

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS MEDIANEIRA
TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

DANIEL MARCOS DAL POZZO

**PROJETO E EXECUÇÃO DE UMA CARGA TRIFÁSICA
ELETROLÍTICA PARA ENSAIOS DE POTÊNCIA EM GERADORES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2013

DANIEL MARCOS DAL POZZO

**PROJETO E EXECUÇÃO DE UMA CARGA TRIFÁSICA
ELETROLÍTICA PARA ENSAIOS DE POTÊNCIA EM GERADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado a disciplina de Trabalho de Diplomação, do curso superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Me. Giovano Mayer.
Co-orientador: Prof. Me. Yuri Ferruzzi.

MEDIANEIRA

2013



Ministério Da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Graduação e Educação Profissional do
Curso Superior de Tecnologia em Manutenção
Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO E EXECUÇÃO DE UMA CARGA TRIFÁSICA ELETROLÍTICA PARA ENSAIOS DE POTÊNCIA EM GERADORES

Por:

Daniel Marcos Dal Pozzo

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 14:00 h do dia 11 de Abril de 2013 como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo no Curso superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Giovano Mayer
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Orientador)

Prof. Me. Yuri Ferruzzi
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Co-Orientador)

Prof. Me. Estor Gnoatto
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Me. Evandro André Konopatzki
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Dr. Marcos Fischborn
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

A Folha de Aprovação devidamente assinada deste documento encontra-se na Coordenação do Curso no Câmpus Medianeira.

Dedico esse trabalho à minha família, pelo otimismo, incentivo e apoio, quando da realização desse curso.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por ser a razão da existência de todas as coisas.

A todos os familiares, parentes e amigos pelo apoio prestado quando da realização desta caminhada, a fim de se obter mais uma vitória.

Ao Professor Orientador Giovano Mayer pelo apoio prestado durante as etapas de execução desse projeto.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná por tornar possível a realização deste curso.

A todos os professores pelos conhecimentos transmitidos ao longo desta jornada.

A todos que de alguma forma colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica nossa ignorância”.

(John F. Kennedy)

RESUMO

DAL POZZO, Daniel Marcos. Projeto e execução de uma carga trifásica eletrolítica para ensaios de potência em geradores. 2013. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

Este trabalho consiste no projeto e execução de uma carga trifásica eletrolítica para ensaios de potência em geradores utilizando-se do princípio da eletrólise. A principal justificativa em se criar uma carga desse tipo é poder simular situações reais de operação para equipamentos destinados a geração de energia elétrica por meio do controle da corrente e por consequência da potência a ser dissipada na carga. Este projeto tem por objetivo o desenvolvimento de uma carga trifásica que possa ser ajustada de forma fácil e confiável tornando possível o seu uso em ensaios com equipamentos de geração de energia elétrica. Para a criação da carga o sistema faz uso da solução aquosa de cloreto de sódio, que tem a propriedade de conduzir corrente elétrica. Tal solução fica acondicionada em um recipiente não condutor que por sua vez encontra-se dentro de uma estrutura que dá sustentação a todo o sistema. O sistema é composto basicamente pelo recipiente mencionado anteriormente e por eletrodos de cobre que ao atingirem a solução aquosa dão origem a corrente elétrica e, portanto, a carga elétrica. São muitos os fatores que podem influenciar na corrente da carga, dentre eles destaca-se a alteração da área de contato entre eletrodos e solução. A variação da área de contato entre os eletrodos e a solução é feita através do uso de um sistema que controla a profundidade dos eletrodos na solução eletrolítica. Este sistema quando acionado faz com que os eletrodos sejam inseridos ou retirados da solução eletrolítica resultando em uma corrente maior ou menor na carga. O comportamento linear da carga em função da profundidade dos eletrodos se mantida a temperatura da solução constante, o baixo custo de fabricação, bem como o alto potencial de consumo de eletricidade e, portanto, de potência elétrica, se mostram como fatores de destaque para a utilização da carga eletrolítica em ensaios com equipamentos de geração de energia elétrica.

Palavras-chave: Carga trifásica. Carga eletrolítica. Potência elétrica.

ABSTRACT

DAL POZZO, Daniel Marcos. Design and implementation of a three-phase load electrolyte for testing power generators. 2013. 66f. Completion of course work (Industrial Maintenance Technology) - Federal Technological University of Paraná. Medianeira. 2013.

This work consists on the project and execution of a three-phase load for testing electrolytic power generators using the principle of electrolysis. The main justification for creating such a load is able to simulate actual operating conditions for equipment for the generation of electricity by controlling the current and therefore the power to be dissipated in the load. This project aims to develop a three-phase load that can be adjusted easily and reliably making possible its use in testing equipment to generate electricity. For the creation of load the system makes use of aqueous sodium chloride, which has the property of conducting electrical current. This solution is packaged in a container nonconductive which in turn is located within a structure which supports the whole system. The system consists basically the aforementioned container and copper electrodes that upon reaching aqueous give rise to electric current and hence the electrical charge. There are many factors that can influence the load current, among which stands out the change of the contact area between electrode and solution. The variation of the contact area between the electrodes and the solution is made by using a system that controls the depth of the electrodes in the electrolyte solution. This system when actuated causes the electrodes to be inserted or removed from the electrolyte solution resulting in a higher or lower current in the load. The linear behavior of the load depends on the depth of the electrodes is kept at constant temperature of the solution, low cost manufacturing, as well as the high potential of electricity consumption and therefore electrical power, appear as prominent factors for use of electrolytic load testing equipment generating electricity.

Keywords: Three-phase load. Load electrolyte. Electrical power.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Célula Eletrolítica	17
Figura 2 - Princípio de Funcionamento da Carga Trifásica Eletrolítica.....	20
Figura 3 - Compostos Resultantes da Eletrólise Depositados ao Fundo da Solução	22
Figura 4 - Projeto do Protótipo da Carga Eletrolítica Desenvolvido em <i>Software</i>	23
Figura 5 - Visualização Gráfica do Projeto	24
Figura 6 - Visualização da Base do Protótipo.....	25
Figura 7 - Sistema para Controle dos Eletrodos e Escala Utilizada no Projeto	26
Figura 8 - Suporte Montado com os Eletrodos e Isoladores Utilizados	27
Figura 9 - Representação da Estrutura Principal da Carga Eletrolítica	28
Figura 10 - Carga Eletrolítica depois da Montagem	28
Figura 11 - Painel da Bancada	29
Figura 12 - Diagrama de Força da Carga Eletrolítica	30
Figura 13 - Diagrama de Comando da Carga Eletrolítica (Controle dos Eletrodos) ..	31
Figura 14 - Ponto de Aterramento da Estrutura Principal	31
Figura 15 - Sistema de Aquisição de Dados Utilizado.....	35
Figura 16 - Modulo de Aquisição de Dados NI 9203	36
Figura 17 - Programação em Ambiente LabVIEW Utilizada para Aquisição de Dados de Tensão e Corrente da Carga Eletrolítica	39
Figura 18 - Painel Frontal do VI e Formas de Onda da Tensão e Corrente para a Carga Eletrolítica.....	40
Figura 19 - VARIAC Utilizado nos Ensaio.....	42
Figura 20 - Configuração Final da Carga Eletrolítica e Realização de Ensaio	44
Figura 21 - Corrente RMS em Função da Profundidade dos Eletrodos para Temperatura de 75°C.....	46
Figura 22 - Carga Resistiva com Equilíbrio da Corrente entre Fases.....	47
Figura 23 - Influência da Temperatura no Valor da Corrente na Carga	49

Figura 24 - Amplitude da Corrente na Fase R para Temperatura de 39°C	49
Figura 25 - Amplitude da Corrente na Fase R para Temperatura de 53°C	50
Figura 26 - Corrente na Fase R para dois Valores de Temperatura na Solução e Tensão de 380Vac.	51
Figura 27 - Aumento da Amplitude da Corrente na Carga para a Temperatura de 39°C	52
Figura 28 - Momento em que os Eletrodos são Imersos na Solução a Temperatura de 45°C	53
Figura 29 - Comportamento da Carga para uma Temperatura de 40°C com os Eletrodos a uma Profundidade de 26mm	54
Figura 30 - Inserção dos na Solução Eletrolítica	55
Figura 31 - Ensaio para Corrente de 14A.....	56
Figura 32 - Ensaio para Corrente de 16A.....	58
Figura 33 - Início do Ensaio para Corrente de 16A	59
Figura 34 - Momento em que os Eletrodos são Retirados da Solução	60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C	Graus Celsius
3D	Três Dimensões
A	Ampéres
Epóxi	Plástico termofixo de endurece quando misturado a um agente catalisador
GPIB	<i>General Purpose Interface Bus</i>
I/O	<i>Input/output</i>
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i>
mA	Miliampéres
MAG	<i>Metal Active Gás</i>
MIG	<i>Metal Inert Gás</i>
mm	Milímetros
Nylon	Fibra sintética obtida através de combinações químicas
PCI	<i>Peripheral Component Interconnect</i>
PnP	<i>Plug and Play</i>
SO	Sistema Operacional
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VARIAC	<i>Variable Voltage Transformes</i>
Vca	Tensão Alternada
Vcc	Tensão Contínua
VI	<i>Virtual Instrument</i>
WI-FI	Tecnologia de interconexão entre dispositivos sem fio usando o protocolo de comunicação IEEE 802.11
NaCL	Cloreto de Sódio
HCl	Ácido Clorídrico
Ki	Iodeto de Potássio
NaOH	Hidróxido de Sódio
ms	Mili Segundos
SI	Sistema Internacional de Unidades

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS GERAIS	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 CORRENTE ELÉTRICA.....	15
2.2 SOLUÇÕES ELETROLÍTICAS	15
2.3 LEIS DE FARADAY PARA A ELETRÓLISE	16
2.4 ELETRÓLISE	18
2.5 FUNCIONAMENTO BÁSICO DO PROTÓTIPO DA CARGA ELETROLÍTICA.	19
2.5.1 Corrente Elétrica na Solução Eletrolítica.....	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS PARA EXECUÇÃO DA CARGA ELETROLÍTICA.....	23
3.1 SISTEMA PARA CONTROLE DOS ELETRODOS	25
3.2 EXECUÇÃO DO PROJETO MECÂNICO.....	27
3.3 EXECUÇÃO DO PROJETO ELÉTRICO	29
4 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS PARA O MONITORAMENTO DA CARGA ELÉTRICA CRIADA A PARTIR DA SOLUÇÃO ELETROLÍTICA.....	33
4.1 TRANSDUTORES	33
4.2 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS NI COMPACTDAQ 9178	34
4.3 PLATAFORMA NI LABVIEW	36
5 ENSAIOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1 ENSAIOS E RESULTADOS PARA TENSÃO DE 220Vac	44
5.1.1 Corrente na Carga em Função da Profundidade dos Eletrodos de Cobre.	45
5.1.2 Equilíbrio da Carga	47
5.1.3 Ensaio para Análise da Influência da Temperatura Sobre a Carga	48
5.1.4 Ensaio para Obtenção de uma Corrente na Carga de 2A	53
5.2.1 Ensaio para Corrente de 14A	56
5.2.2 Ensaio para Corrente de 16A	57
6 CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

APÊNDICE A - MANUAL DE UTILIZAÇÃO DA CARGA ELETROLÍTICA.....	65
1 - PREPARAÇÃO	65
2 - INSTALAÇÃO	65
3 - ENSAIOS	66

1 INTRODUÇÃO

O uso de uma carga elétrica é imprescindível quando se trata da realização de ensaios junto à equipamentos de geração de energia elétrica, seja para o estudo do funcionamento ou operação destes equipamentos. Sempre que tais ensaios demandam análises mais detalhadas, o uso de uma carga que possa ser ajustada em termos de sua potência nominal se mostra eficiente, pois através dela é possível simular uma situação real de trabalho para o equipamento ensaiado.

Em ensaios com carga junto à equipamentos de geração de energia elétrica, são utilizadas cargas de potência constante, ou ainda, dependendo da situação pode-se optar pelo uso de um banco de cargas desta natureza, que trabalham com valores pré-definidos, oferecendo uma maior gama de aplicações. Tais bancos de cargas podem ser obtidos comercialmente, no entanto, um dos principais problemas em termos de carga elétrica que surge neste contexto, é a dificuldade em se obter um dado valor específico de carga elétrica, quando ensaios em geradores de diferentes potências são realizados.

Tendo em vista este cenário o trabalho em questão tem o objetivo de projetar e executar um equipamento que funcione como carga elétrica e, portanto, dê suporte na realização de ensaios de potência em geradores. Esta carga é obtida por meio da eletrólise em solução aquosa. A solução por sua vez encontra-se acondicionada em um recipiente não condutor, em volume suficiente para suprir as necessidades em termos de potência a ser dissipada junto aos geradores que eventualmente venham a ser ensaiados.

Neste trabalho o eletrólito utilizado é o cloreto de sódio (NaCl). A principal função do equipamento desenvolvido neste trabalho, denominado carga eletrolítica, é consumir a potência elétrica gerada por geradores que eventualmente devem ser ensaiados.

Em muitos casos é necessário que a carga utilizada nos ensaios possa ser variada em termos do valor de sua potência nominal. A carga trifásica eletrolítica possibilita a obtenção do controle da potência e por consequência da corrente elétrica que circula pela carga através da alteração da área de contato entre eletrodos e a solução aquosa eletrolítica. Esta alteração é realizada inserindo ou retirando os eletrodos da solução de forma controlada. Tais características oferecem

a possibilidade da empregabilidade deste sistema em uma série de ensaios com carga em equipamentos de geração de energia elétrica, pois é de fácil operação, elevada confiabilidade além de apresentar um baixo custo de fabricação e manutenção.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem por objetivo projetar e executar uma carga trifásica eletrolítica, além de estudar o comportamento deste equipamento quando este for submetido a diferentes situações de operação, por meio da análise das grandezas envolvidas na carga criada quando da realização de diferentes ensaios.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a)** Projetar e executar uma carga trifásica eletrolítica utilizando-se do princípio da eletrólise, de modo que esta ofereça a possibilidade do ajuste em termos de sua potência nominal.
- b)** Analisar o comportamento da carga para diferentes valores de tensão e corrente.
- c)** Verificar a natureza da carga.
- d)** Verificar o comportamento da carga (constante ou não) durante a realização dos ensaios, além de verificar a influência da área de contato entre os eletrodos e a solução eletrolítica no valor final da carga.
- e)** Aquisitar dados das grandezas elétricas envolvidas através do uso de um sistema de aquisição de dados da *National Instruments* (cDAQ) em conjunto com a plataforma LabVIEW.
- f)** Evidenciar as características envolvidas na carga, para que seja possível estudar as vantagens e limitações da empregabilidade da mesma.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os itens a seguir têm por finalidade apresentar a teoria do princípio de funcionamento do protótipo da carga eletrolítica, bem como, explicar o que é eletrólise e como ela ocorre dentro da solução aquosa de NaCl.

2.1 CORRENTE ELÉTRICA

Corrente elétrica é a variação da carga elétrica em função do tempo, sua unidade de medida no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o Ampère (A). Um Ampère corresponde ao fluxo de 1 Coulomb de carga por segundo (NATIONAL INSTRUMENTS; 2012).

Segundo Durbin, Hayt JR e Kemmerly (2008) corrente elétrica é o movimento orientado de portadores de carga através de um corpo. Para que isso ocorra, é necessária uma diferença de potencial capaz de atrair os elétrons e um meio de propagação que permita sua passagem.

Dentro dos condutores elétricos há muitos elétrons livres sem direção determinada. Ao aplicar uma diferença de potencial em um material condutor, é estabelecido um campo elétrico, onde os elétrons passam a se movimentar numa certa direção, dando origem a corrente elétrica (DURBIN; HAYT JR; KEMMERLY; 2008).

Existem dois tipos de corrente elétrica: a corrente contínua que é aquela em que a corrente se mantém constante no decorrer do tempo e a corrente alternada que é aquela em que a corrente varia alternadamente no decorrer do tempo.

2.2 SOLUÇÕES ELETROLÍTICAS

São denominadas como sendo soluções eletrolíticas as soluções aquosas que tem a propriedade de conduzir corrente elétrica (GONZALEZ; TICIANELLI;

2005). Tais soluções podem ser obtidas a partir da dissolução dos compostos NaCl, KI, NaOH e HCl, os quais são denominados eletrólitos.

Segundo Feltre (1987), eletrólitos são compostos que quando dissolvidos em água originam soluções com a propriedade de conduzir corrente elétrica. Isso se deve ao fato de que quando estes eletrólitos são dissolvidos em água são produzidos íons livres, tornando a solução condutora de eletricidade, ou seja, a solução passará a ter a propriedade de conduzir corrente elétrica.

A propriedade de dissolver substâncias proporciona à água, por conta do material que é dissolvido, a formação de soluções eletrolíticas (FELTRE; 1987). Para criar a carga eletrolítica deste projeto foi utilizado como eletrólito o cloreto de sódio (NaCl), que quando dissolvido em água dá origem a uma solução eletrolítica condutora de eletricidade.

A água em seu estado puro não é condutora de eletricidade, o que a faz condutora é a presença de íons livres na solução (GONZALEZ; TICIANELLI; 2005). Quando ocorre a dissolução do NaCl, ele tem seus íons liberados na forma de cátion Na^+ e de ânion Cl^- , logo, se for inserido na solução aquosa de NaCl dois eletrodos que fiquem submetidos à uma diferença de potencial, os íons transportarão as cargas elétricas de um eletrodo a outro, fechando um circuito elétrico, o que dá a solução a propriedade de conduzir corrente elétrica.

A água possui em sua composição muitos íons que são resultados da dissolução de materiais sólidos presentes nos ambientes com os quais a água interage (FELTRE; 1987). A dissolução de um sólido iônico resulta da separação dos íons de cargas opostas do composto dissolvido. Segundo Gonzalez e Ticianelli (2005), a água é especialmente boa para dissolver os compostos iônicos, pois cada molécula de água tem uma extremidade positivamente carregada e outra negativamente carregada.

2.3 LEIS DE FARADAY PARA A ELETRÓLISE

Em 1833, Michael Faraday estudou o efeito da passagem de corrente elétrica em soluções de sais e água em célula eletrolítica (MACHADO; 2010). Durante estes estudos, Faraday encontrou uma relação quantitativa entre a substância que era

decomposta e a eletricidade que passava através da solução durante a eletrólise em uma célula eletrolítica (MACHADO; 2010).

Um exemplo de célula eletrolítica utilizado por Faraday para estudo da eletrólise pode ser verificado na Figura 1.

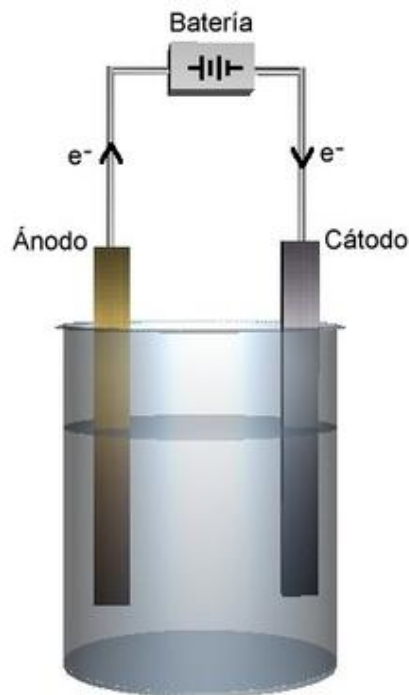


Figura 1 - Célula Eletrolítica

Fonte: <http://thor.sead.ufrgs.br/objetos/reciclagem-materiais-metalicos/pag6.php>.

Segundo Machado (2010), com a realização dos estudos quanto à eletrólise, Faraday notou que a quantidade de eletricidade que liberava um grama de hidrogênio, liberava também quantidades específicas de outras substâncias. Na eletrólise de seus respectivos compostos, para um grama de hidrogênio liberado eram liberados oito gramas de oxigênio, 36 de cloro, 58 de estanho, 104 de chumbo, e 125 de iodo. Segundo Machado (2010), Faraday denominou tais quantidades como sendo “equivalentes eletroquímicos” elaborando as seguintes leis quanto a eletrólise:

- a) 1ª Lei:** A massa de uma substância eletrolisada é diretamente proporcional à quantidade de eletricidade aplicada à solução.

- b) 2ª Lei:** Quando uma mesma quantidade de eletricidade atravessa diversos eletrólitos, as massas das espécies químicas libertadas nos eletrodos, assim como as massas das espécies químicas decompostas, são diretamente proporcionais aos seus equivalentes químicos.

2.4 ELETRÓLISE

Segundo Feltre (1987),

Eletrólise é um processo eletroquímico caracterizado pela ocorrência de reações de oxidação e redução não espontâneas, que são produzidas através da passagem de corrente elétrica, quando se estabelece uma tensão entre eletrodos (ânodo e cátodo) imersos em uma solução aquosa eletrolítica.

Segundo Monteiro (2010), na eletrólise a passagem de corrente elétrica através de uma solução produz uma reação não espontânea, onde são produzidos íons livres na solução.

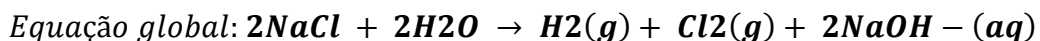
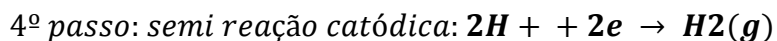
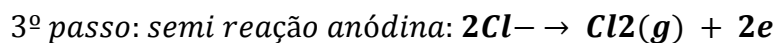
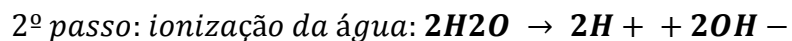
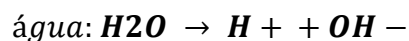
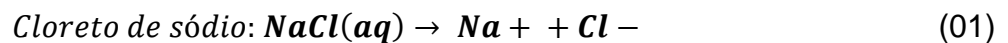
Em outras palavras, a eletrólise é uma reação química não espontânea, devido a necessidade do fornecimento de eletricidade para ocorrência da mesma. A eletrólise tem grande utilização na indústria para obtenção de substâncias como metais alcalinos, sendo utilizada também na obtenção de elementos químicos (MONTEIRO; 2010). Na água, a eletrólise ocorre quando for aplicada uma diferença de potencial na mesma. Para tanto é necessário transformar a água em solução eletrolítica através da dissolução de um eletrólito.

A eletrólise é uma reação que consiste em dissociar uma molécula produzindo outros compostos por meio de uma diferença de potencial entre os eletrodos da solução, assim a energia elétrica aplicada a carga é transformada em energia química. Como resultado deste processo ocorre a criação de novos compostos. Quando utilizado como eletrólito o cloreto de sódio, um dos compostos mais comuns obtidos através da eletrólise é o hidróxido de sódio (NaOH).

A decomposição das moléculas de água ocorre quando é efetuada a quebra das ligações entre seus átomos de hidrogênio e oxigênio (MONTEIRO; 2010).

Quando a molécula de água é decomposta na eletrólise, os átomos livres procuram reagir para formar novas moléculas, assim, se quebra a ligação química entre duas moléculas de água, serão formadas duas novas moléculas de hidrogênio e uma de oxigênio, que são liberados na forma de gases. Da mesma forma com o cloreto de sódio ocorre a quebra das moléculas que o compõem, dando origem ao sódio Na^+ e ao Cloro Cl^- (MONTEIRO; 2010).

Quando uma tensão é aplicada na solução aquosa, ocorre uma reação química com os compostos apresentados na equação (01) de acordo com o apresentado pela equação (02), onde a água e o cloreto de sódio, dão origem a outros compostos, sendo esses o gás Hidrogênio H_2 , o gás Cloro Cl_2 e o Hidróxido de sódio NaOH , conhecido comercialmente como soda cáustica.



2.5 FUNCIONAMENTO BÁSICO DO PROTÓTIPO DA CARGA ELETROLÍTICA

Para a execução da carga trifásica eletrolítica foram necessários três eletrodos de cobre (um para cada fase) de igual tamanho, defasados fisicamente entre si de 120° e presos a um suporte como mostra a Figura 2. A variação da corrente na carga se dá por meio da inserção ou retirada dos eletrodos da solução eletrolítica. Através desta variação é possível obter valores específicos de corrente na carga, o que torna possível a aplicação da carga em diferentes situações. O

método de como é realizada a inserção e retirada dos eletrodos da solução eletrolítica será tratado na próxima seção.

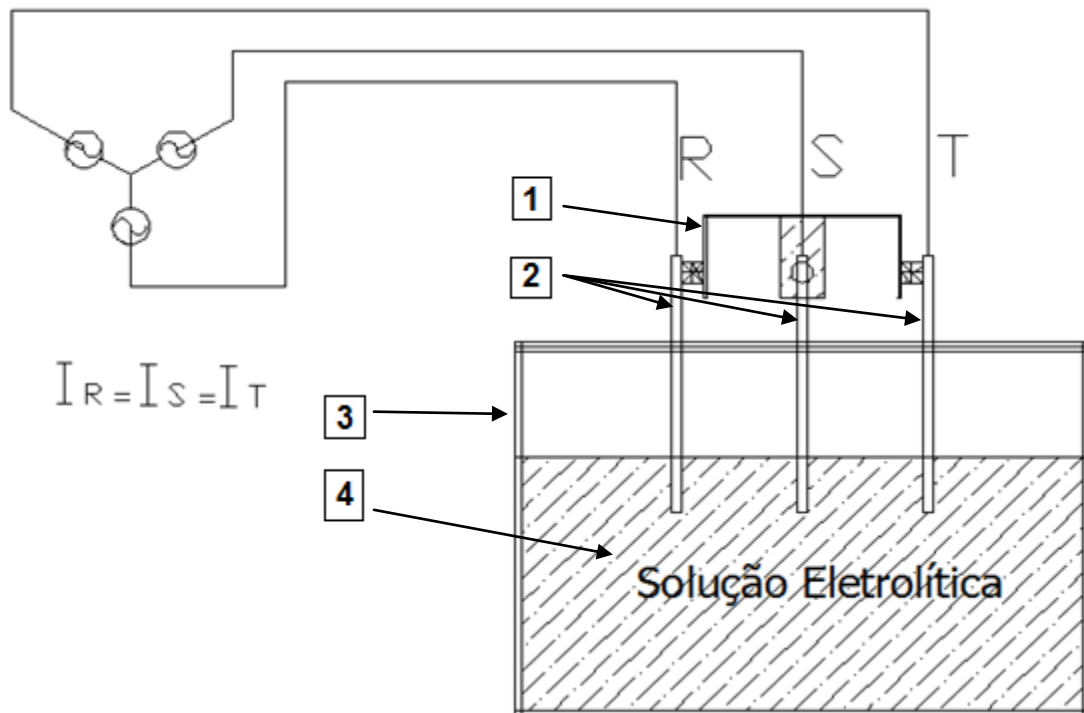


Figura 2 - Princípio de Funcionamento da Carga Trifásica Eletrolítica

Legenda:

- 1 – Suporte dos eletrodos.
- 2 – Eletrodos de cobre.
- 3 – Recipiente não condutor.
- 4 – Solução aquosa eletrolítica.

2.5.1 Corrente Elétrica na Solução Eletrolítica

A corrente elétrica que circula na solução e que produz a carga elétrica, é diretamente proporcional à concentração de eletrólito, ou seja, quanto mais íons livres na solução, maior será a proporção de elétrons envolvidos na reação e maior será a corrente elétrica que circula pelo sistema. Assim verifica-se o aumento da

temperatura na mesma proporção (MAIA; 2010). A concentração de NaCl é obtida através da equação (03).

$$C_{NaCl(g/L)} = m_{NaCl(g)} / V_{\text{água}(L)} \quad (03)$$

C: concentração (g/L)

m: massa (g)

V: volume (L)

Outro fator de elevada importância e que influencia diretamente sobre a corrente da solução e, portanto na carga elétrica criada, é a área de contato entre os eletrodos e a solução. A velocidade em que a eletrólise ocorre é proporcional à área em que os eletrodos estão imersos na solução (MAIA; 2010). Isso se deve ao fato de que mais íons se deslocarão do cátodo e ânodo e mais elétrons resultarão da reação química na água.

Durante a eletrólise na carga eletrolítica, os íons livres resultantes da dissolução do eletrólito, realizam movimentos alternados aumentando a temperatura da solução (MAIA; 2010). Uma vez que a temperatura da solução influencia diretamente na velocidade em que a eletrólise ocorre, a corrente na carga sofrerá influência direta por parte da temperatura. Esta influência será analisada por meio da realização de ensaios na seção 5.

Como o cobre não é um metal inerte, o uso de eletrodos desse material proporciona a formação de uma série de novos compostos durante a eletrólise da solução aquosa, como o óxido de cobre e o cloreto de cobre. Dentre estes compostos o mais comum é o cloreto de cobre (II) ($CuCl_2$) que é um sólido de cor marrom claro que em contato com água passa a dar origem a um composto químico em tom azul-verde. O cloreto de cobre (II) em contato com uma base forte como o hidróxido de sódio NaOH dá origem ao hidróxido de cobre ($Cu(OH)_2$), que é usado em alguns casos como fungicida. O cloreto de cobre (II) é preparado comercialmente pela cloração do cobre e seu composto é usado como corante (DOIZE; 2011). A Figura 3 mostra alguns dos compostos resultantes da eletrólise depositados no fundo do recipiente que acondiciona a solução aquosa.

Conforme pode ser observado na Figura 3, os diversos compostos resultantes da reação química da carga tendem a se depositar no fundo do recipiente. Dentre outros fatores como a corrente e a tensão à qual a carga eletrolítica é submetida, a velocidade com que a obtenção desses compostos ocorre é proporcional à concentração de eletrólito na solução, isso se deve ao fato de que com a maior concentração de eletrólito, mais íons desse composto estarão disponíveis para reagirem entre si e dar origem a novos compostos quando da ocorrência da eletrólise.

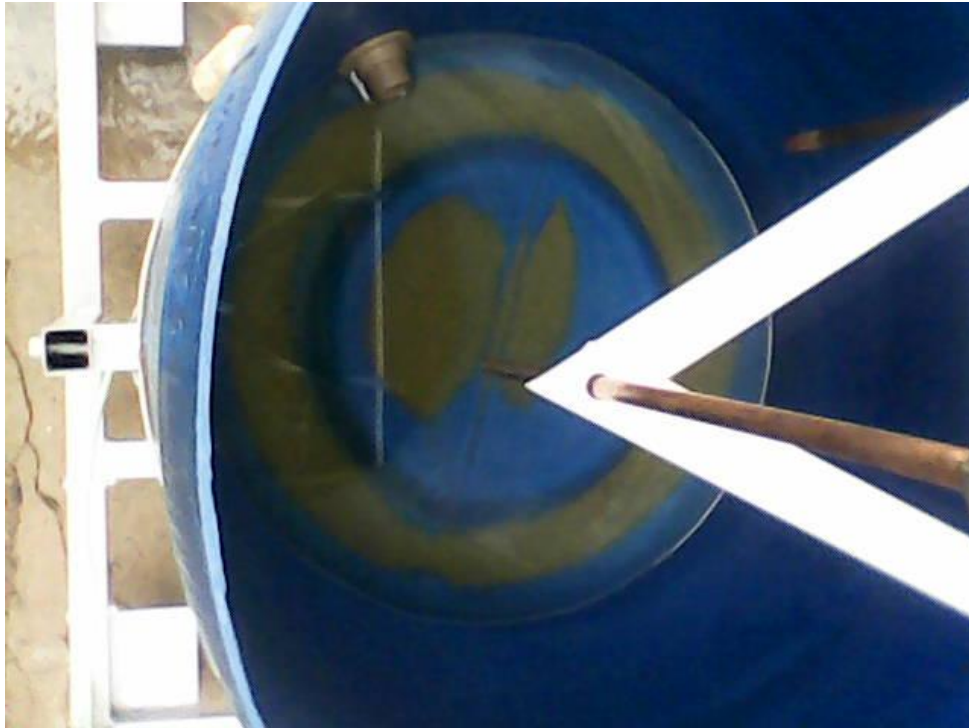


Figura 3 - Compostos Resultantes da Eletrólise Depositados ao Fundo da Solução

3 MATERIAIS E MÉTODOS PARA EXECUÇÃO DA CARGA ELETROLÍTICA

O projeto de dimensionamento da estrutura da carga eletrolítica foi idealizado de tal forma a atender o tamanho necessário para acondicionar um recipiente não condutor com um volume de aproximadamente 170L sendo que, para a realização dos ensaios são necessários aproximadamente 108L. O projeto da estrutura foi desenvolvido através do uso de *software* de desenho computacional, conforme pode ser verificado na Figura 4. Esta fase inicial do projeto auxiliou no planejamento de como seria executada a estrutura da carga eletrolítica. O principal motivo da realização do desenho do projeto em 3D é permitir uma visualização de como ficaria o produto final. Com o leiaute em 3D, foi possível levar em consideração o tamanho real de cada componente a ser empregado na construção do protótipo, inclusive visualizar o suporte dos eletrodos de cobre que precisam dispor de espaço livre para sua movimentação no sentido de serem inseridos ou retirados da solução aquosa, o que torna possível a variação da corrente elétrica na carga.

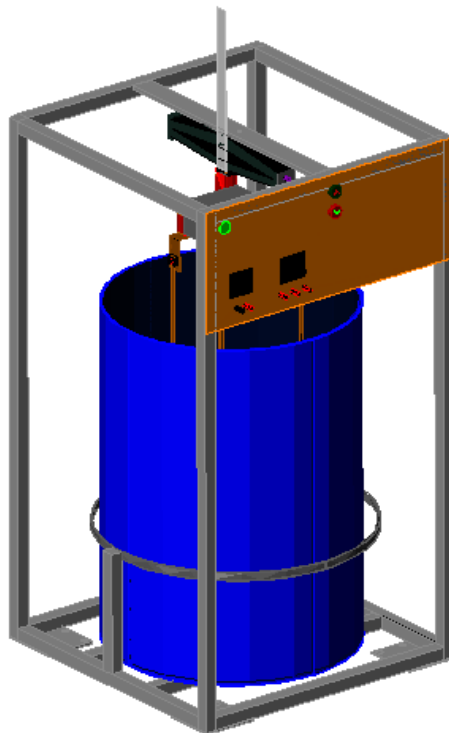


Figura 4 - Projeto do Protótipo da Carga Eletrolítica Desenvolvido em *Software*

Embora se trate de uma estrutura relativamente simples, na fase de projeto foi levado em conta todos os componentes a serem empregados futuramente no protótipo, bem como a disposição de cada um deles como mostra a Figura 5. Isso possibilitou a montagem final da carga com o mínimo de alterações do projeto inicial.

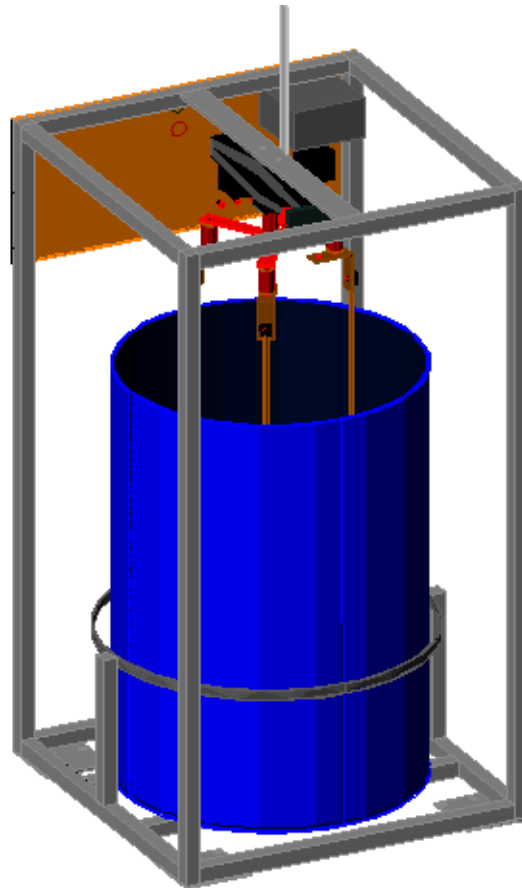


Figura 5 - Visualização Gráfica do Projeto

Para que o tamanho da estrutura da carga eletrolítica não comprometesse a mobilidade do protótipo, ainda na fase de projeto foi levado em consideração o local de fixação (na base da estrutura) de quatro rodas giratórias de *nylon*, como mostra a Figura 6. Tais rodas permitem a movimentação da bancada, facilitando assim a locomoção da carga eletrolítica dentro do laboratório sempre que necessário.

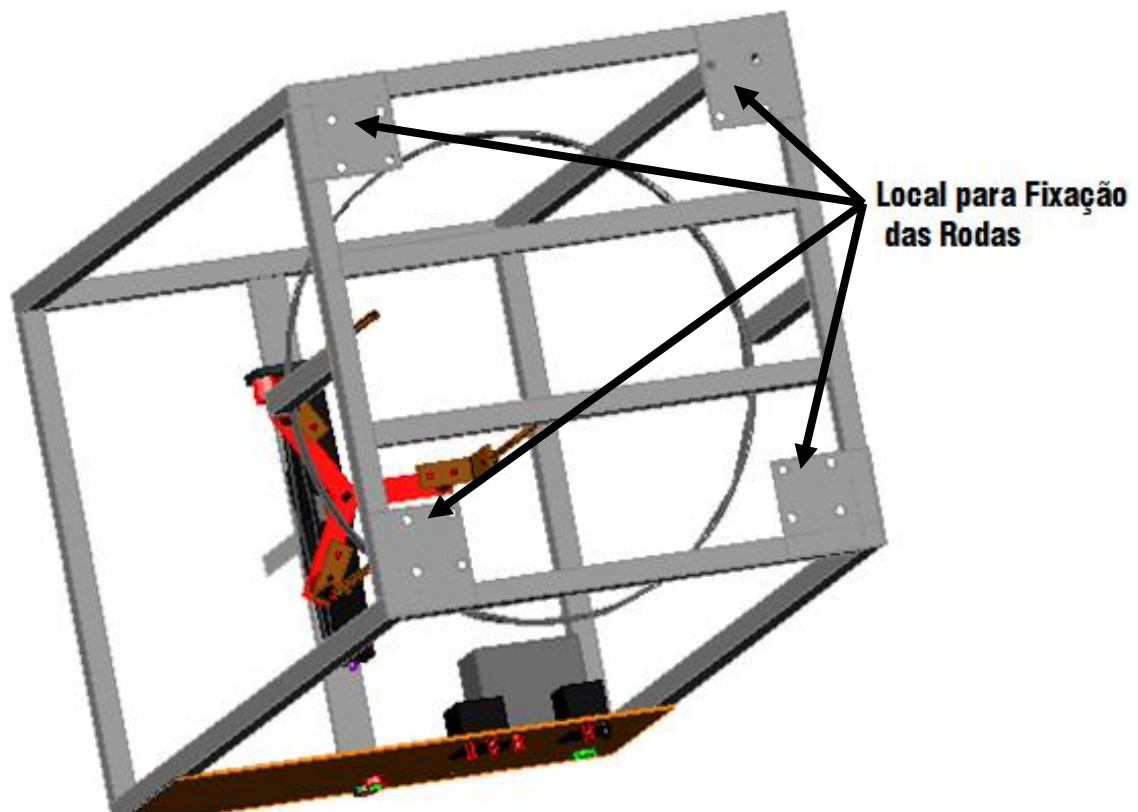


Figura 6 - Visualização da Base do Protótipo

3.1 SISTEMA PARA CONTROLE DOS ELETRODOS

O valor da corrente na carga eletrolítica é proporcional à profundidade com a qual os eletrodos de cobre são inseridos na solução, ou seja, a velocidade em que a eletrólise ocorre depende diretamente da área de contato entre os eletrodos e a solução eletrolítica. Para alterar o valor da corrente elétrica que circula na carga, é necessário que os eletrodos de cobre sejam introduzidos ou retirados da solução, sendo que teoricamente o valor da corrente elétrica varia linearmente com a alteração da profundidade dos eletrodos de cobre na solução eletrolítica. Esta linearidade é observada desde que a temperatura na qual a solução se encontra, seja constante para todo o intervalo de tempo referente ao uso da carga eletrolítica.

Para fazer o movimento de introdução e retirada dos eletrodos de cobre na solução aquosa eletrolítica, foi utilizado um sistema para fazer a inserção ou a retirada dos eletrodos da solução aquosa. Tal sistema é utilizado para auxiliar na troca de pneus em automóveis e é conhecido comercialmente e popularmente como

“macaco elétrico”. Deste ponto em diante, este equipamento será chamado de dispositivo de manobra e pode ser observado na Figura 7. Este dispositivo de manobra foi instalado na parte superior da estrutura principal do protótipo e junto ao mesmo foi acoplada uma escala que é utilizada para medição da profundidade em que os eletrodos são inseridos na solução quando a carga eletrolítica estiver sendo utilizada.

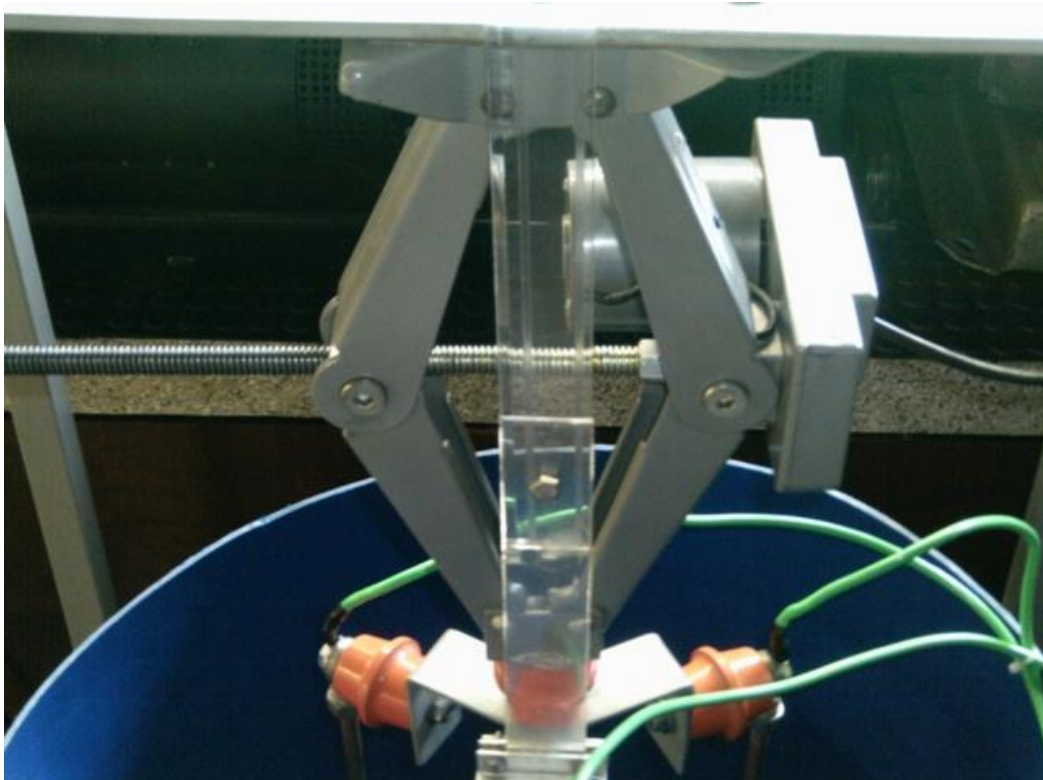


Figura 7 - Sistema para Controle dos Eletrodos e Escala Utilizada no Projeto

Junto à outra extremidade do dispositivo de manobra, foi fixado o suporte dos eletrodos de cobre. Este suporte foi idealizado de tal forma a manter os eletrodos com uma distância idêntica entre si, além de manter estes componentes separados fisicamente em 120° , o que permite a obtenção de uma carga trifásica equilibrada.

Os eletrodos de cobre utilizados devem ser isolados uns dos outros e isolados da carcaça do protótipo. Para isso foram utilizados isoladores em material isolante epóxi, os quais também tem a função de dar sustentação mecânica aos barramentos de cobre. A Figura 8 mostra os isoladores e os barramentos de cobre.

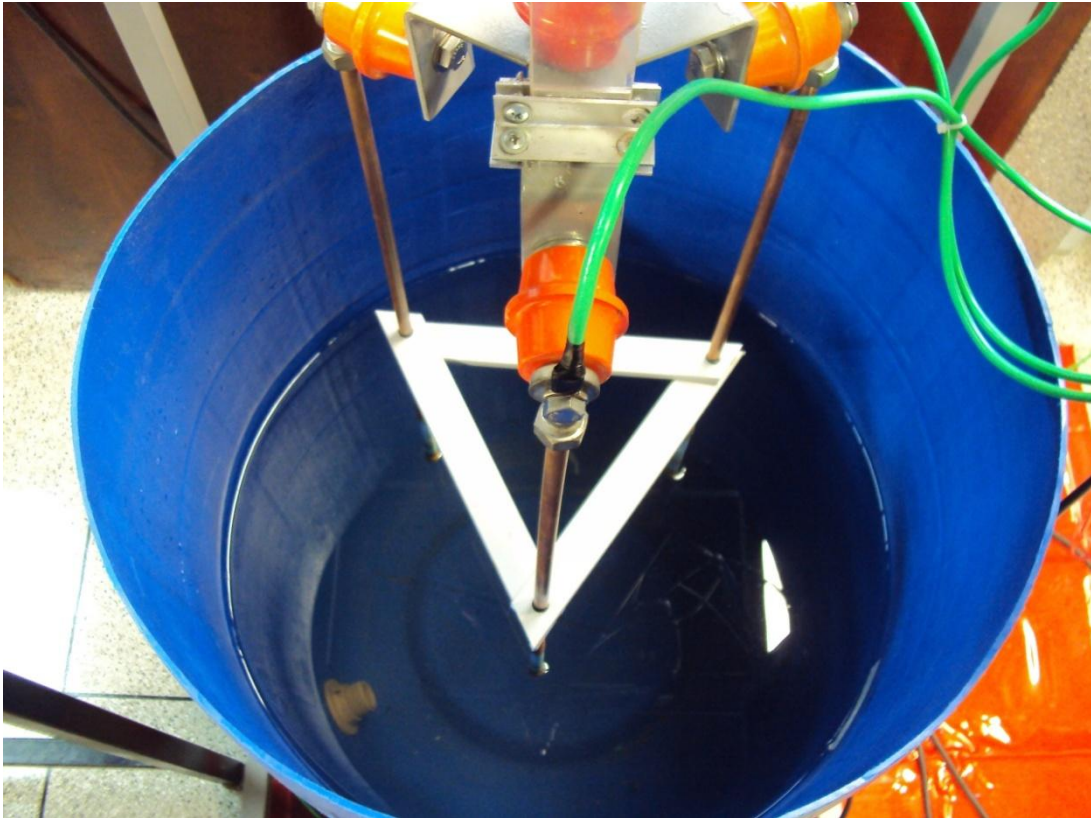


Figura 8 - Suporte Montado com os Eletrodos e Isoladores Utilizados

3.2 EXECUÇÃO DO PROJETO MECÂNICO

A execução do projeto mecânico iniciou-se com a fabricação da estrutura principal da carga eletrolítica. Inicialmente foram cortados todos os materiais, como os tubos de aço de seção quadrada de 30 mm. Em seguida foi realizada a soldagem dos perfis através do processo de soldagem MIG/MAG. A configuração final da estrutura principal pode ser observada na Figura 9.

Após a estrutura principal estar completamente montada, foi realizado o acabamento das superfícies da mesma. Em seguida a estrutura principal recebeu pintura automotiva cujo objetivo é a proteção contra a corrosão, além de deixar o produto final com uma boa aparência. Na sequência foi realizada a instalação dos demais componentes. O protótipo final pode ser verificado na figura 10 (nesta figura o protótipo está delimitado pelo retângulo tracejado na cor vermelha).

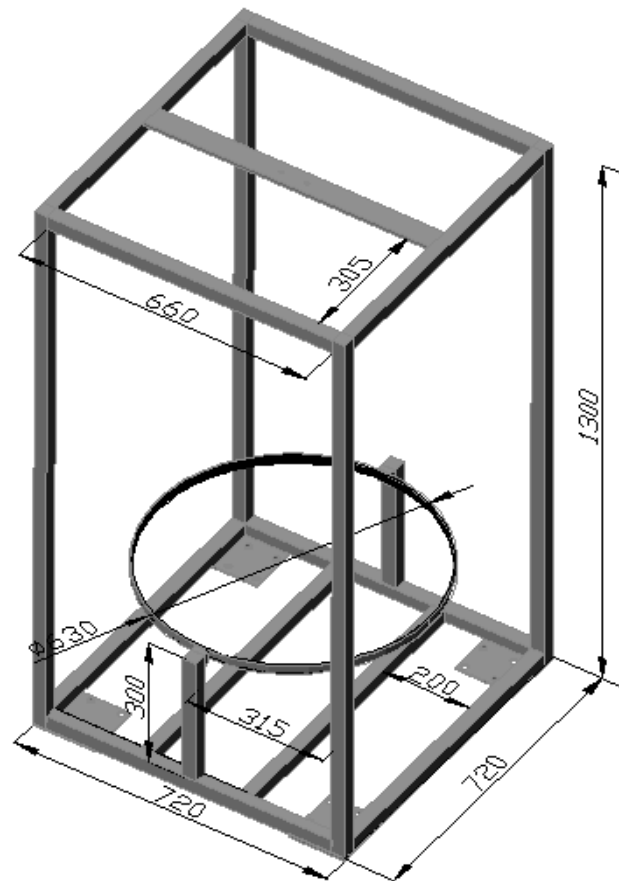


Figura 9 - Representação da Estrutura Principal da Carga Eletrolítica



Figura 10 - Carga Eletrolítica depois da Montagem

3.3 EXECUÇÃO DO PROJETO ELÉTRICO

A execução do projeto elétrico da carga eletrolítica foi realizada de acordo com os diagramas de força e de comando, os quais podem ser observados nas Figuras 12 e 13. O esquema elétrico da carga eletrolítica foi idealizado da tal forma que a parte de força, responsável por conduzir a corrente da carga eletrolítica, fosse totalmente independente do circuito de comando, responsável pela realização do controle da corrente na carga através do acionamento do sistema de controle dos eletrodos. Este controle é feito através da inserção ou retirada dos eletrodos da solução, através de botões de impulso dispostos no painel da bancada, os quais acionam o dispositivo de manobra. Os botões de impulso podem ser verificados na Figura 11.

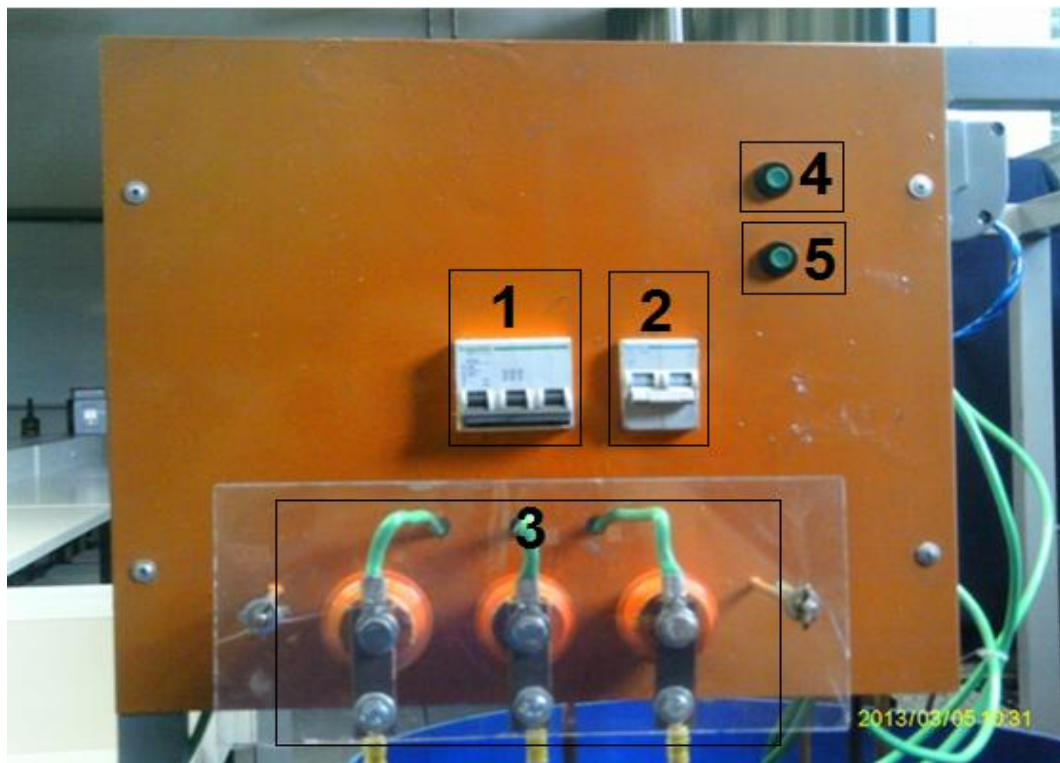


Figura 11 - Painel da Bancada

Legenda:

- 1 - Disjuntor do circuito de força.
- 2 - Disjuntor do circuito de comando.

- 3 - Barramentos para ligação do circuito de força.
- 4 - Botão de impulso para retirar os eletrodos da solução.
- 5 - Botão de impulso para inserir os eletrodos na solução.

A proteção do circuito de força da carga eletrolítica é realizada por meio do disjuntor de força (item 1). A proteção do circuito de comando é realizada por meio do disjuntor de comando (item 2). A alimentação do circuito de força da carga eletrolítica deve ser conectada aos barramentos localizados no painel da bancada (item 3); o movimento de inserção e retirada dos eletrodos na solução eletrolítica é feito através do acionamento do sistema de controle dos eletrodos, por meio dos botões de impulso do painel da bancada, sendo utilizado para retirada dos eletrodos o botão superior (item 4) e para inserção, o botão inferior identificado como item 5.

Para alimentação do circuito de comando, é necessário conectar este a um ponto de tensão monofásico 127Vac. A separação da alimentação do circuito de comando proporciona a carga eletrolítica uma série de vantagens, como a possibilidade de acionar o sistema de controle dos eletrodos sem que a carga esteja alimentada.

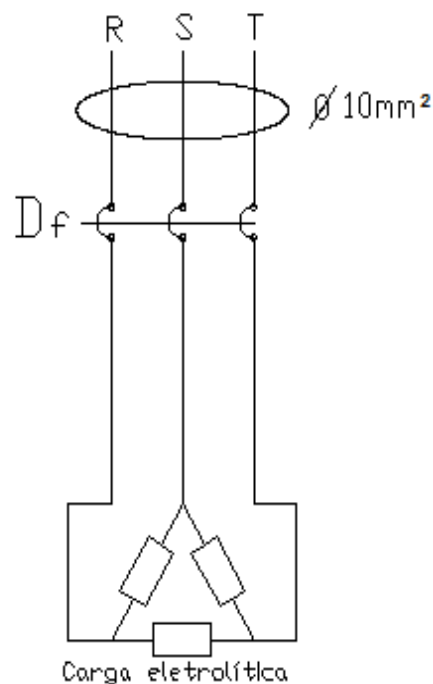


Figura 12 - Diagrama de Força da Carga Eletrolítica

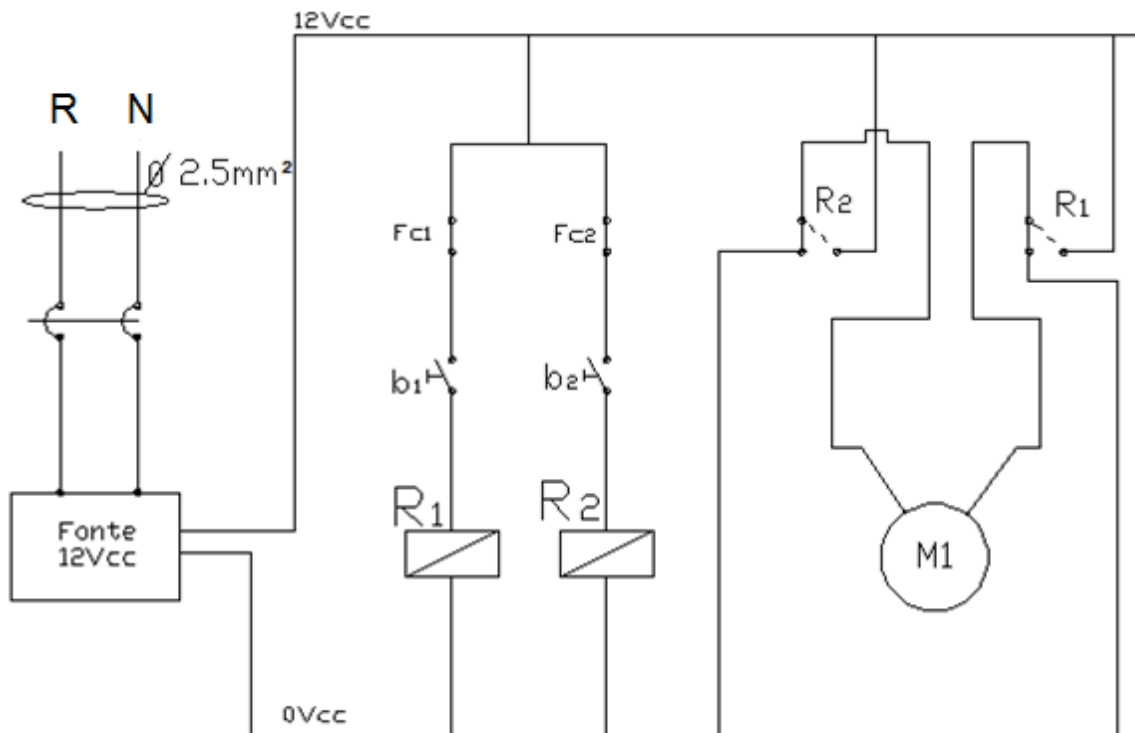


Figura 13 - Diagrama de Comando da Carga Eletrolítica (Controle dos Eletrodos)

A fim de evitar possíveis acidentes com choque elétrico, foi disponibilizado na estrutura principal da bancada um ponto de aterramento. Este ponto de aterramento pode ser observado na Figura 14.

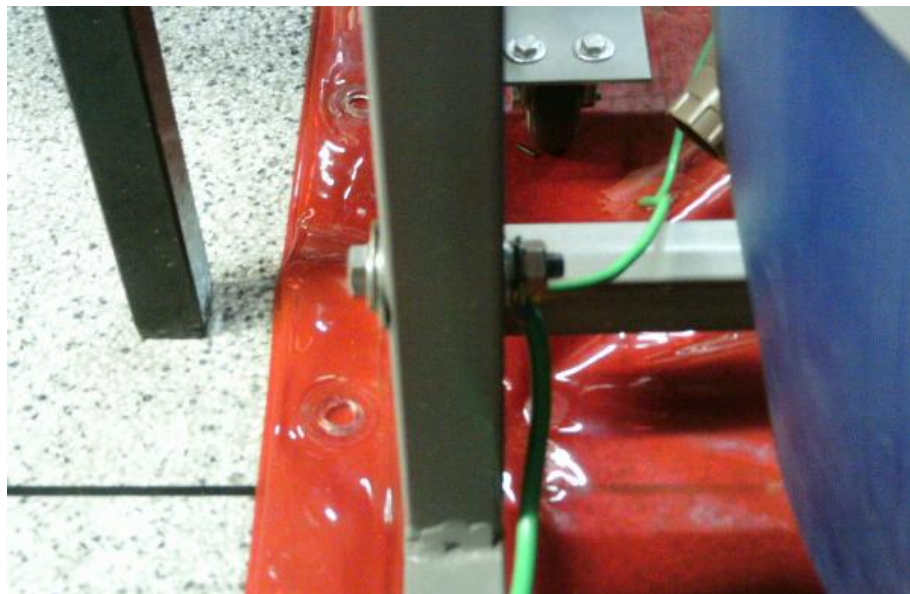


Figura 14 - Ponto de Aterramento da Estrutura Principal

O ponto de aterramento indicado na Figura 14 é conectado em toda a estrutura principal e no painel da carga. Quando esse ponto for conectado a uma malha de aterramento, todo o sistema fica protegido. Este ponto de aterramento deve sempre estar conectado à uma malha de aterramento antes do início de qualquer ensaio. Esse procedimento deve ser realizado antes do uso da carga, proporcionando assim uma maior segurança para o operador.

4 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS PARA O MONITORAMENTO DA CARGA ELÉTRICA CRIADA A PARTIR DA SOLUÇÃO ELETROLÍTICA

Esta seção tem por objetivo apresentar como foram realizadas as medições de tensão e corrente elétrica durante os ensaios com a carga eletrolítica, bem como explicar sobre os equipamentos envolvidos na realização de tais medições.

4.1 TRANSDUTORES

Nas medições de corrente e tensão na carga eletrolítica foram utilizados transdutores de corrente e tensão da marca Secon.

Transdutor é um dispositivo que transforma um tipo de energia em outro, utilizando para isso um elemento Sensor. Por exemplo, o sensor pode traduzir informação não elétrica (velocidade, posição, temperatura, pH) em informação elétrica (corrente, tensão, resistência) (ALBUQUERQUE; THOMAZINI, 2008).

Segundo Secon (2012), Transdutores de tensão podem medir valores AC e/ou DC com total isolamento galvânico. Suas entradas possuem sistemas de isolamento óptico e podem ser fornecidos para várias faixas de medida e tipos de saídas.

Os transdutores de corrente janelados possuem sistema de medida direta, bastando a inserção do condutor de corrente na janela, para se ter uma medida AC ou DC com total isolamento galvânico (SECON, 2012).

A finalidade desses equipamentos é realizar a medição da corrente e tensão nas três fases da carga eletrolítica, convertendo tal valor em um sinal proporcional de corrente dentro de uma faixa de 0 a 20mA, com *offset* de 10mA, ou seja, a forma de onda senoidal irá apresentar valor mínimo de 0mA e máximo de 20mA, excursionado em torno de 10mA. Esse sinal é enviado a um sistema de aquisição de

dados que através de uma programação em ambiente LabVIEW, torna possível a aquisição e a análise das grandezas elétricas medidas.

Os transdutores de corrente janelados utilizados para adquirir os dados são do modelo 50C420AT-127. Estes transdutores são montados em um encapsulamento padrão DIN para fixação em fundo de painel, as principais características técnicas destes sensores são:

- a)** Faixa de medição AC: 0 a 50A pico a pico.
- b)** Erro máximo à 70 °C: +/- 1% do valor de fundo de escala.
- c)** Saída de 0 a 20mA proporcional ao formato de onda a ser medido.
- d)** Faixa de Frequência: 20Hz à 2kHz (vários formatos de onda).
- e)** Tensão máxima suportada pelo isolamento da janela: 1000VAC.
- f)** Temperatura máxima de operação: 70 °C.

Os transdutores de tensão utilizados para aquisição dos dados são do modelo 350V420ALF. Estes transdutores são caracterizados por realizar a medição de tensão AC. Suas principais características técnicas são:

- a)** Erro máximo à 70 °C: +/- 1% do valor de fundo de escala.
- b)** Saída de 0 a 20mA proporcional ao formato de onda a ser medido.
- c)** Faixa de frequência: 40 à 500Hz.
- d)** Tempo de resposta: <1s.
- e)** Temperatura máxima de operação: 70 °C.

4.2 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS NI COMPACTDAQ 9178

Para aquisição dos dados de tensão e corrente, bem como suas respectivas formas de onda, foi utilizado um sistema de aquisição de dados da National Instruments, o NI CompactDAQ modelo cDAQ-9178. Este sistema de aquisição de dados é modular, ou seja, cada módulo pode ser especificado de tal forma a medir o

tipo de sinal enviado pelos sensores. O chassi deste sistema de aquisição de dados pode ser verificado na Figura 15.



Figura 15 - Sistema de Aquisição de Dados Utilizado
Fonte: *National Instruments.*

Segundo National Instruments (2012), “A principal vantagem do NI CompactDAQ é o seu conjunto de funções prontas para o uso”. O NI CompactDAQ pode medir os tipos de sensores mais comuns, tais como termopares, extensômetros, acelerômetros além de tensão e corrente.

O sistema de aquisição de dados NI cDAQ 9178 foi utilizado em conjunto com o módulo NI 9203. Este módulo possui oito entradas de corrente analógica e um alto desempenho em aplicações de monitoramento e controle (NATIONAL INSTRUMENTS, 2012). Este módulo trabalha com um sinal de entrada de 0 a 20mA, com resolução de 16 bits e uma taxa de amostragem de 200KS/s. Este módulo de aquisição de dados pode ser verificado na Figura 16.



Figura 16 - Modulo de Aquisição de Dados NI 9203

Fonte: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/208805>.

4.3 PLATAFORMA NI LABVIEW

Segundo National Instruments (2012),

O LabVIEW, acrônimo de *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*, é um ambiente de programação gráfica usado por milhões de engenheiros, estudantes e cientistas do mundo todo para desenvolver sofisticados sistemas de medição, testes e sistemas de controle.

Segundo National Instruments (2012),

O LabVIEW é líder na indústria de desenvolvimento gráfico para concepção de testes, medição e sistemas de controle. Ele combina a flexibilidade de uma linguagem de programação aliada a ferramentas projetadas especificamente para teste, medição e controle, no intuito de criar aplicações que vão desde o simples monitoramento de temperatura a sistemas de controle sofisticados.

Segundo National Instruments (2012), O LabVIEW oferece uma integração sem igual com milhares de dispositivos de *hardware*, incluindo o NI compactDAQ mencionado na seção 4.2. O *software* oferece centenas de bibliotecas embutidas de visualização de dados, para uma análise avançada.

A primeira versão do *software* LabVIEW surgiu em 1986 para *Macintosh*, atualmente existem também versões para ambiente *Windows*, *Linux* e *Solaris*. O processo de desenvolvimento é feito usando-se de linguagem gráfica intuitiva, baseada em ícones autoexplicativos e blocos lógicos. (OLEKSINSKI, 2009).

Todo programa em LabVIEW é chamado de *virtual instrument*, também conhecido como VI. Os VIs são compostos pelo painel frontal com a interface e pelo diagrama de blocos que apresenta o código gráfico do diagrama desenvolvido. Pelo fato do programa ser compilado, o seu desempenho é comparável ao exibido pelas linguagens de programação de alto nível. A linguagem gráfica do LabVIEW é chamada "G". (SOUZA, 2012).

Cada VI ou programa pode ser utilizado por outros programas (sub-Vis) ou pode ser executado isoladamente. Os programas podem conter entradas e saídas físicas ou não. O programador pode ligar os VIs com linhas de ligação (*wire*) definindo assim o fluxo de dados. A execução de um VI começa quando todas as saídas estão disponíveis, o resultado do processamento dos dados é disponibilizado na saída (que pode ser física) assim que a execução do programa tenha terminado.

Uma regra importante em uma programação em LabVIEW, é que não existe uma ordem pré-definida para execução dentro de um VI ou Sub-VI. A importância dessa regra se apresenta na facilidade do processamento de subprogramas em paralelo no programa em LabVIEW, desde que um VI não dependa dos resultados de outro VI em execução (SOUZA, 2012).

No entanto, todos os VIs se baseiam em uma série de funções básicas chamadas de funções primitivas que não podem ser modificadas, porém a funcionalidade de muitas dessas funções se adapta ao tipo de dado de entrada quando ocorre a ligação de um *wire*. (OLEKSINSKI, 2009).

Segundo Souza (2010), dentre algumas vantagens de se utilizar o LabVIEW destacam-se:

- a) Criação de componentes que executam em paralelo.
- b) Programação gráfica.
- c) Possibilidade de representação de *data-flow*.

- d)** I/O que permitem a comunicação com sensores, instrumentos e *drivers*.
- e)** Hardware PnP, que permite a utilização com dispositivos USB, GPIB, PCI, WI-FI, Ethernet.
- f)** Apresentação de gráficos, controles e visualizações em 3D.
- g)** Utilização de indicadores de posição e níveis de determinada grandeza.
- h)** Compatibilidade SO Windows, Linux, Mac, entre outros.
- i)** Reutilização de VIs e Sub-VIs.

Segundo Souza (2010), dentre algumas das desvantagens do uso do LabVIEW quando comparado com a programação em texto destacam-se:

- a)** Pequenas mudanças podem levar a profundas modificações no programa uma vez que ao inserir um novo bloco é necessário voltar e ligar fios e símbolos para reestabelecer à operação normal.
- b)** A fim de evitar confusões entre os *WIRES*, normalmente é usado mais variáveis do que é realmente necessário, diminuindo a velocidade de programação e contrariando de algum modo o fluxo de dados.

4.3.1 Utilização do cDAQ 9178 e do LabVIEW para a Aquisição de Dados

Através da utilização do cDAQ é possível aquisitar os dados de tensão e corrente provenientes dos transdutores, que juntamente com o *software* LabVIEW através de uma programação, produz uma IHM onde é possível visualizar em tela a amplitude do sinal medido. É possível também gravar todo o histórico de amplitude do sinal medido em arquivo Excel, o qual pode ser usado posteriormente para realização de análises mais detalhadas. O VI com a programação utilizada para aquisição da tensão e da corrente na carga eletrolítica pode ser verificado na Figura 17.

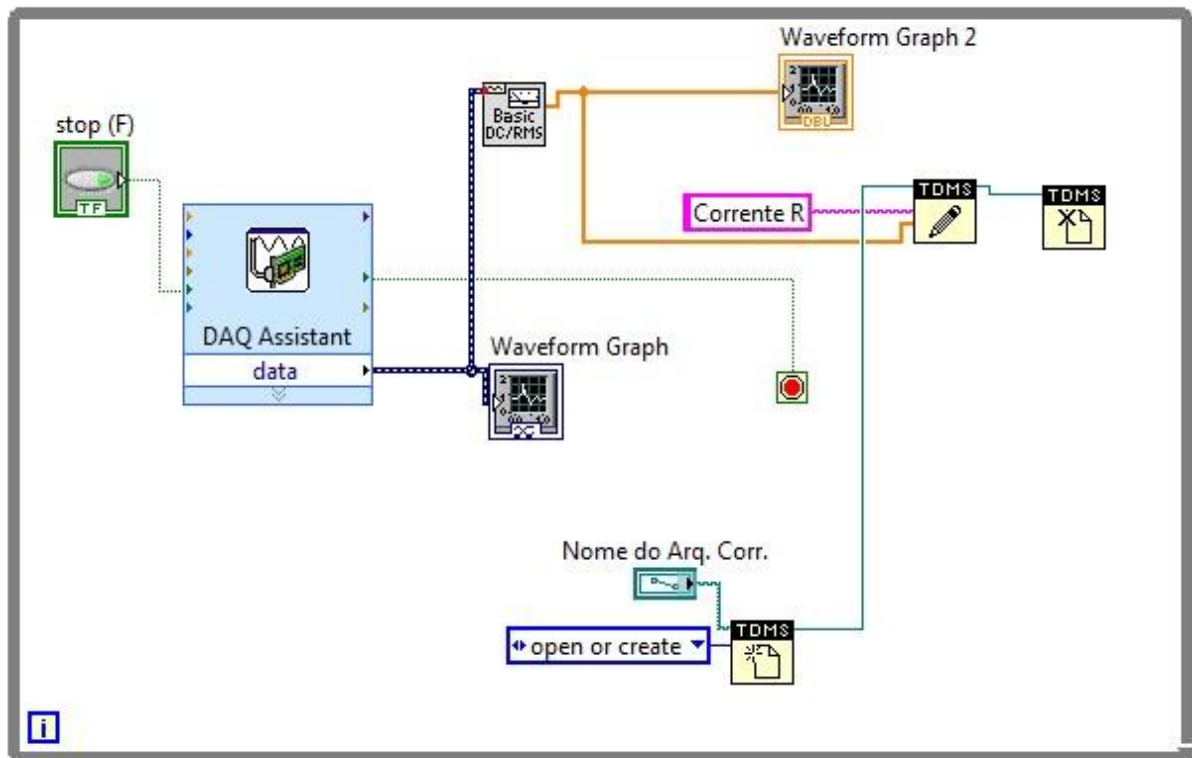


Figura 17 - Programação em Ambiente LabVIEW Utilizada para Aquisição de Dados de Tensão e Corrente da Carga Eletrolítica

O sinal disponibilizado na saída dos transdutores utilizados possui uma amplitude proporcional ao valor da grandeza medida dentro de sua respectiva faixa de medição. Este sinal localiza-se dentro de um *range* de 0 a 20mA, excursionando em torno de um *offset* de 10mA, ou seja, para um dado intervalo de tempo em que o valor da grandeza elétrica medida for igual a zero, o valor de corrente na saída do transdutor será igual à 10mA, sendo que para determinado valor real diferente de zero, o transdutor entregará em sua saída um sinal proporcional de acordo com sua faixa de medição. A visualização da amplitude dos valores proporcionais dos sinais de tensão na fase R e das correntes nas três fases e que são obtidos dos sensores de tensão e corrente, pode ser verificada no painel frontal do VI, como mostra a Figura 18. Neste gráfico, os valores de amplitude são proporcionais de 0 a 20mA e para chegar ao valor real da grandeza elétrica medida, é necessário converter o valor proporcional disponibilizado na saída do transdutor com a utilização de uma equação, para tanto, é necessário ter conhecimento da faixa de medição do transdutor utilizado.

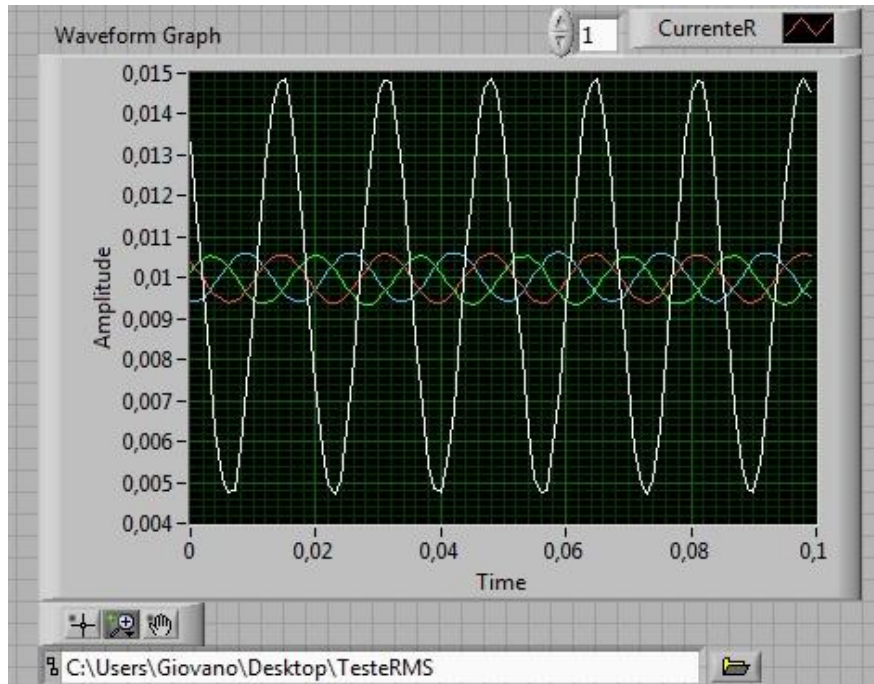


Figura 18 - Painel Frontal do VI e Formas de Onda da Tensão e Corrente para a Carga Eletrolítica

A equação (04) é utilizada para calcular do valor real da grandeza elétrica medida a partir do sinal adquirido na saída dos transdutores.

$$((V2n - 0,01) * \text{faixa de medição do sensor}) / 0,01 \quad (04)$$

Onde "V2n" refere-se ao sinal disponibilizado na saída do transdutor.

Como a tensão elétrica trifásica aplicada a carga é alternada com frequência de 60Hz, o sinal de saída do transdutor (cujos valores são adquiridos pelo sistema de aquisição), apresenta o mesmo comportamento senoidal com duração de aproximadamente 16,67ms para cada ciclo, como mostra a Figura 18.

Nos ensaios realizados com a carga eletrolítica, os dados gravados em arquivo Excel são utilizados posteriormente para a elaboração de gráficos, os quais são utilizados para a realização de análises do histórico da tensão e da corrente na carga eletrolítica, onde é possível verificar as características em situação real de trabalho da mesma.

4.4 METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

A carga trifásica obtida a partir da solução eletrolítica em conjunto com todo sistema montado, pode ser utilizado em ensaios laboratoriais de geradores elétricos que necessitem de uma carga acoplada.

Porém é necessário analisar primeiramente o comportamento da carga eletrolítica para evidenciar suas características e limitações quando em operação. A verificação do comportamento da carga eletrolítica foi realizada através de alguns ensaios que tem por objetivo validar a operação do protótipo. No ensaio de aplicação de tensão trifásica, foi analisado o comportamento da carga primeiramente para verificar se a corrente nas três fases da carga é equilibrada. Outro ponto importante foi verificar qual era a natureza da carga, ou seja, se era uma carga ativa ou com componentes reativos.

Para verificar qual é o comportamento da corrente elétrica na carga com relação à variação da profundidade em que os eletrodos eram imersos na solução aquosa eletrolítica, foi realizado outro ensaio. Juntamente com este ensaio, buscou-se analisar a influência da temperatura da solução eletrolítica sobre o valor final da corrente da carga. Isso possibilitou a busca por valores de profundidade das barras em que a temperatura da solução exerce menor influência sobre o valor nominal da carga. Com isso é possível manter a corrente na carga permanecendo constante por um período de tempo mais elevado, o que possibilita o ensaio de geradores com uma carga de potência que pode ser considerada constante.

Para a realização desses ensaios, a concentração de NaCl utilizada foi de 0,90g/L e o volume de solução aquosa utilizado foi de 108L. A realização dos ensaios foi dividida em duas partes, sendo que na primeira foi utilizada a tensão de 220Vac obtida da rede e a segunda com tensão de 380Vac obtida através de um transformador variador de voltagem (VARIAC) como mostra a Figura 19. Através do uso do VARIAC é possível chegar a valores superiores aos valores gerados por um equipamento de geração de energia elétrica com tensão nominal maior que 220Vac. Como em uma situação real de ensaios com equipamentos de geração de energia elétrica eventualmente tal equipamento pode vir a trabalhar em um nível mais elevado de tensão, o uso do VARIAC nos ensaios é necessário, já que este equipamento oferece a possibilidade do ajuste da tensão a ser aplicada a carga.

Isso permite que a carga eletrolítica seja ensaiada para diferentes valores de tensão nominal.

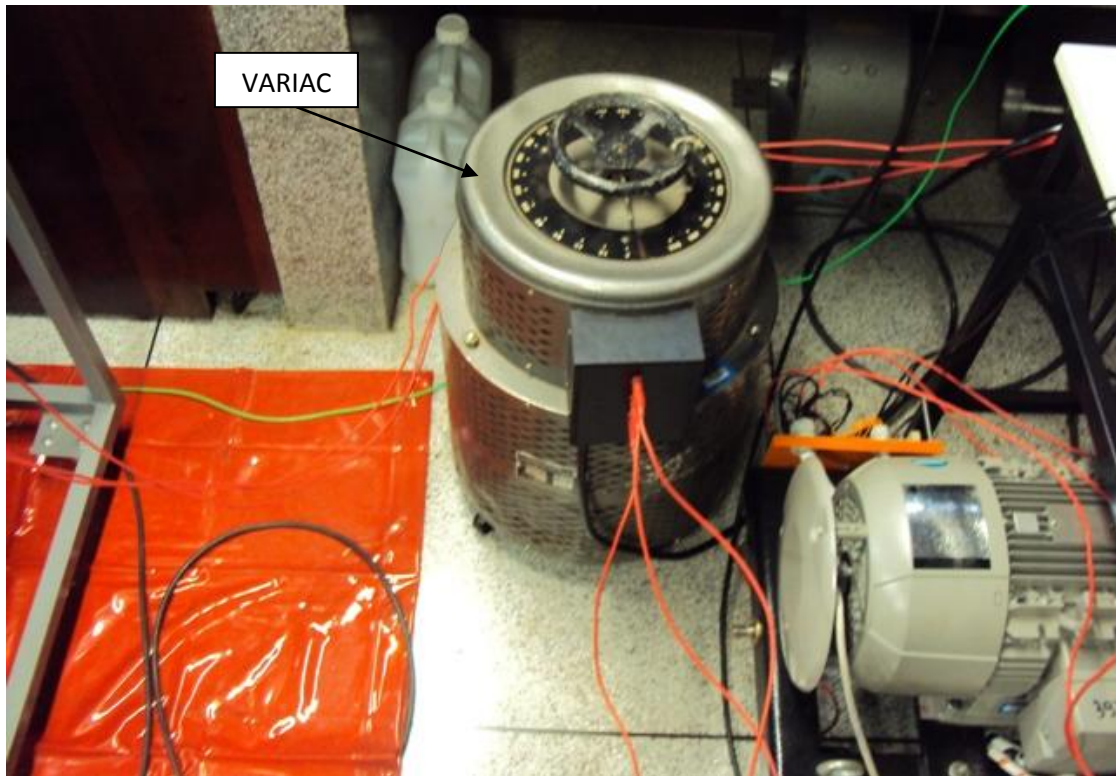


Figura 19 - VARIAC Utilizado nos Ensaios

Durante a realização dos ensaios, para o monitoramento das grandezas elétricas na carga, foi utilizado o sistema de aquisição de dados apresentado no item 4.0.

O monitoramento do valor da temperatura da solução eletrolítica foi realizado através do uso de um termômetro digital infravermelho com mira *laser*. O uso desse equipamento se deu pelo fato de que o mesmo não precisa de contato direto com o que está sendo medido, já que a solução encontra-se eletrizada durante os ensaios e operação. Levando em consideração que diferentes pontos de medição resultariam em diferentes valores de temperatura, definiu-se um ponto específico para realização da medição desta grandeza que é o centro da superfície da solução eletrolítica. Esta metodologia tornou possível a comparação entre a temperatura inicial e a temperatura final da solução para fins de análise do comportamento da

carga eletrolítica. O método para medição da temperatura foi mantido para todos os ensaios.

Com a variação da profundidade na qual os eletrodos se encontram imersos na solução, houve a necessidade do monitoramento do valor de tal grandeza, que foi medida com o auxílio da escala acoplada junto ao suporte das hastes conforme explicado na seção 3.1 (Figura 7). Para cada um dos ensaios realizados, foram adquiridos dados de temperatura, corrente, tensão e profundidade das hastes. Tais dados foram utilizados posteriormente para a análise do comportamento da carga frente a diferentes valores de temperatura e profundidade dos eletrodos de cobre.

5 ENSAIOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ENSAIOS E RESULTADOS PARA TENSÃO DE 220Vac

Após a montagem final da carga eletrolítica (Figura 20), foi realizada uma série de ensaios para verificar as características da carga elétrica. Estes ensaios permitem a análise do comportamento da carga eletrolítica quando esta é submetida a uma situação real de operação. Desse modo é necessário levar em consideração as variáveis que podem influenciar no comportamento da carga. Do ponto de vista de montagem, por exemplo, a defasagem física entre as hastes de cobre que ficam imersas na solução, ou ainda, o espaçamento entre elas, pode resultar em um desequilíbrio entre a corrente das fases. Outros ensaios apresentam a influência da temperatura e a variação da profundidade das barras de cobre na solução eletrolítica. Os resultados destes ensaios são apresentados nas seções seguintes.



Figura 20 - Configuração Final da Carga Eletrolítica e Realização de Ensaios

5.1.1 Corrente na Carga em Função da Profundidade dos Eletrodos de Cobre

Esse ensaio teve por objetivo mostrar que a corrente elétrica na carga eletrolítica apresenta comportamento linear em função da profundidade com que os eletrodos são imersos na solução, desde que a temperatura da solução seja mantida constante. Como a corrente na carga também é influenciada pela temperatura da solução eletrolítica, para que fosse possível obter resultados satisfatórios na realização dos ensaios, a solução foi aquecida até aproximadamente 75°C, que é um ponto onde a temperatura apresenta um valor mais estável no decorrer do tempo. Foi verificado experimentalmente que nesta temperatura ocorrem menores variações, pois a temperatura tende a estabilizar nesta faixa, portanto, exercendo menor influência sobre o resultado final no valor da corrente elétrica da carga.

Para realização deste ensaio, foi medido o valor da corrente na carga eletrolítica para uma série de profundidades das barras de cobre. O objetivo é mostrar que o aumento na profundidade dos eletrodos de cobre faz com que a corrente elétrica aumente de forma linear proporcional à área de contato entre estas e a solução eletrolítica. Os dados desse ensaio podem ser observados na Tabela 1. Para este ensaio os valores de corrente elétrica foram obtidos através do uso de um alicate amperímetro. Foram realizadas medições em intervalos regulares de profundidade dos eletrodos com a temperatura da solução em aproximadamente 75°C, mantendo-se constante durante todo o tempo de duração do ensaio.

Tabela 1 - Corrente nas fases da carga em função da profundidade dos eletrodos (220Vac).

Profundidade das hastes mm	Corrente fase R (A)	Corrente fase S (A)	Corrente fase T (A)
10	2,50	2,50	2,49
20	3,50	3,50	3,49
30	4,45	4,44	4,42
40	5,32	5,30	5,36
50	6,22	6,21	6,24
60	7,12	7,13	7,15
70	8,00	8,00	8,04
80	8,91	8,91	8,98
90	9,78	9,83	9,83
100	10,65	10,67	10,73
110	11,52	11,55	11,58
120	12,27	12,28	12,30

Continua...

...Continuação
Corrente nas fases da carga em função da profundidade dos eletrodos (220Vac).

Profundidade das hastes mm	Corrente fase R (A)	Corrente fase S (A)	Corrente fase T (A)
130	13,05	13,07	13,09
140	13,89	13,90	13,97
150	14,70	14,71	14,80
160	15,46	15,54	15,60
170	16,17	16,28	16,30
180	17,00	17,04	17,16
190	17,70	17,75	17,90
200	18,45	18,40	18,55

Durante a realização desse ensaio, a tensão aplicada permaneceu constante em 220Vac. A Tabela 1 mostra que as medições de corrente foram feitas para 20 valores de profundidade das barras de cobre, iniciando-se com os eletrodos sem contato com a solução até a profundidade máxima obtida que é de 200mm. A cada 10mm de variação de profundidade, a medição de corrente nas três fases era realizada. Os dados obtidos neste ensaio resultam no gráfico da Figura 21. Este ensaio mostra um comportamento bastante linear entre a variação da profundidade dos eletrodos de cobre e a corrente elétrica obtida na carga eletrolítica.

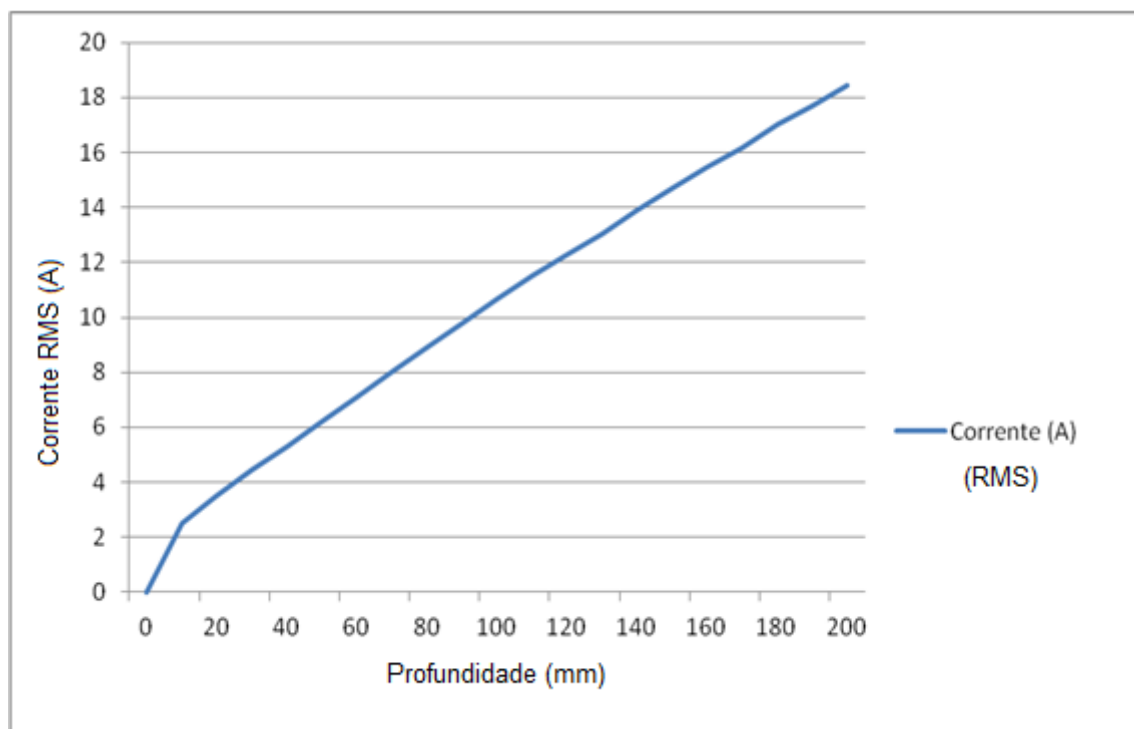


Figura 21 - Corrente RMS em Função da Profundidade dos Eletrodos para Temperatura de 75°C

A linearidade verificada na Figura 21 se deve ao fato de que para uma mesma temperatura e tensão aplicada (220Vac), a velocidade na qual a eletrólise ocorre é proporcional à área de contato entre os eletrodos e a solução.

5.1.2 Equilíbrio da Carga

A carga eletrolítica foi projetada para ser trifásica e equilibrada. Com o auxílio do sistema de aquisição de dados e da programação em LabVIEW, foi possível adquirir dados da tensão na fase R e corrente nas três fases da carga como mostra a Figura 22. Para este gráfico, são mostrados os valores proporcionais de tensão e corrente na carga adquiridos dos sensores para que fosse possível visualizar as formas de onda de tensão e corrente em um único gráfico, uma vez que se fossem apresentados os valores reais das grandezas, o valor da tensão seria muito mais elevado em amplitude, o que impossibilitaria a visualização do comportamento das grandezas. É possível observar no gráfico da Figura 22, que o valor de pico da corrente para as três fases é o mesmo, o que mostra que a carga é equilibrada.

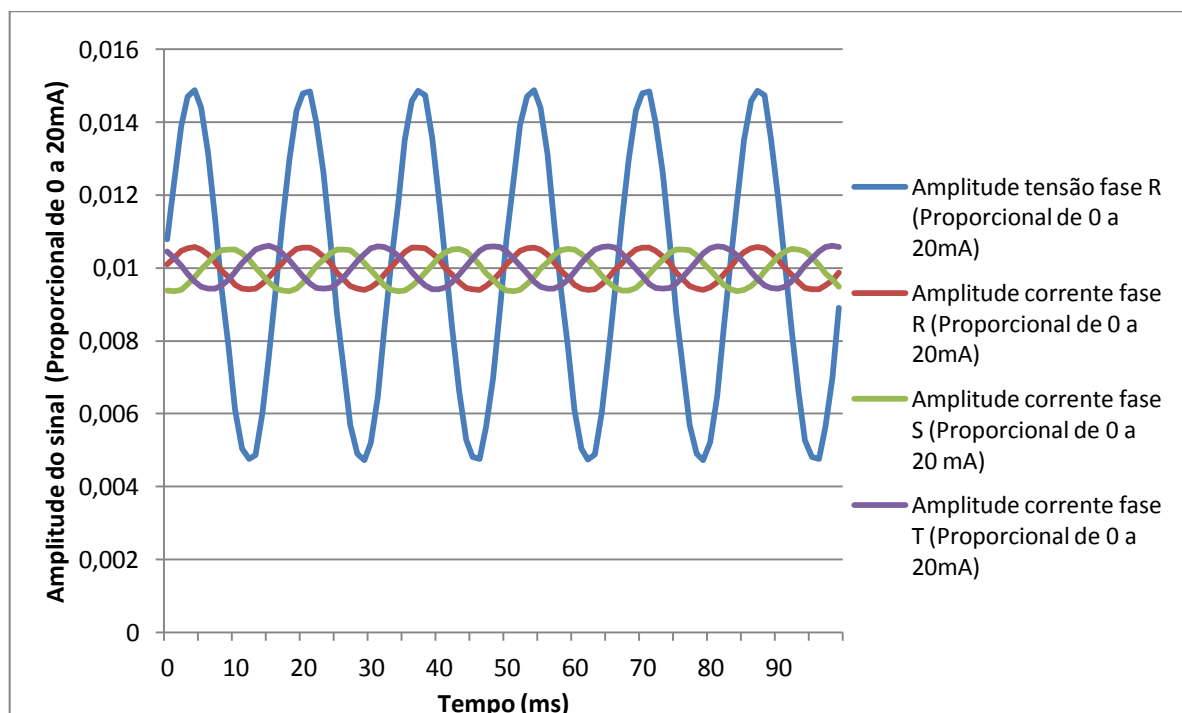


Figura 22 - Carga Resistiva com Equilíbrio da Corrente entre Fases

Como pode ser observado na Figura 22, a forma de onda da tensão na fase R (linha azul) está “em fase” em relação a corrente de sua respectiva fase (linha vermelha), provando que a carga obtida através da eletrólise do cloreto de sódio é de comportamento resistivo e, portanto seu $FP=1.0$.

5.1.3 Ensaio para Análise da Influência da Temperatura Sobre a Carga

O resultado do valor de corrente a ser obtido na carga eletrolítica depende da combinação de uma série de fatores, dentre eles o que mais se destaca é a temperatura em que a solução se encontra. Isso se deve ao fato de que a velocidade com a qual a eletrólise ocorre também ser proporcional à temperatura da solução e esta influencia diretamente nos valores de corrente da carga. Os resultados deste ensaio têm como objetivo mostrar como a temperatura da solução influencia na corrente da carga para uma mesma profundidade dos eletrodos. Para a realização desse ensaio foi aplicada uma tensão de 220Vac. Os dados obtidos foram aquisitados da seguinte forma: inicialmente os eletrodos não tocam a solução aquosa, posteriormente são submersos até chegar a profundidade de 195mm. Durante o intervalo de tempo em que as barras de cobre são introduzidas na solução, são aquisitados os valores de corrente RMS na fase R. O mesmo procedimento é realizado para duas temperaturas diferentes na solução, sendo elas de aproximadamente 39°C e 53°C.

Conforme pode ser observado na Figura 23, nas duas situações que foram analisadas no ensaio, para a situação em que a temperatura da solução eletrolítica encontra-se com seu valor mais elevado (53°C), a corrente na carga permaneceu superior em todos os momentos quando comparada no mesmo instante de tempo com a situação em que a temperatura da solução encontra-se na faixa de 39°C. Uma vez que a velocidade com que os eletrodos foram imersos na solução é praticamente igual para as duas situações (a velocidade da inserção dos eletrodos é praticamente a mesma para as duas situações), um determinado instante de tempo no respectivo ensaio pode ser traduzido como uma determinada profundidade dos eletrodos na solução. Com isso pode-se observar claramente a influência que a temperatura exerce sobre a resistência da carga.

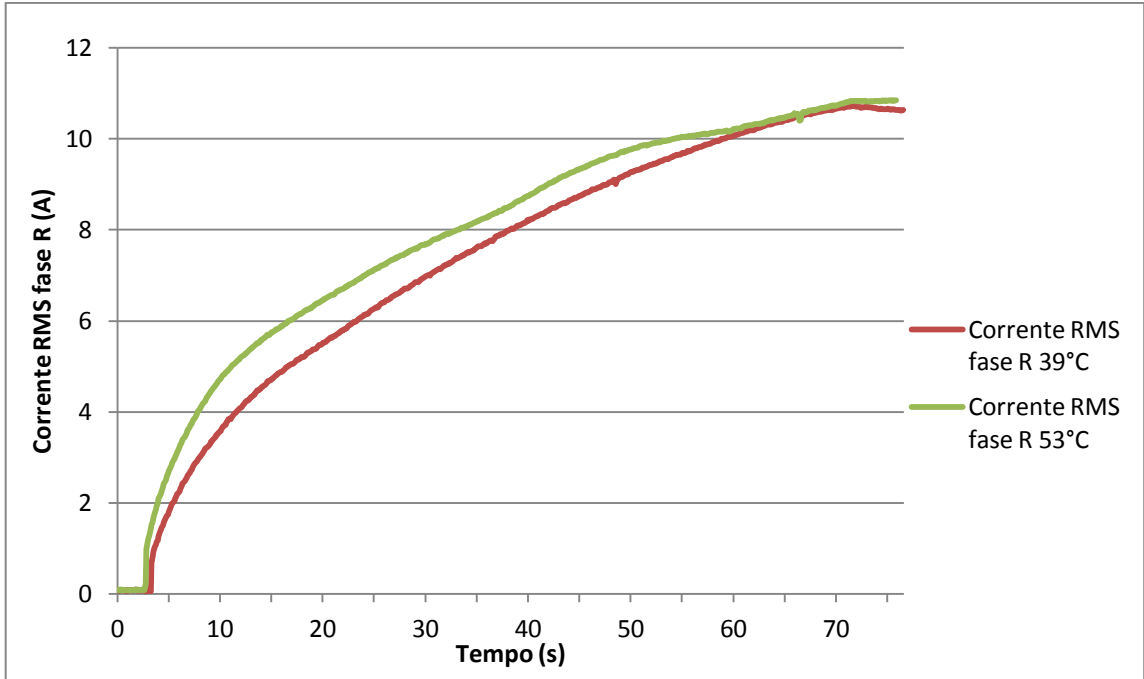


Figura 23 - Influência da Temperatura no Valor da Corrente na Carga

Ainda neste mesmo ensaio, foram aqusitados os dados para produzir os gráficos da forma de onda da corrente na fase R para os dois valores de temperatura, os quais podem ser verificados nas Figuras 24 e 25. Nestas figuras é possível observar os valores da corrente aumentando no decorrer do tempo.

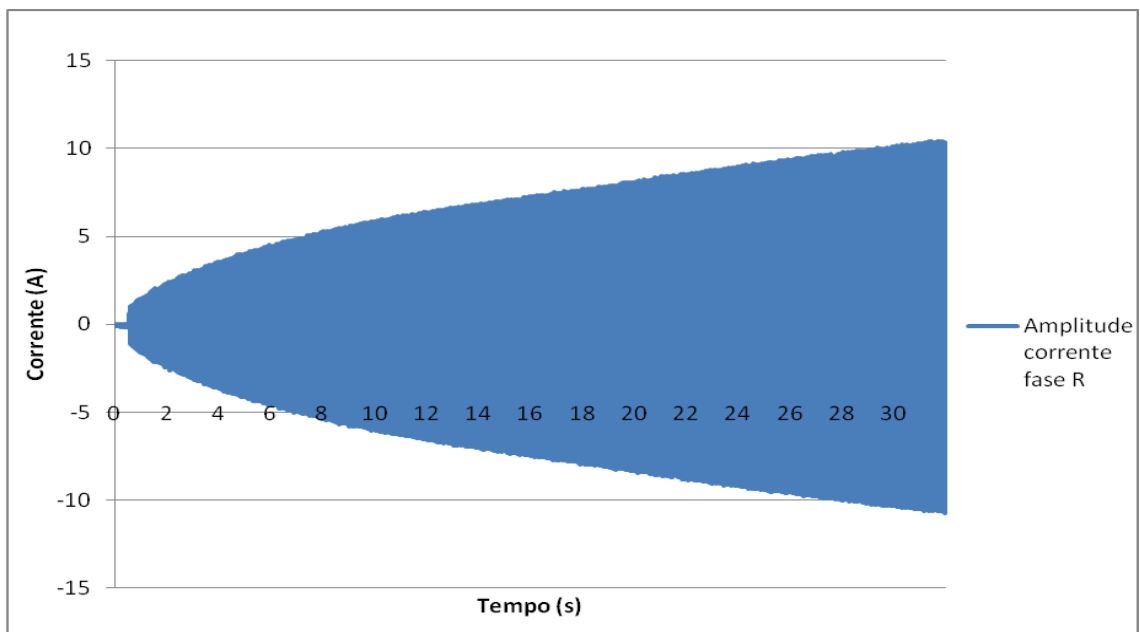


Figura 24 - Amplitude da Corrente na Fase R para Temperatura de 39°C

Os gráficos das Figuras 24 e 25 mostram que o valor da amplitude da corrente na fase R aumenta proporcionalmente em função da inserção dos eletrodos na solução eletrolítica e que quanto maior a temperatura, maior é o valor da corrente elétrica para o mesmo valor de profundidade dos eletrodos.

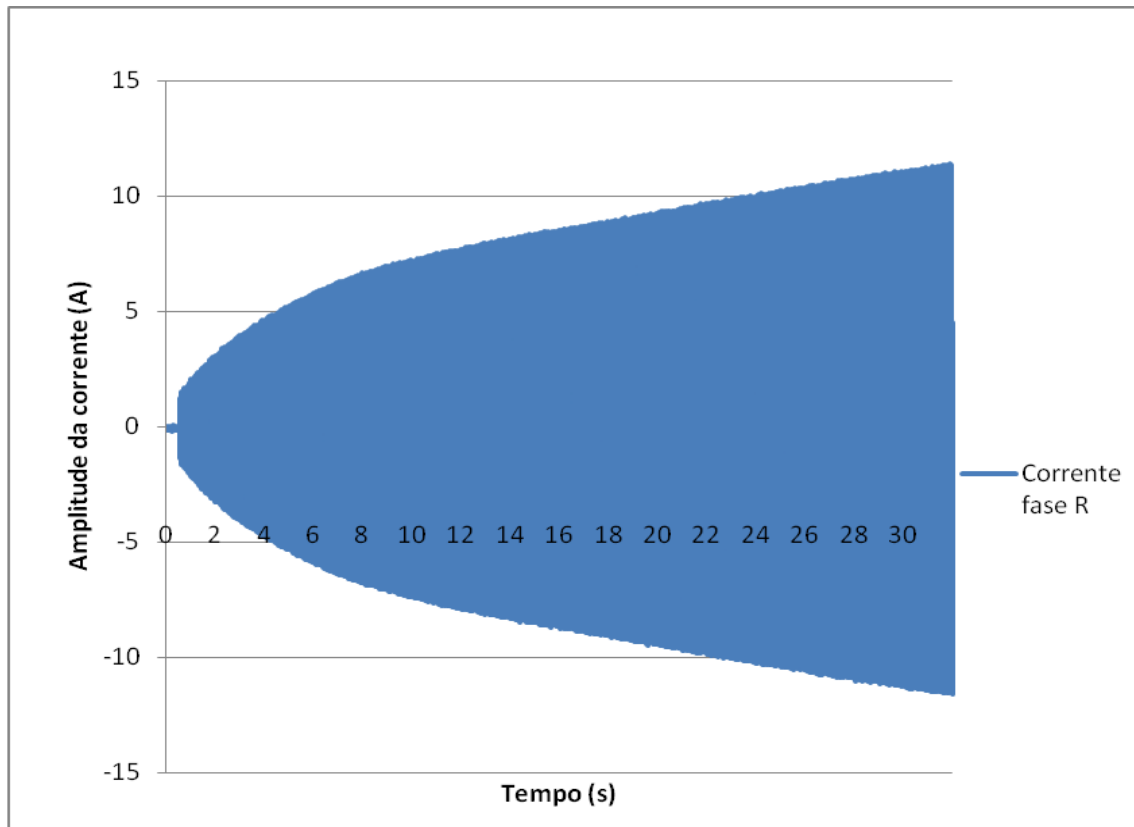


Figura 25 - Amplitude da Corrente na Fase R para Temperatura de 53°C

Desta forma, o valor da corrente elétrica da carga é maior para o caso onde a temperatura é de 53°C. Isso mostra a existência uma forte dependência do valor da corrente na carga em função da profundidade dos eletrodos de cobre (como apresentado na seção 5.1.2) e da temperatura da solução.

A fim de verificar a influência exercida pela temperatura sobre a corrente na carga em tensões acima de 220Vac, foi realizado um segundo ensaio. Este ensaio tem por objetivo verificar o comportamento da carga frente à variação da temperatura em uma tensão maior, caso geradores com tensão nominal acima de 220Vac sejam ensaiados com a carga eletrolítica. Durante a realização deste ensaio a tensão aplicada a carga foi de 380Vac, obtida através da utilização de um

VARIAC. O ensaio foi realizado da seguinte forma: inicialmente os eletrodos encontram-se fora da solução, logo após são inseridos na solução até alcançar a profundidade de 195mm. Em meio ao intervalo de tempo em que ocorre a inserção dos eletrodos na solução, foi aquiritado o valor da corrente na fase R da carga. Este procedimento foi repetido para duas situações em que a solução encontrava-se homogeneizada em temperaturas diferentes, sendo tais temperaturas de aproximadamente 39°C e 45°C. O gráfico contendo o aumento da corrente RMS na carga para as duas situações de temperatura, pode ser verificado na Figura 26.

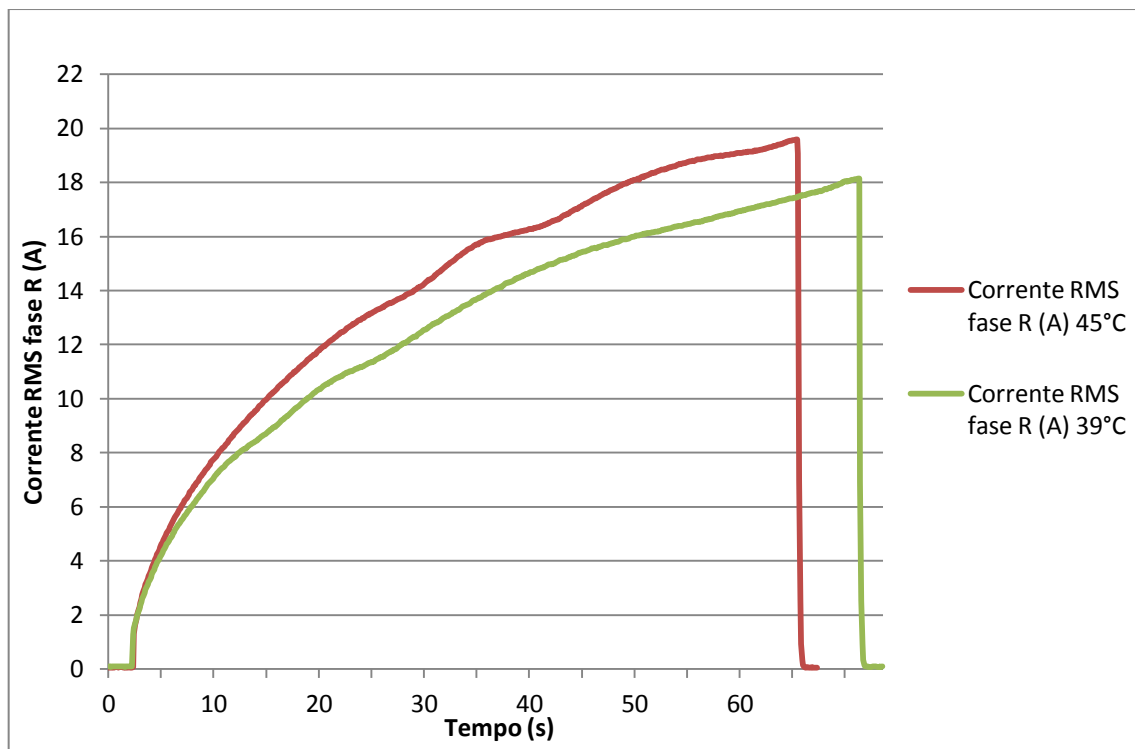


Figura 26 - Corrente na Fase R para dois Valores de Temperatura na Solução e Tensão de 380Vac.

Como pode ser observado na Figura 26, a corrente na carga para a situação em que a temperatura é 45°C, se mantém constantemente superior em relação à situação em que a temperatura da solução é 39°C, deixando visivelmente clara a influência exercida pela temperatura no valor final da carga propriamente dita.

Ainda neste mesmo ensaio, foram aquiritados dados que permitem a visualização da forma de onda da corrente na fase R, como mostra a Figura 27.

Nesta figura, a temperatura da solução está a 39°C quando os eletrodos são inseridos na mesma.

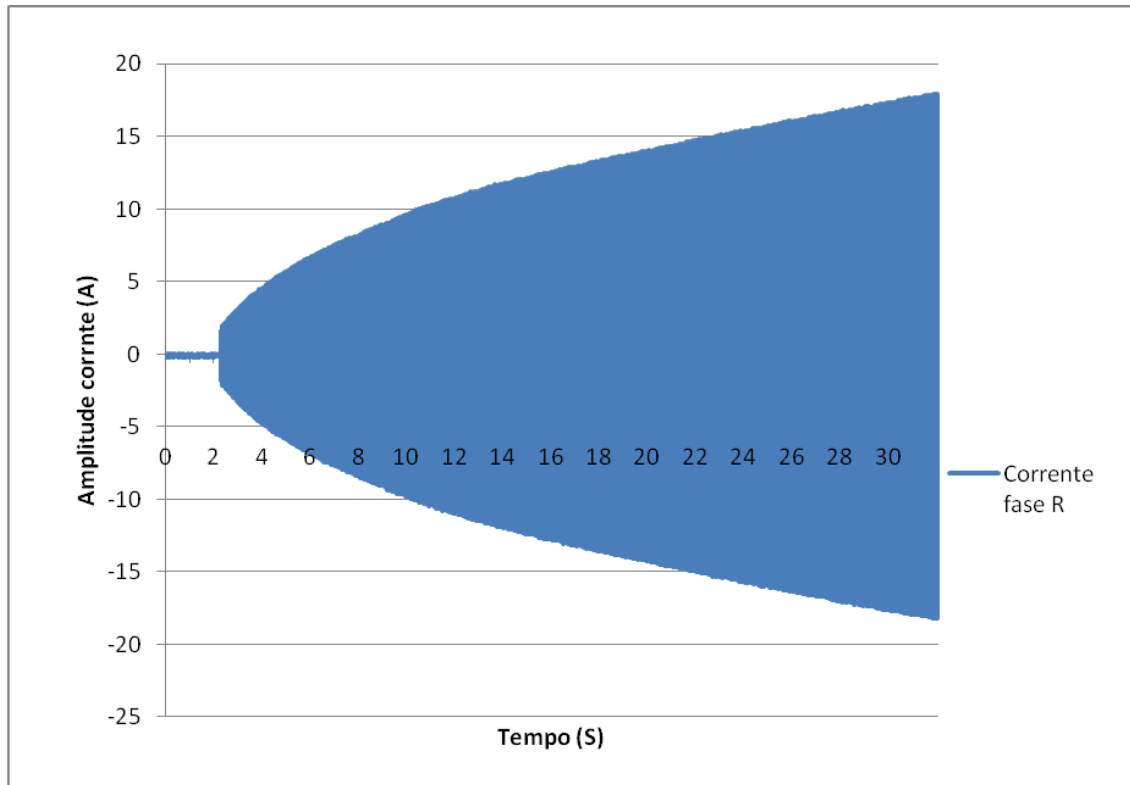


Figura 27 - Aumento da Amplitude da Corrente na Carga para a Temperatura de 39°C

Os resultados da corrente elétrica obtidos para a solução a uma temperatura de 45°C podem ser verificados na Figura 28. Nesta figura é mostrado o instante inicial quando os eletrodos tocam a solução aquosa e ocorre o aumento da corrente elétrica. A evolução da corrente da carga deve-se ao aumento da área de contato entre os eletrodos e a solução.

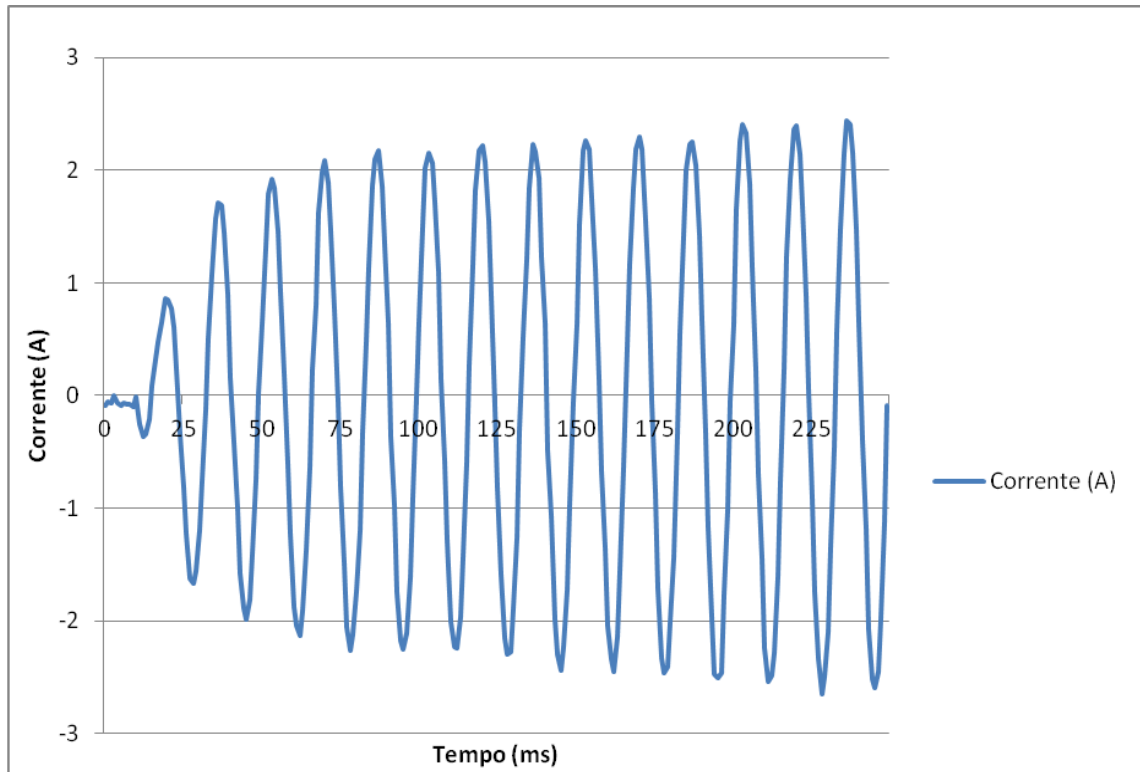


Figura 28 - Momento em que os Eletrodos são Imersos na Solução a Temperatura de 45°C

5.1.4 Ensaio para Obtenção de uma Corrente na Carga de 2A

Alguns geradores do laboratório de máquinas elétricas (J28 - UTFPR CÂMPUS MD) apresentam corrente nominal de 2A. A fim de que tais geradores sejam ensaiados com carga nominal, é necessário conseguir uma determinada combinação de valores de temperatura e profundidade dos eletrodos, que resultasse em um valor de corrente constante em torno de 2A no decorrer do tempo.

Para a realização deste ensaio a solução foi homogeneizada a 40°C. Este valor de temperatura foi conseguido de maneira experimental, ou seja, este é o valor no qual a temperatura da solução tende a estabilizar-se, quando a carga é submetida a uma corrente com intensidade em torno de 2A depois de decorrido um dado intervalo de tempo. Para realizar este procedimento, a carga deve ser mantida com determinado valor de corrente constante, em tempo suficiente para que a temperatura da solução possa se estabilizar em torno de um valor constante. Através deste procedimento é possível obter uma determinada combinação entre

temperatura e profundidade das hastas, que resulte em um valor constante de corrente na carga em função do tempo.

Depois de concluído o procedimento, o ensaio teve continuidade da seguinte forma: inicialmente os eletrodos encontram-se sem contato com a solução, posteriormente eles foram inseridos até chegar à profundidade de 26mm, o que resulta em um valor de corrente de aproximadamente 2A. Durante o intervalo de duração do ensaio (160s), foi adquirido o valor da corrente RMS para a fase R que pode ser observada na Figura 29.

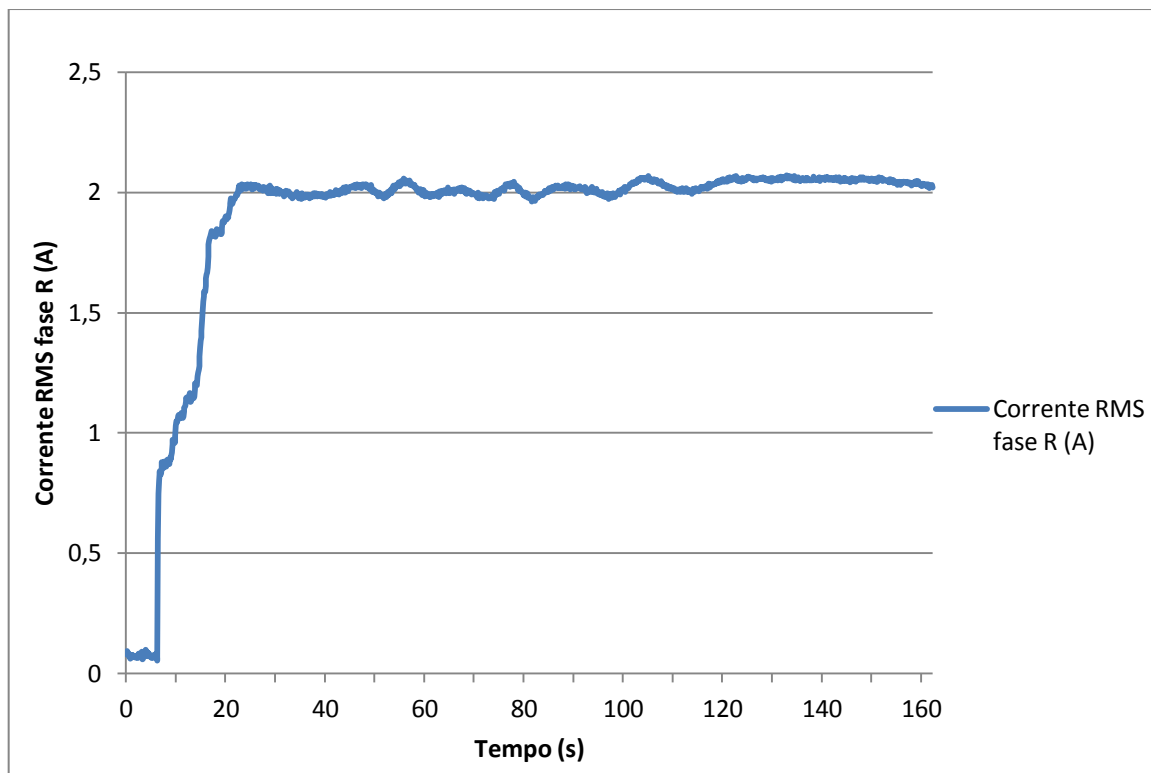


Figura 29 - Comportamento da Carga para uma Temperatura de 40°C com os Eletrodos a uma Profundidade de 26mm

Neste ensaio a tensão aplicada a carga foi de 220Vac e a concentração de eletrólito utilizada foi de 0,90g/L. O gráfico deste ensaio mostra que depois de alcançada a profundidade de 26mm, a corrente na carga fica constantemente em torno de 2A, apresentando apenas pequenas variações provenientes da variação da temperatura.

Ainda neste mesmo ensaio, foi realizada a aquisição dos valores da forma de onda da corrente na fase R como mostra a Figura 30. É possível observar o aumento do valor da corrente elétrica no instante de tempo em que os eletrodos entram em contato com a solução eletrolítica.

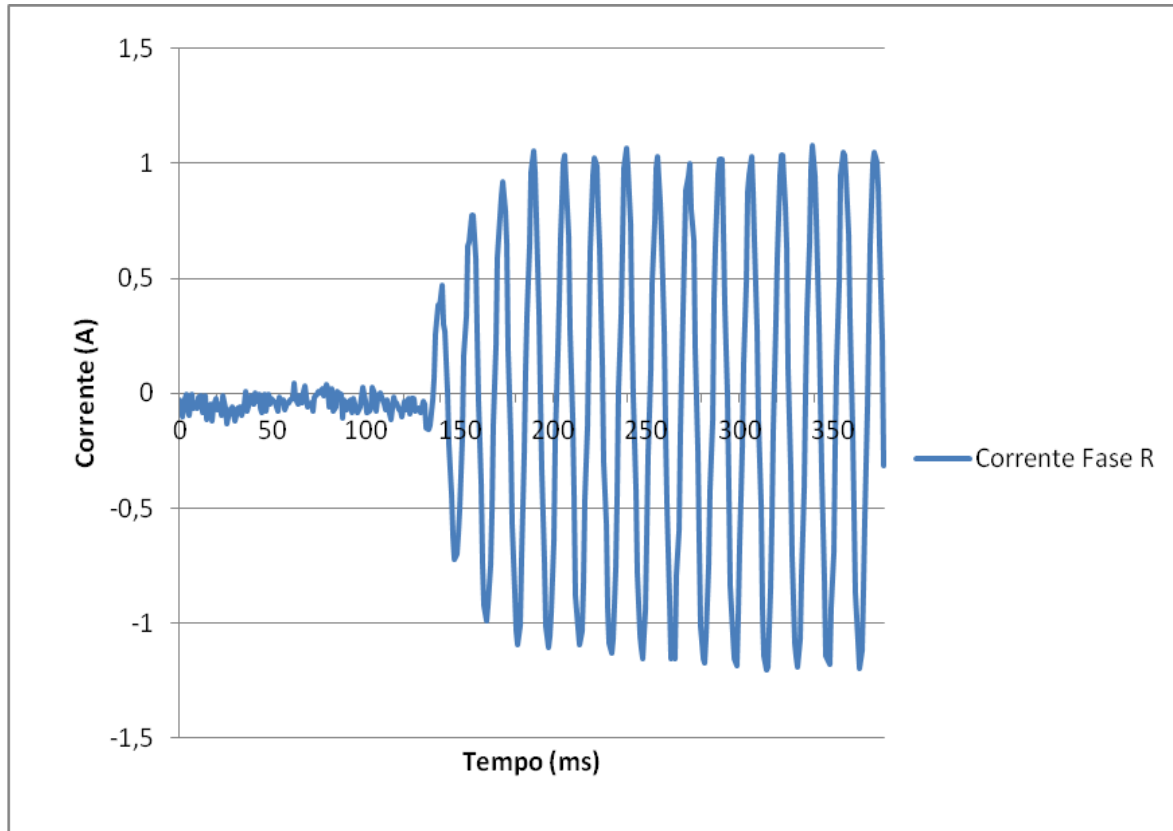


Figura 30 - Inserção dos na Solução Eletrolítica

Durante a realização deste ensaio, a temperatura exerce baixa influência sobre a corrente na carga. Isso foi possível devido ao procedimento realizado neste ensaio. Este procedimento permite que seja possível encontrar um ponto de operação da carga eletrolítica, em que a combinação entre a temperatura e a profundidade dos eletrodos de cobre resultem em uma carga que permaneça constante em tempo suficiente para fazer um ensaio em torno de 150s. Para este ensaio a temperatura encontrada ficou em torno de 40°C.

5.2.1 Ensaio para Corrente de 14A

Um dos geradores existentes no laboratório de máquinas elétricas possui corrente nominal de 14A em 380Vac. Com o objetivo de analisar o comportamento da carga para este valor de corrente e tensão, o que possibilitará ensaios deste gerador, foi realizado um ensaio (com duração de 90s) a fim de se obter um valor de temperatura da solução em que o valor da corrente elétrica (14A) fique estável para o maior tempo possível. O valor de temperatura da solução e da profundidade dos eletrodos de cobre foram obtidas de forma experimental, o que resultou na temperatura de 46°C e profundidade de 140mm.

Com os eletrodos posicionados a 140mm e a solução em 46°C, o disjuntor geral de força foi acionado e os dados RMS de corrente na fase R foram adquiridos durante 90s. A Figura 31 mostra o valor RMS da corrente para a fase R.

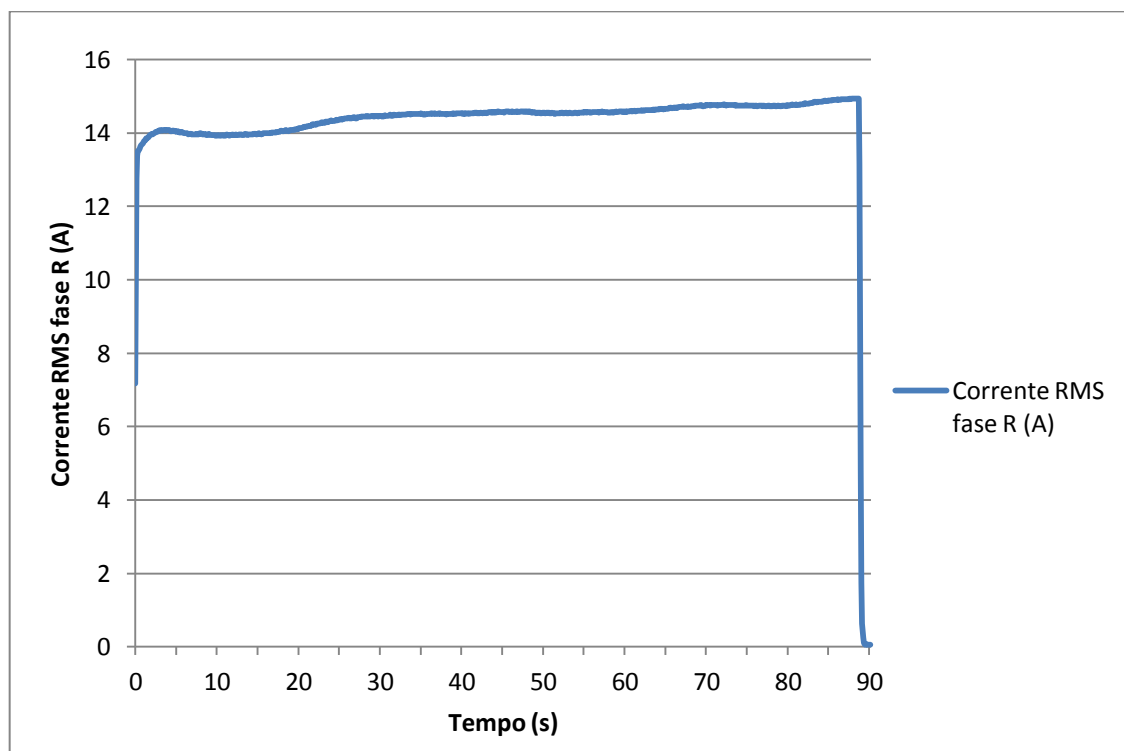


Figura 31 - Ensaio para Corrente de 14A

Como pode ser verificado na Figura 31, ao término do ensaio a corrente na carga apresentou um aumento de aproximadamente 1A, devido a elevação da

temperatura da solução que alcançou aproximadamente 48°C, ou seja, um aumento de 4,35%. Essa situação difere-se do observado para outras situações similares onde a potência dissipada na carga eletrolítica apresenta valores inferiores comparados com os valores obtidos neste ensaio, pois a velocidade em que a temperatura eleva-se é proporcional à potência dissipada na carga. A elevação de temperatura observada neste ensaio ocorreu devido ao fato de que a temperatura da solução estava abaixo da faixa em que a mesma se mantém constante para corrente de 14A.

5.2.2 Ensaio para Corrente de 16A

Para uma corrente de 16A, que é uma sobrecarga de aproximadamente 10% no gerador mencionado na seção 5.2.1, um ensaio semelhante ao ensaio para a corrente de 14A foi realizado.

O objetivo deste ensaio é encontrar uma temperatura e profundidade dos eletrodos na qual a corrente de 16A permaneça constante o maior tempo possível, o que permite o ensaio de sobrecarga no gerador mencionado anteriormente.

Neste ensaio, a temperatura da solução foi homogeneizada em torno de 42°C, a tensão aplicada foi de 380V e a concentração de eletrólito dissolvida na solução foi de 0,90g/L. Desta forma a profundidade necessária para obtenção da corrente de 16A foi de 195mm. Com os eletrodos posicionados à esta profundidade, o disjuntor geral da carga eletrolítica foi acionado. O ensaio entendeu-se por um intervalo de 90s onde foram aquiritados os dados de corrente RMS para a fase R. A figura 32 mostra o histórico da corrente RMS na fase R para este ensaio.

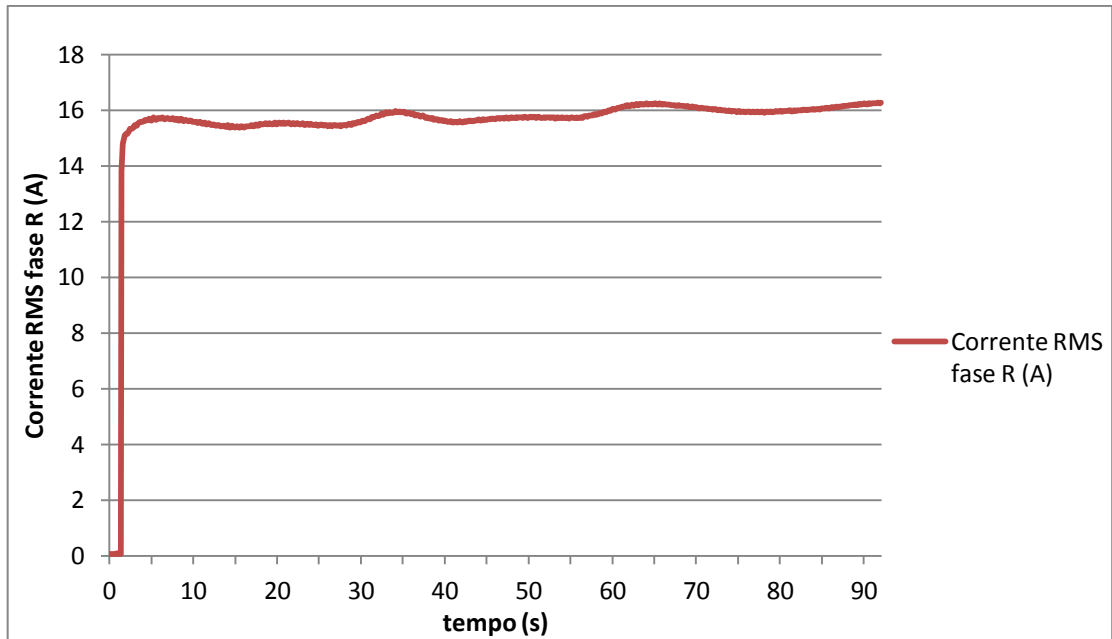


Figura 32 - Ensaio para Corrente de 16A

Através da Figura 32, é possível observar a elevação da corrente na carga no decorrer do tempo devido ao aumento da temperatura, que finalizou em aproximadamente 50°C. Como a potência dissipada na carga para este ensaio é mais elevada, a temperatura da solução eletrolítica apresenta uma rápida elevação o que influencia diretamente na corrente na carga, fazendo com que em 65s a corrente ultrapasse o valor de 16A.

Ainda para este mesmo ensaio, foram aquisitados dados que mostram o momento em que a carga foi acionada (fechamento do disjuntor de força), como pode ser observado na Figura 33. No momento em que o ensaio é iniciado a corrente de pico na carga quase alcança o valor de pico para 16A logo no primeiro semi-ciclo. Mas como pode ser observado para os semi-ciclos seguintes, à forma de onda da corrente não ultrapassa o seu valor nominal, o que mostra que para mesma temperatura a profundidade dos eletrodos a resistividade da carga é constante.

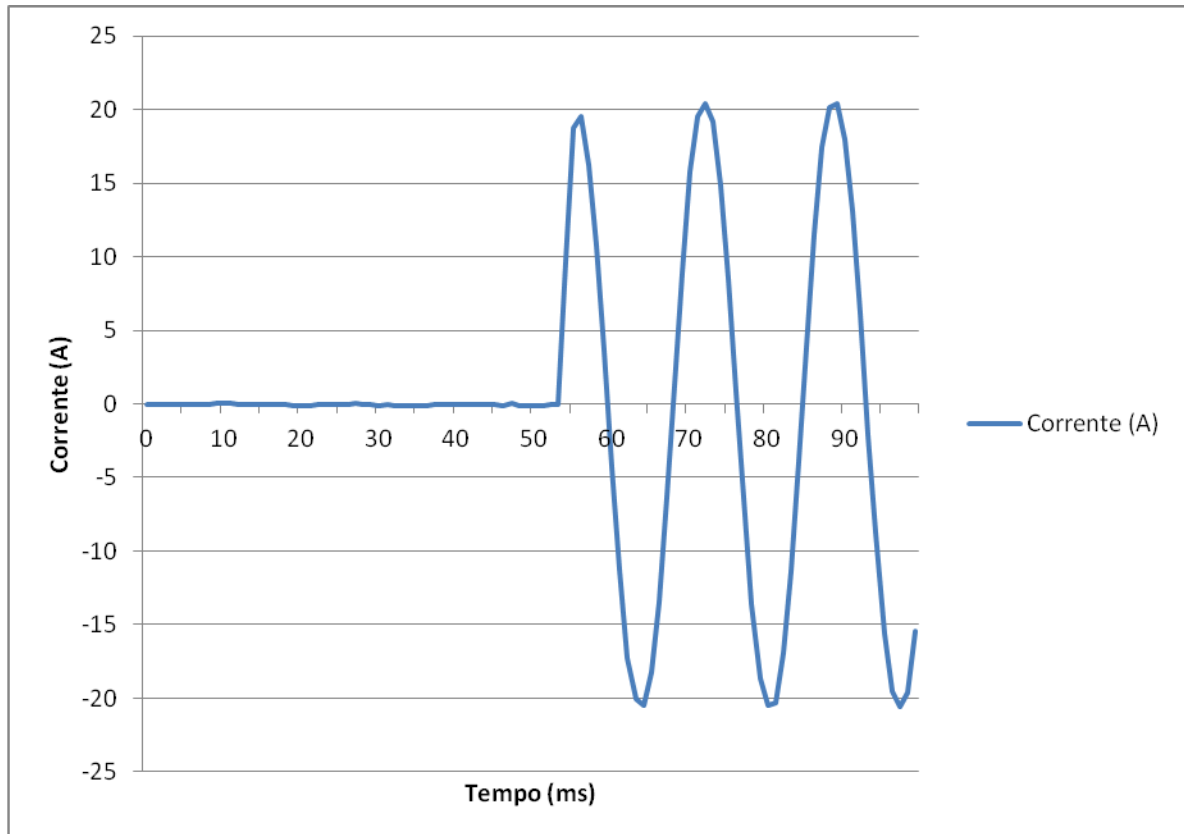


Figura 33 - Início do Ensaio para Corrente de 16A

Depois da realização do ensaio para a corrente de 16A, os eletrodos foram retirados da solução. Esse procedimento permitiu analisar o comportamento da carga quando da diminuição da área de contato entre eletrodos e solução.

O gráfico da Figura 34 mostra o comportamento apresentado pela corrente na carga eletrolítica quando os eletrodos são retirados da solução aquosa. É possível observar a diminuição da corrente elétrica à medida que a área de contato entre as hastes e a solução eletrolítica diminui, como apresentado anteriormente na seção 5.1.1.

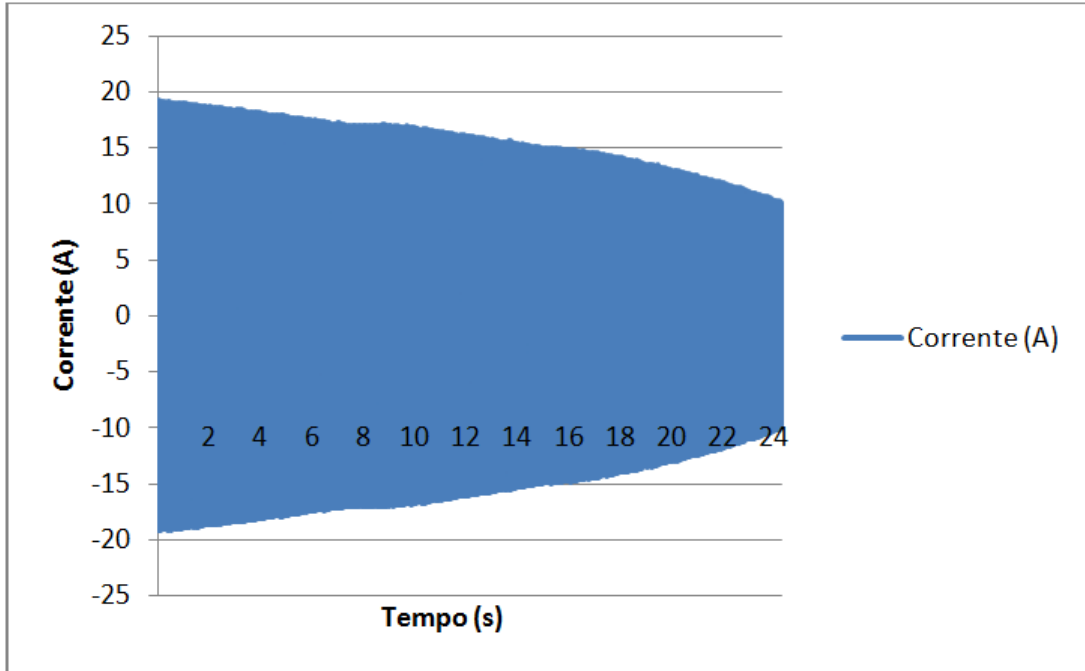


Figura 34 - Momento em que os Eletrodos são Retirados da Solução

6 CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Através do projeto e execução desse trabalho, tornou-se possível a criação de uma carga trifásica eletrolítica, sendo que essa pode ser utilizada para fins de ensaios com equipamentos de geração de energia elétrica de diferentes potências.

Com a realização dos ensaios no protótipo construído, foi possível analisar o comportamento de uma carga eletrolítica em regime de trabalho. Desse modo, foram evidenciadas às vantagens e limitações da empregabilidade da mesma nas diferentes situações abordadas.

Em meio à empregabilidade da carga criada na realização de ensaios, uma das características que devem ser observadas é o fato da carga trifásica eletrolítica ser uma carga resistiva.

Uma das vantagens da empregabilidade da carga trifásica eletrolítica na realização de ensaios pode ser observada nos diferentes valores de corrente, que podem ser obtidos através da variação da área de contato entre os eletrodos e a solução. Esta variação resulta em um comportamento linear por parte da corrente na carga em temperatura constante, quando for mantida constante a tensão e a concentração de eletrólito na solução eletrolítica.

Em meio à execução dos ensaios com a carga eletrolítica, foi verificada a influência que a temperatura exerce sobre a corrente da carga, a qual se mostrou como um problema de destaque. Esta influência é maior quando é necessário manter a potência na carga constante em um valor mais elevado por um período de tempo maior.

Um método para evitar esta elevação (se for o caso), é encontrar uma combinação específica entre a concentração de eletrólito, tensão aplicada à carga, temperatura e profundidade dos eletrodos, que resulte em um valor de corrente constante e sem elevação de temperatura, em tempo suficiente para realizar o ensaio. Este ponto pode ser encontrado de forma experimental, ou seja, havendo corrente na carga vai ocorrer elevação de temperatura na solução e conseqüentemente a corrente na carga aumentará, porém, se o valor de corrente na carga for corrigido sempre que ultrapassar o valor que se deseja obter, à medida que a temperatura se elevar, a velocidade que esta elevação ocorre deverá diminuir

até que seja encontrado um ponto em que a temperatura na solução se mantenha constante.

Existe ainda um segundo método para coibir a variação indesejável da corrente na carga. Este método baseia-se em monitorar a corrente na carga e se necessário ajusta-la através da inserção ou retirada dos eletrodos na solução. Atualmente este controle é realizado através dos botões de impulso que se encontram no painel da carga eletrolítica.

Embora nos ensaios realizados, a máxima corrente na carga tenha sido de aproximadamente 18A, a empregabilidade da carga trifásica eletrolítica não se limita a tais situações. Para obtenção de valores mais elevados, deve-se aumentar a concentração de eletrólito na solução.

Durante a realização dos ensaios, um fator de destaque observado foi o elevado nível de precisão possível de ser obtido quando utilizado um sistema de aquisição de dados em conjunto com o *software* LabVIEW, que abre a possibilidade de análises mais específicas do que está sendo medido.

Se tratando de ensaios com equipamentos de geração de energia elétrica, a carga trifásica eletrolítica é uma opção de qualidade, levando-se em conta que a mesma pode trabalhar sendo submetida a diferentes níveis de tensão e corrente, aliada a um baixo custo de fabricação e manutenção.

Como proposta de melhoria para o sistema desenvolvido nesse projeto, sugere-se a criação de um sistema de controle realimentado, capaz de fazer o controle da corrente na carga eletrolítica, com base em um valor pré-definido de corrente imposta pelo usuário. Tal valor de corrente pode ser definido via LabVIEW, que com o auxílio do sistema de aquisição de dados, faz a constante leitura da corrente da carga eletrolítica, compara com o valor pré-definido pelo usuário e corrige a variação do valor da corrente (que ocorre devido ao aumento da temperatura) através da variação da área de contato entre os eletrodos e a solução, acionado o sistema de controle dos eletrodos, que posiciona os eletrodos de cobre de forma controlada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Pedro U. Braga de; THOMAZINI, Daniel. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 5 ed. São Paulo: Érica, 2008.

DOIZE; Paul Emile. **Cloreto de cobre (II)**. Disponível em: <http://pt.shvoong.com/exact-sciences/chemistry/2152663-cloreto-cobre-ii/>. Acessado em 31 jan 2013.

DURBIN, Steven M. HAYT JR, William h. KEMMERLY, Jack e. **ANÁLISE DE CIRCUITOS EM ENGENHARIA - 7ª EDIÇÃO - MCGRAW HILL** 2008.

FELTRE, Ricardo. **Química geral volume I** 2º edição. Editora moderna volume I

GONZALEZ Ernesto R. TICIANELLI Edson A. **Eletroquímica: Princípios e aplicações** – 2ª Ed. – São Paulo; Editora da universidade de são Paulo, 2005.

MACHADO, Hugo. **A Importância de Michael Faraday Para a Ciência**;
Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABPDcAl/michael-faraday#>
Acessado em: 07 jan. 2013.

MAIA, Vitor Lemos. **Controle da Corrente de uma Carga Eletrolítica**. 2010. 67f.
Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica Da Universidade Federal Do Rio De Janeiro. 2010.
Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000977.pdf>
Acessado em: 02 out. 2012.

MONTEIRO, Flavio Alves. **Eletroquímica capítulo7 IFSP Automação**. 2010.
Disponível em: <http://www.ebah.com.br/user/AAAACIPQAE/flavio-alves-monteiro>
Acessado em 22 fev 2013.

NATIONAL INSTRUMENTS Disponível em: <http://brasil.ni.com/>
Acessado em: 15 jan. 2013.

OLEKSINSKI M. L. **Ensaio de Máquinas de Indução**. Disponível em:
<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24505/000736413.pdf?sequence=1>
Acessado em: 03 jan. 2013.

Secon Sensores E Instrumentos, Disponível em: <www.secon.com.br>.
Acessado em: 07 jan. 2013.

SOUZA, Vitor Amadeu. **Conheça o LabView**
Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAuH0AJ/conheca-labview>
Acessado em: 21 dez. 2012.

APÊNDICE A - MANUAL DE UTILIZAÇÃO DA CARGA ELETROLÍTICA

Esta seção tem por objetivo relatar de forma resumida como proceder para utilizar a carga eletrolítica.

1 - PREPARAÇÃO

- Encher o recipiente até que o nível de água encontre-se próximo aos eletrodos. Recomenda-se 50 à 100mm de distância da extremidade das hastes, para tanto, o volume de água necessário é de 108L.
- Dissolver o eletrólito na solução. Recomenda-se uma concentração de 0,90g/L (97,2g de NaCl em 108L de água) para ensaios que necessitem de corrente na carga na faixa de 0 a 16A. Para obtenção de valores mais elevados deve-se proceder com a adição de eletrólito na solução aquosa.

2 - INSTALAÇÃO

- A carga eletrolítica deve ser instalada de tal forma que fique nivelada. Esse procedimento evita que as hastes de cobre entrem na solução uma antes que a outra, o que acarreta no desequilíbrio entre a corrente das fases.
- Antes da realização de qualquer ensaio, o ponto de aterramento disponível na estrutura principal deve ser ligado a uma malha de aterramento. Isso evita possíveis acidentes elétricos.
- Retirar a tampa de poliestireno do painel da carga e ligar as três fases junto aos barramentos do painel. Em seguida recolocar a tampa do painel.
- Ligar a alimentação da fonte CC da carga junto a rede 127Vac e em seguida posicionar os eletrodos (com o auxílio dos botões de comando do painel) de modo que não entrem em contato com a solução.

3 - ENSAIOS

- Antes de dar início a qualquer ensaio, deve-se homogeneizar a temperatura da solução eletrolítica.
- Quando a carga eletrolítica estiver sendo ensaiada, é necessário levar em consideração a influência da temperatura na corrente da carga.
- Durante a realização de ensaios em que seja necessário manter a corrente na carga com intensidade constante no decorrer do tempo, deve-se efetuar a correção deste valor através da inserção ou retirada dos eletrodos na solução.
- Em hipótese alguma entrar em contato com as partes eletrizadas da carga.
- O método para realização do monitoramento da corrente na carga fica a critério do operador.
- Após a utilização da carga eletrolítica, os eletrodos devem ser retirados da solução, o circuito de comando e de força da carga eletrolítica deve ser desligado e a alimentação da carga desconectada.