desenvolvimento de uma estrutura operacional para sistemas de carregamento de veículos e o *design* de toda a aparelhagem. O primeiro está relacionado com estatísticas, projeções e cenários acerca do mercado da mobilidade elétrica. Além disso, a implementação destes sistemas deve estar de acordo com as características da região onde se inserem, as quais incluem todo o contexto geográfico, urbano e cultural. E porque a eletrificação da mobilidade acenta em tecnologias de energia, existe a necessidade de infraestruturas dinâmicas que possam ser modificadas de acordo com a evolução dessas e outras tecnologias e modelos de negócio. É necessário também que essas

instalações permitam a otimização da *interface* e dos processos comerciais. A procura pela flexibilidade, usabilidade e compatibilidade são requisitos fundamentais para o desenvolvimentos das estruturas de apoio a VE.

As infraestruturas devem responder às necessidades do mercado e, em particular, do consumidor final dos produtos. Para aproximar a dinâmica das novas tecnologias às indigências atuais, as características das estruturas devem encontrar concordância nos pontos que definem categorias como a logística, funcionalidade, *interface* amigável, forma, estética e semântica, segurança, durabilidade e manutenção e produção e tempo útil de utilização. Em cada categoria encontramos um grupo de pontos considerados requisitos para implementação de modelos de estações de carregamento ideais. Esse conjunto de aspetos será descrito em seguida, baseado em [72].

A logística apresenta requisitos como o suporte para todos os tipos de VE, onde as respetivas fichas e tomadas respeitam a regulamentação e normalização exigidas. Os sistemas de carregamento devem possuir a capacidade de recarregar as bateria no mínimo tempo possível e serem dedicadas a diferentes tipos de carregamento, discutidos na Secção 4.4. A principal característica a ser apresentada pelas infraestruturas de carregamento é a possibilidade de utilização de um serviço disponível 24 horas por dia e 7 dias por semana (sistema 24/7), de forma automática, do tipo *self-service*. Adicionalmente, o espaço de estacionamento deverá estar o mais perto possível da *interface*. Estas estações devem ser apropriadas e adaptadas a autoestradas e locais urbanos, onde pode acomodar tantos veículos quanto possível, não afetando o normal fluxo de trânsito e onde os locais de estacionamento são dedicados ao veículos em carga.

No que diz respeito à funcionalidade os principais requisitos incidem sobre o facto das tomadas, cabos e fichas não debitarem corrente sem que o carregamento tenha sido iniciado. A localização das estações deve registar-se em locais bem ventilados, uma vez que existe a possibilidade da libertação de gases durante o processo [73]. O local deve estar protegido contra a apropriação indevida de energia elétrica por indivíduos não autorizados. As tomadas devem encontrar-se calibradas, individualmente, e as fichas devem estar preparadas para futuras transições para sistemas de rede inteligente. Idealmente, não deverá ser necessária a utilização das duas mãos para operar na estação nem o manuseio de dispositivos com mais de 3 *kg* e a altura da tomada deverá ser adequada a indivíduos de estatura média. Por segurança, tanto do veículo como dos intervenientes, deveria ser possível bloquear as rodas a um ponto fixo da estação.

A *interface* é o método através do qual o utilizador poderá comunicar com a estação, por isso, a sua posição deverá ser adequada à altura dos olhos de indivíduos de estatura média. A comunicação entre o utilizador e a estação compreende um conjunto de interações, as quais devem ser disponibilizadas, sob a formato digital ou em papel, incluindo o histórico de todo o processo. Os utilizadores deverão poder receber qualquer resposta nas interações que estabelecem com a *interface*, sendo elas sob a forma tátil, visual ou audível. Para tornar o processo de carregamento e utilização das estações ideais, as estações deveriam poder incluir um mapa de localização de outros pontos de carregamento e a sua disponibilidade, onde já vêm sendo desenvolvidos algoritmos a serem implementados nas próprias estações ou nos veículos, como auxiliares de condução [74], e ainda, tarifas e serviços.

A forma da estação deve ser reconhecível, pelo utilizador, a pelo menos 100 *m*, e os seus componentes devem ser indicativos das funções adjacentes, ou seja, o modo de utilização de

toda a infraestrutura deve ser intuitivo. Já a estética deve ser coerente com o meio envolvente.

As questões de segurança são uma prioridade em locais e dispositivos de utilização pública, principalmente, quando elevados valores de tensão e corrente estão envolvidos. Por isso, os riscos de eletrocussão durante o carregamento devem ser eliminados e toda a aparelhagem com necessidade de manuseio deve respeitar normas e regulamentação. Idealmente, as conexões existentes deveriam atingir a classificação de IP54. Por outro lado, todos os componentes que abranjam o espaço entre a estação e o veículo não devem constituir perigo para outros transeuntes, ciclistas ou veículos. As pontas e arestas da estação devem possuir uma forma tal que minimize danos provocados nos utilizadores e seus pertences. Não só os componentes físicos levantam questões de segurança, assim, o *software* utilizado não deve permitir comportamentos fraudulentos.

Para uma maior durabilidade da infraestrutura, todos os componentes nela aplicados devem ser capazes de resistir às condições meteorológicas típicas do país onde foi instalada. Devem também, ser capazes de resistir à degradação e/ou corrosão devido à exposição a agentes químicos ou outros materiais perigosos, comumente encontrados em ambientes urbanos. O bom acesso à infraestrutura deve ser providenciado ao utilizador. Já o acesso ao interior da máquina, que deve estar preparada para atualizações de *software*, deve ser restrito a indivíduos não autorizados. A estrutura não deve apresentar vulnerabilidade a atos de vandalismo ou colisões de veículos nem estar exposta a desgaste rápido devido ao uso diário continuado.

Uma vez chegado ao final do tempo útil de utilização, a estação deve permitir o seu desmantelamento, de modo a poder ser descartada, reciclada ou poder-se fazer o aproveitamentos de parte ou de componentes para a sua reutilização. Afim de minimizar o impacto destas estruturas no ambiente, os materiais utilizados e os métodos de produção dos componentes e posterior montagem devem constituir um perigo menor ao meio ambiente.

Todas as características de uma infraestrutura de carregamento de VE devem estar normalizadas. Na União Europeia (UE), as organizações responsáveis pelas normas são o Comité Europeu de Normalização (CEN), Comité Europeu para a Normalização Eletrotécnica (CENELEC), o Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações (ETSI, do inglês *European Telecommunications Standards Institute*) e, a nível internacional, a Organização Internacional de Normalização (ISO, do inglês *International Organization for Standardization*). A normalização permite melhorar as condições de segurança dos produtos. O impacto dos VE, no que diz respeito à saúde pública, à segurança, à sustentabilidade ambiental, bem como o quão rápido esta tecnologia é adotada será bastante influenciada pelas normas a que os VE e infraestruturas relacionadas são projetados e ao cumprimento destas normas por parte dos fabricantes, técnicos e outros profissionais afins. É também importante que, dado o espectro diversificado e amplo de tecnologias envolvidas com o VE e vendo a variação do nível de desenvolvimento de cada um, a padronização vai ter de desempenhar papéis variados em todo esse espectro de desenvolvimento, ou seja, algumas tecnologias são mais avançadas, enquanto outras, em particular os relacionados com sistemas a duas baterias [75] e tecnologias V2G [76], que se encontram em estágios iniciais.

4.3 Equipamento de Carregamento de Veículos Elétricos

Os carregadores normais, ou a bordo, permitem os modos de carregamento 1, 2 e 3, como descreve a Secção 4.4. Para os modos lentos, como é o caso dos Modos 1 e 2, existem três soluções de fichas. O Modo 3 necessita de uma tomada dedicada para *interface* com o veículo. Existem também 3 tipos, conforme se pode verificar na Tabela 4.1, que descreve as tomadas conforme a norma IEC 62196, baseada em [77]. Para o proposto trabalho, será utilizada a ficha do tipo 2.

Tabela 4.1: Tipos de Tomadas Conforme IEC 62196

Ficha	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Monofásico	até 32 A	até 70 A	até 32 A
Trifásico		até 63 A/fase	até 32 A/fase
Tensão	100 - 230 V	110 - 480 V	110 - 400 V
Potência	7.2 kW	43 kW	22 kW
Número de pinos	5	7	5 ou 7
Origem	Japão e EUA	Alemanha	Itália

O protótipo da estação de carregamento, cuja qualidade de energia será analisada no presente trabalho, tem a capacidade para operar em Modo 3. No entanto, e por questões de logística, serão realizados os ensaios propostos em Modo 2. Este modo não requer equipamento específico, mas a *interface* entre o veículo e a estação irá realizar-se através de uma tomada do tipo 2, tal como mostra a figura 4.1. A ficha, é constituída por sete pinos. Identificando-os a partir da figura e da esquerda para a direita, Piloto de Proximidade, identificado com PP, Piloto de Controlo, identificado com CP, Fase 1, identificada com L1, Terra, Neutro, identificado com N, e, por último, a Fase 2 e Fase 3, identificadas com L2 e L3, respetivamente.



Figura 4.1: Ficha *Mennekes*. Fonte: www.mennekes.co.uk¹.

4.3.1 Piloto de Controlo

A comunicação que é estabelecida entre o veículo e a estação de carregamento para os carregamentos em Modo 2 e em Modo 3 é efetuada por modulação da largura de pulso de um sinal (PWM), através do condutor PC. O pino de PC tem como funções:

¹Disponível em: <http://www.mennekes.co.uk/uploads/RTEmagicC_MENNEKES_Steckerschema.jpg> Acesso: maio 2014

- Regular do pedido de potência do VE;
- Verificar se a ligação está correta;
- Verificar a continuidade da terra de proteção;
- Alimentar e cortar a tensão na tomada;
- Determinar das necessidades de ventilação na área de carga;
- Desconectar a tomada;
- Comunicar a máxima intensidade de corrente de carga;
- Reter/acoplar da ficha.

4.3.2 Piloto de Proximidade

Existe um outro condutor, designado por PP, que é capaz de detetar a presença do VE e determinar a máxima intensidade de corrente admissível no cabo. O pino tem como funções:

- Detetar o veículo elétrico;
- Determinar a corrente elétrica admitida pelo cabo (através da medição do valor óhmico entre o condutor PP e o neutro).

4.4 Modos de Carregamento

Muitos carregamentos de VE têm lugar em casa, durante a noite, na garagem, por exemplo, onde o veículo é ligado a uma tomada convencional para o Modo 1 de carregamento, o modo lento. O Modo 2 é, tipicamente, descrito como método primário que pode ser utilizado tanto em estruturas públicas ou privadas. Este modo de carregamento tem sido foco de desenvolvimento, por ser semi-rápido e ser implementável em quase todos os ambientes. Na generalidade, são utilizadas soluções de uma fase para os referidos modos de carregamento, no entanto, também podem ser utilizadas soluções a regime trifásico.

Um terceiro modo, o Modo 3, difere dos anteriores porque requer valores de corrente muito altos. Isto permite um carregamento mais rápido que os anteriores e está a ser desenvolvido para que possa ser utilizado para aplicações tanto comerciais como públicas, operando como uma estação de abastecimento. Neste modo, são aplicadas soluções apenas trifásicas. Estações para uso público são construídas para fazer uso dos modos de carregamento 2 e 3 e podem ser instalados em lotes de estacionamento, centros comerciais, hotéis, estações de serviço, teatros, restaurantes, entre outros estabelecimentos públicos. Existe ainda um quarto modo, o Modo 4, que implica a utilização de CC para o carregamento dos veículos. Este modo, apenas poderá ser implementado em estações de carregamento dedicadas.

A IEC é a entidade responsável pela normalização do conjunto de conectores elétricos necessários aos VE, cuja norma principal é IEC 62196, e dos sistemas de carregamento, os quais se regem pela norma IEC 61851. A segunda contempla as definições para os sinais de pino e os respetivos modos de carregamento. Os modos que esta norma define incluem:

Modo 1 Carregamento lento a partir de uma tomada do tipo doméstica;

Modo 2 Carregamento lento a partir de uma tomada do tipo doméstica com dispositivo de proteção no cabo;

Modo 3 Carregamento rápido, utilizando uma tomada específica para VE com funções de controlo e proteção instaladas;

Modo 4 Carregamento rápido, utilizando carregador externo e equipamento específico.

A Tabela 4.2 mostra, de forma sucinta, a relação entre a corrente e a potência esperada para cada modo de carregamento.

Tabela 4.2: Modos de Carregamento: Corrente e Potência Correspondentes

Modo	Regime Monofásico CA	Regime Trifásico CA	Regime CC
1	Máx 16 A - 3.7 kW	Máx 16 A - 11 kW	
2	Máx 32 A - 7.4 kW	Máx 32 A - 22 kW	
3	Máx 63 A - 14.5 kW	Máx 63 A - 43.5 kW	
4			Máx 125 A - 50 kW

4.4.1 Modo 1

O Modo 1 de carregamento refere-se à ligação do VE com a rede de abastecimento CA que não exceda os 16 A de corrente, nem os 230 V na fase, nem os 400 V de tensão composta, valores para a UE (para os EUA os valores são, respetivamente, 250 e 480 V), utilizando tomadas normalizadas. Neste modo os conectores não necessitam de quaisquer pinos de controlo. É o método mais lento, mas também o mais rápido e mais barato de implementar [2].

4.4.2 Modo 2

O Modo 2 de carregamento refere-se à ligação do VE com a rede de abastecimento CA que não exceda os 32 A de corrente, nem os 230 V na fase, nem os 400 V de tensão composta. Além dos condutores de energia e terra de proteção, a ficha para este modo têm uma função adicional - o Piloto de Controlo (PC), requerido para proteção contra eletrocussão, devido à condução de correntes altas, pela norma IEC 61851-1. Existe também uma caixa de controlo que deve estar localizada na própria ficha ou até uma distância de 0.3 m.

4.4.3 Modo 3

O Modo 3 de carregamento refere-se à ligação do VE com a rede de abastecimento CA que não exceda os 63 A, utilizando Equipamento de Abastecimento de VE (EAVE) dedicado, onde o PC está destacado para controlar o EAVE também. De acordo com a norma IEC 61851-1, os conectores para o Modo 3 exigem uma gama de PC e de sinal para ambos os lados do cabo. Os pinos que realizam a comunicação entre a eletrónica do veículo e a estação permitem a integração de redes inteligentes.

4.4.4 Modo 4

O modo 4 de carregamento refere-se à ligação do veículo com a rede de abastecimento, utilizando um carregador externo, onde a função de controlo está também presente no equipamento. Neste modo, a energia em CA da rede é convertida em CC na estação. Fazer uso de carregamento rápido permite a utilização de correntes consideravelmente mais elevadas. No entanto, o custo do equipamento é muito maior que o EAVE para operar em Modo 3.

A Tabela 4.3 indica sucintamente, para cada modo, a localização do carregador, a forma como tipicamente são realizados, equipamento e tempo necessário para o carregamento de VE, em parte, baseada em [2].

Tabela 4.3: Características de Carregamento e Equipamento para Veículos Elétricos

Modo	Localização do Carregador	Uso Típico	Equipamento para Fornecimento de Energia	Tempo de Carregamento
1	A bordo	Em tomadas domésticas ou do local de trabalho	Tomadas domésticas	4 - 11 h
2	A bordo	Em tomadas públicas ou domésticas	Tomadas domésticas ou EAVE dedicado	2 - 6 h
3	Externo	Em estações de carregamento	EAVE dedicado	0.5 - 1 h
4	Externo	Em estações de carregamento	EAVE dedicado	0.2 - 0.5 h

4.5 Impacto na Rede de Distribuição

O carregamento de VE tem impacto na rede de distribuição, pois consome uma grande quantidade de energia elétrica e a sua exigência por potência pode levar a um consumo elétrico demasiado elevado e com picos indesejáveis. Do ponto de vista do operador de sistemas de distribuição, as perdas de energia durante o carregamento são uma preocupação. Mas não só as perdas se apresentam como um problema, já que a qualidade de energia é afetada, devido a alterações nos perfis de tensão, desequilíbrios, existência de maior quantidade de componentes harmónicos, entre outros. Do ponto de vista do consumidor, carregamentos padrão, durante a noite, por exemplo, dão oportunidade a carregamentos inteligentes de mergulharem no mercado. Uma vez a coordenação de carregamento poder ser feita remotamente, é possível alterar os períodos de baixo consumo e evitar elevados picos de consumo, pois períodos de carregamento arbitrário têm um impacto maior na rede [78].

As redes de distribuição têm evoluído ao longo dos anos, de forma a poderem albergar grandes geradores controlados centralmente, onde um dos lados da rede é de AT e as cargas fluem para o sentido oposto, de BT. O aumento da preocupação com as alterações climáticas, os custos associados à instalação de energia renovável e a eficiência energética resultou num aumento do número de geradores ligados à rede. Estudos mostram que a geração distribuída cria fluxos de potência de reserva na rede que podem afetar a qualidade do fornecimento de energia e do sistema de proteção e surgirem desequilíbrios e falhas [79]. A grande implementação de VE pode

resultar não só nos problemas mencionados, mas também existe a possibilidade de violação dos limites de fornecimento de tensão legais.

Dispositivos de *interface* nos VE podem ser projetados para minimizar, ou mesmo eliminar, os efeitos destes na rede elétrica. Na verdade, com controlo e comunicação apropriados com a rede, os VE poderiam operar como parte de uma rede inteligente para prestação de serviços auxiliares, tais como os emergentes métodos de V2G, funcionando como cargas elétricas umas vezes, e como gerador, outras [80], diminuindo assim o seu impacto na rede. Outros autores acreditam que a penetração no mercado de veículos que obtenham energia através da rede de distribuição de eletricidade vai ser suficientemente lenta para que as infraestruturas se possam adaptar [81].

Conclusão

Afirmar que o futuro pertence aos VE, não é ainda uma realidade, é algo mais complexo. Após a conjugação das diversas variáveis envolvidas, como a disponibilidade de uma rede de abastecimento de VE, o reduzido custo da recarga de bateria (atualmente gratuito), os benefícios fiscais na aquisição do veículo e a possibilidade futura de comercializar a energia as baterias, poderia afirmar-se que estão reunidas as condições para que um utilizador considere a alternativa elétrica na altura da aquisição de um veículo novo. No entanto, o potencial de difusão de VE é baixo, na maior área metropolitana do País. É assim possível afirmar que a substituição dos veículos convencionais por elétricos apresenta benefícios significativos para o ambiente desde que seja assegurada a utilização de fontes de energia limpas, como é o caso estação de carregamento em estudo.

A nível económico e tecnológico, de construção e de distribuição de energia, é previsível um desenvolvimento substancial devido às novas exigências da mobilidade elétrica. Com medidas concertadas e sustentáveis entre governantes, fornecedores de energia e fabricantes de automóveis, poderá ser possível tornar a mobilidade elétrica uma alternativa real.

O presente capítulo descreve o conceito de uma estação de carregamento e as características adjacentes esperadas para este tipo de infraestrutura. Os equipamentos necessários e os modos de carregamento ocupam também o seu lugar, dada a importância de conhecer estas variáveis para a realização do presente estudo. A Secção 4.5 ganha algum destaque, já que o intuito do documento apresentado é a realização do estudo da qualidade de energia fornecida ao VE pelo posto durante o carregamento.

Capítulo 5

Análise dos Perfis de Carregamento de Veículos Elétricos

5.1 Introdução

A projeção de tecnologias recentes, como é o caso da mobilidade elétrica, e da crescente implementação dos pontos de carregamento para veículos elétricos levanta questões quanto ao impacto da massificação de utilização dessas tecnologias na rede. A UBI e a ENFORCE, estando a acompanhar as tendências neste campo, realizaram ensaios ao comportamento do posto de carregamento rápido da empresa, concebido pela colaboração das duas entidades. Foram realizados carregamentos parciais e um carregamento completo no referido posto, de forma a obter uma primeira análise do impacto desta tecnologia na rede de distribuição elétrica.

O objetivo dos ensaios é verificar o dado impacto no ponto de ligação à rede do posto de carregamento de veículos elétricos, através da análise de grandezas elétricas, como a variação de tensão, corrente, potência ativa e potência reativa, conteúdo harmónico e equilíbrio de fases. Os resultados obtidos nesta análise poderão ser influenciados pelo ponto de ligação à rede MT. Porém, as tendências verificadas são válidas para a generalidade das situações, mas os valores absolutos dependerão também do ponto de ligação à rede de distribuição.

Para os dados recolhido de tensão, corrente, potência ativa e potência reativa foram apenas analisados os valores médios de cada grandeza. Neste estudo não entram em consideração os valores máximos, mínimo ou picos. O registo dos dados será feito de forma contínua durante todo o intervalo de carregamento, com período de amostragem de 1 segundo.

5.2 Materiais

5.2.1 Veículo Elétrico

Como referido, o veículo utilizado nos ensaios foi o *Renault ZOE*. Este veículo apresenta características como uma tara de 1428 kg, incluindo o condutor. Indica 135 km/h de velocidade máxima, por especificação do fabricante, no entanto pode atingir valores mais elevados. O motor apresenta 65 kW de potência. A capacidade de carga útil da bateria é de 22 kW e estas características conferem ao veículo uma autonomia compreendida entre 100 e 150 km.

5.2.2 Posto de Carregamento

O posto de carregamento utilizado foi o protótipo desenvolvido pela cooperação entre a UBI, com localização na FCS, da universidade, e a ENFORCE, o qual é possível ver na Figura 5.1. A estação responde às exigências das normas EN 61851 de 2011 e NP 61581 de 2013. A tensão no posto não ultrapassa os 690 V e a frequência é de 50 Hz ± 1%. O posto suporta diferenças de



Figura 5.1: Protótipo de Estação de Carregamento Rápido de Veículos Elétricos a Energia Solar. Fonte: ENFORCE.

temperatura entre os 30°C negativos e os 50°C positivos e uma humidade relativa entre os 5 % e os 95 %. A altura da tomada encontra-se a 1 m do chão. No que diz respeito à segurança, o índice de proteção é de IP44, possui regime de neutro TT e ponto de conexão do VE com DR de 30 mA. O posto tem capacidade para operar em Modo 3 de carregamento, no entanto, os testes foram realizados em Modo 2.

5.2.3 Analisador Fluke

O *Fluke 434 Série II*, Figura 5.2, foi o analisador de energia utilizado nos ensaios realizados. É uma ferramenta útil para o registo energético em sistemas trifásicos. Este dispositivo disponibiliza quatro sondas de corrente flexíveis e finas, sendo capaz de medir correntes até 600 A, por fase, e tensões até 1000 V entre a fase e neutro. Indica dados como o valor do fator de potência e valores de energia como a potência ativa e potência reativa. É, ainda, capaz de medir os valores de distorção harmónica e harmónicas individuais até à quinquagésima ordem. Quanto às condições ambientais, o analisador pode operar entre os 0°C e os 50°C , com bateria, até 95% de humidade relativa e até aos 2000 m de altitude. O *software* de análise do aparelho permite visualizar gráficos e efetuar relatórios, no entanto, os dados foram exportados para o computador, afim de realizar outros estudos dos parâmetros, através da saída ótica do



Figura 5.2: Analisador de Qualidade de Energia de Sistemas Trifásicos. Fonte: *Fluke*¹.

dispositivo e *interface* USB. Este equipamento permite recolher dados de até 600 variáveis e a sua autonomia depende do número destas selecionado. É de fácil montagem, devido ao código de cores implantados nos cabos, e de fácil utilização, uma vez que o seu *software* se apresenta muito intuitivo.

5.3 Metodologias de Ensaio

O procedimento de realização dos ensaios foi efetuado como indicam os pontos seguintes:

- Carregamento completo da bateria do *Renault ZOE* através do carregamento rápido
 - De 63% a 100%
- Carregamentos parciais da bateria do *Renault ZOE* através do carregamento rápido:
 - De 11% a 72% - o carregamento do veículo foi interrompido aos 72% da capacidade de carga da sua bateria
 - De 49% a 98% - o carregamento do veículo foi interrompido aos 98% da capacidade de carga da sua bateria
 - De 67% a 98% - o carregamento do veículo foi interrompido aos 98% da capacidade de carga da sua bateria
 - De 79% a 98% - o carregamento do veículo foi interrompido aos 98% da capacidade de carga da sua bateria
 - De 91% a 98% - o carregamento do veículo foi interrompido aos 98% da capacidade de carga da sua bateria

Foi realizada uma monitorização do carregamento rápido do veículo. Foram obtidas as seguintes grandezas: potência ativa, tensão, corrente, os valores de $\cos(\phi)$ e conteúdos harmónicos. O

¹Disponível em: <<http://www.fluke.com/fluke/ptpt/Ferramentas-de-Qualidade-de-Energia/Corrente-trifasica/Fluke-434-Series-II-Energy-Analyzer.htm?PID=73937>> Acesso: junho 2014

posto é alimentado da rede elétrica por três fases a 230 V, fase neutro.

O primeiro carregamento do *Renault ZOE* foi iniciado com a bateria a 67% do Estado de Carga (EC) máximo e terminou, por ação do utilizador quando o EC atingiu os 98 %. O segundo teve início a 11 % do EC e terminou, por ação do veículo quando a sua bateria atingiu os 72 %. O terceiro carregamento iniciou com EC de 63 % e terminou, por ação do veículo quando este atingiu a totalidade da capacidade de carga da bateria (100 %), sendo este o carregamento completo. O quarto foi iniciado com a bateria a 91 % do EC e terminou, por ação do utilizador, quando se atingiu os 98 % da capacidade da bateria. O quinto carregamento partiu dos 79 % e atingiu os 98 % do EC, sendo que foi interrompido pela ação do utilizador. No sexto, e último, ensaio o carregamento da bateria do veículo foi iniciado a 57 % e foi interrompido aos 98 % do EC por ação do utilizador.

Durante o decorrer dos ensaios foi monitorizado o perfil de carregamento do próprio veículo. A monitorização, realizada ao minuto, teve como principal função descrever o comportamento do EC em função do tempo. O equipamento *Fluke*, corretamente colocado no circuito de alimentação da estação, foi ligado instantes antes da inicialização do carregamento e desligado momentos depois. Para a recolha dos dados, foi selecionada uma amostragem ao segundo.

Conclusão

O presente capítulo descreve os materiais necessários e as metodologias seguidas. O VE foi o elemento fundamental na realização dos ensaios. As questões que se levantam quanto ao impacto na rede de distribuição deste tipo de veículos prendem-se com o seu elevado número em carregamento em simultâneo. No entanto, compreendendo o comportamento da energia durante o carregamento de um veículo pode constituir um primeiro caminho para se compreender o seu impacto a larga escala, por extrapolação. Por outro lado, a utilização de apenas um veículo torna todo o processo menos moroso.

A partir do conteúdo aqui apresentado será realizada uma análise dos dados recolhidos, por forma a conseguir informação sobre alterações na qualidade de energia fornecida pelo posto. Dados anteriores garantem essa qualidade, de forma que apenas se procedeu à qualificação de dados registados durante o carregamento do veículo.

Os capítulos seguintes, Capítulo 6 e 7, apresentam os resultados obtidos através dos procedimentos descritos no presente e refletem sobre eles, respetivamente. O último apresenta ainda, Secção 7.10, os pontos que merecem atenção e não foram abordados no presente trabalho.

Capítulo 6

Resultados

6.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir dos dados recolhidos. O equipamento utilizado, *Fluke 434 Série II*, permite aquisição de uma enorme quantidade de dados, incluindo, os valores de tensão em cada fase, indicando valores máximos, mínimos e médios, os valores de corrente com as mesmas opções, valores de potências ativa, reativa, fator de potência, conteúdos harmónicos e distorção harmónica e, ainda, valores para os ângulos de defasamento entre a corrente e a tensão em cada fase.

Os dados que serão apresentados no presente capítulo compreendem o EC da bateria, os diagramas de carga para a potência ativa, potência reativa e conteúdo harmónico, a evolução da tensão e os diagramas de fase para as tensões e correntes. Para todas as grandezas registaram-se dados com uma amostragem de 1 segundo. No caso das harmónicas, foram considerados os valores máximos registados para cada ordem durante o período de carregamento.

O sistema analisado é trifásico e, por isso, obtiveram-se dados para cada uma das fases. Estas, medidas individualmente, são identificadas como L1, que representa a fase 1, L2, que representa a fase 2 e, ainda, L3 que representa a fase 3. Nos dados analisados neste trabalho foi utilizada a mesma ordem de identificação de cada uma das fases tal como indicado pelo equipamento utilizado.

Para o diagrama de fases, afim de comparar o comportamento do ângulo de defasamento das correntes em relação à tensão, na respetiva fase, foram considerados dois valores para o ângulo ϕ : considerou-se o valor do ângulo no primeiro patamar da curva de $\cos(\phi)$, sendo este o valor do ângulo no início do carregamento, e o valor do penúltimo patamar, sendo este um valor muito perto do local da interrupção do carregamento. No caso das correntes, o processo foi idêntico, sendo que o valor de corrente de fase considerado foi o do primeiro e penúltimo patamares. O defasamento entre as tensões foi considerado uniforme, ou seja, o ângulo entre L1, L2 e L3 permanece o mesmo, $\frac{2\pi}{3} rad$.

Todos os ensaios foram realizados em condições atmosféricas ótimas, numa gama de temperaturas pequena [22; 29] °C sem situações de nevoeiro intenso ou chuvas e, por isso, com muito pouca humidade.

6.2 Carregamento 1

O carregamento 1 teve uma duração aproximada de 34 minutos, 9 minutos acima do indicado pelo veículo, durante o qual foram carregados 32 pontos percentuais da bateria do veículo, com temperatura ambiente exterior de 29 °C. A curva do EC em função do tempo é apresentada na

Figura 6.1. O carregamento comportou-se, praticamente, de forma linear durante o intervalo de tempo monitorizado, como se pode verificar pelo coeficiente de determinação, consultando o Anexo A. No mesmo intervalo foram consumidos 7.04 kWh.

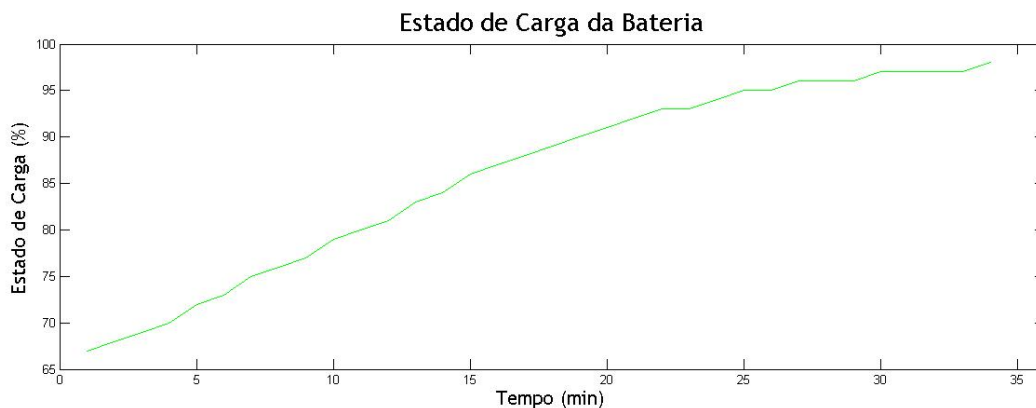


Figura 6.1: Carregamento 1: Estado de Carga da Bateria.

6.2.1 Diagrama de Carga

Na Figura 6.2 apresenta-se a evolução da potência ativa fornecida pelo posto. Nela podem ser observadas as potências nas três fases do sistema e a potência total, que resulta das anteriores. O carregamento inicia-se com uma potência total perto da potência máxima, no entanto, o veículo interrompe o carregamento, liga as ventoinhas, e cerca de meio minuto depois, volta a permitir o carregamento, daí o primeiro pico visível no gráfico. Estes episódios podem ocorrer com outros veículos e, devido a esse facto, a estação deve permitir o ressurgimento do carregamento da bateria. Quando o carregamento se estabeleceu, a potência total chegou à potência máxima da capacidade do veículo, 22 kW. A diminuição do seu valor é gradual à medida que o EC da bateria vai aumentando. Este comportamento verifica-se também na corrente e no valor do ângulo ϕ , que podem ser consultados no Anexo A. É de salientar também que potência fornecida a cada uma das fases é sensivelmente igual.

A Figura 6.3 apresenta o comportamento da potência reativa. No início do carregamento verifica-se uma oscilação bastante acentuada, em todas as fases. Este comportamento coincide com o intervalo de tempo em que o veículo iniciou o carregamento e, por sua própria ação o interrompeu. Após ter acionado as ventoinhas, o carregamento foi reestabelecido. É, neste ponto que a potência reativa no sistema desce para valores negativos. À medida que o EC aumenta, a potência reativa diminui e segue o mesmo comportamento da potência ativa. Este facto vai provocar uma diminuição do factor de potência que pode ser consultado no Anexo A. Na figura, pode verificar-se que todas as fases que alimentam o PdC se encontram a fornecer energia reativa à rede e que não existe potência reativa a ser fornecida pelo posto.

Na Figura 6.4 apresenta-se a evolução da Taxa de Distorção Harmónica (TDH) ao longo do período de carregamento. Considerando o limite imposto para a distorção harmónica total na norma NP EN 50160 de 8 %, verifica-se que, para a situação analisada, a distorção harmónica é substancialmente inferior ao limite, apresentando um valor máximo inferior a 3 %.

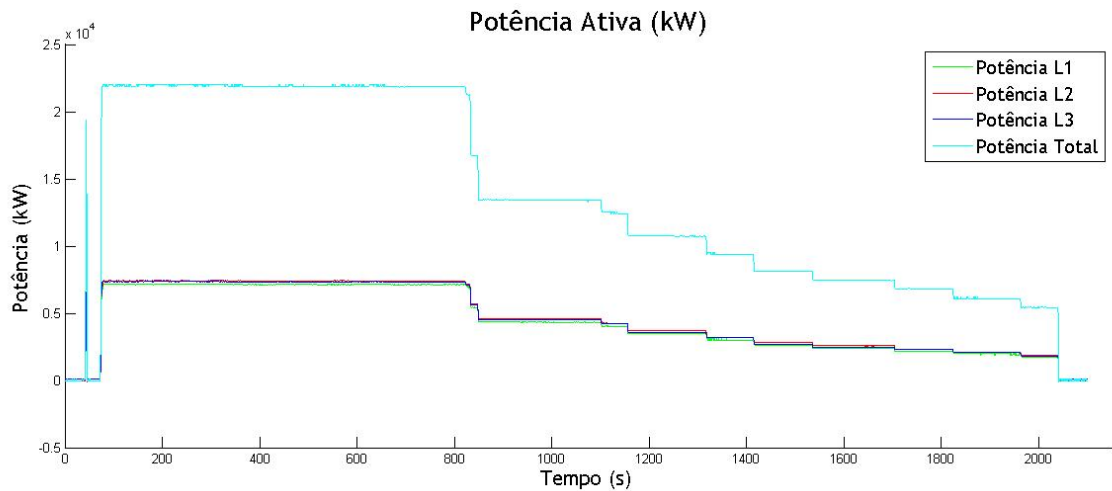


Figura 6.2: Carregamento 1: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.

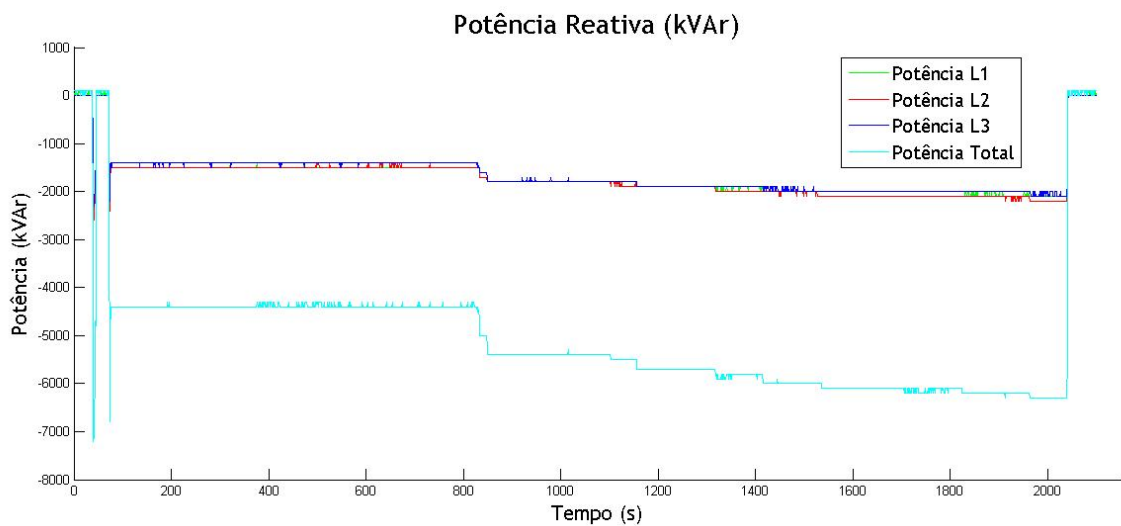


Figura 6.3: Carregamento 1: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.

A Figura 6.5 apresenta o valor das harmônicas de tensão máximas no período de tempo do carregamento do veículo. Verifica-se que apenas foram registados valores de harmônicas até à nona e que os valores mais altos pertencem à harmónica de ordem 5.

6.2.2 Evolução da Tensão

A Figura 6.6 apresenta a evolução do valor eficaz da tensão do posto de carregamento rápido, em cada uma das fases. Com o início do carregamento verifica-se uma diminuição do seu valor, que vai atenuando à medida que a potência fornecida ao veículo vai diminuindo. Segundo a norma NP EN 50160, o valor médio da tensão num período de 10 minutos deve estar compreendido numa gama de valores entre 195.5 e 253 V, relativos à Tensão Nominal (U_n), ou seja, entre $U_n - 15\%$ e $U_n + 10\%$. Como se pode constatar na figura, os valores de tensão em todos os pontos estão sempre compreendidos entre os valores normativos e, conseqüentemente, os valores médios de 10 minutos também estarão.

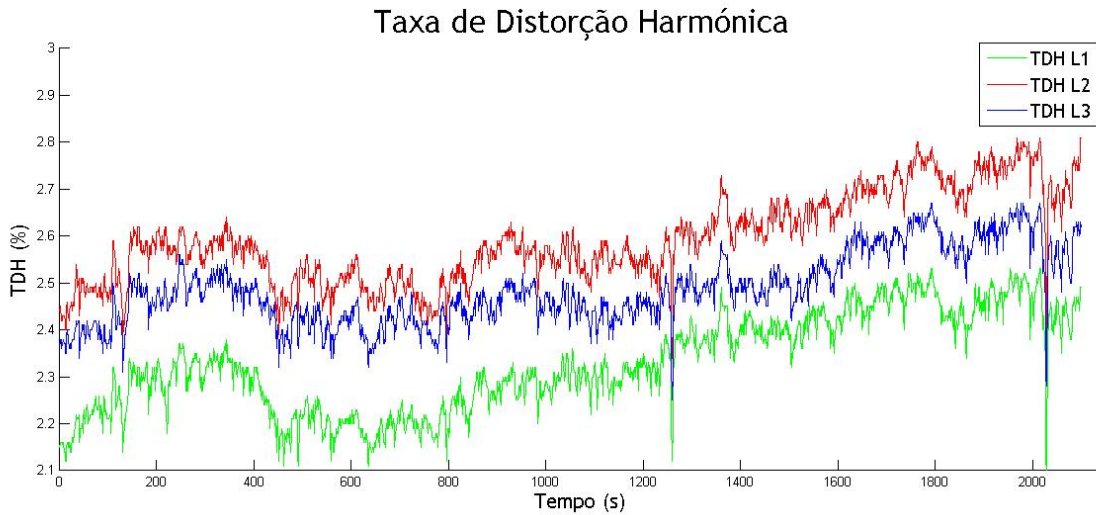


Figura 6.4: Carregamento 1: Taxa de Distorção Harmónica.

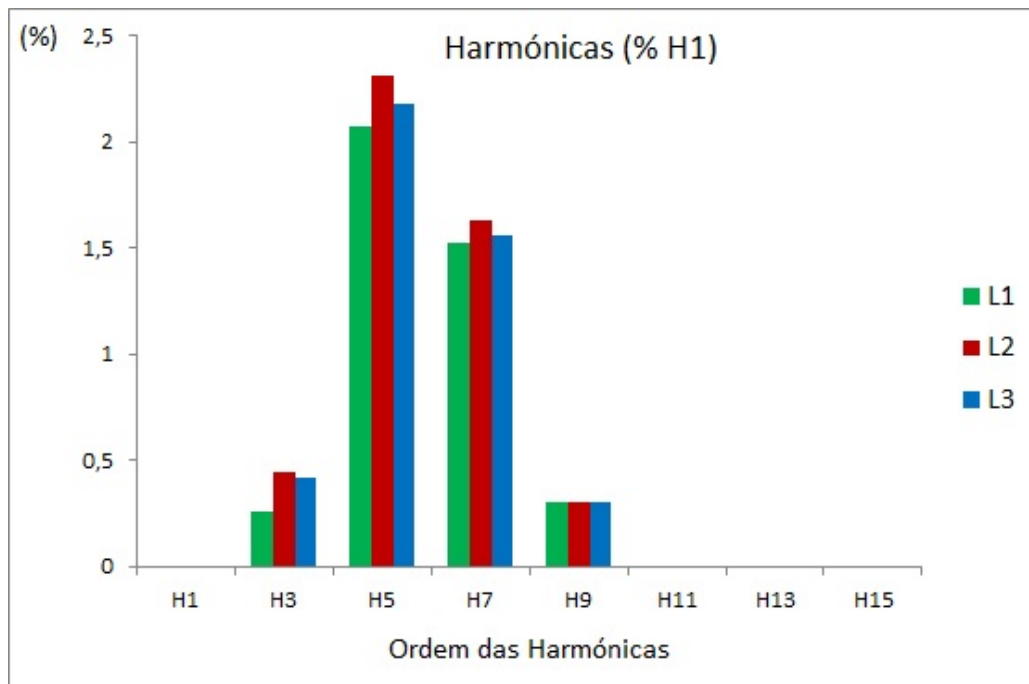


Figura 6.5: Carregamento 1: Harmónicas (% H1).

6.2.3 Equilíbrio do Sistema

A Figura 6.7 representa o diagrama das tensões de fase com as respetivas correntes desfasadas de um ângulo ϕ para cada uma delas. Como se pode verificar, durante o carregamento o desfasamento da corrente em relação à respetiva tensão de fase sofre uma ligeira alteração, uma vez que o valor do ângulo aumenta. Na figura, as cores mais claras representam as tensões, as tonalidades intermédias representam o desfasamento das correntes em relação à tensão, nas respetivas fases, e as mais escuras apresentam este cenário no final do carregamento. O valor das correntes do início foi multiplicado por um fator igual a 5 e o das correntes no final foi multiplicado por um fator igual a 10, por questões de escala de visualização.

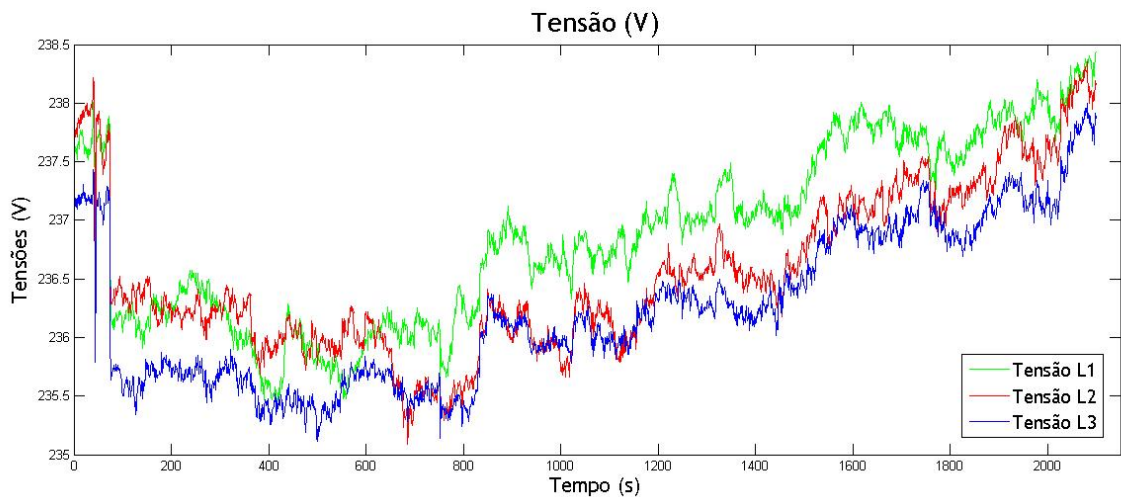


Figura 6.6: Carregamento 1: Tensão nas Fases.

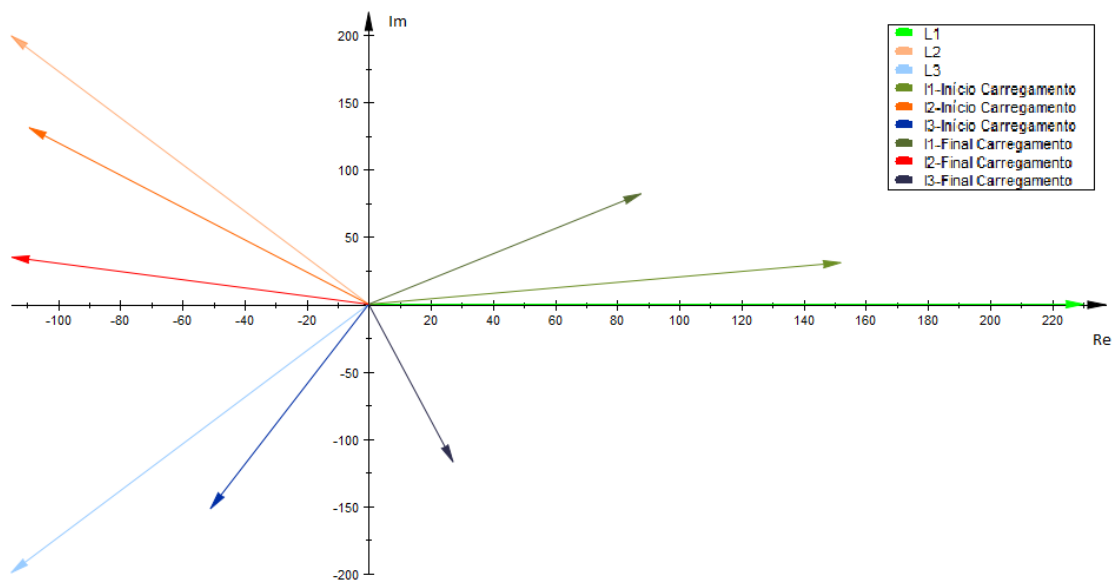


Figura 6.7: Carregamento 1: Diagrama de Fases.

6.3 Carregamento 2

O carregamento 2 teve uma duração aproximada de 43 minutos, 22 minutos abaixo do indicado, devido ao facto do carregamento ter sido interrompido pelo veículo antes do EC se encontrar completo, durante o qual foram carregados 62 pontos percentuais da bateria, com temperatura ambiente exterior de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. A curva do EC em função do tempo é apresentada na Figura 6.8. O estado de carga ao longo do tempo comportou-se, praticamente, de forma linear durante o intervalo de tempo monitorizado, como se pode verificar pelo coeficiente de determinação, consultando o Anexo A. No mesmo intervalo foram consumidos cerca de 13.5 kWh .

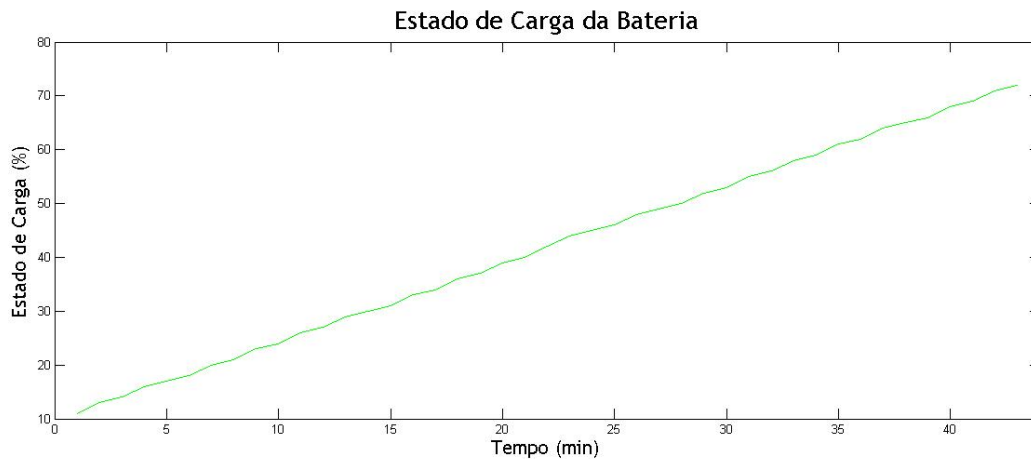


Figura 6.8: Carregamento 2: Estado de Carga da Bateria.

6.3.1 Diagrama de Carga

Na Figura 6.9 é apresentada a evolução da potência ativa fornecida pelo posto. Nela podem ser observadas as potências nas três fases do sistema e a potência total, que resulta das anteriores. O carregamento inicia-se com uma potência total junto da potência máxima, 22 kW . Não se verifica diminuição do seu valor à medida que o EC da bateria vai aumentando, pois assim que este atingiu 72 %, o carregamento foi interrompido, por ação do próprio veículo. Este comportamento verifica-se também na corrente e no valor de $\cos(\phi)$, que podem ser consultados no Anexo A. É de salientar também que a potência fornecida a cada uma das fases permanece sensivelmente igual.

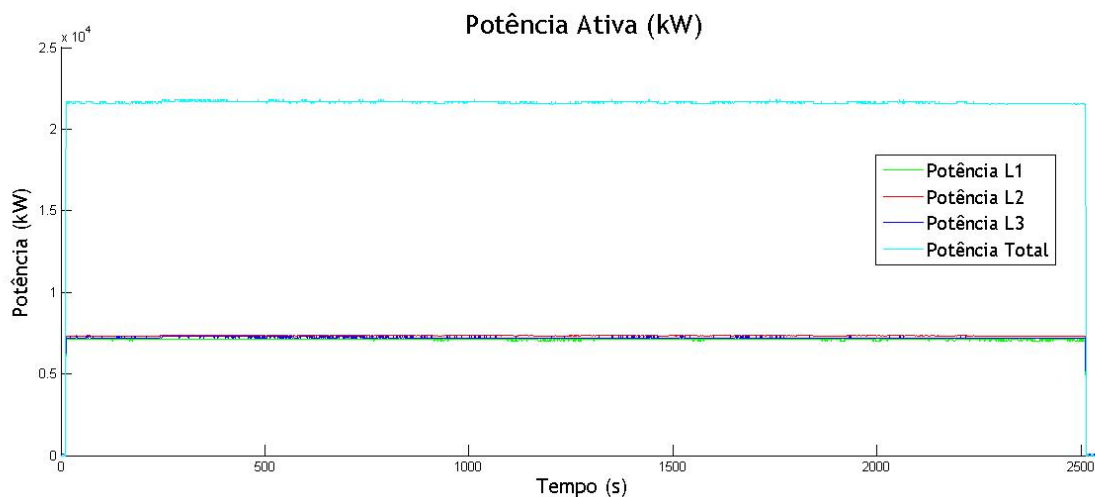


Figura 6.9: Carregamento 2: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.

A Figura 6.10 apresenta o comportamento da potência reativa. Durante todo o carregamento, verifica-se que o valor da potência reativa permanece, sensivelmente, constante. Isto deve-se ao facto de que o veículo interrompeu o carregamento mesmo antes da possibilidade de observar alguma alteração dos valores de potência. À medida que o EC aumenta, a potência reativa mantém-se constante e segue o mesmo comportamento da potência ativa. Este facto vai provocar uma manutenção do factor de potência que pode ser consultado no Anexo A. Na figura,

pode verificar-se que, durante o ensaio, todas as fases que alimentam o PdC se encontram a fornecer energia reativa à rede e que não existe potência reativa a ser fornecida pelo posto.

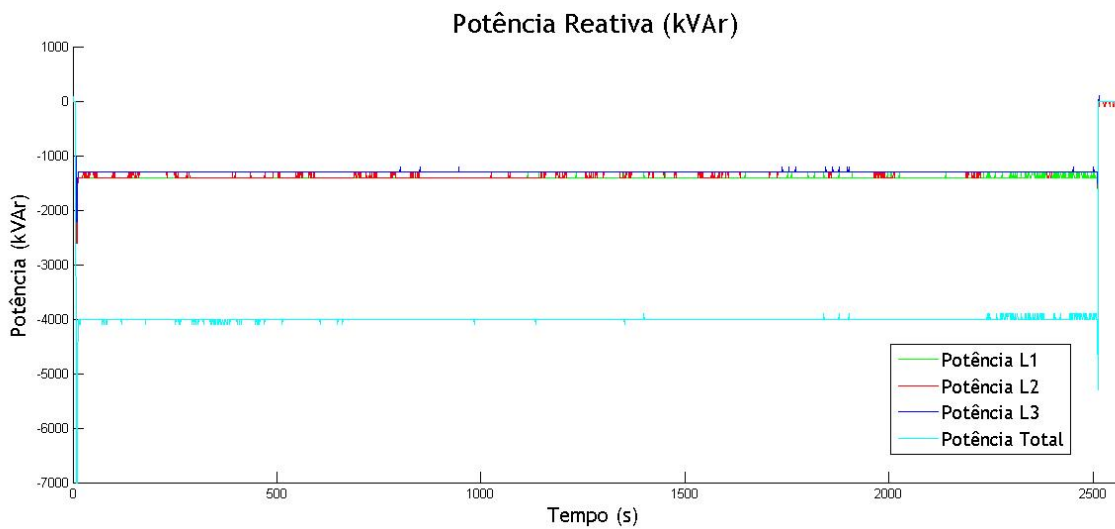


Figura 6.10: Carregamento 2: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.

Na Figura 6.11 apresenta-se a evolução da TDH ao longo do período de carregamento. Considerando o limite imposto para a distorção harmónica total na norma NP EN 50160 de 8 %, verifica-se que, para a situação analisada, a distorção harmónica é substancialmente inferior ao limite, apresentando um valor máximo inferior a 2.2 %.

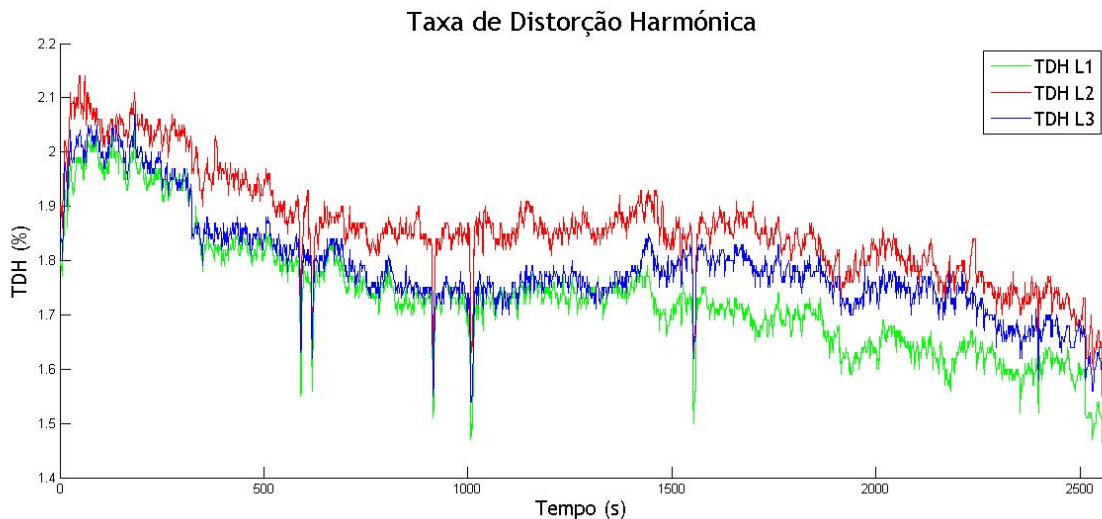


Figura 6.11: Carregamento 2: Taxa de Distorção Harmónica.

A Figura 6.12 apresenta o valor das harmónicas de tensão máximas no período de tempo do carregamento do veículo. Verifica-se que apenas foram registados valores de harmónicas até à nona e que os valores mais altos pertencem à harmónica de ordem 7.

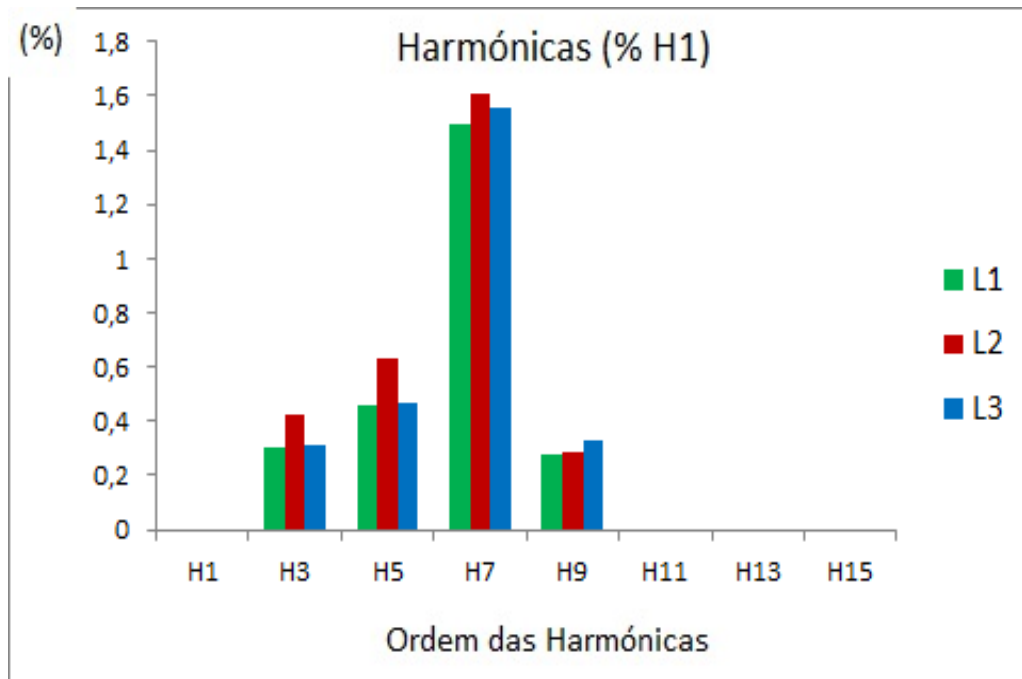


Figura 6.12: Carregamento 2: Harmónicas (% H1).

6.3.2 Evolução da Tensão

A Figura 6.13 apresenta a evolução do valor eficaz da tensão do posto de carregamento rápido, em cada uma das fases. Com o início do carregamento verifica-se uma diminuição do seu valor, que vai atenuando à medida que a potência fornecida ao veículo vai diminuindo. A partir da segunda subida nos valores de tensão, esta permanece, relativamente, constante, não se verificando o aumento gradual que acontecera no carregamento anterior. Segundo a norma NP EN 50160, o valor média da tensão num período de 10 minutos deve estar compreendido numa gama de valores entre 195.5 e 253 V. Como se pode constatar da ainda na mesma figura, os valores de tensão em todos os pontos está sempre compreendido entre os valores normativos e, consequentemente, os valores médios de 10 minutos também estarão.

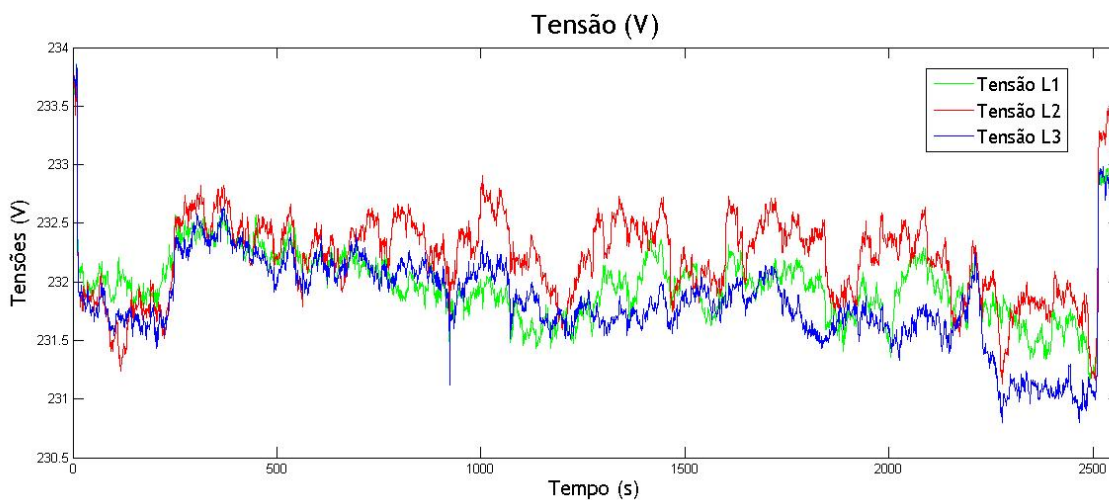


Figura 6.13: Carregamento 2: Tensão nas Fases.

6.3.3 Equilíbrio do Sistema

A Figura 6.14 representa o diagrama das tensões de fase com as respetivas correntes desfasadas de um ângulo ϕ para cada fase. Como se pode verificar, durante o carregamento o desfasamento da corrente em relação à respetiva tensão de fase não sofre alteração, uma vez que o valor do ângulo não aumenta, mas as tensões de fase não alteram a sua posição. Como o carregamento foi interrompido antes do primeiro decréscimo do valor da potência e corrente, o valor do ângulo também não se alterou e, por isso, entre o início e o final do carregamento, o desfasamento entre a corrente e a tensão permanece igual a zero. Na figura, as cores mais claras representam as tensões, as tonalidades intermédias representam o desfasamento das correntes em relação à tensão, nas respetivas fases, no início e fim do carregamento. O valor das correntes do início e do final foi multiplicado por um fator igual a 5, por questões de escala de visualização.

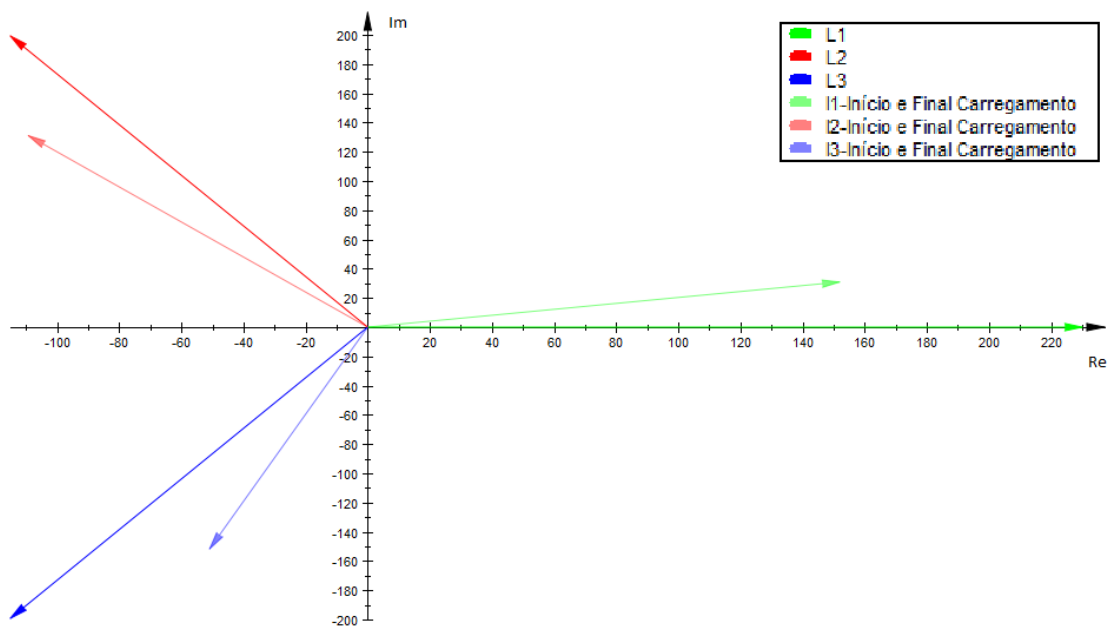


Figura 6.14: Carregamento 2: Diagrama de Fases

6.4 Carregamento 3

O carregamento 3 teve uma duração aproximada de 71 minutos, 41 minutos acima do indicado pelo veículo, devido ao facto do carregamento ter sido protagonizado até ao EC completo, durante o qual foram carregados 71 pontos percentuais da bateria, com temperatura ambiente exterior de 25°C . A curva do EC em função do tempo é apresentada na Figura 6.15. O EC ao longo do tempo não se comportou de forma tão linear durante o intervalo de tempo monitorizado como nos carregamentos anteriores, como se pode verificar pelo coeficiente de determinação, consultando o Anexo A. É de salientar a redução de velocidade de carregamento à medida que a bateria aumenta a sua percentagem de EC, principalmente a partir dos 98%. No mesmo intervalo foram consumidos cerca de 15.5 kWh .

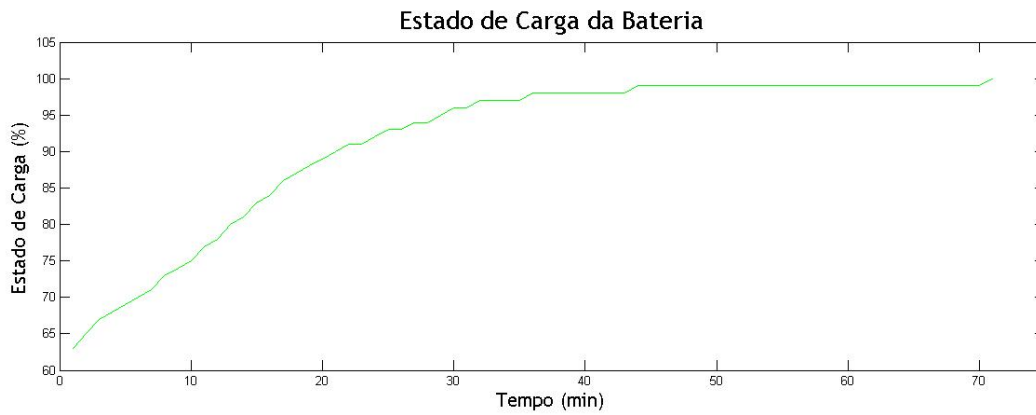


Figura 6.15: Carregamento 3: Estado de Carga da Bateria.

6.4.1 Diagrama de Carga

Na Figura 6.16 é apresentada a evolução da potência ativa fornecida pelo posto. Nela podem ser observadas as potências nas três fases do sistema e a potência total, que resulta das anteriores. O carregamento inicia-se com uma potência total junto da potência máxima, 22 kW. Verifica diminuição do seu valor à medida que o EC da bateria vai aumentando até ao momento da interrupção do carregamento. Este comportamento verifica-se também na corrente ou no valor de $\cos(\phi)$, que podem ser consultados no Anexo A. É de salientar também que potência fornecida por cada uma das fases permanece sensivelmente igual.

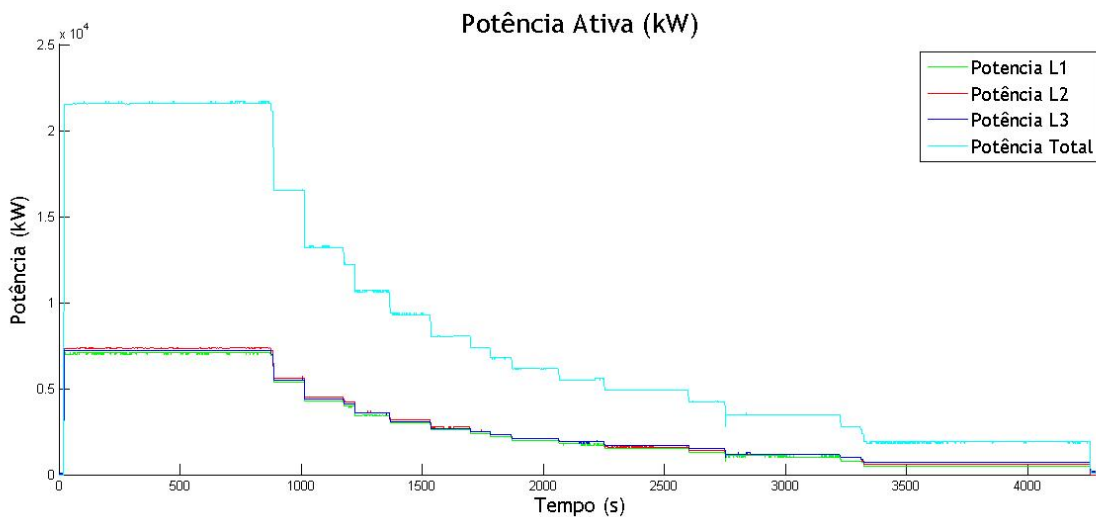


Figura 6.16: Carregamento 3: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.

A Figura 6.17 apresenta o comportamento da potência reativa, o qual se asseja ao comportamento desta grandeza no Carregamento 1, embora com não tão significativas oscilações dos valores iniciais. No início do carregamento verifica-se a pequena oscilação em todas as fases. À medida que o EC aumenta, a potência reativa diminui e segue o mesmo comportamento da potência ativa. Este facto vai provocar uma diminuição do fator de potência que pode ser consultado no Anexo A. Na figura, pode verificar-se que todas as fases que alimentam o PdC se encontram a fornecer energia reativa à rede e que não existe potência reativa a ser fornecida

pelo posto.

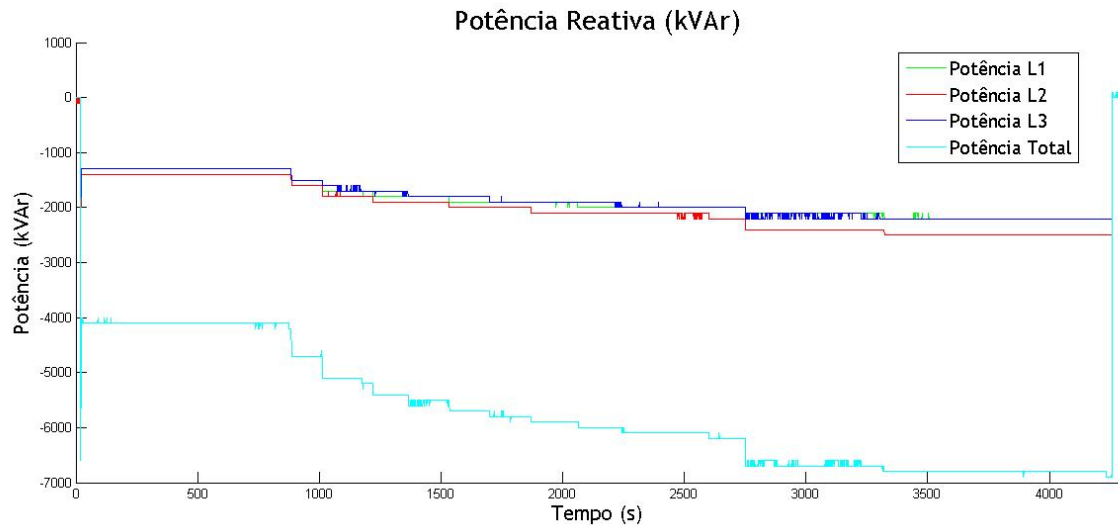


Figura 6.17: Carregamento 3: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.

Na Figura 6.18 apresenta-se a evolução da TDH ao longo do período de carregamento. Considerando o limite imposto para a distorção harmônica total na norma NP EN 50160 de 8 %, verifica-se que, para a situação analisada, a distorção harmônica é substancialmente inferior ao limite, apresentando um valor máximo inferior a 2.2 %. Apresenta apenas um pico de cerca de 2.8 %, que se verifica em todas as fases, mas que ocorre isoladamente.

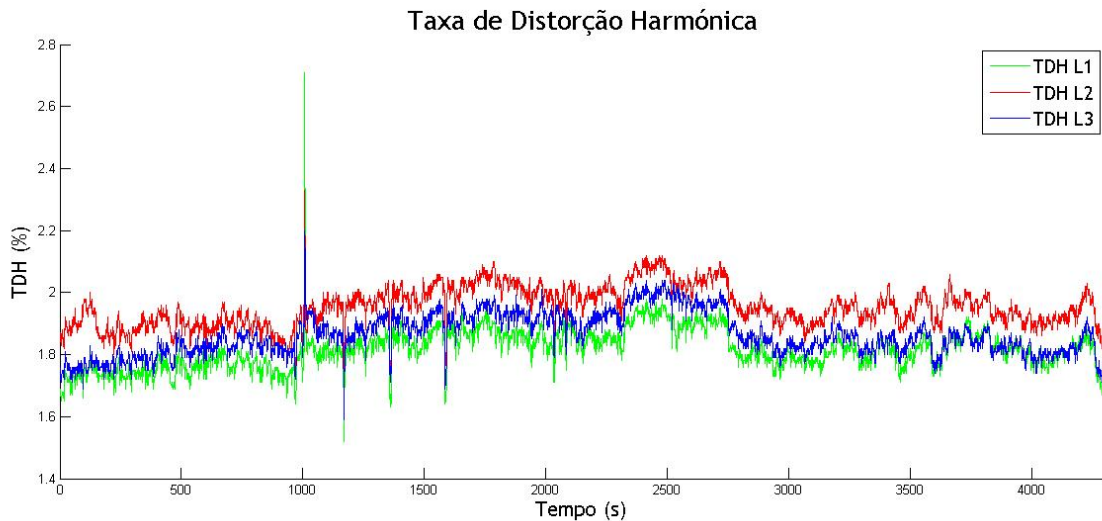


Figura 6.18: Carregamento 3: Taxa de Distorção Harmônica.

A Figura 6.19 apresenta o valor das harmônicas de tensão máximas no período de tempo do carregamento do veículo. Verifica-se que apenas foram registados valores de harmônicas até à nona e que os valores mais altos pertencem à harmônica de ordem 7.

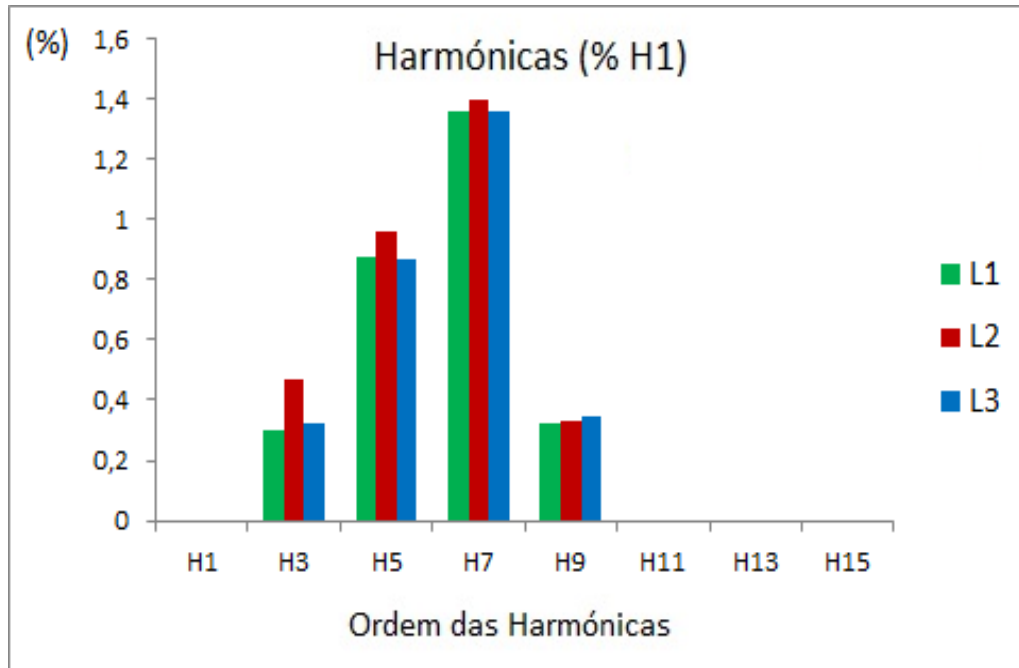


Figura 6.19: Carregamento 3: Harmónicas (% H1).

6.4.2 Evolução da Tensão

A Figura 6.20 representa a evolução do valor eficaz da tensão no ponto de carregamento do protótipo de estação de carregamento rápido, em cada uma das fases. Com o início do carregamento verifica-se uma diminuição do seu valor, que vai atenuando à medida que a potência fornecida ao veículo vai diminuindo. Durante o ensaio e 16 minutos e meio (cerca de 1000 s) passados desde o início do carregamento observa-se uma descida abrupta do valor da tensão. Este comportamento registou-se nas três fases, mas verifica-se que é pontual. Segundo a norma NP EN 50160, o valor média da tensão num período de 10 minutos deve estar compreendido numa gama de valores entre 195.5 e 253 V. Como se pode constatar ainda na figura, os valores de tensão em todos os pontos estão sempre compreendidos entre os valores normativos e, conseqüentemente, os valores médios de 10 minutos também estarão.

6.4.3 Equilíbrio do Sistema

A Figura 6.21 representa o diagrama das tensões de fase com as respectivas correntes desfasadas de um ângulo ϕ para cada fase. Como se pode verificar, durante o carregamento o desfaseamento da corrente em relação à respetiva tensão de fase sofre uma ligeira alteração, uma vez que o valor do ângulo aumenta. Na figura, as cores mais claras representam as tensões, as tonalidades intermédias representam o desfaseamento das correntes em relação à tensão no início, nas respetivas fases, e as mais escuras apresentam este cenário no final do carregamento. O valor das correntes do início foi multiplicado por um fator igual a 5 e o das correntes no final foi multiplicado por um fator igual a 10, por questões de escala de visualização.

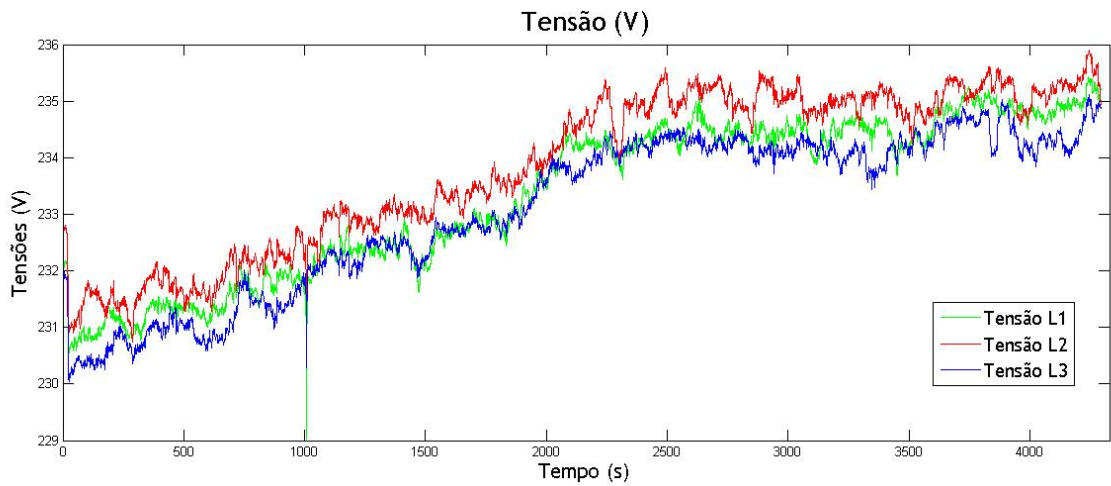


Figura 6.20: Carregamento 3: Tensão nas Fases.

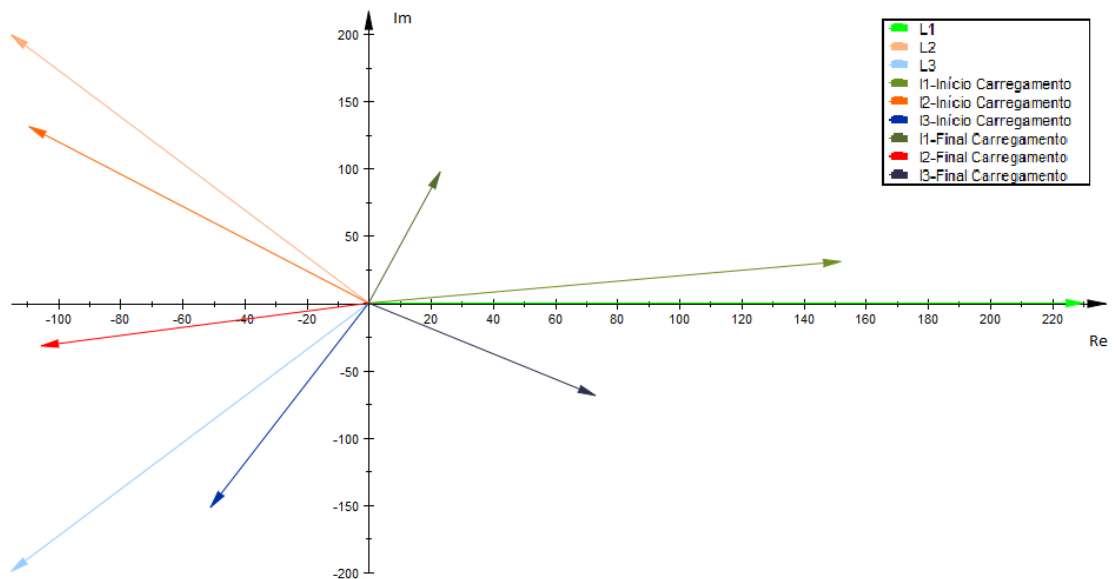


Figura 6.21: Carregamento 3: Diagrama de Fases.

6.5 Carregamento 4

O carregamento 4 teve uma duração aproximada de 9 minutos, 1 minuto abaixo do indicado pelo veículo, devido ao facto do carregamento ter sido protagonizado até ao EC de 98 %, durante o qual foram carregados 9 pontos percentuais da bateria, com temperatura ambiente exterior de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. A curva do EC em função do tempo é apresentada na Figura 6.22. O EC ao longo do tempo não se comportou de forma tão linear durante o intervalo de tempo monitorizado como nos carregamentos anterior, como se pode verificar pelo coeficiente de determinação, consultando o Anexo A. No mesmo intervalo foram consumidos cerca de 2 kWh .

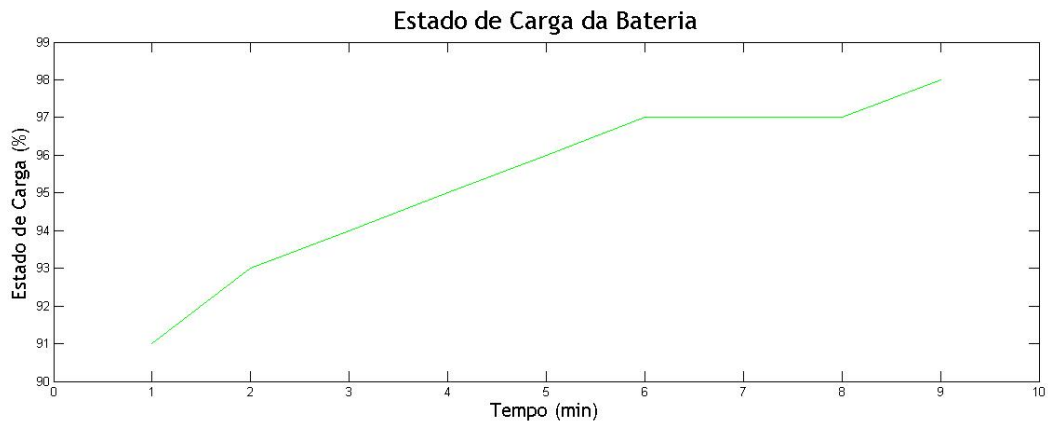


Figura 6.22: Carregamento 4: Estado de Carga da Bateria.

6.5.1 Diagrama de Carga

Na Figura 6.23 é apresentada a evolução da potência ativa fornecida pelo posto. Nela podem ser observadas as potências nas três fases do sistema e a potência total, que resulta das anteriores. O carregamento inicia-se com uma potência total junto dos 15 kW. No primeiro minuto de carregamento verifica-se uma ligeira oscilação, que aliás, também está presente em cada uma das fases, o que torna o comportamento uniforme em todas elas. Este comportamento verifica-se na corrente e no valor de $\cos(\phi)$, que podem ser consultados no Anexo A. É de salientar também que potência fornecida por cada uma das fases permanece sensivelmente igual.

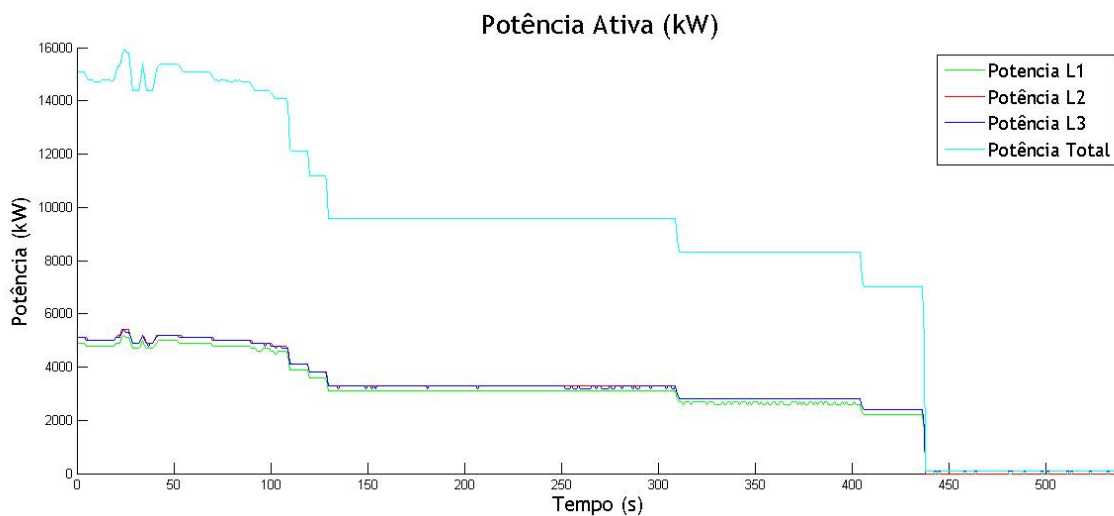


Figura 6.23: Carregamento 4: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.

A Figura 6.24 apresenta o comportamento da potência reativas. No início do carregamento verifica-se a pequena oscilação na Fase 3. No entanto, as outras fases não apresentam ou é uma oscilação muito pouco significativa. À medida que o EC aumenta, a potência reativa diminui e segue o mesmo comportamento da potência ativa. No final do carregamento, verifica-se uma subida abrupta dos valores de potência reativa em todas as fases, indo de -1.6 kVArh para 0. Isto deve-se ao facto de o carregamento ser tido completo, ou seja, o EC atingiu os 100%. Este facto vai provocar uma diminuição do factor de potência que pode ser consultado no Anexo A. Na figura, pode verificar-se que todas as fases que alimentam o PdC se encontram

a fornecer energia reativa à rede e que não existe potência reativa a ser fornecida pelo posto.

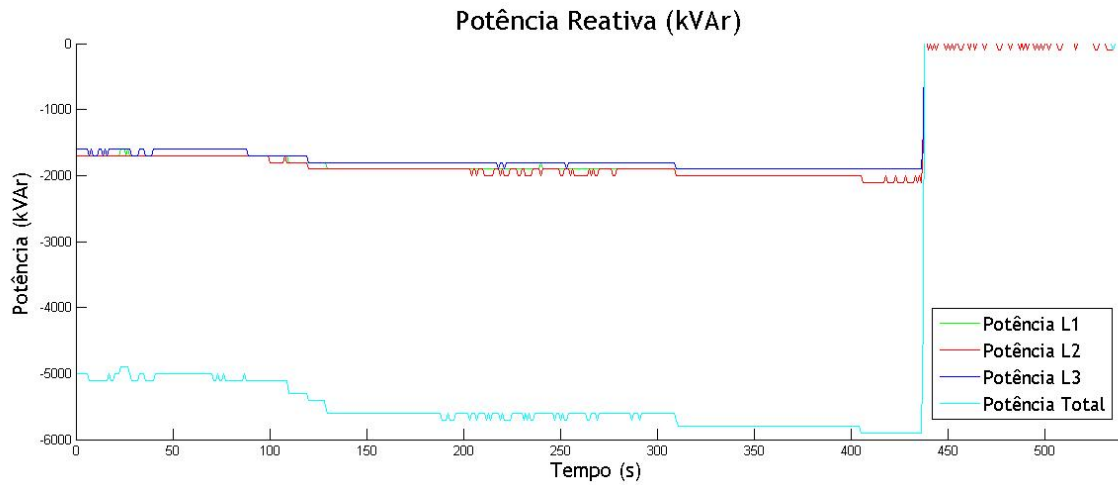


Figura 6.24: Carregamento 4: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.

Na Figura 6.25 apresenta-se a evolução da TDH ao longo do período de carregamento. Considerando o limite imposto para a distorção harmónica total na norma NP EN 50160 de 8 %, verifica-se que, para a situação analisada, a distorção harmónica é substancialmente inferior ao limite, apresentando um valor máximo inferior a 2 %.

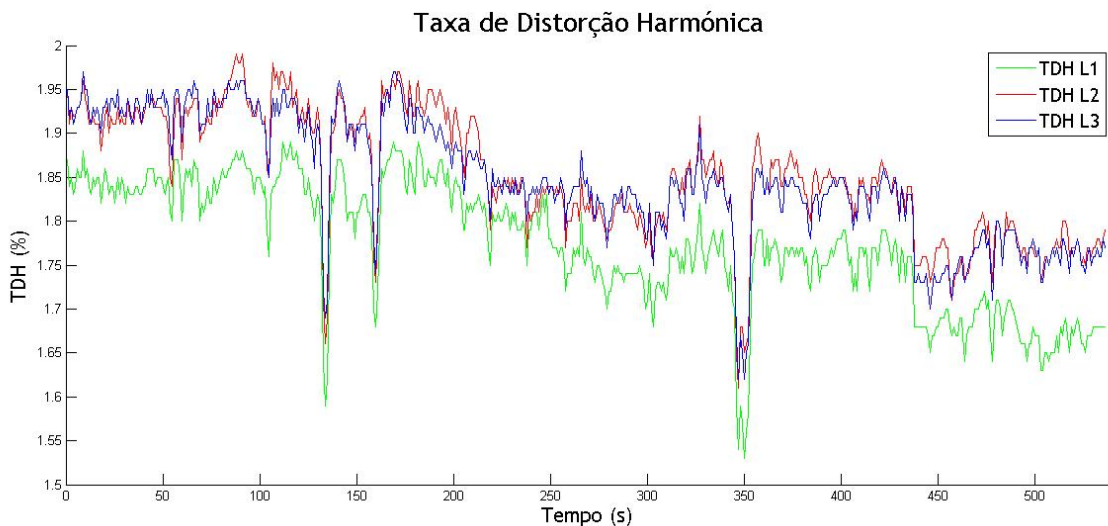


Figura 6.25: Carregamento 4: Taxa de Distorção Harmónica.

A Figura 6.26 apresenta o valor das harmónicas de tensão máximas no período de tempo do carregamento do veículo. Verifica-se que apenas foram registados valores de harmónicas até à nona e que os valores mais altos pertencem à harmónica de ordem 7.

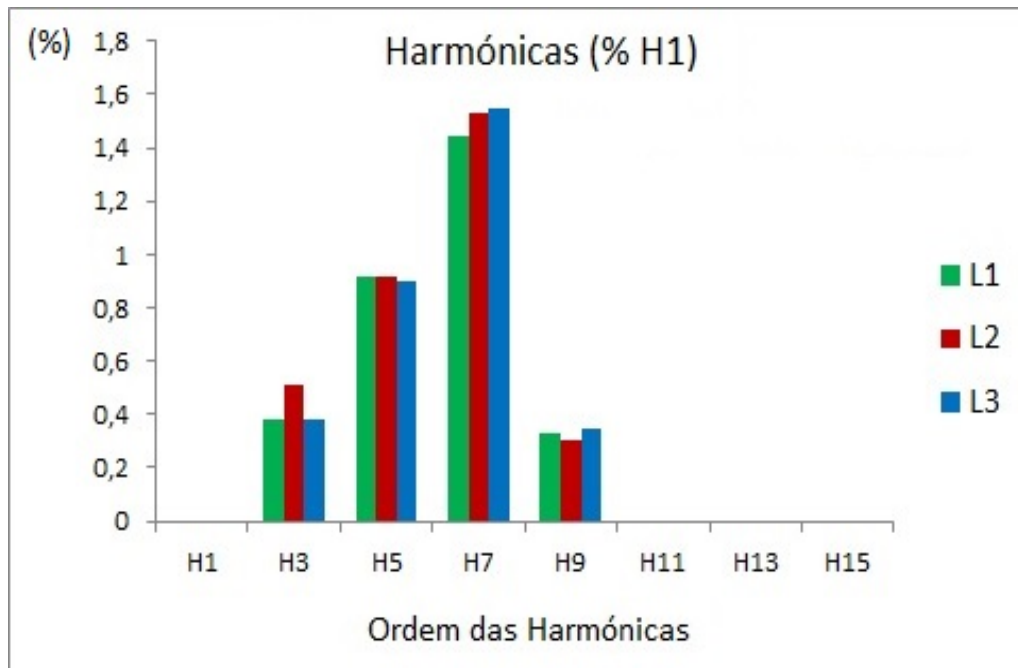


Figura 6.26: Carregamento 4: Harmónicas (% H1).

6.5.2 Evolução da Tensão

A Figura 6.27 representa a evolução do valor eficaz da tensão no ponto de carregamento do protótipo de estação de carregamento rápido, em cada uma das fases. Não se verifica qualquer descida do valor da tensão nas fases no início do carregamento, mas o seu aumento ao longo do tempo é visível. Este comportamento registou-se nas três fases. Segundo a norma NP EN 50160, o valor média da tensão num período de 10 minutos deve estar compreendido numa gama de valores entre 195.5 e 253 V. Como se pode constatar ainda na figura, os valores de tensão em todos os pontos estão sempre compreendidos entre os valores normativos e, conseqüentemente, os valores médios de 10 minutos também estarão.

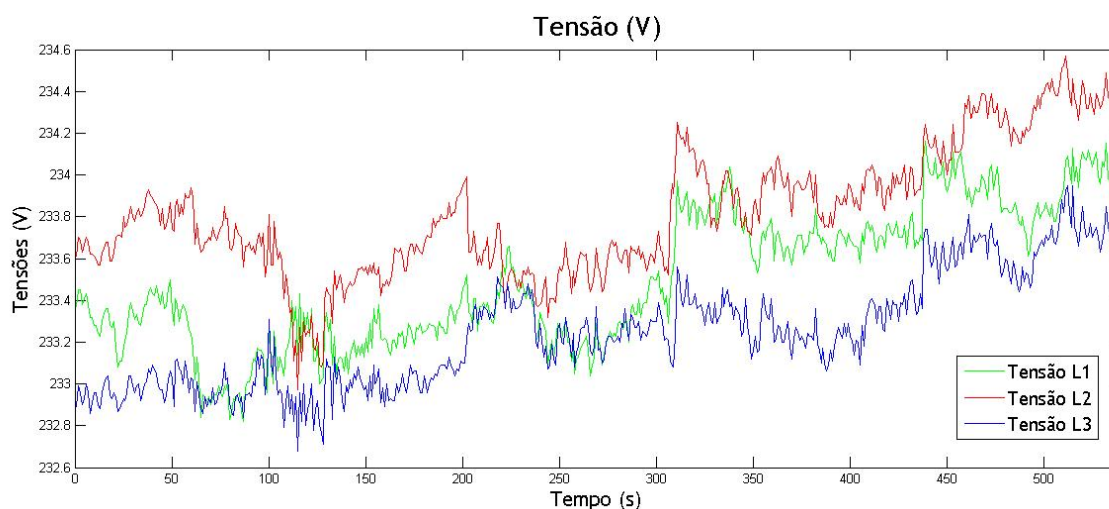


Figura 6.27: Carregamento 4: Tensão nas Fases.

6.5.3 Equilíbrio do Sistema

A Figura 6.28 representa o diagrama das tensões de fase com as respectivas correntes desfasadas de um ângulo ϕ para cada fase. Como se pode verificar, durante o carregamento o desfasamento da corrente em relação à respetiva tensão de fase sofre uma ligeira alteração, uma vez que o valor do ângulo aumenta, mas as tensões de fase não perdem a sua posição. Na figura, as cores mais claras representam as tensões, as tonalidades intermédias representam o desfasamento das correntes em relação à tensão, nas respetivas fases, e as mais escuras apresentam este cenário no final do carregamento. O valor das correntes do início foi multiplicado por um fator igual a 5 e o das correntes no final foi multiplicado por um fator igual a 10, por questões de escala de visualização.

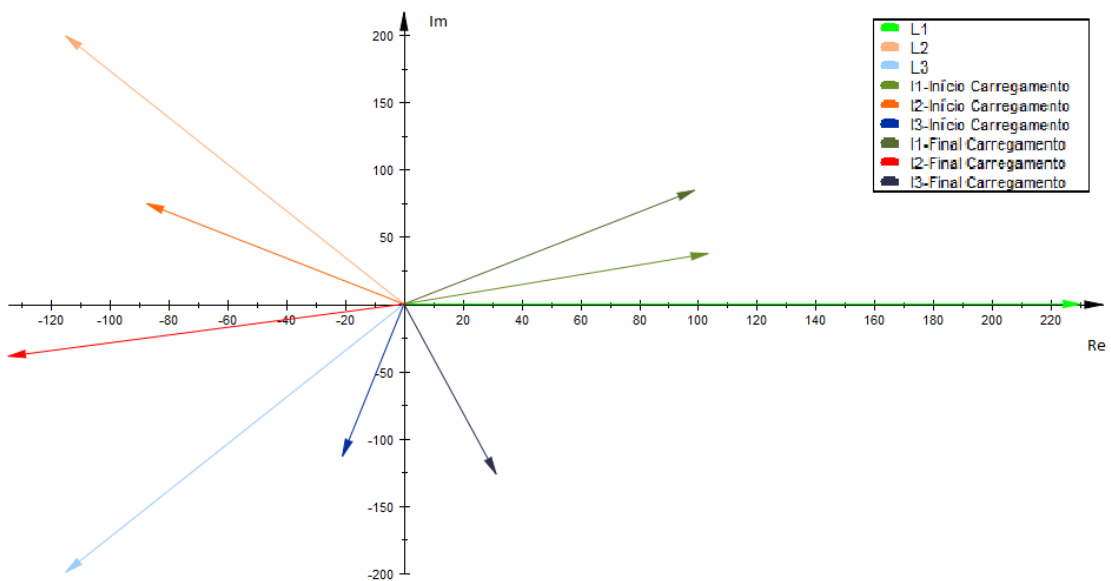


Figura 6.28: Carregamento 4: Diagrama de Fases.

6.6 Carregamento 5

O carregamento 5 teve uma duração aproximada de 19 minutos, 1 minuto abaixo do indicado pelo veículo, devido ao facto do carregamento ter sido protagonizado até ao EC de 98 %, durante o qual foram carregados 19 pontos percentuais da bateria, com temperatura ambiente exterior de 27 °C. A curva do EC em função do tempo é apresentada na Figura 6.29. O EC ao longo do tempo comportou-se de forma linear durante o intervalo de tempo monitorizado como nos carregamentos anteriores, como se pode verificar pelo coeficiente de determinação, consultando o Anexo A. No mesmo intervalo foram consumidos cerca de 4 kWh.

6.6.1 Diagrama de Carga

Na Figura 6.30 é apresentada a evolução da potência ativa fornecida pelo posto. Nela podem ser observadas as potências nas três fases do sistema e a potência total, que resulta das anteriores. O carregamento inicia-se com uma potência total junto da capacidade máxima da bateria do

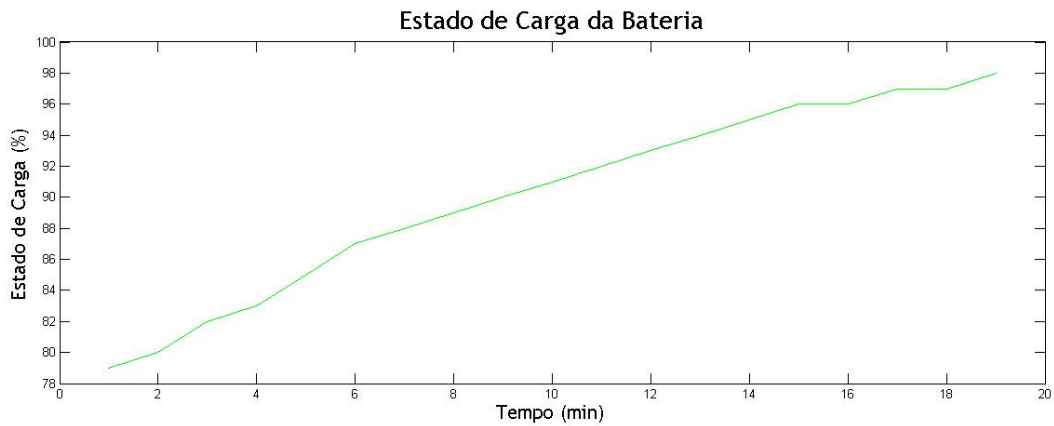


Figura 6.29: Carregamento 5: Estado de Carga da Bateria.

veículo, 22 kW. O comportamento deste ensaio mostra-se muito semelhante ao primeiro. O mesmo comportamento verifica-se na corrente e no valor de $\cos(\phi)$, que podem ser consultados no Anexo A. É de salientar também que potência fornecida por cada uma das fases permanece sensivelmente igual.

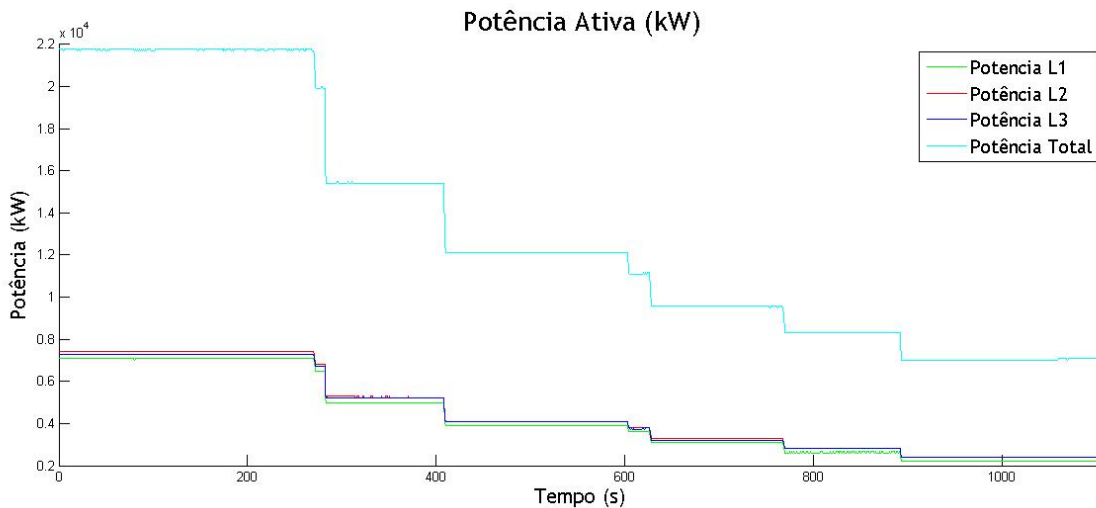


Figura 6.30: Carregamento 5: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.

A Figura 6.31 apresenta o comportamento da potência reativa. Perto do meio do carregamento verifica-se uma oscilação em todas as fases, que dura cerca de 2 minutos e meio. No balanço das 3 fases, potência reativa total, essa oscilação não se verifica tão acentuada. À medida que o EC aumenta, a potência reativa diminui e segue o mesmo comportamento da potência ativa. Este facto vai provocar uma diminuição do fator de potência que pode ser consultado no Anexo A. Na figura, pode verificar-se que todas as fases que alimentam o PdC se encontram a fornecer energia reativa à rede e que não existe potência reativa a ser fornecida pelo posto.

Na Figura 6.32 apresenta-se a evolução da TDH ao longo do período de carregamento. Considerando o limite imposto para a distorção harmónica total na norma NP EN 50160 de 8 %, verifica-se que, para a situação analisada, a distorção harmónica é substancialmente inferior

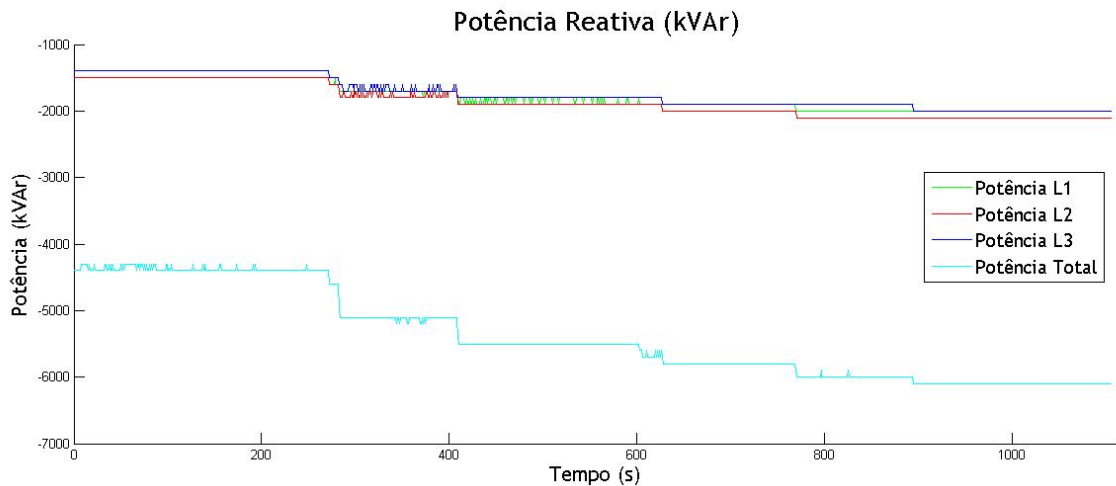


Figura 6.31: Carregamento 5: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.

ao limite, apresentando um valor máximo inferior a 2.6 %.

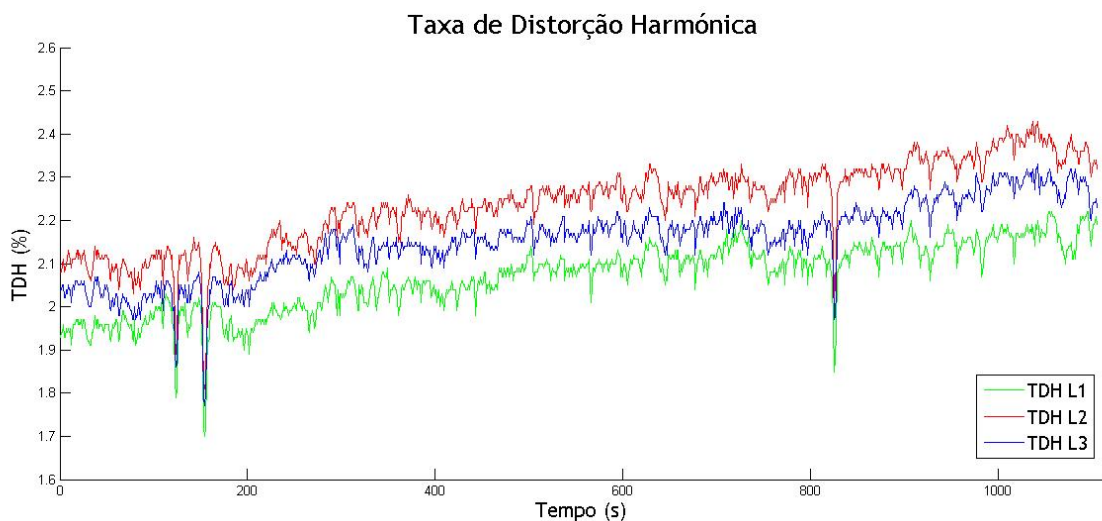


Figura 6.32: Carregamento 5: Taxa de Distorção Harmônica.

A Figura 6.33 apresenta o valor das harmônicas de tensão máximas no período de tempo do carregamento do veículo. Verifica-se que apenas foram registados valores de harmônicas até à nona e que os valores mais altos pertencem à harmónica de ordem 7.

6.6.2 Evolução da Tensão

A Figura 6.34 representa a evolução do valor eficaz da tensão no ponto de carregamento do protótipo de estação de carregamento rápido. Com o início do carregamento verifica-se uma diminuição do seu valor, que vai atenuando à medida que a potência fornecida ao veículo vai diminuindo. Durante o ensaio e 4 minutos (cerca de 240 s) passados desde o início do carregamento verifica-se uma descida um pouco acentuada do valor da tensão. Este comportamento

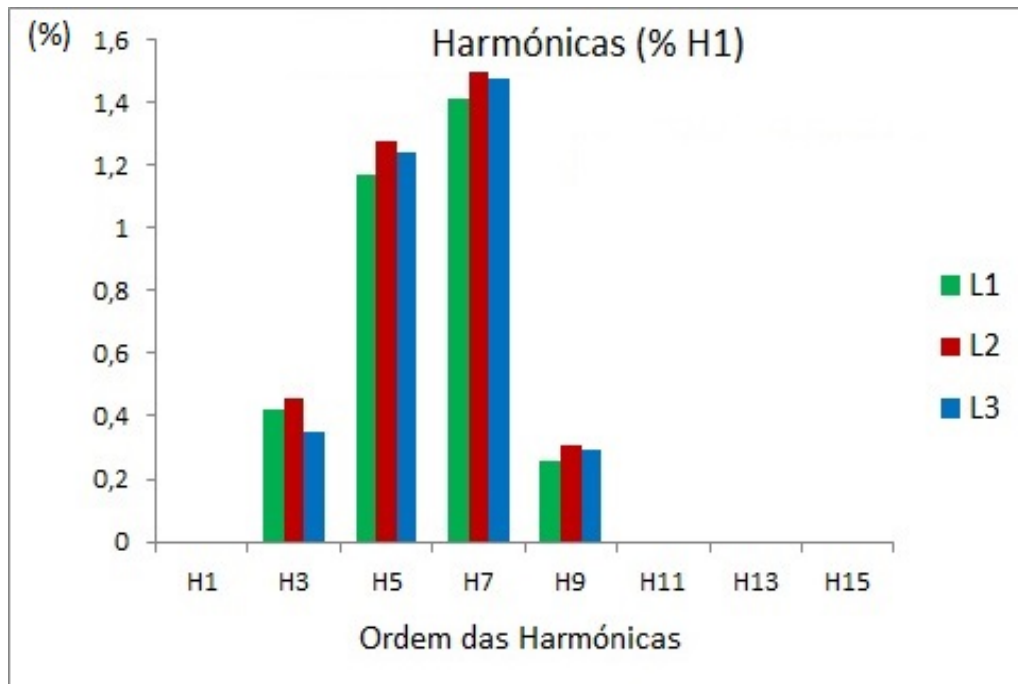


Figura 6.33: Carregamento 5: Harmónicas (% H1).

registou-se nas três fases e verifica-se que que permanece durante cerca de 40 s. Após este episódio, os valores de tensão em cada uma das fases atenuam essa descida e, à medida que o EC da bateria aumenta, os valores de tensão aumentam também. Segundo a norma NP EN 50160, o valor média da tensão num período de 10 minutos deve estar compreendido numa gama de valores entre 195.5 e 253 V. Como se pode constatar ainda na figura, os valores de tensão em todos os pontos estão sempre compreendidos entre os valores normativos e, conseqüentemente, os valores médios de 10 minutos também estarão.

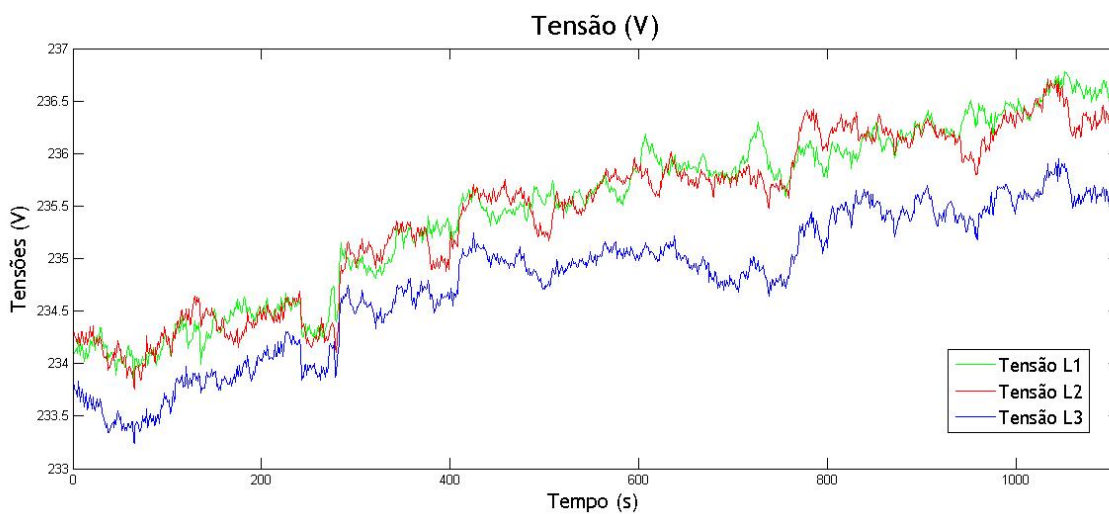


Figura 6.34: Carregamento 5: Tensão nas Fases.

6.6.3 Equilíbrio do Sistema

A Figura 6.35 representa o diagrama das tensões de fase com as respectivas correntes desfasadas de um ângulo ϕ para cada fase. Como se pode verificar, durante o carregamento o desfasamento da corrente em relação à respetiva tensão de fase sofre uma ligeira alteração, uma vez que o valor do ângulo aumenta, mas as tensões de fase não perdem a sua posição. Na figura, as cores mais claras representam as tensões, as tonalidades intermédias representam o desfasamento das correntes em relação à tensão, nas respetivas fases, e as mais escuras apresentam este cenário no final do carregamento. O valor das correntes do início foi multiplicado por um fator igual a 5 e o das correntes no final foi multiplicado por um fator igual a 10, por questões de escala de visualização.

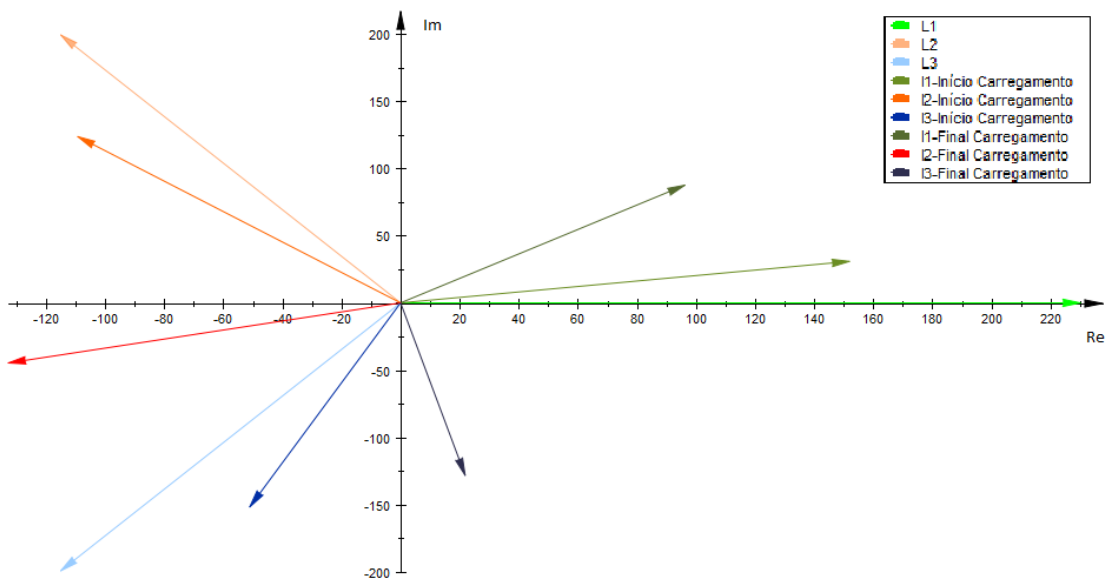


Figura 6.35: Carregamento 5: Diagrama de Fases.

6.7 Carregamento 6

O carregamento 6 teve uma duração aproximada de 38 minutos, 2 minutos abaixo do indicado pelo veículo, devido ao facto do carregamento ter sido ter decorrido até ao EC de 98 %, durante o qual foram carregados 38 pontos percentuais da bateria, com temperatura ambiente exterior de 22 °C. A curva do EC em função do tempo é apresentada na Figura 6.36. O EC ao longo do tempo comportou-se de forma linear durante o intervalo de tempo monitorizado, como se pode verificar pelo coeficiente de determinação, consultando o Anexo A. No mesmo intervalo foram consumidos cerca de 8.3 kWh.

6.7.1 Diagrama de Carga

Na Figura 6.37 é apresentada a evolução da potência ativa fornecida ao posto. Nela podem ser observadas as potências nas três fases do sistema e a potência total, que resulta das anteriores. O carregamento inicia-se com uma potência total junto da capacidade máxima da bateria do

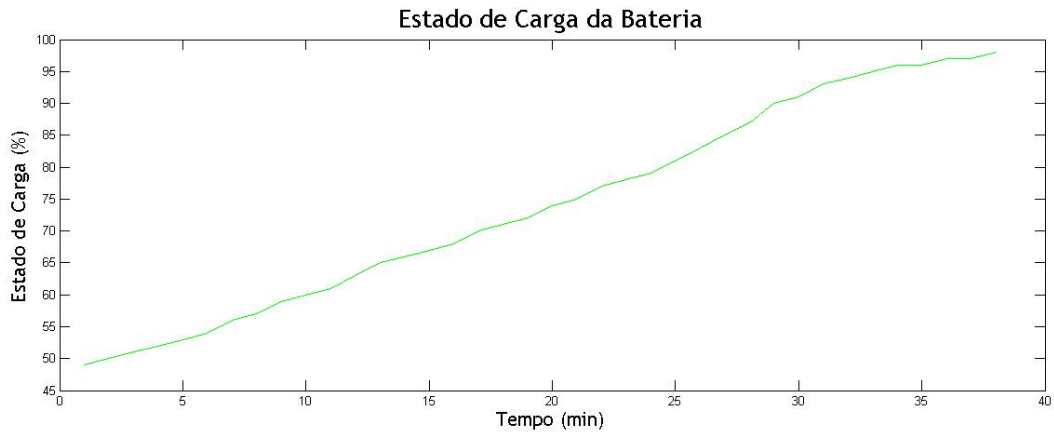


Figura 6.36: Carregamento 6: Estado de Carga da Bateria.

veículo, 22 kW. O comportamento deste ensaio mostra-se muito semelhante ao primeiro. O mesmo comportamento verifica-se na corrente e no valor do ângulo de ϕ , que podem ser consultados no Anexo A. É de salientar também que potência fornecida por cada uma das fases permanece sensivelmente igual.

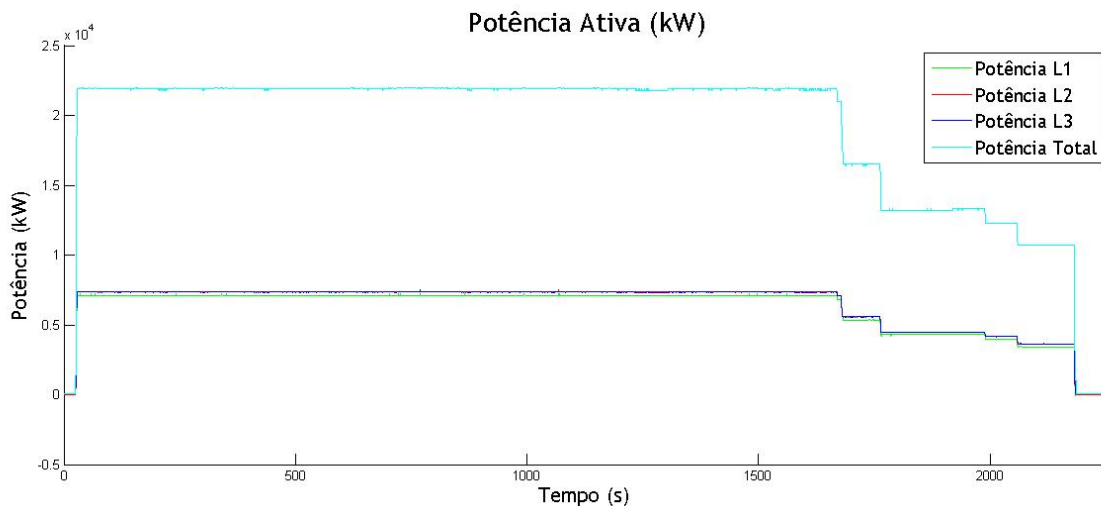


Figura 6.37: Carregamento 6: Potência Ativa nas Fases e Potência Ativa Total.

A Figura 6.38 apresenta o comportamento da potência reativa. Durante a maior parte do carregamento, verifica-se que o valor da potência reativa permanece, sensivelmente, constante. No final os valores sobem para zero. À medida que o EC aumenta, a potência reativa mantém-se constante e segue o mesmo comportamento da potência ativa, exceto para os momentos finais do carregamento. Este facto vai provocar uma manutenção do fator de potência que pode ser consultado no Anexo A. Na figura, pode verificar-se que, durante o ensaio, todas as fases que alimentam o PdC se encontram a fornecer energia reativa à rede e que não existe potência reativa a ser fornecida pelo posto.

Na Figura 6.39 apresenta-se a evolução da TDH ao longo do período de carregamento. Considerando o limite imposto para a distorção harmónica total na norma NP EN 50160 de 8 %,

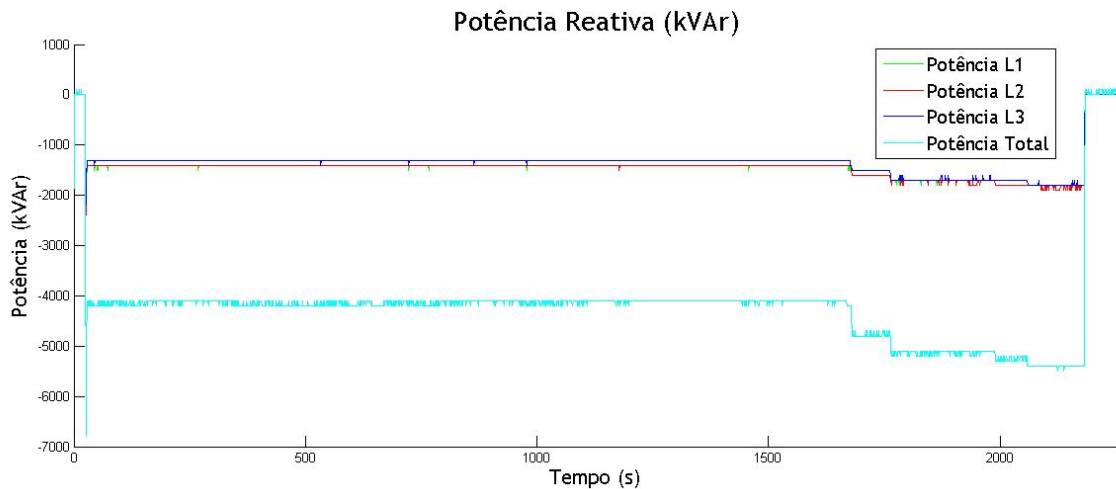


Figura 6.38: Carregamento 6: Potência Reativa nas Fases e Potência Reativa Total.

verifica-se que, para a situação analisada, a distorção harmônica é substancialmente inferior ao limite, apresentando um valor máximo inferior a 3.1 %.

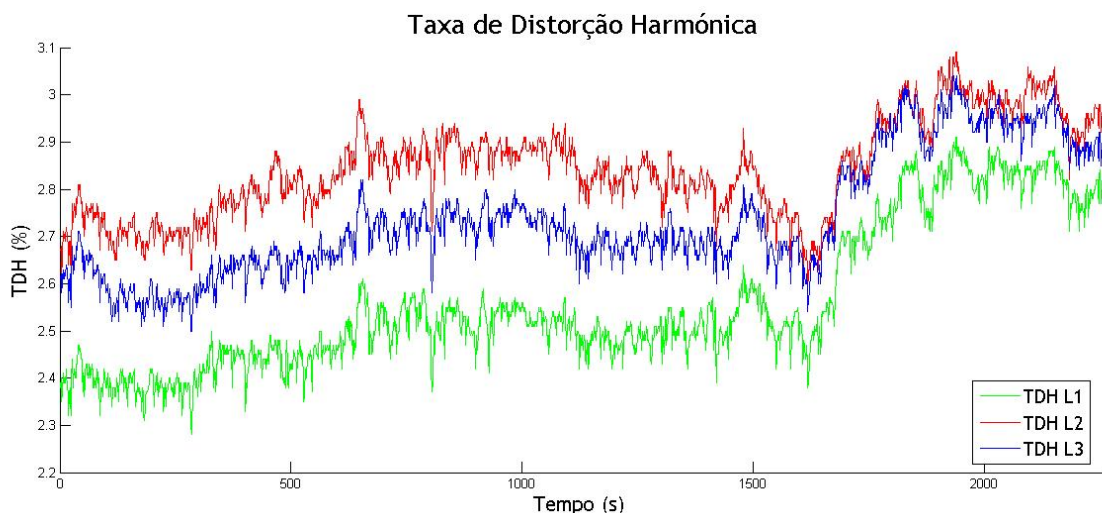


Figura 6.39: Carregamento 6: Taxa de Distorção Harmônica.

A Figura 6.40 apresenta o valor das harmônicas de tensão máximas no período de tempo do carregamento do veículo. Verifica-se que apenas foram registados valores de harmônicas até à nona e que os valores mais altos pertencem à harmónica de ordem 5.

6.7.2 Evolução da Tensão

A Figura 6.41 representa a evolução do valor eficaz da tensão no posto de carregamento rápido. Com o início do carregamento verifica-se uma diminuição do seu valor, que vai atenuando à medida que a potência fornecida ao veículo vai diminuindo. Ao contrário do que acontece com os ensaios anteriores, os valores de tensão nas três fases permanecem num intervalo de

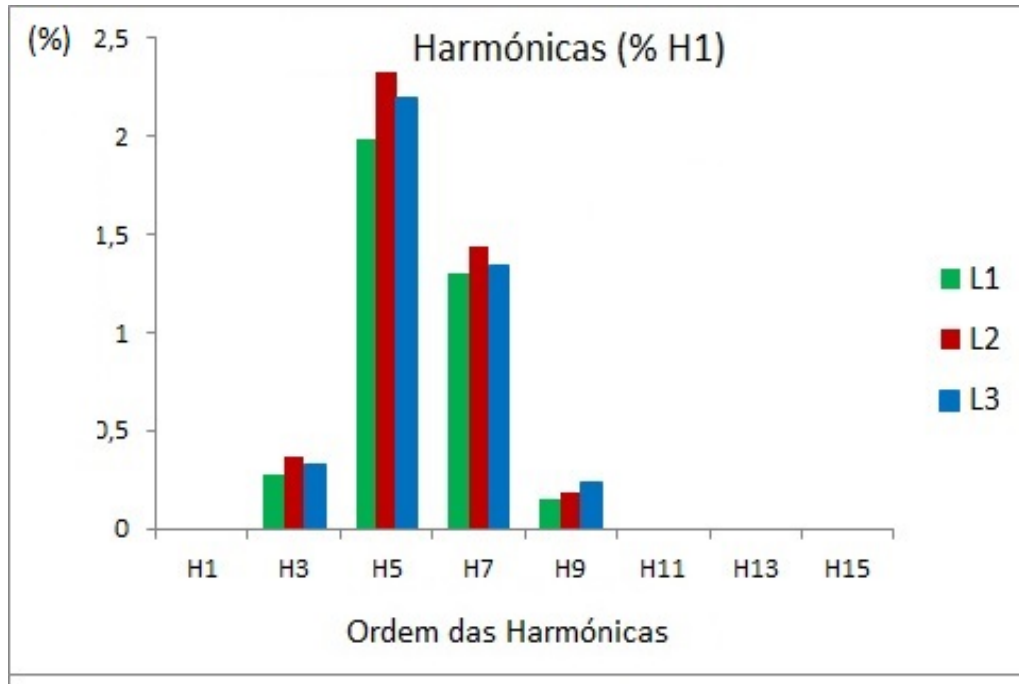


Figura 6.40: Carregamento 6: Harmónicas (% H1).

valores aproximado ao do início do carregamento, ou seja, não se identifica o aumento das tensões à medida que o EC aumenta. Segundo a norma NP EN 50160, o valor média da tensão num período de 10 minutos deve estar compreendido numa gama de valores entre 195.5 e 253 V. Como se pode constatar ainda na figura, os valores de tensão em todos os pontos estão sempre compreendidos entre os valores normativos e, conseqüentemente, os valores médios de 10 minutos também estarão.

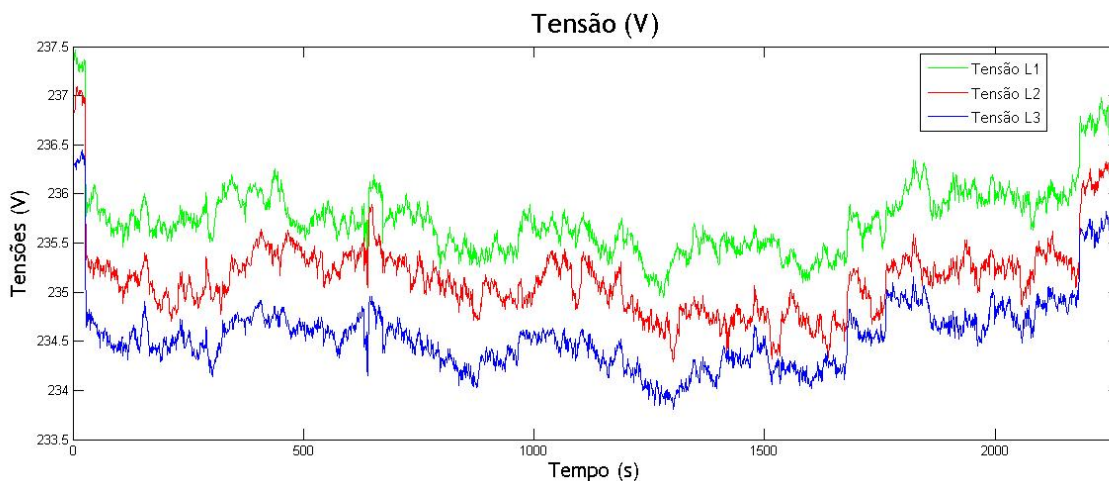


Figura 6.41: Carregamento 6: Tensão nas Fases.

6.7.3 Equilíbrio do Sistema

A Figura 6.42 representa o diagrama das tensões de fase com as respectivas correntes desfasadas de um ângulo ϕ para cada fase. Como se pode verificar, durante o carregamento o desfasamento

da corrente em relação à respetiva tensão de fase sofre uma ligeira alteração, uma vez que o valor do ângulo aumenta, mas as tensões de fase não perdem a sua posição. O comportamento do sistema neste ensaio verificou-se ser semelhante ao anterior, uma vez que os ângulos no início e no fim apresentam os mesmos valores. Na figura, as cores mais claras representam as tensões, as tonalidades intermédias representam o desfaseamento das correntes em relação à tensão, nas respetivas fases, e as mais escuras apresentam este cenário no final do carregamento. O valor das correntes do início foi multiplicado por um fator igual a 5 e o das correntes no final foi multiplicado por um fator igual a 10, por questões de escala de visualização.

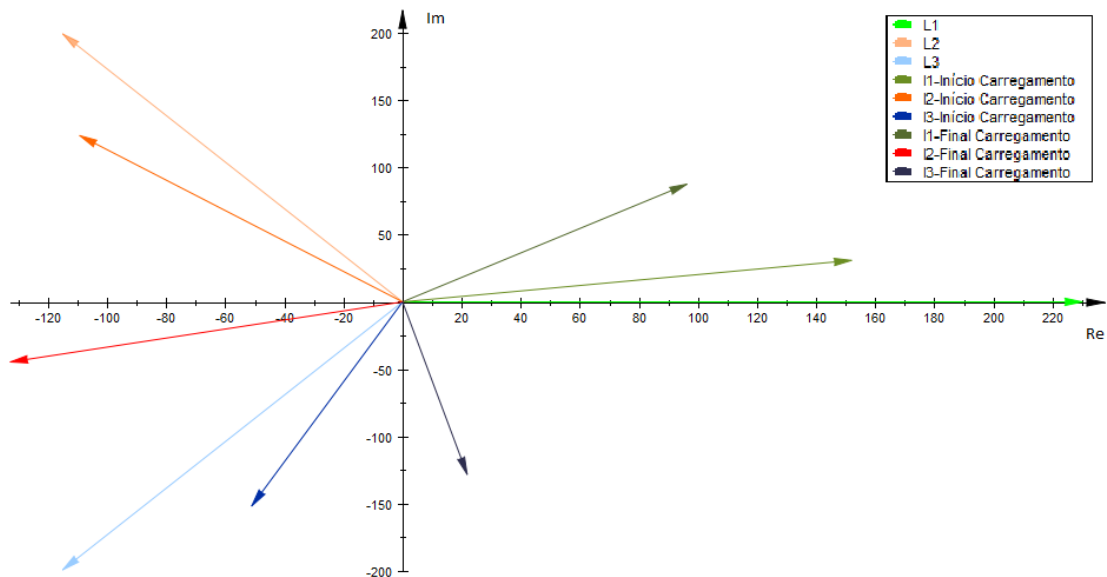


Figura 6.42: Carregamento 6: Diagrama de Fases.

Conclusão

A partir dos registos obtidos e através de ferramentas apropriadas, foi possível a geração de modelos gráficos, de forma a facilitar a visualização e compreensão dos mesmos. A observação desses modelos é um primeiro passo para a perceção do seu comportamento. Análises mais profundas requerem observações mais minuciosas.

Os dados alvo de estudo incidiram sobre a variação do EC do veículo ao longo do tempo durante o seu carregamento, a variação dos valores de potência ativa e potência reativa, os conteúdos harmónicos, a evolução da tensão e a variação do ângulo de desfaseamento da corrente em relação à tensão do início para o final do carregamento. Para uma apreciação mais cuidada dos dados gráficos apresentados neste capítulo, podem ser consultadas no Anexo A as representações gráficas dos mesmos, de forma individual.

No Capítulo 7 serão discutidas as conclusões sobre os dados neste apresentados, de forma a melhor compreender o seu comportamento durante os ensaios realizados, e com o intuito de conhecer o real impacto do carregamento do VE na rede da estação de carregamento durante a

realização de carregamento carregamento. Será ainda, feita uma análise sobre a qualidade da energia nos parâmetros avaliados e o que ainda pode ser desenvolvido e analisado para assegurar essa qualidade.

Capítulo 7

Conclusão

7.1 Introdução

Neste trabalho, foi analisado o impacto de um posto de carregamento rápido, concebido com a colaboração de duas grandes entidades, a UBI e a ENFORCE, na rede quando está a carregar um veículo. Foram analisadas grandezas como a variação de tensão, evolução da potência ativa, reativa, conteúdo harmónico e desfasamento entre tensões e correntes na mesma fase. O presente capítulo assenta nas conclusões gerais registadas a partir da análise das grandezas referidas. Além destas informações, será discutido o efeito da temperatura nos perfis de energia da rede e de carregamento do veículo. O comportamento do veículo durante o carregamento é também alvo de algumas considerações.

As grandezas analisadas neste documento não são únicas, podendo ser possível analisar outras, não menos importantes como a identificação da existência de conteúdo harmónico nas correntes, sua quantificação e análise da distorção que provoca nas ondas de corrente. Por isso mesmo, discutiremos algum trabalho que ainda possa vir a ser desenvolvido, não só neste projeto, mas também em outros âmbitos.

7.2 Tensão

De uma maneira geral, as tensões comportam-se sempre da mesma maneira: com o início do carregamento descem muito o seu valor, mas o mesmo vai aumentando à medida que o carregamento leva curso. Com a diminuição da corrente, a tensão sobe e este comportamento verifica-se para todos os episódios de ensaio, exceto para aquele que protagonizou a interrupção do carregamento por ordem do veículo, que teve um comportamento diferente dos demais no que diz respeito ao período final.

As tensões não registaram subidas e redução significativas. No Carregamento 1, no início do carregamento, a tensão decresce cerca de 1 % e volta a subir, de forma gradual, cerca de 1.5 %, apresentando no final do carregamento valores 0.5 % acima dos que apresentava no início. No caso do Carregamento 2, a tensão perde cerca de 0.85 % do seu valor e mantém-se assim até o carregamento ser interrompido. No carregamento 3, a tensão registou o valor de descida mais altos de todos os ensaios, cerca de 1.3 %, e registou também a mais alta percentagem de subida dos valores de tensão nas fases, com cerca de 2.1 %, sendo que assim, terminou o carregamento com valores de tensão 0.8 % mais altos do que os registados no início do ensaio. O Carregamento 4 e 5 não apresentam uma descida inicial, mas revelam uma subida de 0.3 % e 1.1 %, respetivamente. O último carregamento revelou uma descida de 0.6 % dos valores iniciais e apenas recupera 0.2 %, terminando o carregamento com valores de tensão 0.4 % abaixo dos iniciais, sendo o único caso assim. Estes baixos valores percentuais de subida e descida dos valores de tensão nas três fases do sistema permite concluir que a utilização do posto por parte do

veículo durante o carregamento não causa distúrbios significativos dos valores desta grandeza, pois os valores legais não são ultrapassados.

Pelos diagramas de fase pode verificar-se que o sistema trifásico de alimentação é equilibrado. Com estes dados pode inferir-se qualidade na energia fornecida pela estação ao veículo.

O impacto na variação de tensão é equivalente para todos os ensaios realizados, exceto para o Carregamento 2, não havendo diferenças significativas entre as várias situações em análise. Na maioria dos ensaios, no início dos carregamentos, a tensão sofre uma queda no seu valor. No entanto, os valores máximos e mínimos estão contidos no intervalo imposto pela norma NP EN 50160 [$U_n - 15\%$; $U_n + 10\%$]. Em todos os ensaios, a tensão mostrou um comportamento semelhante nas três fases e, se as tensões simples não ultrapassam os limites normativos, então as compostas também não ultrapassarão e garante-se assim a qualidade na tensão do sistema trifásico do PdC, neste ponto de análise.

7.3 Corrente

A corrente é constante no início de cada ensaio, ou seja, as três fases iniciam o carregamento com o valor de corrente não muito perto do máximo permitido (entre 31 e 33 A). A corrente fornecida ao veículo no início de cada carregamento pode assumir valores diferentes para cada ensaio, pois depende do EC que a bateria apresenta no momento, como acontece no caso do Carregamento 4, onde o carregamento é iniciado com um EC da bateria do veículo de 91 %, percentagem na qual a corrente diminui nos demais ensaios. Por isso, toma-se este facto como consistente, podendo afirmar a influência do EC no valor de corrente fornecida ao veículo.

7.4 Desfasamento de Tensão e Corrente

Uma vez que os perfis de tensão e corrente não se alteram significativamente nos seis ensaios realizados e o sistema se apresenta equilibrado, podemos afirmar que a qualidade da energia não está comprometida, neste aspeto.

Pelos ensaios realizados, verifica-se que até um EC de 90 %, o ângulo de desfasamento entre a corrente e a tensão na mesma fase no início do carregamento é mínimo ($\cos(\phi) = 0.98$), como se pode verificar no Anexo A. O único caso onde não se verifica este comportamento é o carregamento 5, pois o carregamento inicia com EC igual a 91 %.

O desfasamento das correntes em relação à tensão na respetiva fase segue sempre o mesmo comportamento, uma vez que o ângulo, por sua vez, se comporta de igual forma em todos os ensaios, exceto para o Carregamento 2, por razões que haviam sido referidas. À medida que o EC aumenta o ângulo acompanha esse aumento, que por sua vez faz acompanhar o desfasamento das correntes na mesma proporção. Como se pode verificar, o ângulo de desfasamento no final do carregamento é sempre maior que o do início, tal como mostra a Tabela 7.1. Este facto resulta da variação da impedância durante o carregamento, afastando a natureza da carga cada vez mais do comportamento perto do resistivo.

Tabela 7.1: Ângulos de Desfasamento entre a Corrente e a Tensão

	Fase	Ângulo Inicial (rad)	Ângulo Final (rad)	Diferença
Carregamento 1	L1	0.20	0.75	0.55
	L2	0.20	0.74	0.54
	L3	0.20	0.80	0.6
Carregamento 2	L1	0.20	0.20	0.00
	L2	0.20	0.20	0.00
	L3	0.20	0.20	0.00
Carregamento 3	L1	0.20	1.34	1.14
	L2	0.20	1.32	1.12
	L3	0.20	1.26	1.06
Carregamento 4	L1	0.35	0.71	0.36
	L2	0.32	0.71	0.39
	L3	0.32	0.68	0.36
Carregamento 5	L1	0.20	0.74	0.54
	L2	0.20	0.72	0.52
	L3	0.20	0.69	0.49
Carregamento 6	L1	0.20	0.74	0.54
	L2	0.20	0.72	0.52
	L3	0.20	0.69	0.49

7.5 Potência

A redução de velocidade de carregamento do veículo deve-se à redução de potência fornecida ao veículo de forma a minimizar a deterioração da capacidade de armazenamento de energia da sua bateria.

Analisando os dados da potência reativa de todos os ensaios realizados, verifica-se que o posto de carregamento fornece energia reativa à rede e não se observa fornecimento de energia reativa pelo posto. O comportamento da potência reativa nos Carregamento 2 e 6 são semelhantes entre si, mas diferem dos demais, uma vez que na maior parte do tempo de duração do carregamento, os valores de potência reativa permanecem com alterações pouco significativas, ao contrário do que acontece com os restantes, cuja diminuição dos valores é bastante perceptível.

Com a diminuição dos valores de potência reativa registados nos casos dos Carregamentos 1, 3, e 5, o valor do fator de potência associado experimenta uma diminuição também. Assim, a partir deste dados, pode verifica-se que as todas as fases dos referido ensaios apresentam um carácter de carregamento resistivo no início, com uma grande tendência para carácter capacitivo, à medida que o valor do fator de potência diminui. O sistema de carregador e veículo apresenta-se como uma carga praticamente resistiva nos restantes carregamentos, onde o valor do fator de potência permanece quase todo o tempo unitário. Não se verificaram ensaios com carácter capacitivo, uma vez que não surgiram valores de fator de potência inferiores a zero. O EC inicial da bateria não influencia o carácter da impedância do carregamento.

À medida que o nível de carga aumenta, ficando próximo de EC totais, verifica-se uma grande variação dos valores da potência reativa. O aumento destes valores torna a carga capacitiva. Com estes dados, podemos aferir que, estações de carregamento de VE poderia constituir um bom compensador de fator de potência em instalações industriais com consumo de grande potenciais reativos indutivos. Estações de carregamento instaladas nestas indústrias poderiam compensar o investimento em compensadores de fator de potência, ao passo que poderiam

servir a comunidade de utilizadores de VE, tornam-se um bom investimento para as empresas.

7.6 Harmónicas

As tensões dos sinais analisados contêm harmónicas, como seria de esperar. Observando as figuras, verifica-se que, em todos os ensaios, apenas se encontram harmónicas até ordem 9 e sempre ímpares, sendo que os valores mais altos variam entre a ordem 5 e 7. A não existência de conteúdo harmónico de ordem par prende-se com o facto de não se utilizarem corrente nem tensões contínuas no posto.

Há vários efeitos provocados por este conteúdo, sendo alguns deles visualizados ou podem ser notados por audição ou por registo de equipamento especial. Os principais efeitos observados em instalações elétricas são: aquecimento excessivo, disparos dos dispositivos de proteção, ressonância, vibrações, aumento da queda de tensão, redução do fator de potência, elevadas tensões entre neutro e terra, entre outros, que podem influenciar o bom comportamento das instalações elétricas. Não foram registados quaisquer um dos efeitos acima.

Para a TDH, cujo valor máximo permitido pela norma é de 8 %, todos os ensaios registaram valores inferiores a 3 %. O valor individual das harmónicas, encontra-se também a baixo do limite, onde para a harmónica de ordem 3 o limite é de 5 % em relação à senoide principal, para a de ordem 5 o limite é de 6 %, para a de ordem 7 é de 5 % e, finalmente, uma vez que apenas verificou harmónicas até ordem 9, o limite para esta é de 1.5 %. A taxa de distorção harmónica e o valor das harmónicas individuais são inferiores aos valores limites legais na situação analisada. Porém, se houver um carregamento simultâneo de pelo menos dois veículos, estes valores são suscetíveis de se alterarem. Pode considerar-se assim, que neste aspeto, a estação de carregamento apresenta valores normais de TDH e harmónicas individuais.

7.7 Condições Atmosféricas

Os Carregamentos 1 e 6 foram efetuados com a maior diferença de temperaturas, de 22 °C e 29 °C respetivamente e, depois da análise aos dados recolhidos, verifica-se um comportamento semelhante da potência ativa e da evolução da tensão. Verifica-se assim, que a temperatura atmosférica, apesar dos ensaios terem sido realizados num intervalo de temperaturas pequeno, [22;29] °C, não influencia nos perfis de carregamento do veículo nem da estação, uma vez que perfis de carregamento semelhantes a temperaturas diferentes não mostram significativas alterações das grandezas analisadas.

7.8 Considerações Gerais

Em geral, o comportamento do posto de carregamento foi uniforme. As características das grandezas analisadas mostraram-se idênticas para a maioria dos ensaios, ou seja, todos partilham essas mesmas características exceto no Carregamento 2, onde o veículo fez interromper o carregamento da sua bateria, antes mesmo de ser possível constatar as alterações nas grandezas

analisadas.

O carregamento rápido demonstrou ser mais eficaz quanto menor é o EC da bateria do veículo. A previsão do tempo restante de carregamento observou-se coerente até 98 % do estado de armazenamento da bateria. Por outro lado, para EC acima dos 99 %, o veículo demonstrou um pouco menos de eficiência no que diz respeito à indicação do tempo restante. O veículo demonstrou ser eficiente na gestão do fluxo de corrente durante o carregamento quando ocorrem erros. Uma vez detetados valores de corrente muito acima do permitido pelo cabo utilizado como *interface* entre a estação e o veículo, este impede a passagem de corrente afim de proteger as componentes expostas a picos de corrente desmedidos, evitando assim, danos nos mesmos.

Além disso, quando o ponto de conexão do veículo com o cabo está localizado perto do motor e, por isso, sujeito a temperaturas mais elevadas, em particular, quando se inicia um carregamento logo após uma jornada do veículo. Nestas situações, o veículo, ao detetar fluxo de corrente e conhecendo a temperatura no local referido, impede a passagem de corrente e inicia o funcionamento das ventoinhas, localizadas perto deste ponto. Com tais informações, pode afirmar-se a boa preparação dos VE responderem a situações anormais que possam ocorrer durante os episódios de carregamento das suas baterias.

7.9 Limitações

A realização de um estudo como o realizado no presente documento envolve as duas entidades responsáveis, a UBI e a ENFORCE. É necessário que se reúnam as condições, de forma a que elas se permitam a estar presentes durante os ensaios. A marcação de datas nem sempre foi consensual, pelo que se tornou difícil a sua definição.

Quando encontrada a data ideal procedeu-se à realização de ensaios, num pequeno espaço de tempo. Este comprometimento, a par das situações inesperadas que ocorreram, ao nível do *software*, e que prontamente iam sendo resolvidas, impediu que se realizasse um maior número de ensaios durante o tempo disponibilizado.

Por outro lado, e como o intuito do trabalho seria realizar ensaios parciais e completos ao veículo, o número de amostras teve de ser reduzido, não apenas devido ao espaço de tempo de teria sido disponibilizado, mas também porque realizar o ensaio seguinte requeria descarregar, total ou parcialmente o veículo. Esta tarefa demonstrou-se ser morosa, já que o veículo vem equipado com sistema inteligente, o qual é capaz de recuperar energia de volta à bateria, com auxílio à travagem regenerativa e regeneração de energia em pontos de descida experimentados pelo veículo. Este fator aliado ao pouco tempo disponibilizado dificultou o registo de um maior número de carregamentos do VE.

7.10 Trabalho Futuro

Um trabalho desta natureza dificilmente se pode considerar como finalizado, já que faz parte do próprio processo de estudo o aparecimento de novas questões e desafios que motivam a continuação da investigação neste domínio científico. Embora os objetivos definidos tenham sido claros e precisos, os resultados alcançados permitiram identificar um conjunto de aspetos merecedores de uma abordagem mais aprofundada num futuro próximo.

Seria de esperar a realização dos ensaios relatados, analisados e discutido no presente documento, nas mesmas condições e com as mesmas características, de forma a obter resultados mais consistentes por revalidação dos dados. O tamanho da amostra é um fator bastante importante em projetos de investigação e, por isso, definir um padrão de elementos por registo de dados em suficiente quantidade seria uma tarefa de não menos importância que as que se seguem.

Como já havia sido referido, a presença de conteúdo harmónico nas ondas de corrente é um aspeto muito importante quando se discute qualidade de energia num estação de carregamento de VE, bem como noutros locais que façam uso de tensões e correntes mais elevadas que as que se encontram na rede doméstica. Será fundamental analisar estes dados em condições semelhantes às que se registaram no presente trabalho, desta forma seria possível comparar dados e chegar a conclusões bastante importantes.

Com este documento, verifica-se que o impacto na rede devido ao carregamento de um VE não é significativo na alteração da qualidade da energia fornecida pela estação, em termos de valores médios. Seria de grande importância analisar os máximos, mínimos e picos registados durante os ensaios, afim de conclusões mais assertivas à cerca do real impacto do veículo elétrico em pontos isolados no tempo. Desconhece-se ainda o efeito do carregamento de VE na estação com mais de uma unidade em carregamento em simultâneo. Seria interessante realizar ensaios com, pelo menos, dois veículos em carregamento ao mesmo tempo na estação e, idealmente, em condições muito semelhantes às quais se encontraram aquando da realização dos referidos ensaios.

É de referir que, o protótipo de estação de carregamento alvo de estudo é um posto de abastecimento rápido. Os ensaios foram realizados pelo Modo 2 de carregamento. No entanto, a estação está preparada para operar em Modo 3. Estudar o comportamento da infraestrutura durante o carregamento de VE com recurso a correntes e tensões com o dobro do valores das registadas no presente trabalho seria de extrema relevância para se aferir a qualidade de energia também em Modo 3. A par deste, seria expectável verificar o comportamento do posto em Modo 3 com um e com, pelo menos, dois veículos em simultâneo em carregamento.

O estudo realizado no presente trabalho contempla apenas a análise dos perfis de carregamento de um veículo na estação de carregamento. A hipótese de analisar os perfis de consumo do posto de carregamento está, portanto em aberto, para num futuro próximo de proceder ao seu estudo.

Bibliografia

- [1] C. Anderson and J. Anderson, *Electric and Hybrid Cars: A History*. McFarland, 2005. 1, 5
- [2] M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructures of plug-in electric and hybrid vehicles," *IEEE transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 5, pp. 2151--2169, 2013. 1, 28, 29
- [3] G. K. Biswas, "I.c. engine emissions with varied proportions of mixtures of petrol, diesel, bio-diesel and other organic fuels," *Recent Research in Science and Technology*, vol. 5, no. 5, pp. 44--46, 2013. 1
- [4] H. Ma, F. Balthasar, N. Tait, X. Riera-Palou, and A. Harrison, "A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles," *Energy Policy*, vol. 44, pp. 160 -- 173, 2012. 1
- [5] T. Brandt, S. Wagner, and D. Neumann, "Road to 2020: Is-supported business models for electric mobility and electrical energy markets," *International Conference on Information Systems*, vol. 5, pp. 3758--3767, Dezembro 2012. 1
- [6] J. E. Mendonça, "Reino unido tem plano de u\$ 800 milhões para veículos elétricos." Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/blog/planeta-urgente/reino-unido-tem-plano-de-u-800-milhoes-para-veiculos-eletricos/>, Abril 2014. Acesso: 15 maio 2014. 1
- [7] J. D. Santiago, H. Bernhoff, B. Ekergrå rd, S. Eriksson, R. Waters, and M. Leijon, "Electrical motor drivelines in commercial All-Electric vehicles: A review," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, no. 2, pp. 475--484, 2012. 1, 2, 5, 8
- [8] Eurostat, "Energy consumption EU27 energy dependence rate at 54 % in 2011," *Eurostat*, no. 23, 2013. 1
- [9] Eurostat, "Energy consumption down by 8 % between 2006 and 2012 in the EU28 Nuclear power and renewables made up half of the energy production," *Eurostat News Release*, no. 25, 2014. 1
- [10] "Presidência do conselho de ministros," *Diário da República*, vol. 1, pp. 2022--2092, Abril 2013. 2
- [11] R. T. Doucette and M. D. McCulloch, "Modeling the CO_2 emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries," *Energy Policy*, vol. 39, no. 2, pp. 803 -- 811, 2011. Special Section on Offshore wind power planning, economics and environment. 2
- [12] I. Husain, *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals, Second Edition*. Taylor & Francis, 2011. 2, 8, 9
- [13] P. Cocron, F. Bühler, T. Franke, I. Neumann, and J. F. Krems, "The silence of electric vehicles--blessing or curse," in *90th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC*, pp. 1--16, 2011. 2

- [14] EPD, ``Eólicas." Disponível em: <http://www.edp.pt/pt/aedp/unidadesdenegocio/energiasrenovaveis/Pages/EnergiasRenovaveis.aspx>, 2013. Acesso: maio 2014. 2
- [15] N. S. Pearre, W. Kempton, R. L. Guensler, and V. V. Elango, ``Electric vehicles: How much range is required for a day's driving?," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 19, no. 6, pp. 1171 -- 1184, 2011. 2
- [16] J. Happian-Smith, *An Introduction to Modern Vehicle Design*. Butterworth-Heinemann, 2001. 5
- [17] M. Hård and A. Jamison, ``Alternative cars: The contrasting stories of steam and diesel automotive engines," *Technology in Society*, vol. 19, pp. 145--160, Abril 1997. 5
- [18] E. Hesla, ``Electric propulsion [history]," *Industry Applications Magazine, IEEE*, vol. 15, pp. 10--13, Julho 2009. 5
- [19] K. Rajashekara, ``History of electric vehicles in general motors," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 30, pp. 897--904, Jul 1994. 5
- [20] M. Å Hman, ``Government policy and the development of electric vehicles in Japan," *Energy Policy*, vol. 34, pp. 433--443, Março 2006. 5
- [21] USA Department of Energy. 5
- [22] European Commission, ``White Paper: Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System," *Luxembourg: Publications Office of the European Union*, pp. 1--32, 2011. 5
- [23] A. Devie, E. Vinot, S. Pelissier, and P. Venet, ``Real-world battery duty profile of a neighbourhood electric vehicle," *Transport and Environment*, vol. 25, pp. 122--133, Dezembro 2012. 5, 9
- [24] ScienceDaily, ``Car prototype generates electricity, and cash." Disponível em: <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/12/071203133532.htm>, 2007. Acesso: maio 2014. 6
- [25] H. Toliyat and G. Kliman, *Handbook of Electric Motors*. Electrical and computer engineering, Taylor & Francis, 2012. 6, 7, 8
- [26] J. Santiago, H. Bernhoff, B. Ekergård, S. Eriksson, S. Ferhatovic, R. Waters, and M. Leijon, ``Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles: a review," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, no. 2, pp. 475--484, 2012. 7
- [27] APVE, ``Veículos elétricos." Disponível em: www.apve.pt/upload/conteudo_index/veiculos/veiculos.htm. Acesso: junho 2014. 8
- [28] S. S. Williamson, A. Emadi, and K. Rajashekara, ``Comprehensive Efficiency Modeling of Electric Traction Motor Drives for Hybrid Electric Vehicle Propulsion Applications," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 56, pp. 1561--1572, Julho 2007. 8
- [29] D. Sandalow, *Plug-In Electric Vehicles: What Role for Washington?* Brookings Institution Press, 2009. 8
- [30] Comissão Europeia, ``Directive 2002/24/ec of the european parliament and of the council." Official Journal of the European Union, Março 2002. 9

- [31] Veículo Elétrico PT, "Estacionamento para veículos elétricos." Disponível em: <http://www.veiculoselectricospt.com/estacionamento-exclusivo-para-veiculos-electricos-2/>, Maio 2012. Acesso: junho 2014. 10
- [32] P3, "Investigador português desenvolveu um carregador sem fios para carros eléctricos .." Disponível em: <http://p3.publico.pt/actualidade/ciencia/7192/investigador-portugues-desenvolveu-um-carregador-sem-fios-para-carros-elect>, março 2013. Acesso: junho 2014. 10
- [33] P3, "A invenção de tatiana pode revolucionar os carros eléctricos.." Disponível em: <http://p3.publico.pt/actualidade/ciencia/12115/invencao-de-tatiana-pode-revolucionar-os-carros-electricos>, maio 2014. Acesso: junho 2014. 10
- [34] Quercus, "Portugal atingiu valor recorde do século na produção de eletricidade renovável e de emissões de CO_2 evitadas." Disponível em: <http://www.quercus.pt/comunicados/2014/janeiro/3297-portugal-atingiu-valor-recorde-do-seculo-na-producao-de-eletricidade-renovavel-e-de-emissoes-de-co2-evitadas>, Janeiro 2014. 11
- [35] H. Ising and B. Kruppa, "Health effects caused by noise : Evidence in the literature from the past 25 years," *Noise and Health*, vol. 6, no. 22, pp. 5--13, 2004. 11
- [36] European Blind Union, "Ensuring the safety needs of blind and partially sighted pedestrians in road traffic," *Transportation Research Board*, 2012. Acesso: junho 2014. 11
- [37] F. George, "Causes of deaths in portugal and challenges in prevention," *Acta médica portuguesa*, vol. 25, no. 2, pp. 61--63, 2011. 11
- [38] D. A. Notter, M. Gauch, R. Widmer, P. Wager, A. Stamp, R. Zah, and H.-J. Althaus, "Contribution of li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles," *Environmental Science Technology*, vol. 44, no. 17, pp. 6550--6556, 2010. 11
- [39] Q. Wang, P. Ping, X. Zhao, G. Chu, J. Sun, and C. Chen, "Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery," *Journal of Power Sources*, vol. 208, pp. 210 -- 224, 2012. 11
- [40] C. Daniel and J. Besenhard, *Handbook of Battery Materials*. Wiley, 2013. 13, 14
- [41] I. E. Commission, "Primary batteries - part: Physical and electrical specifications," 2006. 14
- [42] ANSI, "American national standards for portable primary cells and batteries with aqueous electrolyte," 2011. 14
- [43] IEC, "Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes," 2012. 14
- [44] A. N. S. Institute, "American national standards for portable rechargeable cells and batteries," 2007. 14
- [45] S. Yang and H. Knickle, "Design and analysis of aluminum/air battery system for electric vehicles," *Journal of Power Sources*, vol. 112, no. 1, pp. 162 -- 173, 2002. 15

- [46] G. Girishkumar, B. McCloskey, A. Luntz, S. Swanson, and W. Wilcke, "Lithium-air battery: promise and challenges," *The Journal of Physical Chemistry Letters*, vol. 1, no. 14, pp. 2193--2203, 2010. 15
- [47] T. Zhang, N. Imanishi, Y. Shimonishi, A. Hirano, Y. Takeda, O. Yamamoto, and N. Sannes, "A novel high energy density rechargeable lithium/air battery," *Chemical Communications*, vol. 46, no. 10, pp. 1661--1663, 2010. 15
- [48] S. J. Gerssen-Gondelach and A. P. Faaij, "Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term," *Journal of Power Sources*, vol. 212, pp. 111--129, 2012. 15
- [49] A. W. Zafiropoulo and A. M. Hawryluk, "Betavoltaic power sources for transportation applications," Julho 2013. US Patent App. 13/933,355. 15
- [50] U. Köhler, C. Antonius, and P. Bäuerlein, "Advances in alkaline batteries," *Journal of Power Sources*, vol. 127, no. 1, pp. 45--52, 2004. 16
- [51] R. Carter, A. Cruden, P. J. Hall, and A. S. Zaher, "An improved lead-acid battery pack model for use in power simulations of electric vehicles," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 27, no. 1, pp. 21--28, 2012. 16
- [52] L. Lu, X. Han, J. Li, J. Hua, and M. Ouyang, "A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles," *Journal of power sources*, vol. 226, pp. 272--288, 2013. 16
- [53] F. Putois, "Market for nickel-cadmium batteries," in *Proceedings of battery recycling '95*, vol. 57, pp. 67 -- 70, 1995. 16
- [54] T. Iwai and T. Yao, "Study of memory effect of nickel hydrogen battery," in *Meeting Abstracts*, no. 43, pp. 1639--1639, The Electrochemical Society, 2014. 17
- [55] E. J. Cairns and P. Albertus, "Batteries for electric and hybrid-electric vehicles," *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, vol. 1, pp. 299--320, 2010. 17
- [56] G. Majeau-Bettez, T. R. Hawkins, and A. H. Strømman, "Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles," *Environmental Science & Technology*, vol. 45, no. 10, pp. 4548--4554, 2011. 17
- [57] A. Khaligh and Z. Li, "Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 59, no. 6, pp. 2806--2814, 2010. 17
- [58] B. L. Ellis and L. F. Nazar, "Sodium and sodium-ion energy storage batteries," *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, vol. 16, no. 4, pp. 168--177, 2012. 17
- [59] M. Skyllas-Kazacos, M. Chakrabarti, S. Hajimolana, F. Mjalli, and M. Saleem, "Progress in flow battery research and development," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 158, no. 8, pp. 55--79, 2011. 18
- [60] Z. Wen, Z. Gu, X. Xu, J. Cao, F. Zhang, and Z. Lin, "Research activities in shanghai institute of ceramics, chinese academy of sciences on the solid electrolytes for sodium sulfur batteries," *Journal of Power Sources*, vol. 184, no. 2, pp. 641--645, 2008. 18

- [61] Fisker, ``Fisker karma." Disponível em: <http://fisker.ignitedusa.com/en-us/karma/safety/>. Acesso: maio 2014. 18
- [62] Mahindra, ``Mahindra reva nrx." Disponível em: <http://mahindrareva.com/product/explore-the-e2o.aspx>. Acesso: maio 2014. 18
- [63] Nissan, ``Nissan leaf." Disponível em: <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/versions-specs/version.sl.html>. Acesso: maio 2014. 18
- [64] IFLscience!, ``New metal-air battery drives car 1800km without recharge." Disponível em: <http://www.iflscience.com/technology/new-metal-air-battery-drives-car-1800km-without-recharge>, junho 2014. Acesso: junho 2014. 18
- [65] S. S. Zhang, ``The effect of the charging protocol on the cycle life of a li-ion battery," *Journal of Power Sources*, vol. 161, no. 2, pp. 1385--1391, 2006. 22
- [66] C. Hatton, S. Beella, J. Brezet, and Y. Wijnia, ``Charging Stations for Urban Settings the design of a product platform for electric vehicle infrastructure in Dutch cities," in *Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium*, pp. 1--13, 2009. 22
- [67] ChargePoint, ``The world's largest electric vehicle charging network." Disponível em: <http://www.chargepoint.com/stations>. Acesso: junho 2014. 22
- [68] SchneiderElectric, ``Electric vehicle charging stations." Disponível em: <http://www.schneider-electric.com/products/us/en/50600-electric-vehicle-charging-stations/>. Acesso: junho 2014. 22
- [69] General Electric, ``Electric vehicle charging stations." Disponível em: <http://www.geindustrial.com/products/electric-vehicle-charging-stations>. Acesso: junho 2014. 22
- [70] MOBI.E, ``Uma rede inteligente direccionada para o futuro." Disponível em: <http://www.mobie.pt/o-carregamento>. Acesso: junho 2014. 23
- [71] GreenSavers, ``Portugal já tem estações de carregamento solar para veículos eléctricos." Disponível em: <http://greensavers.sapo.pt/2013/01/20/portugal-ja-tem-estacoes-de-carregamento-solar-para-veiculos-electricos/>, Janeiro 2013. Acesso: junho 2014. 23
- [72] C. Hatton, S. Beella, J. Brezet, and Y. Wijnia, ``Charging stations for urban settings the design of a product platform for electric vehicle infrastructure in dutch cities," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 3, pp. 1--13, 2009. 24
- [73] P. Denholm and G. L. Kulcinski, ``Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems," *Energy Conversion and Management*, vol. 45, no. 13-14, pp. 2153 -- 2172, 2004. 24
- [74] Y. Kobayashi, N. Kiyama, H. Aoshima, and M. Kashiya, ``A route search method for electric vehicles in consideration of range and locations of charging stations," in *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2011 IEEE*, pp. 920--925, Junho 2011. 24
- [75] M. Conen, M. A. Siddiqui, and P. Taberham, ``Dual battery vehicle electrical systems," Abril 2010. US Patent 7,696,716. 25

- [76] Y. Ota, H. Taniguchi, T. Nakajima, K. M. Liyanage, J. Baba, and A. Yokoyama, "Autonomous distributed v2g (vehicle-to-grid) satisfying scheduled charging," *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 3, no. 1, pp. 559--564, 2012. 25
- [77] D. A. M. Moreira, "Posto de carregamento de veículos eléctricos com painel fotovoltaico, sistema de armazenamento e ligação à rede eléctrica," 2013. 26
- [78] K. Clement-Nyns, E. Haesen, and J. Driesen, "The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 371--380, 2010. 29
- [79] G. Putrus, P. Suwanapongkarl, D. Johnston, E. Bentley, and M. Narayana, "Impact of electric vehicles on power distribution networks," in *Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC'09. IEEE*, pp. 827--831, IEEE, 2009. 29
- [80] L. Pieltain Fernández, T. Román, R. Cossent, C. M. Domingo, and P. Frias, "Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 206--213, 2011. 30
- [81] R. C. G. II, L. Wang, and M. Alam, "The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 1, pp. 544 -- 553, 2011. 30

Apêndice A

Anexos

Manuais de utilização dos dispositivos

Fluke 434-II/435-II/437-II - Users Manual

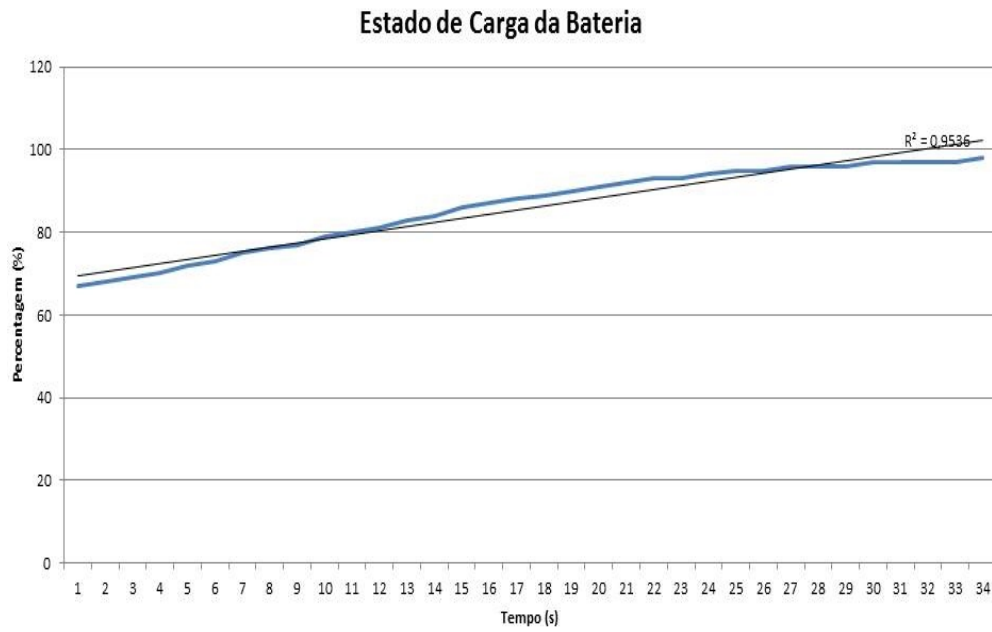
Fluke 434-II/435-II/437-II - Service Manual

Protocolo de Ensaio

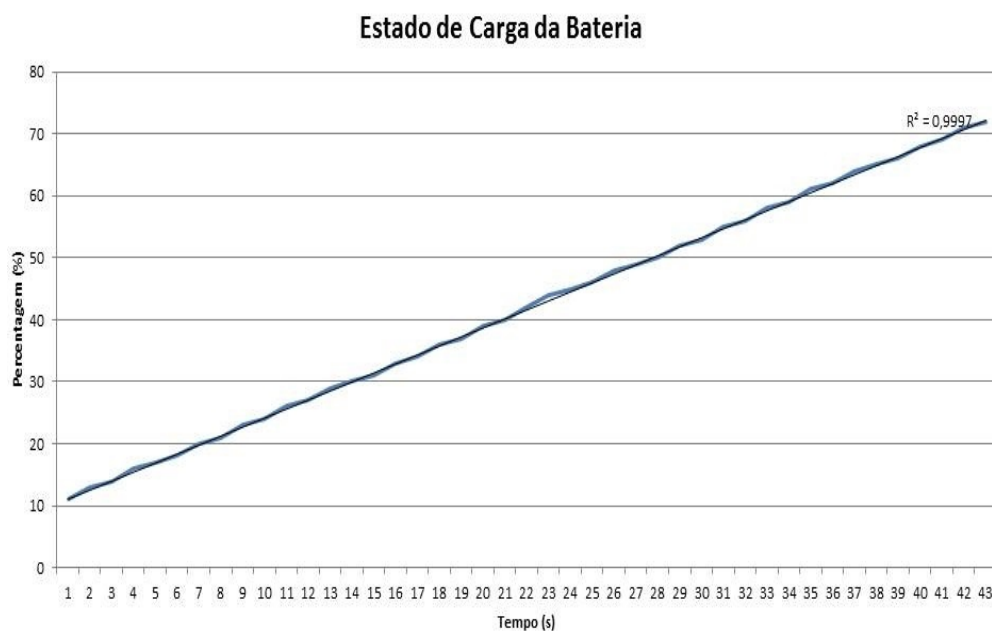
Gráficos dos Dados para Cada Grandeza Estudada

Estado de Carga

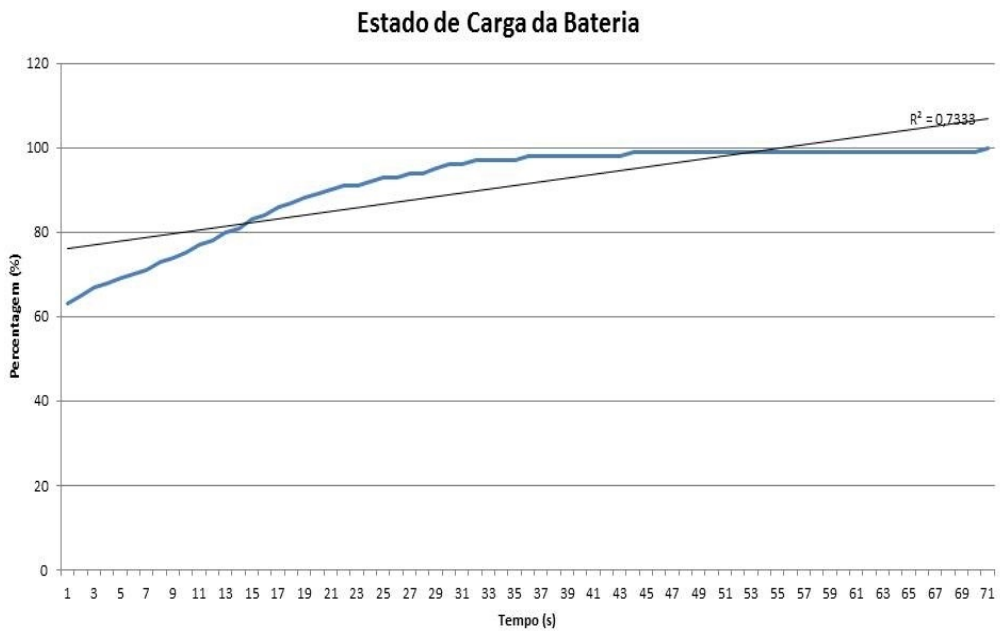
Carregamento 1



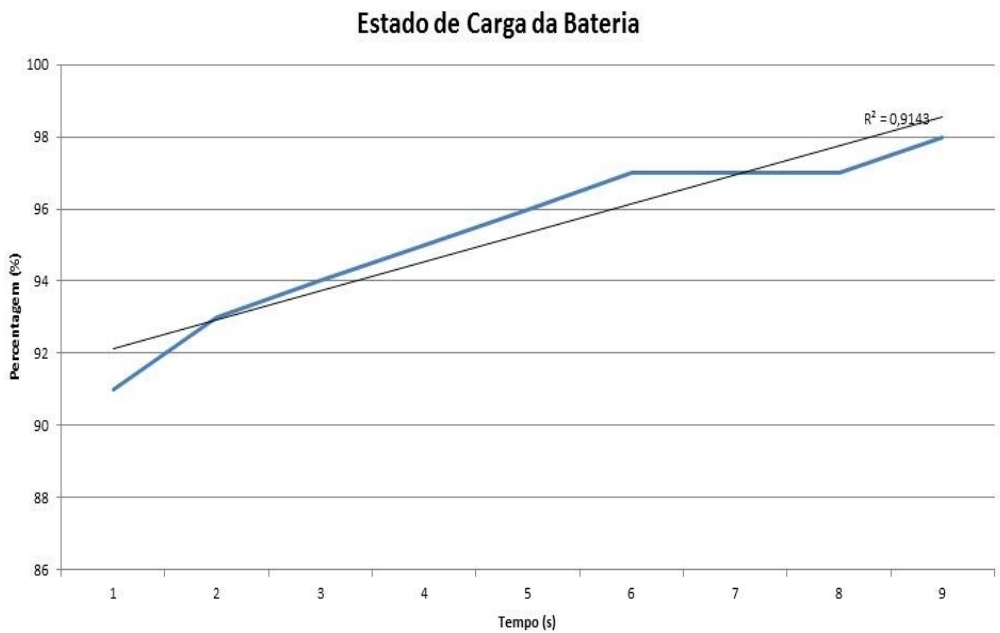
Carregamento 2



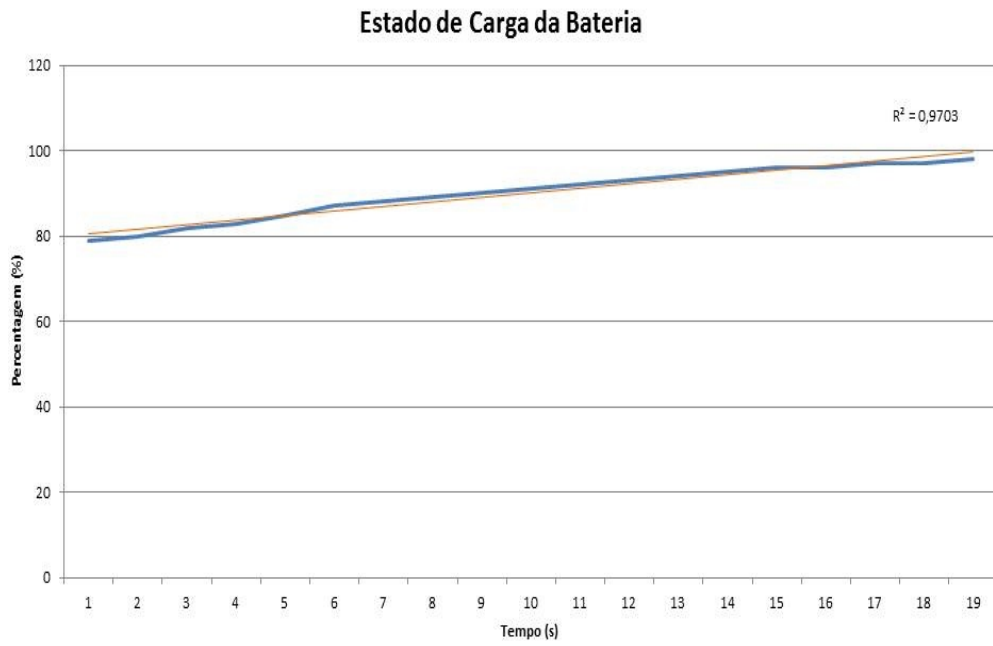
Carregamento 3



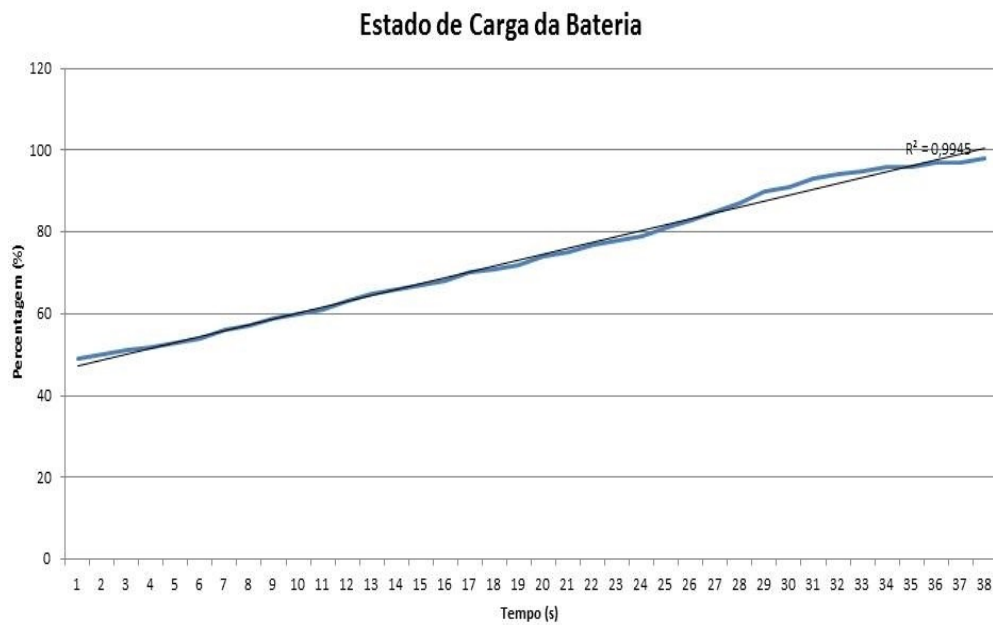
Carregamento 4



Carregamento 5

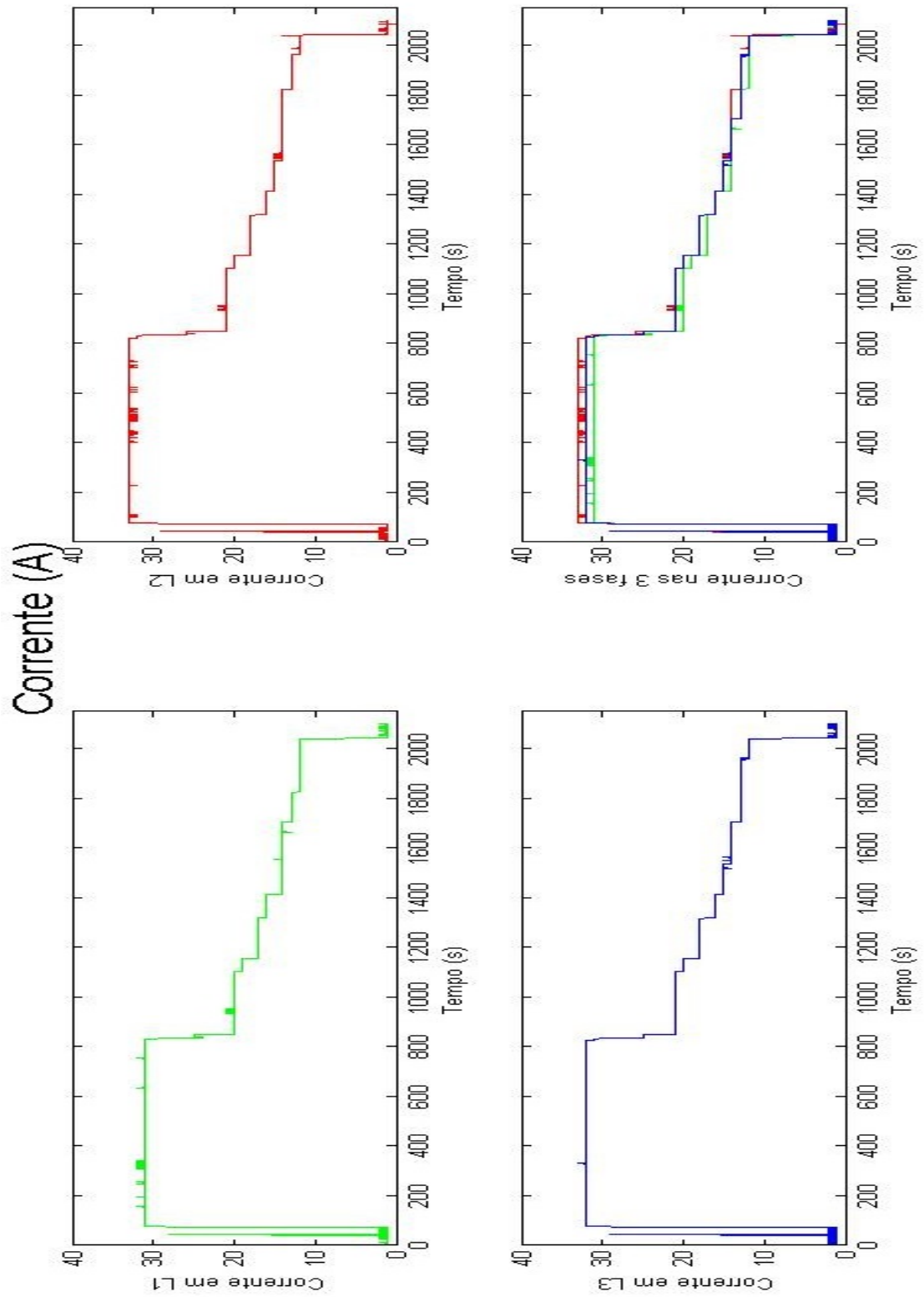


Carregamento 6



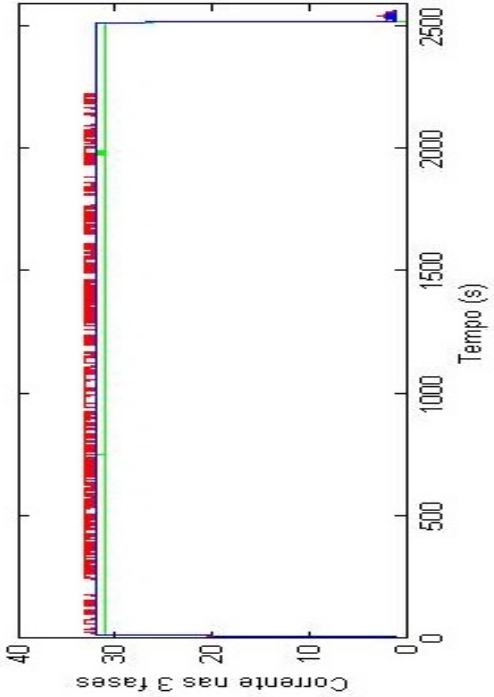
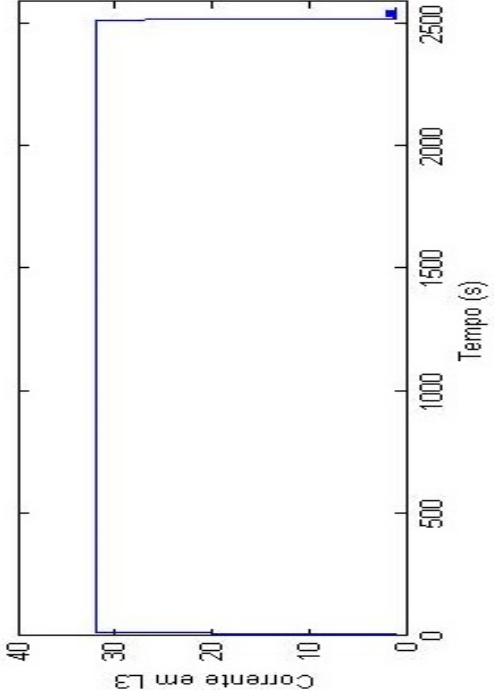
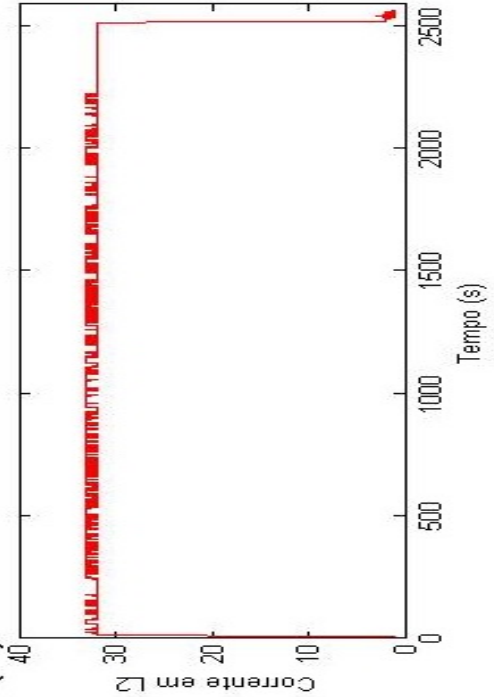
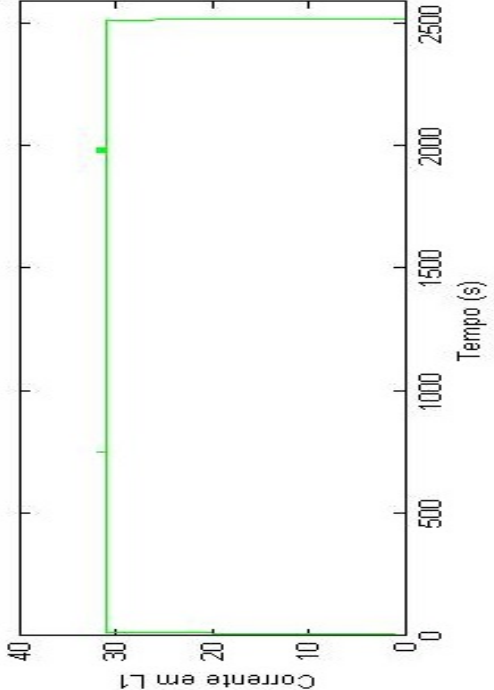
Correntes

Carregamento 1

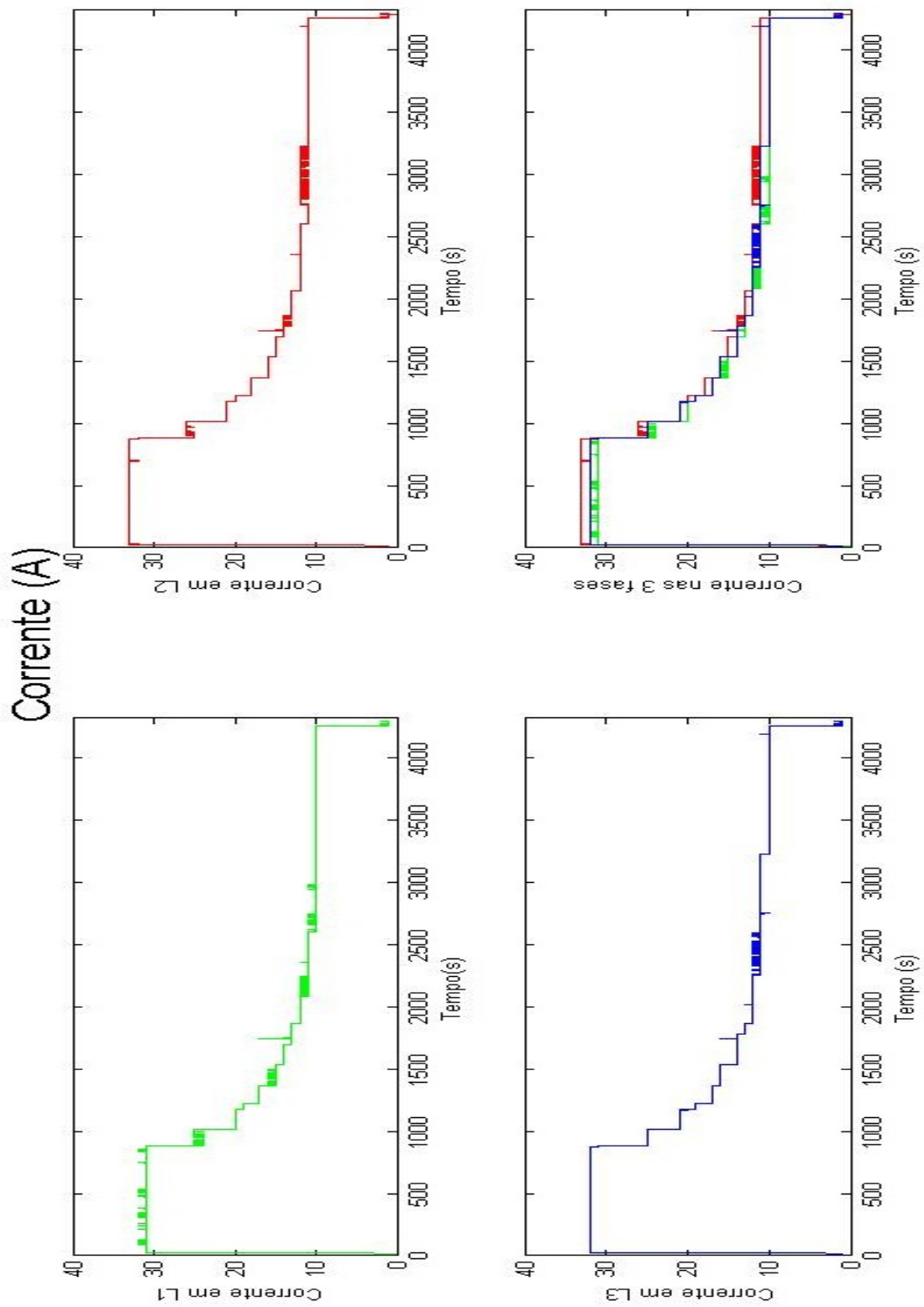


Carregamento 2

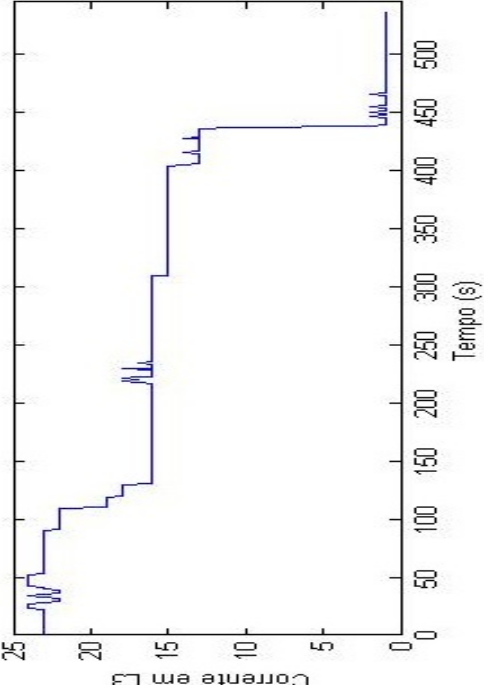
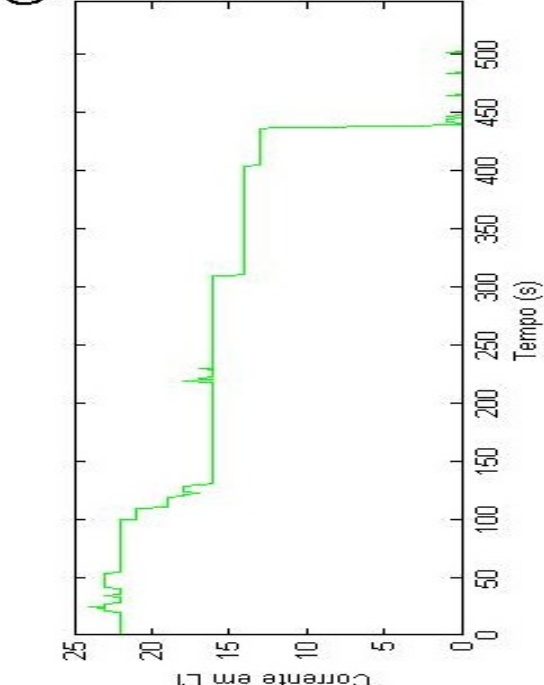
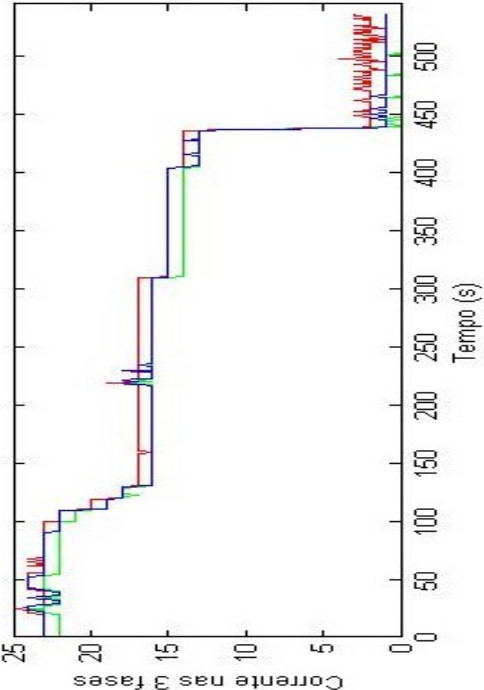
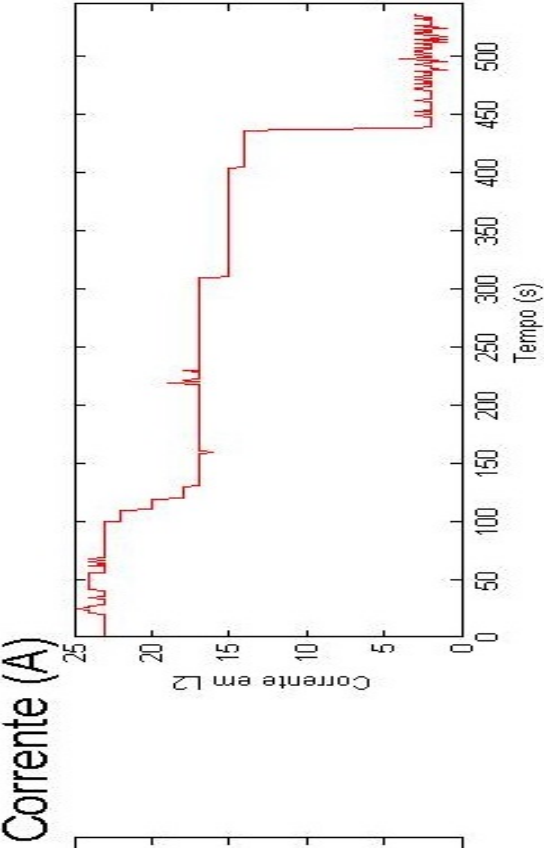
Corrente (A)



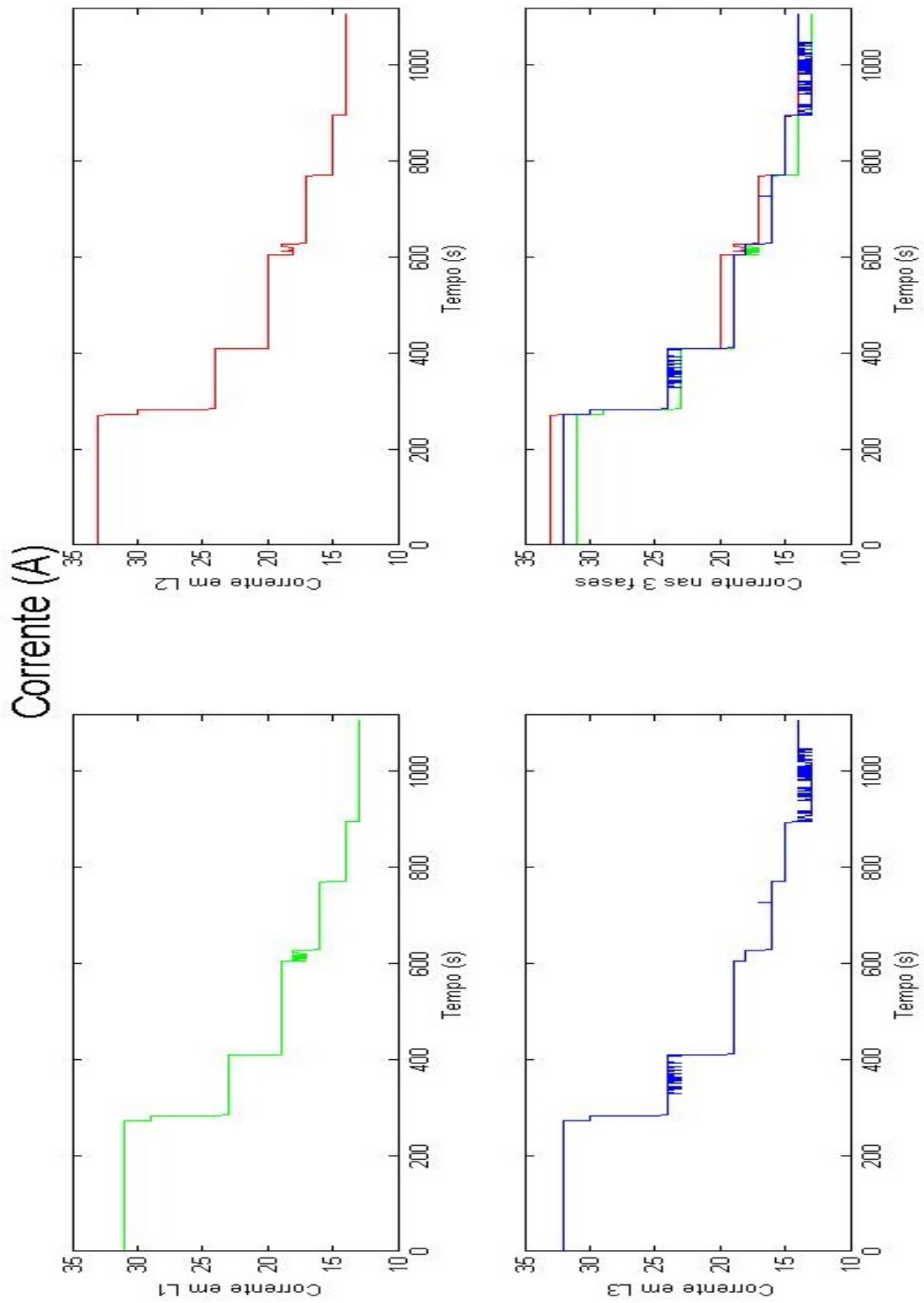
Carregamento 3



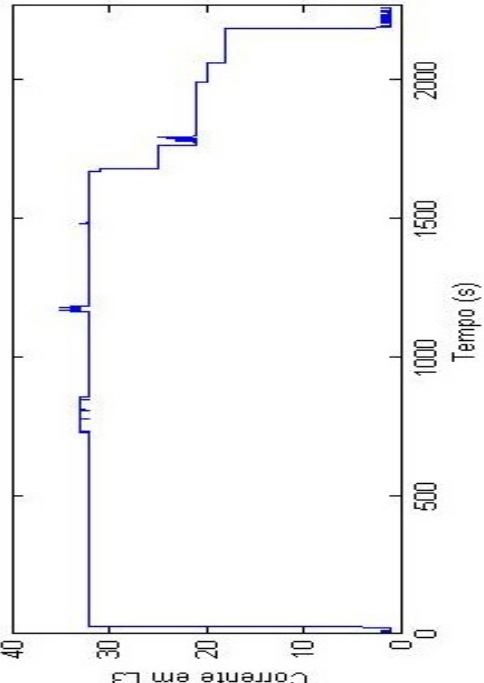
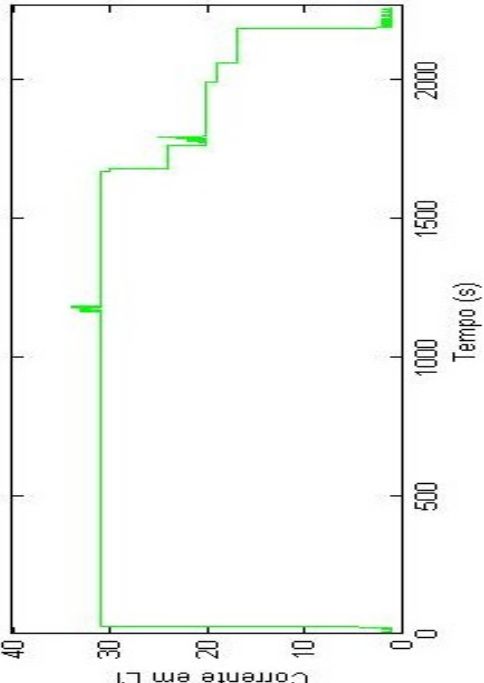
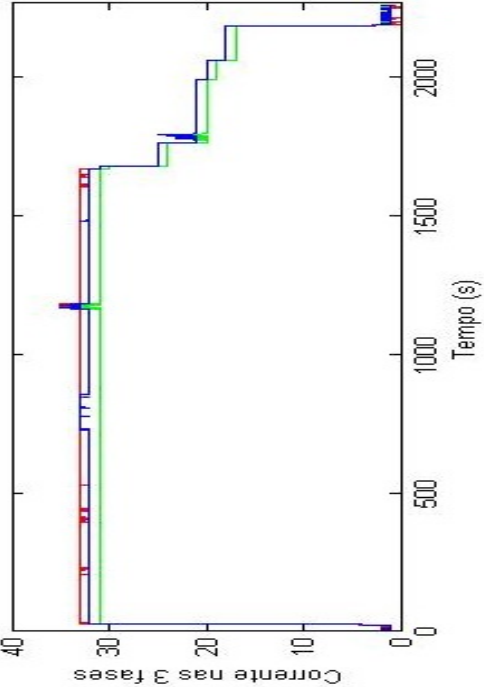
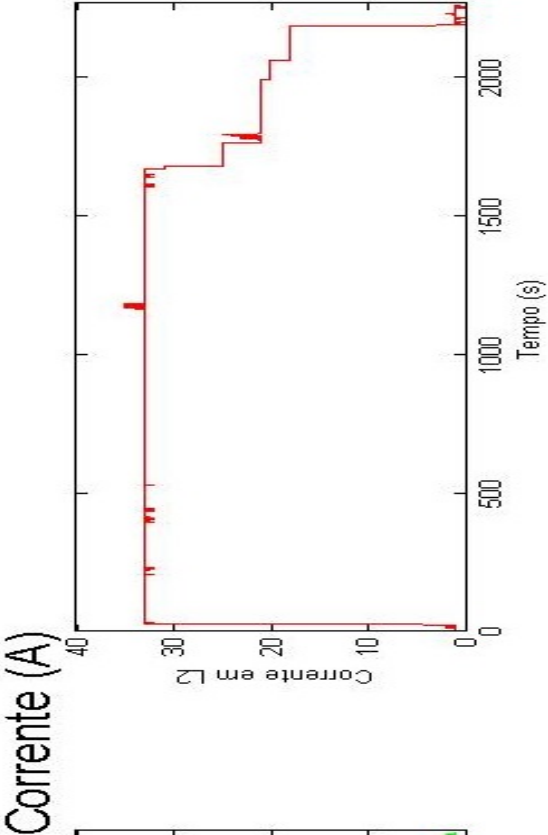
Carregamento 4



Carregamento 5

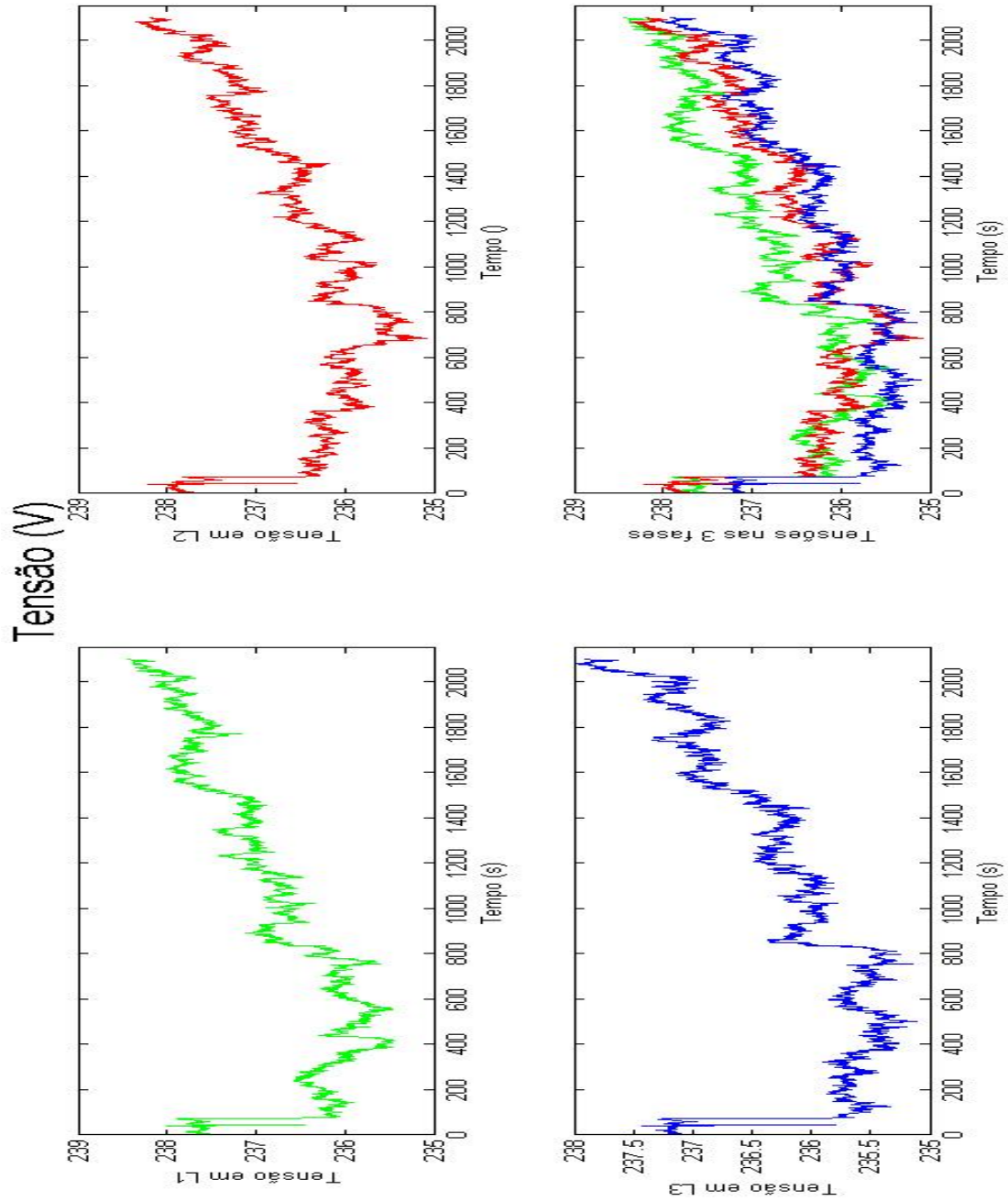


Carregamento 6

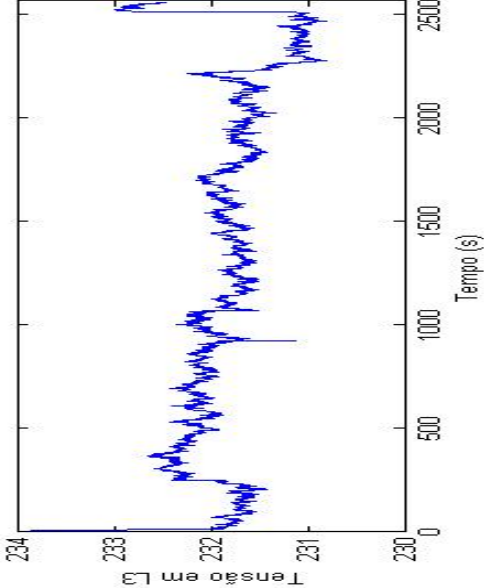
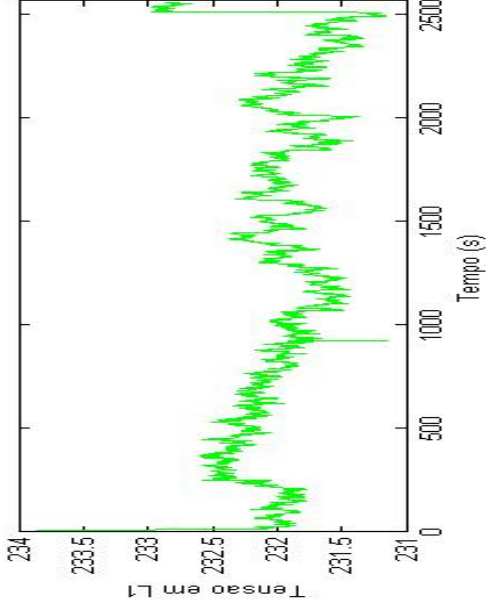
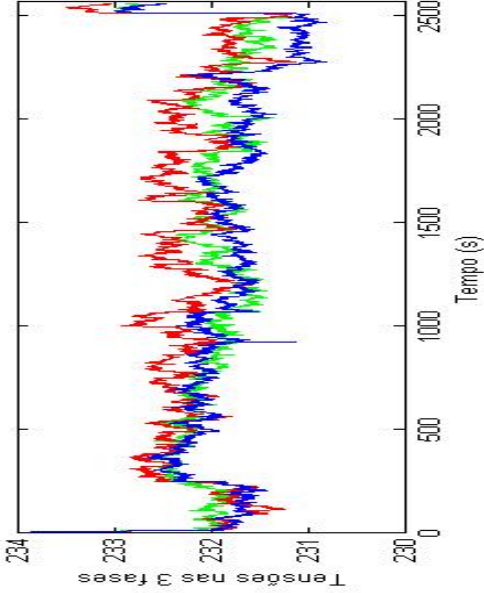
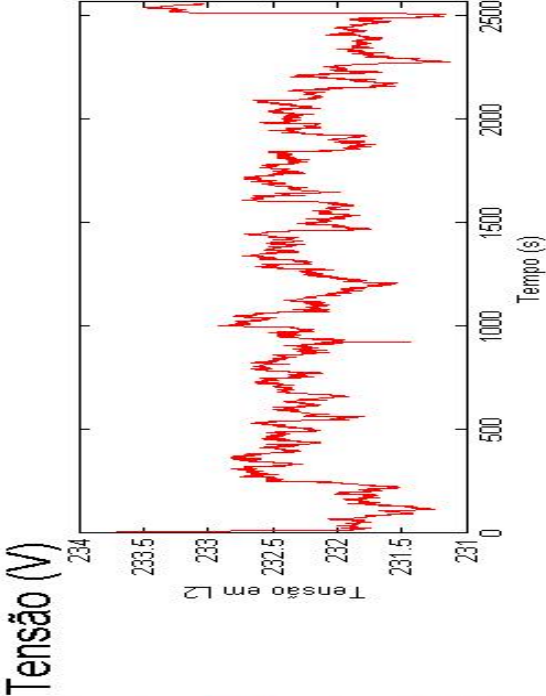


Tensões

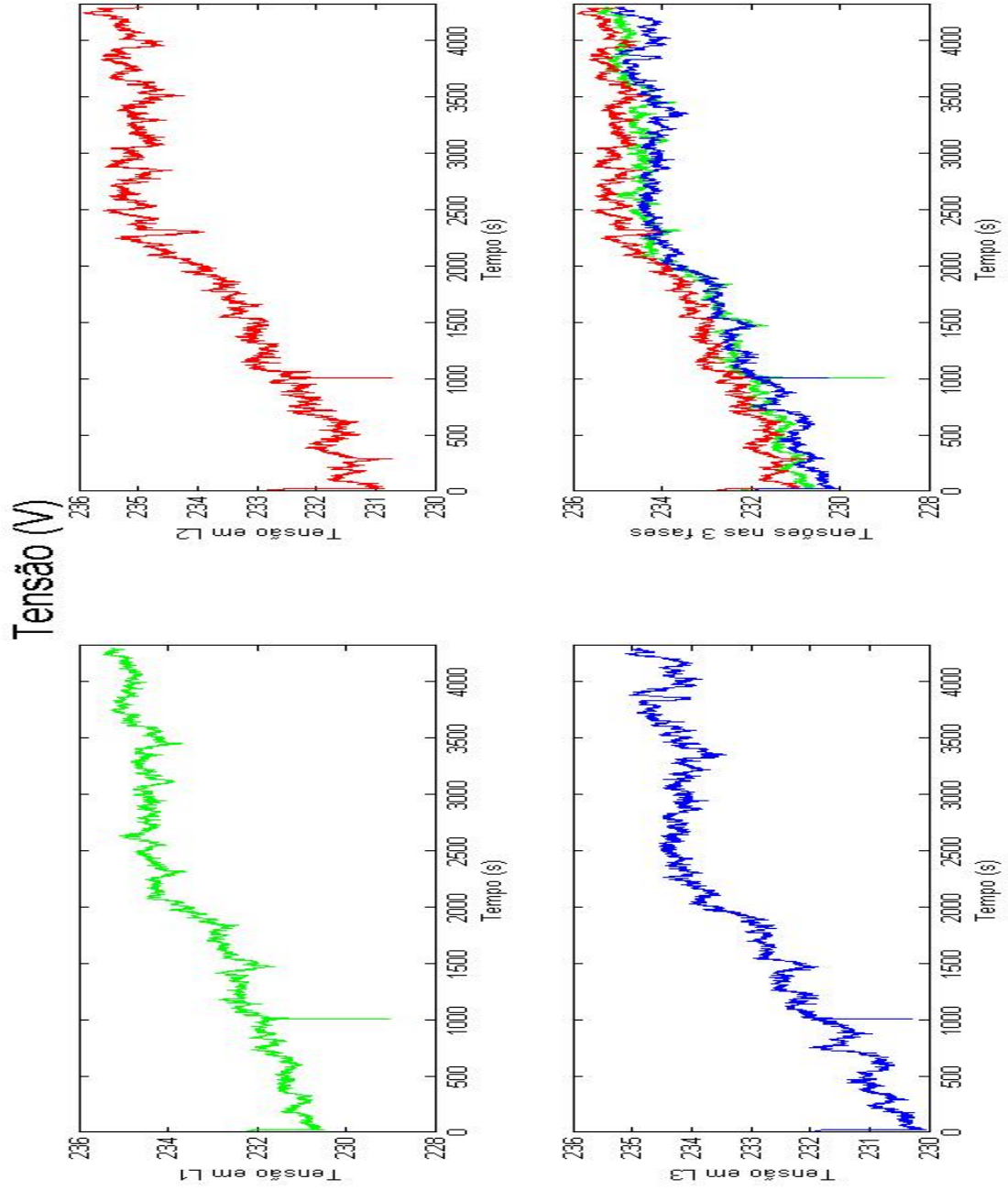
Carregamento 1



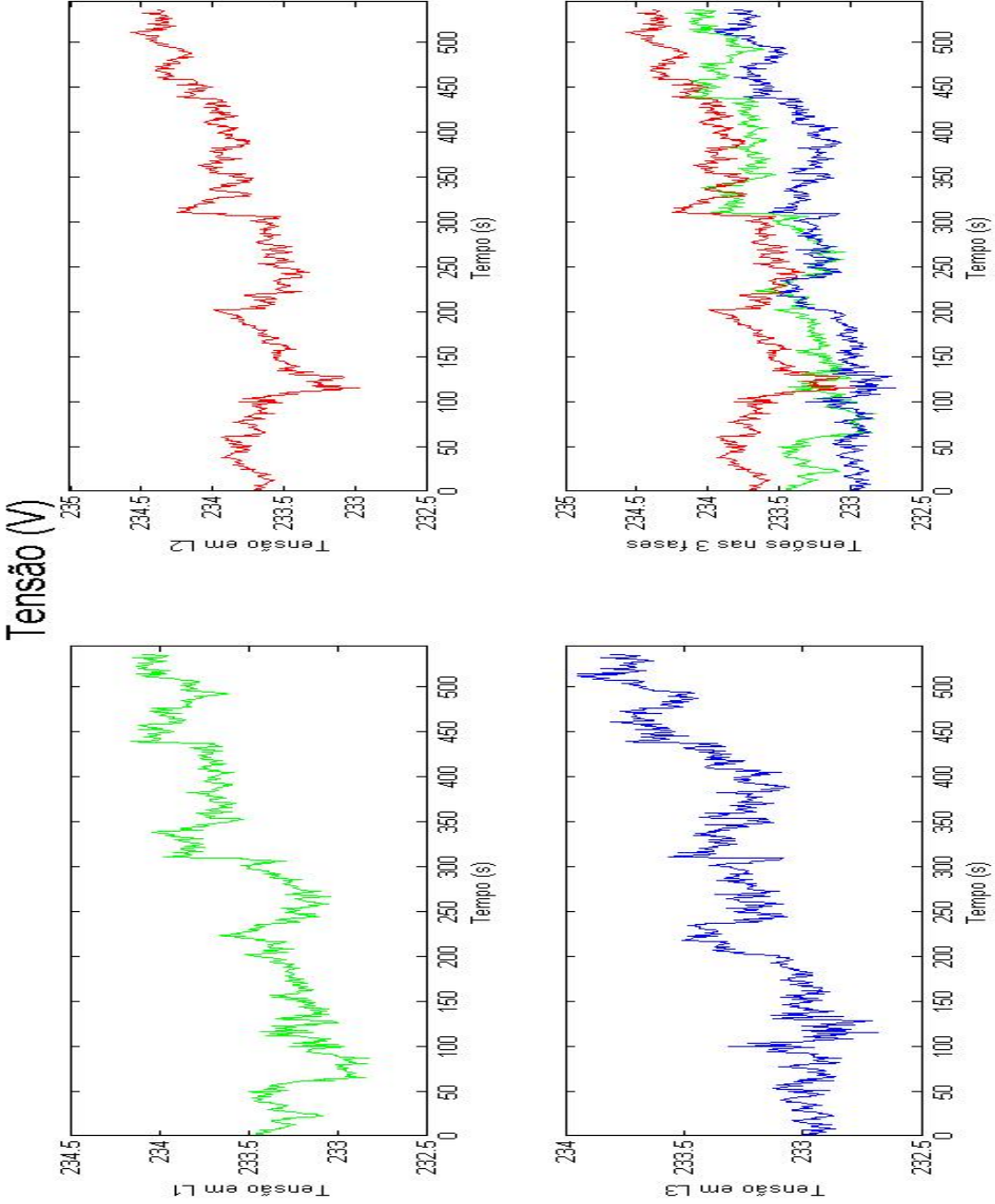
Carregamento 2



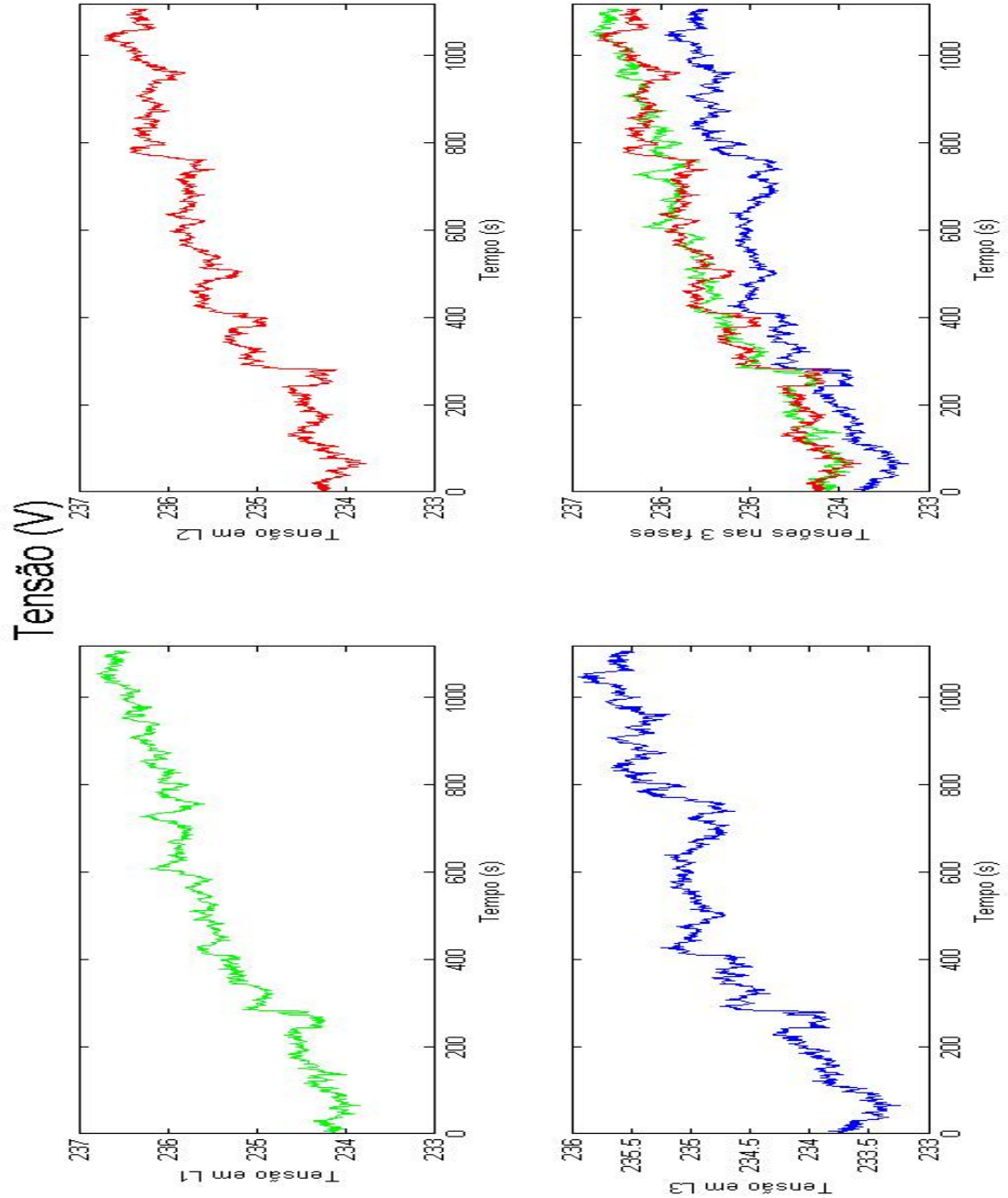
Carregamento 3



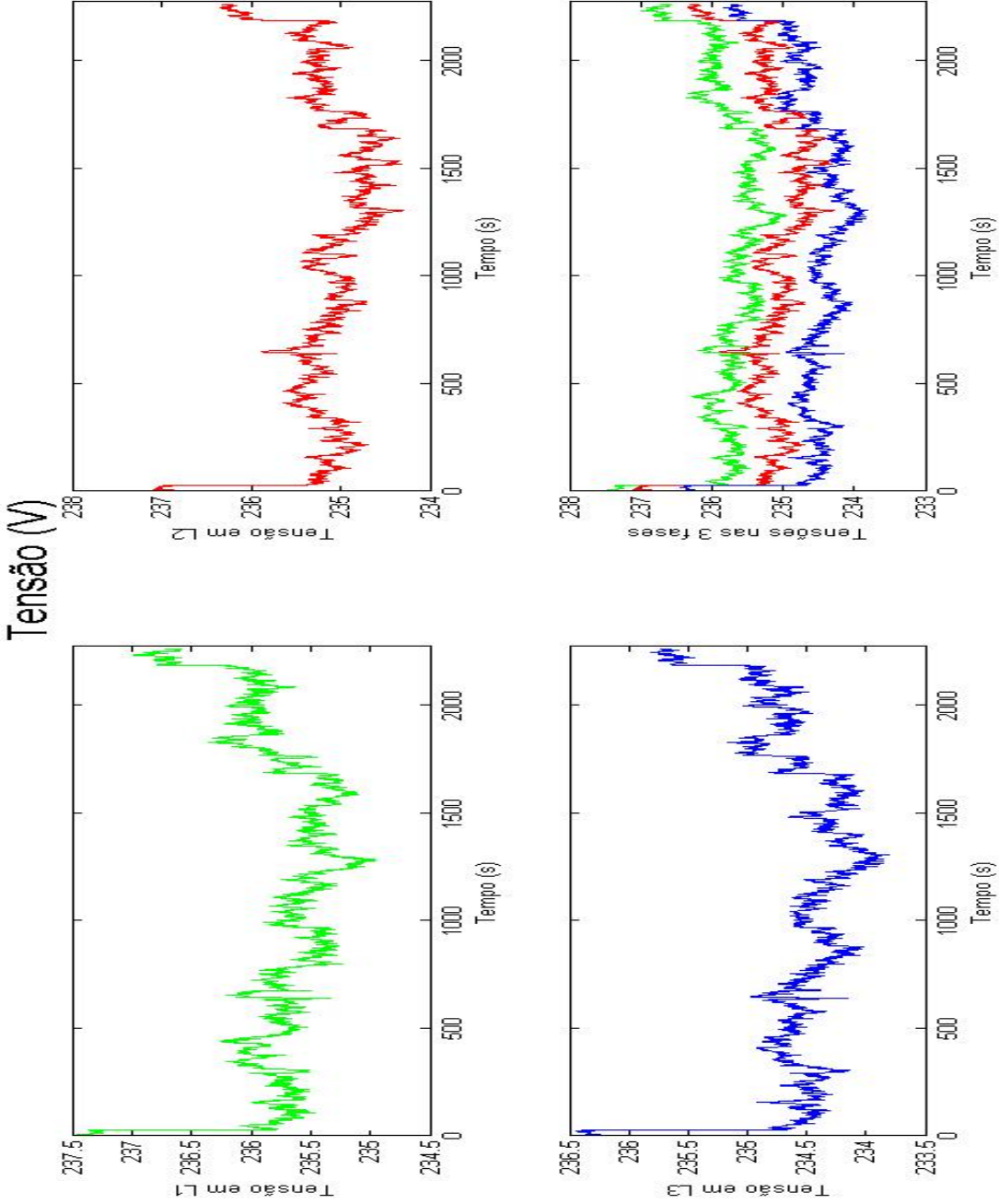
Carregamento 4



Carregamento 5

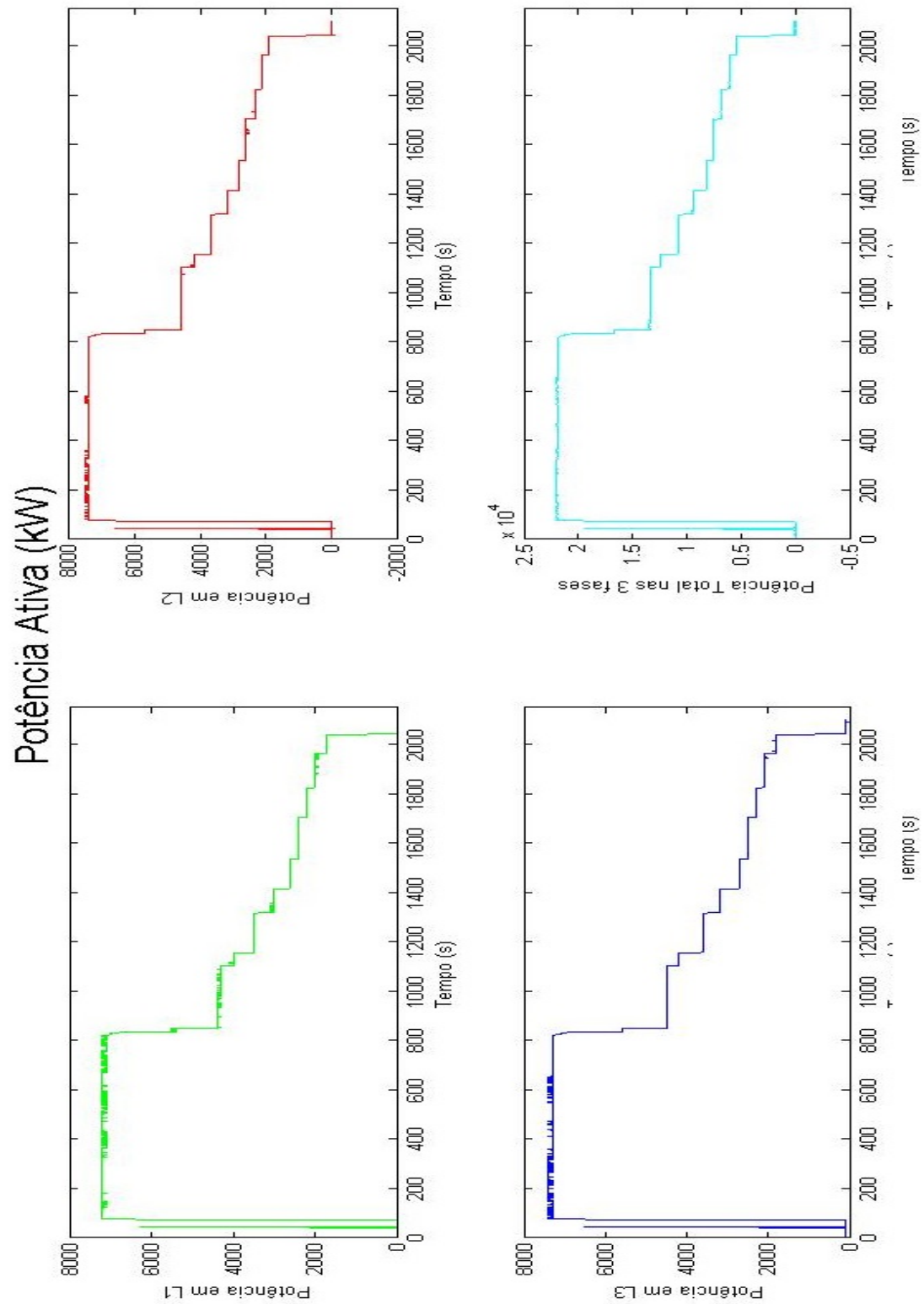


Carregamento 6



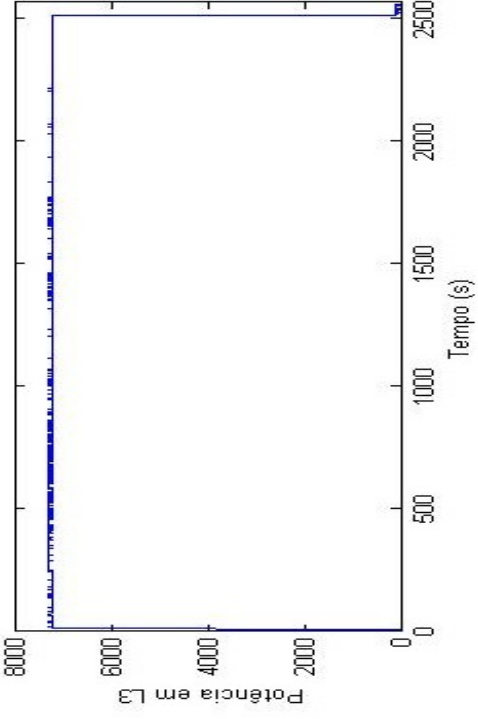
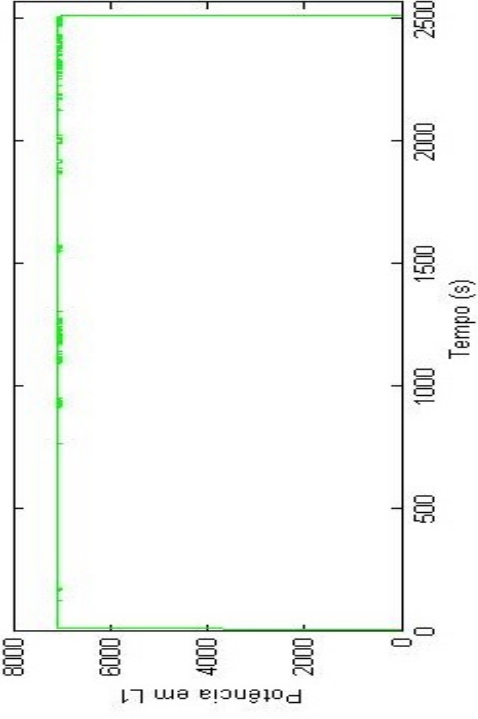
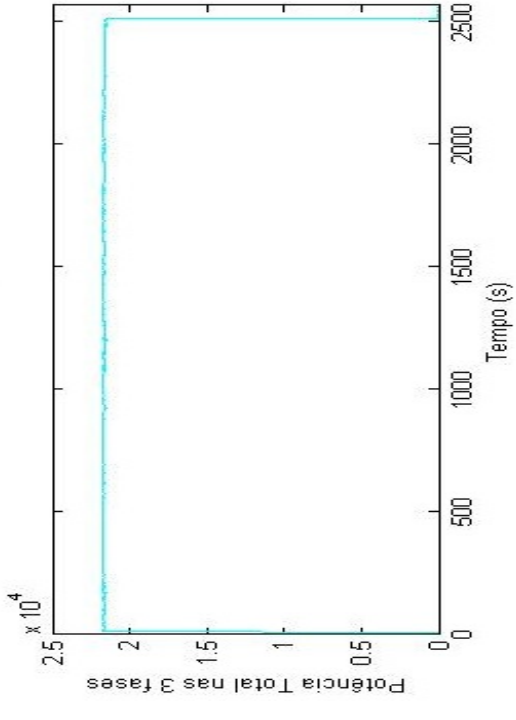
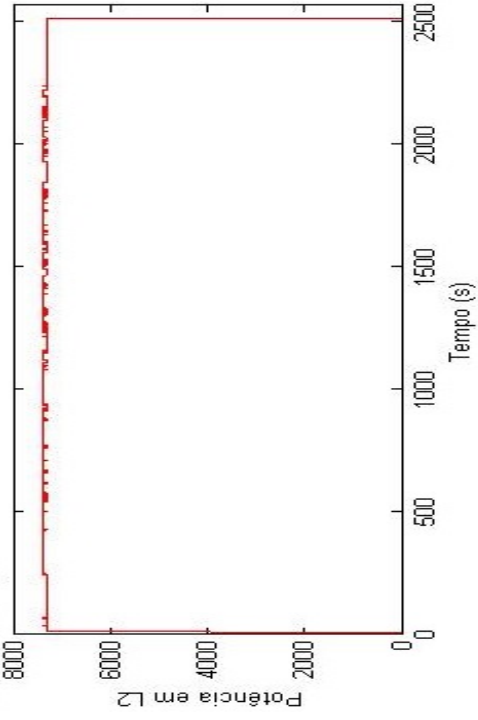
Potência Ativa

Carregamento 1

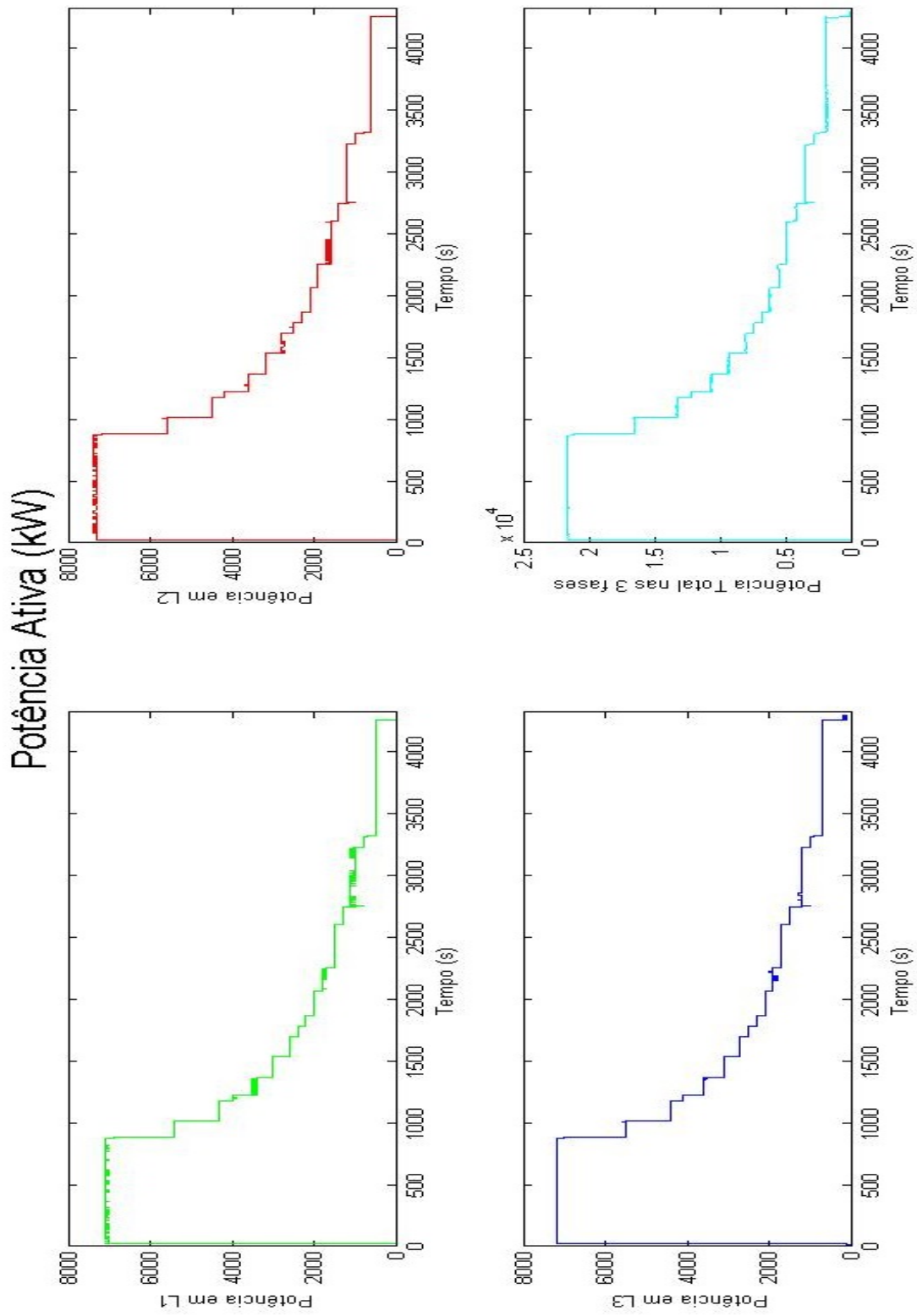


Carregamento 2

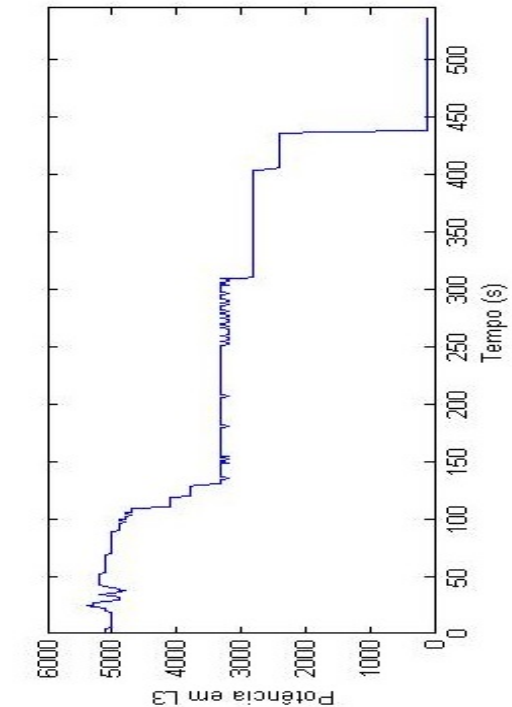
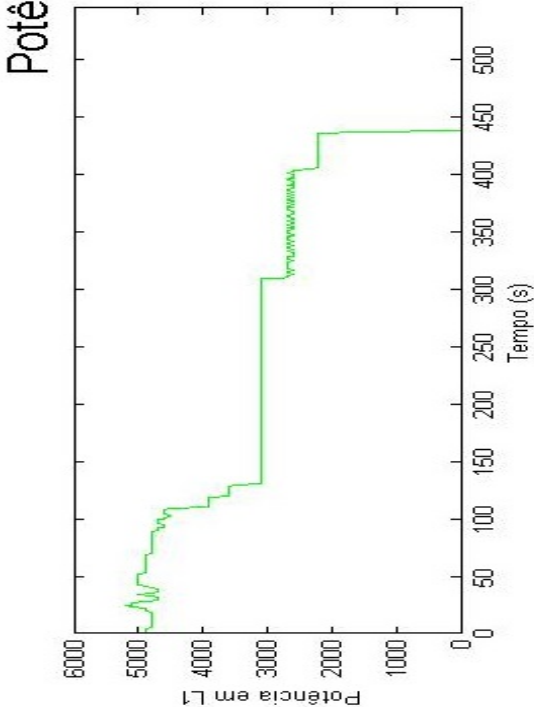
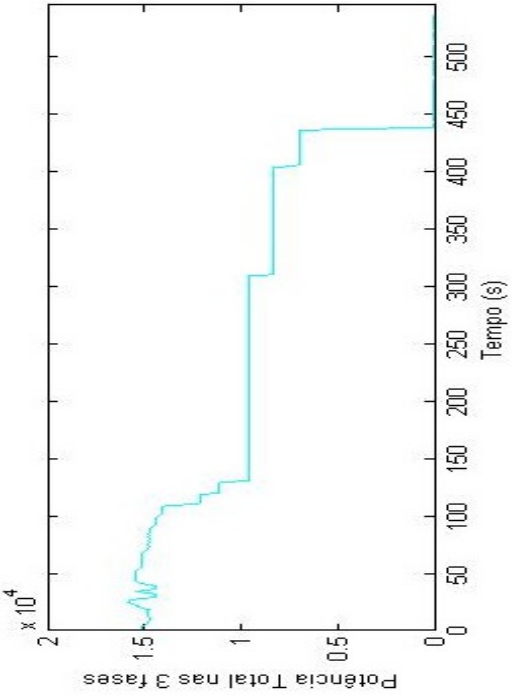
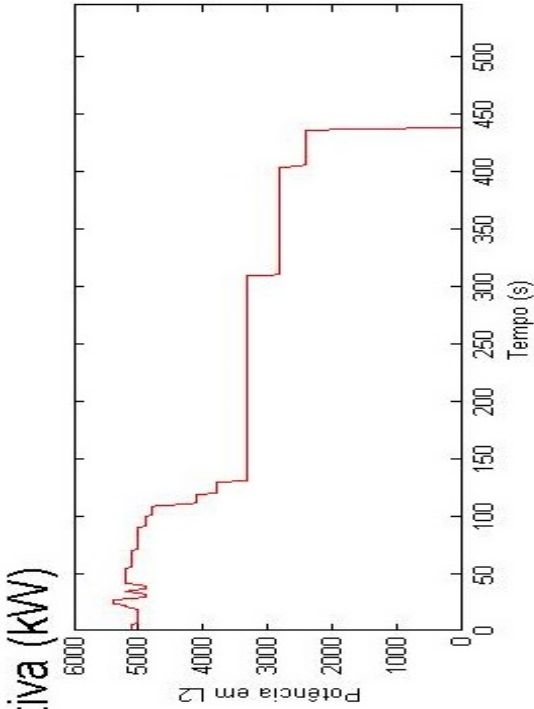
Potência Ativa (kW)



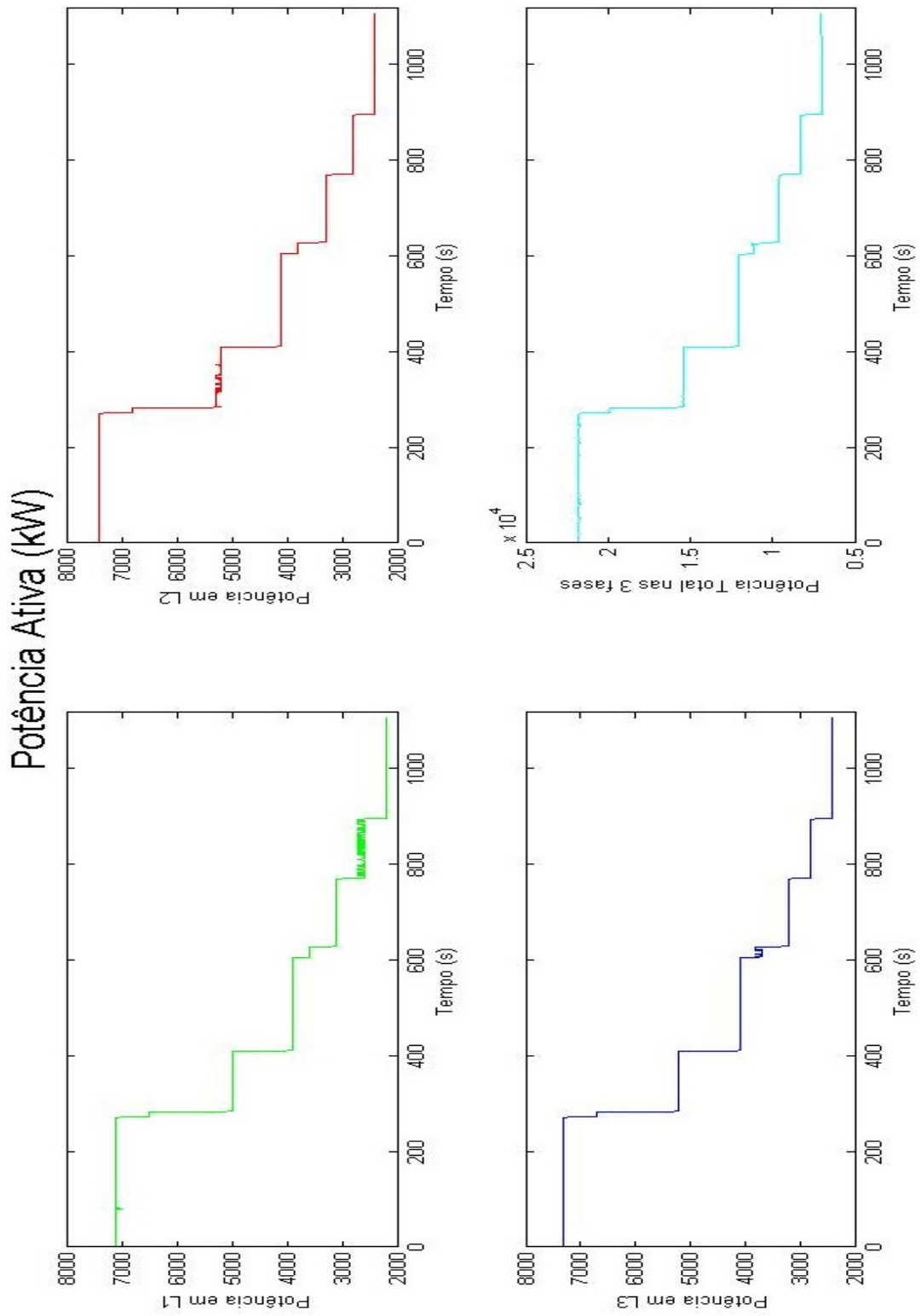
Carregamento 3



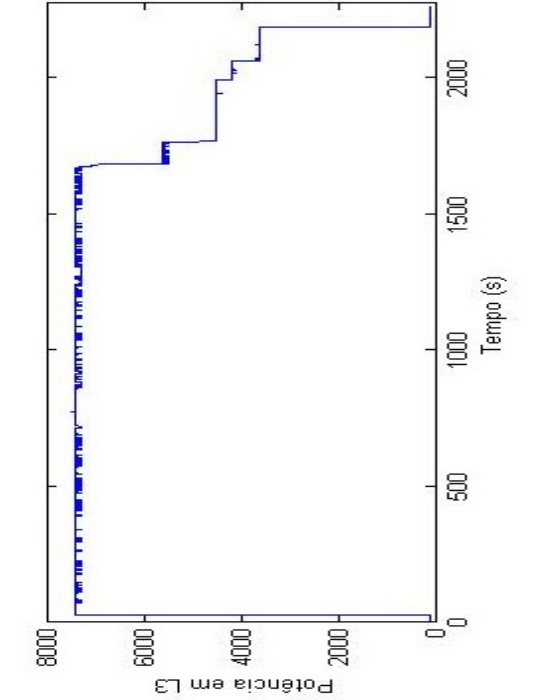
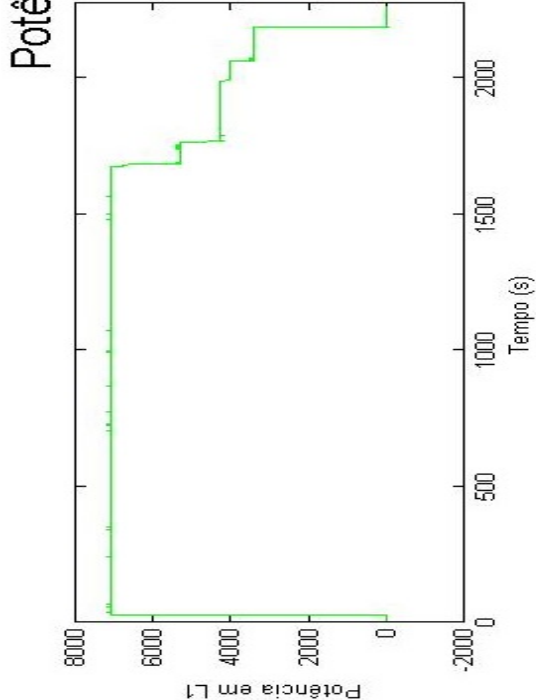
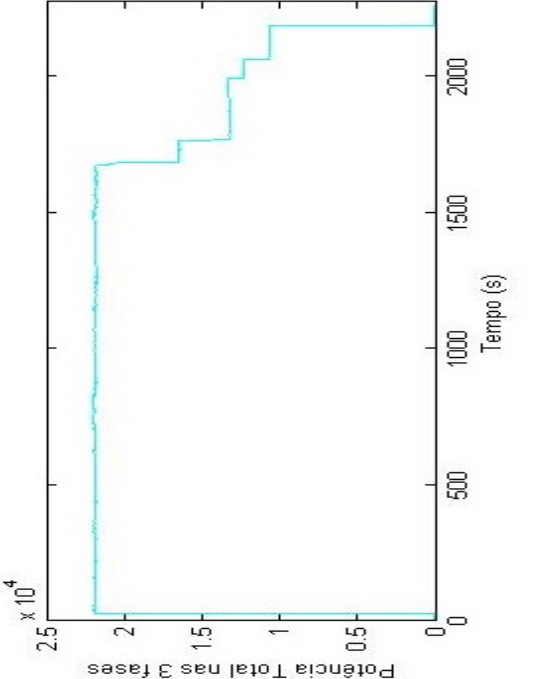
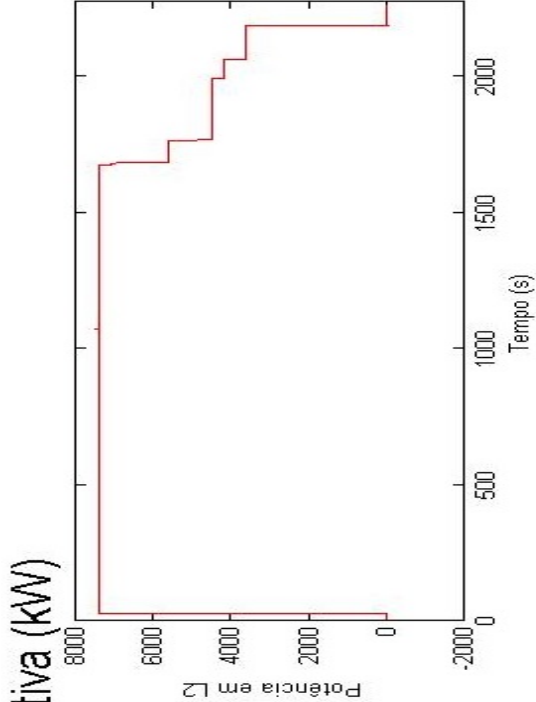
Carregamento 4



Carregamento 5

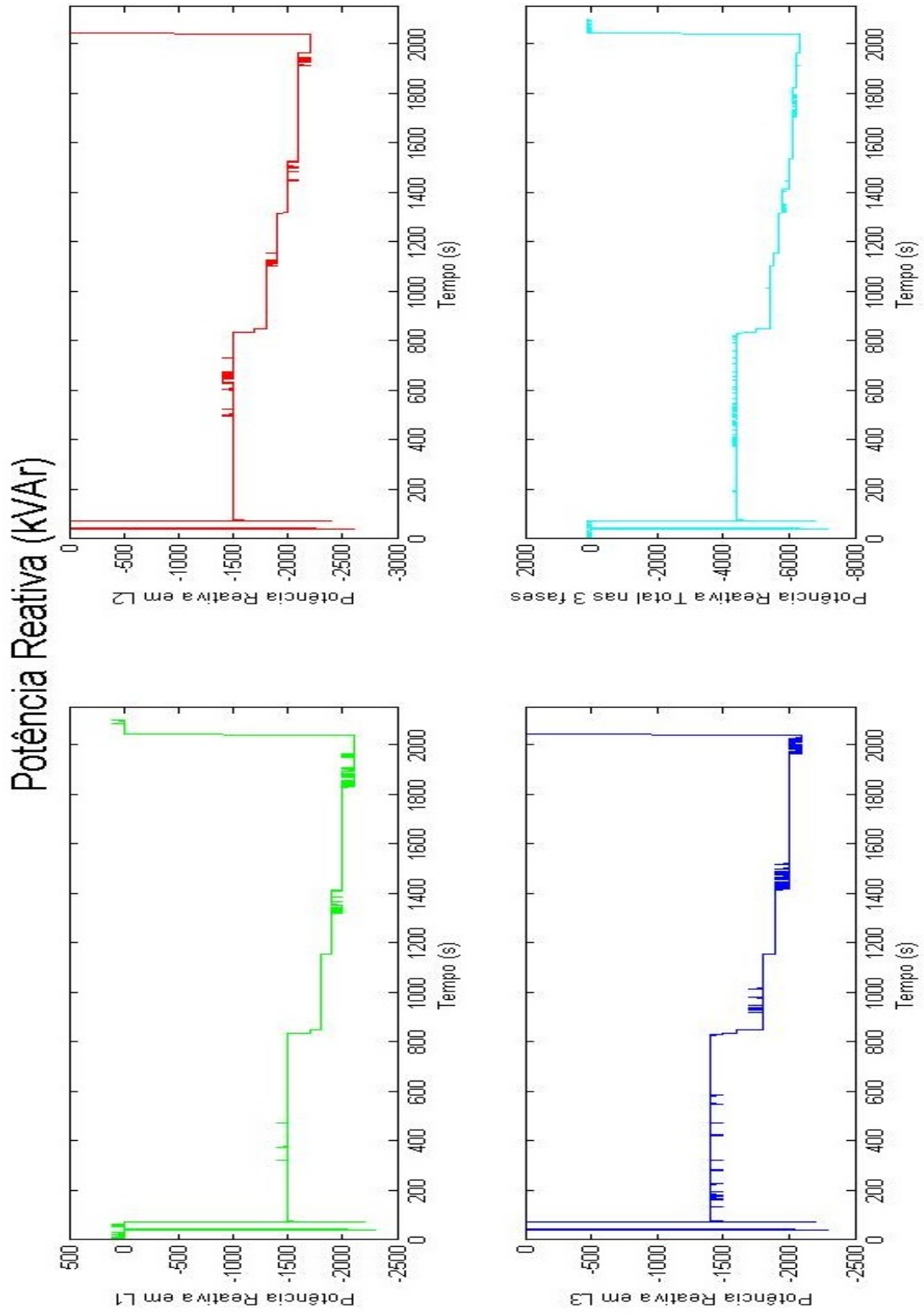


Carregamento 6



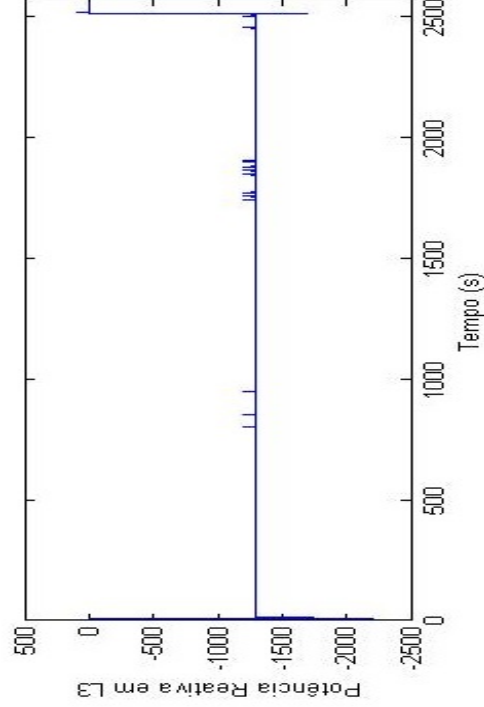
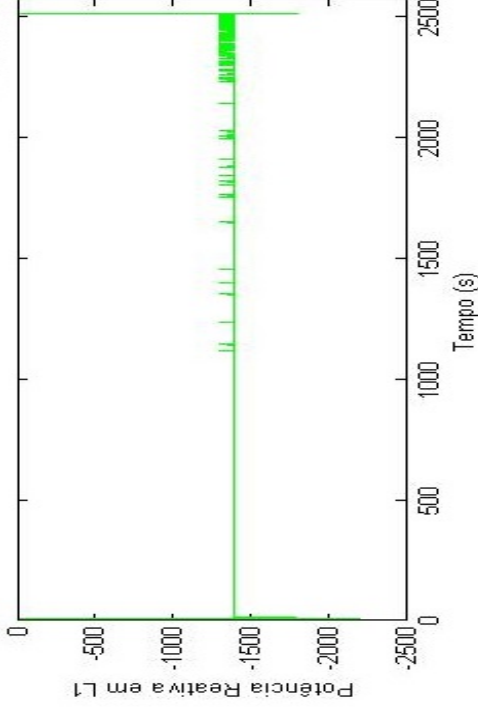
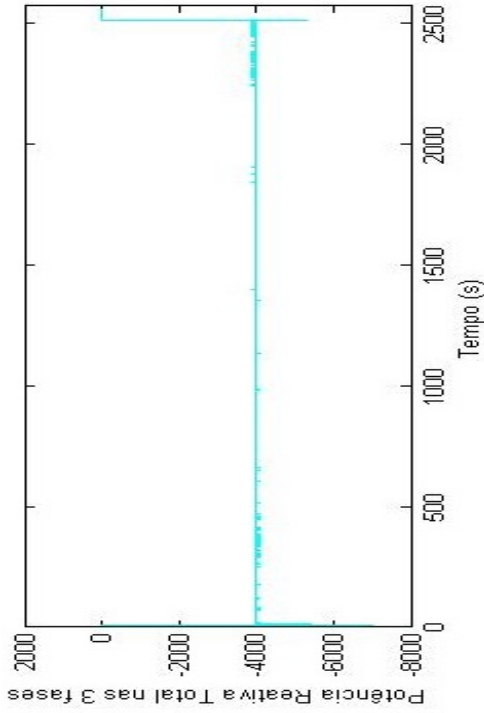
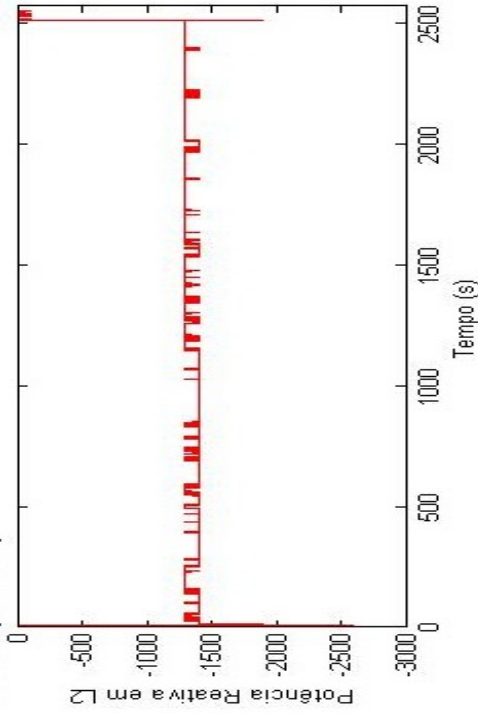
Potência Reativa

Carregamento 1

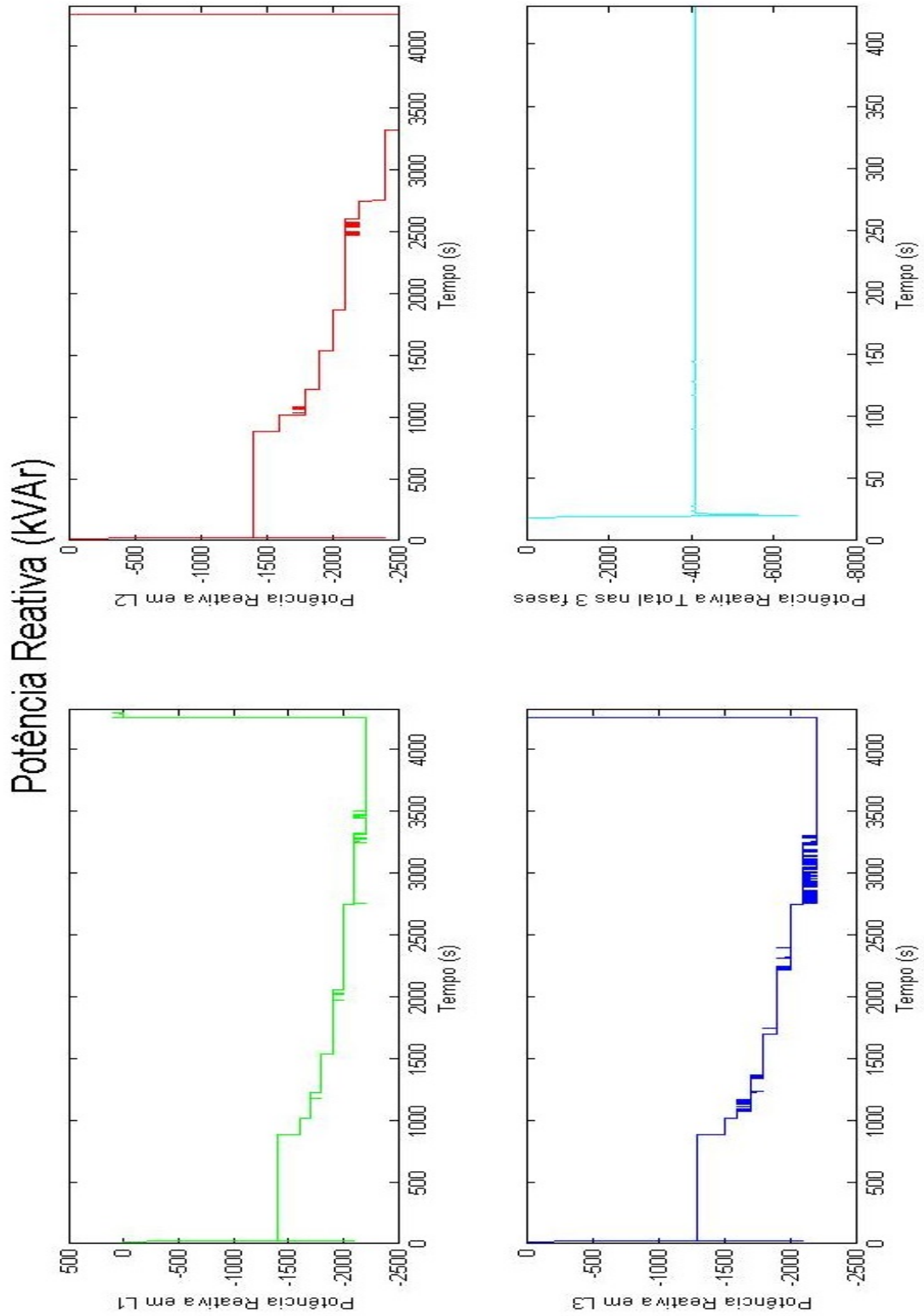


Carregamento 2

Potência Reativa (kVAR)

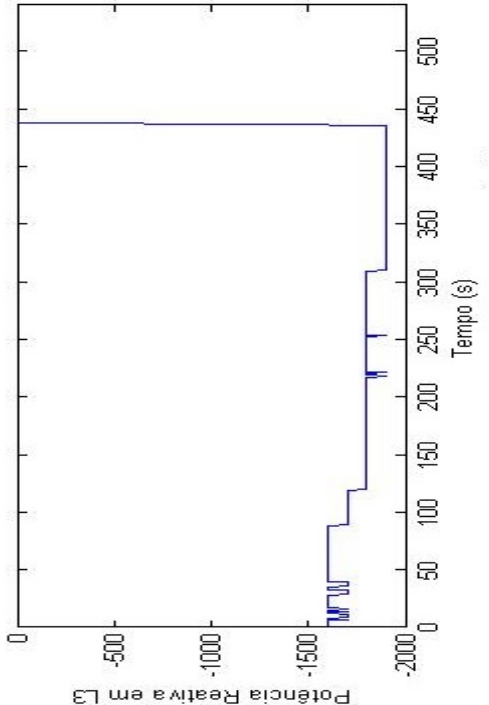
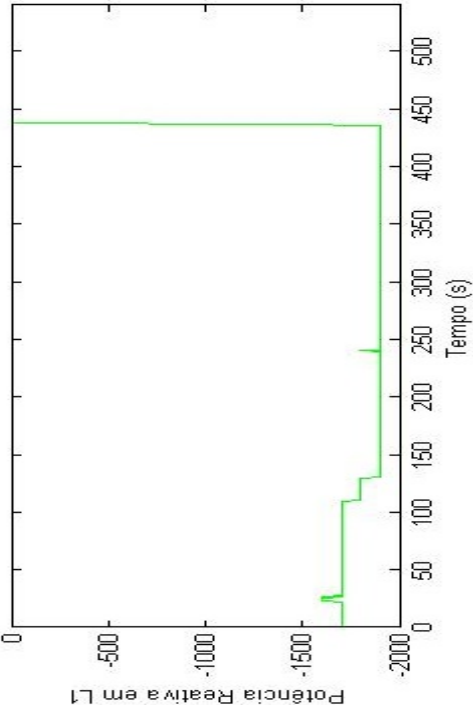
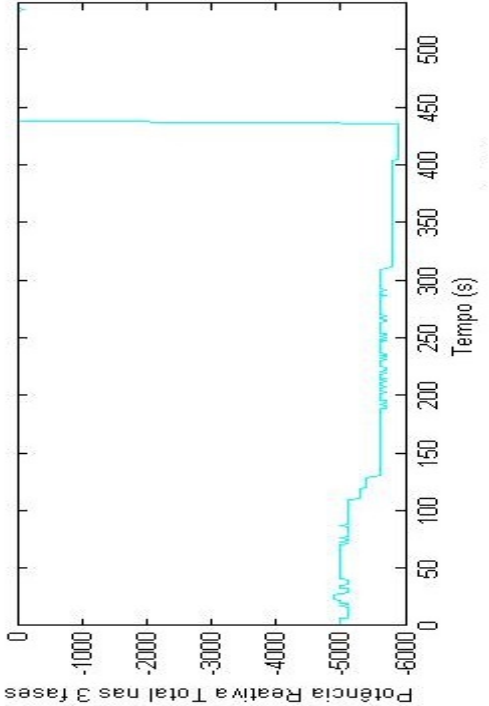
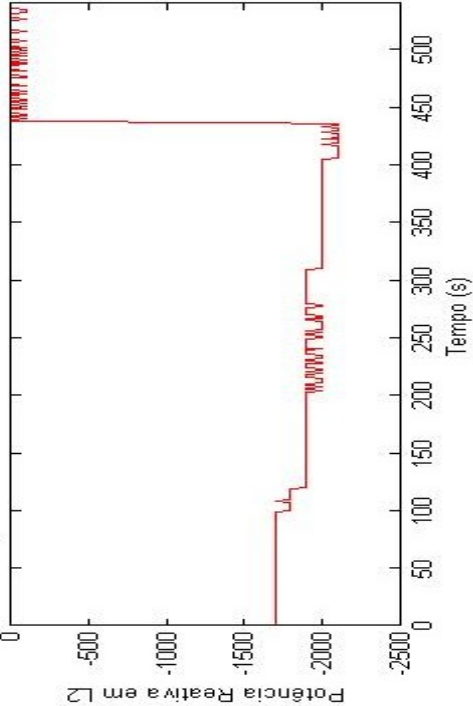


Carregamento 3

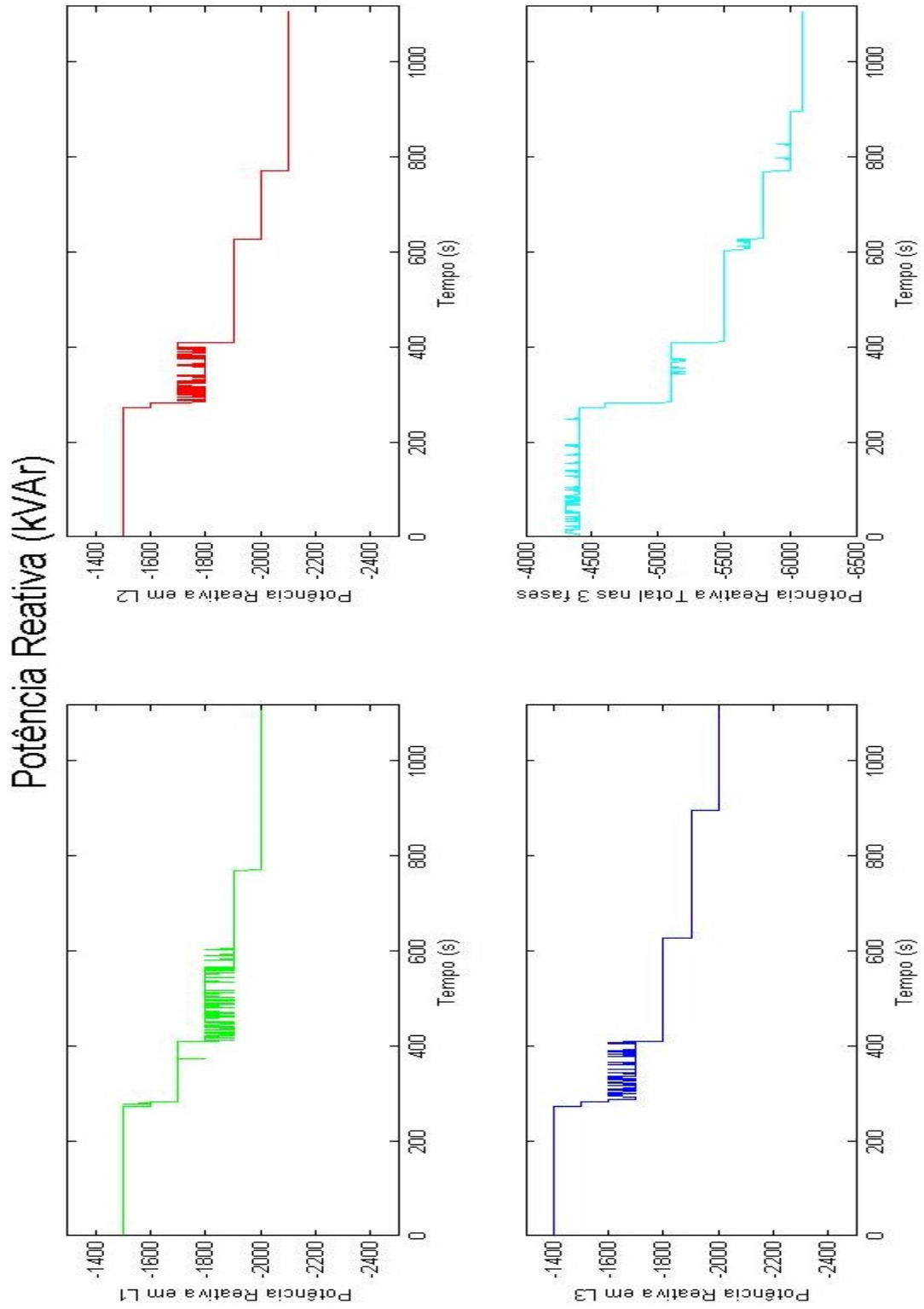


Carregamento 4

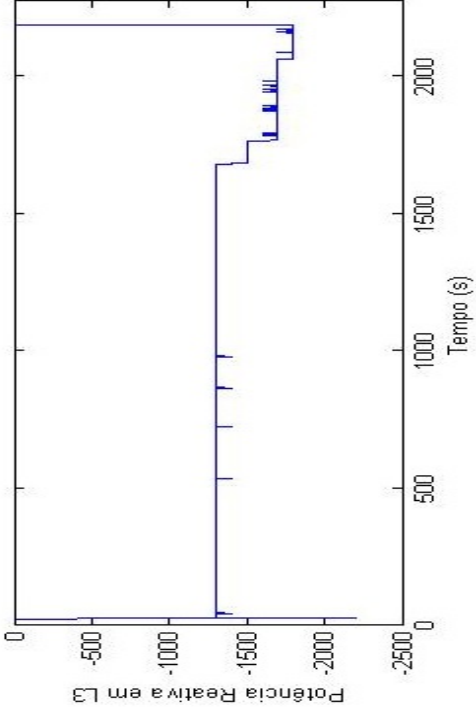
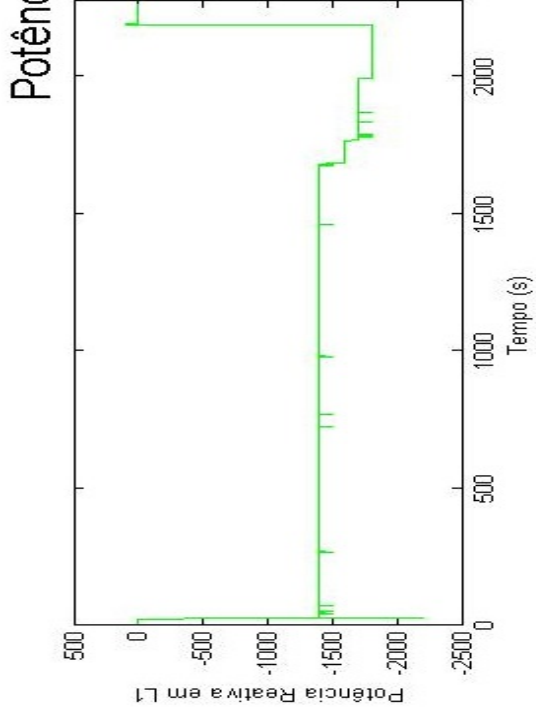
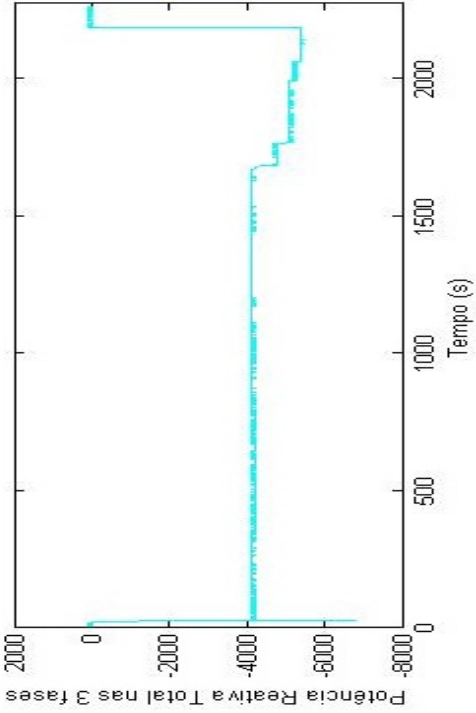
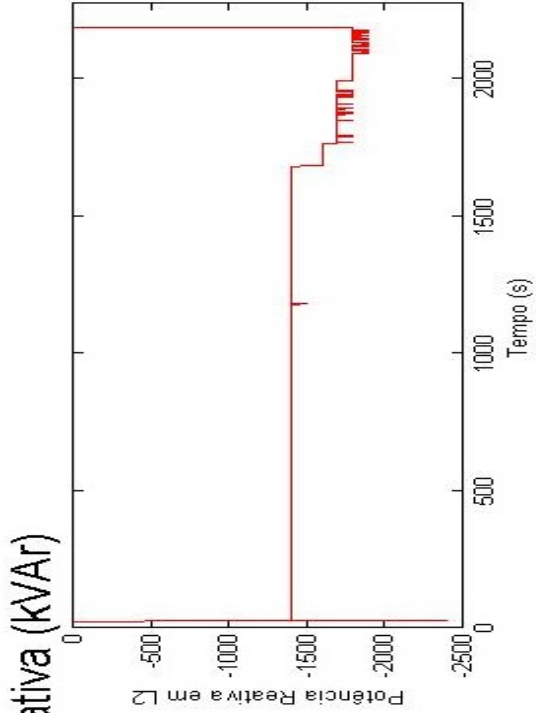
Potência Reativa (kVAR)



Carregamento 5

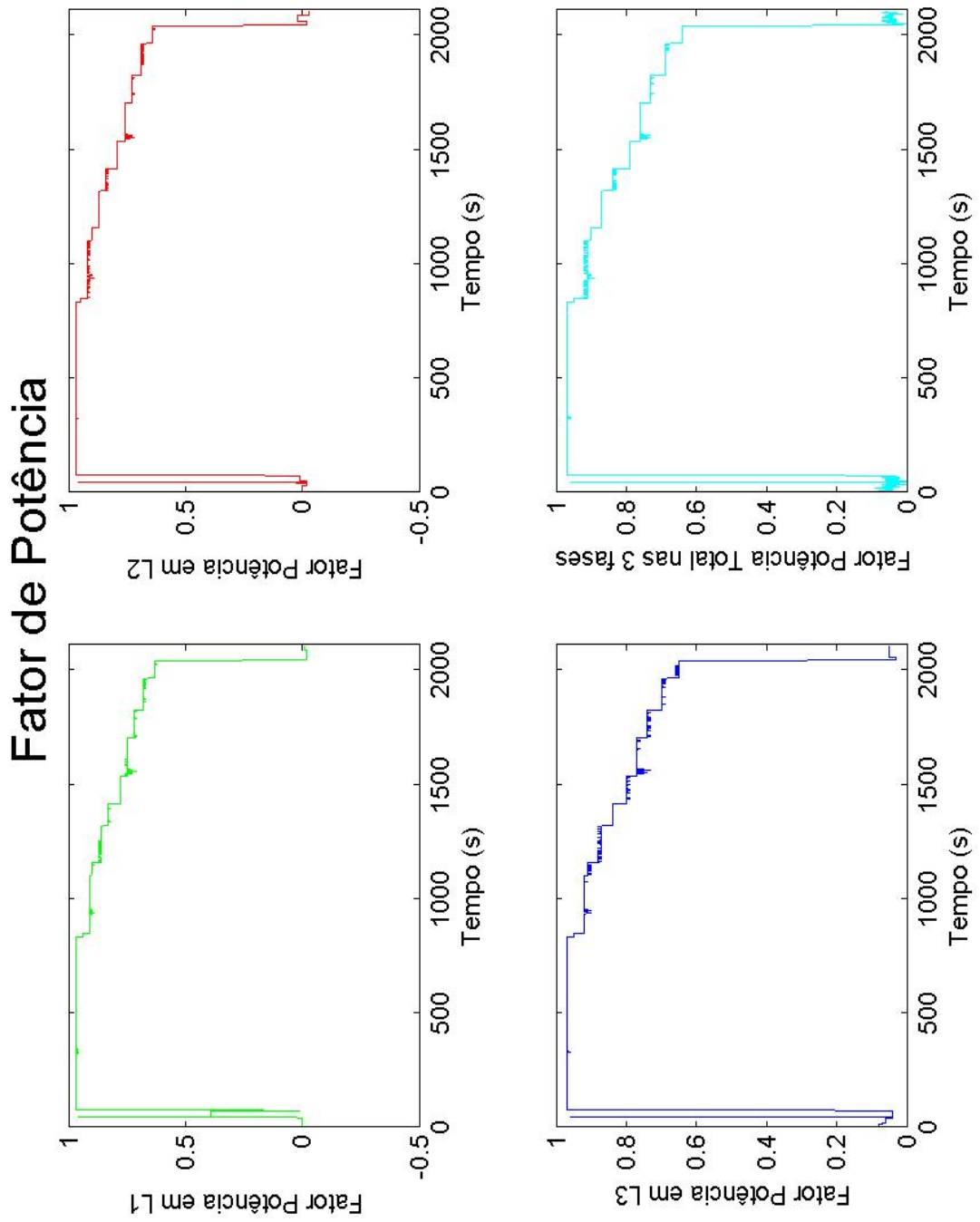


Carregamento 6

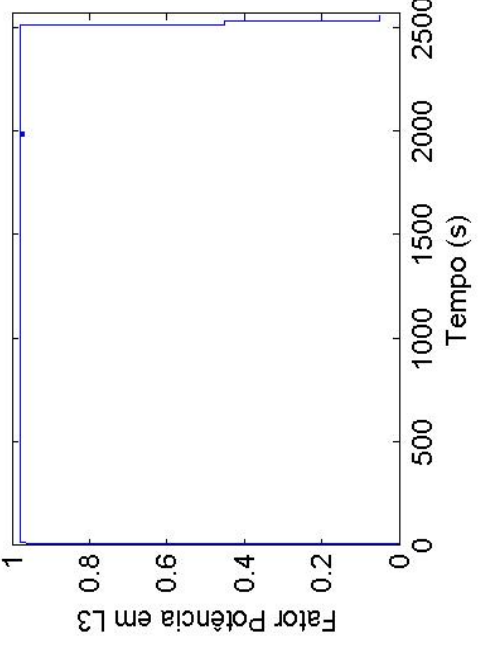
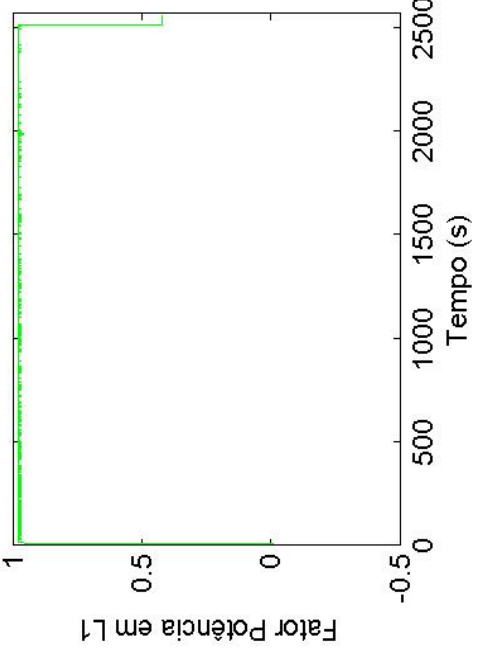
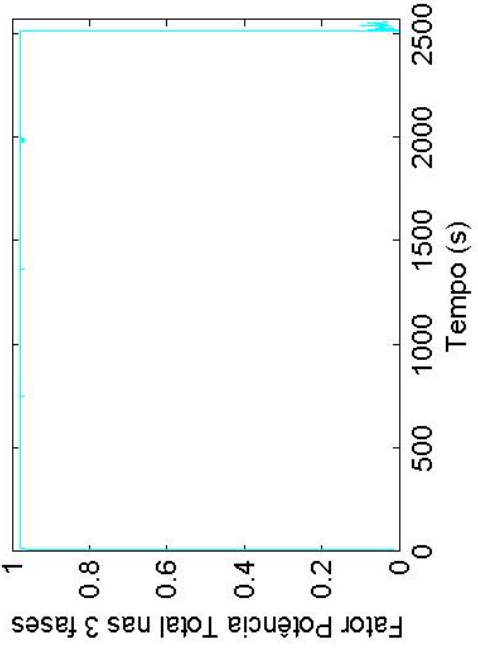
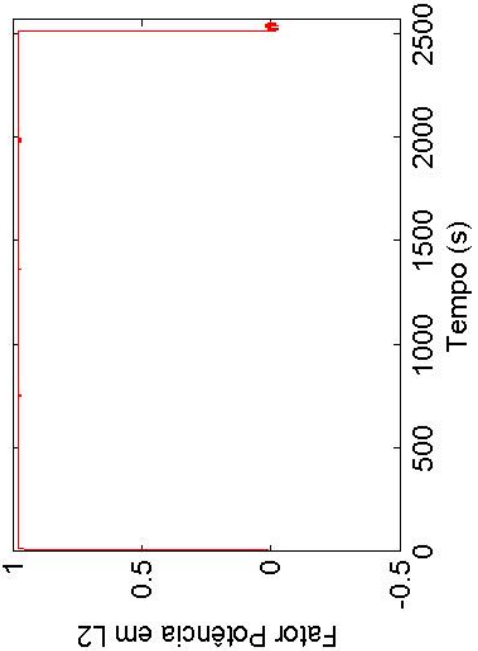


Fator de Potência

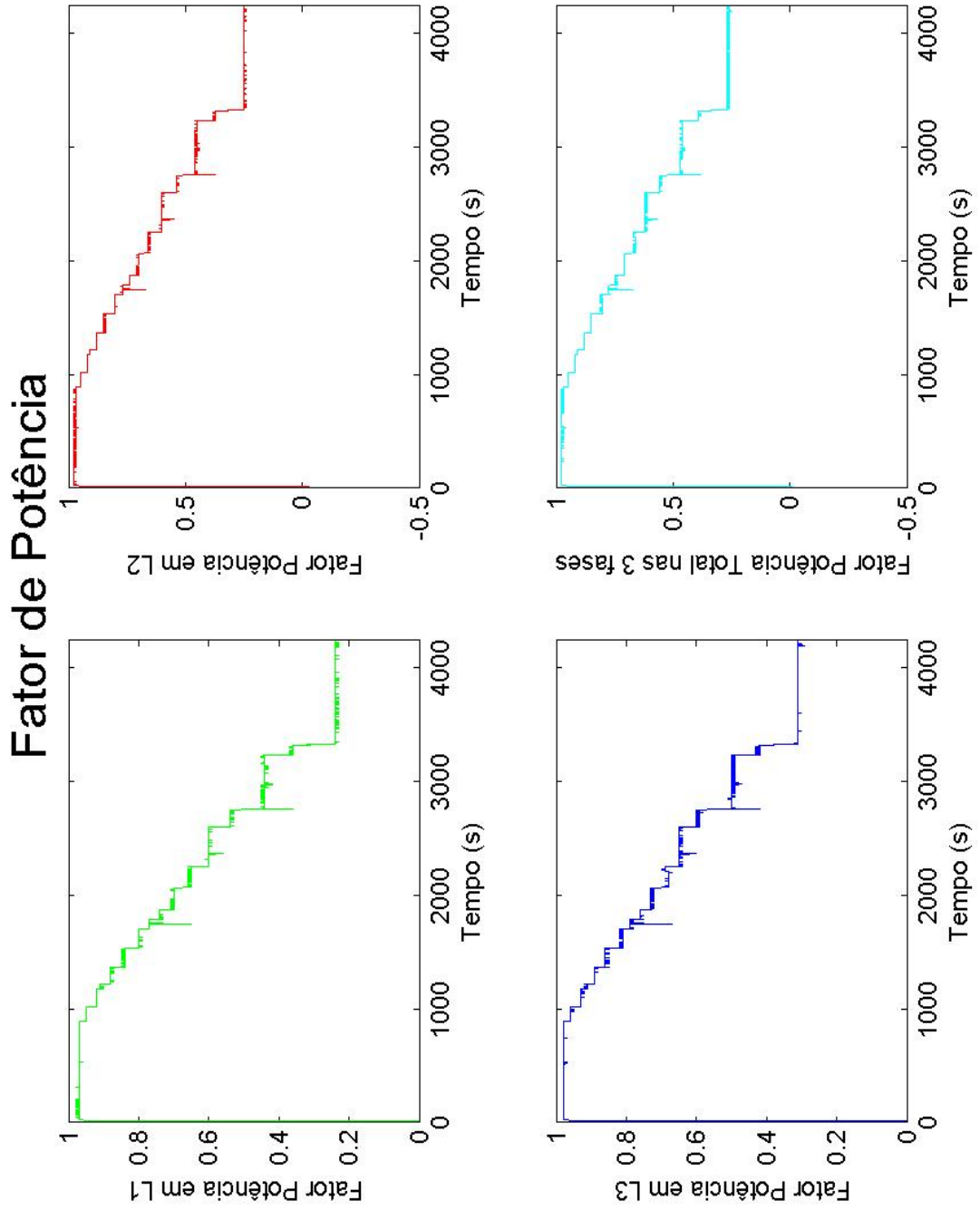
Carregamento 1



Fator de Potência

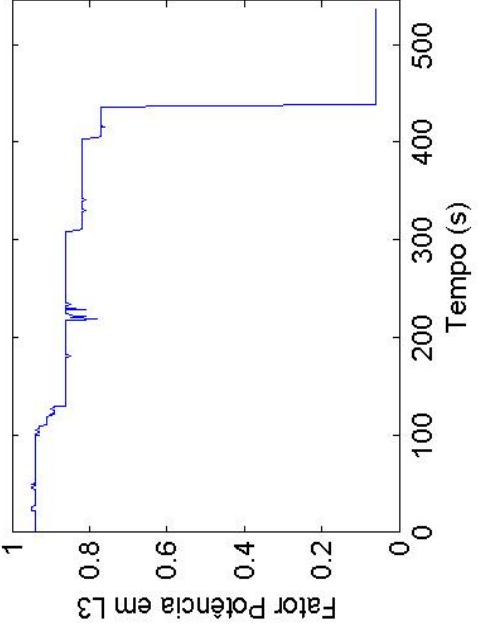
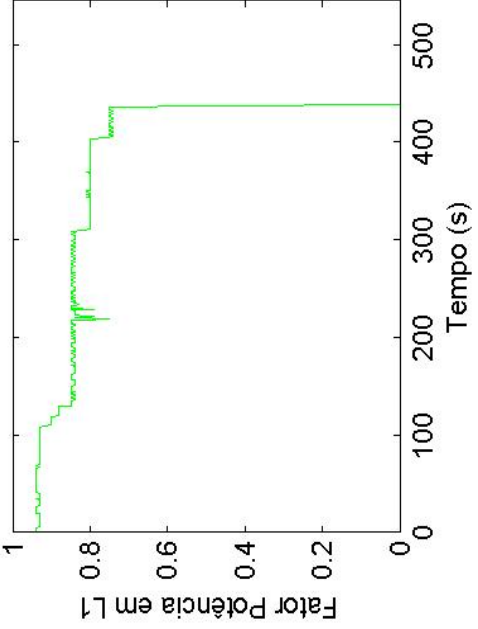
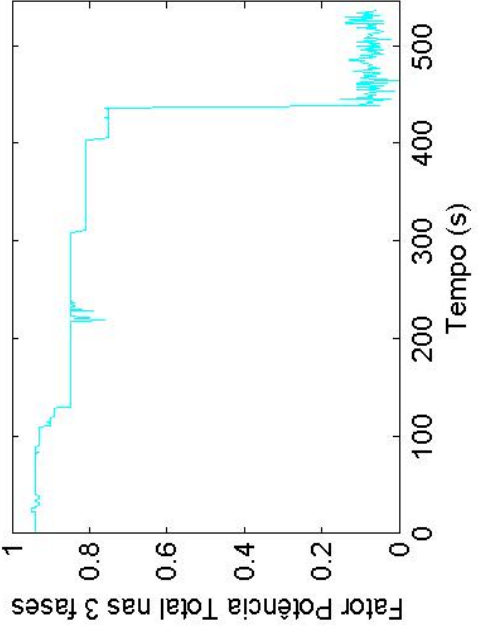
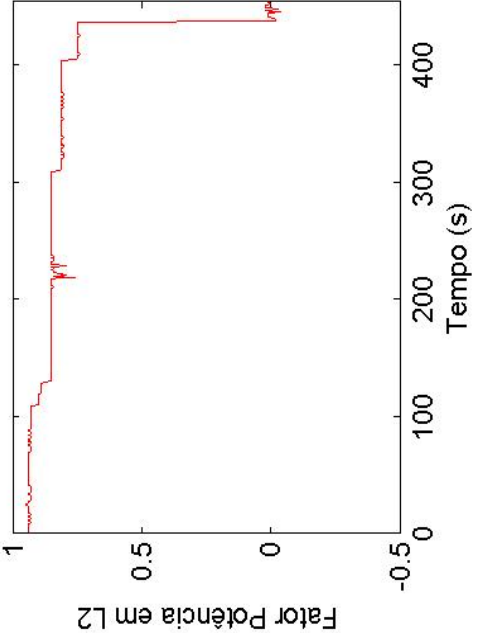


Carregamento 3

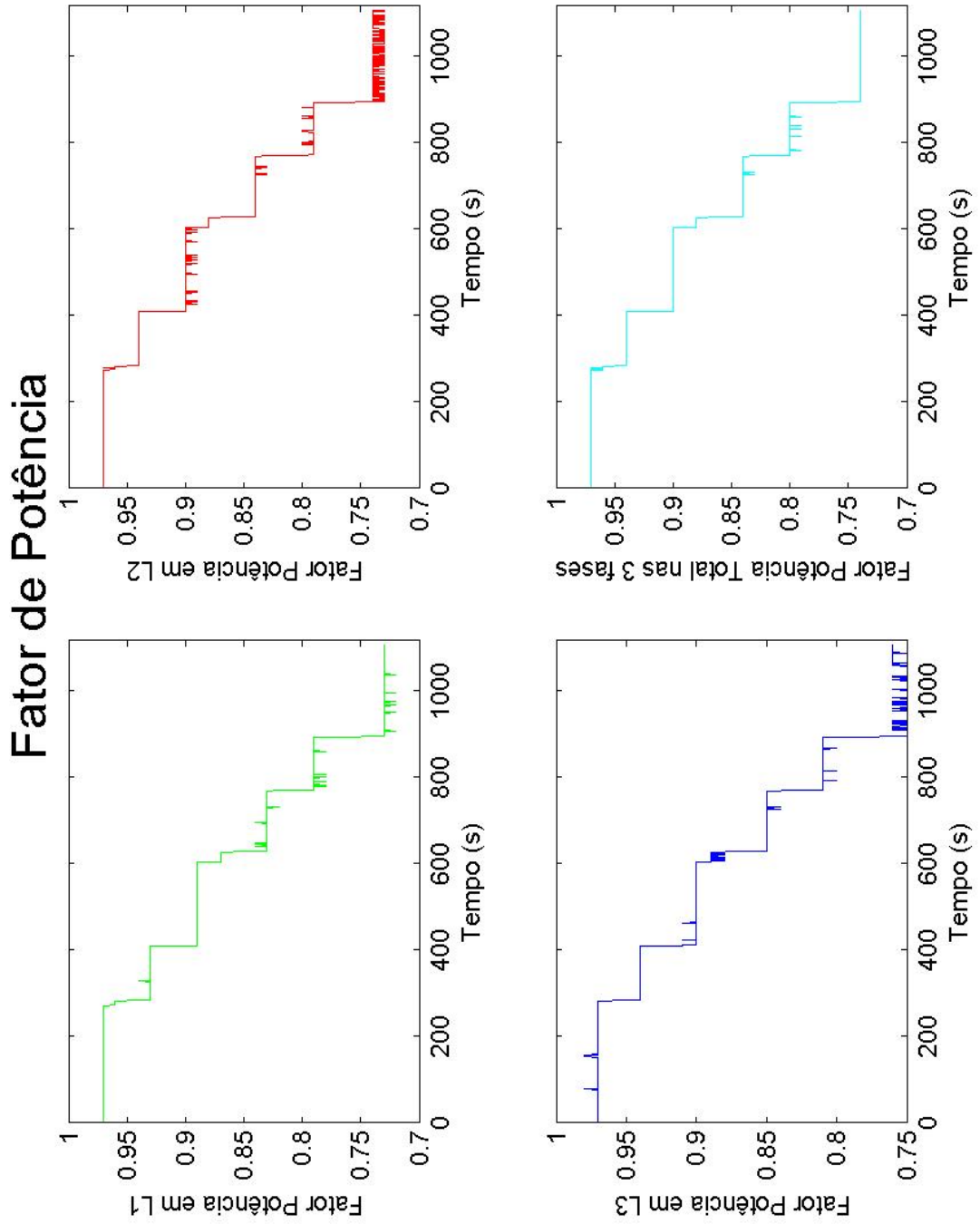


Carregamento 4

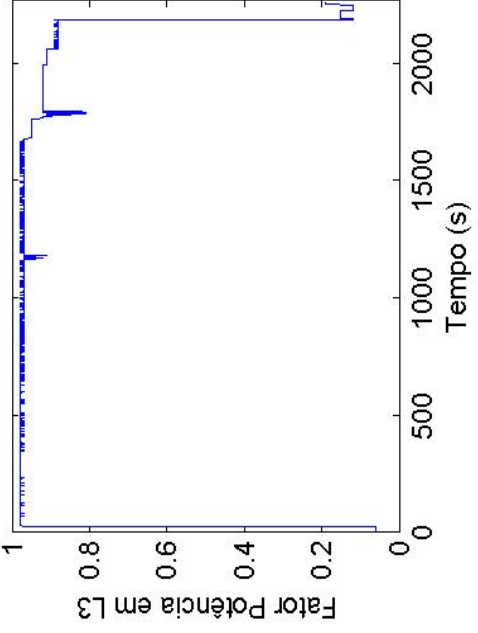
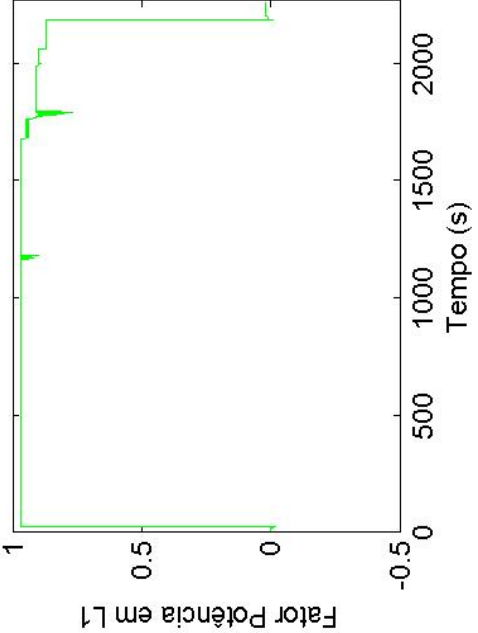
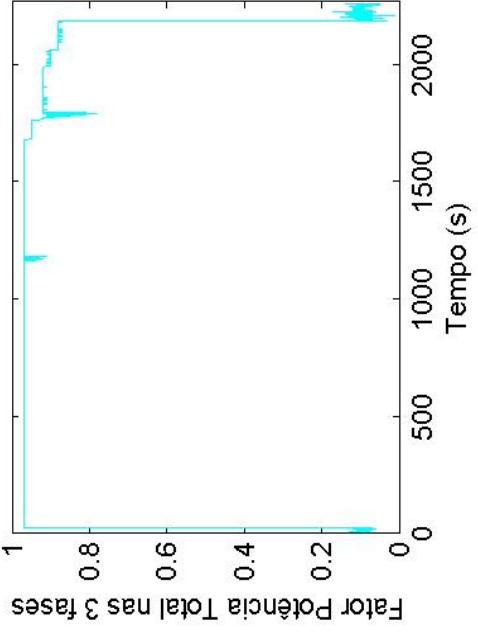
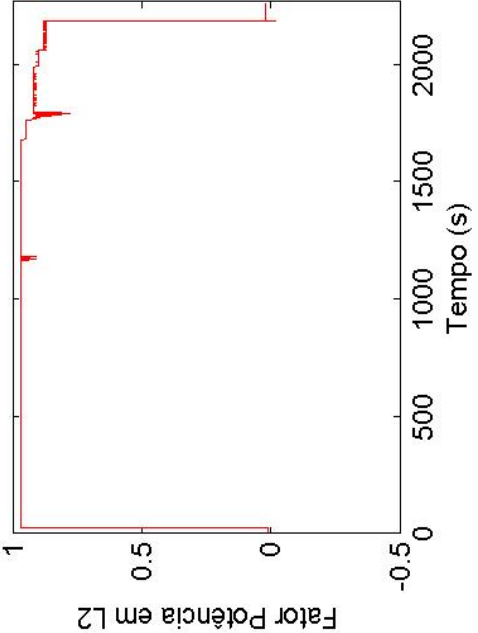
Fator de Potência



Carregamento 5

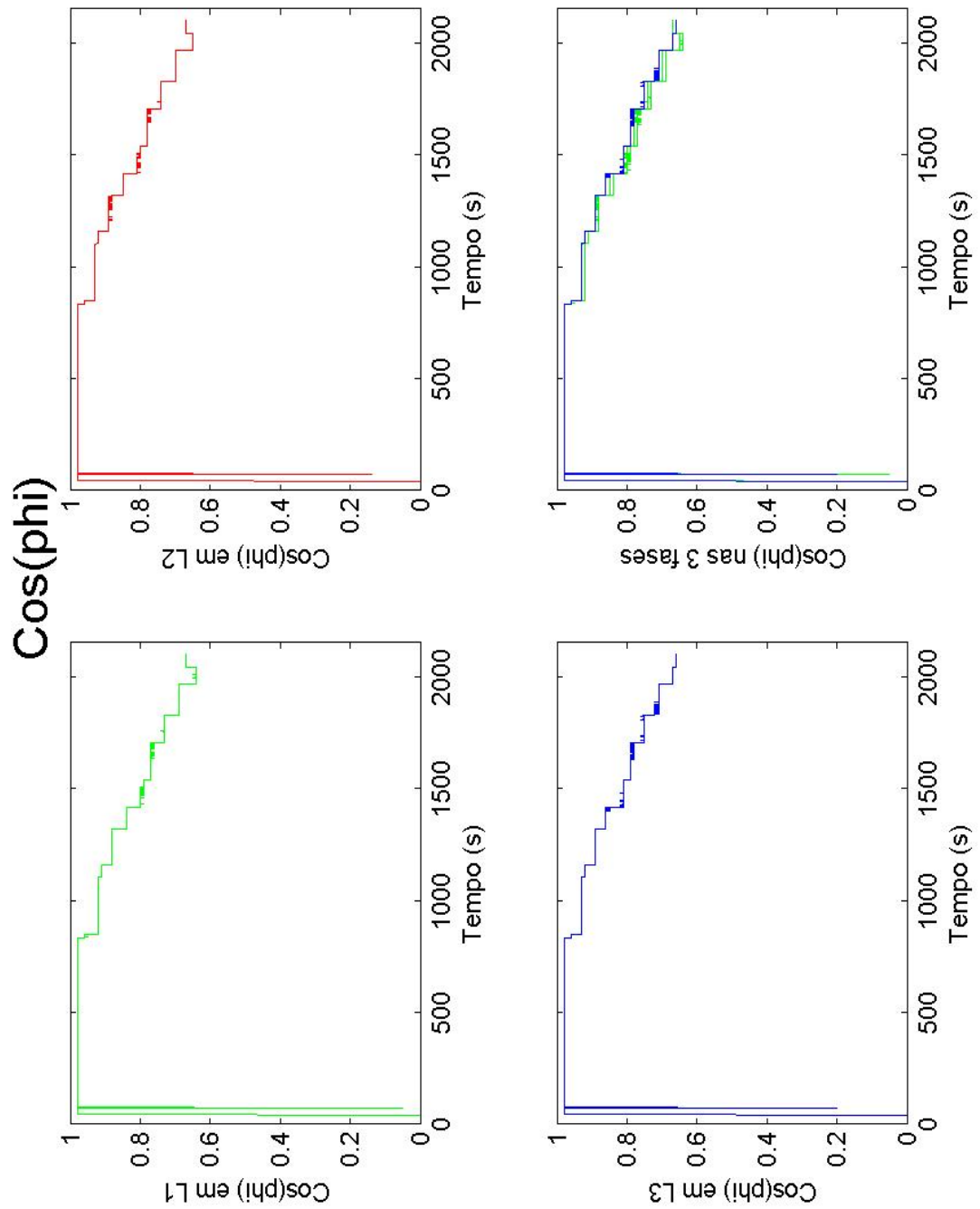


Fator de Potência

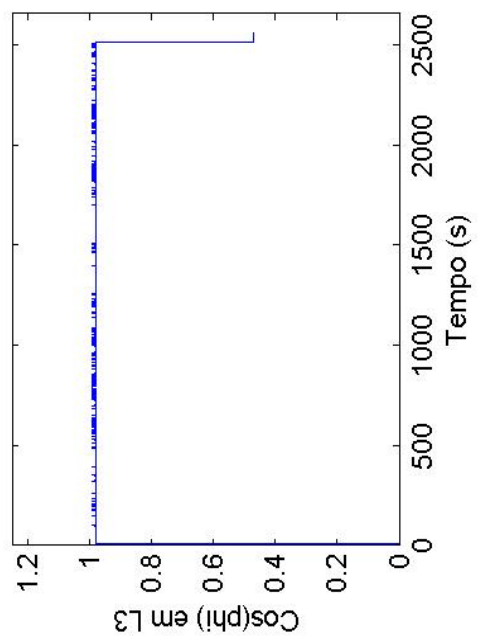
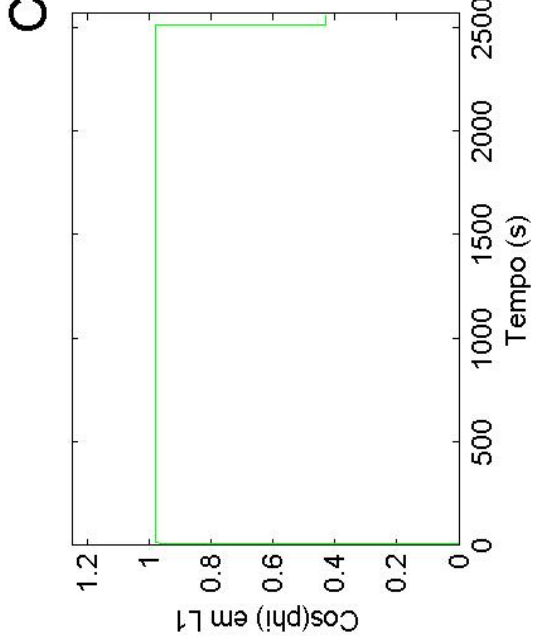
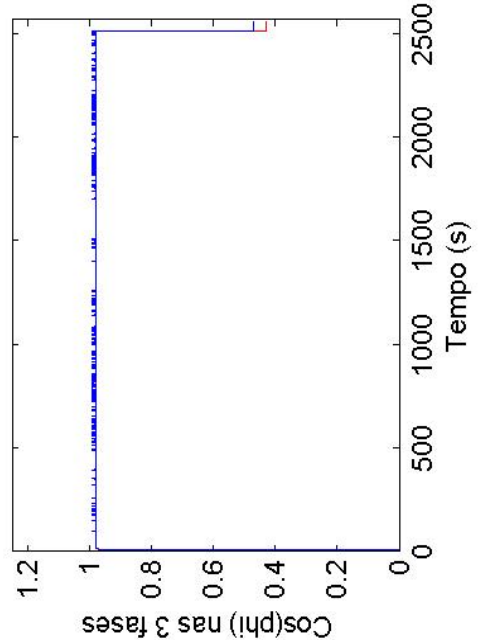
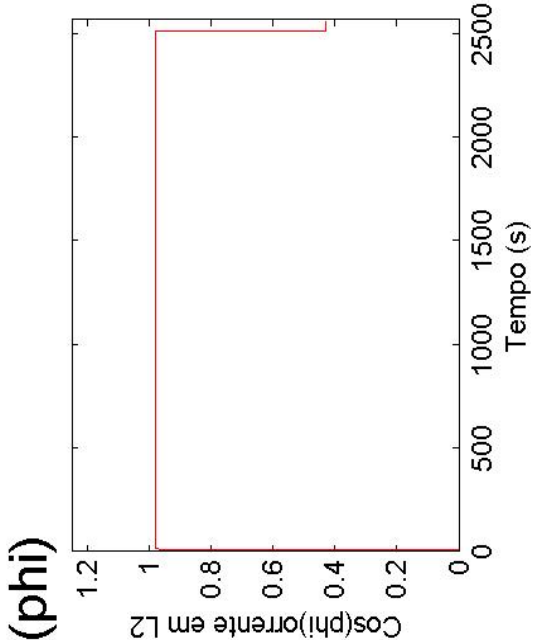


Ângulo

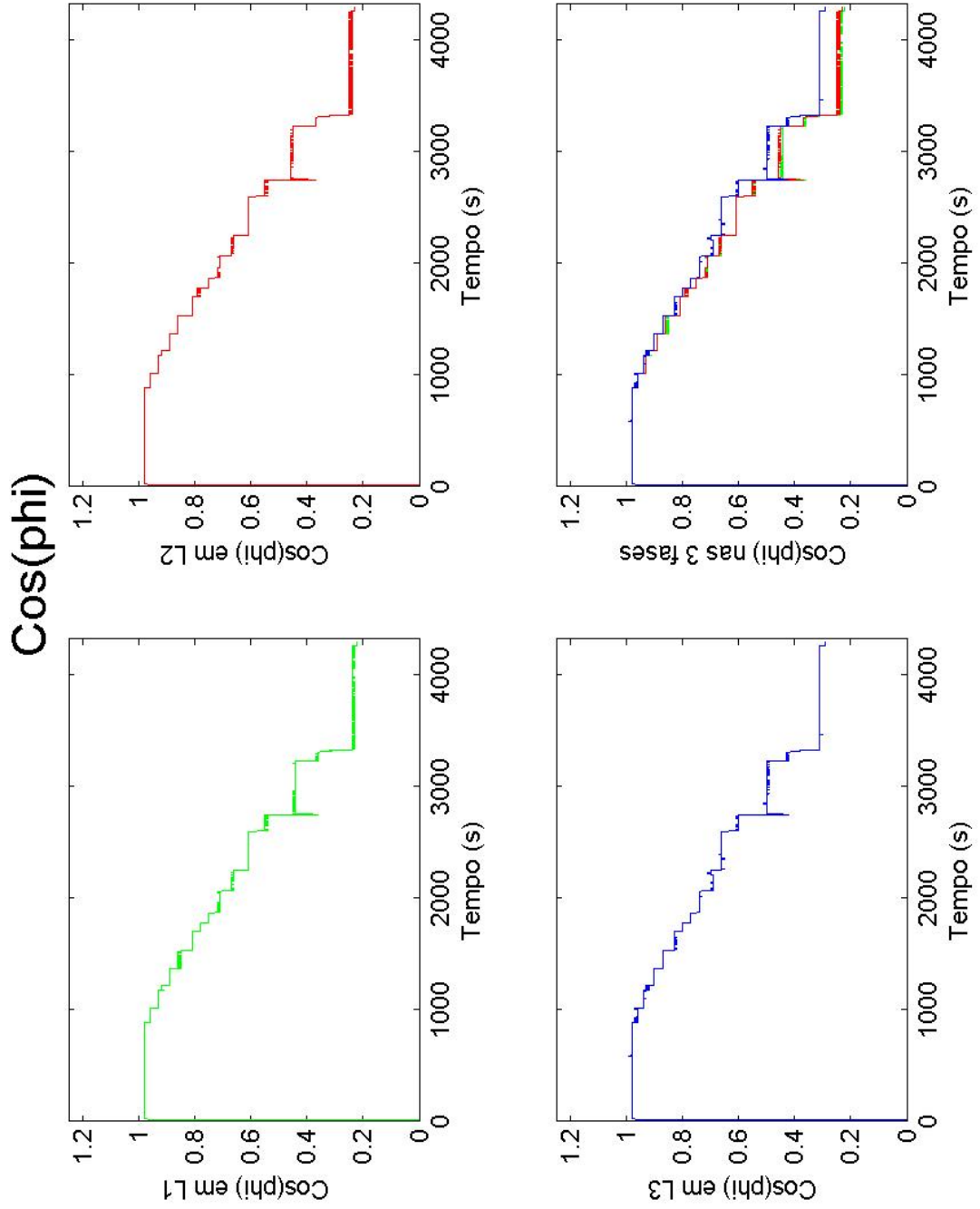
Carregamento 1



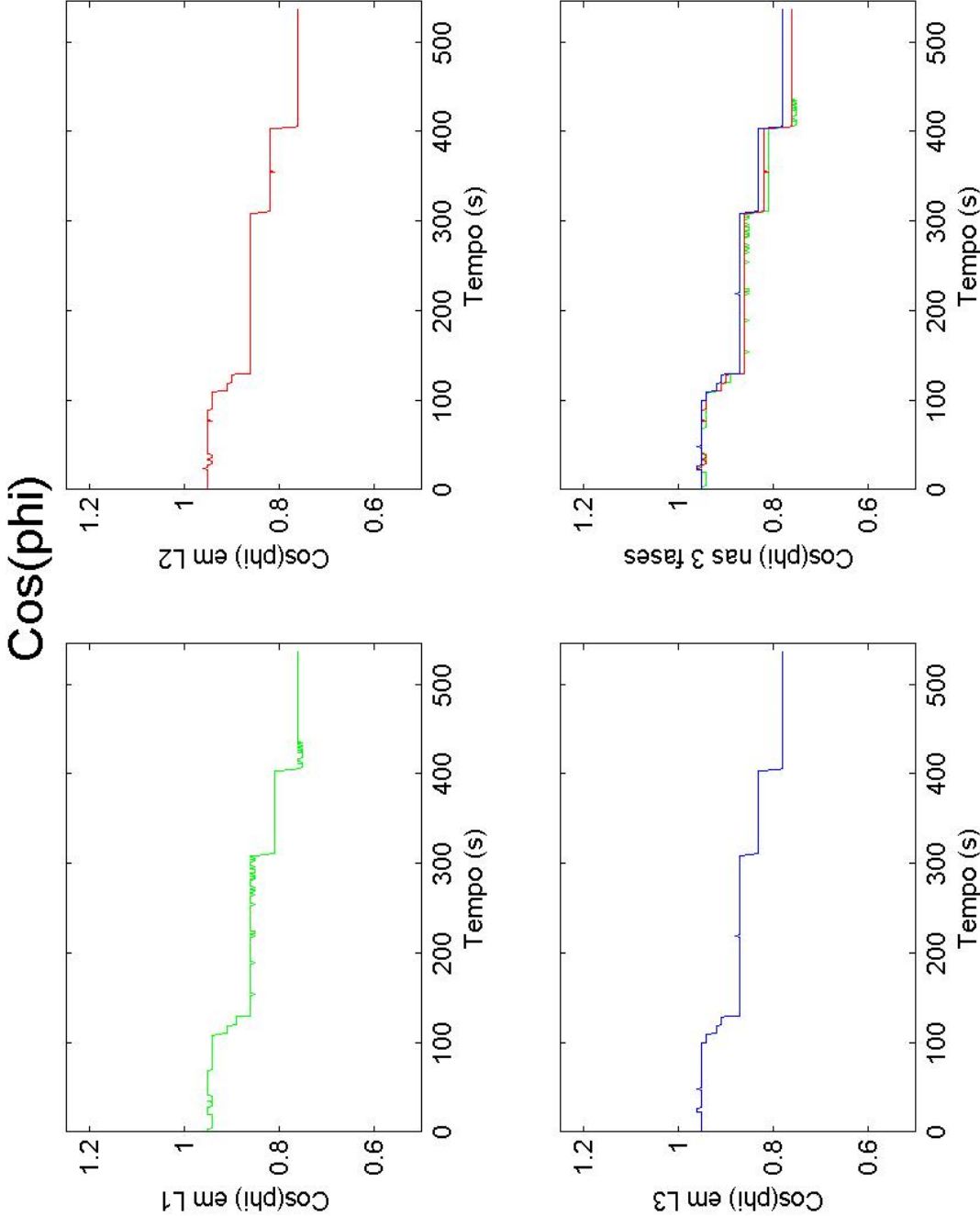
Carregamento 2



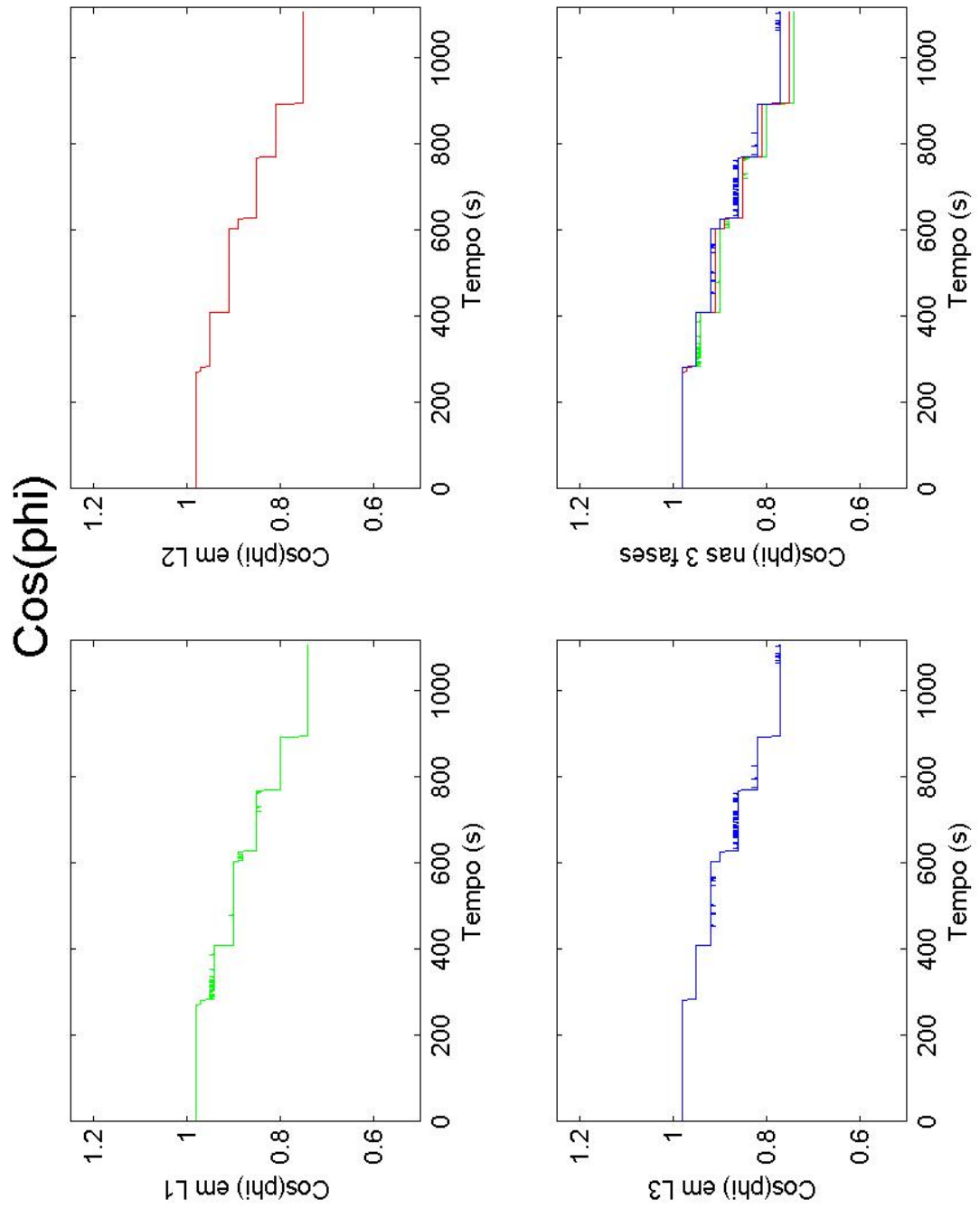
Carregamento 3



Carregamento 4



Carregamento 5



Carregamento 6

Cos(phi)

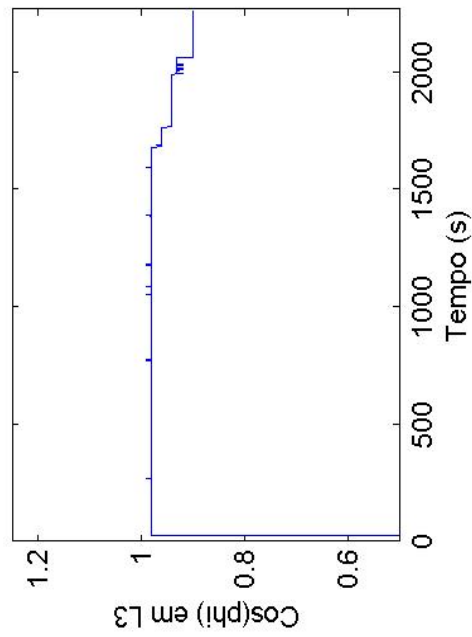
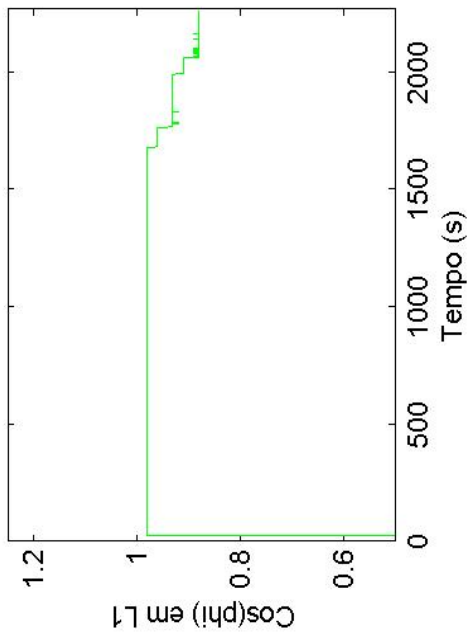
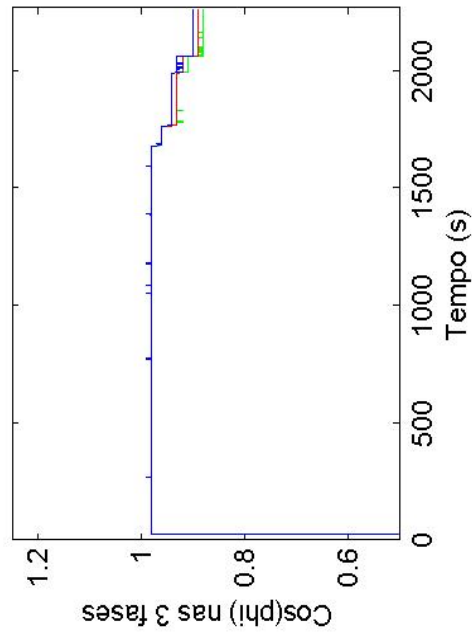
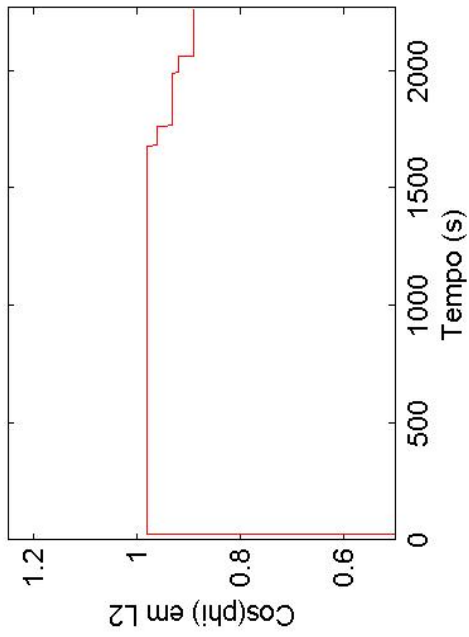
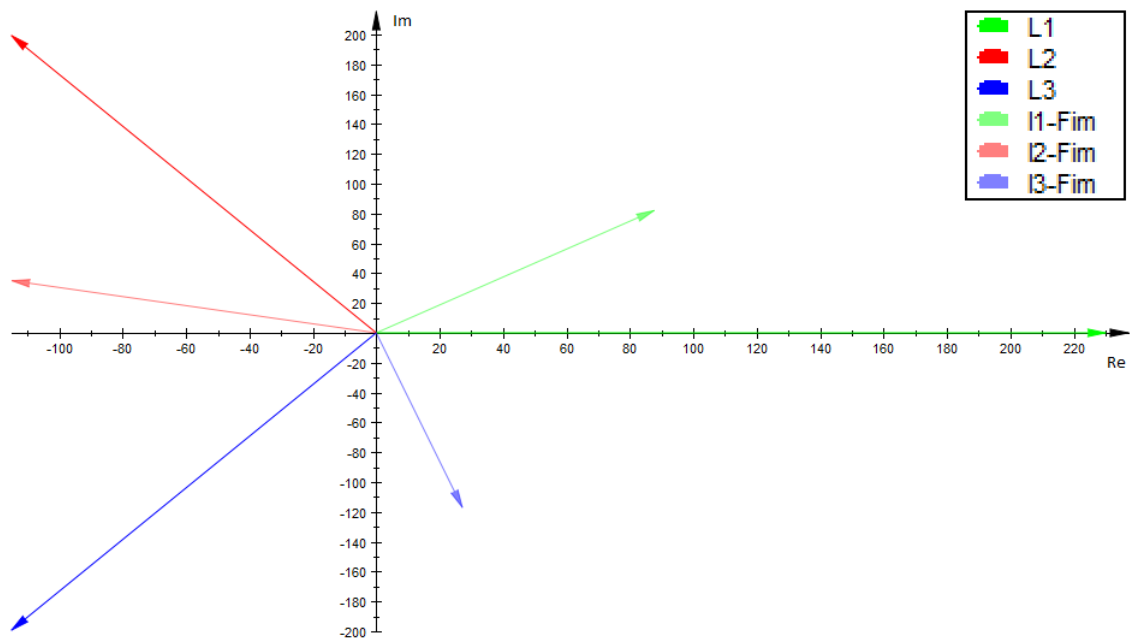
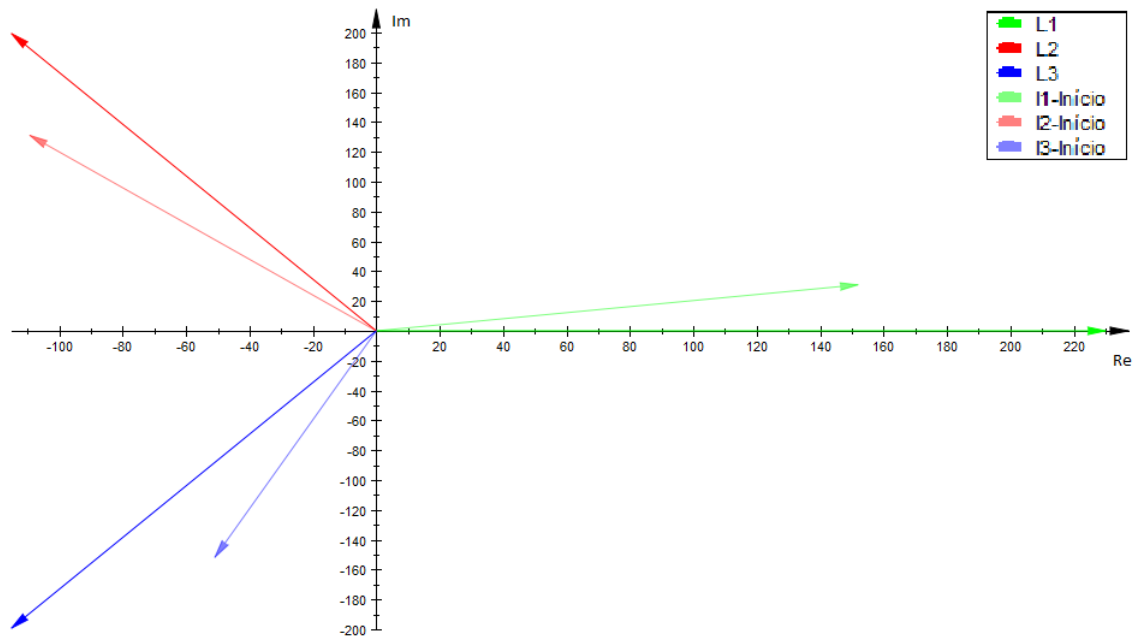
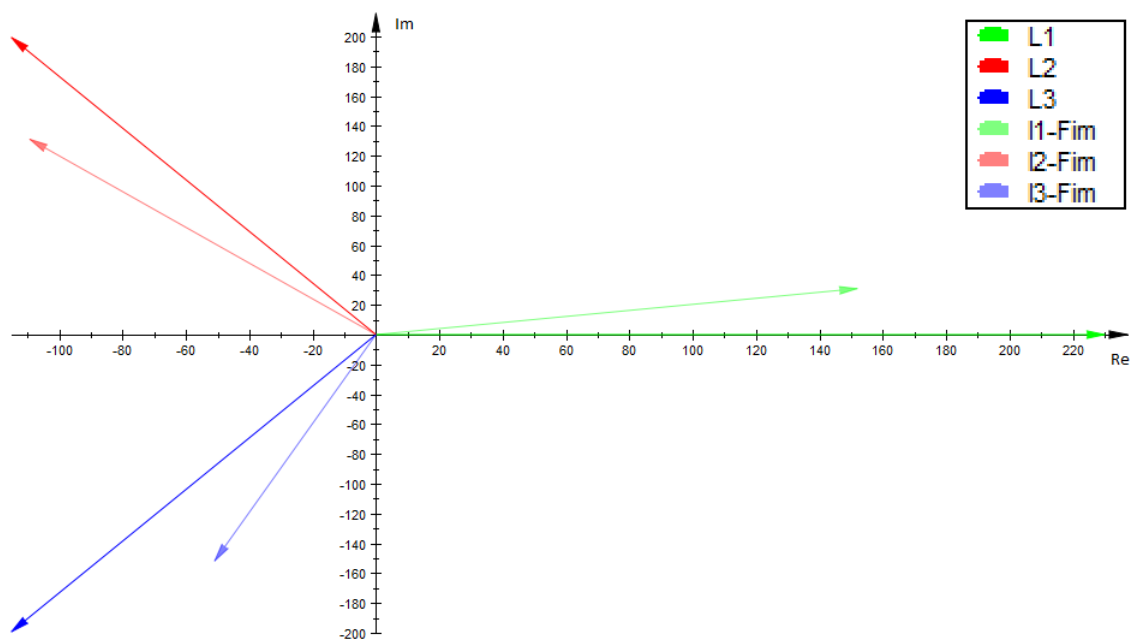
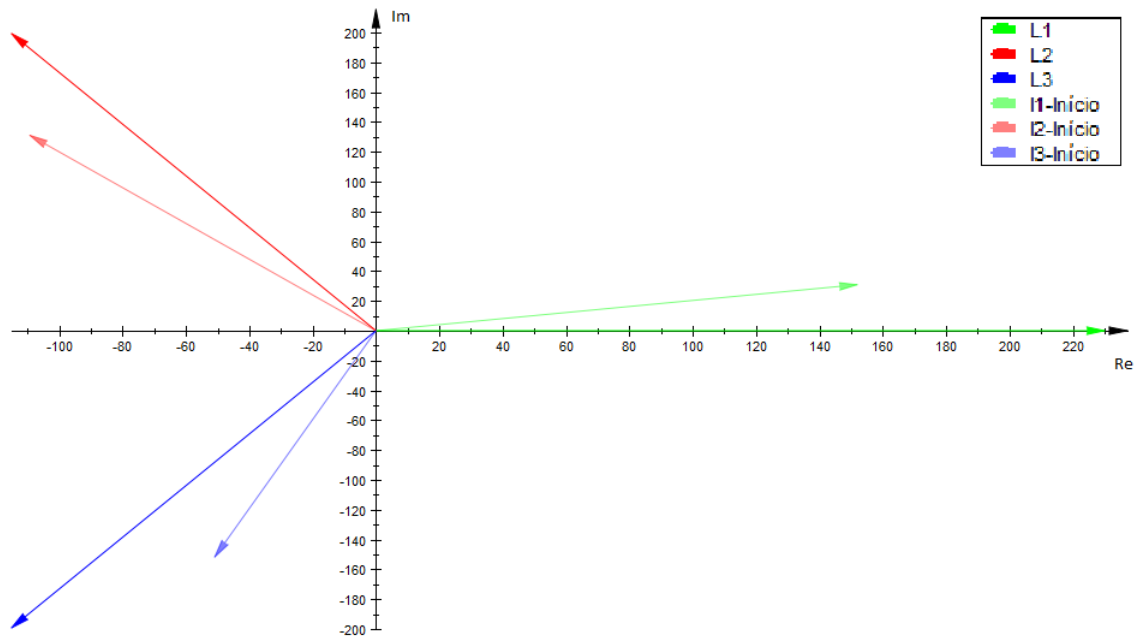


Diagrama de fases

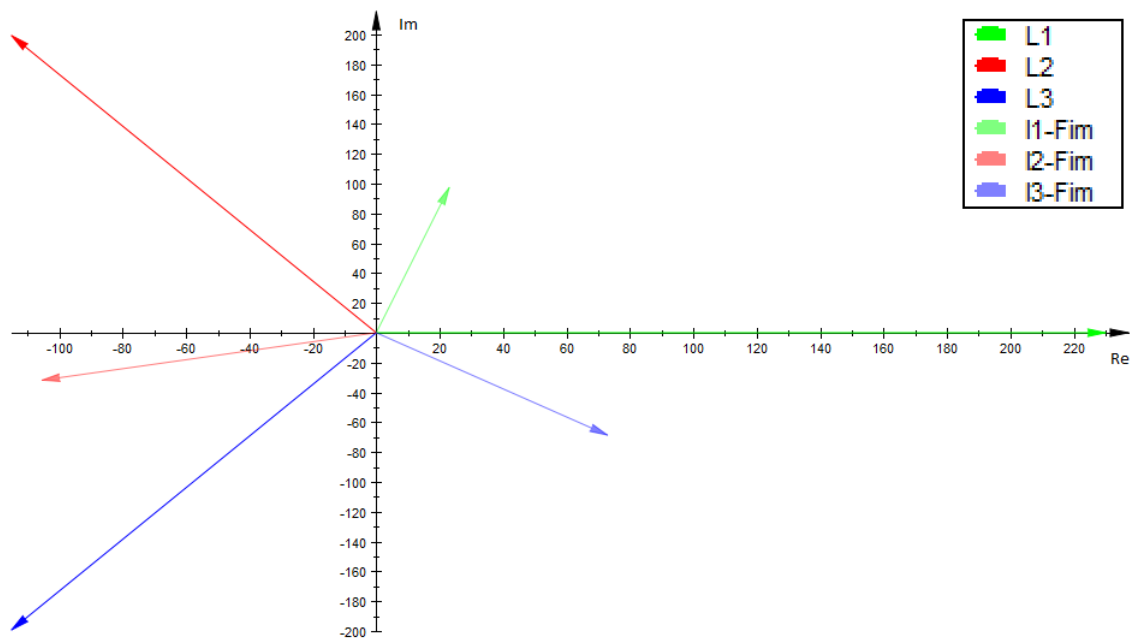
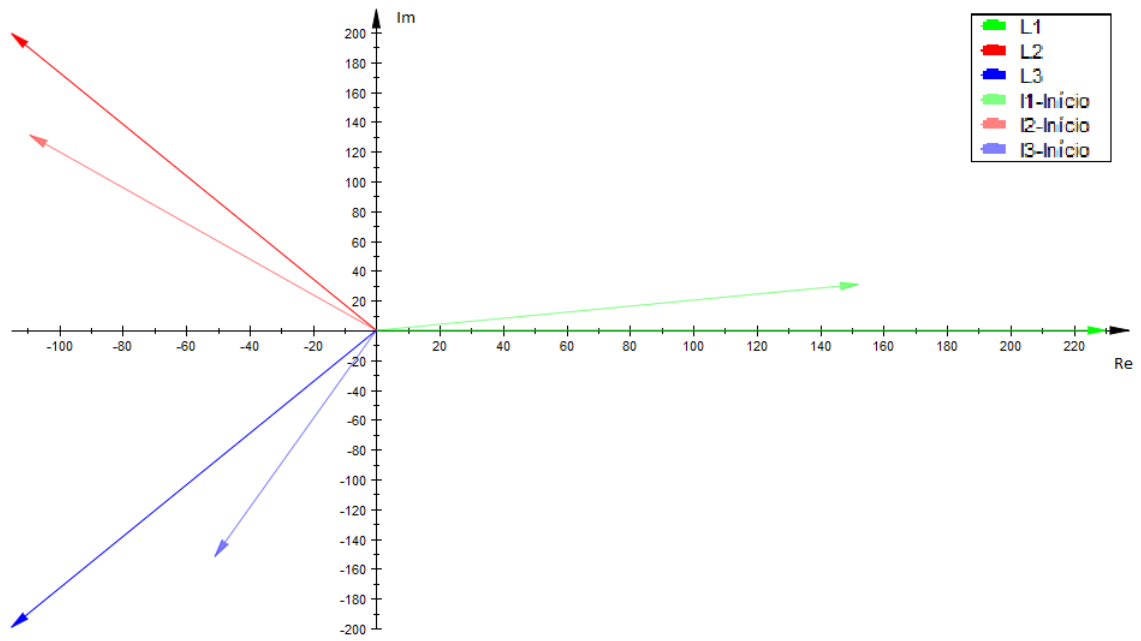
Carregamento 1



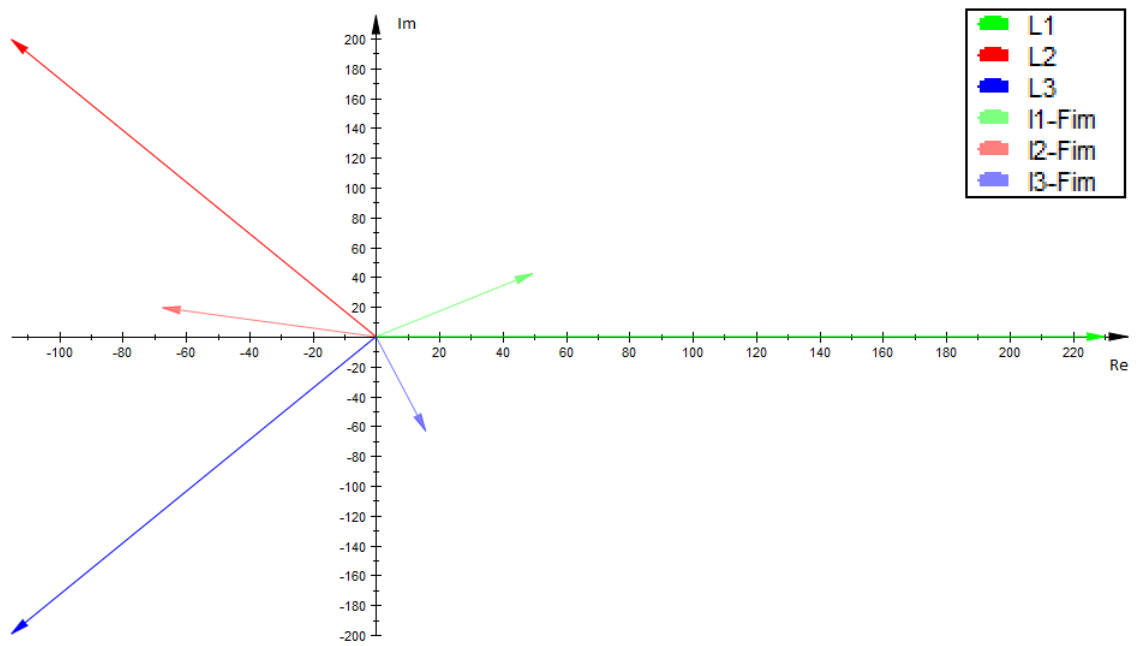
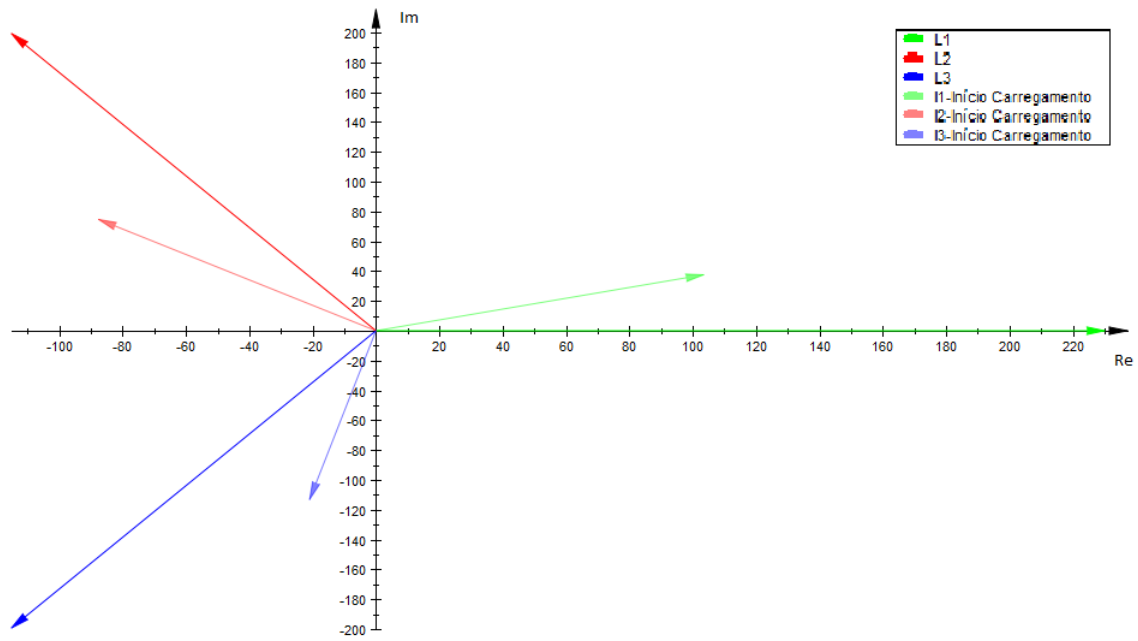
Carregamento 2



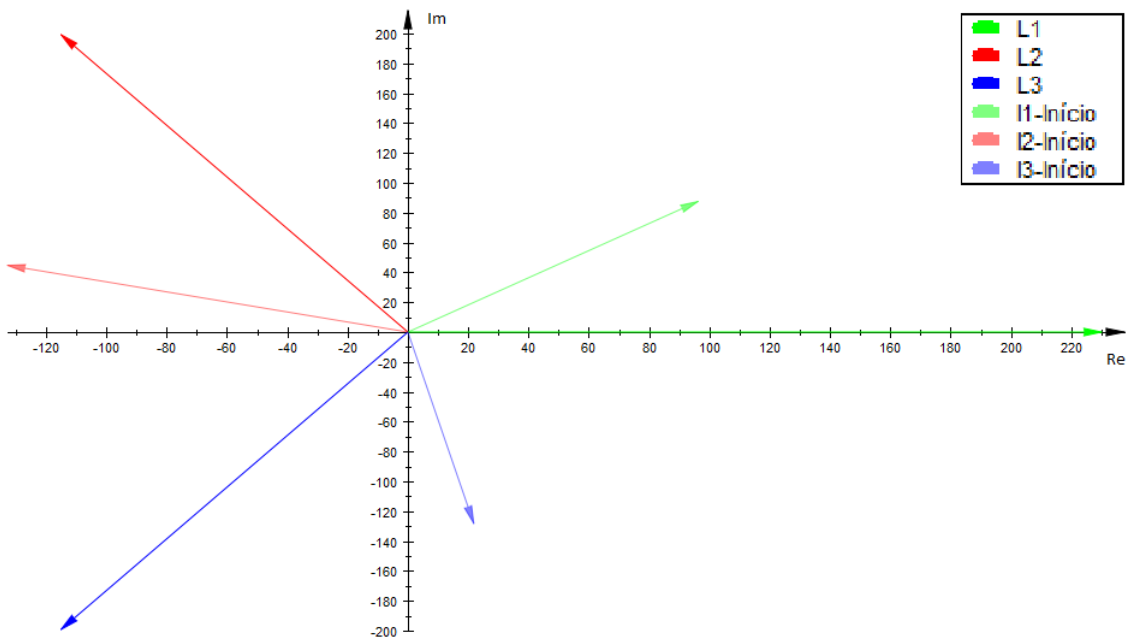
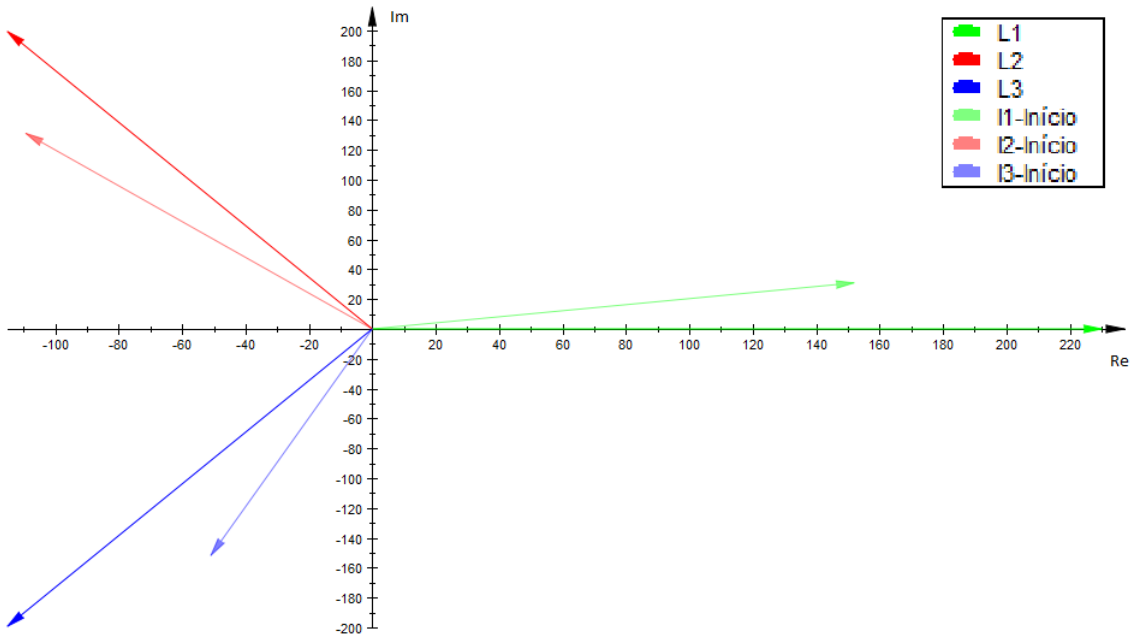
Carregamento 3



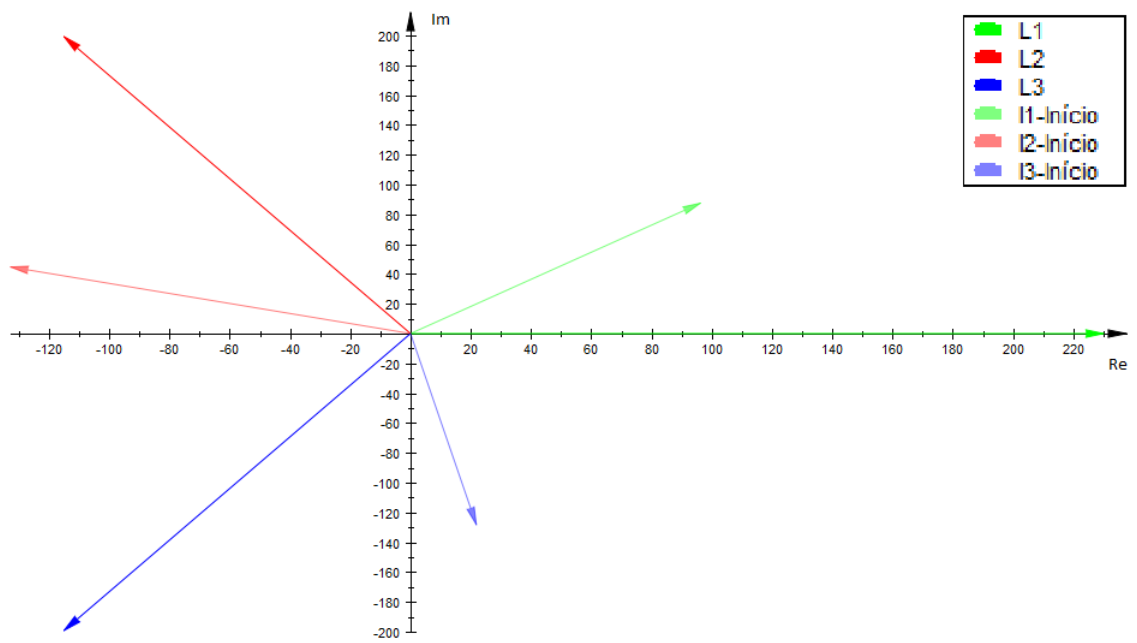
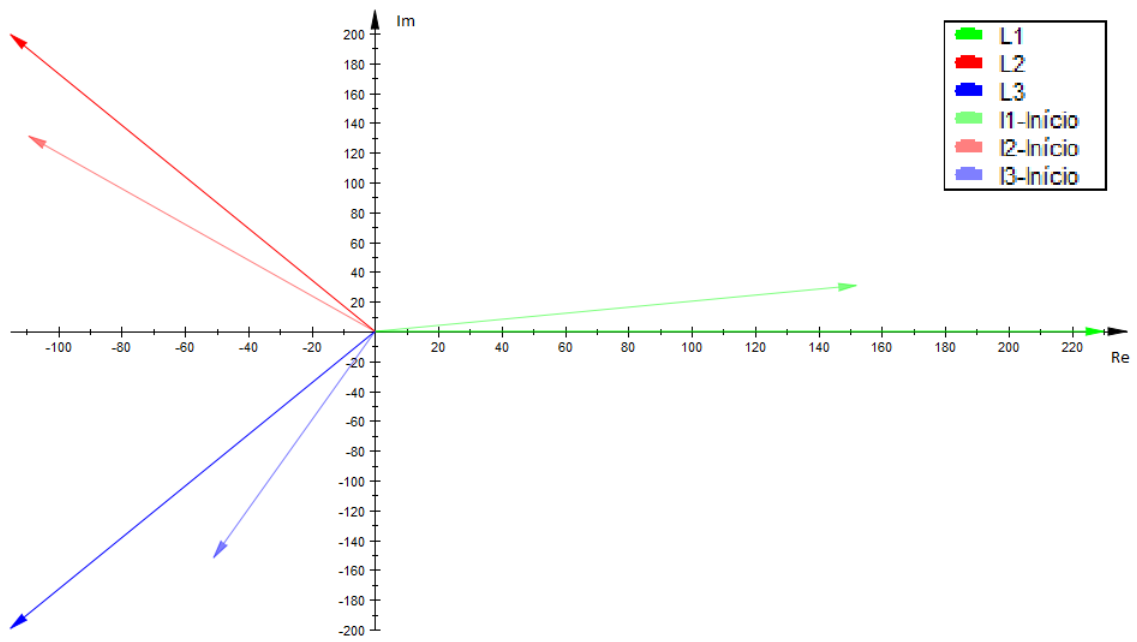
Carregamento 4



Carregamento 5



Carregamento 6



Glossário

A

Algoritmo

Um algoritmo é uma sequência finita de instruções bem definidas e não ambíguas, cada uma das quais pode ser executada num período de tempo finito e com uma quantidade de esforço finita.

C

Catalisador

O catalisador é uma substância que acelera a velocidade de uma reação sem que seja consumido durante todo o processo.

Coefficiente de Determinação

O coeficiente de determinação, também chamado de R^2 , é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, como a regressão linear, em relação aos valores observados. O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o R^2 , mais explicativo é modelo, melhor ele se ajusta à amostra.

Classificação IP

IP é o código pelo qual as características dos invólucros dos equipamentos elétricos são classificados em relação às influências externas. O código é definido por dois dígitos, onde o primeiro indica o grau de proteção contra corpos sólido e o segundo contra penetração de líquidos.

E

Efeito de Memória

Efeito memória, também conhecido como vício de bateria, ocorre em algumas baterias mais antigas como as *NiCd*. Sem o devido cuidado nas recargas, as baterias propensas ao efeito, parecem adquirir uma capacidade de carga cada vez menor. O efeito acredita-se, seja causado por modificações químicas sofridas pelos materiais utilizados na concepção das células (por exemplo, a formação de cristais de *Cd*).

I

Interface

O conceito de *interface* é amplo, pode ser expresso pela presença de uma ou mais ferramentas para o uso e movimentação de qualquer sistema de informação, seja ele material ou virtual. Pode ser definido como o conjunto de meios dispostos com vista a fazer a adaptação entre dois sistemas e se obter um certo produto final, cujo resultado possui partes comuns aos dois sistemas.

M

Meia-Vida

Nos processos radioativos, meia-vida ou período de semidesintegração de um isótopo é o tempo necessário para desintegrar a metade da massa deste isótopo, que pode ocorrer em segundos ou em milhões de anos, dependendo do grau de instabilidade do isótopo.

Motor de arranque

O motor é um motor elétrico com escovas que tem a função de acionar o motor do automóvel até que tenha condições de funcionar sozinho (carro) e apenas opera neste período de tempo.

Motor em Série

Um motor CC em série é a configuração cuja a fonte comum é ligada em série com a armadura do motor e os enrolamentos de campo.

S

Sinal PWM

Um sinal PWM, do inglês Pulse-Width Modulation que significa modulação por largura de pulso, é um sinal que resulta da modulação da sua razão cíclica (*duty cycle*), de forma a transportar informação sobre um canal de comunicação ou controlar o valor da alimentação.

Software

Software, ou suporte lógico, é uma sequência de instruções a serem seguidas e/ou executadas, na manipulação, redirecionamento ou modificação de um dado/informação ou acontecimento. É também o nome dado ao comportamento exibido por essa sequência de instruções quando executada num computador ou máquina semelhante além de um produto desenvolvido pela engenharia de *software*, e inclui não só o programa de computador propriamente dito, mas também manuais e especificações.